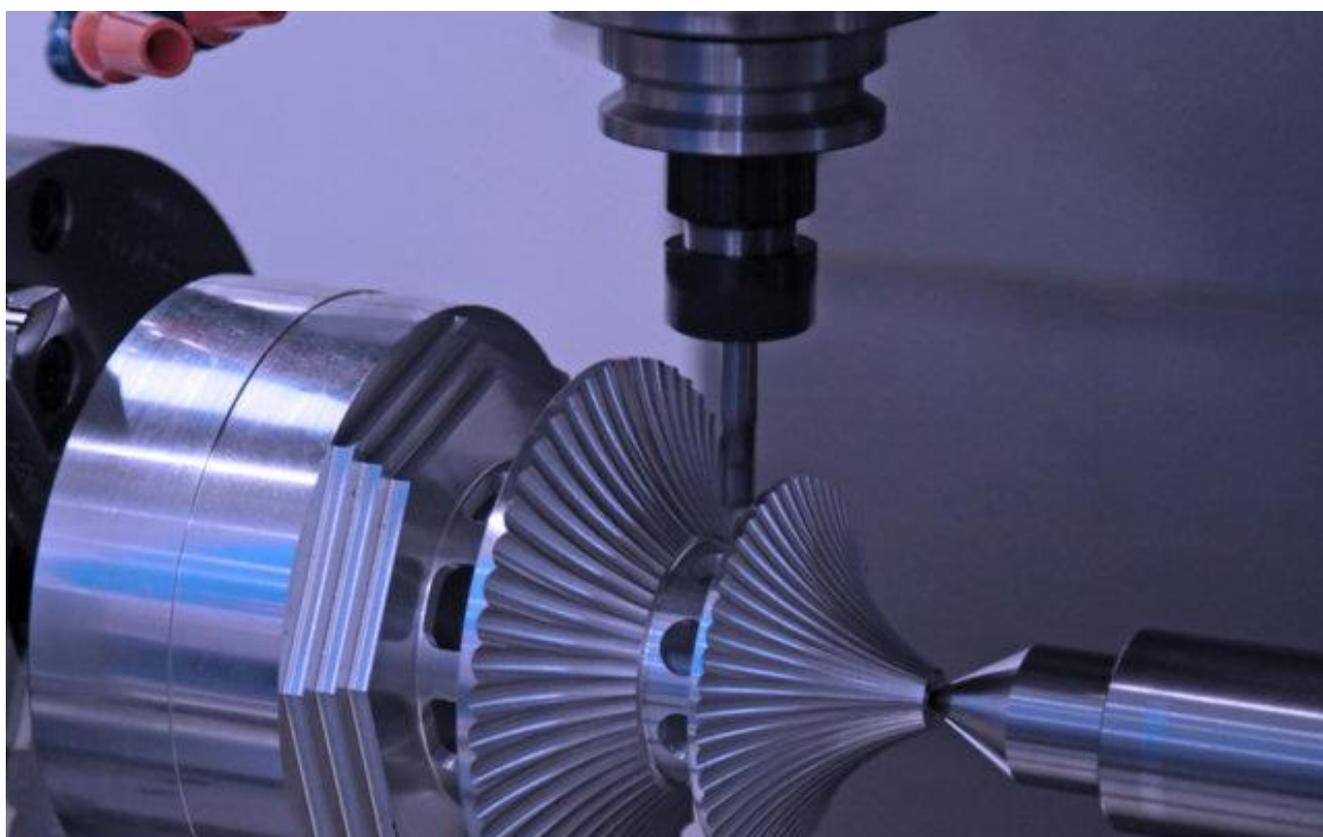




С. К. ТОЙГАМБАЕВ

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ
ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
МАШИН ПРИРОДОБУСТРОЙСТВА**

УЧЕБНИК



МОСКВА 2020

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ – МСХА ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА**

С. К. ТОЙГАМБАЕВ

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ
ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
МАШИН ПРИРОДОУСТРОЙСТВА**

УЧЕБНИК

*Рекомендовано НМС по образованию в области
природоустройства и водопользования при
ФУ МО по УГСН «Техносферная безопасность
и природоустройства», в качестве
учебника для студентов ВУЗов*

МОСКВА 2020

УДК 621.7; 621.9; 621.17

ББК 34.56

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, член корреспондент РАН,
директор ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова В. А. Шевченко

доктор технических наук, профессор кафедры техническая эксплуатация
технологических машин и оборудования природообустройства
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева В. А. Евграфов

Рекомендовано НМС по образованию в области природообустройства и водопользования при ФУ МО по УГСН «Техносферная безопасность и природообустройства», в качестве учебника для студентов ВУЗов по направлению 20.03.02 «Природообустройства и водопользование» и 27.03.02 «Управление качеством».

Т Тойгамбаев С.К.

Технология производства деталей транспортных технологических машин природообустройства: Учебник / С.К. Тойгамбаев

ISBN

В учебнике рассмотрены вопросы изготовления деталей транспортных технологических машин природообустройства, методы и средства изготовления деталей. Представлены описание различных сплавов металла для получения отдельных деталей машин, приведены примеры расчетов по изготовлению деталей на различных металлорежущих станках.

Даны различные таблицы, рисунки и схемы общего устройства и работа различных средств, для получения отливок для дальнейшего изготовления деталей транспортных и технологических машин применяемых в области природообустройства, водопользования и в других областях ремонтного и промышленного производства деталей транспортных и технологических машин. Учебник рекомендован для студентов ВУЗов, а также для использования инженерно-техническими работниками.

УДК 621.7; 621.9; 621.17

ББК 34.56

ISBN

© Тойгамбаев С.К., 2020

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современные рыночные отношения между производителем и потребителем техники вызвали необходимость формирования новой концепции обеспечения качества машин в условиях минимума затрат на обеспечение ресурса, запланированного предприятием изготовителем. В этом ряду качественное изготовление и производство деталей транспортных и технологических машин природообустройства и машин используемых в агропромышленном комплексе является актуальной задачей производства, которую призваны решать высоко квалифицированные, подготовленные кадры с умением решать инженерные задачи.

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

Машиностроительное и ремонтное производство в промышленном потенциале нашей страны всегда занимало значительное место. В период индустриализации в Советском Союзе была создана машиностроительная промышленность, перед которой стояла задача массового производства отечественной техники. Основы учения о технологии машиностроения и роли ремонта в системе обеспечения надежности машин в нашей стране были заложены В. В. Ефремовым. В 1948 г. В. В. Ефремов открыл основополагающий закон старения механических систем, который можно сформулировать следующим образом: «Неравенство интенсивностей накопления износа (повреждений) деталей механической системы проявляется через различие остаточного ресурса деталей за наработку до предельного состояния». В нашей стране В. В. Ефремов заслуженно считается основоположником первой научной школы по ремонту автомобилей.

В конце 1950 х гг. К. Т. Кошкин обосновал необходимость совершенствования технологических процессов для повышения качества деталей машин и впервые сформулировал основные принципы проектирования технологических процессов производства и ремонта деталей, выполнение которых гарантировало достижение нормативного уровня качества.

В 1970 х гг. под руководством Л. В. Дехтеринского был проведен комплекс исследований, обеспечивших возможность обобщения и разработки оптимизационных методов решения технологических задач, направленных на повышение надежности машин и эффективности машиностроительного и ремонтного производства по результатам экономического анализа. Тем самым была создана возможность раскрытия причинно следственных связей проблемы качества производства и ремонта машин: связей факторов конструктивно технологического формирования изделия как объекта ремонта с производством запасных частей и ремонтных комплектов, техническим и организационным уровнями ремонтного производства, состоянием ремонтного фонда, хозяйственно экономическим механизмом, действующим в условиях каждого конкретного предприятия.

Отличительными особенностями отечественной техники были низкая стоимость и невысокий уровень надежности. Обеспечение работоспособности этой техники потребовало создания системы ремонтного производства. Эта система требует большого количества запасных частей и деталей, иные детали предприятия вынуждены изготавливать в собственных производственных цехах.

В данном учебнике приводятся основы производства деталей транспортных и технологических машин, с начала получения заготовки до получения конечного изделия в виде той или иной детали. Даны основы литейного производства, описание применяемых видов металлов для изготовления деталей машин и инструмента. В шестой главе учебника представлены расчеты и технологическая последовательность операции при изготовлении деталей транспортных и технологических машин. Пользуясь данным учебником студент и инженерно – технический работник всегда может найти в учебнике основные данные для изготовления деталей машин.

ГЛАВА I.

Раздел. 1

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 примесей). 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 (отбеливает чугун). Сера нежелательный элемент, она уменьшает жидкотекучесть и способствует отбеливанию чугуна. Содержание серы допускается не более 0,08...0,12%. Фосфор является полезным элементом, так как улучшает жидкотекучесть, увеличивает твердость и износо-

стойкость 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, $\sigma_B = 120 \text{ Мпа}$ (12 кгс/мм^2).

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 ($\sigma_B = 420 \text{ Мпа}$).

Ковкий чугун. В ковком чугуне графит находится в форме хлопьев, полученные специальной термической обработкой – отжигом белого чугуна, что придает 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 $\sigma_P = 300 \text{ Мпа}$.

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 пер-

литной 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, марганцовый) 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: *передельный 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 ($\leq 0,5\%$) идет на переработку в сталь и его называют *передельным чугуном*. Доля передельного 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 10...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:

- восстановлении железа из окислов железных руд, насыщения его углеродом и получения жидкого чугуна определенного химического состава;
- оплавление пустой породы руды, с образованием шлака, 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* ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) – 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 горнообогажительных 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...1мм 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 спекается 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,

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)
- 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.

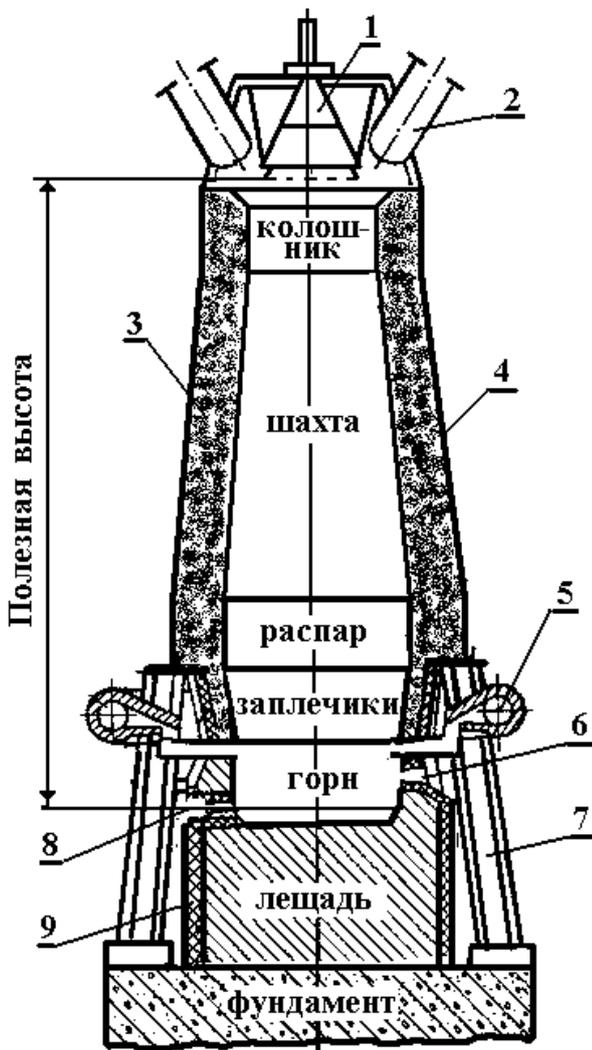
Основным топливом для доменного процесса является каменноугольный кокс. Он прочен, не растрескивается при нагревании, обладает высокой пористостью и реакционной способностью. Содержит 0,5...1,8% серы и 6...12% золы. Кокс получают из специальных каменноугольных коксующих углей, содержащих до 25% летучих веществ (смола, газы). Процесс коксования производится длительным (до 15 час.) нагреванием коксующего угля без доступа воздуха при температуре 1000...1100°С. 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 преимущественно SiO_2 и Al_2O_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 CaCO_3 или доломитизированный известняк, содержащий CaCO_3 и 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...80мм. 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.

1.3 Технологический процесс получения чугуна

Процесс получения чугуна осуществляется в доменной печи шахтного типа (рис.1.1). 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

Рис. 1.1. Доменная печь.

метров, диаметр – более 13 метров. Распар

опирается 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 в шахтной части домен. 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 : $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$.

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°C и ослабевают при более высоких температурах. 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 сажи 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 домен не плавится. И только на последнем этапе губчатое железо вступает в реакцию с монооксидом углерода (CO), образуя карбид железа (цементит): $3\text{Fe} + 2\text{CO}; \quad \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$.

Наиболее быстро эта реакция происходит в зоне распара и заплечиков. Образовавшиеся кристаллы цементита растворяются в окружающем их железе, насыщая его углеродом 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, находящихся в шихте.

Образующийся сплав такого сложного состава и представляет собой чугун с температурой плавления от 1100 до 1350°С 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/см³, а плотность шлака около 2,5 г/см³. 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°С, шлака – на 40...80°С выше.

Чугуновозами часть жидкого чугуна (если выплавлялся *передельный* 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 (м³), 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.

1. 4 Производство стали

1. 4. 1 Характеристика сталей

Сталью - называется сплав железа с углеродом при содержании углерода в сплаве менее 2%. Пока до 90% продуктов 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 изготавливать ее в больших объемах.

Углеродистые стали по содержанию углерода в сплаве подразделяются на низко- ($< 0,3\%C$), средне- ($0,3...0,7\%C$) и высокоуглеродистые ($>0,7\%C$). По назначению эти стали используются как конструкционные ($\%C \leq 0,6$) и инструментальные ($0,7...1,3\%C$).

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 неотчетственных слабонагруженных деталей машин и механизмов, изготавливаемых резанием, сваркой, холодной деформацией. Они достаточно дешевы и во многих случаях по механическим свойствам соответствуют требованиям, 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). Степень раскисления указывается в маркировке стали. Например, сталь марки Ст2кп, Ст4пс и т.д.

Качественные конструкционные стали поставляют потребителю с указанием химического состава и механических свойств. Из 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%С, кипящая), сталь 30пс (0,3%С, 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-ре 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 углеро-

дистые 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 микроструктуру и свойства стали 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 их называют по данным названиям. Например: сталь 20X – хромистая; 65Г2 – марганцовистая; 12Х18Н10 – хромоникелевая; 40ХНМА – хромоникель-молибденовая 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 – нержавеющие, жаропрочные, жаростойкие, износостойкие, магнитные и т.д. Для обозначения состава легированных сталей принято цифро-буквенные обозначения. Буквы показывают наличие того или иного легирующего элемента: Н – хром; К – кобальт; Г – марганец; Д – медь; Р – бор; Б – ниобий; Ц – церий; С – кремний; П – фосфор; В – вольфрам; Т – титан; А – 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 кислородно-конвертерная и электропечь с последующей вне печной обработкой жидкого металла в разливочном ковше. Для особых марок сталей используются специальные электрометаллургические процессы – плавка в вакуумных печах, электрошлаковый и вакуумно-дуговой переплав, электронно-лучевая и плазменная плавка.

1. 4. 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...1650⁰С. 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 получаемых сталей при пониженных температурах и холодной пластической деформации за счет высокого содержания в сталях азота (применение воздушного дутья, 78% в воздухе – азот),

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. 1.2 представлена схема кислородного конвертера производительностью 400...500 т/ч. Конвертер опирается на опорную станину 1 и имеет возможность поворачиваться с помощью электродвигателя 2 вокруг горизонтальной оси на 360° . Форма и размеры рабочего пространства конвертера связаны с размещением там заливаемого жидкого чугуна, металлического лома и других присадок. 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 передельный чугун, на долю которого приходится до 80% общей массы шихты и скрап, состоящий из чугунного и стального лома. Максимальное количество скрапа может достигать до 25% от массы жидкого чугуна. В качестве шлакообразующих материалов используют известь (CaO) в смеси с бокситом (Al_2O_3) и плавиковым шпатом (CaF_2) 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. 1.3 показаны технологические операции плавки кислородного конвертера верхнего дутья.

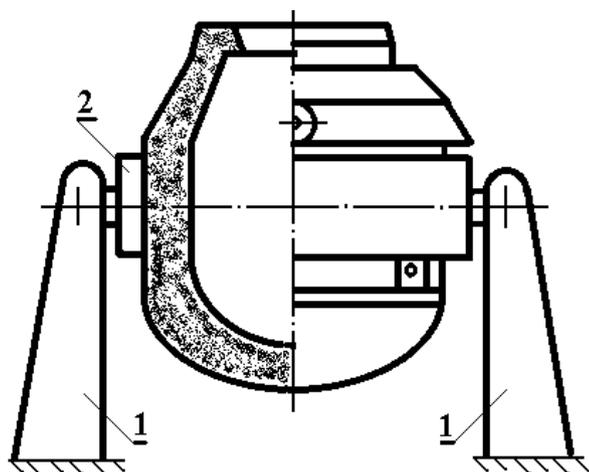


Рис. 1.2. Кислородный конвертер.

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 кислородного конвертора вертикально,

вводят кислородную фурму, включают подачу кислорода (в). Одновременно с началом дутья (продувки) производят загрузку первой партии шлакообразующих материалов. 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 $1580 \dots 1650^\circ\text{C}$;

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 содержании углерода состоит в кратковременной додувке.

Плавки стремятся проводить с минимальными простоями между продувками для предотвращения остывания конвертера. Технология плавки следующая: рисунок 1.3 (а, б, в, г, д).

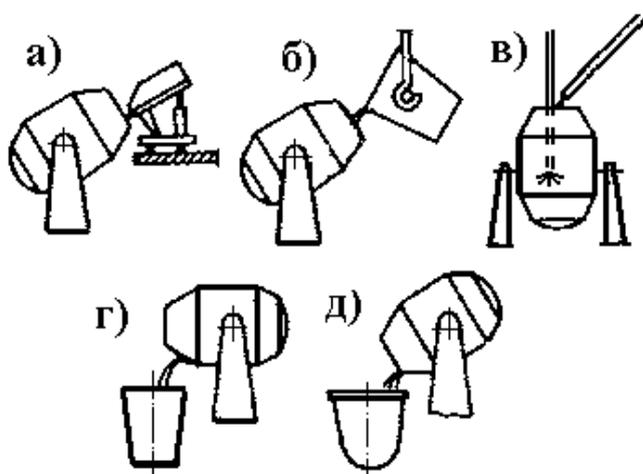


Рис. 1.3. Технологические операции.

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 лётку 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;

6) 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.

Совершенствование кислородно-конвертерного способа получения стали с верхней продувкой связано с плохим перемешиванием металла и шлака во всем объеме расплавленного металла, необходимого для более интенсивного удаления шлаками газов и неметаллических включений из жидкого металла. В настоящее время используются новые варианты кислородно-конвертерных процессов с улучшенным перемешиванием жидкой ванны металла и более оптимальным регулированием всего процесса. 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 конвертерной стали в основном зависит от стоимости состава 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 легкоокисляющих 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. 4. 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 довольно в 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. 1.4. 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 хромомagneзитовый 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. 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 200В для малых печей и до 600В 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 $40...45^{\circ}$ и в сторону рабочего окна 7 на $10...15^{\circ}$ 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 восстановитель-

ного периодов и выпуска готовой стали. Загружаемая в печь металлическая часть шихты состоит до 90% из стального лома, остальное – чушковый переделный 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 которым 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

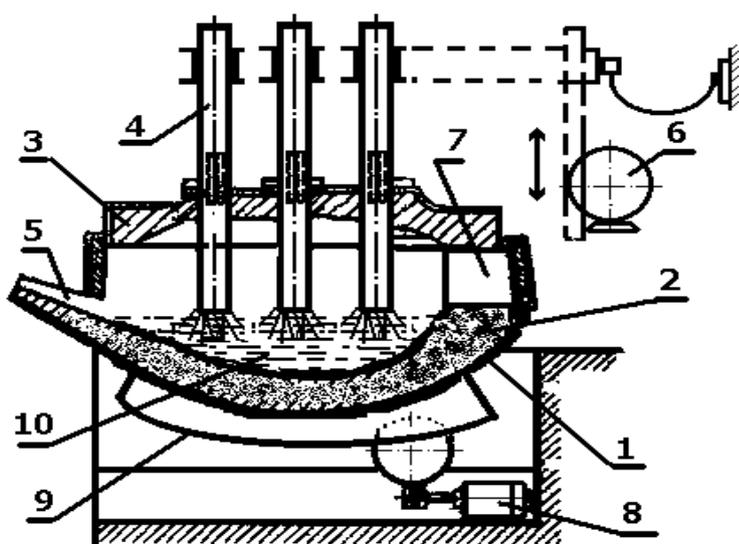


Рис. 1.4 Дуговая электропечь.

происходит окисление марганца, хрома, кремния, дополнительно фосфора, углерода и других элементов. Особенно 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 из расплавленного металла.

В конструкциях современных электрических печей предусмотрено устройство дополнительного электро-магнитного 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 выплавляемой 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, который 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 CaO и Al_2O_3). Нагретый до $1650\dots 1700^\circ\text{C}$ 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 производить 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 легирован-

ных 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.

Химический состав некоторых углеродистых спокойных сталей, %. Таблица 1.1

марка стали	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
				не более			
08	0,05...0,120	0,17...0,37	0,35...0,65	0,035	0,04	0,10	0,25
15	12...0,190	0,17...0,37	0,35...0,65	0,040	0,04	0,25	0,25
40	37...0,450	0,17...0,37	0,50...0,80	0,040	0,04	0,25	0,25
85	82...0,900	0,17...0,37	0,50...0,80	0,040	0,04	0,25	0,25
У10	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...850⁰С. 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 1.2 приведен химический состав некоторых легированных сталей.

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 та-

кие легированные стали производят по технологии *переплава шихты*, состоящей из *легированных* отходов металлургической и металлообрабатывающей промышленности.

Химический состав некоторых легированных сталей. Таблица 1.2

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	-	-	-
20X2H4A	0,16...0,22	0,17...0,37	0,30...0,60	1,25...1,65	3,3...3,7	-	-
38XP3MФА	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	-	-
X18P10T	≤ 0,12	≤ 0,80	1,00...2,00	17,0...19,0	9,0...11,0	-	-

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 внепечную ее обработку – рафинирование и дегазацию аргоном. Технологические процессы внепечной обработки сталей и получение сталей специальными методами металлургии подробно рассмотрены в технической литературе.

1.5 Производство алюминия и его сплавов.

1.5.1 Характеристика алюминиевых сплавов.

Алюминий – пластичный металл имеет малую плотность ($2,7 \text{ г/см}^3$) и высокую коррозионную стойкость. Технический алюминий, поступающий в виде листов, профилей, прутков и других полуфабрикатов, маркируется АД и АД1 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.

При промышленном производстве бокситы сначала подвергают химической переработке, удаляя из них примеси оксидов кремния (Si), железа (Fe) и других элементов. В результате такой переработки получают чистый оксид алюминия Al_2O_3 - основное сырье при производстве металла электролизом. Однако из-за того, что температура плавления Al_2O_3 очень высока (более 2000°C), использовать его расплав для электролиза не удастся (рис. 1.5).

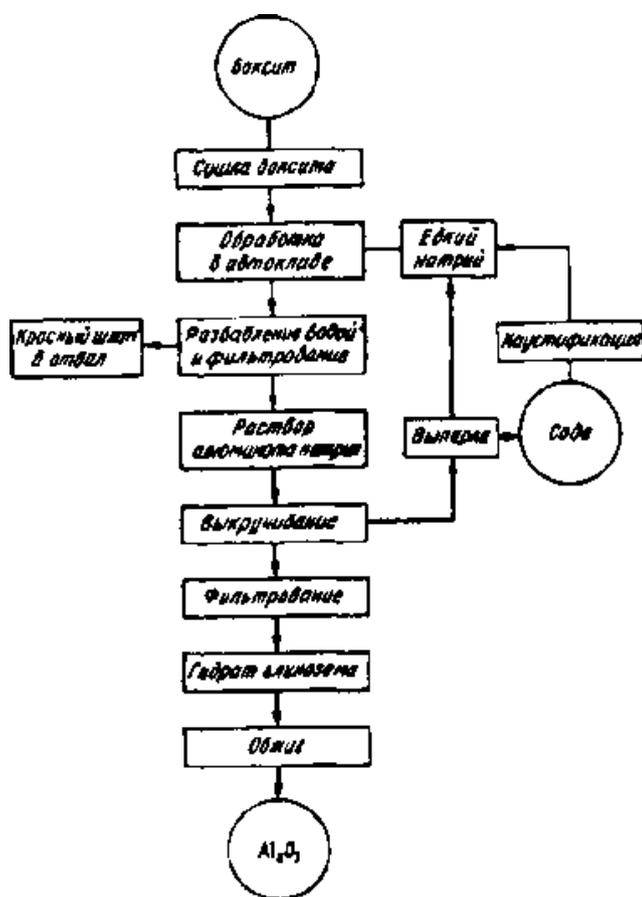


Рис. 1.5. Процесс получения алюминия.

Выход ученые и инженеры нашли в следующем. В электролизной ванне сначала расплавляют криолит Na_3AlF_6 (температура расплава немного ниже 1000°C). Криолит можно получить, например, при переработке нефелинов Кольского полуострова. Далее в этот расплав добавляют немного Al_2O_3 (до 10% по массе) и некоторые другие вещества, улучшающие условия проведения последующего процесса. При электролизе этого расплава происходит разложение оксида алюминия, криолит остается в расплаве, а на катоде образуется расплавленный алюминий: $2 \text{Al}_2\text{O}_3 = 4\text{Al} + 3\text{O}_2$.

Все алюминиевые сплавы, в зависимости от того, какой способ производства при их изготовлении применялся, можно разделить на два типа:

- деформируемые;
- литейные.

Деформируемые сплавы отличаются высокой пластичностью, а основной характеристикой литейных сплавов является их текучесть. Для того, чтобы придать алюминиевому сплаву ту или иную характеристику, в него добавляют различные легирующие вещества.

Для производства сплавов алюминия применяют специальные отражательные печи. Как правило, в промышленности процесс производится одновременно с применением двух печей - в одной из них готовится сам сплав, который поступает во вторую печь, «отвечающую» за разливку сплава, ведущуюся без перерыва. Ингредиенты сплава, загружаемые в первую печь, могут быть как в твердом, так и в жидком состоянии. Вид получаемой продукции зависит от того, о каком именно типе сплава идет речь. Если это литейный сплав, то он имеет форму чушек, а деформируемым сплавам придают вид слитков, что более удобно для их дальнейшей обработки на прокатном стане или с помощью прессы.

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, АЛ19), 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 АЛ19 применяется для литья небольших деталей простой формы (кронштейны и др.) и подвергается закалке. Сплав АЛ8 и АЛ27 предназначены для отливок, работающих во влажной атмосфере.

Наибольшее распространение получили сплавы АЛ1 и АЛ20, из которых изготавливают поршни, головки цилиндров и другие детали, работающие при температурах 275...300°С. Для крупногабаритных 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 (АК6, АК8), жаропрочные (АК4-1, Д20) сплавы и сплав авиаль (АВ). Дуралюмины подвергаются естественному старению, высокопрочные, ковочные и жаропрочные – закалке и искусственному старению.

Сплав Д16 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°C. Ковочные сплавы отличаются высокими пластическими свойствами при температурахковки и штамповки (380...450°C). Они применяются для деталей сложной формы и средней прочности (подмоторные рамы, крыльчатки, фитинги и др.).

Жаропрочные сплавы используются для деталей, работающих при температурах до 300°C (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_2O_3), содержащегося на поверхностных слоях частичек порошка алюминия. Содержание Al_2O_3 в САП колеблется от 6...9% (САП1) до 18...22% (САП4). С увеличением Al_2O_3 повышается предел прочности и соответственно снижается относительное удлинение. Данные сплавы обладают высокой жаропрочностью при длительном нагреве до 500°C.

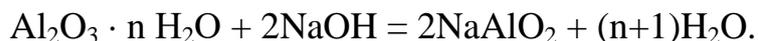
1.5.2 Технология производства алюминия

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:

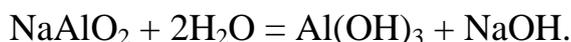
- 1) получения глинозема Al_2O_3 из руд,
- 2) получение алюминия из глинозема,
- 3) рафинирование алюминия.

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:

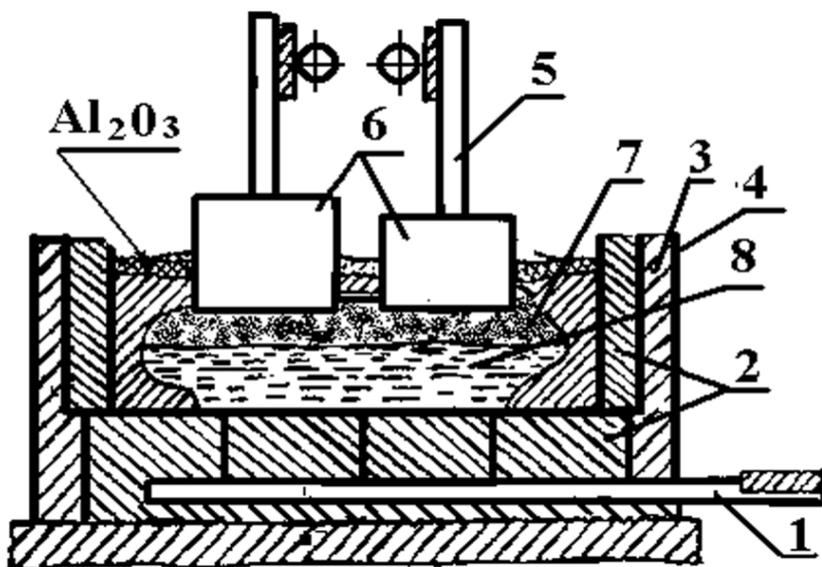


Образующийся гидрооксид алюминия выпадает в осадок в виде белых хлопьев. Его обезвоживают в трубчатых вращающихся печах прокаливанием при температуре до 1200°C:



Металлический алюминий получают электролизом измельченного глинозема Al_2O_3 , растворенного в криолите (Na_3AlF_6), в электролизной ванне – электролизере (рис.1.6).

Ванна имеет стальной кожух 4, футерованный шамотным кирпичом 3. Подина и стены ванны выложены угольными плитами 2. К подине подведены катодные шины 1, анодно-угольные блоки 6 присоединены к анодным стержням 5.



5. Через шихту 7, состоящую из криолита и глинозема, пропускают ток от 40000 до 150000А 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 сутки)

Рис. 1.6 Схема электролизной ванны.

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

1.6. Производство меди и сплавов на ее основе.

1.6.1 Производство меди.

Медь - немагнитный металл. Она обладает хорошей технологичностью: обрабатывается давлением, резанием, легко полируется, хорошо паяется и сваривается, имеет высокую коррозионную стойкость. Основная область применения - электротехническая промышленность.

Медь добывают из оксидных и сульфидных руд. Из сульфидных руд выплавляют 80% всей добываемой меди.

Медь относится к группе цветных металлов, наиболее широко применяемых в промышленности. Порядковый номер меди в периодической системе Д. И. Менделеева - 29, атомный вес $A=63,57$. Медь имеет гранцентрированную кубическую решетку (ГЦК) с периодом $a=3,607\text{\AA}$. Удельный вес меди $g=8,94\text{ г/см}^3$, температура плавления - 1083°C . Чистая медь обладает высокой тепло- и электропроводностью. Удельное электрическое сопротивление меди $0,0175\text{ мкОм}\times\text{м}$, теплопроводность $l = 395\text{ Вт}/(\text{м}\times\text{град})$. Предел прочности $s_b=200\dots250\text{ МПа}$, твердость $85\dots115\text{ НВ}$, относительное удлинение $d = 50\%$, относительное сужение $y = 75\%$.

Электропроводность меди существенно понижается при наличии даже очень небольшого количества примесей. Поэтому в качестве проводникового материала применяют в основном особо чистую медь М00 (99,99 %), электролитическую медь М0 (99,95 %), М1 (99,9 %). Марки технической меди М2 (99,7 %), М3 (99,5 %), М4 (99,0 %).

В зависимости от механических свойств различают медь твердую, нагартованную (МТ) и медь мягкую, отожженную (ММ).

Вредными примесями в меди являются висмут, свинец, сера и кислород. Действие висмута и свинца аналогично действию серы в стали; они образуют с медью легкоплавкие эвтектики, располагающиеся по границам зерен, что при-

водит к разрушению меди при ее обработке давлением в горячем состоянии (температура плавления эвтектики соответственно 270°C и 326°C).

Как правило, медные руды содержат много пустой породы. Поэтому для получения меди используется процесс обогащения. Процесс состоит из ряда операций: обжига, плавки, конвертирования, огневого и электролитического рафинирования. В процессе обжига большая часть примесных сульфидов превращается в оксиды. Так, главная примесь большинства медных руд пирит FeS_2 превращается в Fe_2O_3 . Газы, образующиеся при обжиге, содержат CO_2 , который используется для получения серной кислоты. Получающиеся в процессе обжига оксиды железа, цинка и других примесей отделяются в виде шлака при плавке. Жидкий медный штейн (Cu_2S с примесью FeS) поступает в конвертор, где через него продувают воздух. В ходе конвертирования выделяется диоксид серы и получается черновая или сырая медь. Для извлечения ценных (Au , Ag , Te и т.д.) и для удаления вредных примесей черновая медь подвергается сначала огневому, а затем электролитическому рафинированию. В ходе огневого рафинирования жидкая медь насыщается кислородом. При этом примеси железа, цинка и кобальта окисляются, переходят в шлак и удаляются. А медь разливают в формы. Получающиеся отливки служат анодами при электролитическом рафинировании.

Основным компонентом раствора при электролитическом рафинировании служит сульфат меди - наиболее распространенная и дешевая соль меди. Для увеличения низкой электропроводности сульфата меди в электролит добавляют серную кислоту. А для получения компактного осадка меди в раствор вводят небольшое количество добавок (рис.1.7).

Сера и кислород снижают пластичность меди за счет образования хрупких химических соединений Cu_2O и Cu_2S .

В качестве конструкционного материала технически чистую медь применяют редко, так как она имеет низкие прочностные свойства, твердость. Основными конструкционными материалами на основе меди являются сплавы латуни и бронзы.

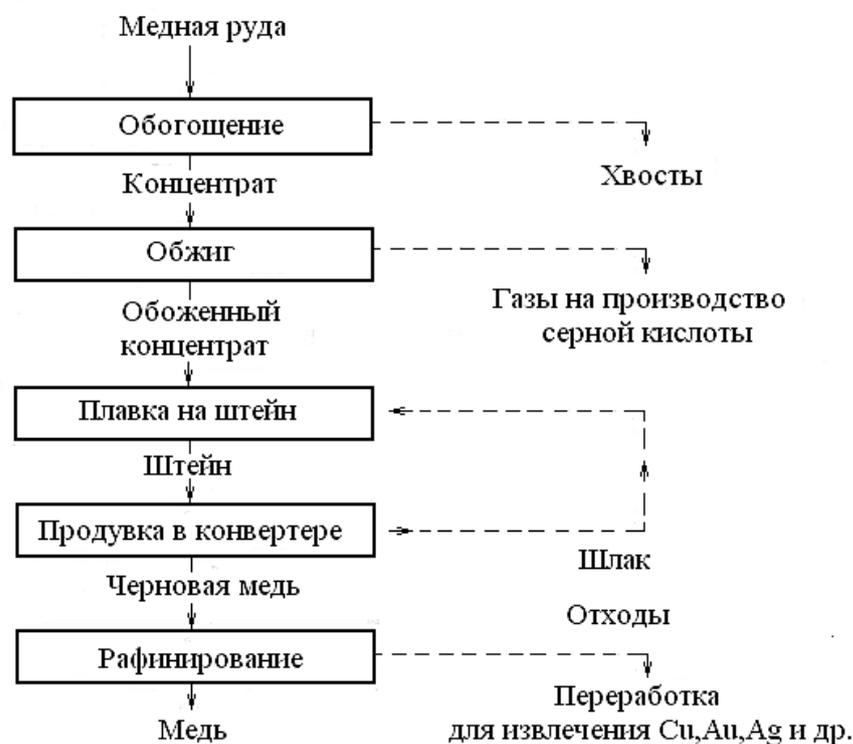


Рис. 1.7. Процесс получения меди из медной руды.

Для маркировки медных сплавов используют следующее буквенное обозначение легирующих элементов:

- О - олово; Ц - цинк; Х - хром;
- Ж - железо; Н - никель; С - свинец;
- К - кремний; А - алюминий; Ф - фосфор;
- Мц - марганец; Мг - магний; Б - бериллий.

1.6.2 Производство латуни.

Латуни - это медные сплавы, в которых основным легирующим элементом является цинк. Иными словами это соединение в процессе плавки в индукционной печи промышленной частоты меди и цинка, причем количество цинка в зависимости от требуемой прочности конечного изделия может меняться в пределах 10-40%. В зависимости от содержания цинка латуни промышленного применения бывают:

1. однофазные α - латуни, содержащие до 39 % цинка (это предельная растворимость цинка в меди);
2. двухфазные $(\alpha+\beta)$ - латуни, содержащие до 46 % цинка;
3. однофазные β - латуни, содержащие до 50 % цинка.

Однофазные α - латуни пластичны, хорошо обрабатываются резанием, давлением при температурах ниже 300°C и выше 700°C (в интервале от 300°C до 700°C - зона хрупкости). С увеличением содержания цинка прочность латуней повышается. В латунях β - фаза представляет собой упорядоченный твердый раствор на базе электронного соединения CuZn с решеткой ОЦК, она хрупкая и прочная. Поэтому, чем больше в латунях β - фазы, тем они прочнее и менее пластичны. Практическое применение имеют латуни с содержанием цинка до 42...43%.

Латуни, обрабатываемые давлением, маркируются буквой Л (латунь), после которой ставятся буквенные обозначения легирующих элементов; цифры, следующие за буквами, указывают содержание меди и количество соответствующего легирующего элемента в процентах. Содержание цинка определяется по разности от 100 %. Например, латунь Л62 содержит 62 % Cu и 38 % Zn . Литейные латуни маркируются буквой Л, после которой ставится содержание цинка и других легирующих элементов в процентах. Количество меди определяется по разности от 100 %. Например, латунь ЛЦ36Мц20С2 содержит 36 % Zn , 20 % Mn , 2 % Pb и 42 % Cu .

К однофазным α - латуням относятся Л96 (томпак), Л80 (полутомпак), Л68, имеющая наибольшую пластичность ($d = 56\%$). Двухфазные ($\alpha+\beta$) - латуни марок Л59 и Л60 имеют меньшую пластичность в холодном состоянии, но большую прочность и износостойкость. Однофазные имеют после отжига $s_b=250...350\text{МПа}$ и $d = (50...56) \%$; двухфазные - $s_b = 400...450\text{МПа}$ и $d = (35...40 \%)$.

Для повышения механических свойств и коррозионной стойкости латуни могут легироваться оловом, алюминием, марганцем, кремнием, никелем, железом и др. Введение легирующих элементов (кроме никеля) уменьшает растворимость цинка в меди и способствует образованию β - фазы, поэтому такие латуни чаще двухфазные ($\alpha+\beta$). Никель увеличивает растворимость цинка в меди, и при достаточном его содержании латунь из двухфазной становится однофазной. Свинец облегчает обрабатываемость резанием и улучшает антифрикционные свойства. Сопротивление коррозии повышают Al , Zn , Si , Mn , Ni , Sn .

В морском судостроении применяются оловянистые "морские" латуни, например, ЛО70-1 (70 % Cu, 1 % Sn, 29 % Zn). Она используется для изготовления конденсаторных трубок, деталей теплотехнической аппаратуры.

В процессе производства латуни в печь сначала вводят и расплавляют медь. Цинк и свинец предварительно разогревают до температуры в 100 градусов, а в расплавленную медь вводят в конце процесса изготовления латуни. Весь процесс производится с помощью древесного угля, укрывающего расплавленный металл и вводимого в печь с начальной порцией меди. А если речь идет о производстве кремнистой латуни, то вместо древесного угля используют специальные флюсы. Добавление цинка в процессе производства сплава позволяет придать меди более высокую прочность и сделать ее более твердой.

Алюминиевые латуни используют для изготовления конденсаторных трубок, цистерн, втулок, а также для изготовления коррозионно-стойких деталей, работающих в морской воде. Марки латуней: ЛА77-2, ЛАЖ60-1-1, ЛАН59-3-2 (в электрических машинах, в хим. машиностроении). Из латуни ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5 изготавливают цельнотянутые круглые трубы для производства манометрических трубок и пружин в приборах повышенного класса точности. С помощью закалки и старения св достигает 700 МПа.

Марганцевые латуни кроме хороших механических и технологических свойств (обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии) обладают высокой коррозионной стойкостью в морской воде, хлоридах и перегретом паре. Латуни ЛМц 58-2 и ЛМцА 57-3-1 применяются в основном для изготовления крепежных изделий арматуры.

Кремнистые латуни характеризуются высокой прочностью (s_b до 640 МПа), пластичностью и вязкостью до минус 183 °С. Латунь ЛК80-3 применяют для изготовления арматуры, деталей приборов в судостроении и общем машиностроении.

Свинцовистые латуни отлично обрабатываются резанием и обладают высокими антифрикционными свойствами. Латуни ЛС60-1, ЛС59-1 применяют для изготовления крепежных деталей, зубчатых колес, втулок.

Никелевая латунь обладает повышенными механическими (s_b до 785 МПа) и коррозионными свойствами, обрабатывается давлением в холодном и горячем

состоянии. Латунь ЛН65-5 применяется для изготовления манометрических и конденсаторных трубок, различного вида проката.

Литейные латуни содержат те же элементы, что и латуни, обрабатываемые давлением; от последних литейные отличаются, как правило, большим легированием цинком и другими металлами. Вследствие этого они обладают хорошими литейными характеристиками.

1.6.3 Производство бронзы.

Бронзы – если вкратце то, это сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием и другими элементами.

Бронза – появляется в процессе добавления к расплавленной меди олова (его количество может составлять до 10%), свинца и алюминия. В зависимости от типа добавляемого к меди металла, изменяется и процесс производства бронзы, и оборудование, которое для этого требуется.

Например, для изготовления бронзы из сплава меди и олова применяются индукционные электрические печи, а для сплава меди с алюминием применяются дуговые электропечи, а также коксовые или нефтяные печи. Различные составляющие части сплава помещаются в печь в определенном порядке, установленном технологией производства.

По технологическому признаку бронзы делятся на деформируемые и литейные. Деформируемые маркируются буквами Бр, после которых перечисляются легирующие элементы, а затем соответственно содержание этих элементов в процентах. Содержание меди определяется по разности от 100 %. Например, БрОЦС 8-4-3 содержит 8% Sn, 4% Zn, 3% Pb, 85% Cu.

Литейные бронзы маркируются аналогично литейным латуням. Например, бронза Бр06Ц3Н6 содержит 6% Sn, 3% Zn, 6% Pb, 85% Cu.

Бронзы по сравнению с латунями обладают лучшими механическими, антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью.

Оловянные бронзы. Наибольшее практическое значение имеют сплавы, содержащие до 10...12% Sn. Предельная растворимость олова в меди 15,8%, однако в реальных условиях кристаллизации и охлаждения предельная растворимость снижается примерно до 6%. К однофазным сплавам относятся бронзы с

содержанием олова до 5...6% и α - фаза, представляет твердый раствор олова в меди с ГЦК - решеткой. При большем содержании олова наряду с α — раствором присутствует эвтектид ($\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$). Предел прочности бронзы возрастает с увеличением олова, но при его высоких концентрациях резко снижается из-за большего количества хрупкого интерметаллида $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$.

Оловянные бронзы обычно легируют Zn, Pb, Ni, P. Цинк улучшает технологические свойства бронзы и удешевляет ее. Фосфор улучшает литейные свойства. Для изготовления художественного литья содержание фосфора может достигать 1%. Свинец (до 3...5%) вводится в бронзу для улучшения ее обрабатываемости резанием. Никель повышает механические свойства, коррозионную стойкость и плотность отливок, уменьшает ликвацию. Среди медных сплавов оловянные бронзы имеют самую низкую линейную усадку (0,8% при литье в землю и 1,4 % - в металлическую форму). Для проведения пластичности проводится гомогенизация сплавов при температурах 700...750⁰С с быстрым охлаждением. Остаточные напряжения снимаются отжигом при 550⁰С.

Оловянные деформируемые бронзы Бр0Ф7-0.2, БрОЦС4-4-4, БрОЦ4-3 и другие имеют более высокую прочность, упругость, сопротивление усталости, чем литейные. Их используют для изготовления подшипников скольжения, шестерен, трубок контрольно - измерительных и других приборов, манометрических пружин и т.д.

Литейные оловянные бронзы. По сравнению с деформируемыми они содержат большее количество легирующих элементов, имеют ниже жидкотекучесть, малую линейную усадку, склонны к образованию усадочной пористости. Бронзы БрОЗЦ7С5Н, БрО10Ф1, БрО6Ц6С3, БрО5С25 и другие применяются для изготовления арматуры, работающей в воде и водяном паре, подшипников, шестерен, втулок.

Алюминиевые бронзы отличаются высокими механическими антикоррозионными свойствами, жидкотекучестью, малой склонностью к дендритной ликвации. Из-за большой усадки трудно получить сложную фасонную отливку. Они морозостойки, немагнитны, не дают искры при ударах. По коррозионной стойкости превосходят латуни и оловянистые бронзы.

Алюминий растворяется в меди, образуя α — твердый раствор замещения с пределом растворимости 9,4 %. При большем содержании в структуре появляется эвтектоид ($\alpha + \beta$); β - интерметаллид $\text{Cu}_{32}\text{Al}_9$.

Однофазные бронзы БрА5, БрА7 имеют хорошую пластичность и относятся к деформируемым. Обладают наилучшим сочетанием прочности и пластичности: $\sigma_b = 400 \dots 450$ МПа, $\delta = 60$ %.

Двухфазные бронзы ($\alpha + \beta$) имеют повышенную прочность до 600 МПа, но пластичность заметно ниже $\delta = (35 \dots 45)$ %. Эти сплавы упрочняются термообработкой и дополнительно легируются Fe, Ni, Mn.

Железо измельчает зерно и повышает механические и антифрикционные свойства алюминиевых бронз. Никель улучшает механические свойства и износостойкость, температуру рекристаллизации и коррозионную стойкость. Марганец повышает технологические и коррозионные свойства.

Бронзы БрАЖН10-4-4, БрАЖМц10-3-1-5 и др. применяются для изготовления зубчатых колес, деталей турбин, седел клапанов и других деталей, работающих в тяжелых условиях износа при повышенных температурах до 400°C , корпуса насосов, клапанные коробки и др.

Закалка проводится с температуры 950°C , после чего бронзы подвергают старению при $250 \dots 300^\circ\text{C}$ в течение 2...3 ч.

Кремнистые бронзы применяются в качестве заменителей оловянистых бронз. До 3% кремний растворяется в меди, и образуется однофазный α -твердый раствор. При большем содержании кремния появляется твердая и хрупкая β -фаза. Никель и марганец улучшает механические и коррозионные свойства. Они не теряют пластичности при низких температурах, хорошо паяются, обрабатываются давлением, немагнитны и не дают искры при ударах. Их используют для деталей, работающих до 500°C , а также в агрессивных средах (пресная, морская вода).

Бронзы БрКН1-3, БрКМц3-1 применяют для изготовления пружин, антифрикционных деталей, испарителей и др.

Бериллиевые бронзы. Содержат 2...2,5% Be. Эти сплавы упрочняются термической обработкой. Предельная растворимость бериллия в меди при 866°C

составляет 2,7%, при 600⁰С -1,5 %, а при 300⁰С всего 0,2%. Закалка проводится при 760...800 ⁰С в воде и старение при 300 ⁰С в течение 3 ч. Сплав упрочняется за счет выделения дисперсных частиц g-фазы Cu₃Sn, что приводит к резкому повышению прочности до 1250 МПа при d=3...5 %. Бронзы БрБ2, БрБНТ1,9 и БрБНТ1,7 имеют высокую прочность, упругость, коррозионную стойкость, жаропрочность, немагнитны, искробезопасны (искра не образуется при размыкании электрических контактов). Применяются для изготовления мембран, пружин, электрических контактов.

Свинцовые бронзы. Свинец практически не растворяется в жидкой меди. Поэтому сплавы после затвердевания состоят из кристаллов меди и включений свинца. Такая структура обеспечивает высокие антифрикционные свойства. Бронза БрС30 применяется для изготовления вкладышей подшипников скольжения, работающих при повышенных давлениях и с большими скоростями. По сравнению с оловянистыми бронзами, теплопроводность ее в 4 раза больше, поэтому она хорошо отводит теплоту, возникающую при трении. Прочность этих бронз невысокая $s_b = 60$ МПа, $d = 4$ %.

Технологические процессы получения других металлов и сплавов рассмотрены в специальной технической литературе.

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Перечислите основные процессы получения черных и цветных металлов.
2. Виды и общая характеристика производства чугуна.
3. Что такое литейный чугун, пердедельный чугун и ферросплавы?
4. Какова технология производства сталей, сущность конверторного производства стали.
5. Какие материалы используются для производства сталей в электропечах?
6. Опишите особенности производства алюминия и его сплавов.
7. Дайте характеристику алюминиевых сплавов.
8. Какие компоненты содержат бериллиевые бронзы?

9. Опишите процесс получения меди.
10. Что такое литейные оловянные бронзы?
11. Назовите предельную растворимость олова в меди.
12. Опишите процесс получения алюминия.
13. На какие группы делятся бронзы по технологическому признаку?
14. Опишите процесс получения бронзы.
15. Какой основной легирующий элемент у латуни?
16. Какие бывают латуни промышленного применения?
17. Для чего используют алюминиевые латуни?
18. Что представляют собою свинцовые бронзы?
19. В качестве, каких заменителей применяются кремнистые бронзы?
20. Какими свойствами отличаются алюминиевые бронзы?

Раздел 2

2. Заготовки для деталей машин.

2.1. Заготовки.

Заготовка -это предмет производства, из которого изменением формы, размеров, чистоты поверхностей и свойств материала изготавливают деталь или неразъёмную сборочную единицу.

От правильного выбора заготовки в значительной мере зависят общая трудоёмкость и себестоимость изготовления детали.

Выбрать заготовку - значит установить её рациональную форму и размеры, способ получения, допуски на изготовление, припуски на необрабатываемые поверхности и т.д.

В значительной мере выбор заготовки зависит от типа производства. В точно-массовом и серийном производстве стремятся приблизить конфигурацию заготовки к готовой детали, увеличить точность размеров и повысить качество поверхностей. При этом резко сокращается объём механической обработки, а коэффициент использования металла достигает 0,7-0,8 и более. В условиях мелкосерийного и единичного производства требования к конфигурации заготовки менее жёсткие, а коэффициент использования металла в лучшем случае равен 0,6.

Способ получения заготовки определяется следующими факторами:

- техническими возможностями заготовительных цехов;
- величиной программы выпуска и сроками выполнения программы;
- конструктивными формами и размерами детали;
- технологической характеристикой материала, его физико-механическими и физико-химическими свойствами, способностью термообрабатываться, пластически деформироваться, его литейной способностью и т.д.;
- требованиями к точности выполнения размеров и к шероховатости поверхности.

В зависимости от перечисленных выше факторов заготовки деталей машин получают четырьмя основными методами: литьём, обработкой давлением,

из проката, комбинированными способами.

Получение заготовок литьём. Отливки из чёрных и цветных металлов можно получать следующими способами литья:

1. Литьём в песчано-глинистые формы.
2. Литьём в оболочковые формы.
3. Литьём в металлические формы.
4. Центробежным литьём.
5. Литьём по выплавляемым моделям.
6. Литьём под давлением.

Точность литых заготовок находится в пределах 4-го - 9-го классов. Она зависит от способа литья, формы и размеров отливки. Самую низкую точность имеют отливки, полученные в песчаных формах, а самую высокую — литьём под давлением.

Комбинированные заготовки используются для деталей сложной конфигурации. Отдельные части изготавливают штамповкой, отливкой, из проката с последующим соединением этих элементов сваркой или механическими способами. Данный метод применяют при изготовлении крупных коленчатых валов (ковка отдельных элементов с последующей сваркой), рам строительных машин (резка проката с последующей сваркой), корпусов и т.д.

Заготовки из пластмасс используют при изготовлении некрупных деталей, не испытывающих больших механических нагрузок (крыльчаток насосов, шкивов, втулок, ручек). К недостаткам пластмасс относятся низкая ударная вязкость, недостаточная прочность, невысокая теплостойкость (до 250-300 °С).

Заготовки из металлокерамики используют у фрикционных деталей для обеспечения высокого коэффициента трения (0,26-0,32), например для накладок тормозных колодок. Металлокерамика, получаемая путём прессования порошковой смеси с последующим спеканием, эффективно применяется при изготовлении подшипниковых втулок.

2.1.1. Заготовки для типовых деталей.

В качестве типовых деталей машин можно выделить следующие основные типы: 1. Валы; 2. Втулки; 3. Зубчатые колёса; 4. Корпусные детали.

Рассмотрим методы получения заготовок для перечисленных выше типовых деталей.

Заготовки для валов получают, как правило, двумя основными способами:

1. Резкой сортового проката для гладких валов в условиях единичного и мелкосерийного производства.

2. Пластическим деформированием: ковкой, штамповкой, обжатием на ротационно-ковочных машинах, поперечно-винтовой прокаткой (в условиях серийного и массового производства).

Вид пластического деформирования зависит от формы вала.

Заготовки ступенчатых валов со значительным перепадом ступеней (рис. 2.1, а) изготавливают штамповкой в подкладных штампах: в открытых - в условиях серийного производства, в закрытых - в условиях крупносерийного и массового производства. Заготовки валов с фланцами (рис. 2.1, б) штампуют на горизонтально-ковочных машинах.

Заготовки ступенчатых валов с небольшим перепадом диаметров в крупносерийном и массовом производстве изготавливают поперечно-винтовой прокаткой (горячей прокаткой на трёхвалковых станах).

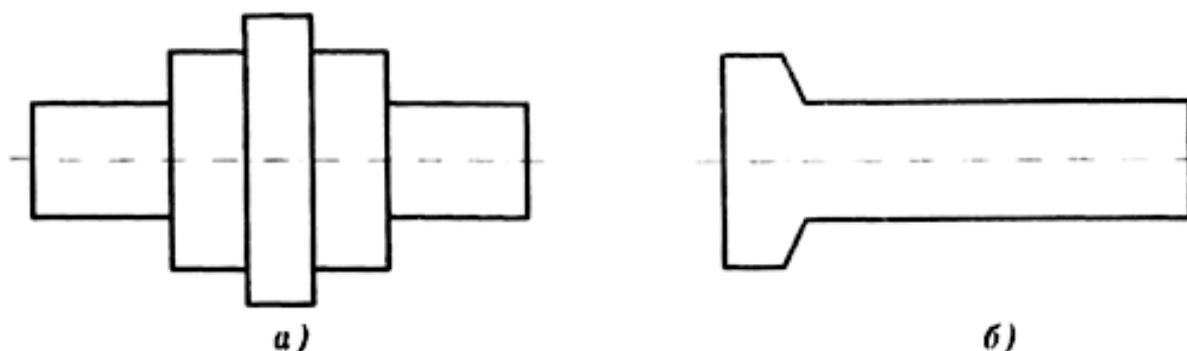


Рис. 2.1. Типы валов

Заготовки валов со значительным числом ступеней и существенным перепадом диаметров изготавливают ковкой на вертикальных радиально-ковочных машинах (ротационная ковка). Для тяжёлых валов (массой более 1 т) заготовки получают свободной ковкой. Для валов с небольшими перепадами диаметров в единичном и мелкосерийном производстве используют горячекатаный нормальный прокат.

Заготовки корпусных деталей в большинстве случаев выполняют литыми из серого чугуна и значительно реже из стали. Сварные корпуса применяют реже. Отливки получают чаще всего литьём в песчано-глинистые формы.

Заготовки для втулок из сталей, имеющих отверстие диаметром до 25 мм, изготавливают обычно из проката. Для чугунных и бронзовых втулок заготовки получают литьём сразу на несколько деталей. Для втулок с отверстиями диаметром более 25 мм применяют трубы и полые отливки.

Заготовки для зубчатых колёс из сталей диаметром до 70-80 мм, имеющих простую конфигурацию в виде диска, обычно получают из проката. Для более крупных зубчатых колёс и для ответственных передач заготовки изготавливают следующим образом:

- свободной ковкой в единичном производстве;
- штамповкой в открытых штампах в серийном производстве;
- штамповкой в закрытых штампах в крупносерийном производстве.

При штамповке заготовок может быть выполнена прошивка отверстия, если его диаметр более 30 мм при длине не более двух диаметров.

2. 2. Виды и требования к заготовке

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. 3. 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 смещения 0,8 мм:

Точность отливки 8-5-4-7 См 0,8 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.

2.3.1. Литье заготовок.

Литьё в песчано-глинистые формы используют для получения отливок простых форм из стали, чугуна, медных сплавов в условиях единичного, мелко-серийного и реже - серийного производства. Возможен широкий диапазон размеров и массы заготовок. Шероховатость поверхности литых заготовок обычно составляет $R_z=320...160$ мкм. Точность зависит от способа формовки. При ручной формовке песчано-глинистых форм по деревянным моделям или шаблонам обеспечивается точность по 15-му, 16-му качеству и ниже, а при машинной формовке по деревянным и металлическим моделям - по 14-му качеству и ниже. Минимальная толщина стенок отливки зависит от её размеров и материала. Для чугунных отливок, имеющих габаритный размер до 250 мм, она составляет 3-5 мм, а для стальных отливок - 5-8 мм.

Литьё в оболочковые формы основано на свойстве термореактивной смоло-песчаной смеси принимать форму подогретой металлической модели с образованием сравнительно тонкой и быстро затвердевающей оболочки. Этим способом изготавливают преимущественно сложные, повышенной точности заготовки из чугуна, стали и цветных сплавов массой до 25-30 кг, а иногда и более крупные отливки - до 100-150 кг. Способ используют, как правило, в крупносерийном и массовом производстве, он позволяет получать стальные литые заготовки с толщиной стенок 3-5 мм, а отливки из алюминиевых сплавов с толщиной стенок - 1-1,5 мм и с литыми отверстиями диаметром от 8 мм и более и глубиной до 20 мм. Допускаемые отклонения на размеры отливок соответствуют 14-му - 12-му качествам точности, а шероховатость поверхности $-R_z$ - 160...40 мкм.

Литьё в металлические формы (кокиль) применяется для получения заготовок из чёрных и цветных металлов в серийном и массовом производстве. Масса заготовок колеблется в очень широких пределах: для чугунных заготовок - от 10 г до 10 т, стальных - от 0,5 кг до 4 т, из цветных металлов и сплавов - от 5 кг до 500 кг. Этот вид литья отличается высокими механическими свойствами и равномерным мелкозернистым строением получаемых заготовок. Обеспечивается точность отливок по 12-му - 15-му качествам и шероховатость поверхности $I_{z2} = 160...80$ мкм. Этим способом часто получают отливки, не требующие

дальнейшей очистки и обработки, однако к отливкам предъявляются требования формы - они не должны иметь резких переходов по толщине стенок.

Центробежное литьё применяют для изготовления заготовок, имеющих форму тел вращения, массой от 10кг до 1т в серийном и массовом производстве. Этим методом можно изготовить биметаллические заготовки как заливкой жидкого металла на твёрдую поверхность, так и последовательной заливкой жидких металлов. Принцип этого метода состоит в том, что жидкий металл заливают в быстровращающуюся форму и он под действием центробежных сил принимает очертания формы и затвердевает. Обеспечивается точность отливок по 12-му - 14-му квалитетам и шероховатость поверхности $R_z = 40...20$ мкм.

Литьё по выплавляемым моделям (прецизионное) используют для получения весьма точных отливок сложной конфигурации преимущественно в серийном и массовом производстве. Благодаря высокой точности получаемых отливок дальнейшая механическая обработка может быть сведена к минимуму или вовсе исключена. Поэтому этот способ эффективен для сложных фасонных деталей или трудно обрабатываемых резанием материалов, т.е. в тех случаях, когда нежелательна или невозможна дальнейшая механическая обработка. Возможная масса отливок - от 1г до 500кг, толщина стенок - от 0,15мм при длине до 1м и более, минимально допустимый диаметр литого отверстия - 0,8мм, возможна отливка резьбы. Обеспечивается точность отливок по 11-му - 13-му квалитетам и шероховатость поверхности $R_z = 160... 20$ мкм.

Литьё под давлением - высокопроизводительный способ получения точных заготовок сложной формы из цинковых, алюминиевых, магниевых и латунных сплавов, жаропрочных и нержавеющей сталей в крупносерийном и массовом производстве. Могут быть отлиты сложные тонкостенные заготовки с глубокими полостями и сложными пересечениями стенок, с отверстиями, резьбой и другими элементами. Последующая механическая обработка таких заготовок либо совершенно исключается, либо сводится к выполнению отдельных операций. Этим способом может осуществляться армирование заготовок. Обеспечивается точность отливок по 10-му - 12-му квалитетам и шероховатость поверхности $R_z - 80...20$ мкм.

2. 4. Характеристика заготовок полученные прокаткой.

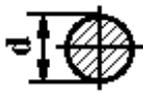
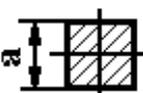
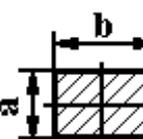
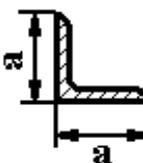
Прокат применяют в тех случаях, когда конфигурация детали соответствует какому-либо виду сортового или фасонного проката. Для деталей типа валов широко используют горячекатаные и калиброванные прутки. В условиях крупносерийного и массового производства с целью приближения формы заготовки к конфигурации деталей типа валов и осей целесообразно применение проката переменного поперечного сечения (периодического проката). Для деталей типа втулок, имеющих внутренние полости, используют горячекатаные бесшовные трубы различной толщины и диаметра. Для плоских призматических заготовок пользуются листовым и полосовым прокатом. Может быть использован также профильный прокат: угловая сталь, швеллеры, балки. При выборе размера проката используют стандарты. Сортовой прокат в качестве заготовок нашёл широкое применение в единичном и мелкосерийном производстве.

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 мелко-сортной, среднесортной или крупносортной. В таблице 2.1 представлены некоторые виды сортового проката. Примеры условного обозначения заготовок из сортового проката: Заготовка квадратная 150 ГОСТ 469345 / 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 3сп, толщиной 20 мм, шириной 500мм, с ребровой кривизной по классу А:

Полоса: А20 х 500 ГОСТ 82 / Ст3сп ГОСТ 14637

Группы сортового проката (размеры в мм). Таблица 2.1

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

2. 5. Характеристика поковок и штампованных заготовок

Заготовки, получаемые обработкой давлением подразделяются на поковки и штампованные заготовки. К обработке металлов давлением относятся следующие основные виды обработки:

1. Свободная ковка;
2. Горячая и холодная объёмная штамповка;
3. Штамповка на молотах и горизонтально-ковочных машинах;
4. Холодная листовая штамповка.

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.

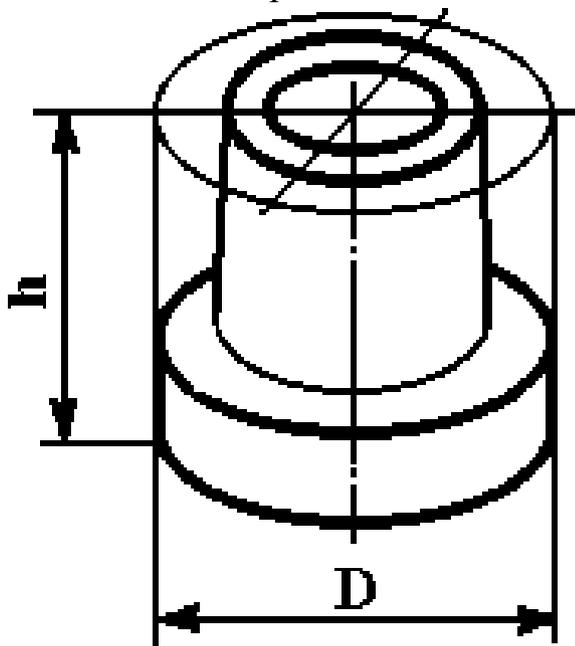
При получении заготовок обработкой давлением припуски и допуски на заготовки устанавливаются в зависимости от ее массы и размеров, степени сложности, класса точности, группы стали и шероховатости обработанной поверхности. Заготовки в зависимости от назначения изготавливаемых из них деталей подразделяются:

- 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 формуле:

$$C = m_z / m_{\phi} \quad (2.1)$$

где m_z – масса (объем) заготовки;
 m_{ϕ} – масса (объем) геометрической фигуры (цилиндра или параллелепипеда), в которую вписывается данная заготовка (рис. 2.2).

В таблице 2.2 указана степень сложности поковок и штампованных заготовок.

Рис. 2.2 Схема определения массы (объема) геометрической фигуры.

Степень сложности поковок и штампованных заготовок. Таблица 2.2

Степень сложности	С1	С2	С3	С4
Отношение С	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:

- С1 – не более 2-х переходов; С2 – при трех переходах;
 С3 – при четырех переходах; С4 – более четырех переходов.

Свободная ковка применяется в единичном и мелкосерийном производстве для заготовок простой формы весом до 250 т. Ковку ведут на ковочных молотах и гидравлических ковочных прессах. Поковки имеют обычно большие припуски. В мелкосерийном производстве для уменьшения припусков применяют

подкладные штампы. Заготовку, полученную свободной ковкой с помощью универсального кузнечного инструмента, помещают в подкладной штамп, где она принимает форму, близкую к форме готовой детали. Обеспечивается шероховатость поверхности до Rz -360 мкм.

Горячая объёмная штамповка широко используется в крупносерийном и в несколько меньших масштабах в массовом производстве. Этим способом получают заготовки разных форм и размеров из сталей, цветных металлов и сплавов массой до 15 кг. Штамповку выполняют на молотах и прессах в открытых и закрытых штампах. В закрытых штампах обычно штампуют детали, представляющие собой тела вращения - диски, шестерни и т.д. Обеспечивается точность по 12-му -13-му квалитетам и шероховатость поверхности $Rz = 320...80$ мкм.

Штамповка на молотах используется в серийном и массовом производстве для заготовок массой до 200 кг. Она осуществляется в подкладных и молотовых штампах. В подкладных штампах изготавливают заготовки простых форм, а в молотовых — более сложные в условиях крупносерийного и массового производства. Обеспечивается точность по 12-му -13-му квалитетам и шероховатость поверхности $Rz = 320...80$ мкм.

Штамповка на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) используется в серийном и массовом производстве для заготовок массой до 1 5 кг. Она характеризуется высокой производительностью, экономией металла и повышенной точностью получаемых заготовок. На ГКМ используют штампы с разъёмными матрицами и штампуют обычно заготовки для стержней со всевозможными головками и утолщениями, а также для простых и сложных колец. Обеспечивается точность по 12-му -13-му квалитетам и шероховатость поверхности $Rz = 320...80$ мкм.

Холодная объёмная штамповка применяется в серийном и массовом производстве. При холодной штамповке (особенно выдавливании) резко сокращается объём механической обработки и отходы металла в стружку. Вследствие механического упрочнения в процессе выдавливания малоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей их предел прочности при растяжении и предел текучести значительно повышаются. Холодная объёмная штамповка включает: объёмную

штамповку осадкой и выдавливанием, холодную высадку, калибровку, чеканку, выдавливание полостей в массивных заготовках. Объёмная штамповка осадкой позволяет выпускать мелкие рычажки, защёлки и т.п. Процесс холодного выдавливания применяется для получения сплошных или полых цилиндрических заготовок, а также заготовок шестигранных, квадратных и других форм. Холодной высадкой изготавливают крепёжные детали, панели, толкатели.

Холодная листовая штамповка применяется для изготовления плоских пространственных тонкостенных деталей из листового, ленточного, полосового металла или неметаллических материалов. Листовой металл толщиной от 0,15 до 8 мм штампуют в холодном состоянии, а толщиной от 8 до 60 мм — в горячем.

2. 6. Характеристика прессованных профилей

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

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

При прессовании металл (заготовка 2) выдавливается из замкнутой полости через отверстие, соответствующее сечению прессуемого профиля (рис. 2.3, а). Исходной заготовкой при прессовании служит слиток или прокат. Состояние поверхности заготовки оказывает значительное влияние на качество профилей. Поэтому заготовку предварительно обтачивают на станке, а после нагрева поверхность тщательно очищают от окалины.

Прессованием изготавливают изделия разнообразного сортамента из цветных металлов и сплавов, в том числе прутки диаметром 3-250 мм, трубы диаметром 20-400 мм со стенкой толщиной 1,5-12 мм и другие профили (рис. 2.3, б). Прессованием можно обрабатывать такие специальные стали, цветные металлы и их сплавы, которые из-за низкой пластичности другими видами обработки давлением деформировать невозможно или затруднительно.

Прессование позволяет получать профили сложных форм, которые не могут быть получены другими видами обработки металлов давлением.

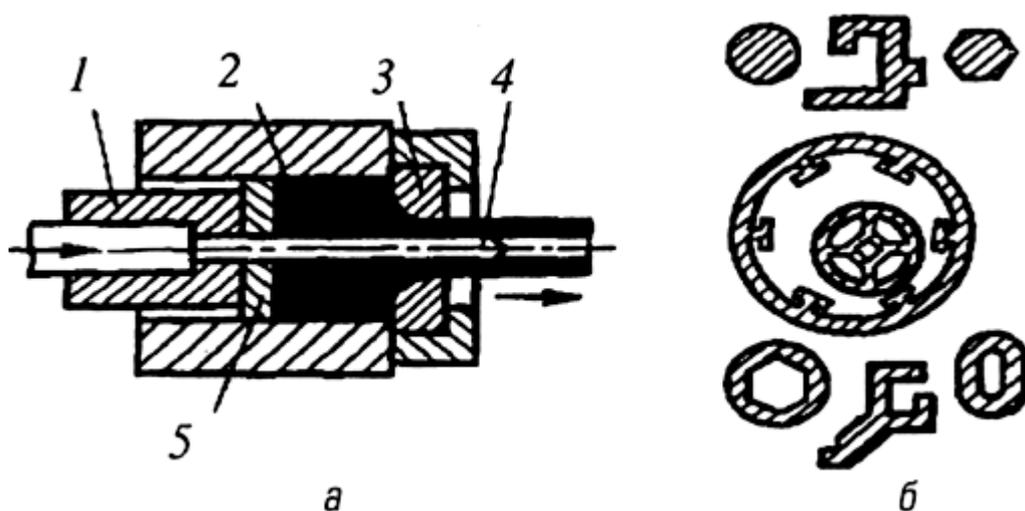


Рис. 2.3. Схема прессования полого профиля (а) и (б) примеры профилей, полученных прессованием

Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных.

Недостатком прессования являются большие отходы металла: весь металл не может быть выдавлен из контейнера, и в нем всегда остается пресс-остаток, масса которого может достигать до 40% массы исходной заготовки.

Инструментом при прессовании является пуансон 1, пресс-шайба 5, матрица 3 и игла 4 (рис. 2.3, а). Инструмент при прессовании работает в исключительно тяжелых условиях, испытывая, кроме больших давлений, действие высоких температур. Износ инструмента особенно велик при прессовании сталей и трудно деформируемых сплавов.

Основным оборудованием при прессовании являются вертикальные или горизонтальные гидравлические прессы.

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?
8. Перечислите основные недостатки прессования.
9. Как получают заготовку при прессовании металла?
10. Когда применяется холодная объёмная штамповка?
11. Где используется штамповка на горизонтально-ковочных машинах?
12. Где используется штамповка на молотах?
13. Где применяется свободная ковка?
14. Как происходит литьё под давлением?
15. Для чего используют литьё по выплавляемым моделям (прецизионное)?
16. Где применяется центробежное литьё?
17. Для чего используют литьё в металлические формы (кокиль)?
18. На чем основано литьё в оболочковые формы?
19. Для чего используют литьё в песчано-глинистые формы?
20. От чего зависит выбор заготовки?

Раздел 3

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 5 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. Сущность и значение литейного производства

Литейное производство - отрасль машиностроения, занимающаяся изготовлением литых фасонных (сложных по форме) заготовок путем заливки расплавленного металла в литейную форму.

Литейная форма - промежуточное изделие, образующее рабочую полость, после заполнения которой металлический расплав в процессе дальнейшего охлаждения формирует отливку (литую фасонную заготовку).

Заготовка, получаемая в литейном производстве, в любом случае называется *отливка*, являясь полуфабрикатом для изготовления детали машины.

Литейные цеха, где производят отливки, преимущественно располагаются на машиностроительных заводах и в первую очередь обслуживают внутренние потребности в заготовках самого предприятия-изготовителя.

Для получения отливки необходимы два промежуточных продукта:

- литейная форма; - металлический расплав.



Рис. 3.1. Схема получения отливок.

Формирование отливки в литейной форме осуществляется благодаря тому, что жидкому металлу с помощью *рабочей полости* формы придается требуемая конфигурация, после чего он охлаждается и затвердевает (кристаллизуется), переходя в твердое, сохраняющее форму тело. В процессе затвердевания металл отливки приобретает *литую (дендритную) структуру*, возникающую в результате кристаллизации расплава. После обработки отливки резанием получают деталь с литой структурой. Поэтому такие детали называют *литыми деталями*. Это означает, что последние изготовлены из *литейных сплавов*, на что указывается в чертежах деталей с помощью маркировки сплавов (см. п. 3.4).

Литейные формы можно изготавливать из различных неметаллических и металлических материалов. Однако чаще всего их получают из кварцевого песка с небольшими добавками глины, воды и других веществ.

Различают разовые и многократные (многоразовые) литейные формы. *Разовая форма* применяется для получения одной отливки, так как после затвердевания и охлаждения металла отливку извлекают из формы, разрушая ее. Пример разовой формы - форма, изготовленная на основе кварцевого песка. *Многократная* (многоразовая) форма, (например, изготовленная из чугуна или стали) может использоваться для получения сотен, тысяч и десятков тысяч отливок.

Существует два способа заливки металла в формы.

1. Обычная заливка, при которой металл заполняет литейную форму свободно под действием силы тяжести. К этому способу относится литье в песчано-глинистые формы.

2. Специальные способы литья, их существует около 15, основными из которых являются:

- литье под давлением;
- центробежное литье;
- литье в кокиль (в металлические формы);
- литье в оболочковые формы;
- литье по выплавляемым, выжигаемым или растворяемым моделям.

Также существует несколько способов заливки металлического расплава в литейную форму:

свободная заливка - металл заполняет форму свободно под действием силы притяжения Земли;

заливка под давлением - металл заполняет форму под воздушным или поршневым давлением;

центробежная заливка - металл заполняет форму под действием центробежной силы, и другие способы.

В качестве материала отливок используются серые, высокопрочные и другие виды чугунов; углеродистые и легированные стали; медные, алюминиевые, магниевые, цинковые сплавы и др. Литейные сплавы должны обладать хорошими *литейными свойствами* (высокой жидкотекучестью, малыми усадкой и склонностью к образованию трещин и др.), а также требуемыми физическими и эксплуатационными свойствами. Литейные свойства относятся к группе техно-

логических свойств материалов. Возможность получения тонкостенных, сложных по форме или больших по размерам отливок без дефектов во многом предопределяется литейными свойствами сплавов.

Для изготовления отливок применяют не один десяток способов литья. Область применения того или иного способа литья определяется объемом производства, требованиями к геометрической точности и качеству поверхности отливок, экономической целесообразностью и другими факторами.

В заготовительном производстве машиностроения литейное производство после обработки металлов давлением занимает по значимости второе место. Перед литейным производством стоит задача получения отливок с максимальным приближением их формы и размеров к форме и размерам готовой детали. Только при этом условии может быть снижен объем дальнейшей обработки резанием, являющейся трудоемкой операцией. Общий выпуск отливок в России в 1913 г. составлял 0,5 млн т, в 1975 г. в СССР - 25 млн т.

Сейчас литьем получают разнообразные конструкции отливок массой от нескольких граммов до 300т, длиной от нескольких сантиметров до 20м, со стенками толщиной 0,5-500мм (блоки цилиндров, поршни, коленчатые валы, корпуса и крышки редукторов, зубчатые колеса, станины металлорежущих станков, станины прокатных станов, турбинные лопатки и др.). В машиностроении масса литых деталей составляет около 50% массы машин и механизмов, в станкостроении - около 80%. Способом литья получают до 82% изделий из чугуна, до 23% - из стали, 3 - 6% - из цветных сплавов.

Достоинства литейной технологии:

- универсальность, позволяющая получать отливки практически любой конфигурации из большой номенклатуры сплавов, широкого диапазона размеров и массы; при этом удается производить заготовки очень сложной конфигурации, которые другими видами обработки - ковкой, прокаткой, штамповкой, сваркой - получить затруднительно или *невозможно*;

- стоимость литой детали в большом количестве случаев ниже стоимости аналогичной детали, изготовленной из другого вида заготовок.

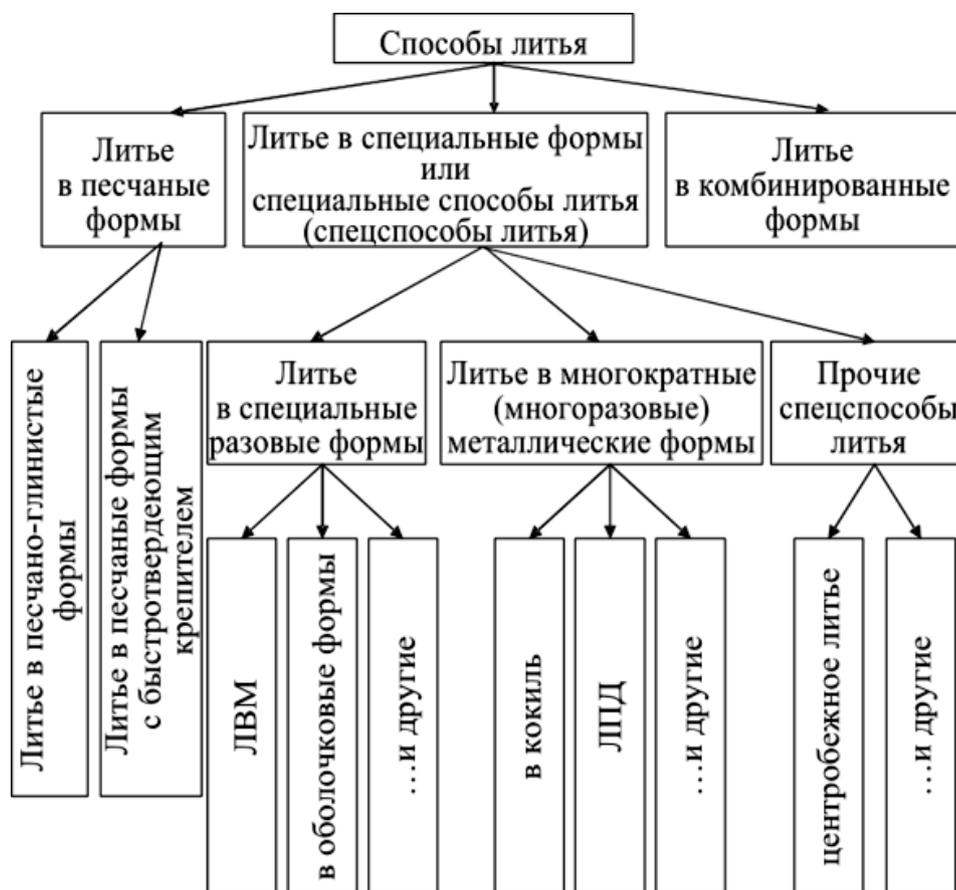


Рис. 3.2. Способы литья.

Недостатки процесса литья:

- пониженные прочность и пластичность металла литой заготовки по сравнению с металлом, прошедшим обработку давлением;
- необходимость проведения сложных и дорогостоящих операций по обеспечению техники безопасности и экологической защиты окружающей среды.

3.3 Получение заготовок в песчаной литейной форме.

Литье в песчано-глинистые формы – основной метод производства отливок. Этим методом получают литые детали как простой, так и сложной формы, наиболее крупные отливки, которые нельзя получить другими способами.

Заготовки, получаемые в песчаных литейных формах, имеют толщину стенок от 2 мм, длину до 30 метров и массу от не скольких 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. Из песчано-глинистых смесей изготавливают только *разовую* литейную форму (разрушаемую при извлечении из опоки готовой от-

ливки). Литейные формы изготавливают ручным или машинным способами.

Ручную формовку применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Основные способы литья и область их применения. Таблица 3.1

Способ литья	Область применения	Преимущества и недостатки
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 несложных 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 до 25... 30, 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 выплавляемым и газифируемым 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.

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 их производительность 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.

Применение специальных способов литья позволяет уменьшить брак в литейном производстве. При литье в металлические формы, центробежным литьем обеспечивается получение отливок высокой точности. Наряду с этим специальные способы литья применимы лишь для изделий сравнительно небольших размеров (масса до 300 кг).

Для изготовления литейной формы необходимо иметь модельный комплект. В общем случае модельный комплект состоит из модели, стержневого ящика и моделей элементов литниковой системы.

Модель – это прообраз будущей отливки, с помощью модели формообразуется, в основном, ее наружная конфигурация. От отливки модель отличается материалом, наличием стержневых знаков (если отливка полая и для формирования полости необходим стержень), наличием разъема (если формовка производится по разъемной модели), размерами, превышающими соответствующие размеры отливки на величину линейной усадки сплава.

Стержневой ящик – это часть модельного комплекта, предназначенная для изготовления стержня. Стержень, в свою очередь, необходим для формирования внутренней конфигурации отливки (для получения отверстий).

Литниковая система – это совокупность каналов в литейной форме, подводящих расплавленный металл, улавливающих шлак и неметаллические включения, отводящих из формы газы, а также питающих отливку жидким металлом в процессе ее кристаллизации.

3.3.1. Технология получения отливок

Технологический процесс производства отливок в песчано-глинистых формах включают формовку, т. е. приготовление полуформы и стержней; сборку литейных форм; заливку расплава, выбивку и очистку отливок.

Для изготовления литейных форм из формовочных смесей применяют модельно-опочную оснастку. В нее входят модели, модельные плитки, стержневые ящики и т. д.

Для облегчения изучения процесса изготовления отливки рассмотрим схему технологического процесса (рис. 3.3).

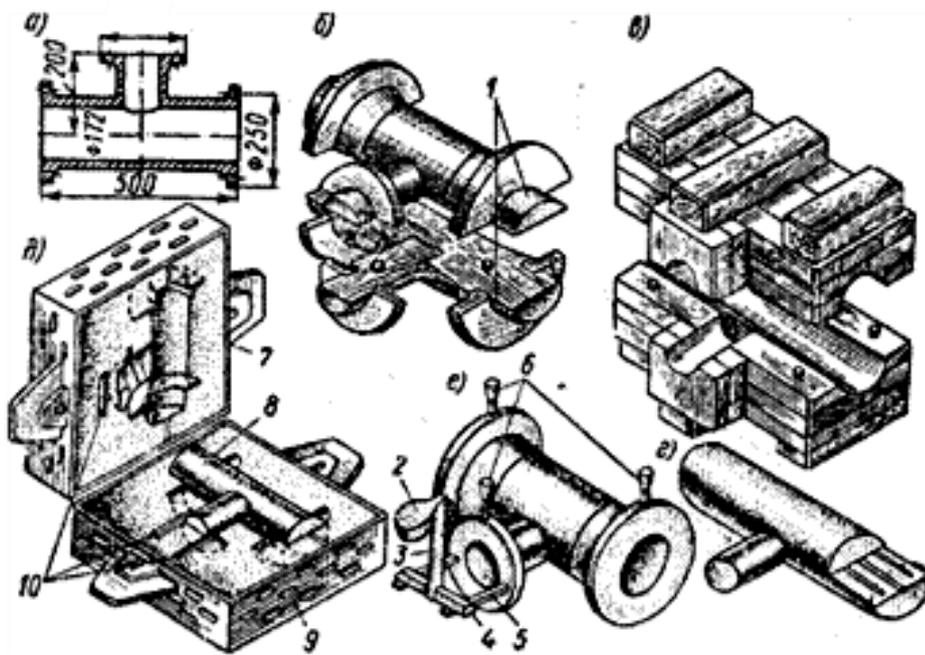


Рис. 3.3. Схема технологического процесса изготовления отливка тройника.

1-стержневые знаки, 2-чашка, 3-стояк, 4-шлакоуловитель, 5-уловитель,

6-выпор, 7-верхняя опока, 8-сетржень, 9-нижняя опока, 10-литниковая система.

По чертежу детали (рис. 3.3, а) технолог-литейщик разрабатывает чертеж модели и стержневого ящика. В модельном цехе по этим чертежам изготавливают модель (рис. 3.3, б) и стержневой ящик (рис. 3.3, в), при этом учитываются припуски на механическую обработку и усадку сплава при остывании. С целью получения опорных поверхностей для установки стержней на моделях выполнены стержневые знаки. По стержневому ящику формируют стержень (рис. 3.3, г), который предназначен для образования в отливке внутренней полости.

Для заливки формы металлом имеется литниковая система, состоящая из чаши, стояка, шлакоуловителя, питателей и выпоров (рис. 3.3, е).

При сборке в нижнюю полуформу устанавливают стержень, затем соединяют обе полуформы и нагружают балластом. Литейная форма в сборе показана на рис. 3.3, д.

В плавильном отделении расплавляют металл и заливают в формы. Остывшую отливку выбивают из формы и передают в отделение очистки и обрубки, где ее очищают от формовочной стержневой смеси и обрубают остатки литника, заливки и др.

Модели – приспособления, при помощи которых в формовочной смеси получают отпечатки – полости, соответствующие наружной конфигурации отливок. Отверстия и полости внутри отливок образуют при помощи стержней, установленных в форме при их сборке. Размеры модели делают больше, чем соответствующие размеры отливки, на величину линейной усадки сплава, которая составляет для углеродистой стали 1,5-2%, чугуна 0,8-1,2%, бронз и латуней 1-1,5% и т. д. Для облегчения изготовления моделей из формовочной смеси при формовке стенки моделей должны иметь формовочные уклоны (для деревянных моделей $1-3^{\circ}$, для металлических $1-2^{\circ}$) В местах сопряжения, делают плавные сопряжения радиусом $R = (1/5 - 1/3)$ средней толщины соприкосновения стенок.

Преимущество деревянных моделей – дешевизна и простота изготовления, недостаток - недолговечность. Модели окрашивают для чугунных отливок в красный цвет, для стальных в синий. Стержневые знаки окрашивают в черный цвет.

Металлические модели чаще всего делают из алюминиевых сплавов. Эти сплавы легки, не окисляются, хорошо обрабатываются резанием.

При машинной формовке обычно применяют металлическую модельную оснастку с установкой модели с установкой модели и литниковой системы на металлической модельной плите.

Стержни формуют в деревянных или металлических стержневых ящиках.

Формовка, как правило, производится в опоках – прочных и жестких металлических ящиках различной формы, предназначенных для изготовления в них литейных полуформ из формовочной смеси путем ее уплотнения.

Для изготовления литейных форм и стержней применяют смеси из природных песков и глин с добавкой необходимого количества воды. Качество, состав и свойства материалов и смесей зависит от условий службы их в литниковой форме.

Формовочные и стержневые смеси должны иметь следующие свойства:

- прочность (для сохранения целостности при сборке, транспортировании, механическом воздействии);
- газопроницаемость;
- огнеупорность (при соприкосновении с металлом не должны плавиться, спекаться, пригорать к отливке, размягчаться);
- пластичность (сохраняют форму после снятия нагрузки);
- неприлипаемость смеси к модели, стержневому ящику и в плоскости разреза формы;
- негигроскопичность;
- теплопроводность;
- легкость удаления смеси при очистке отливок;
- долговечность, т.е. способность смесей сохранять свойства после многократного использования; – дешевизна.

Свежих формовочных материалов, т. е. песка и глины требуется в среднем 0,5 - 1 т на 1 т литья, в то время как расход смесей для изготовления форм и стержней составляет 4 - 7 т. Главной частью в смесях являются отработанные формовочные материалы, свежие материалы служат только для замены песчаных зерен, превращающихся в пыль, и для выполнения связующих способностей глин.

Зерновая часть песков должна состоять преимущественно из зерен кварца (SiO_2) в лучших сортах песка содержание SiO_2 ³ 97%, в худших содержание SiO_2 ³ 90%. К глинистой части песка условно относят все содержащиеся в нем частицы размером менее 0,022 мм.

Формовочные глины - это пески, содержащие более 50% глинистых веществ. Глины делятся на формовочные обыкновенные и бектонитовые. К бектонитовым относятся глины состоящие в основном из кристаллов монтморигонита $[Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + nH_2O]$. Этот материал сильно набухает в воде, что увеличивает связующие свойства глин. Бектонит применяется для изготовления форм и стержней, не подвергающихся высушиванию.

Обыкновенные формовочные глины состоят в основном из кристаллов каолина $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, не обладающих внутрикристаллическим набуханием. Для стального литья берут самую огнеупорную глину с высокой термохимической устойчивостью - не менее $1580^{\circ}C$, для чугуна – со средней устойчивостью не менее $1350^{\circ}C$, для цветного литья термохимическая устойчивость глин не ограничивается. Для изготовления формовочных и стержневых смесей, кроме песка и глины, применяют органические и неорганические связующие материалы. Органические связующие материалы сгорают и разлагаются при высоких температурах. К этим материалам относят льняное масло, олифу, крепетель (растительное масло, канифоль, уайт-спирт), пек торфяной и древесный, канифоль, пектиновый клей, патоку и ряд других. В качестве неорганических связующих используют цемент и жидкое стекло. В литейных цехах, имеющих механизированные землеприготовительные заготовки, пользуются единой формовочной смесью. В цехах с меньшей степенью механизации употребляют облицовочные и наполнительные смеси, первые более качественные и служат для образования внутреннего, соприкасающегося с отливкой слоя.

Материалы для стержней – стержневые смеси – выбирают в зависимости от конфигурации стержней, их расположения в форме. Они должны иметь высокую прочность, обладать достаточной податливостью, чтобы не препятствовать усадке металла, хорошей газопроницаемостью. В производстве отливок из сталей и чугуна для приготовления таких стержней применяют качественные песчано-масляно-смоляные смеси (чистый кварцевый песок и полимерный связующий материал - смола или жидкое стекло).

Стержни менее ответственные с более толстым сечением изготавливают из смесей, состоящих из 91-97% SiO_2 и 3-4% глины с добавлением жидкого стекла

или других связующих. Для массивных стержней используют менее качественные смеси, изготовленные из 30-70% SiO₂, 20-60% оборотной земли и 7-10% глины, являющейся основным связующим. Для предотвращения пригара и улучшения чистоты поверхности отливок формы и стержни покрывают тонким слоем противопригарных материалов. Для сырых форм противопригарными материалами служат припылы, в качестве которых используют порошкообразный графит (для чугуновых отливок) и пылевидный кварц (для стальных отливок). Для сухих форм приготавливают противопригарные краски. Краски представляют собой водные суспензии из тех же материалов графит (для чугуна), кварц (для стали) со связующими. Краски наносят на горячие формы и стержни, не успевшие остыть после сушки.

3.3.2. Литниковые системы.

Назначение литниковой системы – обеспечить плавный безударный подвод металла в форму, регулировать термофизические явления в форме для получения качественной отливки и предохранить форму от попадания в нее шлаковых включений. Элементами нормальной литниковой системы являются литниковая чаша 1, стояк 2, шлакоуловитель 3, питатели 4, подводящие металл непосредственно к отливке. Вся литниковая система при заливке должна быть заполнена жидким металлом во избежание засасывания в форму шлаков и атмосферного воздуха. При получении отливок из стали, ковкого чугуна и некоторых сплавов цветных металлов с относительно большой усадкой литниковая система питает их жидким металлом в процессе затвердевания.

Между площадями поперечных сечений всех каналов литниковой системы существует определенное соотношение, при котором каждый последующий элемент, начиная с воронки, пропускает меньше металла, чем предыдущий.

В производстве отливок при подборе сечения элементов литниковой системы следует руководствоваться следующим правилом:

$$F_{\text{стояка}} > F_{\text{шлакоуловителя}} > SF_{\text{питателей}} \cdot$$

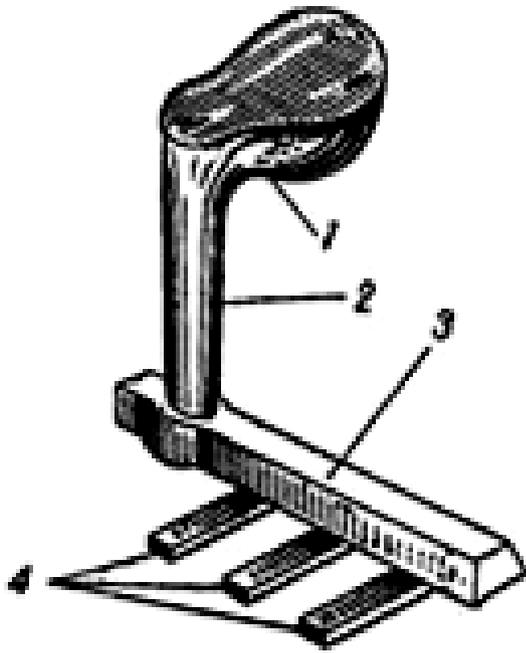


Рис. 3.4. Нормальная литниковая система для серого чугуна.

Для чугунных отливок массой до 1 тонны $SF_{\text{питателей}}: F_{\text{шлакоуловителя}}: F_{\text{стояка}}=1:1; 1:1,15$. для чугунных отливок массой более 1 тонны соотношение площадей $1:1; 2:1,4$. для стального литья – $1:1; 4:1,6$ т. При этом суммарная площадь поперечных сечений питателей определяется по следующей зависимости:

$$\sum F_{\text{пит}} = \frac{Q}{\rho_{\text{лит}} \sqrt{2gH}}, \text{ м}^2, \quad (3.1)$$

где Q – масса отливки и прибыли, кг,
 ρ -плотность материала отливки, кг/м^3 ,

m -коэффициент истечения $m=0,4-0,6$, t -время заливки формы $t = 4-9$ с, g -ускорение свободного падения $g=9,81 \text{ м/с}^2$, H -средний напор, м (высота столба жидкого металла в литейной форме, измеряется от верхнего края воронки до центра масс отливки).

Иными словами, литниковая система является запертой и создает условия, при которых через воронку не проходит шлак и не засасывается воздух потому, что она постоянно заполнена металлом и сужающийся к низу стояк сдерживает напор. В то же время литники (питатели) не в состоянии пропустить через себя весь металл, идущий из стояка, пленка шлака на поверхности металла поднимается к верху шлакоуловителя, и в отливку через литники идет только чистый металл.

Для вывода из формы воздуха, а также для наблюдения за заполнением формы металлом на верхних частях отливок устанавливаются вертикальные каналы (выпоры). При литье из стали, алюминиевых сплавов, и некоторых сортов бронз, отличающихся большой усадкой, выпоры заменяют прибылями. Основным их назначением является питание отливки жидким металлом в процессе ее кристаллизации для предотвращения образования усадочных раковин в местах отливок, затвердевающих последними. Обычная закрытая или открытая при-

быль может действовать только в том случае, если она расположена выше отливки. Объем металла в прибыли должен обеспечивать необходимое ферростатическое давление на металл отливки.

3.3.3. Способы формовки.

Ручную формовку в основном применяют для получения отдельных как малых, так и крупных сложных по конфигурации отливок.

Открытую почвенную формовку осуществляют для неответственных отливок с плоской поверхностью, например, плит, к которым не предъявляют высокие требования по внешнему виду и по качеству поверхности. Такую формовку можно осуществить по мягкой постели и по твердой постели.

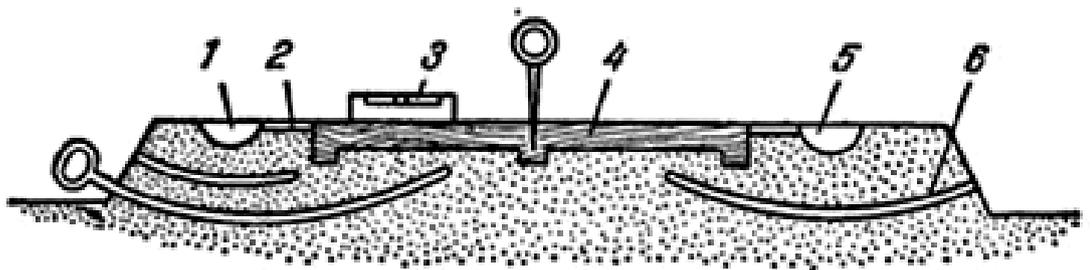


Рис. 3.5. Открытая формовка в почве.

При открытой формовке по мягкой постели (рис. 3.5) в земляном полу цеха роется яма глубиной 150-200 мм и в ней готовится мягкая постель из рыхлой наполнительной смеси и поверх нее кладется слой облицовочной смеси толщиной 10-15 мм. После выравнивания гладилкой и проверки по ватерпасу 3 горизонтальности поверхности постели в нее руками вдавливают модель 4. Для этого на поверхность смеси кладут модель и осаживают ударами молота через доску, затем смесь вокруг модели уплотняют трамбовкой, срезают излишки смеси, вырезают слева литниковую чашу 1 и канал 2 для заполнения формы металлом, а справа - сливной канал 5 для спуска излишка металла. Для отвода газов из формы производят проколку душниками каналов 6. После этого осторожно примачивают края формы у модели и ее извлекают. Если обнаруживаются дефекты, их исправляют, поверхность формы покрывают припылом и заливают металлом.

При тяжелом весе отливки делают под нее твердую постель (рис. 3.6), выкапывают яму глубиной на 300-500 мм больше высоты модели, на дно кладут

слой горелого кокса толщиной 100 мм, с боков наклонно ставят две трубы для вывода газов и производят набивку смеси. Первые несколько слоев по 50-70мм

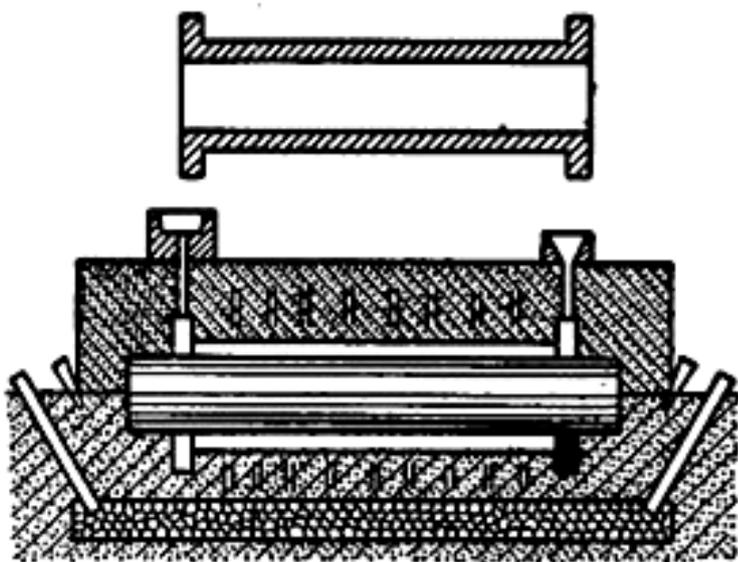


Рис. 3.6. Закрытая формовка в почве.

плотно набивают трамбовками, следующие слои набивают слабее, а последние 100–120 мм оставляют без уплотнения, слегка выровняв поверхность гладилкой. В подготовленной постели делают частые наколы душником до коксового слоя и покрывают поверхность слоем облицовочной смеси толщиной

15–20 мм. На эту смесь осаждают модель в зависимости от конструкции – половину, если она разъемная, или всю, если она неразъемная. После этого проверяют плотность набивки смеси вокруг модели и подбивают в случае обнаружения слабых мест, а затем всю поверхность вокруг полумодели заглаживают и посыпают сухим мелким песком, чтобы устранить слипание с верхней полужуформой. При изготовлении верхней полужуформы сначала на нижнюю половину модели точно по шипам ставят верхнюю половину, затем размещают модели стояка и выпоров. После этого модель обкладывают облицовочной смесью и набивают весь объем наполнительной смесью, а потом делают наколы душником для вывода газа. Положение опоки по отношению к нижней части жуформы фиксируют забивкой по всем четырем углам колышков.

Теперь снимают опоку, ставят ее на пол, предварительно повернув на 180°. Осторожно вынимают обе половины модели, заглаживают поврежденные места, покрывают полости полужуформ припылом, в нижнюю полужуформу устанавливают стержень, опочную полужуформу накладывают на почвенную точно по границам забитых колышков, ставят на место литниковую чашу и загружают на верхнюю поверхность жуформы грузы, чтобы предотвратить опасность поднятия ее заливаемым металлом, во избежание ожогов около места заливки жуформы.

3.3.4. Формовка в опоках.

Формовка в опоках наиболее широко применяется в литейных цехах. В зависимости от конструкций моделей, условий и характера производства она имеет много разновидностей. Рассмотрим наиболее типичные из них.

На рис.3.7 показана формовка по разъемной модели. Отливаемая деталь (рис. 3.7, а) формируется по модели со знаками для стержня, образующего полость в отливке (рис.3.7, б). На щиток 1 (рис.3.7, в) сначала устанавливают половину модели 2, а затем опоку 4, модель припыливают тонким слоем припыла и обкладывают облицовочной смесью, а затем всю опоку набивают наполнительной смесью. После этого с верхней стороны снимают излишек смеси и производят наколы газоотводных каналов 3. Затем полуформу поворачивают на 180° и ставят на щиток (рис.3.7, г).

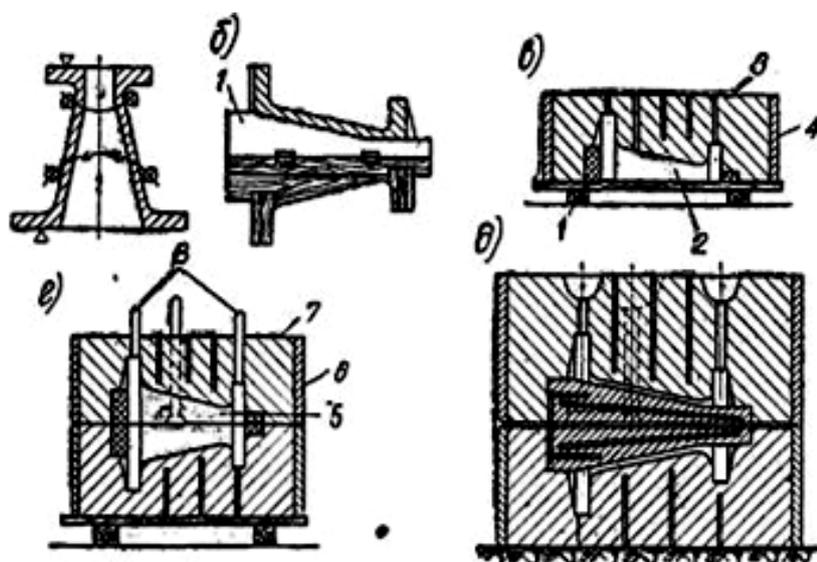


Рис. 3.7. Формовка в двух опоках

по разъемной модели.

набивают их в том же порядке,

как и нижнюю полуформу. Затем заглаживают верхнюю поверхность, накалывают каналы, оформляют очертания литниковой чаши и извлекают модели стояка 7 и выпоров 8. Потом снимают и поворачивают на 180° верхнюю полуформу. Из обеих полуформ извлекают модели, заглаживают поврежденные места, присыпают припылом, устанавливают стержень в нижнюю полуформу, накрывают ее верхней полуформой и скрепляют или нагружают форму для заливки металлом (рис. 3.7, д).

всят на щиток (рис.3.7, г).

После этого поверхность разъема присыпают разделительным песком. На нижнюю половину модели накладывают верхнюю 5, строго центрируя ее по шипам, затем старят опоку 6, модели стояка 7 и выпоров 8 и

щиток (рис.3.8, б), обкладывают облицовочной, а затем набивают наполнительной смесью и сверху сгребают излишек. При попавшей под модель смеси полуформу поворачивают на 180° (рис.3.8, в) и вырезают смесь по линии 3-4. Загладив всю поверхность разъема, присыпав ее разделительным песком и поставив на место стержневой знак 2, ставят верхнюю опоку, модели стояка и выпоров, наполняют ее формовочной смесью, раскрывают форму, извлекают модель, отделяют, присыпают припылом, ставят стержень, накрывают верхней полуформой, нагружают и ставят под заливку (рис. 3.8, г).

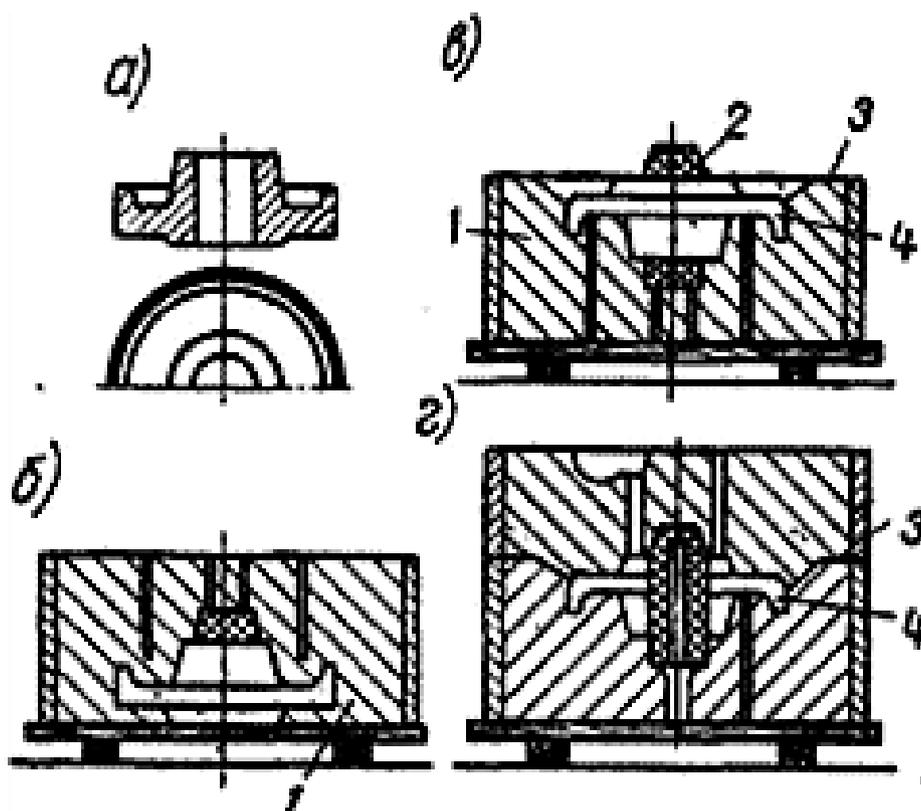


Рис. 3.8. Формовка в двух опоках по неразъемной модели

3.3.5. Безопочная формовка.

Сущность этого способа заключается в том, что опоки применяют только для изготовления формы. После ее сборки опоки снимают и используют для приготовления новой формы. Этот способ находит широкое применение в производстве мелких деталей до 3-5 кг. При ее применении значительно уменьшается количество таких взаимозаменяемых опок, что дает большую экономию. При этом облегчается выбивка отливок. Безопочную формовку также широко применяют так же при машинной формовке в массовом производстве.

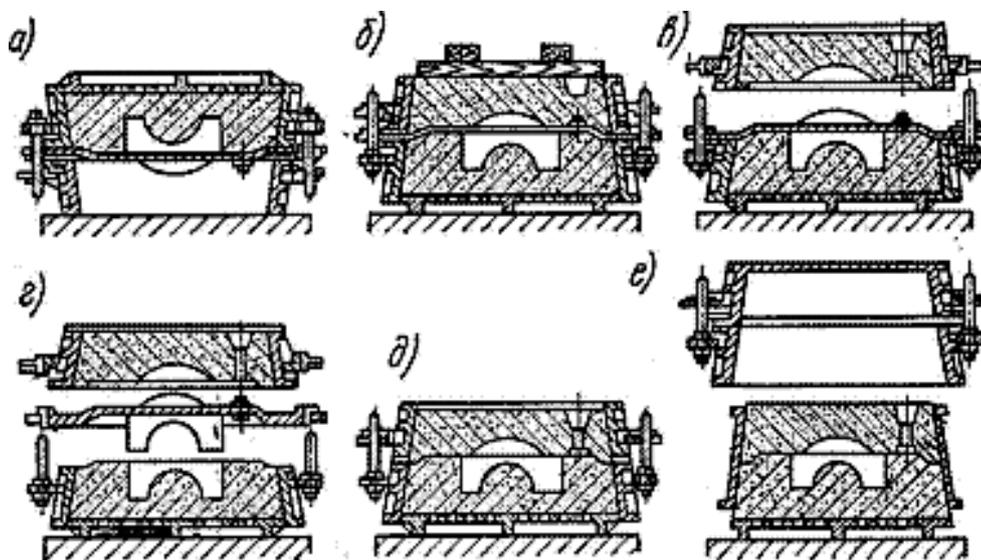


Рис. 3.9. Безопочная формовка.

На нижнюю опоку по направляющим штырям устанавливают двустороннюю модельную плиту, а на ней верхнюю опоку. Сборку переворачивают и начинают формовать с нижней опоки. Затем, положив прутки, сборку снова переворачивают и набивают верхнюю опоку. Модели питателя и шлакоулавливателя расположены на модельной плите. Стояк и литниковую чашу прорезают конической трубкой. После этого верхнюю опоку поднимают, снимают модельную плиту и собирают форму, ставят по штырям верхнюю опоку на нижнюю. Затем с формы снимают обе опоки. На линию разъема одевают металлический кожух-жакет, предохраняющий форму от разрушения и ставят безопочную форму под заливку металлом (рис. 3.9, е), положив груз в виде плиты с отверстием против литниковой воронки.

3.3.6. Машинная формовка.

Машинная формовка используется в серийном, массовом, и крупносерийном производствах. По характеру уплотнения смеси машины делят на прессовые, вытряхивающие с подпрессовкой, пескодувные, пескострельные и пескометные. Прессовые машины бывают с верхним и нижним прессованием. При верхнем прессовании наибольшая степень уплотнения находится у прессовой колодки, при нижнем прессовании наибольшее уплотнение формовочной смеси находится и поверхности модели.

Прессовые машины применяют для полуформ в невысоких опоках 200-250 мм. Этот недостаток может быть устранен применением профильных прокла-

док, обеспечивающих более равномерное уплотнение формовочной смеси во всем объеме. Равномерное уплотнение смеси можно осуществить так же пресованием с эластичной резиновой мембраной. Здесь смесь уплотняется давлением сжатого воздуха (или жидкости) через эластичную мембрану, повторяющую рельеф поверхности модели. В обычных прессовых машинах $P = 0,5 \text{ МН/м}^2$ (5 атм), применяют пресование и под высоким давлением до 2 МПа.

Вытряхивающие машины уплотняют формовочную смесь за счет инерционных сил, возникающих при многократно повторенном вытряхивании. Эти машины уплотняют смесь неравномерно, в наибольшей степени у поверхности модели. Для дальнейшего уплотнения в верхних слоях осуществляют подпресовку.

Пескометы – высокопроизводительные формовочные машины (уплотняющие до 40 м^3 смеси в час), использующиеся преимущественно для форм крупных отливок.

Они производят две операции: заполнение опоки формовочной смесью и ее уплотнение.

Пескодувные машины применяют в основном для приготовления стержней. Здесь стержневая смесь заполняет стержневой ящик и уплотняется под давлением сжатого воздуха 5-6 атм.

В пескострельных машинах стержневая смесь уплотняется при мгновенном ее перемещении под давлением сжатого воздуха из пескострельного резервуара в стержневой ящик через сопло.

3.4 Получение заготовок в металлической форме.

Литье в металлических формах многократного использования отличается высокими механическими свойствами и равномерным мелкозернистым строением, а так же большой точностью и чистотой поверхности. Форму изготавливают из чугуна или стали. Получение заготовок литьем в металлическую форму (кокиль) применяется в массовом и крупносерийном производстве для получения разнообразных несложных по конфигурации отливок массой до 1000 кг.

Кокиль - металлическая форма, которая заполняется расплавом под действием гравитационных сил. В отличие от разовой песчаной формы кокиль может

быть использован многократно. Таким образом, сущность литья в кокили состоит в применении металлических материалов для изготовления многократно используемых литейных форм, металлические части которых составляют их основу и формируют конфигурацию и свойства отливки.

Кокили изготавливают как неразъемными, для простых по форме отливок, так и разъемные. Полость в отливках получают с помощью стержневой смеси или металла.

Кокиль обычно состоит из двух полу форм, плиты, вставок. Полуформы взаимноцентрируются штырями, и перед заливкой их соединяют замками. Размеры рабочей полости кокиля больше размеров отливки на величину усадки сплава. Полости и отверстия в отливке могут быть выполнены металлическими или песчаными стержнями, извлекаемыми из отливки после ее затвердевания и охлаждения до заданной температуры. Расплав заливают в кокиль через литниковую систему, выполненную в его стенках, а питание массивных узлов отливки осуществляется из прибылей (питающих выпоров). При заполнении кокиля расплавом воздух и газы удаляются из его рабочей полости через вентиляционные выпоры, пробки, каналы, образующие вентиляционную систему кокиля. Основные элементы кокиля: полуформы, плиты, вставки, стержни т. д. обычно изготавливают из чугуна или стали.

Перед заливкой расплава на поверхность рабочей полости и металлических стержней наносят слой огнеупорного покрытия облицовки и краски. Состав облицовок и красок зависит в основном от заливаемого сплава, а их толщина - от требуемой скорости охлаждения отливки: чем толще слой огнеупорного покрытия, тем медленнее охлаждается отливка. Вместе с тем слой огнеупорного покрытия предохраняет рабочую поверхность формы от резкого повышения ее температуры при заливке, расплавления и схватывания с металлом отливки. Таким образом, облицовки и краски выполняют две функции: защищают поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой и позволяют регулировать скорость охлаждения отливки, а значит, и процессы ее затвердевания, влияющие на свойства металла отливки. Перед нанесением огнеупорного покрытия кокиль нагревают газовыми горелками или электрическими нагрева-

телями до температуры 150 -180 С. Краски наносят на кокиль обычно в виде водной суспензии через пульверизатор. Капли водной суспензии, попадая на поверхность нагретого кокиля, испаряются, а огнеупорная составляющая ровным слоем покрывает поверхность.

После нанесения огнеупорного покрытия кокиль нагревают до рабочей температуры, зависящий в основном от состава заливаемого сплава, толщины стенки отливки, ее размеров, требуемых свойств. Обычно температура нагрева кокиля перед заливкой 200 - 350 С. Затем в кокиль устанавливают песчаные или керамические стержни если таковые необходимы для получения отливки; половины кокиля соединяют и скрепляют специальными зажимами, а при установке кокиля на кокильной машине с помощью ее механизма запираения, после чего заливают расплав в кокиль. Часто в процессе затвердевания и охлаждения отливки, после того как отливка приобретет достаточную прочность, металлические стержни «подрывают», т.е. частично извлекают из отливки до ее извлечения из кокиля. Это делают для того, чтобы уменьшить обжатие усаживающейся отливкой металлического стержня и обеспечить его извлечение из отливки. После охлаждения отливки до заданной температуры кокиль раскрывают, окончательно извлекают металлический стержень и удаляют отливку из кокиля. Из отливки выбивают песчаный стержень, обрезают литники, прибыли, выпоры, контролируют качество отливки. Затем цикл повторяется.

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,
- получение у отливок из серого чугуна отбеленной труднообрабатываемой поверхности.
- при литье чугунных отливок получение неоднородности структуры.
- сложность получения отливок со сложными внутренними и внешними очертаниями.
- невозможность получения тонкостенных отливок вследствие падения жидкотекучести сплава при соприкосновении его с теплопроводными формами.

3.5 Получение заготовок литьем по выплавляемой модели.

Литье по выплавляемым моделям с давних времен применяли для получения литых скульптур, украшений и т. д.

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 35кг из стали и других труднообрабатываемых сплавов с температурой плавления до 1600°С. При этом достигаются большая точность размеров (11...13 квалитет) и малая шероховатость поверхности ($Ra = 0,08...0,16$ 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 оболочка (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 и 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. В качестве модельных составов применяют различные легкоплавкие и легкорастворимые составы (ПС50-50) (парафин 50%, стеарин

50%) такой состав имеет температуру плавления 55°C , хорошую жидкотекучесть. Возврат смеси составляет 90-95%.

Модели изготавливают в одно-многместных формах запрессовкой и реже заливкой модельных составов. Оболочка общей толщиной 5 - 6 мм. состоит из 3-8 последовательно наносимых слоев. Для образования каждого слоя модель окунают в жидкую суспензию, затем обсыпают мелкозернистым песком и сушат. Суспензия состоит из гидролизованного этилсиликата (одной части) и пылевидного кварца (2-3 части). Сушку проводят на воздухе после каждого слоя в течении 2-3 часов. Отверждение можно ускорить осуществляя сушку в парах аммиака. Окончательную прочность оболочка принимает при последующем прокаливании. Для производства керамических оболочек в качестве связующего так же применяют жидкое стекло $\text{Na}_2\text{O}_n\text{SiO}_2$ с модулем 2,5-3 (48 частей) и пылевидного кварца (52 части). В этих формах качество поверхности хуже, чем на этилсиликатной суспензии. Выплавление моделей осуществляется в волнах с горячей водой ($85-90^{\circ}\text{C}$) или горячим воздухом.

После выплавки моделей оболочки формуют – оболочки устанавливают в опоки и пустые объемы заполняют наполнителями (SiO_2 , шамотная крошка и т. д. или жидкими быстро твердеющими SiO_2 – 80-88%, 12-20% цемента и 30-40 частей H_2O). Стержни и жидкие наполнители уплотняют на вибрационных столах.

Прокаливание оболочковых форм до $900-1000^{\circ}\text{C}$ проводят для удаления остатков модельных составов из материала оболочки, завершения процессов ее растворения. Кроме того, нагревание формы способствует лучшему заполнению ее при разливке.

Разливку производят обычно сразу же в горячие формы для стали температура формы $800-1000^{\circ}\text{C}$, у алюминиевых сплавов $300-400^{\circ}\text{C}$. При получении толстостенных отливок заливку проводят в остывшие формы для получения более мелкозернистой структуры сплава.

Удаление остатков керамической оболочки в частности в полостях и отверстиях, и окончательную очистку поверхности отливок осуществляют в результате кипячения в 50% растворе КОН.

3. 6 Получение заготовок литьем в оболочковую форму.

Данный способ применяют в условиях массового и серийного производства небольших, преимущественно тонкостенных отливок. Литье в оболочковые формы применяется в крупносерийном и массовом производствах деталей из сталей, чугуна и цветных металлов. При этом способе литья деталь получают в тонкостенных формах – оболочках толщиной 6-15 мм. изготовленных из высокопрочных песчано-смоляных смесей.

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, соединенных по горизонтальной или вертикальной линии разъема путем склеивания или скрепления при помощи скоб или струбцин. Для получения внутренних полостей в отливках или при сборке формы в нее устанавливают сплошные или полые песчано-глинистые или песчано-смоляные стержни. При нагревании до 140...160°С эти смолы расплавляются, превращаясь в клейкую массу, и обвалакивают зерна песка, а затем модель и плиту посыпают и уплотняют формовочную смесь (например сжатым воздухом), при повышении температуры до 250...300°С уже через 10-20 с секуннд смола затвердевает и образовывается полутвердая оболочка толщиной 6-15 мм. Этим свойством смолы и пользуются, чтобы получать твердую оболочковую форму. Излишек смеси удаляют (переворачивая модель вместе с плитой). Оболочку вместе с плитой помещают в печь при температуре 300-350°С на 1-3 минуты для окончательного отвердевания смолы, после чего полуформу снимают с плиты и делают вторую полуформу.

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 оболочковая форма служит один раз.

3. 7 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. Давление поршня при прессовании до 200МПа. Детали имеют точные размеры (11-13 квалитеты), а поверхности - малую шероховатость.

Масса отлитых деталей колеблется от нескольких граммов до десятков килограммов. Существуют несколько схем процесса литья под давлением.

Механическая обработка отливок незначительная или вообще не нужна. Стоимость пресс-формы высокая, поэтому литье под давлением применяют в массовом производстве, когда в одной форме получают тысячи отливок. Производительность машин очень высокая - до 3000 отливок в час при работе в автоматическом режиме. Машины для литья под давлением имеют холодную или горячую камеру прессования.

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.

Этот метод заключается в том, что металл заполняет металлические формы под давлением поршня машины или сжатого воздуха и застывает в них. Извлеченные отливки после удаления литника являются совершенно готовыми к применению почти без обработки.

3.8 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 R_z).

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 предпочтительно.

3.9. Литье по выплавляемым моделям.

Литье по выплавляемым моделям с давних времен применяли для получения литых скульптур, украшений и т. д.

В качестве модельных составов применяют различные легкоплавкие и легкорастворимые составы (ПС50-50) (парафин 50%, стеарин 50%) такой состав имеет температуру плавления 55⁰С, хорошую жидкотекучесть. Возврат смеси составляет 90-95%.

Модели изготавливают в одно-многоместных формах запрессовкой и реже заливкой модельных составов. Оболочка общей толщиной 5-6 мм. состоит из 3-8 последовательно наносимых слоев. Для образования каждого слоя модель окунают в жидкую суспензию, затем обсыпают мелкозернистым песком и сушат. Суспензия состоит из гидролизованного этилсиликата (одной части) и пылевидного кварца (2-3 части). Сушку проводят на воздухе после каждого слоя в течении 2-3 часов. Отверждение можно ускорить осуществляя сушку в па-

рах аммиака. Окончательную прочность оболочка принимает при последующем прокаливании. Для производства керамических оболочек в качестве связующего так же применяют жидкое стекло $\text{Na}_2\text{O}_n\text{SiO}_2$ с модулем 2,5-3 (48 частей) и пылевидного кварца (52 части). В этих формах качество поверхности хуже, чем на этилсиликатной суспензии.

Выплавление моделей осуществляется в волнах с горячей водой ($85-90^\circ\text{C}$) или горячим воздухом. После выплавки моделей оболочки формуют – оболочки устанавливают в опоки и пустые объемы заполняют наполнителями (SiO_2 , шамотная крошка и т. д. или жидкими быстро твердеющими SiO_2 – 80-88%, 12-20% цемента и 30-40 частей H_2O). Стержни и жидкие наполнители уплотняют на вибрационных столах.

Прокаливание оболочковых форм до $900-1000^\circ\text{C}$ проводят для удаления остатков модельных составов из материала оболочки, завершения процессов ее растворения. Кроме того, нагревание формы способствует лучшему заполнению ее при разливке.

Разливку производят обычно сразу же в горячие формы для стали температура формы $800-1000^\circ\text{C}$, у алюминиевых сплавов $300-400^\circ\text{C}$. При получении толсто-стенных отливок заливку проводят в остывшие формы для получения более мелкозернистой структуры сплава.

Удаление остатков керамической оболочки в частности в полостях и отверстиях, и окончательную очистку поверхности отливок осуществляют в результате кипячения в 50% растворе КОН.

3. 10 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 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 низко-

легированных 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 тугоплавких или легкоокисляемых элементов. Так, например, для легирования отливок из бронз и латуней, при температуре расплава около 1250°C тугоплавким железом с температурой плавления $t = 1539^{\circ}\text{C}$ используют лигатуру 90%Cu + 10%Fe с температурой плавления 900°C. Для легирования легкоокисляющимся алюминием применяют лигатуру 50%Cu + 50%Al и т.д.

4. вторичные цветные металлы в виде машинного лома и промышленных отходов;

5. возврат собственного производства (литники, прибыли, браков. 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. Что такое литье?
10. Дайте характеристику литейных свойств металлов для получения отливок.
11. Перечислите основные способы литья.
12. Из каких этапов состоит технологический процесс изготовления отливки литьем в песчано-глинистую форму?
13. Из каких каналов состоит литниковая система и каково их назначение?
14. Какие факторы влияют на величину и характер усадочных раковин?
15. Перечислите способы формовки.
16. Какой способ литья позволяет получать наиболее качественные тонкостенные отливки?
17. Где наиболее широко применяется формовка в опоках?
18. Как готовится мягкая постель при открытой формовке в почве?
19. Как готовится твердая постель при тяжелом весе отливки?
20. Перечислите элементами нормальной литниковой системы.

Раздел 4

4. Получения заготовок давлением

4.1 Прокатное производство

Прокаткой называется технологический процесс получения листовой и профильной (сортовой) продукции давлением *непрерывно литых* заготовок путем изменения их формы и размеров обжатием вращающимися валками на специальных агрегатах – прокатных станах.

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 способов прокатки, различающиеся по характеру протекания деформации: продольная, поперечная и поперечно-винтовая (рис. 4.1). При продольной прокатке (рис. 4.1,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 (4.1,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 Q .

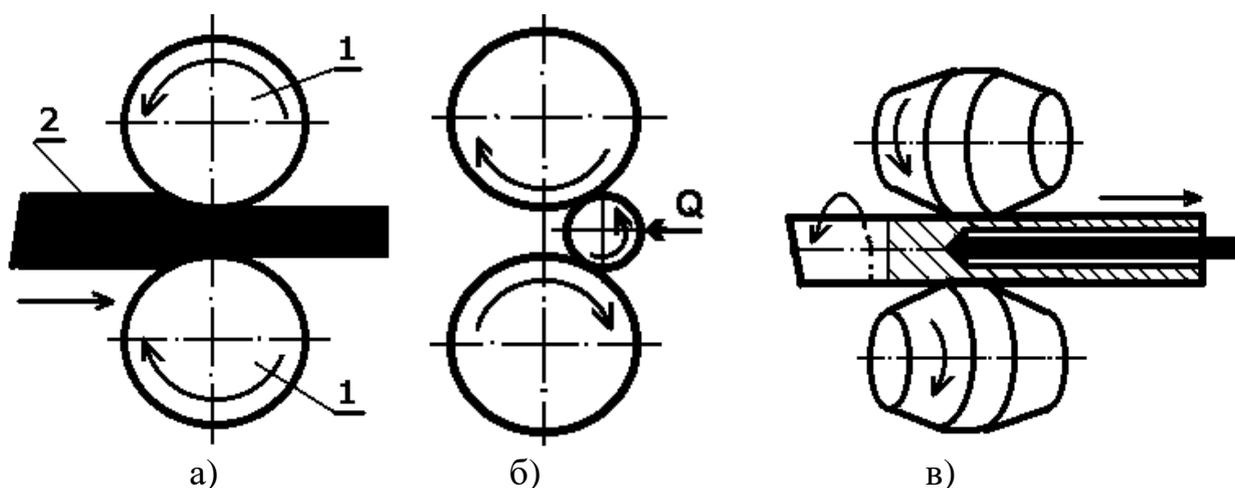


Рис. 4.1 Различия прокаток: а - продольная прокатка;

б- поперечная прокатка; в- поперечно-винтовая прокатка.

Деформируемая заготовка получает вращательное движение, уменьшается ее диаметр и увеличивается длина.

При поперечно-винтовой прокатке (4.1,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 обжатия 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 листовых станах, а валки, на рабочей поверхности которых выточены специальные вырезы (ручья), 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, овальные, круглые) и фасонные для производства балок, швеллеров, уголков и других профилей.

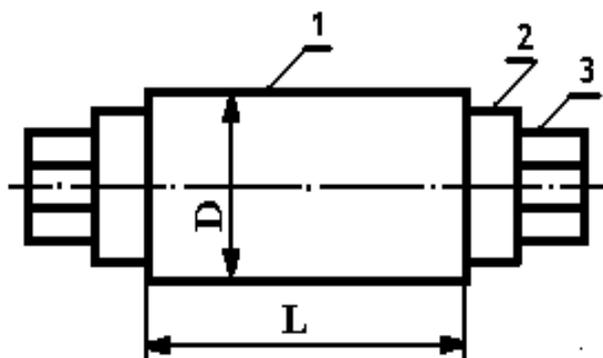


Рис. 4.2, а. Валок с гладкой бочкой.

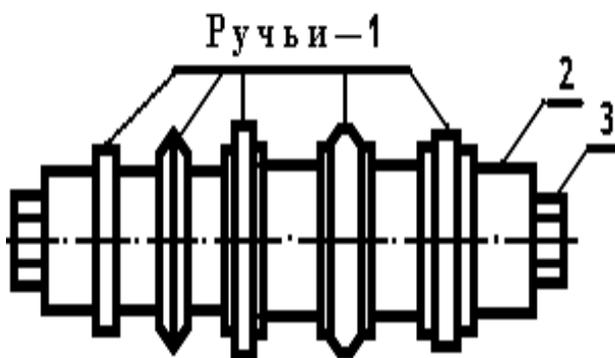


Рис. 4.2, б. Ручьевого валок

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 заготовкой. Исходная заготовка, деформируясь между двумя валками, уменьшается по толщине и увеличивается по длине. При этом несколько увеличивается и ее ширина.

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:

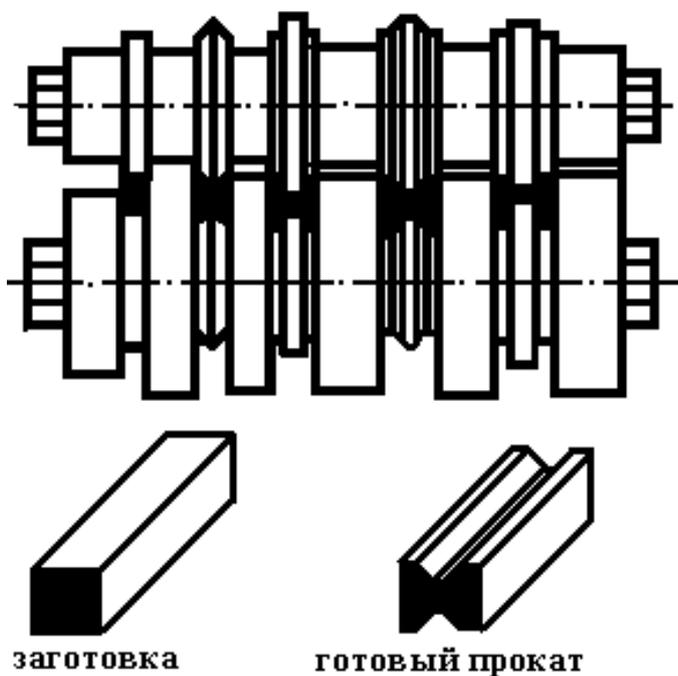


Рис.4.3 Калиброванные валки.

нагрев заготовки, прокатка, охлаждение, резка на мерные длины, маркировка и уборка. На крупных станах прокаты-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 валов. Калибровкой валов 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 горячекатанных листов

Горячей прокаткой изготавливают толстую (более 4-х мм) и тонкую (до 1мм) стальную 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°C. 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°C, 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 холоднокатанных листов

Технологический процесс получения холоднокатанных листов состоит из следующих основных операций: травление для очистки поверхности заготовки от окалина, прокатка, отжиг для снятия наклепа, дрессировка и отделка. Прокат осуществляется на непрерывных станах, состоящих из 3...6 клетей с последующим свертыванием листов в рулоны. Прокатку осуществляют со смазкой. Как правило, листы на непрерывном стане прокатывают за один проход. В не-

которых 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 специальных станах – 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 холоднокатанных 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 процессами ковки

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 операциямковки относятся протяжка, осадка, гибка, пробивание или прошивание отверстий, рубка и т.д. Ковку выполняют в основном на ковочных молотах и ковочных гидравлических прессах.

Применениековки в ходе технического прогресса сокращается, так как ей присущи некоторые недостатки: низкая производительность, значительная трудоемкость особенно на прессах; большие напуски, припуски и допускаемые отклонения размеров поковок.

Ковка является рациональным и экономически выгодным процессом получения качественных заготовок в условиях мелкосерийного и единичного производства, ее преимуществами являются:

- 1) возможность получения простых по форме поковок массой до 250 тонн, причем с использованием сравнительно маломощного оборудования, так как деформирование осуществляется последовательно по участкам;
- 2) применение универсального оборудования и оснастки, позволяющее получать заготовки широкого ассортимента;
- 3) улучшение качества металла заготовки, повышение его механических свойств, особенно пластичности и ударной вязкости.

Ковкой изготавливают заготовки таких ответственных деталей, как валы и диски турбин, роторы, коленчатые валы судовых двигателей, обечайки корпусного реакторного оборудования и др. Ковка осуществляется при температурах горячей деформации, поэтому поковки выполняют из всех сталей и сплавов, предназначенных для обработки давлением. Большие напуски и припуски снижают коэффициент массовой точности заготовок, он не превышает 0,3...0,4, что приводит к существенному объему механической обработки.

Для снижения расхода металла в мелкосерийном производстве при партиях более 30...50 поковок одного наименования рекомендуется применять подкладные открытые или закрытые штампы (рисунок 3.3), что позволяет уменьшать напуски, припуски и допуски и расход металла на 15...20%.

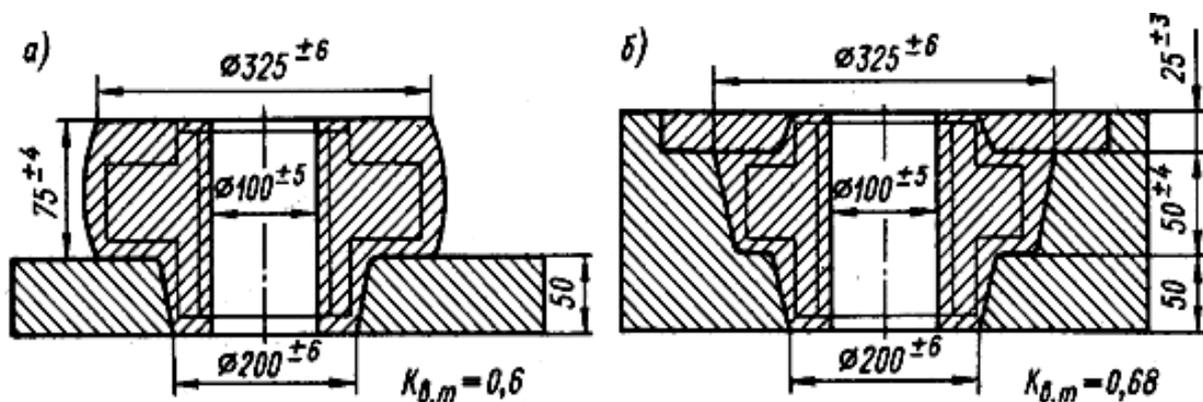


Рис. 4.4. Поковки, получаемые ковкой (а) и в подкладных штампах (б).

Подкладные штампы можно применять для получения поволоков относительно сложной формы массой до 150 кг, но преимущественно они используются при поковках массой 10...15 кг.

Поковки массой до нескольких сотен килограммов изготавливают из проката на ковочных молотах. Заготовки массой 700...1500 кг можно ковать на молотах из слитков. Более массивные слитки куят на гидравлических прессах. Фасонные поковки массой до 100 кг предпочтительно получать ковкой так же на гидравлических прессах.

Общие технические условия и требования на поковки, изготавливаемые ковкой и горячей объемной штамповкой, регламентируются стандартами: ГОСТ 8479-70 – для поволоков из конструкционной углеродистой и легированной стали; ГОСТ 25054-81 – для поволоков из коррозионно-стойких сталей и сплавов; ГОСТ 26131-84 – для поволоков из жаропрочных и жаростойких сталей. Технические условия включают:

- классификацию поволоков в зависимости от назначения изготавливаемых из них деталей, видов испытаний и других факторов;
- технические требования к качеству поверхности, структуре, химическому составу, показателям прочности;
- методы испытаний;
- правила приемки, упаковки, маркирования и транспортирования;
- правила условного обозначения поволоков на чертежах.

Основные показатели качества поволоков приведены в таблице 4.1.

Способковки	Допуски основного размера, мм	Параметр шероховатости R_z , мкм
На молотах и прессах	3,0...30,0	80...320
На молотах в подкладных кольцах и штампах	1,0...2,5	40...80
Горячаяковка на радиально- ковочных машинах	0,1...0,6	До 40

Припуски, допуски и напуски на поковки из углеродистой и легированной стали при ковке на молотах устанавливаются по ГОСТ 7829-70, а при ковке на прессах – по ГОСТ 7062-90.

Кузнечным напуском является дополнительный объем металла (слой) на обрабатываемых и необрабатываемых частях поверхности поковки, необходимый для осуществления формоизменяющих операций (радиусы закругления внутренних углов, уклоны, непробиваемые перемычки в отверстиях, невыполняемые поднутрения и полости). Оба стандарта не распространяются на поковки из высоколегированных сталей и сталей и сплавов с особыми физическими свойствами. Для таких материалов припуски и допуски на поковки устанавливаются по согласованию изготовителя и потребителя.

В указанных стандартах предусматривается назначение припусков и допусков на поковки с учетом их формы и соотношения размеров, условно разбитых на 17 групп (выборочно представлены на рисунке 4.5) для случаяковки на молотах и 15 групп (выборочно представлены на рисунке 4.6) для случаяковки на прессах. В соответствии с некоторым различием в применении данных способовковки (см. выше) в ГОСТ 7062-90 рассматриваются более крупные поковки.

Припуски на механическую обработку назначаются на номинальные размеры детали или предварительно обработанной заготовки, если она подвергается после обдирки термообработке. Табличные значения припусков рассчитаны, исходя из варианта обработки заготовки с двух сторон, при обработке с одной стороны их величины принимают равными половине табличных значений. Величины предельных отклонений остаются табличными. Допуски назначаются как на обрабатываемые, так и необрабатываемые размеры поковки.

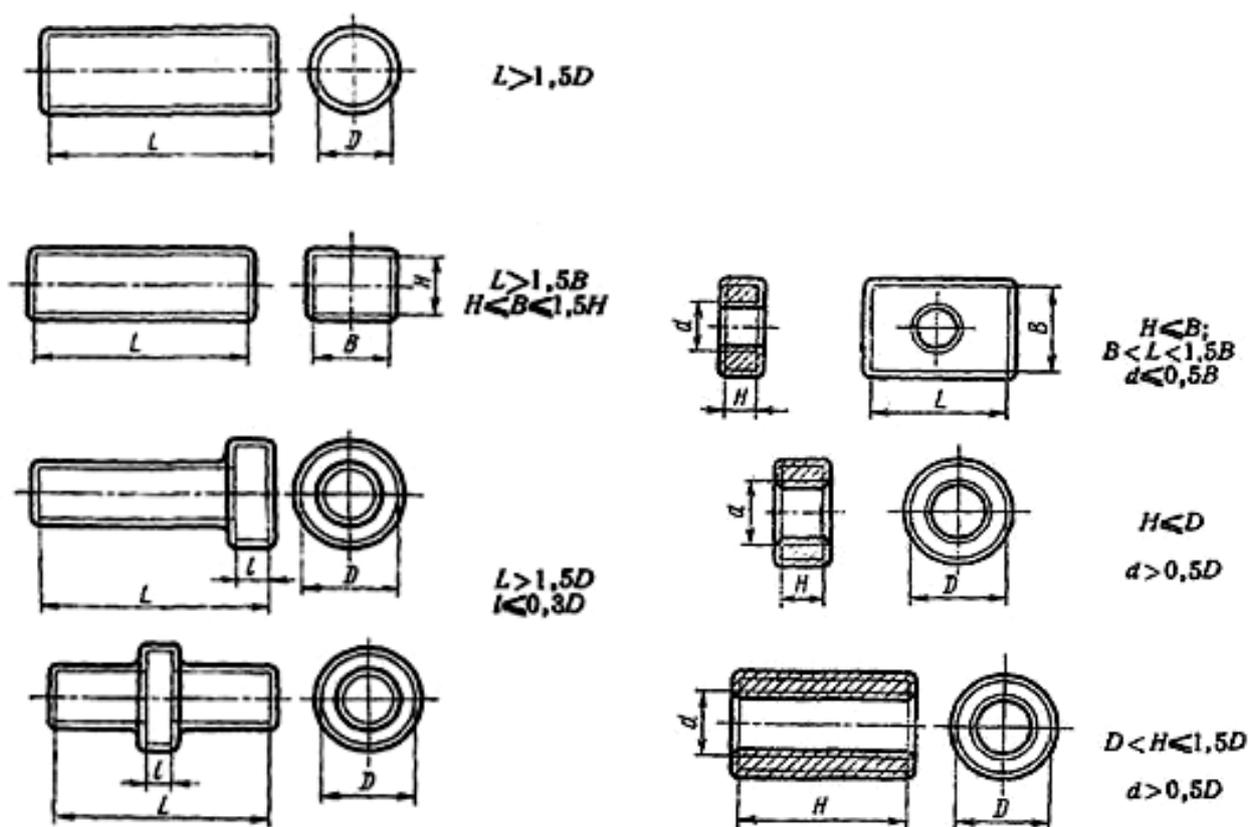


Рис. 4.5. Форма и соотношение размеров типовых поковок, изготавливаемых ковкой.

Номинальный обрабатываемый наружный размер поковки определяется как сумма номинального размера детали (или обдирочного размера заготовки) и номинального припуска. Предельные размеры для этого случая определяются с учетом принятой величины допуска при его симметричном расположении относительно номинального размера. Для обрабатываемого внутреннего размера величина припуска вычитается из его номинального значения.

В случае выполнения поковок круглого и квадратного сечения с уступами назначаются основные и дополнительные припуски и предельные отклонения. На заготовке по определенным правилам выбирается основное сечение, на него и размеры других сечений назначаются основные припуски и допуски по схеме гладкой поковки, затем для размеров других сечений в зависимости от величин их разности от основного сечения – дополнительный табличный припуск.

Припуски и допуски по длине заготовки и ее уступов и выступов назначаются по определенным соотношениям с основными припусками и допусками на соответственно размер наибольшего сечения и размеры сечений уступов и выступов.

Разработаны определенные правила выполнимости уступов, выемок, буртов и фланцев при ковке.

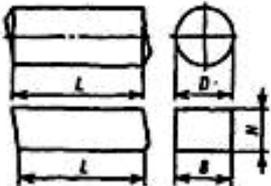
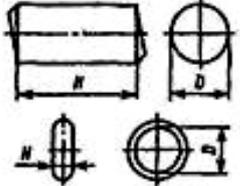
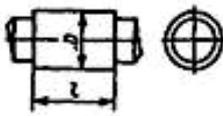
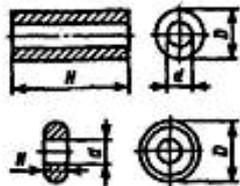
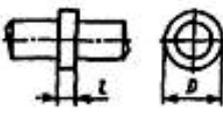
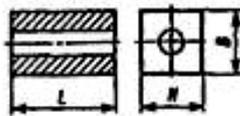
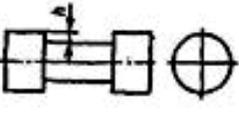
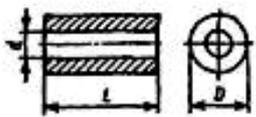
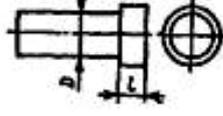
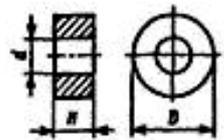
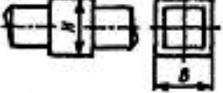
	$30D \geq L \geq 1,2D$ $30H \geq L \geq 1,5B$ $H \leq B \leq 2H$		$0,5D \leq H \leq 1,2D$ $0,2D \leq h < 0,5D$
	$l > 0,3D$		$0,5D \leq H \leq 1,2D$ $d < 0,5D$ $0,2D \leq h < 0,5D$ $d < 0,5D$
	$l \leq 0,3D$		$2H \leq B \leq 4H$ $L \geq B$ $L \leq 8H$
	$h \geq 12 \text{ мм}$		$6D \geq L \geq 1,2D$ $d \geq 0,5D$
	$l \leq 0,3D$		$0,2D \leq H \leq 1,2D$ $d \geq 0,5D$
	$B = H$		

Рис. 4.6. Форма и соотношение размеров типовых поковок, изготавливаемых ковкой на 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, чемковки. 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 поперечных 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 безоблойной. 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. 4.7 показаны некоторые наиболее типичные заготовки, штампующиеся на молотах, на рис. 4.8 – КГШП и на рис. 4.9 – ГКМ.

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.

Штамповка на кривошипных горяче-штамповочных 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.

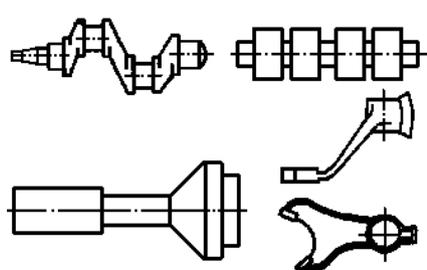


Рис. 4.7. Формы заготовок при штамповке на молотах.

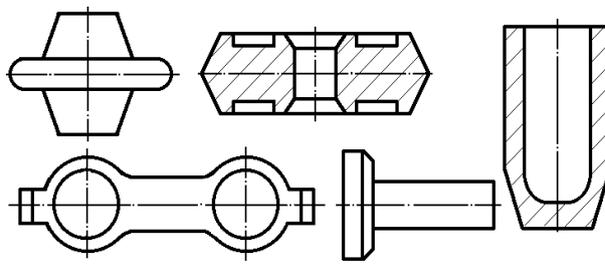
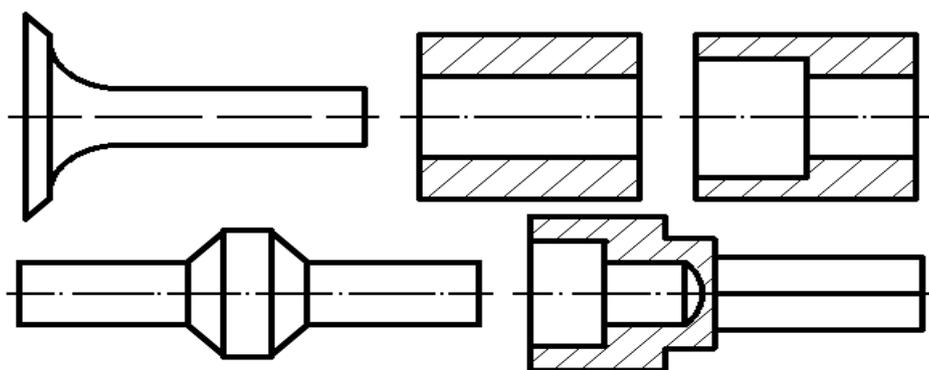


Рис. 4.8. Формы заготовок при штамповке на КГШП.

Основные недостатки горячештамповочных прессов: используются только



в крупносерийном и массовом производстве;
- высокая стоимость;
- необходимость очистки заготовки

Рис. 4.9. Формы заготовок при штамповке на ГКМ. 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).

К преимуществам ГКМ относят:

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

большой 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 производится в заготовительном отделении цеха.*

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. *Термообработка заготовок* необходима для устранения внутренних напряжений, измельчения зерна и получения необходимой структуры и твердости.

6. *Травление заготовок*, у которых необходимо своевременно выявить и устранить дефекты.

7. *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.

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, винты, гайки, заклепки и т.д.. На рис. 4.10 показаны отдельные типы 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 операции производятся при различных позициях заготовки, перемещение которой с одной позиции на другую происходит автоматически. При холодной объемной штамповке можно получать заготовки с утолщением диаметром до 50 мм. Основными узлами прессов и автоматов являются формообразующие матрицы и пуансоны. Матрицы могут быть цельными или разъемными. На рис. 4.11 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 осуществляется пуансоном 2. движение пуансона может быть одно-, двух-, и трехударное.

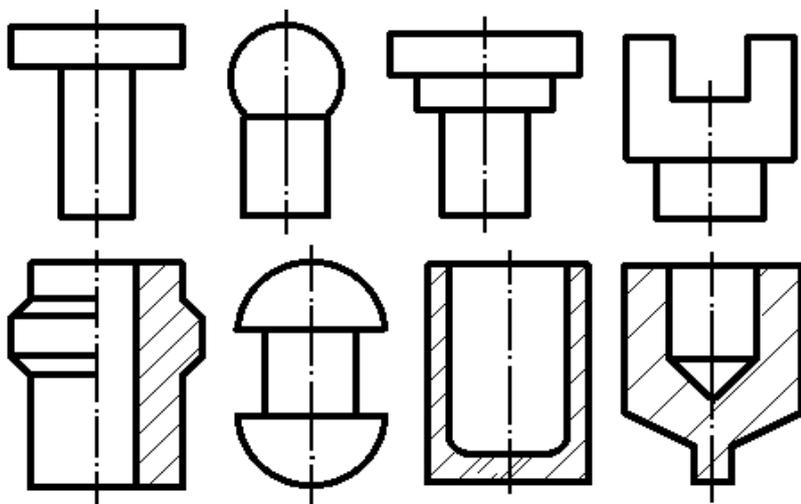
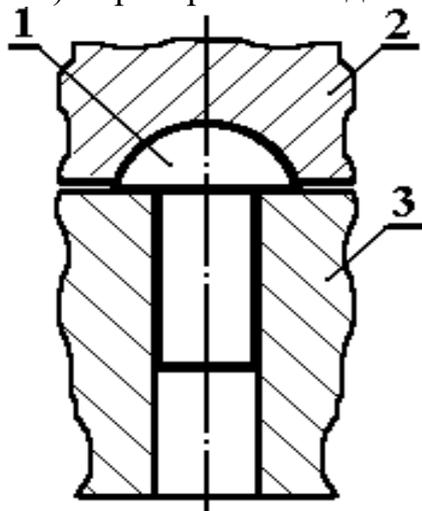


Рис. 4.10. Формы заготовок, получаемых объемной холодной штамповкой.

Одной из разновидностью холодной объемной штамповкой 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 обработки резанием.

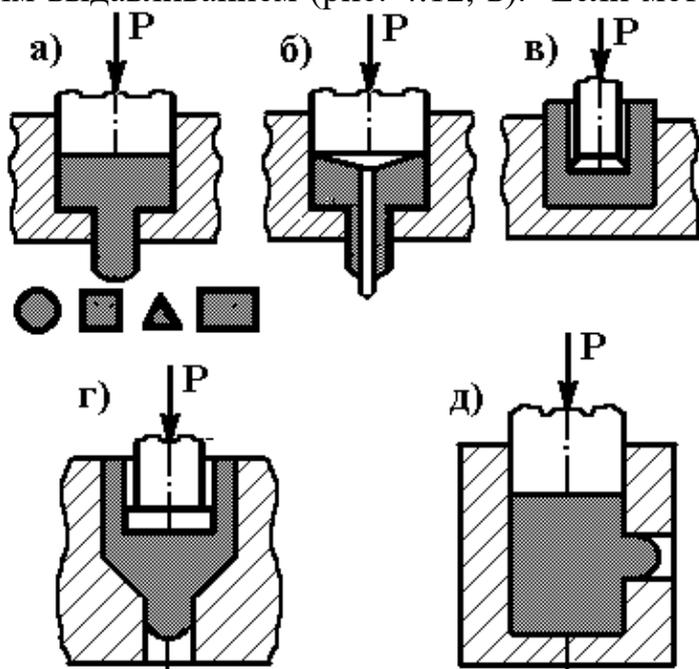
Материалы, используемые для холодного выдавливания, должны обладать высокой пластичностью, невысокими пределами текучести и малой склонностью к упрочнению. Применяются в основном алюминиевые, медные сплавы и малоуглеродистые стали. Одним из недостатков процесса является потребность в приложении больших удельных давлений, что отрицательно сказывается на стойкость инструмента (пуансона и матрицы) и ограничивает применение данного процесса сравни-

тельно небольшими по массе и размерам изделий. Формообразование заготовки при холодном выдавливании осуществляется по нескольким схемам (рис. 4.12). При прямом выдавливании (рис. 4.12, а) металл течет через отверстие в



матрице 2 в направлении движения пуансона 1. Форму нижней части заготовка получает в зависимости от формы поперечного сечения отверстия матрицы, а форму верхней части – формой внутренней поверхности матрицы и формой пуансона. Если на торце пуансона имеется стержень, входящий в отверстие матрицы, то заготовка будет иметь сквозное отверстие (рис. 4.12, б). Когда

Рис. 4.11. Схема холодной объемной штамповки. металл течет в направлении, обратном движению пуансона, данная операция называется обратным выдавливанием (рис. 4.12, в). Если металл течет одновременно и вверх и



вниз (рис. 4.12, г), то имеет заготовок место комбинированное выдавливание. При боковом выдавливании (рис. 4.12, д) металл вытекает в отверстие, расположенное в боковой поверхности разъемной матрицы. Зазоры между пуансонами матрицами делают по возможности минимальными во избежание заусенца. Механические прессы

Рис. 4.12 Схема формообразования при холодном выдавливании.

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. 4.13). Рабочими элементами инструмента при отбортовке являются пуансон 2 и матрица 1.

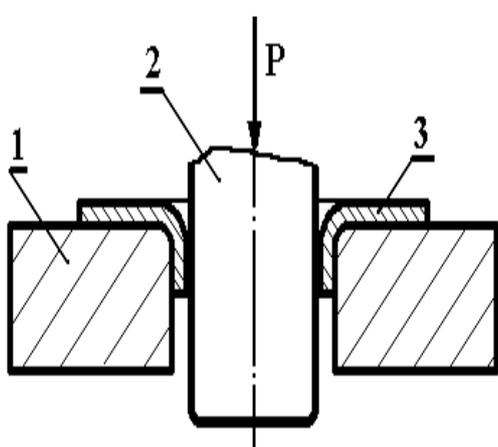


Рис. 4. 13. Отбортовка.

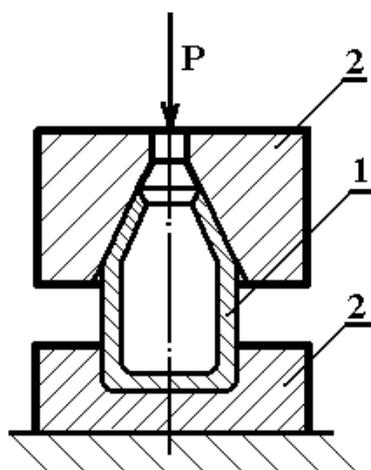


Рис. 4. 14. Обжим.

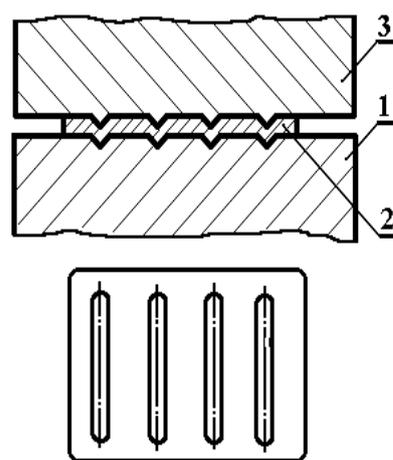


Рис. 4.15. Формовка.

Обжимом называется операция, предназначенная для уменьшения поперечных размеров краевой части полой цилиндрической заготовки 1 (рис. 4.14). Исходным материалом для полой заготовки могут служить трубы, а также полуфабрикаты, полученные вытяжкой. Рабочим элементом инструмента при обжиме служит подвижная матрица 2, которая, перемещаясь вниз, обжимает конец заготовки своей воронкообразной полостью.

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. 4.15). 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 объемно штамповкой?
5. Перечислите оборудование, применяемое для холодной объемной штамповки.
6. В чем различие в операциях холодной объемной штамповки и холодным выдавливанием?
7. Что такое припуски и допуски?
8. Назовите технические условия и требования на поковки.
9. Что такое поковка?
10. Что называется отбортовкой?
11. Назовите основные показатели качества поковок.
12. Заготовки каких деталей изготавливают ковкой?
13. Как осуществляется процесс ковка?
14. Что такое холодная листовая штамповка?
15. Получение заготовок процессами ковки.
16. Что такое прокатные станы?
17. Что такое прокатка?
18. Что изготавливают горячей прокаткой?
19. Что такое сортовой профиль?
20. По каким схемам осуществляется формообразование заготовки при холодном выдавливании?

ГЛАВА II

Раздел 5

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 связное, 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, транс-

портирование 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 раскряя 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, осуществляемым 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 создает 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 создается 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.

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 мелкосерийном 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 осу-

ществляется 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.

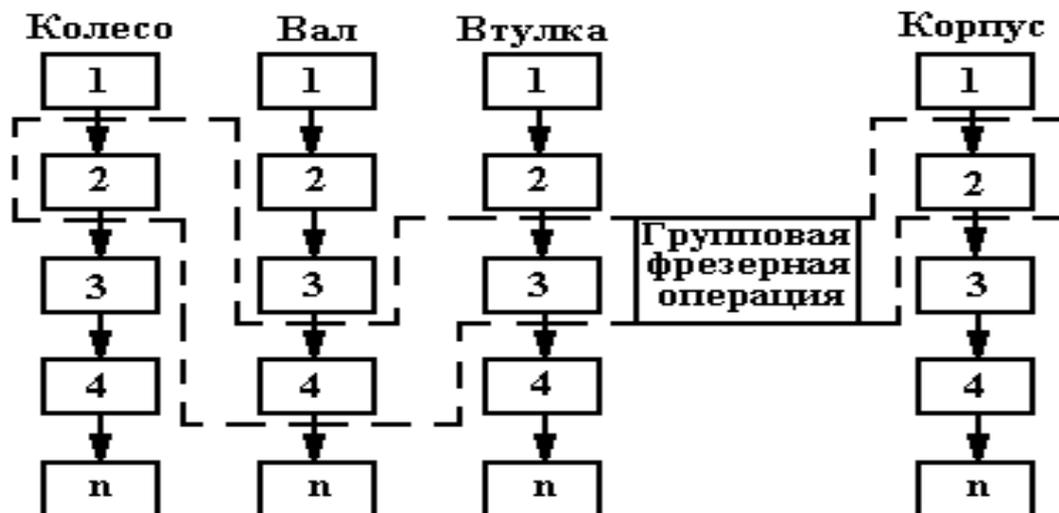


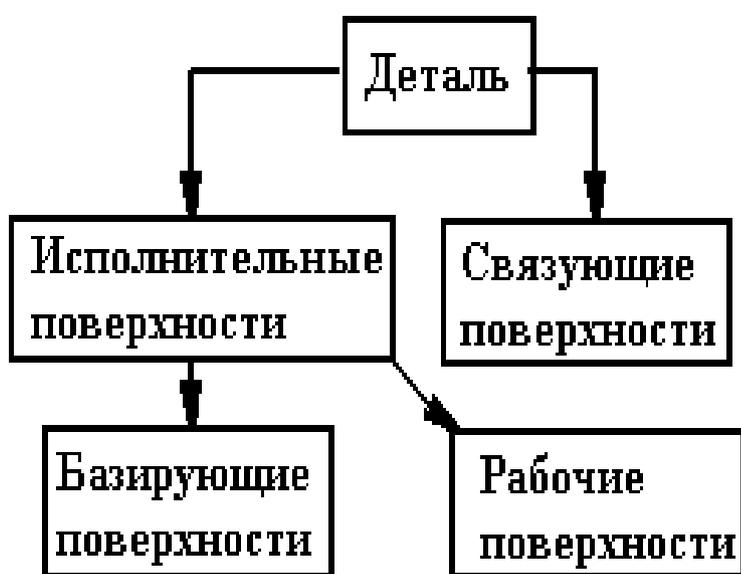
Рис. 5.1 Схема построения групповой фрезерной операции для деталей из разных классов; 1,2,3,4,... n – операции технологических процессов изготовления данных деталей

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 технологии 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 разде-

лить 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.

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

Рис. 5.2 Модульные поверхности детали.

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, фор-

мы и свойств материала заготовки с целью получения готовой детали в соответствии с заданными чертежом техническими требованиями. Технологический процесс изготовления детали разбивается на операции, установки, 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, установленном 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° для фрезерования 2-й грани, занимая следующую позицию относительно фрезы. И так заготовка 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 оказывается технически и экономически целесообразной.

Рабочий ход – (старое название "проход") *однократное* перемещение 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 по-

верхности 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 необходимы для выполнения технологического перехода 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 последова-

тельно 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 завода, 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:

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

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 постоянной 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 (τ) – интервал времени (мин), через который с линии должно выпускаться очередное изделие (заготовка, деталь, сборочная единица):

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

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 опера-

ций 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.

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Что такое технологическая подготовка производства?
2. Перечислите и дайте определение видам технологических процессов изготовления изделий.
3. Какие операции включает в себя технологический процесс механической обработки заготовок?
4. Классы модульных поверхностей и их назначение.
5. Типы и характеристика типов производства.
6. Различия единичного, массового и серийного производства, область их применения.
7. Чем характеризуется единичное производство?
8. Для каких деталей характерна разработка единичных технологических процессов?
9. Что такое типовой технологический процесс?
10. Что такое групповой технологический процесс?
11. Чем вызвана разработка модульного технологического процесса?
12. Для какой обработки вводится понятие технологический блок ТБ?
13. Что такое технологический процесс механической обработки изделия?
14. Что называется технологической операцией (ТО)?
15. Что такое рабочий ход?
16. Что такое технологический переход?
17. Что называется вспомогательным ходом?
18. Чем является коэффициент закрепления операций при определении характеристик типа производства?
19. Чем характеризуется массовое производство?
20. Чем характеризуется серийное производство?

Раздел 6

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 базирующие элементы (базы), которые могут быть различными по форме и виду. Согласно ГОСТ 21495 базами называются *поверхность* (рис. 6.1,а) или выполняющее 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

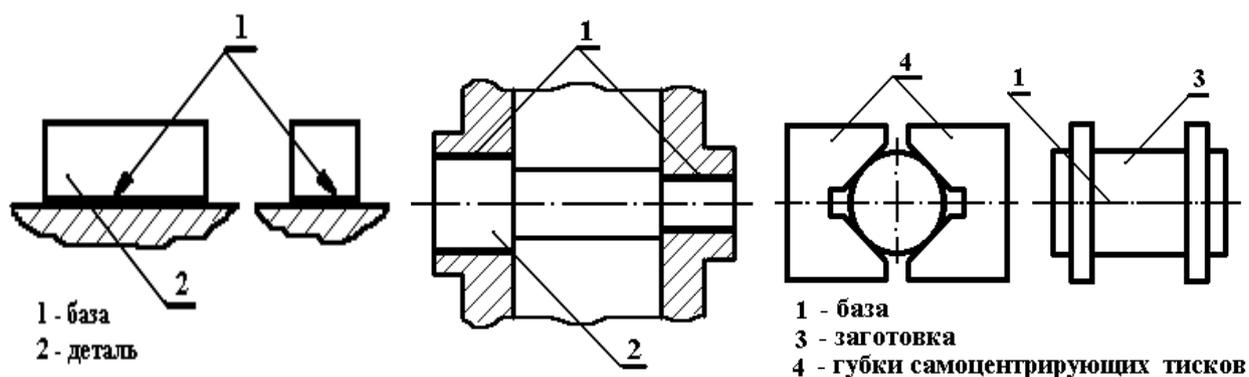


Рис. 6.1,а. База-поверхность детали. Рис. 6.1,б. База-сочетание поверхностей детали. Рис. 6.1,в. База-ось детали.

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.

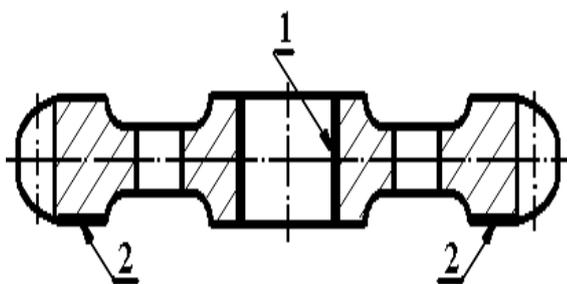


Рис. 6.2.а. Действительные базы детали.

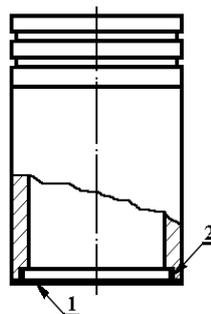


Рис. 6.2,б. Схема искусственных баз.

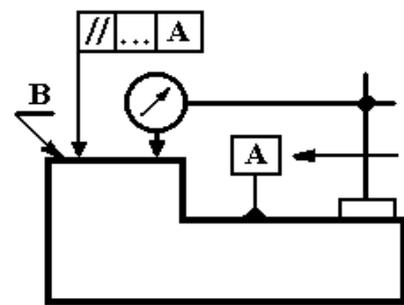


Рис. 6.3. Схема измерительных баз.

Например, поверхность отверстия 1 и торец венца заготовки 2, используемые для базирования заготовки при нарезании зубьев (рис. 6.2,а).

Искусственные базы – это поверхности, специально создаваемые на заготовке 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,б).

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 нереальные 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,а) и *три* – с возможным поворотом тела вокруг этих осей (рис. 6.4,б).

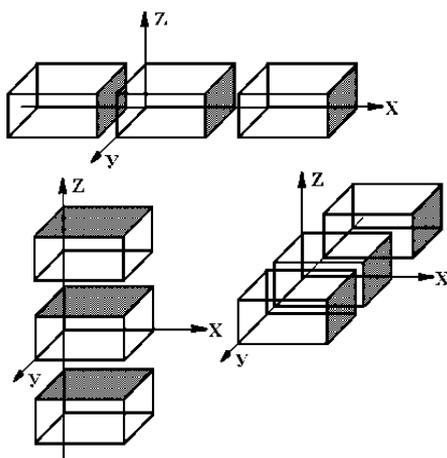


Рис. 6.4,а. Перемещение заготовки вдоль координатных осей.

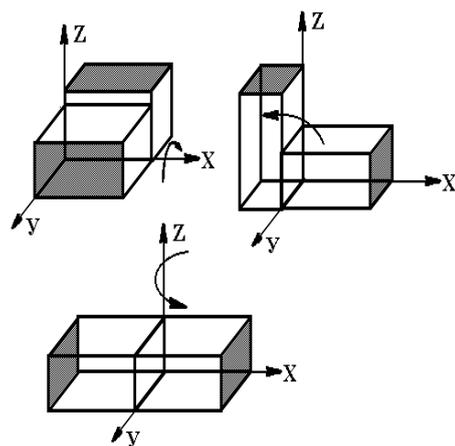


Рис. 6.4,б. Поворот заготовки вокруг координатных осей.

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,а), 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,б), 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 .

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 распространенным (рисунок 6.5 а, б, в) – базы.

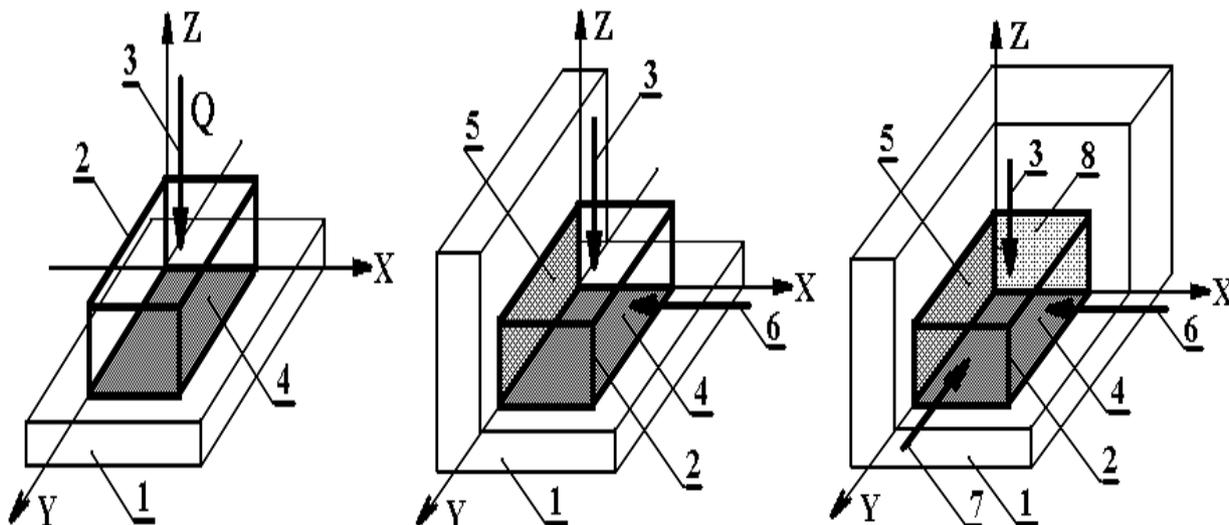


Рис. 6.5,а. Установочная. Рис. 6.5,б. Направляющая. Рис. 6.5, в. Опорная.

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

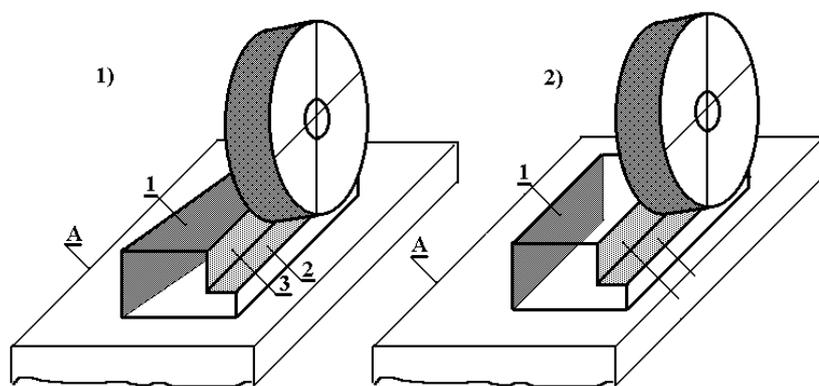


Рис. 6.6 Установка заготовки на магнитный стол. Если заготовка устанавливается на магнитный стол достаточно произвольно (вариант 1), то условие параллельности поверхностей 1 и 3 может быть не выполнено и одновременно не будет достигнута равная ширина поверхности 2. Если же с помощью приборов поверхность 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 определенной 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. При таком способе установки вала обработка его шеек с двух установок не

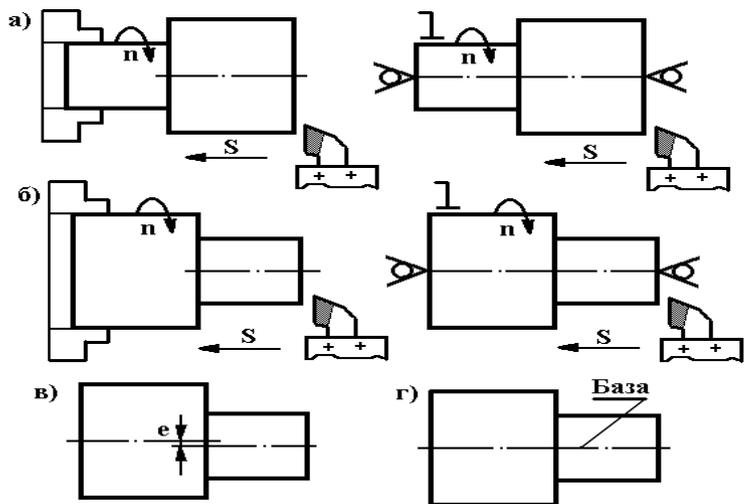


Рис. 6.7 Базирование вала в 3-х

кулачковом патроне. 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 сохранить этот контакт 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 базирования той или иной заготовки, в зависимости от массы заготовки и ее

жесткости, могут быть применены различные схемы 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 маложестких 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.

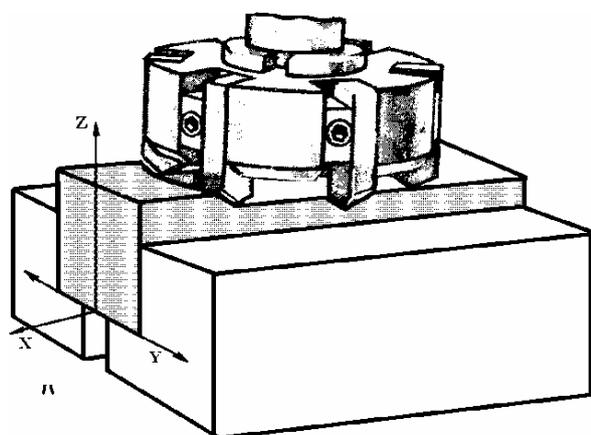


Рис. 6.9, а. Отсутствие опорной базы.

Так при фрезеровании поверхности у заготовки, 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 трения боковых поверхностей заготовки с губками тисков, 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.

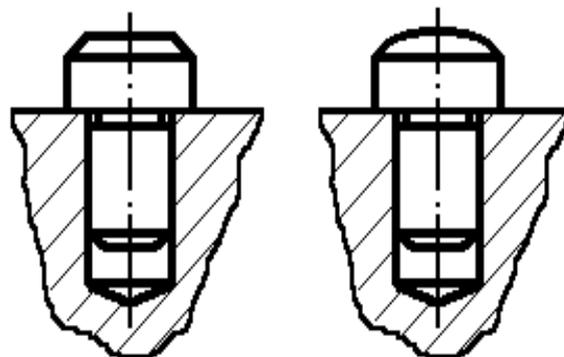


Рис. 6.8 Специальные опоры.

малых усилий резания. За счет сил трения боковых поверхностей заготовки с губками тисков, 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.

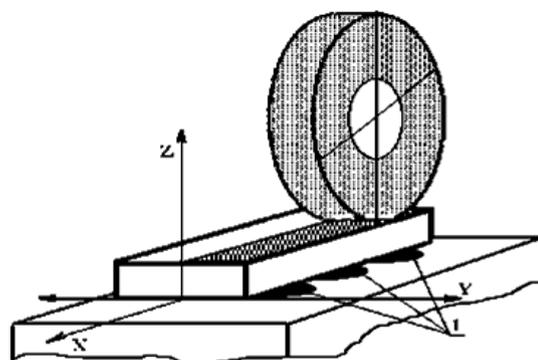


Рис. 6.9,б Использование только установочной базы.

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 схему 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 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.

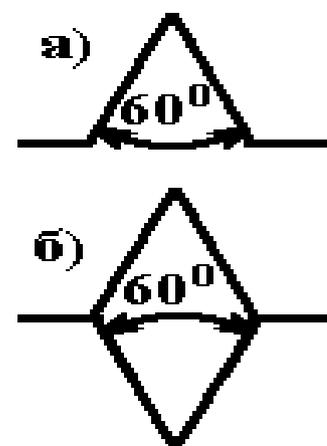


Рис. 6.10. Условное обозначение опорной точки.

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

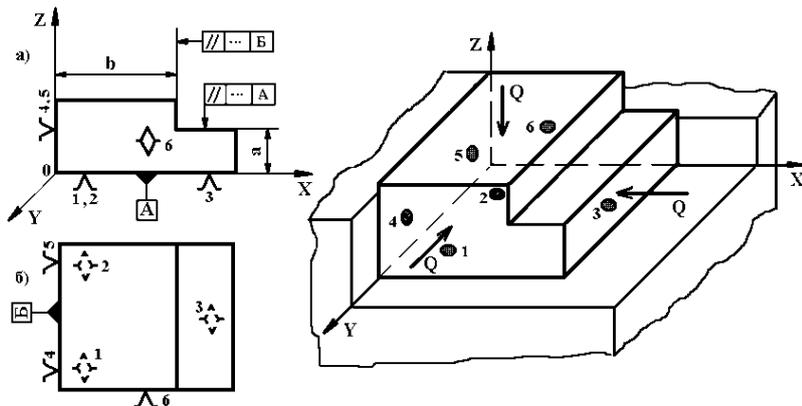


Рис. 6.11 Схема базирования заготовки при фрезеровании.

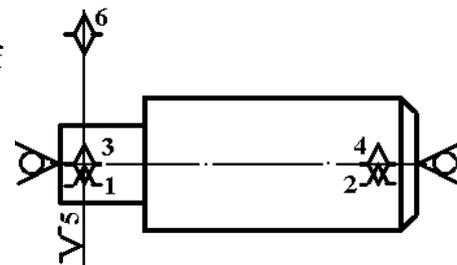


Рис. 6.12 Схема базирования валика в поводковом патроне и центрах.

6.6. Принцип постоянства базы

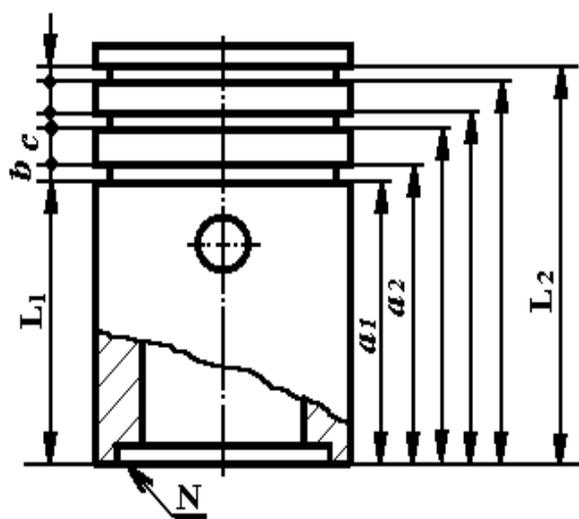
При выборе технологических баз следует придерживаться *принципа постоянства базы* на основных операциях механической обработки заготовки, т.е. по возможности использовать в качестве технологической базы одни и те же поверхности заготовки. Тогда погрешности обрабатываемых поверхностей, выполненных от 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, проставленных методом «цепочки» данный допуск будет выдерживается, то при выполнении размеров по координатной системе, допуск на ширину канавки равен сумме допусков на размеры a_1 и a_2 , что значительно превысит

Рис. 6.13 Способы простановки размеров. 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 несовмещение 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 ис-

пользует 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. 6.14 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 измерительная 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. 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 обрабо-

танную поверхность. Принцип постоянства и совмещения баз особое значение имеет при чистовых операциях, обеспечивающих заданную точность получаемых размеров.

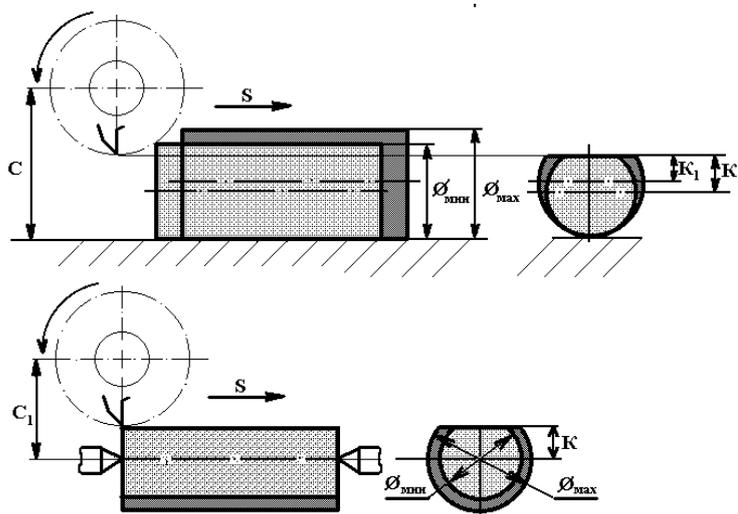


Рис. 6.14 Фрезерование лыски на валу при установке вала на столе станка или в центрах

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 .

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. Различия единичного, массового и серийного производства, область их применения.
10. Что берется за базы при расчете на прочность коленчатого вала?

Раздел 7

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, указанных 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).

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 выдает 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.

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

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

139

(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;
- 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.

7.3.1. 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.

7.3.2. 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.

7.3.3. 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 $\Delta\epsilon_6$; при закреплении – погрешностью закрепления $\Delta\epsilon_3$.

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 массовом 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 - $\Delta\epsilon_6$;
- погрешность закрепления - $\Delta\epsilon_3$;
- погрешность приспособления - $\Delta_{пр}$.

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:

$$\Delta y = \sqrt{\Delta\epsilon_6^2 + \Delta\epsilon_3^2 + \Delta_{пр}^2} \quad (7.1)$$

Погрешность приспособления $\Delta_{пр}$ 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 6...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 $1/5 \dots 1/10$ доли допуска на соответствующий обрабатываемый размер детали.

Погрешность закрепления $\Delta \varepsilon_3$ 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 $\Delta \varepsilon_6$ 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 смещений 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;

7.3.4. 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 нала-

дочного размера (положения инструмента при настройке) называется *погрешностью настройки* – Δ_H (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 неработающем станке или вне станка (при использовании съемных суппортов, расточных скалок, револьверных головок и других устройств).

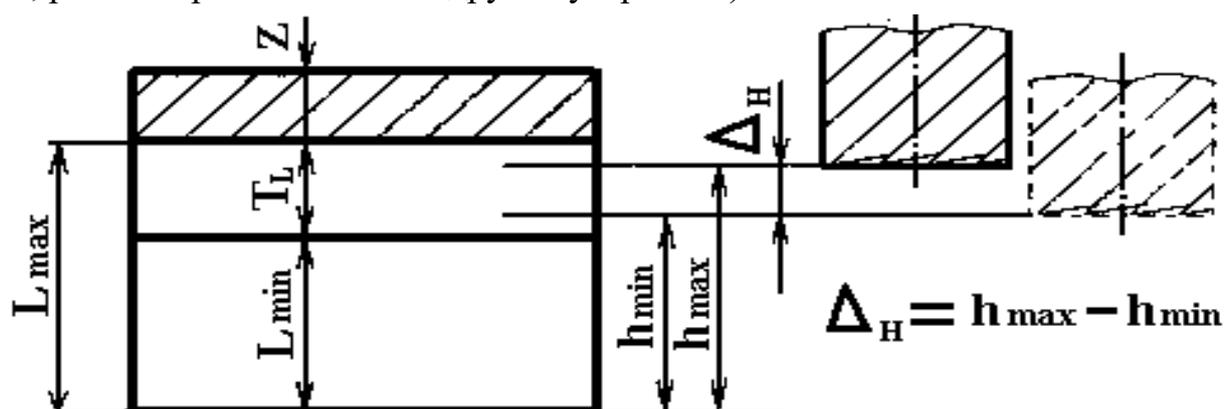


Рис. 7.2 Схема определения погрешности настройки станка

К преимуществам статической настройки можно отнести: малую трудоемкость, обеспечивает получение стабильных результатов при наладке много инструментальных 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 является большие затраты вспомогательного времени.

7.3.5. 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):

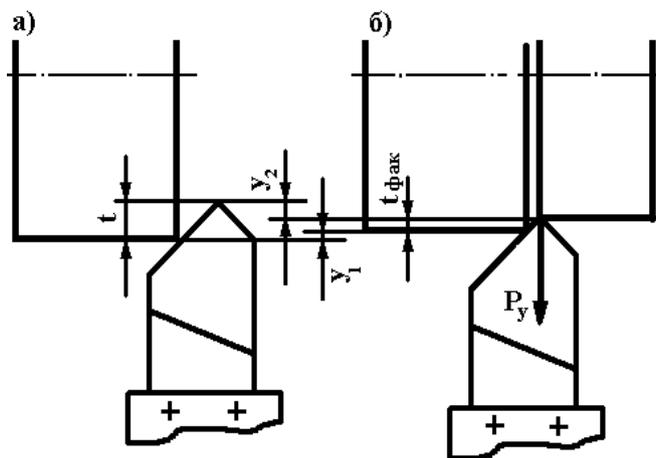
$$j = P_y / y, \text{ (Н/мм)} \quad (7.2)$$

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.

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:

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



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

Рис. 7.3 Схема отжатия резца от детали силами резания.

основного размерного параметра принят наибольший диаметр изготавливаемой

детали (D), для горизонтально-расточных станков – диаметр шпинделя ($D_{шп}$).

В таблице 7.1 приведены ориентировочные величины жесткости токарных станков.

Величины жесткости токарных станков. Таблица 7.1

Высота центров, мм	200	250	300	400	500
Статическая жесткость $j_{ст}$, 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;
- выравнивать жесткость технологической системы;
- правильно устанавливать и закреплять заготовки;
- уменьшать количество звеньев и стыков технологической системы;
- выбирать наиболее рациональные режимы резания и т.д.

7.3.6. 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 других.

Нагрев технологической системы приводит к ее упругой деформации, появлению погрешностей обработки Δ_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, физико-механических 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 изготовление 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.

7.3.7. 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 уравниваются 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.)

7.3.8. 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 такое точность методов и средств измерений?
8. Что называется внутренним напряжением в материале детали?
9. В какую сторону смещается средний случайный размер при обработке валов?
10. Как изменяется средний случайный размер при обработке отверстий?

Раздел 8

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 крепится 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 закрепления 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 изготавливаются 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 переналадки станков на обработку различных заготовок схожих по форме. Их используют на токарных, фрезерных, сверлиль-

ных 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 оснащённости 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.

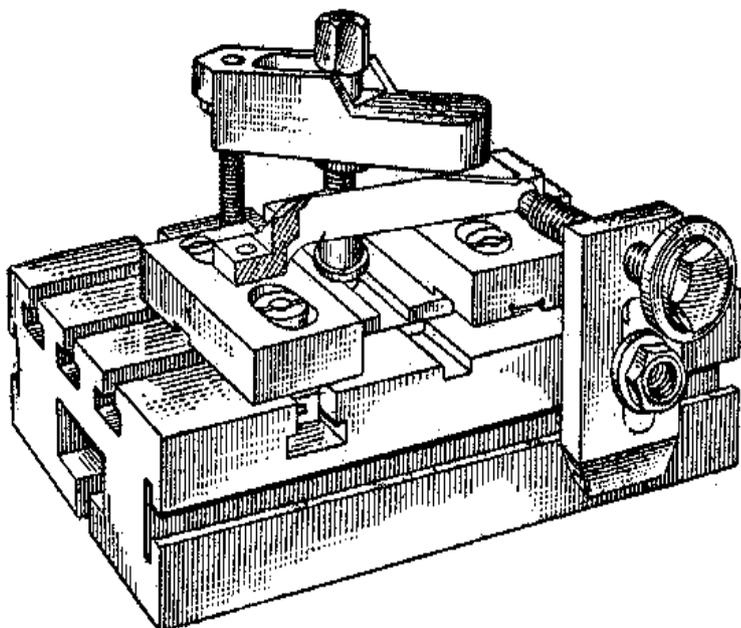
Специализированные наладочные приспособления (СНП) применяют для установки и закрепления группы деталей, близких по конструктивно-технологическим размерам, способам обработки и по общности установочных поверхностей (технологических баз).

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

Рис. 8.2 Универсально -
- сборочное приспособление.

заводской комплект стандартизованных
нормализованных элементов, состоящих

их большого количества базовых, корпусных, установочных, направляющих, прижимных, крепежных и других деталей и узлов различных по конструкции. 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 применение 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 у 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 представляют 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. Специ-

альные 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 оказывается 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 устанавливают 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.

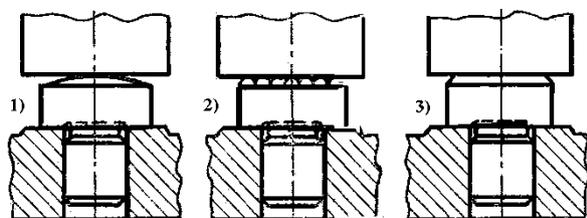


Рис. 8.3,а Опорные штыри.

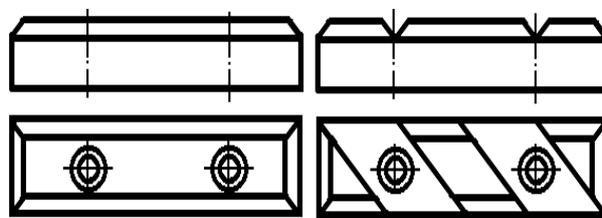


Рис. 8.3,б Опорные пластины.

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

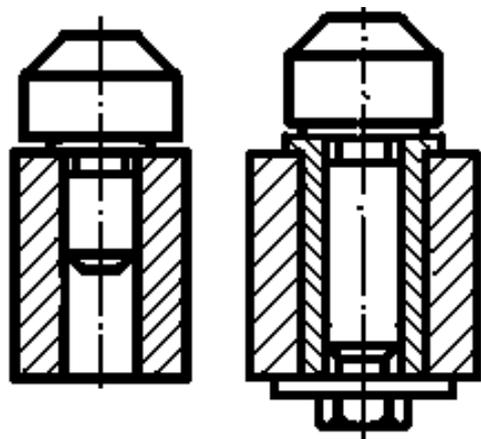


Рис. 8.4,а Установочные пальцы.

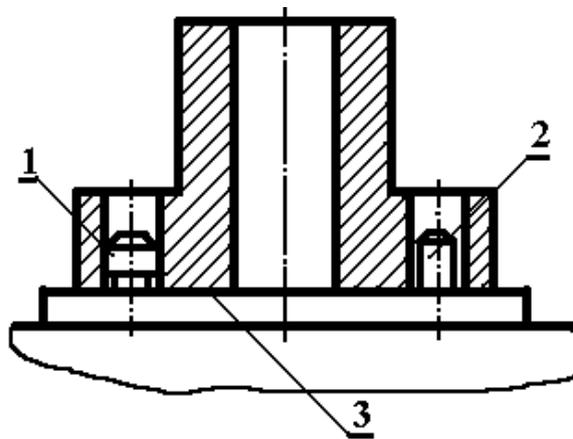


Рис. 8.4,б Установка заготовки по плоскости и двум отверстиям.

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. 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 δ . 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 concentricность 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. 8.5а, показана оправка с упругой гильзой, разжимаемой гидропластом. 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 concentricности (биение 0,005...0,01 мм).

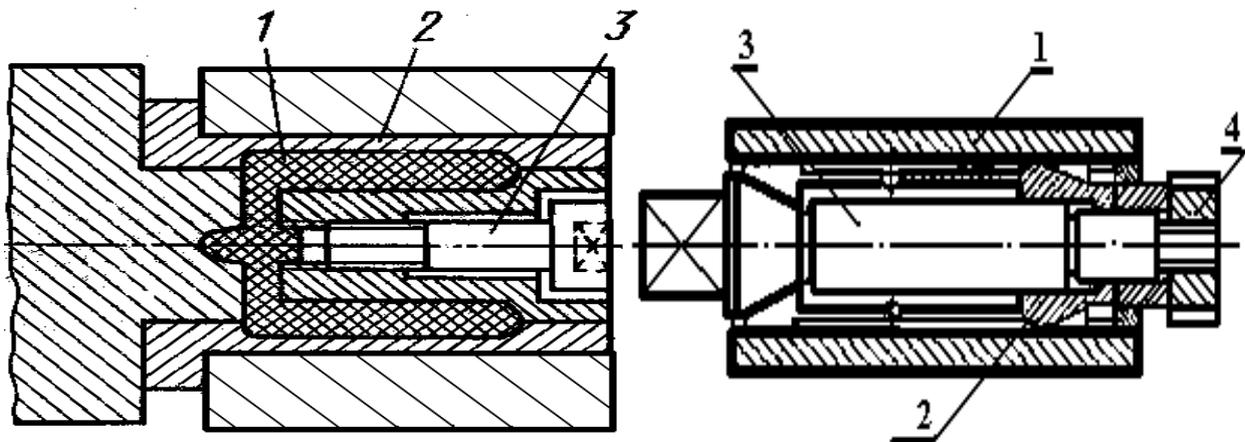


Рис. 8.5, а Оправка с гидропластом. Рис. 8.5,б. Разжимная цанговая оправка.

Широко распространены разжимные цанговые оправки (рис. 8.5,б), 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 приспособлении. 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. В процессе конструирования 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 . Усилие зажима заготовки одним кулачком $-W$, тремя кулачками $-3W$.

Определим зависимость величины усилия зажима W от сил резания. Сила резания P_Z создает момент резания $M_{рез}$, который стремится повернуть заготовку вокруг ее оси.

$$M_{рез} = P_Z \cdot r_1, \quad (8.1)$$

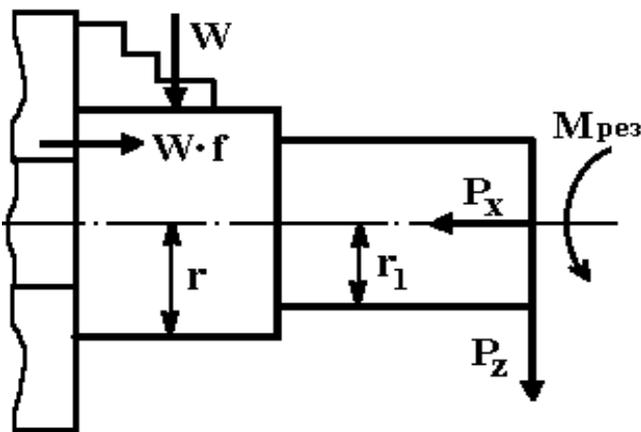


Рис. 8.6,а. Схема сил резания при точении.

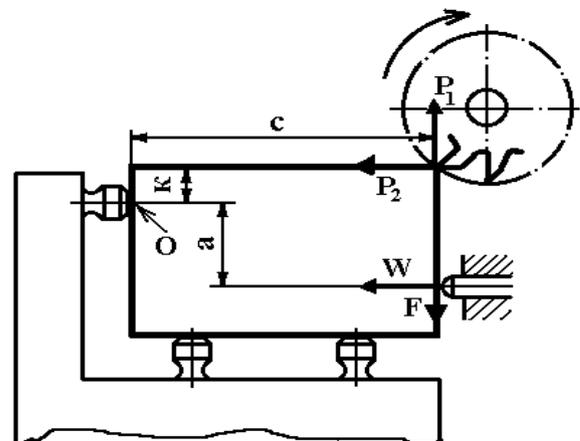


Рис. 8.6,б. Схема сил резания при фрезеровании.

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 создает момент сопротивления проворачивания заготовки в процессе резания:

$$M_{сопр} = 3 W \cdot f \cdot r \quad (8.2)$$

Введя коэффициент запаса K , можно записать:

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

Откуда:
$$W = K \cdot P_Z \cdot r_1 / 3 \cdot f \cdot r \quad (8.4)$$

Величину W проверяют на возможность продольного сдвига заготовки силой P_X :

$$3 W \cdot f \geq K \cdot P_X \quad \text{или} \quad W \geq K \cdot P_X / 3 \cdot f \quad (8.5)$$

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. Величина силы зажима определяется при приравнении суммы моментов всех сил относительно точки O 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 O и приравняем это уравнение нулю:

$$W \cdot a + W \cdot f \cdot c - P_2 \cdot k - P_1 \cdot c = 0 \quad (8.6)$$

Введем коэффициент запаса K и преобразуем данное уравнение:

$$W \cdot a + W \cdot f \cdot c = K(P_2 \cdot k + P_1 \cdot c) \quad (8.7)$$

отсюда:
$$W = \frac{K(P_2 \cdot k + P_1 \cdot c)}{a + f \cdot c}, \quad (8.8)$$

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, механиз-

рованные 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. К решению каких задач может быть сведен расчет сил зажима?
9. Для чего служат специальные приспособления (СП)?
10. Назначение универсально-сборные приспособления (УСП).
11. Какие станочные приспособления вы знаете?
12. Когда применяются универсальные приспособления (УП)?
13. Когда применяются специализированные безналадочные приспособления (СБП)?
14. На сколько групп по функциональным признакам делят весь комплект универсально-сборные приспособления?
15. Для чего служат установочные элементы приспособлений?
16. Для чего применяют оправки?
17. На какие группы делятся зажимные устройства по принципу действия?

ГЛАВА III

Раздел 9. 9. Классификация материалов

9.1 Классификация инструментальных материалов

Невозможно создать такой универсальный инструментальный материал, который был бы одинаково пригоден для всего многообразия условий механической обработки. Поэтому в промышленности используется широкая номенклатура инструментальных материалов, отвечающих определенным требованиям.

Все инструментальные материалы подразделяются на следующие группы, ранжированные по степени повышения их режущих свойств:

1. Углеродистые и низколегированные инструментальные стали
2. Быстрорежущие стали
3. Твердые сплавы (металлокерамика) без покрытия и с покрытием
4. Минералокерамика и керметы;
5. Синтетические композиции из нитрида бора;
6. Синтетические и природные алмазы.

Сравнительные характеристики физико-механических свойств инструментальных материалов даны в таблице 9.1, график применяемости – на рисунке 9.1.

Физико-механические свойства инструментальных материалов. Таблица 9.1

Инструментальный материал	Теплостойкость, °С	Предел прочности при изгибе σ_B , МПа
Углеродистые стали	200...250	1900...2000
Низколегированные инструментальные стали	250...300	2000...2500
Быстрорежущие стали	600...650	2050...3400
Твердые сплавы	800...900	900...2000
Минералокерамика	1100...1200	325...700
Алмазы	700...800	210...400
Композиты КНБ	1300...1500	400...1500

Следует отметить, что по применяемости в режущих лезвийных инструментах инструментальные материалы располагаются примерно следующим образом:

- 60...70 % приходится на быстрорежущие стали;
- 20...30 % - на твердые сплавы; - 5...10 % - на остальные материалы.

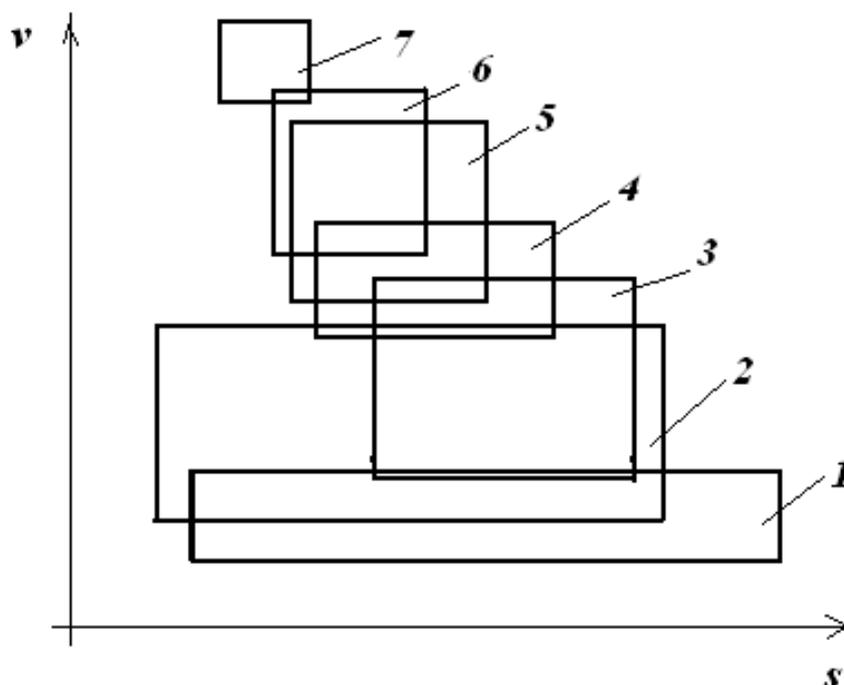


Рис. 9.1. Области применения режущих материалов по скорости резания v и подаче s .

1- быстрорежущие стали; 2 - твердые сплавы; 3 - твердые сплавы с покрытием; 4 - нитридная керамика; 5 - черная керамика (керметы); 6 - оксидная (белая) керамика; 7 - кубический нитрид бора.

Высокий процент применяемости быстрорежущих сплавов объясняется главным образом их прочностными и технологическими свойствами, обеспечивающими высокую надежность и универсальность инструментов. На долю твердых сплавов, благодаря их высокой режущей способности, приходится более половины объема снимаемой стружки (рис. 9.1). В настоящее время более 120 заводов-изготовителей во всем мире производят более 3500 сортов инструментальных материалов для режущего инструмента. В большинстве случаев марка материала не несет информации об ее химическом составе, за исключением России, Германии и еще нескольких стран.

Производительность инструмента в значительной степени зависит от его способности определенное время сохранять режущие свойства. Поэтому инструментальные материалы, предназначенные для изготовления режущих элементов инструмента, характеризуют следующими эксплуатационными свойствами:

- твердостью; - износостойкостью; - теплостойкостью;
- механической прочностью; - коррозионной стойкостью.

Указанные эксплуатационные свойства количественно оценивают с помощью показателей: предел текучести и твердости, предел выносливости, коэффициент теплопроводности, модуль упругости, предел прочности при сжатии и растяжении, коэффициент линейного растяжения, скорость окисления, интенсивность адгезии и т.д. Помимо этого к инструментальному материалу предъявляют технологические требования: возможность термической обработки (ТО) с широким интервалом закалочных температур; отсутствие трещин и значительных деформаций; хорошая обрабатываемость резанием и пластическим деформированием в сыром состоянии и шлифуемость в закаленном состоянии. Однако в природе отсутствуют материалы, которые одновременно имеют требуемые значения всех эксплуатационных показателей.

Общепринятая классификация инструментальных материалов отражает их химический состав, который определяет перечисленные показатели. Инструментальные материалы разделены на четыре группы и отличаются значительной номенклатурой (см. рисунок 9.2). В соответствии с этим различные режущие материалы имеют свои рациональные области применения. В последние десятилетия появилась другая тенденция - деление инструментальных материалов по области их применения. Необходимо отметить, что такая классификация является весьма условной.

Развитие инструментальных материалов идет по пути повышения твердости, теплостойкости и износостойкости, что обеспечивает повышение скоростей резания и возможность обрабатывать металлы и сплавы высокой твердости. Однако новые материалы обычно имеют ограниченную область применения и не заменяют основные виды материалов, а дополняют их. Так, доля сталей и твердых сплавов в несколько раз превышает долю керамики и сверхтвердых материалов в общем объеме применяемых инструментальных материалов. Поэтому в настоящее время основным направлением является совершенствование твердых сплавов (улучшение технологии изготовления, термической обработки, нанесение покрытий, исключение из состава дорогостоящих и дефицитных элементов).



Рис. 9.2 Классификация инструментальных материалов

Современные требования производства существенно увеличили объем чистовых операций, в том числе после термической обработки. При этом требуемая стойкость инструментов снизилась в ряде случаев до 10...20 минут. Это объясняется экономической целесообразностью, так как стоимость инструмента по сравнению с технологическим оборудованием невелика, с другой стороны, к инструменту, работающему в автоматизированном производстве, предъявляют высокие требования по надежности.

К основным достижениям последнего времени в области прогрессивных режущих материалов можно отнести:

- повышение качества твердых сплавов;
- разработку и совершенствование маловольфрамовых и безвольфрамовых твердых сплавов;
- повышение режущей способности инструментов за счет нанесения

износостойких покрытий из карбидов, нитридов и карбонитридов титана, оксидов и композиционных материалов;

- разработку и совершенствование оксидно-карбидной и оксиднонитридной инструментальной керамики;

- создание новых поликристаллических синтетических сверхтвердых материалов на основе углерода и нитрида бора.

9.2 Углеродистые инструментальные стали

Вплоть до первого десятилетия XX века единственным инструментальным материалом, пригодным для изготовления металлорежущих инструментов, была *углеродистая инструментальная сталь*. Из-за низкой температуро- и износостойкости изготовленными из нее инструментами можно было обрабатывать углеродистые стали и чугуны с низкими скоростями резания (10...20 м/мин, в некоторых случаях до 30 м/мин) и невысоким эксплуатационным ресурсом. Основным химическим элементом, определяющим физико-механические свойства углеродистых и низколегированных инструментальных сталей, является углерод. Углерод образует карбиды железа, которые в процессе термообработки активно участвуют в фазовых превращениях и образовании твердой мартенситной структуры. Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435-90) содержат 0,65...1,35% углерода, обладают твердостью 60...63 HRCэ, теплостойкостью 200°C и работают со скоростями резания не более 10... 12 м/мин. Маркировка: У - углеродистая, следующая за ней цифра - массовая доля углерода в десятых долях процента, Г - повышенная массовая доля марганца, А - высококачественная сталь (таблица 9.2).

Углеродистые инструментальные стали имеют низкую твердость в состоянии поставки (таблица 9.3), что обеспечивает их хорошую обрабатываемость резанием и давлением. Термическая обработка таких сталей состоит из закалки в воде или через воду в масле и отпуска на воздухе для снятия внутренних напряжений. Углеродистые инструментальные стали имеют низкую прокаливаемость, большую чувствительность к перегреву при закалке. Следствием являются рост зерна, повышенная хрупкость и выкрашивание кромок инструмента.

Марки и химический состав углеродистых
инструментальных сталей.

Таблица 9.2

Марка стали	Массовая доля элемента, %				
	углерод	кремний	марганец	сера	фосфор
				не более	
У7	0,65-0,74	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У8	0,75-0,84	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У8Г	0,80-0,90	0,17-0,33	0,33-0,58	0,028	0,030
У9	0,85-0,94	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У10	0,95-1,04	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У11	1,05-1,14	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У12	1,15-1,24	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У13	1,25-1,35	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030
У7А	0,65-0,74	0,17-0,33	0,17-0,33	0,018	0,025
У8А	0,75-0,84	0,17-0,33	0,17-0,33	0,018	0,025
У8ГА	0,80-0,90	0,17-0,33	0,33-0,58	0,018	0,025
У9А	0,85-0,94	0,17-0,33	0,17-0,33	0,018	0,025
У10А	0,95-1,04	0,17-0,33	0,17-0,33	0,018	0,025
У11А	1,05-1,14	0,17-0,33	0,17-0,33	0,018	0,025
У12А	1,15-1,24	0,17-0,33	0,17-0,33	0,018	0,025
У13А	1,25-1,35	0,17-0,33	0,17-0,33	0,018	0,025

Пониженная прокаливаемость этих сталей вынуждает применять при их закалке резкие охладители - воду или соляные растворы. Однако резкое охлаждение приводит к деформациям и трещинам закаленного инструмента. Из-за низкой температуростойкости углеродистые стали применяют: У7...У9 - для слесарных, деревообрабатывающих и кузнечных инструментов; У10А...У13А - для ручных режущих инструментов (напильников, метчиков, плашек, разверток), а также машинных инструментов, работающих на скоростях резания 6...12 м/мин. Режущие инструменты из углеродистой стали конструктивно выполняют цельными в соответствии со стандартами на определенный вид инструмента. Вследствие большой деформации при ТО не рекомендуют делать длинные и имеющие сложный профиль инструменты. Из-за склонности к обезуглероживанию не следует шлифовать профиль инструмента, так как в процессе шлифования развивается высокая контактная температура, обезуглероживается поверхностный слой и снижается твердость инструмента.

Механические характеристики углеродистых
инструментальных сталей.

Таблица 9.3

Марка стали	Твердость		Временное сопротивление, МПа
	в состоянии поставки, <i>HB</i>	после закалки, <i>HRCэ</i>	
У7, У7А, У8, У8А, У8Г, У8ГА	187	63	650
У9, У9А	192	63	
У10, У10А	207	63	750
У11, У11А	212	63	
У12, У12А	212	64	
У13, У13А	217		

Чтобы улучшить свойства углеродистых инструментальных сталей, используют присадки легирующих элементов: вольфрама 1...2 %, ванадия 0,3 %, хрома 0,5... 1,5 %. За счет этого уменьшается чувствительность сталей к перегреву во время закалки и несколько повышается вязкость в закаленном состоянии. Присадка хрома (УПХ, У13Х) снижает критическую скорость охлаждения при закалке, вследствие чего улучшается прокаливаемость и уменьшается деформация закаливаемых инструментов.

9.3 Легированные инструментальные стали

Легированные инструментальные стали (ГОСТ 5950-73) содержат 0,85...1,15 % углерода, обладают твердостью 61...63 *HRCэ*, теплостойкостью 250...300°C и работают со скоростями резания до 15 м/мин. В состав сталей, кроме углерода, входят в небольшом количестве легирующие элементы: хром *Cr* (способствует повышению твердости и прокаливаемости), вольфрам *W* (обеспечивает повышение теплостойкости и износостойкости), ванадий *V* (повышает твердость и создает мелкозернистую структуру), а также повышенное содержание марганца *Mn* и кремния *Si*. Для легированных инструментальных сталей характерна более глубокая прокаливаемость, меньшая склонность к деформациям и трещинам. ГОСТ 5950 предусматривает более 50 наименований марок легированных сталей. Основная область применения - режущий, штамповый и мерительный инструмент. В производстве режущих инструментов ис-

пользуют стали марок: 7ХФ, 8ХФ, 9ХФ, ИХФ, 13Х, В2Ф, 9Х1, 12Х1, 9ХС, ХГС, 9ХВГ, ХВГ, ХВСГ, 9Х5ВФ, Х6ВФ и др. Химический состав наиболее распространенных марок из указанных приведен в табл. 9.4.

Химический состав легированных инструментальных сталей. Таблица 9. 4

Марка стали	Массовая доля элемента, %					
	углерод	марганец	кремний	хром	вольфрам	ванадий
9ХС	0,85-0,95	0,30-0,60	1,20-1,60	0,95-1,25	---	---
ХВГ	0,90-1,05	0,80-1,10	0,15-0,35	0,90-1,20	1,20-1,60	---
ХВСГ	0,95-1,05	0,60-0,90	0,65-1,00	0,60-1, 10	0,50-0,80	0,05-0,15
Х6ВФ	1,05-1,15	0,15-0,40	0,15-0,35	5,50-6,50	1,10-1,50	0,50-0,80

Наибольшее применение для изготовления режущих инструментов получили 9ХС и ХВГ. Сталь 9ХС предназначена для изготовления сверл, разверток, метчиков, плашек, гребенок, фрез, работающих на относительно низких скоростях резания. Сталь 9ХС обеспечивает равномерное распределение карбидов, что позволяет делать из нее инструменты с более тонкими режущими элементами. Недостатки: плохая шлифуемость, повышенная чувствительность к обезуглероживанию. Сталь ХВГ имеет меньшее коробление при термообработке, поэтому из нее делают длинные инструменты: протяжки, длинные развертки, метчики и т.д., также ее применяют для изготовления деревообрабатывающих инструментов.

Сталь марки ХВСГ по своим режущим свойствам занимает промежуточное положение между 9ХС и ХВГ. В основном из нее делают ручные инструменты по металлу (сверла, развертки, плашки, метчики и др.) и машинные деревообрабатывающие инструменты. Марка Х6ВФ является более износостойкой вследствие повышенного содержания хрома. Поэтому целесообразно применять ее для изготовления резьбонакатных инструментов (плашек, роликов) и ножовочных полотен. В таблице 9. 5 приведены рекомендуемые марки легированных сталей для изготовления режущих инструментов, предназначенных для обработки чугунов, конструкционных сталей и цветных сплавов.

Марки легированных сталей для изготовления
режущих инструментов.

Таблица 9. 5

Инструмент	Марка стали
Фасонные резцы	9ХС, ХВГ, Х6ВФ
Фрезы, спиральные сверла, зенкеры, плашки, резьбонарезные гребенки, модульные фрезы, долбяки, пилы для металла	9ХС
Протяжки	ХВГ, Х6ВФ, 9ХВГ
Развертки.	9ХС, 9Х5ВФ
Метчики	6ХВФ, 9ХС

Инструментальные стали предназначены для режущего, измерительного и для штампового инструмента (холодного и горячего деформирования).

Инструментальные стали делят на четыре типа:

- 1) пониженной прокаливаемости (преимущественно углеродистые);
- 2) повышенной прокаливаемости (легированные);
- 3) штамповые;
- 4) быстрорежущие.

В особую группу инструментальных материалов входят так называемые твердые сплавы, применяемые для инструмента, работающего на особо высоких скоростях резания. Углеродистые и легированные стали применяют для режущего инструмента при легких условиях работы и для измерительного инструмента. Быстрорежущие стали используют для изготовления режущего инструмента, работающего при повышенных режимах.

Инструментальные стали пониженной прокаливаемости. В данную группу входят все углеродистые инструментальные стали, а также стали с небольшим содержанием легирующих химических элементов. Поэтому они не очень отличаются от углеродистых по прокаливаемости. Все стали указанной группы закалывают в воде, инструмент из этих сталей имеет, как правило, незакаленную сердцевину.

Из углеродистых инструментальных сталей изготавливают метчики и развертки (У 10-У12), зубила (У7), матрицы для холодной штамповки (У8-У10), плашки (У 10). Твердость углеродистой инструментальной стали 60-65 НЯС.

Инструментальные стали повышенной прокаливаемости (легированные инструментальные стали)

В эту группу входят стали, содержащие 1-3 % легирующих химических элементов, поэтому они обладают повышенной прокаливаемостью. Инструменты из этих сталей закаливают в масле (при ступенчатой закалке - в солях). Прокаливаются они, как правило, полностью. Уменьшение скорости охлаждения при закалке снижает возможность образования трещин, деформации и коробления, что свойственно углеродистым инструментальным сталям. Это важно для инструментов сложной конфигурации. Так, стали 9ХС и ХВСГ характеризуются повышенной закаливаемостью и прокаливаемостью как при охлаждении в масле, так и при ступенчатой закалке и имеют высокую твердость (62-63 НЯС). Кроме того, инструмент из этих сталей сохраняет высокую твердость режущей кромки при нагревании до температуры 225-250 °С. Эти стали используют для изготовления плашек, разверток, зенкеров. Сталь ХВ5 в закаленном и низкоотпущенном состоянии имеет твердость 67-69 НЯС.

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Современные требования к инструментальным материалам.
2. Какие стали называются углеродистыми?
4. В чем сущность легирования сталей?
5. Углеродистые инструментальные стали их различия, область применения.
6. Легированные инструментальные стали их различия, область применения.
7. Назовите марки легированных сталей для изготовления режущих инструментов.
8. Какие стали получили наибольшее применение для изготовления режущих инструментов?
9. Какие используются присадки легирующих элементов, чтобы улучшить свойства углеродистых инструментальных сталей?
10. Классификация инструментальных материалов.
11. Сколько сортов инструментальных материалов для режущего инструмента производится в мире?
12. По какому пути идет развитие инструментальных материалов?

Раздел 10

10. Быстрорежущие инструментальные стали

10.1 Марки быстрорежущих сталей

В начале XX века была разработана первая высоколегированная инструментальная сталь. Эта сталь в качестве легирующих присадок содержала 18 % вольфрама, 4,5 % хрома и 1 % ванадия. По сравнению с углеродистой новая сталь имела значительно более высокие физико-механические свойства, в особенности температуро- и износостойкость. Металлорежущие инструменты изготовленные из этой стали могли обрабатывать стали и чугуны со скоростями резания 30...60 м/мин (в 2...2,5 раза выше, чем инструментами из углеродистых сталей). Благодаря этим качествам вновь разработанная сталь получила название *быстрорежущей стали*. По химическому составу она соответствует современной марке P18. Сейчас быстрорежущие стали представляют собой группу инструментальных сталей с повышенным содержанием вольфрама, молибдена и хрома. Кроме того, в ряде марок сталей, отличающихся повышенной теплоустойкостью, дополнительно вводится определенное количество ванадия и кобальта. В настоящее время в России выпускается более 30 марок быстрорежущих сталей, в США – более 25 марок, большое количество марок и в других странах. В большинстве случаев, за исключением России, Германии и некоторых других стран, обозначение марки быстрорежущей стали не несет информации о химическом составе, определяющим режущие свойства инструмента. Например, в США быстрорежущие стали делятся на две группы: М (молибденовые) и Т (вольфрамовые). Разные марки сталей обозначаются этими буквами с соответствующими индексами.

В России принято буквенно-цифровое обозначение, отражающее примерное процентное содержание основных легирующих элементов. Например, P12Ф2К8М3 означает: Р – сталь быстрорежущая; буквы Ф, К, М означают, соответственно, ванадий, кобальт, молибден; цифра, стоящая после буквы Р, означает примерное содержание вольфрама, остальные цифры означают содержание соответствующих легирующих элементов.

В мировых стандартах быстрорежущие стали обозначаются следующим образом:

- HSS – быстрорежущая сталь;
- HSSV – быстрорежущая сталь, легированная ванадием;
- HSCo – быстрорежущая сталь, легированная кобальтом;
- CS – сталь, легированная хромом и др.

Согласно стандарту ISO, наряду с обозначениями, принятыми в национальных стандартах, в специальной технической литературе используется условное обозначение быстрорежущих сталей в виде набора цифр, расположенных в строго определенном порядке и показывающих среднее содержание основных легирующих элементов: W– Mo – V– Co. Для сталей с повышенным содержанием углерода впереди ставится буква S. Например, сталь P6M5K5 обозначается S-6-5-2-5. Большинство марок быстрорежущих сталей содержат в своем составе хром в количестве 3,5-5,0 %. Основным легирующим элементом в большинстве быстрорежущих сталей является вольфрам. Теплостойкость стали тем выше, чем больше растворяется карбидов в аустените при нагреве под закалку.

Быстрорежущие инструментальные стали (ГОСТ 19265-73) предназначены для резания как труднообрабатываемых материалов со скоростями до 50 м/мин, так и конструкционных сталей и чугунов с повышенными скоростями до 100 м/мин. Быстрорежущие стали имеют содержание вольфрама *W*, ванадия *V*, кобальта *Co* и молибдена *Mo* больше, чем легированные инструментальные стали, и теплостойкость 600...670°C. Они являются основными при изготовлении режущих инструментов. Марки и, химический состав быстрорежущих сталей приведены в табл. 10.1.

Быстрорежущие стали условно подразделяют на три группы:

- пониженной; - умеренной; - повышенной теплостойкости.

Стали пониженной теплостойкости (P3M3Ф2, P2M2Ф3, P6M4, P6M4Ф) отличаются низким содержанием *W* и *Mo* в их составе. Они имеют низкую температуру закалки - 1150...1180°C, твердость 62...65 HRC, мелкокарбидную и равномерно распределенную структуру, хорошую шлифуемость при содержании ванадия не менее 1,2 %.

Стали этой группы целесообразно применять при изготовлении:

- крупных инструментов, подвергаемых значительному шлифованию, для обработки мягких материалов при небольших скоростях резания;
- инструментов небольшого сечения с закалкой рабочей части и нагревом под закалку ТВЧ (ножовочные полотна, пилы и др.);
- инструментов, подвергаемых высокотемпературной термомеханической обработке.

Химический состав быстрорежущих сталей Таблица 10.1

Марка стали	Массовая доля элемента, %					
	углерод	хром	вольфрам	ванадий	кобальт	молибден
P18	0,70-0,80	3,8-4,4	17,0-18,5	1,0-1,4	-	не более 1,0
P12	0,80-0,90	3,1-3,6	12,0-13,0	1,5-1,9	-	не более 1,0
P9	0,85-0,95	3,8-4,4	8,5-10,0	2,0-2,6		не более 1,0
P6M5	0,80-0,88	3,8-4,4	5,5-6,5	1,7-2,1	-	5,0-5,5
P6M5Φ3	0,95-1,05	3,8-4,3	5,7-6,7	2,2-2,7	-	5,5-6,0
P12Φ3	0,95-1,05	3,8-4,3	12,0-13,0	2,5-3,0	-	0,5-1,0
P18K5Φ2	0,85-0,95	3,8-4,4	17,0-18,5	1,8-2,4	5,0-6,0	не более 1,0
P9K5	0,90-1,00	3,8-4,4	9,0-10,5	2,2-2,6	5,0-6,0	не более 1,0
P6M5K5	0,82-0,90	3,8-4,3	6,0-7,0	1,7-2,2	4,8-5,3	4,8-5,3
P9K10	0,90-1,00	3,8-4,4	9,0-10,5	2,0-2,6	9,0-10,5	не более 1,0
P9M4K8	1,00-1,10	3,0-3,6	8,5-9,6	2,1-2,5	7,5-8,5	3,8-4,3
P10K5Φ5	1,45-1,55	4,0-4,6	10,0-11,5	4,3-5,1	5,0-6,0	не более 1,0

Стали P3M3Φ2 и P2M2Φ3 имеют более высокую износостойкость, но пониженную шлифуемость. Их рационально применять для нешлифуемого инструмента, в частности, для напильников.

Рассмотрим влияние легирующих элементов на свойства быстрорежущей стали, их определяющую роль при назначении режимов резания и обработке различных конструкционных материалов. Стали с высоким содержанием карбидов вольфрама (12-18 %) и малым содержанием других легирующих элементов отличаются широким интервалом закалочных температур, малой чувствительностью к перегреву и хорошей обрабатываемостью. Однако вольфрам является дорогостоящим и дефицитным материалом, запасы которого постоянно и быстро уменьшаются во всем мире. Поэтому во всех странах в последнее время создаются быстрорежущие стали, в которых часть вольфрама заменяется другими легирующими элементами, в частности, молибденом.

Молибден и вольфрам образуют одностипные карбиды. Замену вольфрама молибденом проводят обычно в сочетании 2:1. Одной из наиболее распространенных в мировой практике сталей такого типа является сталь 6-5-2 (P6M5).

С уменьшением содержания вольфрама и увеличением содержания молибдена увеличивается ее прочность, вязкость и теплопроводность. Однако вольфрамомолибденовые стали обладают большей склонностью к обезуглероживанию, меньшей стабильностью режущих свойств и допускают более узкий интервал закалочных температур, т.е. требует более высокой технологии инструментального производства. Для улучшения режущих свойств быстрорежущих сталей в их состав вводятся ванадий и кобальт. При содержании ванадия более 1 % он находится в стали в виде несвязанных карбидов, обладающих большей твердостью, чем карбиды вольфрама. Поэтому ванадиевые стали отличаются более высокой износостойкостью при сравнительно низких скоростях резания. Однако, с увеличением содержания ванадия, уменьшается теплопроводность стали. Поэтому при высоких скоростях резания они практически не имеют преимуществ перед вольфрамовым и молибденовым сталями. Кроме того, низкая теплопроводность может быть причиной образования дефектного слоя в процессе заточки контактных поверхностей инструмента, что также приводит к снижению его стойкости. Содержание ванадия в сталях может достигать до 5 %. Ванадиевые стали наиболее эффективны для инструментов, предназначенных для чистовой обработки, а также для инструментов, работающих с низкими скоростями резания (развертки, протяжки, шеверы и др.).

Быстрорежущие стали с содержанием кобальта более 5 % называются кобальтовыми. Кобальт не образует карбидов, однако способствует большему растворению карбидов вольфрама и молибдена, а также образует с этими металлами очень твердые интерметаллические соединения. Теплостойкость кобальтовых сталей достигает до 650°C, теплопроводность на 25-30 % выше, чем у ванадиевых сталей. Однако этим сталям присуща повышенная хрупкость и склонность к обезуглероживанию при нагреве. Кроме того, кобальт, как и вольфрам, является дефицитным материалом. Поэтому содержание кобальта в быстрорежущих сталях редко превышает 10 %.

Увеличение содержания углерода на 0,1-0,2 % позволяет увеличить теплоустойчивость сталей на 15-20°C и твердость на 2-2,5 HRC. Однако при этом увеличивается склонность к обезуглероживанию при нагреве. Следует отметить, что во всех случаях химический состав быстрорежущих сталей должен быть хорошо сбалансирован. Повышение концентрации кобальта, ванадия, углерода и других элементов затрудняет их металлургический передел, операции обработки давлением и приводит к увеличению карбидной неоднородности.

Инструмент из быстрорежущих сталей имеет широкое распространение до настоящего времени, тем более что за историю своего развития они получили значительное улучшение эксплуатационных и режущих свойств. Коренное улучшение структуры быстрорежущих сталей, практически однородное распределение карбидов при малых размерах зерен (до 1-2 мкм), стали возможны при освоении производства порошковых сталей. Оно включает в себя следующие этапы: получение мелкозернистого порошка путем распыления расплава быстрорежущей стали; получение цельного слитка из порошка путем горячего или холодного прессования в специальных тонкостенных контейнерах; пластическая деформация слитка для получения требуемого профиля заготовки. Порошковые стали, по сравнению с обычными того же состава, характеризуется повышенной вязкостью, прочностью, плотностью, более низкими температурами, меньшими размерными деформациями и лучшей шлифуемостью. В этих сталях содержание ванадия может быть доведено до 7-8,5 % и углерода до 2-2,8 % без увеличения карбидной неоднородности. Однако эти стали обладают худшей обрабатываемостью резанием и имеют в 1,5-2 раза большую стоимость. Из порошковых быстрорежущих сталей изготавливают инструменты сложного профиля, больших размеров, с минимальными деформациями после термической обработки (фасонные резцы, протяжки, червячные фрезы и т.п.).

Как правило, инструмент из быстрорежущей стали приобретает свои режущие свойства в результате термической обработки и последующих операций шлифования и заточки. Тем не менее, существуют методы дальнейшего улучшения режущих свойств таких инструментов путем химико-термической обработки. Такие методы (например, азотирование – насыщение поверхностного

слоя азотом; цианирование – насыщение одновременно азотом и углеродом) позволяют увеличить твердость поверхностных слоев при достаточно вязкой сердцевине, повысить износостойкость и снизить коэффициент трения. Химико-термическая обработка проводится в твердых, жидких или газообразных средах при температурах, не вызывающих фазовых превращений в закаленных быстрорежущих сталях.

Увеличение работоспособности инструментов из быстрорежущих сталей достигается в ряде случаев нанесением на контактные поверхности износостойких покрытий карбидов и нитридов тугоплавких металлов пластическим деформированием, хромированием поверхностей, обработкой холодом и другими методами.

Стали умеренной теплостойкости (P18, P12, P9, P6M5, P6M3) имеют примерно одинаковую теплостойкость 615...620°C и мало различаются по режущим свойствам. Так, в стали P9 процентное содержание W 2 раза меньше, чем в стали P18, а содержание V во столько же раз больше. Это обусловлено дефицитностью вольфрама, так как 1 % V может заменить 3 % W .

Стали P18 и P12 рекомендуют применять для изготовления сложных и ответственных инструментов: фасонных резцов, зуборезных и резьбонарезных инструментов, а также инструментов, работающих на низких скоростях резания, но требующих высокой износостойкости (протяжки, развертки). Сталь P9 хуже шлифуется, имеет более узкий интервал закалочных температур (1240...1260°C) из-за повышенного содержания ванадия. Поэтому сталь P9 рекомендуют применять при изготовлении инструментов простой конфигурации (резцы, зенкеры, фрезы). Для улучшения качества вольфрамовых сталей их легируют молибденом.

Стали P6M5, P6M3 имеют такую же теплостойкость, но карбидная неоднородность на 1, 2 балла ниже, чем у стали P18. Горячая пластичность таких сталей на 30...40 % выше, чем вольфрамовых. Например, при изготовлении сверл методом горячей пластической деформации полностью устраняется брак по растрескиванию в процессе прокатки. Отрицательное влияние молибдена на обезуглероживание стали при нагреве - один из основных недостатков этих ста-

лей. Раскисление хлорбариевых ванн 5%-й бурой или 3%-м фтористым магнием несколько защищает молибденовые стали от обезуглероживания в процессе нагрева под закалку. Микролегирование цирконием (0,15%) и ниобием (0,13%) уменьшает разнострунность стали и повышает вторичную твердость и теплостойкость. Сталь Р6М3 применяют для изготовления чистовых и получистовых инструментов небольших размеров (сверл, зенкеров, дисковых фрез и др.), используемых при обработке конструкционных материалов с прочностью до 900 МПа. Из стали Р6М5 изготавливают все виды режущих инструментов для обработки со скоростями резания 20...50 м/мин углеродистых и низколегированных конструкционных сталей прочностью 900... 1000 МПа, а также зуборезные и резбонарезные инструменты для обработки нержавеющей сталей. Основные физико-механические свойства сталей умеренной и повышенной теплостойкости приведены в табл. 10.2. В настоящее время сталь Р6М5 вытеснила стали Р18, Р12 и Р9 и составляет 70 % от общего объема быстрорежущих сталей. Она нашла применение при обработке цветных сплавов, чугунов, конструкционных и легированных сталей, а также некоторых теплоустойчивых и коррозионно-стойких сталей.

Стали повышенной теплостойкости дополнительно легированы кобальтом и ванадием. Кобальт сообщает стали повышенную теплостойкость и твердость, ванадий - красностойкость. Прочность и вязкость этих сталей несколько ниже, чем сталей без кобальта (табл.10.3).

Стали повышенной теплостойкости подразделяют на три подгруппы.

Кобальтовые быстрорежущие стали Р9К5, Р9К10, Р18Ф2К5 содержат углерода 0,8...1,0 %, имеют после закалки твердость 64...67 HRC_э и теплостойкость 630...640°C. Особенностью кобальтовых сталей является высокая теплопроводность - на 30...50 % выше, чем у остальных быстрорежущих сталей. Поэтому их эффективнее применять для резания с повышенной скоростью конструкционных сталей и малотеплопроводных аустенитных сталей и сплавов. Недостатки: хрупкость, пониженная прочность, склонность к образованию трещин при работе инструмента с ударной нагрузкой. Сталь Р9К5 можно применять для изготовления черновых и получистовых инструментов (фрез, долбя-

ков, метчиков), а стали P9K10, P18Ф2K5 - при изготовлении резцов, червячных фрез и зенкеров.

Основные физико-механические свойства
быстрорежущих сталей. Таблица 10.2

Марка стали	Твёрдость после закалки и отпуска HRC _э	Предел прочности, МПа			Ударная вязкость, кДж·м ⁻²	Теплостойкость °С
		Растяжение	Сжатие	Изгиб		
P18	63 - 64	2370	3450	3000	3,0 – 4,0	620
P12	64 - 65	1870	3960	3250	3,5 – 4,2	
P9	63 – 64	2000	4450	3200	4,8 – 5,0	
P6M5	64 – 65	2120	4050	3800	5,2	
P6M3	63 – 65	2060	3990	3800	3,4	
P9K5	65 – 66	----	-----	2700	2,6	635
P9K10	66	2090	4660	2250	1,6	640
P6M5K5	65 – 66	----	----	3000	2,75	630
P9M4K8	66	----	----	2350	1,6– 2,1	640
P10Ф5K5	66 – 67	1990	4160	3500	1,0	640
10 P6 M5	64 – 66	----	----	3500	4,8	630
P9M4Ф3K10	67	----	----	2500	2,3	640

Ванадиевые быстрорежущие стали P18Ф2, P14Ф4, P12Ф3, P9Ф5 имеют более высокую прочность и износостойкость, но обладают пониженной теплоустойкостью, ковкостью и шлифуемостью. Введение ванадия особенно эффективно, если в стали одновременно увеличивают содержание углерода. Сталь P18Ф2 применяют для изготовления чистовых и получистовых инструментов (резцов, фрез, сверл, машинных разверток) для обработки материалов с повышенными абразивными свойствами (стеклопластиков, пластмасс и т.д.), чистовых инструментов простой формы для обработки легированных сталей и сплавов. Сталь P12Ф3 имеет большую часть ванадия после закалки в аустенитной форме, что усиливает дисперсионное твердение при отпуске и повышает твердость, теплоустойкость и одновременно шлифуемость. Сталь P12Ф3 пригодна для обработки конструкционных сталей твердостью до 320 НВ и некоторых аустенитных сталей. При этом ее стойкость в 2 раза выше по сравнению со сталью P6M5.

Третью подгруппу представляют *стали с повышенным содержанием углерода* (до 1,4 %): молибденовые 10P8M3, 10P6M5, молибденовые с кобальтом и ванадием P6M5K5, P8M3K6C, P9M4K8, P6M5Ф3, P6M5Ф2K8, 14P12M3Ф2K8, ванадиевые с кобальтом и молибденом P18K5Ф2, P18Ф2K8M, P12Ф4K5, P12Ф2K5M3, P12Ф3K10M3, P10Ф5K5.

Повышенная твердость и теплостойкость данных сталей обеспечивает работу инструментов из них на повышенных режимах резания. Стали 10P8M3 и 10P6M5 имеют содержание углерода на 0,1-0,2 % больше по сравнению со сталями P8M3 и P6M5 соответственно. Это позволяет повысить вторичную твердость до 65...66 *HRC*э и теплостойкость до 630°С.

Основные физико-механические свойства быстрорежущих сталей повышенной теплостойкости. Таблица 10.3

Марка стали	Прочность $\sigma_{и}$, МПа	Твердость, <i>HRC</i> э	Теплостойкость, °С	Условия поставки
P12Ф3	2400-2800	64-67	630-635	ГОСТ 19265-73
P12Ф3K10M3	2800	66-68	640	ТУ 14-1-1686-76
P12Ф2K5M3	2800-2900	64-66	640	ТУ 14-131-288-76
P12M3K8Ф2	-	64-67	640	ТУ 14-1-691-73
P12Ф4K5	-	64-67	640	ТУ 14-1-404-72
A11P3M3Ф2	3400-3800	63-65	620	ТУ 14-1-1565-76

Также за счет возрастания количества карбидов улучшается износостойкость.

Сталь 10P8M3 целесообразно применять для инструментов, от которых требуется повышенная износостойкость (сверла, развертки, метчики), при обработке твердых конструкционных сталей. В этом случае стойкость возрастает на 50...60 %. Сталь 10P6M5 рекомендуют для изготовления всех видов режущих инструментов при обработке на обычных скоростях резания углеродистых и легированных конструкционных сталей прочностью 900...1000 МПа, а также зубчатых и резьбовых инструментов для обработки нержавеющей сталей. Режущие свойства сталей P8M3K6C и P12M3Ф2K8 примерно одинаковы. Однако, учитывая различия их технологических свойств, предпочтения отдают стали P8M3K6C. Она допускает регулирование твердости в достаточно широких пре-

делах (65...70 *HRC*). Это достигается изменением температуры закалки и отпуска. С повышением твердости прочность и вязкость стали P8M3K6C снижается. Ее рекомендуют для резания при отсутствии динамических нагрузок.

Сталь P12Ф4K5 при меньшей твердости имеет несколько лучшую износостойкость при небольших динамических нагрузках. Сталь P6M5K5 уступает кобальтовым сталям по теплостойкости, но превосходит их по прочности и вязкости. Ее применяют при обработке аустенитных и титановых сплавов и конструкционных сталей твердостью 300...320 *HV* при повышенных режимах резания.

Сталь P9M4K8 рекомендуют для фрез всех типов, разверток и зуборезного инструмента при обработке коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов. Например, при обработке стали 40ХН со скоростью резания 30 м/мин стойкость червячных фрез из стали P9M4K8 в 3 раза выше, чем из стали P18.

Применяют дополнительное легирование инструментальных сталей азотом. Стали марок AP6M5, 10AP6M5, AP12 являются модификациями марок P6M5, 10P6M5, P12 соответственно. Содержание азота находится в пределах 0,06...0,09 %. Легирование азотом повышает на 20...30 % режущие свойства инструмента, вторичную твердость на 1-2 *HRC*, а также теплостойкость. После окончательного шлифования инструмента, легированного азотом, рекомендуется дополнительно подвергнуть его отпуску.

10.2 Основные принципы выбора марок быстрорежущих сталей

Отечественная промышленность использует большое число марок быстрорежущих сталей для высокопроизводительной обработки резанием. Поэтому необходимо дифференцированно подходить к их выбору для конкретного инструмента. Особенно это следует учитывать в условиях массового и автоматизированного производства, где каждая операция и позиция инструмента остаются длительным период неизменными и должны обеспечить максимальную надежность. При выборе марок сталей прежде всего необходимо учитывать их основные физико-механические свойства (см. табл. 10.2, 10.3). Так, например, теплостойкость быстрорежущей стали определяет допустимые скорости резания, а высокая вторичная твердость и износостойкость — возможность обработки

труднообрабатываемых материалов. Благодаря высокому пределу прочности при изгибе и ударной вязкости можно выполнять механическую обработку с большим сечением среза и динамическими нагрузками.

Высокая абразивная стойкость позволяет изготавливать метчики, фасонные резцы, дисковые фрезы с малыми задними углами; хорошая шлифуемость быстрорежущей стали особенно важна при изготовлении инструмента со сложным профилем. Малая карбидная неоднородность повышает качество инструмента, особенно крупногабаритного. С учетом влияния основных свойств быстрорежущих сталей на работу инструмента на основе анализа отечественного и зарубежного опыта по их применению в табл. 10.4 дано примерное назначение марок сталей для различных видов режущих инструментов.

Инструменты из сталей повышенной производительности с высоким содержанием Co и V наиболее эффективны при работе на повышенных режимах резания на новом и жестком оборудовании. При режимах резания, характерных для сталей умеренной теплостойкости (типа Р6М5), стойкость инструментов из высоколегированных быстрорежущих сталей повышается незначительно, а при прерывистом резании или при работе на изношенном оборудовании из-за повышенной хрупкости может быть ниже стойкости инструментов из стали Р6М5.

Сталь Р6М5 имеет на 30..50 % выше ударную вязкость, чем сталь

Р18, а также значительно меньшую карбидную неоднородность. Поэтому в настоящее время данную марку стали используют для различных видов инструментов. Особенно целесообразно ее применение для инструментов с пониженной прочностью (например мелкоразмерных сверл и метчиков) или при работе на станках с недостаточно жесткой технологической системой (ТС). Однако для фасонных протяжек сталь Р6М5 оказалась непригодной. Ударная вязкость сталей Р9К10 и Р10Ф5К5 в 2...3 раза ниже, чем у стали Р6М5. Это не позволяет рекомендовать их при динамическом характере нагружения инструмента. Применение сталей Р9К10 и Р9М4К8 для червячных фрез эффективно только при высокой точности и жесткости зуборезных станков.

Назначение марок быстрорежущих сталей. Таблица 10.4

Режущий инструмент	Марка стали	Обрабатываемый материал	
		Наименование	Твердость <i>HB</i>
1	2	3	4
Резцы автоматные (проходные, прорезные, расточные)	P6M5; 10P6M5 P9M4K8 P6M5K5	сталь конструкционная углеродистая или низколегированная, серый чугун, алюминиевые сплавы	до 217
Резцы проходные, расточные	P9M4K8 P10K10Ф3K4 P6M5K5	сталь конструкционная легированная, чугун модифицированный	до 260
Резцы отрезные всех видов канавочные резцы	P6M5; P9M4K8 P10K10Ф3M4 P12Ф2K8M3	сталь автоматная, низколегированная, алюминиевые сплавы	до 207
Резцы отрезные, канавочные	P9M4K8 P10K10Ф3M4	сталь конструкционная, легированная, шарикоподшипниковая	до 229
Резцы фасонные (призматические и круглые)	P6M5; 10P6M5 P9M4K8 P6M5K5	сталь автоматная, конструкционная низколегированная, латунь, бронза, алюминиевые сплавы	до 207
Резцы фасонные (призматические и круглые)	P9M4K8 P6M5K5 P10K10Ф3M4 P12Ф2K8M3	сталь конструкционная 45, 40X, 18ХГТ	до 229
Сверла спиральные	P6M5K5 P9M4K8	сталь конструкционная улучшенная, чугун модифицированный	до 300
Сверла центровочные	P6M5	сталь конструкционная, чугун, алюминиевые сплавы	до 229
Развертки цельные хвостовые и насадные			
Развертки цельные хвостовые и насадные	P6M5K5	сталь конструкционная улучшенная, чугун ковкий	до 260
Метчики машинные	P6M5	сталь конструкционная, чугун серый и ковкий, алюминиевые сплавы	до 229
Фрезы концевые дисковые, торцово-цилиндрические цельные с острозаточенными зубьями	P6M5 P6M5K5	сталь конструкционная, чугун серый и ковкий, алюминиевые сплавы	до 229
Фрезы фасонные заточенные со шлифованным и нешлифованным профилем			
Фрезы червячные цельные и сборные с рейками, в том числе для шлицевых валов и звездочек цепных передач	P6M5 P6M5K5 P9M4K8 P9K10	сталь конструкционная 45, 40X, 18ХГТ, чугун модифицированный	до 217
Долбяки зуборезные	P6M5 P6M5K5	сталь конструкционная 45, 40X, 18ХГТ	до 217
Шевры дисковые	P6M5K5	сталь конструкционная 45, 40X, 18ХГТ	до 217

Окончание таблицы 10.4

1	2	3	4
Протяжки круглые и шлицевые, плоские протяжки для наружного протягивания	P6M5 10P6M5	сталь конструкционная 45, 20X,40X, 18XГТ	до 217
	P9M4K8 P9M5K5 P12Ф2K8M3	чугун серый и ковкий	до 250
Головки зуборезные для конических колес с прямыми и круговыми зубьями	P9M4K8	сталь конструкционная легированная	до 217
Развертки	P2Ф2K3M6 P6M5K5	сталь конструкционная легированная улучшенная, чугун модифицированный, труднообрабатываемые материалы	до 300
Метчики			

10.3 Перспективы развития быстрорежущих сталей

В последние десятилетия накоплен большой опыт по разработке и применению новых инструментальных сталей, прогрессивных конструкций инструмента и малоотходных технологий его изготовления. Совершенствуется технологияковки быстрорежущих сталей. Так, для повышения эксплуатационных свойств сложнолегированных быстрорежущих сталей ковку производят после предварительного медленного нагрева до промежуточной температуры и последующего быстрого нагрева до температурыковки. Подобный ступенчатый нагрев стали под ковку исключает возникновение остаточных напряжений и трещинообразования в стали вследствие ее низкой теплопроводности.

Достигнуты значительные успехи в улучшении термической обработки быстрорежущих сталей. Особое внимание уделяют отжигу для снятия внутренних напряжений, который особенно целесообразен для крупногабаритного инструмента или инструмента со сложным профилем. Совершенствуются методы поверхностной обработки: азотирование, борирование, ионное нитрирование, диффузионное насыщение сталей карбидами, которые снижают износ, скалываемость, выкрашивание инструмента, существенно повышают стойкость при обработке на высоких скоростях резания. Среди новых достижений следует отметить разработку износостойких покрытий из карбидов титана TiC и нитридов титана TiN . Как правило, покрытия наносят при температуре 550...600°C, при которых структурных изменений в стали не происходит. Однослойные и много-

слоистые карбидные и нитридные покрытия увеличивают стойкость быстрорежущих инструментов в 2...5 раз, благодаря чему можно повысить допустимые скорости резания на 20...30 %. Такой эффект достигается за счет снижения сил трения и резания, увеличения окалиностойкости.

Перспективным направлением в развитии инструментальных материалов является создание дисперсионно-твердеющих сплавов. Эти сплавы занимают промежуточное положение между быстрорежущими сталями и твердыми сплавами. К новым разновидностям при разработке дисперсионно-твердеющих сплавов относят создание порошковых и безвольфрамовых быстрорежущих сталей.

а) быстрорежущие стали дисперсионного твердения.

Эти стали получают из тонких, мелкозернистых порошков методами спекания или обычной плавки в электропечах. Название они получили потому, что их упрочнение происходит за счет дисперсионного твердения при выделении по границам зерен интерметаллидов типа $(Co,Fe)W_6$, $(Co,Fe)Mo_6$ и др. Основное назначение дисперсионно-твердеющих сплавов - обработка высокопрочных аустенитных сталей и титановых сплавов. Наиболее перспективные марки современных дисперсионно-твердеющих сплавов содержат 0,1 % углерода - В3М12К23, В11М7К23, В14М7К25, В24М12К23. Так, в сплаве В11М7К23: W- 11 %, Mo - 7,5 %, Co - 23 %.

Сплавы отличаются высокой твердостью после закалки и отпуска (69...70 HRCэ) и теплостойкостью (700...725°C), прочность при изгибе составляет 1500...3700 МПа. Разработаны дисперсионно-твердеющие сплавы с добавками хрома Cr, ванадия V и никеля Ni: В18К25Х4, В18ХЗФ2К20, В16М4Х4Н2К16.

Дисперсионно-твердеющие сплавы особенно эффективны при резании титановых сплавов и аустенитных сталей, менее эффективны при обработке жаропрочных сплавов на никелевой основе и уступают быстрорежущим сталям при обработке молибденовых сплавов. Инструменты из дисперсионно-твердеющих сплавов используют при точении, строгании и фрезеровании. Наибольший эффект получают при резании титановых сплавов -стойкость инструмента в 5...20 раз больше, чем инструмента из стали Р6М5, и в 8...10 раз больше, чем из твердого сплава ВК8. При резании аустенитных, жаропрочных, нержавеющей и ка-

витационно-стойких сплавов стойкость инструмента из данных сталей в 15...20 раз выше, чем инструментов из кобальтовых сталей с карбидным упрочнением. Большое преимущество наблюдается при резании без охлаждения и с меньшими подачами. При резании конструкционных сталей и чугунов стойкость повышается в 3...4 раза. Разработаны новые дисперсионно-твердеющие низкоуглеродистые безвольфрамовые высоколегированные сплавы интерметаллидных соединений никеля и молибдена: 03Н10ХПМ2Т2, Н8М14К14Т, Н8М17К13Т, Н8М18К14Т. Так, в сплаве 03НЮХПМ2Т2: С-0,03 %, Ni - до 10 %, Cr -11 %, Mo - 2 %, Ti - 2 %. Сплавы Н8М14К14Т и Н8М17К13Т имеют твердость 68...69 *HRC*_э, прочность при изгибе 3500...3700 МПа и предназначены в основном для изготовления мелкоразмерных сверл. Стойкость сверл из сплава Н8М14К14Т выше стойкости аналогичного инструмента из стали Р6М5 при сверлении закаленной стали ХВГ (38...40 *HRC*_э) в 1,4 раза, стали 45Г17ЮЗ - в 7,7 раза, жаропрочного сплава ЭИ-612 - в 3,7 раза и титанового сплава ВТ14 - в 5,5 раза.

Сталь Н8М18К14Т рационально применять для мелкоразмерного инструмента. Вследствие высокой износостойкости при сохранении твердости при высоких температурах режущие свойства такого инструмента на 50.. .80 % выше, чем аналогичного инструмента из кобальтовых сталей. Основные особенности сплава 03Н10Х11М2Т2 - высокая коррозионная стойкость и хорошая деформируемость в холодном состоянии. Назначение: изготовление инструментов в медицинской технике, пищевой промышленности и др. К быстрорежущим сталям дисперсионного твердения также относят карбидостали - композиционный материал, изготавливаемый методом порошковой металлургии, в котором зерна тугоплавких карбидов (преимущественно *TiC*) равномерно распределены в связке из быстрорежущей стали. Карбидостали сочетают твердость и износостойкость твердых сплавов с прочностью и вязкостью быстрорежущих сталей. Карбидостали разработаны на основе двух сталей Р6М5-КТ20 и Р6М5К5-КТ20 с массовой долей *TiC* 20 %. Они имеют вторичную твердость 70... 72 *HRC*_э (87... 89 *HRA*), теплостойкость 650...690°С, прочность при изгибе 2000...2500 МПа. Основное назначение - обработка труднообрабатываемых материалов точением, фрезерованием.

б) порошковые быстрорежущие стали.

Широкие перспективы повышения качества инструмента и эффективности его производства открывает порошковая металлургия. Инструмент из порошков быстрорежущей стали по стойкости в 2 раза превосходит аналогичный инструмент, изготовленный из обычного проката той же марки стали. Порошковые стали не имеют пористости и карбидных ликвации, обладают мелкозернистой структурой по 1-2-му баллу и высокой вязкостью. Кроме того, они характеризуются повышенной технологической пластичностью в холодном и горячем состоянии, низкой деформацией при ТО, повышенной прочностью при изгибе. В отличие от обычных быстрорежущих сталей порошковые сохраняют высокую твердость при повышенных температурах. Так, при нагреве до 500...600^DС их твердость на 50... 100 *HV* выше обычных. Комплекс свойств порошковых быстрорежущих сталей обусловлен спецификой технологии их производства. Расплавленный металл распыляется струей азота под высоким давлением в условиях мгновенного охлаждения. Размеры частиц металла регулируют скоростью и профилем струи нейтрального газа. Затем порошок прессуют под давлением ~ 100 МПа, подвергают ковке или прокатке. По режущим свойствам порошковые быстрорежущие стали занимают промежуточное положение между обычными быстрорежущими сталями и твердыми сплавами. Рекомендуют их использовать для инструментов: сложной формы (зуборезного, резьбонарезного, червячных и концевых фрез, разверток, протяжек), крупногабаритных (включая шеверы, долбяки) и инструментов с большим объемом шлифовальных операций при их изготовлении (фасонные резцы, метчики и др.). Этими инструментами обрабатывают высоколегированные стали, титановые сплавы и другие труднообрабатываемые материалы в напряженных условиях обработки. В табл. 9 приведены основные физико-механические свойства некоторых порошковых быстрорежущих сталей, выпускаемых промышленностью. Порошковые быстрорежущие стали Р9М4К8-МП и Р10М6К8-МП обладают повышенной красностойкостью, хорошо шлифуются. Они предназначены для обработки материалов повышенной твердости до 38...42 *HRC*э и нашли применение в инструментах для станков с ЧПУ. Стойкость режущих инструментов из этих сталей в 1,5...2 раза вы-

ше, чем из стали Р6М5. Порошковые быстрорежущие стали Р6М5Ф3-МП, Р6М5К5-МП, Р6М5Ф2К8-МП и 13Р6М5Ф3-МП при обработке труднообрабатываемых материалов обеспечивают по сравнению со сталями обычного производства аналогичного состава повышение стойкости до 4 раз. Их применяют для изготовления зуборезного инструмента, червячных фрез, протяжек.

в) безвольфрамовые быстрорежущие стали.

Имеется ряд отечественных (смотри таблицу 10.5) и зарубежных (АВС111 Германия, D-950 Швеция) марок безвольфрамовых и маловольфрамовых быстрорежущих сталей для обработки отожженных углеродистых и легированных конструкционных сталей, цветных сплавов. Безвольфрамовые и маловольфрамовые быстрорежущие стали рекомендуется применять при изготовлении сверл, зенкеров, разверток, метчиков, ножовочных полотен, пил. Они могут заменять вольфрамсодержащие стали без снижения производительности обработки и стойкости инструмента только в тех случаях, когда технологические условия не позволяют полностью использовать эксплуатационные возможности вольфрамсодержащих сталей. Сталь 11М5Ф характеризуется твердостью, теплостойкостью и износостойкостью, соответствующей стали Р6М5. Она удовлетворительно шлифуется, имеет повышенную прочность и ударную вязкость, широкий интервал закалочных температур (1140...1180°C), менее склонна к обезуглероживанию и окислению, чем сталь Р6М5.

Основные физико-механические свойства порошковых и безвольфрамовых быстрорежущих сталей даны в таблице 10.5.

Основные физико-механические свойства порошковых и безвольфрамовых быстрорежущих сталей. Таблица 10.5

Марка стали	Прочность $\sigma_{\text{н}}$, МПа	Твердость, $HRC_{\text{э}}$	Теплостойкость, $t_{\text{н}}$, °С	Стандарт
P6M5K5-МП	3200-3900	67-68	630	ТУ 14-1-3647-83*
P6M5Ф3-МП	3500-440	66-67	630	
P9M4K8-МП	3200-3700	66-68	635	ТУ 14-1-3408-82*
P12M3K5Ф2-МП	2600-3500	66-68	635	ТУ 14-1-3347-82'
P12MФ5-МП	2800-3600	66-68	635	ТУ 14-1-3647-83"
10P6M5K5-МП	2500-3500	66-68	625	
10P6M5-МП	-	64-67	635	ТУ14-1-127-196-
P10M6K8-МП	-	67-68	635	ТУА-7845-243-70*
15P10Ф3K8M6-МП	4150-4430	68-69	-	ТУ14-1-131-530-
22P10Ф6K8M3-МП	3800-4100	68-70	-	
11M5Ф	3400-4000	64-66	620	ТУ 14-1-2409-78*
P2M5Ф	3000-3400	63-65	620	
9X6.M3Ф3АГСТ	3200-3800	64-66	620	ТУ 14-1-3353-82
9X4M3Ф2АГСТ	3500-4000	63-66	620	

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Широко применяющиеся марки быстрорежущих сталей.
2. Классификация инструментальных сталей по теплостойкости
3. Каковы основные принципы выбора марок быстрорежущих сталей для производства высокопроизводительных инструментов?
4. В чем сущность дисперсионного твердения стали?
5. Для изготовления каких инструментов используются порошковые быстрорежущие стали?
6. Перспективы развития быстрорежущих сталей.
7. Преимущества и недостатки безвольфрамовых быстрорежущих сталей по сравнению с другими видами.
8. Как обозначаются в мировых стандартах быстрорежущие стали?
9. Какой основной легирующий элемент у быстрорежущих сталей?
10. При изготовлении каких инструментов целесообразно применять стали пониженной теплостойкости?
11. Влияние легирующих элементов на свойства быстрорежущей стали.

Раздел 11

11. Твердые сплавы

11.1 Марки твердых сплавов

Технология производства первых вольфрамо-кобальтовых твердых сплавов состояла в расплавлении компонентов и отливке пластинок, припаиваемых к корпусу инструмента. Исследования резцов с припаянными пластинками литого вольфрамо-кобальтового твердого сплава показали, что их режущие свойства не намного выше, чем из инструментов из быстрорежущих сталей. Рентабельность практического использования твердых сплавов ставилась под сомнение. Дело коренным образом изменилось, когда исследователи отказались от технологии расплавления и перешли к применению методов порошковой металлургии. Твердосплавные пластинки, изготовленные по этой технологии, имели высокие физико-механические свойства и оказались весьма эффективным инструментальным материалом. В США, Германии и СССР приблизительно в одно и то же время (во второй половине 20-х годов) твердые сплавы, изготовленные по технологии порошковой металлургии, были выпущены как товарная продукция. Эти сплавы, полученные из карбидов вольфрама и металлического кобальта (группа ВК), в США назывались, как и производящая их фирма, «карболой», в Германии на заводах Крупа – «видиа», т.е «как алмаз», в СССР они получили название «победит». Все эти твердые сплавы оказались превосходным материалом для обработки чугунов, но совершенно непригодны для обработки сталей.

В настоящее время твердые сплавы представляют наиболее широкий класс инструментальных материалов. Они обладают высокой твердостью и износостойкостью, сохраняющимися при высоких температурах, значительным пределом прочности при сжатии, хорошей теплопроводностью. Замена быстрорежущего инструмента твердосплавным позволяет повысить уровень скоростей резания в 2-3 раза или увеличить стойкость его в 3-5 раз. На передовых промышленных предприятиях доля токарного твердосплавного инструмента достигает 80 %, фрезерного 60 %.

Твердые сплавы представляют собой продукты порошковой металлургии, состоящие из зерен карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC), скрепленных вязкой металлической связкой. В качестве связки чаще всего используется кобальт, отличающийся хорошей способностью смачивать карбиды вольфрама. В твердых сплавах, не содержащих WC, в качестве связки используется никель с добавками молибдена. Карбиды WC, TiC, TaC обладают высокой твердостью и тугоплавкостью. Чем больше в твердом сплаве карбидов, тем выше его твердость и теплостойкость, но ниже механическая прочность. При увеличении содержания кобальта увеличивается прочность, но твердость и теплостойкость снижаются.

Твердые сплавы (ГОСТ 3882-74) состоят из карбидов и карбонитридов тугоплавких металлов (вольфрама, титана и тантала) и связующих элементов (кобальта, никеля, молибдена) и являются продуктом порошковой металлургии. Благодаря наличию карбидов сплавы обладают высокой твердостью и износостойкостью, а связующий металл придает определенную прочность и вязкость. Твердые сплавы имеют теплостойкость 800...950°C и позволяют работать на высоких скоростях резания (до 400 м/мин). Износостойкость их выше в 50 раз быстрорежущей инструментальной стали и в 100 раз - закаленной углеродистой инструментальной стали.

Технологический процесс изготовления твердых сплавов следующий. Из порошковой смеси карбидов тугоплавких металлов и кобальта прессуют нужные изделия. Затем эти изделия спекают при температурах, которые значительно ниже температуры плавления исходных карбидов. Изменяя соотношение компонентов и их структуру, получают марки твердых сплавов с различными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Появление твердых сплавов привело к повышению скоростей резания в 4...10 раз по сравнению с быстрорежущими сталями. При этом значительно повысилась производительность обработки и в ряде случаев качество деталей. Инструменты, изготавливаемые из твердых сплавов, стали более мощными, жесткими и быстроходными с удобным и автоматизированным управлением. Последним достижением в этой области являются инструменты с многогранными непере-

тачиваемыми пластинами. Твердые сплавы по ГОСТ 3882-74 подразделяют на четыре группы (табл. 11.1):

1) *вольфрамовые твердые сплавы*, состоящие из зерен карбида вольфрама, сцементированных кобальтом;

2) *титановольфрамовые твердые сплавы*, состоящие из зерен твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана и избыточных зерен карбида вольфрама (или только зерен твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана), сцементированных кобальтом;

3) *титанотанталовольфрамовые твердые сплавы*, состоящие из зерен твердого раствора «карбид титана - карбид тантала - карбид вольфрама» и избыточных зерен карбида вольфрама, сцементированных кобальтом.

4) *безвольфрамовые*, не содержащие карбидов вольфрама КНТ016; ТН020 (в западной технической литературе последнюю группу называют титановыми сплавами).

Технологии изготовления всех видов инструментальных твердых сплавов примерно одинаковы. Прежде всего, необходимо получить исключительно чистое сырье – карбиды и металлы в виде тонкодисперсных порошков. Затем производятся размол и смешивание порошков в необходимой концентрации. После добавления пластификатора из приготовленной смеси прессуются заготовки. Окончательной операцией является спекание, заключающееся в нагреве заготовок до 1350-1550°C, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении. При спекании плавится металлическая фаза, обволакивая и частично растворяя зерна карбидов. После остывания получается монолитное изделие с минимальной пористостью и относительно равномерными свойствами по объему. В случае необходимости поверхности режущих пластин или заготовок инструментов подвергаются шлифованию и доводке.

Физико-механические свойства твердых сплавов в первую очередь зависят от содержания кобальта и размеров зерен карбидов. С увеличением процентного содержания кобальта растет предел прочности при изгибе, но снижаются твердость и температура схватывания с обрабатываемым материалом.

С уменьшением размера зерен карбидов снижается прочность, но увеличивается износостойкость.

Химический состав и основные физико – механические свойства твердых сплавов. Таблица 11.1

Группа	Марка	Массовая доля основных компонентов и смеси порошков, %				Предел прочности, МПа	Твердость
		карбид вольфрама	карбид титана	карбид тантала	кобальт		
		1	2	3	4	5	6
Вольфрамовые	ВК3	97	-		3	П71	89,5
	ВК3-М	97	-		3	1766	91,0
	ВК4	96	-	-	4	1519	89,5
	ВК4-В	96	-		4	1470	88,0
	ВК6	94	-	-	6	1519	88,5
	ВК6-М	94	-	--	6	1421	90,0
	ВК6-ОМ	92	-	2	6	1274	90,5
	ВК6-В	94			6	1666	87,5
	ВК8	92	-	-	8	1666	87,5
	ВК8-В	92	-	-	8	1813	86,5
	ВК8-ВК	92	-	-	8	1764	87,5
	ВК10	90	-	-	10	1764	87,0
	ВК10-М	90	-	-	10	1617	88,0
	ВК10-ОМ	88	-	2	10	1470	88,5
	ВК10-КС	90			10	1862	85,0
	ВК11-В	89	-	-	11	1960	86,0
	ВК11-ВК	89	-	-	11	1862	87,0
	ВК15	85	-	-	15	1862	86,0
	ВК20	80			20	2058	84,0
	ВК20-КС	80	-	-	20	2107	82,0
ВК20К	78			22	1764	80,0	
ВК25	75	-	-	25	2156	82,0	
Титано-вольфрамовые	Т30К4	66	30	-	4	980	92,0
	Т15К6	79	15	-	6	1176	90,0
	Т14К8	78	14	-	8	1274	89,5
	Т5К10	85	6	-	9	1421	88,5
	Т5К12	83	5	-	12	1666	87,0
Титано-тантало-вольфрамовые	ТТ7К12	81	4	3	12	1666	87,0
	ТТ8К6	84	8	2	6	1323	90,5
Титано-вольфрамовые	ТТ10К8-В	82	3	7	8	1617	89,0
	ТТ20К9	67	9,4	14,1	9,5	1470	91,0

Твердые сплавы с размером зерен 3...5 мкм имеют крупнозернистую структуру, 0,5... 1,5 мкм - мелкозернистую, при 70 % зерен размером менее 1 мкм - особо мелкозернистую. Соответственно в маркировке в конце указывают: КС;К, В, М, ОМ.

Вольфрамовые (однокарбидные) твердые сплавы применяют для обработки хрупких материалов: чугуна, цветных металлов, керамики, мрамора, стекла, пластмассы и др. Это обусловлено тем, что такие сплавы менее износостойкие. При обработке хрупких материалов образуется стружка надлома, элементы которой не связаны между собой. Износ инструмента происходит в основном по задней поверхности, где его интенсивность меньше, чем по передней поверхности. Твердые сплавы группы ВК не предназначены для обработки углеродистых и легированных сталей, так как зерна ЖС легко растворяются сталью.

Примерное назначение марок твердых сплавов группы ВК: ВК3, ВК3-М - чистовая обработка (точение, растачивание, развертывание, нарезание резьбы) серых, легированных и отбеленных чугунов, цементированных и закаленных сталей, а также высокоабразивных неметаллических материалов:

ВК4 - черновое и получистовое фрезерование, рассверливание и растачивание, черновое зенкерование нормальных и глубоких отверстий при обработке чугуна, цветных металлов и сплавов, титановых сплавов;

ВК6-М - получистовая обработка нержавеющей сталей, твердых и закаленных чугунов, легких сплавов, стекла, пластмасс;

ВК6 - черновая и получерновая обработка;

ВК8, ВК8-В - черновая обработка (точение, строгание, фрезерование, сверление и рассверливание) при неравномерном сечении среза, прерывистом резании для обработки чугуна, нержавеющей, высокопрочных, жаропрочных сталей и сплавов, цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов;

ВК10-М - фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание и зубофрезерование стали, чугуна цельнотвердосплавным мелкогабаритным инструментом;

ВК15 - изготовление строгальных и долбежных резцов, работающих в условиях динамической нагрузки.

Титановольфрамовые (двухкарбидные) твердые сплавы более износостойкие и имеют теплостойкость выше, чем вольфрамовые твердые сплавы, но при этом менее прочные. Зерна титановольфрамового карбида имеют округлую форму, причем внутри зерна больше концентрация WC , а снаружи выше кон-

центрация TiC . Поэтому их эффективно применять для обработки вязких металлов, которые при резании образуют элементную или сливную стружку. В этом случае износ происходит интенсивно как по передней, так и по задней поверхностям инструмента. Кроме того, титано-вольфрамовые твердые сплавы менее склонны к схватыванию с обрабатываемой поверхностью (температура схватывания на $100...150^{\circ}C$ выше, чем у вольфрамовых твердых сплавов). Сплавы группы ТК не применяют для обработки титановых сплавов и высокоабразивных материалов.

Марки твердых сплавов группы ТК применяют для следующих условий резания:

Т30К4 - чистовое скоростное точение с малой толщиной среза в условиях жесткой ТС, нарезание резьбы и развертывание отверстий при обработке углеродистых сталей;

Т15К6 - получистовая обработка углеродистых и легированных сталей;

Т14К8 - черновая обработка (точение, фрезерование, рассверливание, зенкование) при неравномерном сечении среза, прерывистом резании углеродистых и легированных сталей;

Т5К10 - черновая обработка углеродистых и легированных сталей в виде поковок, штамповок, отливок, имеющих корку и окалину;

Т15К12 - обдирочная и черновая обработка в тяжелых условиях (точение, строгание, сверление).

Титано - танталовольфрамовые (трехкарбидные) твердые сплавы по своим механическим характеристикам являются промежуточными между вольфрамовыми и титановольфрамовыми сплавами. Они имеют более высокую прочность и вязкость, чем сплавы группы ТК, но уступают им по твердости и теплостойкости. Сплавы группы ТТК предназначены для обработки легированных, нержавеющей, жаропрочных и высокопрочных сталей и чугунов, особенно эффективны на операциях фрезерования. Примерное назначение марок твердых сплавов группы ТТК:

ТТ7К12 - обдирочная черновая обработка (точение, фрезерование) углеродистых и легированных сталей при неравномерной и ударной нагрузке;

ТТ20К9 - получистовая обработка с ударами и черновая обработка при спокойной нагрузке;

ТТ10К8-В - черновая и получистовая обработка нержавеющей, маломангнитных, жаропрочных сталей и сплавов, а также других труднообрабатываемых материалов.

Безвольфрамовые твердые сплавы (керметы) имеют в своем составе в качестве износостойкой фазы карбида и карбонитрида титана, а в качестве связки применяют никель с добавками молибдена и ниобия. Кроме того, сплавы содержат в небольшом количестве карбиды других элементов. Керметы изготавливаются только в виде пластин. Безвольфрамовые сплавы обладают примерно одинаковой твердостью с титано-вольфрамовыми, но превосходят их по окалинностойкости. Образующаяся на их поверхности при резании пленка окислов прочно сцеплена с основой и играет роль твердой смазки. Кроме того, безвольфрамовые сплавы мало склонны к адгезионному взаимодействию, что особенно важно при обработке никелевых и других вязких материалов.

К недостаткам безвольфрамовых сплавов следует отнести более низкие по сравнению с титано-вольфрамовыми сплавами значения модуля упругости, теплопроводности, а также более высокий коэффициент термического расширения, что предопределяет их более высокую чувствительность к ударным и тепловым нагрузкам.

11.2 Рекомендации по выбору марок твердых сплавов

По международной классификации *ISO* в зависимости от обрабатываемого материала твердые сплавы разделяют на три группы;

Р - для обработки углеродистых, легированных сталей и стального литья, закаленных инструментальных сталей при резании со сливной стружкой;

М - для обработки высоколегированных, жаростойких, высокопрочных, нержавеющей сталей, а также автоматных сталей и ковких легированных чугунов;

К - для обработки серых, ковких, отбеленных чугунов, закаленных сталей и цветных металлов и сплавов при резании со стружкой надлома, а также пластмасс, стеклопластиков, бетона.

Для твердых сплавов, как наиболее распространенных для металлообработки, Международной организацией стандартов ISO разработана система классификаций по группам применяемости, которые в свою очередь делятся на подгруппы применения в зависимости от условий обработки (табл. 11.2).

Классификация материалов по ISO. Таблица 11.2

ISO	Обрабатываемый материал	Типичный представитель	Твердость
P	Сталь	Низколегированная сталь	HB 180
M	Нержавеющая сталь	Аустенитная нержавеющая сталь	HB 180
K	Чугун	Серый чугун Чугун с шаровидным графитом	HB 220 HB 250
N	Алюминиевые, медные сплавы, неметаллы, пластмассы	Литье, не подвергнутое старению	HB 75
S	Жаропрочные сплавы	Никелевые сплавы	HB 350
H	Сверхтвердая сталь	Закаленная и отпущенная	HRC 60

После буквы, обозначающей обрабатываемый материал, ставится индекс 01, 10, 20, 25, 30, 40, 50. Увеличение индекса соответствует увеличению прочности и уменьшению износостойкости твердого сплава. Кроме букв, группы маркируются цветом: P – синий, M – желтый, K – красный, N – зеленый, S – оранжевый, H – серый.

Все ведущие фирмы-изготовители наряду с товарной маркой своего сплава указывают его соответствие той или иной группе и подгруппе применяемости по ISO.

Основные группы применения P, M, K разбиты на подгруппы, обозначенные двухзначным индексом, который принимает значение от 01 до 50. Малые индексы соответствуют чистовым операциям, когда от твердых сплавов требуется высокая износостойкость и малая прочность. Большие индексы соответствуют черновым операциям, когда от твердых сплавов требуется высокая прочность и, как следствие, низкая износостойкость. Необходимо отметить, что химический состав и структура твердых сплавов не могут одновременно обеспечить высокую прочность и износостойкость. В связи с этим каждая марка твердого сплава имеет свою предпочтительную область применения. Однако границы подгрупп определены ориентировочно (некоторые марки могут хорошо ра-

ботать в нескольких подгруппах). Правильный выбор марок твердых сплавов для конкретной технологической операции является основным фактором, обеспечивающим получение необходимой эффективности от применения твердых сплавов.

Основными путями улучшения качества твердых сплавов являются совершенные технологии их изготовления и совершенствование состава. Так, легирование сплавов ВК карбидами хрома и ванадия позволяет резко ограничить рост зерен при спекании, а следовательно, увеличить прочность кобальтовой связки. Замена карбидов тантала карбидами гафния и ниобия, имеющими более высокую износостойкость при равной прочности, позволяет увеличивать работоспособность твердых сплавов и снизить их стоимость. Легирование рутением позволяет расширить диапазон применяемости сплавов группы P30 от P25 до P40, особенно в условиях прерывистого резания.

При выборе марки твердого сплава следует учитывать:

- группу и марку обрабатываемого материала, его структуру и физико-механические свойства;
- состояние заготовки (наличие корки, абразивных включений, неравномерности припуска);
- требования к точности и шероховатости обрабатываемой детали;
- конструктивные особенности обрабатываемой детали, определяющие углы в плане, глубину резания и др.;
- вид производства;
- состояние обрабатывающего оборудования (мощность, жесткость, точность, уровень автоматизации);
- требования к периоду стойкости инструмента;
- конструктивные особенности режущего инструмента.

В момент назначения оптимальной марки твердого сплава еще не известны подача, скорость резания, передний и задний углы инструмента, величины которых в большой степени зависят от марки выбранного твердого сплава. Примерное соответствие марок твердых сплавов по ГОСТ 3882-74 и *ISO* дано в таблице 11.3

Марки твердых сплавов по системе ISO и ГОСТ 3882-74. Таблица 11.3

Группы по системе ISO					
P		M		K	
марки					
P01	T30K4	M01	BK6-OM	K01	BK3, BK3-M
P05	--	M05	BK6-OM	K05	BK6-OM
P10	T15K6 TT12K8	M10	TT10K8A TT8K6	K10	TT8K6 BK6-M
P15	--	M15	--	K15	--
P20	T14K8	M20	TT10K8-B	K20	BK6
P25	TT20K9	M25	TT20K9	K25	--
P30	T5K10	M30	TT10K8-B	K30	BK4, BK6
P35	--	M35	BK10-M	K3 5	--
P40	TT7K12 T5K12-B	M40	BK 10-OM	K40	BK8
P50	TT7K12	M50	BK15OM	K50	BK10

Назначение марок твердого сплава для различных видов обработки приведено в табл. 11.4

Выбор марок твердых сплавов для обработки резанием. Таблица 11.4

Вид обработки	Характер обработки	Обрабатываемый материал											
		стали					сплавы				чугуны		
		углеродистые (ст2, ст7,ст10, ст50)	легированные (40X, ШХ15, 40XГМ)	инструментальные (9XC, ХВГ, P6M5)	нержавеющие (2X13, 3X18)	высокопрочные и жаропрочные (X25T ЭИ395)	титановые (BT5, BT8, BT 15)	жаропрочные (ЖС6К, 12ХМФ , ЭИ827)	тугоплавкие (BM-1, НБП-2, BH-2)	цветные (латунь, бронза, А1, Си)	серые (СЧ15, СЧ 40) НВ<240	ковкие, высокопрочные (ВЧ 45 КЧ35) НВ >400	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Обработка на токарных станках	Чистовое точение	TM-1 TH-20 T30K4	TM-1 TH-20 KHT-16 BK6OM	TH-20 BK3 BK3-M	BK6-OM BK6-M T15K6	BK6-OM BK6-M T15K6	BK6-OM BK6-M	BK6-OM BK6-M	BK6-OM BK6-M	BK6-OM BK6-M	TM-3 TH-20 KHT-16 BK6-M	B-3 BOK-60 BK3-M BK3	B-3 BOK-60 BK3-M BK6
	Получистовое точение	TM-3 KHT-16 T15K6	TM-3 TH-20 KHT-16 T15K6	TH-20 KHT-16 T15K6 T14K8	BK6-M BK4 TT10K8	BK6-M T15K6 TT10K8	BK6-OM BK6-M BK4 BK10OM BK10OM	BK6-M BK6 TT10K8	BK6-M BK4 BK6	TH-20 KHT-16 BK6-M TT8K6	B-3 BOK-60 BK6-M TT8K6	B-3 BOK-60 BK6-M TT8K6	
	Черновое точение	T14K8 TT10K8	T14K8 T5K10 TT10K8	BK6 T14K8	BK6-M BK8 BK10OM TT10K8	BK8 BK10M TT7K12 TT10K8	BK6 BK8 BK10OM	BK4 BK6 BK8 TT10K8	BK8 BK10OM	BK6 BK8	BK4 BK6	BK6 BK10OM	

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Тяжелое черновое точен.	T5K10 T5K12 TT7K12	T5K10 T5K12 TT7K12	BK8 T5K10	BK8 BK15M T5K12	BK8 BK15M TT7K12	BK8 BK10KC	BK8 BK10OM TT7K12	BK8 BK10OM BK15	BK6 BK8	BK6 BK8 BK6KC	BK8 BK10OM
	Отрезка	T15K6 T5K10	T15K6 T14K8	T15K6 T14K8	BK6-M BK8	BK4 BK8	BK4 BK8	BK6 BK8	BK6-OM BK8	BK3-M BK6-OM	BK4 BK6	BK3 BK6-M
	Нарезанные резьбы	T15K6	T15K6 T14K8	T15K6 T14K8	BK3 BK6-M	BK8 BK10OM	BK6-M BK8	BK6-M BK8	BK6-OM BK8	BK3 BK6-M	BK3 BK6-M	BK3-M BK6OM
Строгание, долбление	получистовая и чистовая	T5K10	T5K10 BK6KC	----	BK8 BK6KC T5K12	BK10OM TT7K12	BK10OM BK8	BK10OM BK8	----	BK4 BK6	BK4 BK6 BK6KC	----
	черновая	T5K12 TT7K12	T5K12 TT7K12 BK6KC	----	T5K12 BK8	TT7K12 BK15OM	BK15OM BK8	BK15OM BK8	----	BK8	BK8 BK6KC BK10	----
Фрезерование	получистовая и чистовая	TH20 KHT16 T15K6 TT20K9	T15K6 T14K8 TT20K9	T15K6 T14K8 TT20K9	T14K8 TT20K9 BK6-M BK10-M	T14K8 TT20K9 BK6-M BK10OM	BK4 BK10OM	BK8 BK10OM	BK8 BK10OM	BK6M BK6	BK4 BK6 TT8K6	BK6M TT8K6
	черновая	T5K10 TT7K12	T5K10 BK8 TT7K12	T5K10 TT7K12	T5K12 T5K10 TT7K12 BK10OM	T5K10 BK8 TT7K12 BK15OM	BK8 BK10OM BK15OM BK10KC	BK8 BK10OM BK15OM BK10KC	BK8 BK 10OM	BK4 BK6 BK8	BK6 BK8	----
Сверление	обычных отверстий	T5K10 T14K8 BK8	T15K10 BK8 BK10OM	BK8 BK10OM	T5K12 BK8 BK10-M	T5K12 BK8 BK10-M	BK6 BK8 BK10-M	BK8 BK10-M BK10OM	BK8 BK10-M BK10OM	BK4 BK6M	BK4 BK6 BK8	BK8
	глубоких отверстий	T5K10 T5K12 BK8	T5K12 BK8	T5K12 BK8	T5K12 BK8 BK10OM	T5K12 BK8	BK6-M BK10OM	BK8 BK10-M BK10OM	BK8 BK10-M BK10OM	BK4 BK6M	BK4 BK6 TT8K6	BK8 TT8K6
Зенкерование	получистовая и чистовая	T15K6 T14K8	T15K6 T14K8	T14K8 T5K10	BK6-M BK6-OM	BK6-M BK6-OM	BK4 BK6-M BK8	BK6-M BK8 BK10OM	BK6-M BK8 BK10OM	BK4 BK6	BK3-M BK4 TT8K6	BK4 BK6-M TT8K6
	черновая	T14K8 T5K10 T5K12	T14K8 T5K10 BK8	T5K10 T5K12 BK8	BK4 BK10OM	BK4 BK8 BK10OM	BK8 BK10OM	BK8 BK10OM	BK8 BK10OM	BK4 BK6	BK6 BK8	BK4 BK6-M
Развертывание	----	T30K4 T15K6	T30K4 T15K6	T30K4 T15K6 BK6OM	BK4 BK6-M BK6-OM	BK6-M BK6-OM	BK3-M BK6-OM	BK3-M BK6-OM	BK3-M BK6-OM	BK3 BK6-M	BK3 BK3-M BK6-M	BK3-M BK6OM

11.3 Перспективы развития твердых сплавов

Совершенствование твердых сплавов осуществляют в направлении повышения вязкости, износостойкости и теплостойкости путем дополнительного легирования карбидами титана, тантала, ниобия, гафния, рутения, а также улучшения технологии изготовления. Эффективными путями совершенствования режущих свойств твердых сплавов являются создание марок сплавов с особо мел-

кодисперсной структурой, новых составов износостойких покрытий и разработка способов их нанесения. Вольфрамовая руда WO_3 и кобальт, используемые в производстве обычных твердых сплавов, являются дефицитными металлами. Поэтому изыскиваются возможности создания таких сплавов, в которых вольфрам и кобальт отсутствуют.

Особо мелкодисперсные твердые сплавы (BK6-0M, BK10-0M, BK15-0M и др.) имеют повышенную твердость, вязкость и плотность, что улучшает шлифуемость и позволяет получать при заточке более острую кромку. Мелкозернистая структура сплавов достигается специальной технологией их изготовления при введении в сплав до 2 % тантала Ta .

Выпускают вольфрамовые твердые сплавы (BK6X0M, BK10X0M, BK15X0M), в которых TaC заменен карбидом хрома. Их с успехом применяют для силового точения с большим объемом снимаемого припуска, при обработке жаропрочных сталей и сплавов. Физико-механические свойства этих сплавов (ТУ 48-19-209-76) приведены в табл. 11.5.

Физико-механические свойства твердых сплавов, легированных хромом. Таблица 11.5

Марка сплава	Прочность при изгибе, МПа	Плотность ρ , кг/м ³	Твердость HRA , не менее
BK10X0M	1500	14300	89,0
BK15X0M	1650	13800	87,5

Продолжается совершенствование однокарбидных твердых сплавов за счет технологии спекания и введения упрочняющей термической обработки. Освоена технология спекания сплавов в среде водорода (BK6-B). Применение отжига вольфрамовых твердых сплавов при 380°C в течение 1,5 часов повышает стойкость инструмента на 25...30 %.

С 1984 г. выпускают твердые сплавы по технологии шведской фирмы «Сандвиг Коромант». Марки данных сплавов обозначают MC с трехзначным или четырехзначным индексами. Твердые сплавы без износостойких покрытий обозначают трехзначным индексом. Обозначение не содержит информации о химическом составе сплава, а отражает область его применения. В состав большинства сплавов серии MC входят карбиды тантала и ниобия. Поэтому сплавы

обладают повышенной прочностью, но одновременно и более высокой стоимостью. Карбид ниобия NbC является аналогом карбида тантала, но менее дефицитен. В связи с этим карбид ниобия вводят для частичной замены карбида тантала. Сравнительные данные по маркам твердых сплавов серии MC даны в табл. 11.6.

Твердые сплавы с износостойкими покрытиями. Нанесение тонкого износостойкого покрытия толщиной 5..10 мкм на твердые сплавы является весьма перспективным способом упрочнения поверхностного слоя и повышения режущих свойств инструмента. Данный способ главным образом реализуется на многогранных неперетачиваемых пластинах. Эффективность способа зависит от состава, толщины и технологии нанесения покрытия. В промышленности получили применение два способа покрытия: осаждение из газовой фазы и термомодиффузионный. В качестве материала для покрытия используют карбиды и нитриды титана TiC и TiN , их сочетания - карбонитриды $TiCN$, а также кристаллическую окись алюминия Al_2O_3 .

Марки твердых сплавов серии MC. Таблица 11.6

Серии MC	По ГОСТ 3882-74	Область применения по ISO
MCШ	T15K6	P10
MC121	T14K8	P20
MCШ	T5K10	P30
MC137	TT20K9	P25
MC146	TT7K12	P40
MC211	BK6M	M10
MC221	TT10K8Б	M20
MC241	BK8	M40
MC301	BK3M	K01
MC306	BK6OM	K05
MC312	TT8K6	K10
MC313	TT8K6	K10
MC318	BK6	K15
MC321	BK6M	K20
MC347	BK8	K40

Поверхностный слой пластин с покрытием обладает большой твердостью, повышенной прочностью при сжатии и адгезионной стойкостью при высоких температурах, большой стойкостью против окисления.

Различают одно-, двух- и многослойные покрытия. Однослойное покрытие TiC получается хрупким. Однослойное покрытие TiN такого недостатка не имеет, но соединение его с пластиной является непрочным. Поэтому пластины с однослойными покрытиями рекомендуют применять для получистовой обработки сталей и чугунов при спокойной нагрузке.

Двух- и трехслойные покрытия повышают вязкость и обеспечивают более высокую прочность соединения. Более высокие результаты по износостойкости показывают твердосплавные пластины, покрытые керамикой и кубическим нитридом бора. Одним из путей повышения производительности безвольфрамовых твердых сплавов является нанесение износостойких покрытий. Это позволяет не только приблизить режущие свойства этих сплавов к свойствам традиционных твердых сплавов, но и в некоторых случаях превзойти их. Использование пластин с покрытиями имеет большую перспективу для автоматизированного производства, где стабильность прочностных характеристик и стойкости особенно важны. Сплавам серии МС с износостойкими покрытиями присвоены четырехзначные индексы (табл. 11.7). Сплавы, выпускаемые по шведской технологии, обозначены буквами МС, а изготавливаемые по австрийской технологии обозначены ВП. Три первые цифры в марке сплава указывают на область применения, а последняя - состав и особенности износостойкого покрытия.

Выпускают два вида покрытий: однослойные из карбида титана (TiC) и трехслойные из композиции карбид титана - карбонитрид титана - нитрид титана ($TiC+TiCN+TiN$). Толщина однослойного покрытия - 3...12 мкм, трехслойного - 8... 15 мкм. Несмотря на малую толщину покрытия износостойкость покрытого твердого сплава повышается в 2...5 раз. Однако из-за некоторого обезуглероживания поверхностных слоев в процессе нанесения покрытий прочность инструмента снижается на 10...20 %.

Пластины с износостойкими покрытиями эффективны при различных операциях обработки конструкционных и легированных сталей и чугунов, а также при чистовой и получистовой обработке нержавеющей сталей. Они предпочтительны при непрерывном точении, в меньшей степени - при фрезеровании. Нецелесообразно применять твердые сплавы с покрытиями при обработке титано-

вых и жаропрочных сплавов, а также при резании металлов с высоким содержанием абразивных включений и литейными корками.

Марки твердых сплавов с износостойкими покрытиями. Таблица 11.7

Марка сплава	Марка основы	Состав покрытия по ISO	Прочность при изгибе, ГПа	Область применения
MC1210	MC22I	<i>TiC</i>	1,2	P10-P30
MC1215	MC221	<i>TiC+TiCN+TiN</i>	1,2	P10-P30
ВП1255	ТТ7К9	<i>TiC+TiCN+TiN</i>	1,3	P15-P35
ВП1325	Т5К10	<i>TiC+TiCN+TiN</i>	1,3	P20-P30
ВП1445	ТТ7К12	<i>TiC+TiCN+TiN</i>	1,5	P20-P40
MC1460	MC 146	<i>TiC</i>	1,6	P20-P40 M15-M30
MC1465	MC 146	<i>TiC+TiCN+TiN</i>	1,6	P20-P40 M15-M30
MC3210	MC321	<i>TiC</i>	1,2	K 10-K20
MC3215	MC321	<i>TiC+TiCN+TiN</i>	1,2	K 10-K20
ВП3115	ВК6	<i>TiC+TiCN+TiN</i>	1,3	K 10-K20
ВП3325	ВК8	<i>TiC+TiCN+TiN</i>	1,5	K20-K30

Безвольфрамовые твердые сплавы - сплавы на основе карбида и карбонитрида титана (*TiC*, *TiN*), цементированные никелемолибденовой связкой (*Ni + Mo*). Безвольфрамовые твердые сплавы получают методами порошковой металлургии, они занимают промежуточное положение между быстрорежущими сталями и твердыми сплавами. Присутствие тугоплавкой твердой основы обеспечивает сплавам твердость, износостойкость и теплостойкость. Связка придает материалу такие свойства, как способность обработки резанием. Некоторые из сплавов можно подвергать термической обработке (отжигу, закалке, отпуску), в результате которой они приобретают высокую твердость.

Разработка безвольфрамовых твердых сплавов вызвана возрастающим дефицитом на вольфрам и кобальт, используемые в производстве обычных твердых сплавов. Безвольфрамовые твердые сплавы по сравнению с вольфрамовыми сплавами имеют меньшую прочность при изгибе, но отличаются повышенной теплостойкостью (до 1000°C) и низкой схватываемостью с обрабатываемым материалом. Благодаря высокой плотности при заточке режущих инструментов из безвольфрамовых сплавов можно получить острую кромку, что особенно ценно для чистового инструмента. Инструменты из этих сплавов работают по сталям практически без наростообразования. Отмеченные свойства определили об-

ласть их применения - чистовое и получистовое точение и фрезерование. Безвольфрамовые твердые сплавы обеспечивают меньшую шероховатость поверхности по сравнению с твердым сплавом, что дает возможность заменить шлифование точением. В табл. 11.8 приведены основные физико-механические характеристики безвольфрамовых твердых сплавов, выпускаемых промышленностью.

Сплав ТМ-3 содержит 64 % $(TiNb)C$, 21 % Ni и 15 % Mo . Применяется для чистового и получистового точения углеродистых и легированных инструментальных сталей при спокойной нагрузке со скоростями резания 60...250 м/мин. Стойкость резцов в 1,2...1,3 раза выше, чем оснащенных сплавом Т30К4. Марка ТН-20 содержит 79,6 % TiC , 15,8 % Ni и 4,6 % Mo . Применяется для чистовой и получистовой обработки углеродистых, легированных сталей, цветных сплавов и чугунов при спокойной нагрузке. Обеспечивает повышение стойкости в 1,4...1,5 раза по сравнению со сплавом Т15К6.

Сплав КНТ-16 содержит 74 % $TiNC$, 19,5 % Ni и 6,5 % Mo . Применяется для тех же целей, что и ТН20. По сравнению со сплавом Т15К6 стойкость выше в 1,2... 1,5 раза. Вследствие неудовлетворительных термических свойств безвольфрамовые твердые сплавы плохо поддаются пайке и заточке, поэтому их применяют в основном в виде многогранных неперетачиваемых пластин.

Физико-механические свойства безвольфрамовых
твердых сплавов. Таблица 11.8

Марка сплава	Прочность при изгибе, МПа	Плотность ρ , кг/м ³	Твердость HRA_y не менее	Условия поставки
ТМ – 1	800	5800	91, 5	ВТУ 45 – 75
ТМ – 3	1200	5900	89, 0	
ТН – 20	1050	5500 - 6000	90, 0	ГОСТ26530- 85
КНТ–16	1200	5500 - 6000	89, 0	
ТН - 30	1100	5800	88, 5	ТУ48-19-223-76
ТН - 40	1150	6000	87, 0	
КНТ-12	1250	5670	92, 0	ТУ48-19-206-76
КНТ- 20	1550	6170	90, 0	
КНТ-30	1700	6400	88, 5	

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Перечислите основные марки твердых сплавов.
2. Технологический процесс изготовления твердых сплавов.
3. От каких факторов зависит изменение физико-механических свойств твердых сплавов?
4. Чем руководствоваться при выборе марок твердых сплавов?
5. Твердые сплавы с износостойкими покрытиями.
6. Что следует учитывать при выборе марки твердого сплава?
7. Перспективы развития твердых сплавов.
8. Какие легирующие элементы содержит сплав ТМ-3?
9. Чем вызвана разработка безвольфрамовых твердых сплавов?
10. Чем эффективны пластины с износостойкими покрытиями?
11. Как обозначаются твердые сплавы без износостойких покрытий?
12. Какую твердость имеют особо мелкодисперсные твердые сплавы?
13. Какие рекомендации по выбору марок твердых сплавов?
14. Что такое титанотанталовольфрамовые (трехкарбидные) твердые сплавы?
15. Для каких условия резания применяют марки твердых сплавов группы ТК?
16. Чем характеризуется порошковые стали, по сравнению с обычными того же состава?
17. Какие группы твердых сплавов вы знаете?
18. Из каких легирующих элементов состоят вольфрамовые твердые сплавы?
19. К чему приводит увеличение размеров зерен карбидов на 3-5 мкм по сравнению с обычными?
20. Что можно отнести к недостаткам безвольфрамовых сплавов?

Раздел 12

12. Керамические инструментальные материалы

12.1 Марки керамических инструментальных материалов

Минералокерамика (или *режущая керамика*) - инструментальный материал на основе оксида алюминия (Al_2O_3) или карбида кремния (SiC), обладающий большими, чем у твердых сплавов, твердостью и теплостойкостью, но меньшей ударной вязкостью. Основные преимущества режущей керамики по сравнению с твердыми сплавами заключаются в практически неограниченных сырьевых ресурсах (алюмосиликаты составляют до 50% массы земной коры).

Минералокерамика относится к числу инструментальных материалов, позволяющих существенно повысить производительность обработки за счет высокой теплостойкости и износостойкости. Керамика в виде многогранных неперетачиваемых пластин разнообразной номенклатуры выпускается во многих странах, ее удельный вес среди инструментальных материалов в настоящее время составляет около 3%. Керамические инструментальные материалы делят на четыре группы:

1) Оксидная (белая керамика) на основе Al_2O_3 (советские марки ЦМ 332, ВО-100) для точения заготовок из ферритных ковких чугунов и незакаленных конструкционных сталей при скоростях резания свыше 250 м/мин;

2) Оксидно-карбидная (черная керамика) на основе композиции Al_2O_3-TiC (марки В-3, ВОК-60, ВОК-70) для обработки ковких, высокопрочных, отбеленных, модифицированных чугунов, закаленных сталей (до 65 HRC);

3) Оксидно-нитридная на основе Al_2O_3-TiN (ОНТ-20 или кортинит) рекомендуется для обработки меди, закаленной стали, отбеленных чугунов, сплавов на основе никеля;

4) нитридная керамика на основе Si_3N_4 (ПК-30 или силинит-Р). Для обработки чугунов и отожженных конструкционных и инструментальных сталей. Уступает в скорости резания оксидной керамике при обработке сплавов на основе алюминия и закаленной стали. При обработке серого чугуна силинит уступает нитриду бора.

Минералокерамика не содержит дорогостоящих и дефицитных материалов: ее основу составляет технический глинозем (окись алюминия Al_2O_3) с небольшой добавкой окиси магния MgO и хрома CrO . В оксидно-карбидную керамику дополнительно входят смеси карбидов $WC + Mo_2C$ и $Mo_2C + TiC$. Карбидная составляющая изменяется от 20 до 40 % по массе. До недавнего времени основным представителем минералокерамики была **оксидная керамика** марки ЦМ-332. Этот сплав имеет ряд преимуществ по сравнению с твердым сплавом: выше твердость (93 HRA), теплостойкость (1200°C), прочность при сжатии (500 МПа). Он обладает низкой теплопроводностью и в меньшей степени подвержен слипанию с обрабатываемым материалом вследствие высокой температуры схватывания - 1540°C. С 1987 г. марка ЦМ-332 заменена маркой ВО-13, имеющей повышенную твердость и прочность при изгибе. Ее целесообразно использовать при обработке незакаленных сталей на чистовых режимах. Наибольшее распространение получила **оксидно-карбидная керамика**, которая является промежуточной между оксидной керамикой и твердым сплавом.

Особенность оксидной керамики - относительно высокая чувствительность к резким температурным колебаниям (тепловым ударам), то есть высокий коэффициент температурного расширения. Поэтому охлаждение при резании керамикой обычно не применяют. Исключение составляет керамика оксидно-карбидной группы, но для инструмента из таких материалов необходимо обеспечить обильную и непрерывную подачу СОЖ.

Также существует **оксидная керамика армированная кристаллами карбида кремния SiC** , так называемая «вискеризованная» (рис. 12.1) керамика (от английского названия кристаллов карбида кремния – whiskers) обладающая гораздо большей прочностью по сравнению с другими типами керамики. Вискеризованная керамика представляет собой композиционный материал, в котором оксид алюминия Al_2O_3 это основа, а SiC наполнитель. Армированная керамика в основном применяется для черновой обработки жаропрочных сплавов.

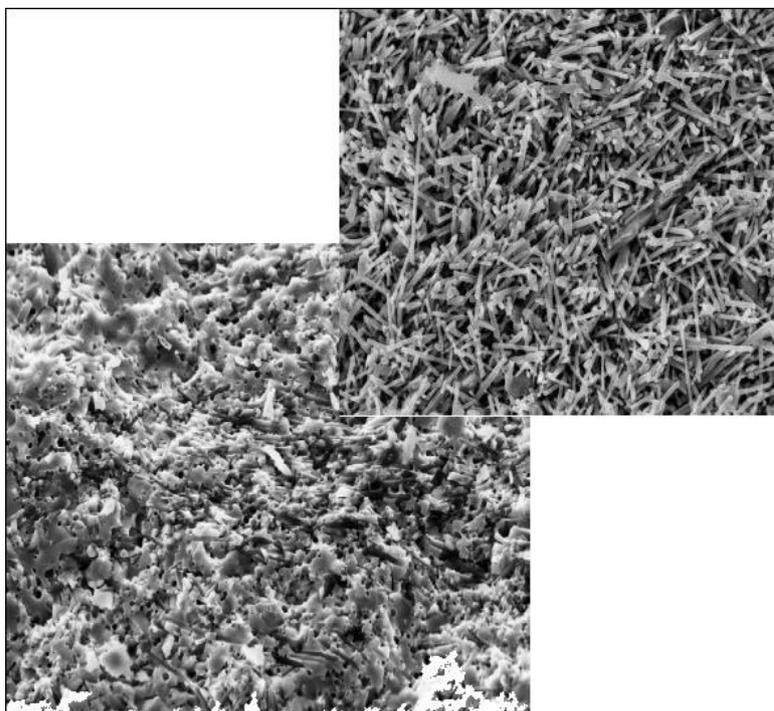


Рис. 12.1. Структура вискеризованной керамики при увеличении в 3000 раз.

Режущая керамика обеспечивает скорости резания порядка 900-1000 м/мин.

Производством режущей керамики занимается ряд ведущих инструментальных фирм мира, но наилучшие результаты, как правило у специализированных компаний, таких как - NTK (Япония) и GreenLeaf (США).

На выставке ЕМО 2015 в Милане компанией NTK был представлен новый инструментальный материал VIDEMICS, предназначенный в первую очередь для обработки жаропрочных сплавов, используемых, как правило, в авиационном двигателестроении. Это сплавы по зарубежной классификации типа: Inconel 718, Rene, Waspaloy, а по Российской: ЭИ698 (ХН73МБТЮ), ЭИ787 (ХН35ВТЮ), ЭИ435 (ХН78Т).

Оксидно-нитридную керамику представляют:

силинит -Р - инструментальный материал на основе нитрида кремния $Si_3 N_4$ - и картинит ОНТ-20 - материал на основе нитрида титана TiN .

силинит - Р является дешевым, технологичным материалом с высокой стабильностью свойств при высокой температуре (теплостойкость 1600°C). Имея высокую твердость, он отличается недостаточной прочностью.

Для снижения хрупкости, повышения прочности и износостойкости в него вводят добавки тугоплавких соединений - 5 % окиси алюминия и 10 % карбида титана.

Силинит - Р не взаимодействует с большинством сталей и цветных сплавов.

Рекомендуют применять его при получистовой и чистовой обработке в условиях спокойной нагрузки. Стойкость резцов из силинита - Р при обработке сталей твердостью до 45 *HRC*э такая же, как твердого сплава, а при твердости более 50 *HRC*э во много раз превосходит стойкость последнего. В таблице 12.1 приведены физико-механические свойства керамических инструментальных материалов.

Физико-механические свойства керамических
инструментальных материалов. Таблица 12.1

Марка	Прочность при изгибе, МПа	Плотность ρ , кг/м ³	Твердость <i>HRA</i> , не менее	Условия поставки
В-3	637	4500 - 4700	93	ГОСТ 26630-85
ВО-13	400	3920 - 3940	93	
ВОК-60	637	4200 - 4300	93	
Силинит -Р	650-750	3800 - 4000	94 - 96	ТУ 06-339-78
ОНТ-20	650-750	4200	93	ТУ 2-036-087-82

Рекомендуемые области применения керамических инструментальных материалов: В-3 - чистовая и получистовая обработка без ударов закаленных конструкционных сталей (до 30...50 *HRC*э), серых, ковких и легированных чугунов (190...340 *HB*), графита, цветных сплавов на основе меди с повышенными скоростями резания;

ВОК-60 - чистовая и получистовая обработка закаленных конструкционных сталей (45...60 *HRC*э), серых, ковких и легированных чугунов с повышенными скоростями резания и малыми сечениями срезаемого слоя;

ВО-13 - токарная обработка чугуна и стали при получистовом и чистовом точении;

силинит -Р - обработка углеродистых и легированных конструкционных, инструментальных сталей (до 60 *HRC*э), чугуна, цветных сплавов на основе меди и алюминия;

ОНТ-20 - чистовое и получистовое точение и фрезерование закаленных сталей (до 58...63 *HRC*э).

В целом, чем выше твердость обрабатываемого материала и скорость резания, тем существеннее преимущество по износостойкости резцов, оснащенных оксидно-карбидной керамикой, по сравнению с резцами из твердого сплава. Хорошие результаты керамика показывает при точении чугунов, в том числе отбеленных чугунов высокой твердости. Ориентировочные режимы резания находятся в пределах: скорость резания - 120...700 м/мин, глубина резания - 0,3...1,0 мм, подача - 0,05...0,2 мм/об без охлаждения.

Специализированные инструментальные заводы изготавливают инструменты с механическим креплением пластин из керамики: проходные и расточные резцы различных типов, фрезы торцевые. Фрезы отличаются высокой работоспособностью и при обработке труднообрабатываемых сталей и чугунов показывают результаты, значительно превосходящие показатели аналогичных фрез, оснащенных вольфрамовыми твердосплавными пластинами. Они позволяют работать на скоростях резания до 600 м/мин и подачах до 0,15 мм/зуб. Однако при глубине фрезерования более 2 мм возможны сколы режущих кромок.

Преимущества керамических материалов:

- HRA 91-93, $T = 1100-1200^{\circ}\text{C}$;
- высокая износостойкость;
- низкие адгезионные свойства;
- отсутствует наростообразование.

Основной особенностью режущей керамики является отсутствие связующей фазы, что значительно снижает степень ее разупрочнения при нагреве в процессе изнашивания, повышает пластическую прочность, что и предопределяет возможность применения высоких скоростей резания, намного превосходящих скорости резания инструментом из твердого сплава.

Если предельный уровень скоростей резания для твердосплавного инструмента при точении сталей с тонкими срезами и малыми критериями затупления составляет 500-600 м/мин, то для инструмента, оснащенного режущей керамикой, этот уровень увеличивается до 900-1000 м/мин.



12.2. Некоторые керамические инструменты.

С другой стороны, керамические материалы хрупкие, имеют низкую изгибную прочность ($\sigma_{\text{изг}}=350-400$ МПа; у РК-30 до 800) и невысокую ударную вязкость.

Одним из направлений, по которому развивается техническая мысль в стремлении получить более прочные, чем керамика, но близкие по режущим свойствам материалы, является добавка к ней металлов: вольфрама, молибдена, титана, никеля и др. Таким путем получают так называемые керметы.

Керметы обладают более высокой прочностью, чем керамика (прочность на изгиб у керметов $390-490$ Н/мм² и выше), но допускают более низкие скорости резания.

Марки и свойства керметов. Керметы делятся на два класса:

- собственно керметы (Al_2O_3 и металлическая связка до 10%);
- карбидно-оксидная керамика (Al_2O_3 и карбиды тугоплавких элементов).

Оба класса отличаются теплостойкостью и твердостью (на уровне чистой минералокерамики) и имеют увеличенную в 1,5-3 раза прочность. При этом стоимость их значительно превышает стоимость чистой керамики, которая является самым дешевым инструментальным материалом.

Так же как керамика, керметы химически инертны к черным металлам. В нашей стране разработаны керметы ВЗ, ВОК60 и др. В настоящее время освоен выпуск керамики ЛЦК20 ($TiCN$), легированной цирконием, на никель-

молибденовой связке, кортинита и оксидно-нитридной минералокерамики ОНТ-20 ($Al_2O_3 + TiN$). Твердость кортинита - HRC 92-94, предел прочности при изгибе - 650-750 МПа, при сжатии - 2000-2500 МПа, теплопроводность — 30 Вт/м², модуль упругости - 395 ГПа.

Основные сравнительные характеристики и области применения режущих пластин из минералокерамики приведены в таблице 12.2. Все исследования показали, что керметы химически инертны к железу и углероду и поэтому не подвержены диффузионному износу. Нарост при резании сталей керметами не образуется. Обеспечивается более высокое, чем при обработке твердым сплавом, качество поверхности. Повышается производительность и стойкость инструмента. Как собственно керметы, так и карбидно-оксидная керамика значительно дешевле твердых сплавов и быстрорежущих сталей.

Современная дисперсионная минералокерамика на основе Al_2O_3 отличается высокими износостойкостью и вязкостью. Однако за счет оптимизации структуры (например, при добавлении ZrO_2 , TiC или керамических волокон) можно значительно повысить вязкость и коэффициент теплового удара, износостойкость при этом не ухудшается. При добавлении окиси циркония к матрице из окиси алюминия обеспечивают определенное напряженное состояние структуры (сопротивляемость структурным превращениям). Вязкость смешанной минералокерамики повышают за счет диспергирования TiC . Сравнительно высокая твердость этих материалов обуславливает также высокую износостойкость. Хорошая теплопроводность частиц TiC уменьшает чувствительность материала к тепловым ударам. Внедрение так называемых композиционных материалов на основе Al_2O_3 с армирующими волокнами SiC является следующим шагом на пути улучшения вязкости и стойкости к переменным тепловым нагрузкам оксидной минералокерамики.

Основные сравнительные характеристики и области применения режущих пластин из минералокерамики. Таблица 12.2

Марка	Состав	Плотность, г/см ³	Твердость	Предел прочности на изгиб, а _{изг} , МПа
ЦМ-322	А1А	3,96-3,98	До 2300 HV	350-400
ВЗ	А1Д, + TiC	4,5-4,7	93 HRA	650
ВОК60 ВОК71	А1 ₂ О ₃ + TiC	4,2-4,3	94 HRA	650
ВОК85-С ВОК95-С	А1 ₂ О ₃ + TiC	4,2-4,3	93 HRA	835 930
Кортинит ОНТ-20	А1 ₂ О ₃ + TiN	4,2	93 HRA	750

К преимуществам нитридной минералокерамики относятся сравнительно высокие вязкость на излом и стойкость при переменных тепловых нагрузках. Склонность к окислению и диффузии, а также более низкая по сравнению с оксидной минералокерамикой прочность при высоких температурах могут компенсироваться за счет оптимизации режимов резания.

Малая склонность к диффузии в сочетании с низкой окисляемостью могут обеспечить при использовании керметов на чистовых и финишных операциях лучшее качество поверхности, чем при резании твердыми сплавами с покрытиями. Указанные свойства керметов обеспечили работу на более высоких скоростях резания, чем это позволяют обычные твердые сплавы. Расширение диапазона скоростей резания представляет новые возможности для применения пластин из минералокерамики, оптимизации процесса обработки по таким параметрам, как качество обработанной поверхности, износ инструмента, стружкообразование.

Обычно керметы выпускаются в виде пластин различной формы и предусматривают механическое крепление их к державкам. Возможно их использование по принципу неперетачиваемых пластин. Экономически это даже выгоднее, так как пластина кермета гораздо дешевле пластины твердого сплава. Значит, стоимость отходов минимальна.

В настоящее время применяется способ наклейки пластин на державки специальным теплостойким клеем, выдерживающим температуру до 100°С.

Исследования показали, что при резании стали со скоростью 400 м/мин ввиду очень низкой теплопроводности кермета опорная поверхность пластины толщиной 5 мм нагревается не более, чем до 80°С. Прочность клеевого шва составляет 60 МПа.

Инструменты, оснащенные керметом, нашли применение в промышленности для точения сталей твердостью до 60 HRC и чугуна разной твердости, а также для прерывистого точения, растачивания и торцового фрезерования. Внедрение резцов, оснащенных керметом, для точения конструкционных и инструментальных сталей позволило повысить производительность в 2-5 раз.

12.2 Некоторые особенности применения керамических материалов для режущих инструментов

Минералокерамика имеет свою область применения и не исключает применения твердых сплавов. Минералокерамическими инструментами можно заменять твердосплавные в тех случаях, когда последние выходят из строя из-за быстрого износа. Когда причиной выхода из строя твердосплавного инструмента являются поломки, керамику применять не следует. Применение минералокерамических инструментов рационально только на станках повышенной жесткости, характеризующихся без-вибрационной работой. Такие инструменты должны крепиться в жестких державках. В этих условиях скорость резания керамическими инструментами по чугуну может быть увеличена в 4-10 раз по сравнению со скоростями резания при работе инструментами из других материалов. Различные зарубежные фирмы при обработке стальных и чугунных деталей эффективно используют керамический режущий инструмент. Так, например, в Японии доля керамического инструмента составляет около 30% и ежегодно продолжает увеличиваться.

Широкому применению инструментов из керамических материалов способствуют: освоение инструментов с многогранными неперетачиваемыми пластинами; увеличение доли чистовых операций в связи с повышением требований к точности изделий; создание более надежного, жесткого, прецизионного металлорежущего оборудования. Инструменты, оснащенные керамикой, на современном этапе не рекомендуют для черновой и получерновой обработки мате-

риалов вследствие недостаточной прочности керамических инструментальных материалов.

Установлено, что стойкость резцов из керамики ВО-13 при точении стали 45 в диапазоне скоростей 100. ..500 м/мин, подач 0,15...0,47 мм/об и глубин резания 1.. .2 мм в 3.. .4 раза выше по сравнению со стойкостью пластин из твердого сплава Т30К4. Стабильность режущих свойств оксидно-карбидной керамики в 3 раза выше по сравнению с керамикой ЦМ-332, что имеет первостепенное значение для режущего инструмента для автоматизированного оборудования.

Керамику марки ВО-13, учитывая ее меньшую стоимость и лучшую шлифуемость, рекомендуют применять для чистового точения углеродистых и легированных сталей и чугунов твердостью $HV < 260$. При чистовом точении сталей, в том числе закаленных, и высокопрочных чугунов целесообразно использовать керамику марки В-3. Производительность чистовой обработки отбеленного чугуна резцами с керамикой ВОК-63 в 12. ..15 раз выше, чем резцами с пластинами ВК6-ОМ.

Установлено положительное влияние отжига на режущие свойства керамик ВОК-60 и ВОК-63. Наименьшую окисляемость имеет минералокерамика ЦМ-332, близкие к ней данные получены на ВОК-60. Интенсивность окисления керамики В-3 значительно выше, чем ВОК-60, но существенно меньше твердых сплавов. Термостойкость керамики марок В-3 и ВОК-60 примерно в 1,2 раза выше, чем термостойкость твердых сплавов. Циклическая прочность минералокерамики ВОК-60 выше, чем В-3, особенно в отожженном состоянии.

Процесс резания оксидно-карбидной керамикой показывает, что с увеличением скорости резания наблюдается общеизвестная тенденция к уменьшению шероховатости, а с увеличением подачи шероховатость возрастает. Глубина резания меньше влияет на шероховатость поверхности. С увеличением глубины резания от 0,5 до 2,5 мм установлено некоторое уменьшение шероховатости обработанной поверхности. С увеличением радиуса закругления резца качество обработанной поверхности улучшается. Меньшую шероховатость поверхности получают при радиусе 2.. .2,5 мм, но применять резцы с большими радиусами не рекомендуют из-за опасности появления вибраций. Применение керамики в

качестве инструментального материала традиционно связывают лишь с чистовыми режимами непрерывного точения и высокими требованиями к технологической системе. Это в значительной степени связано с повышенной хрупкостью керамики. Высокие скорости резания, доступные при обработке инструментами из керамики, часто требуют охлаждения зоны резания. Однако ее малая теплопроводность не позволяет применять традиционные СОЖ - происходит выкрашивание режущих кромок в результате термического удара. Согласно данным [11], доминирующее влияние на работоспособность инструмента из керамики оказывает большой разброс механических свойств материала. Преодолеть указанные трудности можно путем совершенствования технологического процесса изготовления керамики. Например, для снижения хрупкости разработана слоеная структура режущей пластины - основа пластины выполнена из твердого сплава, на которой расположен слой керамики толщиной 1...1,5 мм. Увеличение стойкости к термическому удару реализуется путем искусственного повышения теплопроводности керамики за счет ее легирования более теплопроводными присадками. Так, марка ВОК-200 показала большую надежность (по параметру склонности к сколам), чем ВОК-60. Использование покрытия из TiN повышает стойкость на 25...50 % по сравнению с базовой маркой.

Практика свидетельствует, что экономическая эффективность использования инструментов с керамическими пластинами тем выше, чем относительно меньше сечение срезаемого слоя и выше скорость резания. Поэтому инструменты с керамическими пластинами следует применять на быстроходных и мощных станках, обладающих высокой жесткостью. Несоблюдение этих требований является основной причиной ограниченного применения керамики в машиностроительном производстве.

Пластины из керамики нельзя напаивать. Поэтому их крепят только механическим путем. За основную форму принята режущая пластина с прямоугольным сечением без отверстия. По всему периметру пластина имеет упрочняющие фаски. Широкие возможности для применения керамики открылись в результате применения станков с ЧПУ. В этом случае керамический режущий инструмент обеспечивает высокий экономический эффект, несмотря на короткие

периоды его стойкости (6...10 мин). При обработке с малыми глубинами резания и подачами скорость резания может достигать 1400...1500 м/мин.

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. На сколько групп делятся керамические инструментальные материалы?
2. Физико–механические свойства керамических инструментальных материалов.
3. В каких случаях проявляются преимущества резцов оснащенных оксидно-карбидной керамикой по сравнению с резцами из твердых сплавов.
4. Рекомендуемые области применения керамических инструментальных материалов.
5. Как устанавливаются керамические пластины на инструмент?
6. Что происходит с керамической пластиной при термическом ударе при резании?
7. Каковы особенности применения керамических материалов для режущих инструментов?
8. Во сколько раз выше стойкость резцов из керамики ВО-13 по сравнению со стойкостью пластин из твердого сплава Т30К4?
9. Что представляют собою оксидно-нитридные керамические пластины?
10. В каких случаях рекомендуют применять силинит – Р?
11. В каких случаях рекомендуют применять ОНТ-20?
12. В каких случаях рекомендуют применять керамику марки ВО-13?
13. Что оказывает влияние на работоспособность инструмента из керамики?
14. Какие факторы способствуют широкому применению инструментов из керамических материалов?
15. Почему применение минералокерамических инструментов рационально только на станках повышенной жесткости?
16. В каких случаях можно заменять минералокерамическими инструментами - твердосплавные инструменты?
17. Что относится к преимуществам нитридной минералокерамики?
18. Чем отличается современная дисперсионная минералокерамика на основе Al_2O_3 ?

Раздел 13

13. Сверхтвердые материалы

13.1. Особенности сверхтвердых материалов

Внедрение в производство инструментов из сверхтвердых материалов (СТМ) позволило значительно повысить производительность труда при механической обработке за счет повышения твердости и теплостойкости инструментальных материалов. К СТМ относят в первую очередь природные и синтетические алмазы. Синтетические СТМ получают синтезом из гексагонального нитрида бора, синтезом из вюрциподобной модификации нитрида бора, спеканием из порошков кубического нитрида бора с легирующими добавками. В последние годы в качестве инструментальных материалов находят все более широкое применение синтетический корунд в виде рубина, а также монокристаллы бесцветного корунда - лейкосапфиры. Рубин (ГОСТ 22029-76) представляет собой модификацию α - Al_2O_3 с небольшими примесями хрома, а лейкосапфир (ГОСТ 22028-76) - синтетический монокристалл Al_2O_3 в виде α -- модификации, который почти не содержит примесей. Последний имеет более высокие механические свойства, чем рубин, в силу чего область его применения значительно шире. Лейкосапфир выращивается в виде монокристаллов трех сортов, которые в основном имеют вид полубулей. Рубины и лейкосапфиры применяют для изготовления резцов, шлифовальных кругов и паст. Инструменты, изготовленные из них, рекомендуют использовать для обработки в первую очередь цветных металлов.

СТМ подразделяют на два класса:

- 1) порошкообразные материалы, применяемые для изготовления абразивного инструмента;
- 2) поликристаллические материалы в виде вставок и пластин для оснащения лезвийного режущего инструмента.

Уникальные свойства СТМ сказываются не только на повышении производительности обработки, но и других показателях производства, таких как точность, экономичность, уровень автоматизации, условия труда.

В ряде случаев видоизменяются даже выбор технологического маршрута и порядок назначения режимов резания. Механическая обработка инструментами, оснащенными СТМ, характеризуется четырьмя существенными особенностями, в значительной степени влияющими на технологический процесс в целом.

Первой особенностью является возможность обработки резанием материалов практически любой твердости, включая инструментальные стали (65...67 HRCэ). Это позволяет осуществлять механическую обработку (точение и фрезерование) после ТО, что в свою очередь снижает влияние трудно устранимых термических деформаций на производительность и точность обработки. Конструктор из-за сложности механической обработки и резкого снижения производительности нередко вынужден отказываться от назначения высокопрочных и твердых материалов, например, легированных чугунов. Использование СТМ позволяет преодолеть эти трудности.

Вторая особенность состоит в очень высокой режущей способности СТМ, позволяющей работать на предельных скоростях резания: 5000 м/мин при обработке чугунов и 400...600 м/мин при обработке закаленных конструкционных сталей. При этом стойкость инструмента высокая.

В зависимости от требований к качеству обработанной поверхности, обрабатываемого материала, а также вида и условий обработки в общем случае для инструмента из СТМ допускается износ по задней поверхности до 0,3...0,4 мм, что эквивалентно стойкости 120...180 мин. Работа на высоких скоростях и уменьшенных сечениях среза способствует снижению сил резания в технологической системе и соответственно повышению точности обработки, а также уменьшению износа многих узлов станка и оснастки. Таким образом, применение СТМ при лезвийной обработке позволяет в 10...20 раз повысить скорость резания при 2-4-кратном уменьшении сечения среза.

Третьей особенностью является возможность обеспечения низкой шероховатости обработанной поверхности, что позволяет заменять шлифование операциями точения, растачивания, фрезерования и даже объединять с полустойковой обработкой. При этом припуск на обработку составляет 0...1 мм, а достигаемая

шероховатость поверхности $Ra = 1...0,16$ мкм.

Четвертая особенность особенно важна для автоматизированных производств и заключается в обеспечении высокой точности обработки при длительной непрерывной работе. Повышение точности обработки достигается, как было отмечено выше, благодаря уменьшению деформаций в технологической системе вследствие снижения сил резания и тепловой напряженности процесса, а также благодаря высокой размерной стойкости инструментов из СТМ.

Все более возрастающая способность современных станков многократно воспроизводить циклы и траектории рабочих элементов с высокой точностью и надежностью повышает роль режущих инструментов в обеспечении как точности деталей, так и длительности работы станка без подналадок. Инструмент, оснащенный СТМ, позволяет эффективно решать эти проблемы для ряда основных операций (фрезерование, растачивание). При использовании расточных резцов, вставок и блоков из СТМ в большинстве случаев удастся отказаться от дорогостоящих и недолговечных инструментов, таких как зенкеры и развертки, то есть изменить сами технологические принципы обработки.

13.2 Алмазы и алмазные пасты

Термины и определения основных понятий по алмазам и алмазным инструментам устанавливает ГОСТ 14706-78. Алмаз - кристаллическое вещество, представляющее собой одну из полиморфных модификаций углерода кубической сингонии. Природные алмазы кристаллизировались на большой глубине при огромном давлении земных пород и высокой температуре (2000...2500°C) из расплавленной магмы, содержащей углерод. Последующие геологические процессы приблизили положение алмазов к поверхности земли. В тонне породы содержание алмазов составляет от 0,081 до 0,366 карата (в 1 карате 0,2 грамма). Крупнейший в мире алмаз «Куллинан» массой 3106 карат был найден в 1905 г. в Южной Америке. Природные алмазы содержат небольшое количество (от 0,02 до 4,8 %) примесей окислов алюминия, железа, кальция, кремния, марганца, титана и т.д. В зависимости от количества и состава примеси алмаз может быть бесцветным, а также слабо окрашенным в желтый, голубой, розовый и другие цвета.

В природе алмазы встречаются в виде отдельных монокристаллов, их обломков и сросшихся кристалликов - агрегатов. Кристаллическая решетка алмаза кубическая. Она содержит 18 атомов, из которых 8 расположены в вершинах куба, 6 - в центрах его граней и 4 - в центрах 4 из 8 кубов, образованных делением элементарной кубической ячейки тремя взаимно перпендикулярными плоскостями. Каждый атом решетки связан электронами с 4 соседними атомами. Силы связи образуют между собой углы, равные $109^{\circ}28'$. Кристалл алмаза является анизотропным - его прочность и твердость в различных направлениях неодинакова. Поэтому шлифуемость алмаза легче в направлении, параллельном граням кристалла. Атомы углерода в алмазе обладают чрезвычайно прочными ковалентными связями, что обеспечивает его уникальные свойства. Алмаз - самый твердый в мире минерал, устойчивый физическим и химическим агентам. Твердость алмаза зависит от кристаллического строения - наибольшую твердость имеет атомная решетка углерода в виде октаэдра, затем ромбододекаэдра, а наименьшую - куба. Модуль упругости алмаза самый высокий из известных в природе веществ (в 1,5 раза выше, чем у твердых сплавов, и в 2,5 раза выше, чем у карбида кремния). Наряду с этим алмаз обладает значительной хрупкостью из-за наличия плоскостей спайности в кристаллах, небольшого сопротивления при изгибе и вибрационных нагрузках.

Алмаз весьма устойчив к воздействию различных кислот. Он не растворяется в плавиковой, серной, азотной и соляной кислотах. При определенных условиях алмаз может растворяться в расплавах щелочей, натриевой и калиевой селитрах, соде.

Алмаз способен к адгезии с другими материалами. Сила адгезии зависит от температуры в контакте. При высокой температуре алмаз способен к активному диффузионному воздействию с некоторыми металлами, в особенности с железом и сталями. При температуре ниже 900°C диффузия углерода из алмаза в сталь малозаметна, так как растворимость его в α - железе не превышает 0,04%. При температуре выше точки фазового α - γ - превращения растворимость углерода резко возрастает.

Теплостойкость алмаза сравнительно невысокая. В неокисляющей атмосфере (водород, азот) алмаз можно нагревать до температуры 1000°C без изменения его свойств. В среде кислорода заметное окисление начинается при температуре 700°C. Интенсивность окисления зависит от величины относительной свободной поверхности. Мелкие зерна и зерна с дефектами сгорают быстрее. Теплопроводность алмаза на порядок выше теплопроводности других абразивных и инструментальных материалов, а коэффициент линейного расширения в 5... 10 раз меньше. Алмаз обладает чрезвычайно высокой износостойкостью: при трении по закаленной стали в 200 раз выше, чем у обычных абразивов, и в 5000 выше, чем у твердых сплавов.

Алмазы подразделяют на ювелирные и технические. Ювелирные алмазы (применяемые для изготовления ювелирных изделий) являются наиболее высококачественными и составляют примерно 20 % из всех природных алмазов. Остальные используют для технических целей. Технические алмазы разделяют на бортсы (0,25... 1 карат), балласы (1,25...2 карат) и карбонадо (1,25...3 карат). В промышленности широко применяют баллас-шаровидные поликристаллы, большей частью мелкозернистого строения, и карбонадо-тонкозернистые и плотные кристаллы, имеющие острые ребра. Стоимость природных алмазов высокая - от 2 до 50 долларов за карат в зависимости от сорта.

Учитывая дороговизну природных алмазов, а также их дефицит, для технического использования в 1960 г. в СССР был в лабораторных условиях синтезирован алмаз, а с 1961 г. начато промышленное производство. Производство синтетических алмазов из графита осуществляют при давлении 100000 атм. и температуре 2000°C. При этом углерод из гексагональной структуры графита кристаллизуется в более плотную кубическую структурную решетку. В настоящее время используют новую технологию производства синтетических алмазов - на пластины графита, помещенные в вакуум, направляют струю аргона. При этом отпадает необходимость в высоких давлениях и температурах.

Синтетический алмаз имеет те же химические и физико-механические свойства, что и природный, но они колеблются в более широких пределах. По сравнению с природными алмазами синтетические могут иметь более шероховатую

поверхность с выступами, углублениями и большим числом микрокромки на одном зерне. Зерна синтетических алмазов имеют меньшие углы заострения и радиусы скругления вершин, что обеспечивает их более высокую режущую способность. Поликристаллические синтетические алмазы из-за хаотичной ориентации спеченных зерен обладают изотропными свойствами, что значительно повышает их механические свойства.

Все синтетические и 70...80 % природных алмазов подвергают дроблению для получения алмазных порошков. Около 80 % алмазных порошков используют--в связанном состоянии для изготовления различных алмазно-абразивных инструментов - шлифовальных кругов, брусков, притиров и др. Остальные 20 % применяют в свободном состоянии в виде алмазных порошков и паст для доводки и полирования. Поликристаллы, монокристаллы или их осколки размером менее 2 мм называют алмазным зерном. Совокупность алмазных зерен образует алмазный порошок.

Наиболее эффективно алмазные инструменты применяют при обработке твердых хрупких материалов - твердых сплавов, полупроводников (кремния, германия), драгоценных камней, керамики, стекла и т.д. Твердосплавные инструменты, заточенные алмазными кругами, имеют повышенную в 2...3 раза стойкость и обеспечивают меньшую шероховатость обработанной поверхности на 1-2 класса. Алмазные инструменты нельзя применять для шлифования, сталей, так как при этом развивается высокая контактная температура 800...1000°C.

Алмазные порошки в зависимости от размера зерен и метода их получения делят на группы (ГОСТ 9206-80):

- 1) шлифпорошки (размер зерен от 3000 до 40 мкм); 46
- 2) микропорошки (размер зерен от 80 до 1 мкм и мельче);
- 3) субмикропорошки (размер зерен от 1 до 0,1 мкм и мельче).

Размер зерен каждой фракции алмазных шлифпорошков определяют номинальными размерами сторон ячеек в свету двух контрольных сит в микрометрах, причем через верхнее сито зерна должны проходить, а на нижнем - задерживаться. Размер зерен алмазных микропорошков и субмикропорошков опре-

деляют полусуммой длины и ширины прямоугольника, условно описанного вокруг проекции зерна таким образом, чтобы большая сторона прямоугольника соответствовала наибольшей длине проекции зерна. Алмазные порошки в зависимости от вида сырья, из которого они изготовлены, обозначают:

А - шлифпорошки из природных алмазов;

АС - шлифпорошки из синтетических алмазов;

АР - шлифпорошки из синтетических поликристаллических алмазов;

АМ - микро- и субмикрпорошки из природных алмазов;

АСМ - микро- и субмикрпорошки из синтетических алмазов.

К буквенному обозначению шлифпорошков из синтетических поликристаллических алмазов добавляют буквенный индекс, обозначающий тип алмаза: **В** - баллас, **К** - карбонадо, **С** - спеки. При обозначении микрпорошков из природных и синтетических алмазов повышенной абразивной способности индекс М должен быть заменен на Н (АН, АСН). Марки алмазных порошков, характеристики и область их применения представлены в табл. 13.1.

Марки алмазных порошков. Таблица 13.1

Марка порошка	Характеристика	Область применения
1	2	3
Шлифпорошки		
А1	из природных алмазов, получаемые дроблением, содержащие не менее 10 % зерен изометрической формы*	изготовление инструментов на металлических связках при обработке технического стекла, керамики
А2	из природных алмазов, получаемые дроблением, содержащие не менее 20 % зерен изометрической формы	изготовление инструментов на металлических связках при обработке технического стекла, керамики, камня, бетона
А3	то же, содержащие не менее 30 % зерен изометрической формы	
А5	из природных алмазов, получаемые дроблением, содержащие не менее 50 % зерен изометрической формы	изготовление шлифовальных кругов на металлических связках, в том числе гальваническим методом, для обработки твердой керамики, прочных бетонов, твердых пород камня
А6	из природных алмазов, получаемые дроблением, содержащие не менее 80 % зерен изометрической формы	изготовление правящего, бурового инструментов, инструментов для камнеобработки и стройиндустрии

Продолжение Таблица 13.1

1	2	3
Шлифпорошки		
АС2	из синтетических алмазов повышенной хрупкости, зерна которых представлены агрегатами с развитой по-	изготовление инструментов на органических связках, применяемых на чистовых и доводочных операциях при обработке твердого сплава
АС4	то же, зерна которых представлены агрегатами и сrostками	
АС6	из синтетических алмазов, зерна которых представлены, в основном, несовершенными кристаллами, их обломками и сrostками	изготовление инструментов на органических, металлических, керамических связках, применяемых при обработке твердого сплава, керамики, стекла и других твердых хрупких материалов
АС15	то же, зерна которых представлены, в основном, обломками, сrostками, агрегатами и отдельными целыми кристаллами	
АС20	то же, зерна которых представлены, в основном, несовершенными кристаллами, их обломками и сrostками	
АС32	из синтетических алмазов, зерна которых представлены совершенными кристаллами (не менее 12 %), обломками кристаллов, сrostками и агрегатами (не более 15 %)	изготовление инструментов на металлических связках, применяемых для шлифования камня, резания мягких горных пород, обработки стекла, рубина, лейкосапфира, ситалла, корунда, черного хонингования
АС50	то же, зерна которых представлены совершенными кристаллами (не менее 30 %), обломками кристаллов, сrostками и агрегатами (не более 10 %)	
АС65	из синтетических алмазов, зерна которых представлены совершенными кристаллами (не менее 35 %), обломками кристаллов, сrostками и агрегатами (не более 5 %) с коэффициентом формы не более 1,25	изготовление инструментов на металлических связках, применяемых при обработке стройматериалов, горных пород средней твердости, керамики, стекла, природного камня, бетона, в буровом инструменте, сверлах
АС80	то же, зерна которых представлены совершенными кристаллами (не менее 45 %), обломками кристаллов, сrostками и агрегатами (не более 12%) с коэффициентом формы не более 1,20	
АС100	из синтетических алмазов, зерна которых представлены совершенными кристаллами (не менее 55%), обломками кристаллов, сrostками и агрегатами (не более 8%) с коэффициентом	
АС 125	то же, зерна которых представлены совершенными кристаллами (не менее 70 %), обломками кристаллов, сrostками и агрегатами (не более 6 %) с коэффициентом формы не более 1,15	изготовление инструментов на металлических связках, применяемых для резки, сверления природного камня, бетона, стекла, керамики, правки шлифовальных кругов, обработки огнеупоров в буровом инструменте

Продолжение Таблица 13.1

1	2	3
АС 160	из синтетических алмазов, зерна которых представлены совершенными кристаллами (не менее 85 %), обломками кристаллов, сростками и агрегатами (не более 4 %) с коэффициентом формы не более 1,15	изготовление инструментов на металлических связках, применяемых для резки, сверления природного камня, бетона, стекла, керамики, правки шлифовальных кругов, в буровом инструменте
АРВ1	из синтетических поликристаллических алмазов типа «баллас»	изготовление инструментов на металлических связках, применяемых для черного хонингования чугунов, резки и шлифования
АРК4	из синтетических поликристаллических алмазов типа «карбонадо»	изготовление инструментов на низкотемпературных металлических связках, применяемых при резке и обработке камня низкой и средней твердости, огнеупоров
АРС3	из синтетических поликристаллических алмазов типа «спеки»	изготовление инструментов на металлических связках, применяемых при обработке природного камня, правке шлифовальных кру-
Микропорошки		
АМ	из природных алмазов нормальной абразивной способности	доводка и полирование деталей машин и приборов из закаленных сталей, сплавов, керамики, стекла, полупроводников
АСМ	из синтетических алмазов нормальной абразивной способности	
АН	из природных алмазов с повышенным содержанием основной фракции и повышенной абразивной способностью	доводка и полирование твердых и сверхтвердых трудно обрабатываемых материалов, корунда, керамики, алмазов, драгоценных камней
АСН	из синтетических алмазов с повышенным содержанием основной фракции и повышенной абразивной способностью	
Субмикропорошки		
АМ5	из природных алмазов с содержанием крупной фракции до 5 %	сверхтонкая доводка и полирование поверхностей изделий при обработке полупроводниковых материалов
АСМ5	из синтетических алмазов с содержанием крупной фракции до 5 %	
АМ1	из природных алмазов с содержанием крупной фракции до 1 %	
АСМ1	из синтетических алмазов с содержанием крупной фракции до 1%	

* *Изометрическое алмазное зерно* - алмазное зерно, размеры которого в проекции в трех взаимно перпендикулярных направлениях близки к отношению 1:1:1 с допустимым увеличением одного или двух размеров в 1,3 раза

Алмазные пасты применяют для притирки, доводки и полирования деталей из твердых сплавов, сталей и неметаллических материалов. Пасты изготавливают из природных и синтетических алмазов. По консистенции они бывают твердые и мазеобразные. В зависимости от природы обрабатываемого материала применяют пасты на жировой, водоразбавляемой и универсальной основах, то есть на основе поверхности о-активных веществ. Связующими веществами в мазеобразных пастах являются оливковое масло и стеарин. Пасты могут быть нормальной, повышенной и высокой концентрации. Алмазные пасты обозначают: АМ 14/10 ПМ - алмазная, микропорошки, зернистость, повышенная концентрация, мазеобразная. В таблице 13.2 показаны характеристики паст из алмазов.

Алмазные пасты.

Таблица 13.2

Зернистость	Содержание алмаза по массе, %			Название	Окраска упаковки
	Н	П	В		
63/50; 50/40; 40/28	8	20	40	крупная	красная
28/20; 20/14; 14/10	6	15	30	средняя	зеленая
10/7; 7/5; 5/3	4	10	20	мелкая	голубая
3/2; 2/1; 1/0	2	5	10	тонкая	желтая

Мазеобразные пасты упаковывают в тубы по 5, 10, 20, 40, 80 г, а твердые - в футляры той же развески, которые окрашивают в указанный цвет. Сами пасты обычно имеют светлый цвет. По их потемнению во время работы судят о съеме металла и о времени прекращения доводки. При выборе пасты следует учитывать твердость обрабатываемого материала. Концентрация пасты должна быть тем выше, чем выше твердость обрабатываемого материала, а зернистость тем мельче, чем ниже шероховатость обработанной поверхности. Применение алмазных паст увеличивает производительность в 2...5 раз по сравнению с абразивными пастами и позволяет получить шероховатость поверхности до 12-14-го классов.

13.3 Синтетические сверхтвердые материалы для лезвийных инструментов

Сверхтвердые поликристаллические инструментальные материалы подразделяют на три группы:

- 1) материалы на основе углерода (баллас, карбона до, СВ, СВС и др.);
- 2) материалы на основе кубического или вюрциподобного нитрида бора (эльбор-Р (композит 01), белбор (композит 02), исмит (композит 03), КНБ (композит 05), ПНТБ (композит 09), гексанит-Р (композит 10) и др.);
- 3) композиционные материалы (двухслойные материалы ДАП, СВАБ и др.).

Каждый из указанных видов СТМ имеет свою область применения и не конкурирует с другими. Некоторые физико-механические свойства данных материалов приведены в табл. 13.3.

1) Сверхтвердые поликристаллы на основе углерода.

Эти материалы особенно эффективны при одно- и многолезвийном резании (точении, сверлении, фрезеровании) высокоабразивных пластмасс, цветных сплавов, при выглаживании практически всех черных металлов и сплавов, а также при волочении. СТМ на основе углерода химически активны к черным металлам. В настоящее время промышленность выпускает синтетические поликристаллические алмазы типа «баллас» (АСБ) и «карбонадо» (АС-ПК).

Поликристаллические алмазы типа АСБ состоят из крупных кристаллов (до 100 мкм) шаровидной формы и радиально-лучистой структуры и имеют теплоустойчивость на воздухе 700...800°C. Размер синтезируемых заготовок по диаметру достигает до 6 мм. Алмазы типа АСПК обладают более равномерной структурой и большей изотропностью свойств. Заготовки имеют форму цилиндра диаметром 2,0...4,5 мм и высотой 3...5 мм, термостойкость их несколько выше - 900°C.

В настоящее время режущие элементы из СТМ на основе углерода выпускают сферической, полусферической и цилиндрической форм. Алмазы типов АСБ и АСГЖ используют для оснащения резцов и фрез. Режущие элементы к сборным резцам изготавливают 20 типоразмеров различного диаметра, высоты и длины с определенными углами заточки. Резцы с такими вставками обеспечи-

вают высокую размерную стойкость и качество обработанной поверхности, что способствует повышению надежности и долговечности изготавливаемых деталей. Стойкость СТМ на основе углерода в 6... 10 раз превосходит стойкость твердосплавных резцов.

Физико-механические свойства поликристаллических СТМ. Таблица 13.3

Марка материала	Плотность, г/см ³	Предел прочности МПа		Теплостойкость °С
		при сжатии	при изгибе	
Алмаз (природный)	3,47...8,56	2000	210...490	700...800
Баллас (АСБ)	3,48...3,52	200...400	500...1000	700...800
Карбонадо (АСПК)	3,48...3,52	400... 800	500... 1000	900
Эльбор-Р (композит 01)	3,45...3,54	2000...3000	250...300	1200...1400
Белбор (композит 02)	3,45	4000...6500	700...800	1000...1100
Исмит (композит 03)	-----	1800...2200	250...300	1200...1400
КНБ (композит 05)	3,45	2000...3000	250...300	1400...1500
ПНТБ (композит 09)	3,35...3,45	1500...2000	500...700	1400...1500
Гексанит (композит 01)	3,28...3,36	2000...4000	1000...1200	800...900

2) *Сверхтвердые поликристаллы на основе нитрида бора.*

В отличие от СТМ на основе углерода, материалы на основе нитрида бора к черным металлам химически инертны. Поэтому поликристаллы на основе нитрида бора наилучшим образом проявляют себя при обработке закаленных сталей, обычных и высокопрочных чугунов, твердых сплавов,

Гамма СТМ этой группы объединена под общим торговым названием «композит». Они имеют удовлетворительные физико-механические свойства и исключительно высокую теплостойкость 900...1200°С. В настоящее время широко применяют композит 01 (эльбор-Р), композит 05 (КНБ), композит 10 (гексанит-Р). Применяют также композит 02 (белбор), композит 03 (исмит), композит 09 (ПНТБ).

Эльбор-Р предназначен для точной и чистовой обработки закаленных сталей с твердостью $HRC_{\text{э}} < 67$, чугунов и цветных металлов при безударном характере резания. Заготовки композита 01 выполняют в форме цилиндра диаметром и высотой 3...4,5 мм и массой 0,8 карата.

КНБ применяют для непрерывного точения закаленных сталей 56.. .59 HRCэ и чугунов $HB \leq 300$. Преимущество композита 05 перед 01 состоит в том, что можно снимать большие припуски за один рабочий ход. Однако твердость композита 05 меньше твердости композита 01. Заготовки из композита 05 имеют диаметр до 8 мм и высоту до 6 мм, массу 4 карата.

Гексанит-Р - материал, созданный на основе вюрциподобного нитрида бора. Заготовки имеют цилиндрическую форму диаметром 3..Д5 мм и высотой 2...5 мм массой до 5 карат. Композит 10 обладает меньшей твердостью по сравнению с композитом 01, но большей прочностью. Рекомендуется применять для получистовой и чистовой обработки закаленных (до 60...64 HRCэ) углеродистых, высоколегированных и жаропрочных сталей при прерывистом резании.

Белбор по твердости сравним с алмазом, но превосходит его по теплостойкости и химически инертен к железу. Эффективно используется при обработке закаленных сталей, чугунов и высокопрочных сплавов точением и фрезерованием.

Исмит выпускают трех марок: исмит-1, исмит-2 и исмит-3. Режущие элементы из исмита изготавливают как в виде цилиндров, так и других форм (например, призм). Используют исмит для оснащения резцов и фрез, предназначенных для скоростной обработки закаленных сталей, чугунов, специальных сплавов, в ряде случаев - твердых сплавов группы ВК.

ПНТБ по форме, размерам и эксплуатационным свойствам близок к эльбору-Р. Свойства композита 09 позволяют вести обработку не только закаленных сталей, но и материалов после цементации и азотирования, металлокерамики, твердых сплавов. Резцы и резцовые вставки, оснащенные СТМ, изготавливают в зависимости от размеров и назначения паяной или сборной конструкции. Методы крепления режущих элементов связаны с типом инструмента. Для сборных инструментов предусмотрено механическое крепление режущих элементов в виде многогранных или круглых пластин. В сборных конструкциях режущий элемент композита представляет собой полностью шлифованный многогранник, который устанавливают и закрепляют в державке при помощи адаптера, определяющего положение режущих кромок, и прижимного устройства. Также с успехом применяют инструменты, у которых режущий элемент из композита

закреплен методом пайки или опрессовки. Разработаны методы металлизации композитов, поэтому процесс пайки не вызывает каких-либо трудностей. В настоящее время освоены также шлифование и заточка режущих элементов из композита алмазными кругами

3) Двухслойные композиционные материалы.

Особенностью этой группы материалов является то, что СТМ на основе углерода или нитрида бора наносят на подложку, изготовленную из твердого сплава или другого материала, имеющего резко отличающиеся физико-механические свойства. Двухслойные материалы получают методом спекания порошков СТМ при высоких температурах и давлениях, в результате чего образуется слой поликристаллического материала, прочно соединенного с материалом подложки.

Режущие элементы из двухслойных композиционных материалов (ДСКМ) имеют ряд важных преимуществ:

- подложка, прочно соединенная с рабочим слоем из СТМ, придает ДСКМ повышенную прочность;
- за счет малой толщины слоя СТМ (0,5... 2мм) снижается стоимость;
- упрощается крепление в корпусе державки и за счет этого возрастает доля инструментов с механическим креплением режущих элементов;
- большая размерная стойкость и точность обработки;
- возможность использования на станках-автоматах и автоматических линиях.

Двухслойные композиционные материалы подразделяют на две подгруппы:

1) с рабочим слоем на основе алмаза (ДАП - материал подложки ковар, СВБН - материал подложки твердый сплав, диамет - материал подложки твердый сплав на основе карбида хрома);

2) с рабочим слоем на основе нитрида бора (СВНБ - материал подложки твердый сплав, ДПГ - материал подложки твердый сплав на основе карбидов титана, ИТ-2С - материал подложки твердый сплав на основе хрома и бориды циркония).

Область применения этих инструментальных материалов соответствует области применения СТМ на основе углерода или нитрида бора. Инструменты с

режущими пластинами из ДСКМ на основе алмаз имеют большую размерную стойкость по сравнению с резцами из карбонадо и балласа, а следовательно и большую точность обработки. Алмазоносный слой толщиной 0,5... 1,5 мм облегчает переточку режущих кромок после затупления. Пластины ДПГ имеют рабочий слой из композита 10, который хорошо зарекомендовал себя при обработке закаленных сталей и чугунов и ударными нагрузками. Стойкость режущих пластин из ДПГ выше стойкости резцов из гексанита-Р и в 2...3 раза превышает стойкость инструмента из ГГГНБ при точении закаленной стали ШХ15 (62...63 HRCэ). Пластин ДПГ выпускают круглой, трехгранной, квадратной и шестигранной форм. Размеры диаметра вписанной окружности 4,5...11 мм, толщина 3...4 мм. Пластины выпускают 25 размеров для резцов, фрез и других инструментов с методами крепления пайкой, клейкой и механическим креплением. Аналогично пластинам ДПГ, двухслойные пластины ИТ-2С имеют рабочий слой, по составу и свойствам близкий к композиту 05. Подложка представляет собой материал из смеси порошков переходных металлов (C_2, Zr, Ti, Ta и др.) и диборидов переходных металлов ($CrB_2, ZrB_2, TiB_2, TaB_2$ и др.) с размерами частиц 0,1...1,0 мкм.

13.4 Применение лезвийных инструментов из СТМ.

Лезвийные инструменты из сверхтвердых инструментальных материалов наиболее эффективно применяют при выполнении следующих операций:

- 1) растачивание отверстий диаметром 6...30 мм в деталях типа плит, шаблонов, кондукторов, втулок, калибров-колец из закаленной стали и чугуна;
- 2) растачивание отверстий с одновременным подрезанием торцов в деталях пресс-форм, роликов, долбяков из закаленных сталей, чугунов и твердых сплавов;
- 3) точение многоступенчатых деталей (типа шпинделей) с одновременной подрезкой торца и снятием фаски;
- 4) обработка деталей из высокопрочных сталей, работающих в тяжелых условиях при значительных знакопеременных нагрузках;
- 5) предварительная обработка деталей из закаленных сталей и твердых сплавов, когда требуется снятие значительного припуска;

б) прецизионная обработка (точение, растачивание, подрезка торцов) деталей из чугунов различной различной твёрдости;

7) чистовое и тонкое фрезерование плоскостей деталей из закаленных сталей и чугунов на фрезерных и расточных станках;

8) фрезерование деталей из закаленной стали и чугуна значительной длины;

9) фрезерование плоскостей комбинированных деталей, собранных из элементов высокой твердости;

10) обработка деталей из закаленной стали и чугуна на токарных, расточных и фрезерных станках с ЧПУ;

11) получистовое и чистовое зубофрезерование закаленных зубчатых колес взамен зубошлифования.

Ориентировочные режимы резания инструментами, оснащенными поликристаллическими СТМ, для некоторых групп материалов без учета требований к точности обработки приведены в табл. 13.4. Лезвийные инструменты из СТМ рекомендуют применять взамен абразивных, алмазных и эльборовых кругов.

Применение инструментов из СТМ позволяет:

- снизить шероховатость обработанной поверхности до $Ra = 0,08$ мкм и достичь точности обработки 5,6-го квалитетов;

- устранить структурные изменения в поверхностных слоях обрабатываемых материалов;

- изменить традиционный технологический процесс изготовления деталей из закаленных сталей (построить его по схеме: прецизионные заготовительные операции - термообработка - финишная обработка);

- повысить производительность в 2...5 раз по сравнению со шлифованием;

- заменить дорогостоящие твердые сплавы на операциях чистового и получистового точения.

Так, например, при точении закаленных быстрорежущих сталей твердостью 62...65 HRCэ стойкость резцов из эльбора-Р при $V = 80... 100$ м/мин выше стойкости резцов из твердого сплава Т30К4 в 20...30 раз, а из режущей керамики в 3...4 раза.

Режимы резания инструментами из

поликристаллических СТМ.

Таблица 13.4

Материал		Режимы резания			Шероховатость, мкм	Вид обработки
обрабатываемый	инструментальный	t, мм	S, мм/об	V, м/мин		
АЛ2, АЛ9	Карбонадо	0,1-0,2	0,02-0,03	500-700	0,32-0,16	точение
Титановые сплавы		0,05-0,1	0,02-0,04	80-100	0,63-0,32	
Стеклопластики		0,5-0,6	0,04-0,05	0-500	0,63-0,32	
Медные сплавы		0,1-0,2	0,01-0,05	300-400	0,32-0,16	
Стали ($HRC_{\text{э}} \geq 45$)	КНБ	0,2-0,8	0,08-0,16	80-100	1,25-0,32	точение, фрезерование
ХВГ (62 $HRC_{\text{э}}$)	Гексаниг - Р	0,1-0,5	0,02-0,20	50-150	0,63-0,32	
30ХГСА (47 $HRC_{\text{э}}$)		0,1-0,5	0,02-0,10	75-300	0,63-0,32	
СЧ21 ($HB 200$)		0,1-0,8		150-300	2,5-0,63	
ВК20 ($HRA84$)		0,05-0,15		25-30	0,63-0,16	
ХВГ (62 $HRC_{\text{э}}$)	бел-бор	0,02-0,75		0,02-0,12	60-100	1,25-0,32
СЧ21 (до 200HB)		0,05-0,2	0,04-0,10	350-600	2,5-1,25	
Закаленная сталь (55-65 $HRC_{\text{э}}$)	эльбор -Р	0,05-0,6	0,02-0,16	60-160	0,63-0,08	точение
Чугун ($HB 200-600$)		0,05-0,8	0,04-0,10	350-600	1,25-0,63	
Закален.сталь (50-65 $HRC_{\text{э}}$)		0,05-0,2	2,0	20-60	0,63-0,32	резьбонарезание
Закален.сталь (58-65 $HRC_{\text{э}}$)		0,2-0,6	0,04-0,08	60-100	2,5-1,25	зенкерование
Чугун ($HB 200-600$)		0,2-1,0	0,04-0,10	200-300	3,0-1,25	
Закален, сталь (58-65 $HRC_{\text{э}}$)		0,1-0,4	25-80*	80-160	1,25-0,32	торцовое фрезерование
Чугун ($HB 200-600$)		0,1-0,6	25-160*	200- 600	2,5-0,63	

* Значения даны в мм/мин.

13.5 Абразивные материалы

Абразивным материалом называют вещества природного или синтетического происхождения, содержащие минералы высокой твердости, зерна и порошки которых способны обрабатывать поверхности других твердых тел путем царапания, скобления или истирания. Их применяют для изготовления шлифоваль-

ных и заточных кругов, головок, брусков, хонов, а также доводочных и полировальных порошков и паст.

Природными абразивными материалами, имеющими промышленное значение, являются корунд, наждак, гранат, кремьень, кварц. Искусственные абразивные материалы: карбид бора, карбид кремния, электрокорунд, техническое стекло и др. Искусственные абразивные материалы обладают большей стабильностью физико-механических свойств, чем природные, поэтому в настоящее время практически вытеснили последних.

Главным качественным показателем абразивных материалов является их абразивная способность, которая характеризуется массой материала, снимаемого при шлифовании до затупления зерен. По абразивной способности не алмазные материалы располагают в следующем порядке по убыванию: карбид кремния, монокорунд, электрокорунд, наждак, кремьень. Качество абразивных материалов снижается при наличии в них значительного числа примесей. Сведения об основных физико-механических свойствах природных и искусственных абразивных материалов приведены в табл. 13.5.

Корунд – горная порода, состоящая в основном из кристаллической окиси алюминия Al_2O_3 химический связанных с небольшой примесью кварца и других минералов, с окисью алюминия. Количество и состав примесей определяют цвет корунда: красный, бурый, желтый, синий, серый, белый. Твёрдость корунда по шкале Мооса – 9,0.

Наждак - мелкозернистая горная порода, состоящая в основном из корунда, магнетита, гематита и кварца в различных соотношениях.

Цвет наждака: - черный; - красновато-черный; - серо-черный.

Из наждака изготавливают шлифзерно для производства мельничных жерновов, а также для шлифования свободным абразивом.

Гранат - минерал, представляющий собой соединение алюминия, железа, хрома, кальция, магния, марганца с кремнекислотой. К гранатам относят большую группу сложных силикатов, кристаллизующихся в кубической сингонии. В зависимости от примесей гранат бывает следующего цвета: темно-красный

(пироп), красный (амальдин), оранжево-желтый (спессартин), медно-желтый (гроссуляр), буро-красный, черный (андрадит), изумрудно-зеленый (уваровит).

В качестве абразивных материалов используют гранаты, представляющие собой изоморфные смеси амальдина, пироба, спессартина и других разновидностей. Из них получают шлифзерно и шлифпорошки. Шлифзерно используют для изготовления шлифовальной шкурки для обработки дерева, пластмассы, кожи. Порошки граната применяют в свободном виде для обработки стекла.

Физико-механические свойства абразивных материалов. Таблица 13.5

Абразивный материал	Микротвердость, МПа	Теплостойкость, °С	Абразивная способность
Карбид бора	400...450	700...800	0,50
Карбид кремния зеленый	330...360	1300...1400	0,45
черный	330...360	1300...1400	0,40
Электрокорунд нормальный	190...200	1700...1800	0,15
белый хромистый	200...210	1700...1800	0,160,10
титанистый	200...220	1700...1800	0,11
циркониевый	220...230	1700...1800	----
монокорунд	230...240	1900...2000	0,15
	230...240	1700...1800	----
Техническое стекло	40...90	500...600	---
Корунд	190...220	1700...1800	0,14
Наждак	190...220	1700...1800	0,11
Гранат	130...165	1200...1250	0,10
Кремень	100...110	1500...1600	0,05
Алмаз (синтетический и природный)	800...1000	700...850	1,00

Кремень - однородная плотная горная порода, состоящая из кремнезема (халцедона) скрытокристаллической структуры и микроскопических зерен кварца с примесью карбонатов глинистых веществ и органических остатков.

В природе кремень встречается в виде массивных горных пород и гальки. Цвет его меняется от светло-серого до черного, иногда с буровато-желтыми оттенками. Для производства шлифматериалов используют кремень, содержащий не менее 96 % SiO_2 и не более 1 % CaO . Кремень применяют в виде зерна и порошков при изготовлении шлифовальной шкурки для обработки кожи, эбонита, дерева.

Карбид бора - абразивный материал, получаемый восстановлением в электрической печи борного ангидрида (технической борной кислоты) углеродом

(нефтяным коксом). Продуктом синтеза является материал $B_4C(B_{12}C_{13})$ состоящий из кристаллического карбида бора и небольшого количества примесей бора, графита и других элементов. Содержание B_4C в шлифовальных материалах не превышает 93 %. Куски карбида бора представляют собой плотную мелкокристаллическую частично сплавленную массу серовато-черного цвета. Имея твердость по шкале Мооса 9,32, карбид бора весьма хрупок. Применяют в виде порошков и паст главным образом для доводки вольфрамового и вольфрамотитанового твердосплавного инструмента.

Карбид кремния - абразивный материал, представляющий собой химическое соединение кремния с углеродом SiC . Выпускают марок 52С, 53С, 54С, 55С (черный) и 62С, 63С, 64С (зеленый). Получают карбид кремния в электрических печах сопротивления силицированием частиц углерода парами кремниевой кислоты. Сырьем служат минералы, богатые кремнеземом - жильный кварц, кварцевые пески, кварциты, углеродистые материалы (нефтяной кокс, антрацит). Для улучшения хода реакции к шихте добавляют некоторое количество опилок, а при производстве зеленого карбида кремния - поваренную соль. Карбид кремния образуется при температуре 1800...2100°C,

Карбид кремния вследствие свойств его кристаллической решетки имеет высокую твердость (9,1 по Моосу) и хрупкость. Химически чистый карбид кремния бесцветен и прозрачен. Для абразивной обработки промышленность производит два вида карбида кремния: зеленый и черный. По химическому составу и физическим свойствам они отличаются незначительно, однако зеленый карбид кремния содержит меньше примесей, имеет несколько повышенную хрупкость и большую абразивную способность. Из карбида кремния получают шлифзерно, шлиф- и микропорошки для изготовления абразивного инструмента на твердой и гибкой основе, а также паст. Абразивный инструмент из зеленого карбида кремния используют для тонкого шлифования режущего инструмента, керамики, камня и для правки шлифовальных кругов. Инструмент из черного карбида кремния идет на шлифование твердых сплавов, чугуна, цветных металлов, стекла, пластмасс, кожи и резины.

Электрокорунд - абразивный материал, состоящий из корунда и небольшого количества примесей. Промышленность производит несколько разновидностей электрокорунда: нормальный, белый, хромистый, титанистый, циркониевый, монокорунд, сферокорунд и некоторые другие.

Нормальный электрокорунд (марки 12А...16А) содержит 92...95% корунда Al_2O_3 и небольшое количество шлака и ферросплава. В зависимости от состава и количества примесей меняются структура, свойства и цвет (от светлого до темно-коричневого). Нормальный электрокорунд получают в дуговых печах восстановительной плавкой шихты, состоящей из высокосортного боксита, малозольного углеродистого материала и железной стружки. Высокая твердость и механическая прочность зерен нормального электрокорунда обеспечивают широкое применение его при шлифовании металлов. Из нормального электрокорунда получают шлифзерна, шлиф- и микропорошки, которые используют для изготовления разнообразных инструментов.

Белый электрокорунд (марки 22А...25А) состоит из 98...99% корунда и небольшого количества примесей в виде высокоглиноземного алюмината натрия и других минералов. Белый электрокорунд получают расплавлением глинозема (чистой окиси алюминия) в дуговой печи. По химическому и физическому составам белый электрокорунд более однороден, чем нормальный. Зерна его обладают высокой твердостью, прочностью и имеют острые кромки. Из белого электрокорунда получают шлифзерно, шлиф- и микропорошки в широком диапазоне крупностей, которые применяют для изготовления абразивного инструмента на различных связках, а также шлифовальной шкурки.

Хромистый электрокорунд (марки 32А...34А) - абразивный материал, получаемый в дуговой печи плавкой глинозема с добавкой окиси хрома (до 2 %), по цвету он напоминает рубин. Наличие в корунде твердого раствора хрома повышает механическую прочность и абразивную способность зерна по сравнению с белым корундом. Абразивный инструмент из хромистого электрокорунда обеспечивает повышение производительности при шлифовании конструкционных и углеродистых сталей на интенсивных режимах резания. Хромистый электрокорунд выпускают в виде шлифзерна и шлифпорошков, применяемых для произ-

водства абразивного инструмента на различных связках, а также шлифовальной шкурки.

Титанистый электрокорунд (марка 37А) - абразивный материал, представляющий собой соединение окиси алюминия с окисью титана ($Al_2O_3 + TiO_2$). Он отличается от нормального электрокорунда большей вязкостью, в нем отсутствуют ферросплав и ряд вредных примесей. Титанистый электрокорунд выпускают в виде шлифзерна и шлифпорошков, предназначенных для изготовления абразивного инструмента, применяемого при обработке углеродистых, конструкционных и других закаленных и незакаленных сталей.

Циркониевый электрокорунд (марка 38А) представляет собой абразивный материал, получаемый в электрической дуговой печи при плавке шихты, в состав которой входит глинозем, циркониевый концентрат с содержанием до 60 % ZrO_2 или чистая двуокись циркония. Зерно из циркониевого электрокорунда применяют в основном при изготовлении кругов для обдирочного шлифования и шлифования с высокими скоростями.

Монокорунд (марки 43 А.. 45 А) - абразивный материал, получаемый в электродуговых печах сплавлением боксита с сернистым железом и восстановителем. В результате плавки образуется блок, состоящий из окисьюсульфидного шлака - зерна корунда, сцементированного сульфидами алюминия, кальция, титана. При выщелачивании шлака материал распадается на мелкие монокристаллические частицы, которые подвергаются обогащению и прокалке. Зерна монокорунда имеют изометрическую форму, высокую механическую прочность и насыпную массу (масса порошка данной зернистости в единице объема). Монокорунд выпускают в виде шлифзерна и шлифпорошков, которые идут на изготовление абразивного инструмента для шлифования труднообрабатываемых легированных сталей и сплавов.

Сферокорунд - абразивный материал, получаемый из глинозема в виде полых корундовых сфер. В нем содержится более 99% Al_2O_3 и небольшое количество примесей. Абразивные материалы, изготавливаемые из сферокорунда, эффективно применяют для обработки мягких и вязких материалов - кожи, резины, пластмассы, цветных металлов. В процессе шлифования сферы разруша-

ются и обнажают острые режущие кромки, что обеспечивает более производительное шлифование при небольшом тепловыделении.

13.6 Зернистость и зерновой состав абразивных материалов.

Полученные в электрических печах или добытые в рудниках абразивные материалы сортируют, а затем дробят в специальных машинах. В зависимости от состава исходного материала, требований к свойствам продукта абразивные материалы подвергают различным видам обогащения, термической обработке, а затем классифицируют по крупности частиц. Качество абразивных материалов определяется формой и величиной зерен, твердостью, теплостойкостью и другими физико-механическими свойствами. В ГОСТе 21445-85 даны следующие определения.

Зернистость - условное обозначение шлифовального материала, соответствующее размеру абразивных зерен основной фракции. *Зерновой состав* - совокупность отношений количества абразивных зерен каждой фракции к общему количеству зерен. *Фракция* - совокупность абразивных зерен, размеры которых находятся в установленных интервалах. *Основная фракция* — фракция, преобладающая по массе, объему или числу абразивных зерен. *Крупная фракция* - смежная с основной фракцией, размеры абразивных зерен которой превышают размер зерен основной фракции. *Предельная фракция* имеет размер зерен, превышающий размер зерен крупной фракции, а *мелкая фракция* имеет зерна размером меньше, чем зерна основной фракции.

Шлифовальные материалы делят на группы (ГОСТ 3647-80):

- 1) шлифзерно (размер зерен от 2000 до 160 мкм);
- 2) шлифпорошки (размер зерен от 125 до 40 мкм);
- 3) микропорошки (размер зерен от 63 до 14 мкм);
- 4) субмикропорошки (размер зерен от 10 до 3 мкм).

Микропорошок маркируется буквой «М» и цифрой, которая показывает самый большой диаметр абразивной частицы в микрометрах. Каждый номер зернистости имеет следующие фракции:

- основная; - крупная; - предельная; - мелкая; - комплексная.

Фракции – это группа шлифовальных зерен, которые имеют одинаковый интервал размера, преобладающий по объему частиц.

Диаметр абразивной частички микропорошка определяется путем измерения самой большой ширины зерна, которую видно под микроскопом. Круг и зернистость абразивов выбирается исходя из следующих параметров: тип шлифовки, размер обрабатываемой поверхности, необходимая шероховатость и точность выполняемой работы. Существует три разновидности зернистости абразивных материалов: - крупнозернистый; - среднезернистый; - мелкозернистый.

Крупный размер наждачного полотна позволяет провести грубую шлифовку покрытия, а более мелкий диаметр применяется для финишной абразивной обработки, доводки и заточки.

Область применения абразивных материалов в зависимости от зернистости

Абразивные приспособления позволяют провести шлифовку, подрезку и полировку разных типов поверхностей: дерево, металл, камень. В зависимости от вида шлифовального материала и размера зерна абразива данные приспособления применяются для различных работ.

Крупнозернистые устройства используют в следующих процессах:

- на этапах обдирания и предварительных работ в операциях, требующих большую глубину реза, где удаляются припуски;
- для работы на машинах с большой мощностью и жесткостью;
- для шлифования материалов, которые заполняют поры инструмента и засаливают его покрытие, например, при зашкурировании латунных, медных, алюминиевых изделий;
- при работе, где круг контактирует с большой площадью;
- для плоской шлифовки торцом;
- для внутренних шлифовальных работ.

Приспособления со средним и мелким зерном применяют в следующих случаях: - для получения определенной шероховатости покрытия (0,32 -0,08 мкм);

- в процессе обработки закаленной стали и твердых металлических сплавов;
- для финишной шлифовки, заточки и доводки различных приборов;
- для точной и качественной обработки деталей.

Зернистость абразивных материалов по сферам применения. Таблица 13.6

Зернистость абразива	Сфера применения
200 - 160	для обработки покрытий из оргстекла, текстолита, фибры и прочих неметаллических составляющих
125-80	в процессе зачистки швов от сварки и литья
50-40	черновая шлифовка изделий, заточка приспособлений на начальном этапе
40-10	финишная обработка и затачивание инструментов, которые производят быструю резку, шкурение отбеленной чугунной продукции
10-6	обработка высокоответственных запчастей и изделий
12-4	шлифовка резьбы
6-5	доводка инструмента с многими лезвиями
6-3	тонкая отделочная полировка

Инструменты с мелким зерном имеют меньшую способность к самозатачиванию, нежели крупнозернистые приспособления, поэтому они быстрее стачиваются и засаливаются.

Зернистость шлифзерна и шлифпорошков обозначают как 0,1 размера стороны ячейки сита в свету в микрометрах, на котором задерживаются зерна основной фракции. Ряд: 200; 160; 125; 100; 80; 63; 50; 40; 32; 25; 20; 16; 12; 10; 8; 6; 5; 4. Зернистость микрошлифпорошков обозначают по верхнему пределу размера зерен основной фракции. Ряд: M63; M50; M40; M28; M20; M14; M10; M7; M5.

Шлифзерна и шлифпорошки получают способом отсева на ситах. Верхний предел размера зерна соответствует размеру ячейки сита, сквозь которое зерно основной фракции проходит, а нижний предел - ячейка сита, на котором зерно основной фракции задерживается. Микропорошки получают методом статического осаждения в жидкости. Контроль зернового состава производится микроскопическим методом.

Для изготовления абразивного инструмента, исключая инструмент на гибкой основе, а также для использования шлифовальных порошков при обработке свободным абразивным зерном изготавливают шлифовальные порошки зернистостей: F4, F5, F6, F7, F8, F10, F12, F14, F16, F20, F22, F24, F30, F36, F40, F46, F54, F60, F70, F80, F90, F100, F120, F150, F180, F220.

Для изготовления абразивного инструмента на гибкой основе изготавливают

шлифовальные порошки зернистостей: P12, P16, P20, P24, P30, P36, P40, P50, P60, P80, P100, P120, P150, P180, P220.

Связки абразивных зерен. Шлифовальный материал представляет собой абразивные частицы, скрепленные связующими веществами. Связка играет важную роль в определении эффективности готового полотна. В процессе их производства используются следующие виды составляющих:

- неорганические; - органические; - металлические.

К неорганическим компонентам относят:

- керамическую; - силикатную; - магнезиальную.

Чаще всего применяются керамические связующие вещества, на их основе изготовлены более 50% образцов всех шлифовальных приспособлений.

К категории органических связок относят:

- бакелитовую; - глифтолиевую; - вулканитовую.

Здесь популярным стало бакелитовое сырье. Инструмент на его основе отличается своей прочностью, эластичностью и скоростью. Хотя уровень химической и тепловой устойчивости такого материала крайне невысок.

Глифталева связка повышает упругость шлифовальных кругов, поэтому они прекрасно подходят для чистовой и доводочной обработки.

Вулканитовая основа позволяет изготовить абразивный элемент, толщина которого не будет превышать 0,5 мм. Они применяются для порезки и бесцентрового шлифования.

Металлические связки. В основе металлического связующего вещества – наполнитель и порошок олова, меди или другого металла. Используется в алмазных кругах, изредка в инструментах из карбида кремния.

13.7 Кубический нитрид бора для абразивных инструментов

Кубический нитрид бора (КНБ) - синтетический сверхтвердый материал. Он получается из нитрида бора BN , содержащего 43,6 % бора и 56,4 % азота. Нитрид бора во многом похож на графит: атомные веса бора и азота близки к углероду, нитрид бора кристаллизуется в гексагональную решетку. Обработка нитрида бора в условиях, соответствующих условиям синтеза алмаза, позволяет получить кубическую кристаллическую решетку и физико-механические свой-

ства, близкие к свойствам алмаза.

КНБ - твердый, теплостойкий и химически устойчивый материал. По твердости (800 МПа) он уступает только алмазу. Это связано с тем, что кристаллическая решетка у КНБ менее плотная, чем у алмаза/Преимуществами КНБ перед алмазом, как инструментальным материалом, являются его высокая теплостойкость (1300...1400°C) и диффузионная устойчивость. На КНБ не действуют соляная, серная, азотная, фосфорная, плавиковая кислоты и растворы щелочей. В отличие от алмаза КНБ химически инертен к железоуглеродистым сплавам. Это особенно важно при шлифовании твердых закаленных сталей, высокопрочных и труднообрабатываемых железоуглеродистых сплавов и заточке быстрорежущих инструментов.

Отечественная промышленность выпускает КНБ двух модификаций -эльбор и кубонит. Эльбор имеет три группы зернистости: шлифзерно (Л25...Л16), шлифпорошки (Л12...Л4) и микроггорошки (ЛМ40...ЛМ1). Из кубонита изготавливают шлифпорошки зернистости от 160/125 до 50/40 обычной прочности и от 250/200 до 50/40 повышенной прочности, а также микропорошки КМ зернистостью от 60/40 до 1/0.

Шлифпорошки из эльбора и кубонита выпускают различной прочности:

ЛО, КО - обычной прочности;

ЛР, КР - повышенной прочности;

ЛОМ, КОМ - обычной прочности с металлическим покрытием;

ЛОС, КОС - обычной прочности с неметаллическим покрытием;

ЛРМ, КРМ - повышенной прочности с металлическим покрытием;

ЛОМА, КОМА - обычной прочности, агрегированный с металлическим покрытием.

Зерна обычной прочности имеют более развитую поверхность и меньшую прочность, чем зерна повышенной прочности. Для упрочнения зерна КНБ его металлизуют сплавами серебро-медь-титан, медь-олово-титан или покрывают неметаллической оболочкой (бор, специальные пластмассы, керамика) толщиной 3...4 мкм. Металлизация повышает прочность КНБ в среднем на 20...30%.

Шлифлорошки марок О, ОМ, ОМА, ОС применяют для изготовления кругов на органических и керамических связках, а марок Р, РМ - для изготовления кругов на металлических связках. В настоящее время эдборовые и кубонитовые круги выпускают в основном 100 и 150%-й концентрации КНБ в рабочем слое. Из микропорошков делают доводочные пасты и другие инструменты на различных связках. Характеристика паст по прочности и концентрации соответствует алмазным пастам.

Круги и другие инструменты из эльбора и кубонита характеризуются: повышенной режущей способностью, низким удельным расходом (в 2...4 раза ниже алмазных и в 50...100 раз меньше абразивных кругов), высокой размерной стойкостью рабочего профиля (что обеспечивает высокую точность обработки), меньшим тепловыделением (что повышает качество обработанной поверхности), снижением засаливания. Наиболее эффективно применять круги из КНБ при шлифовании закаленных сталей, заточке и доводке быстрорежущих инструментов, а также при шлифовании деталей из жаропрочных, нержавеющей и высоколегированных сталей.

В последнее время разработаны и применяют новые сверхтвердые инструментальные материалы для оснащения рабочей части металлорежущего инструмента - *эльборы* (поликристаллы кубического нитрида бора) и алмазы. Эльбор по своей теплостойкости (1400 °С) превосходят все имеющиеся инструментальные материалы, используемые для оснастки режущего инструмента алмазы - в 1,9 раза, быстрорежущую сталь - в 2,3 раза, твердый сплав - в 1,7 раза. Поликристаллы изготавливают цилиндрической и сферической формы, длиной 3,5-8 и диаметром 3 - 5 мм. Режущие инструменты, оснащенные эльбором, предназначены главным образом для обработки чугуна и стали любой твердости при высоких скоростях резания. Стойкость резцов из кубического нитрида бора при обработке закаленных сталей твердостью 63-66 HRC в десятки раз выше стойкости резцов из твердого сплава.

Эльбор - новый сверхтвердый синтетический материал, созданный в нашей стране на основе кубического нитрида бора (вещества, состоящего из атомов азота и бора). Он обладает большой твердостью (до 9000 кгс/мм²), высокой теп-

лостойкостью (1400°C), химически инертен по отношению к углеродсодержащим материалам и более прочен по сравнению с алмазом (предел прочности при изгибе до 100 кгс/мм^2), а потому инструмент, изготовленный из эльбора, имеет высокую износостойкость.

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Что относится к сверхтвердым материалам?
2. Как получают синтетические алмазы, алмазные пасты и порошок?
3. Сверхтвердые поликристаллы на основе углерода и нитрида бора.
4. Преимущества двухслойных композиционных материалов.
5. Какие существуют виды абразивных материалов?
6. Что такое зернистость и зерновой состав абразивных материалов?
7. Состав инструментов из сверхтвердых материалов (СТМ).
8. Какие особенности, влияющие в целом на технологический процесс при механической обработке инструментами, оснащенными СТМ вы знаете?
9. Каким документом устанавливаются термины и определения основных понятий по алмазам и алмазным инструментам?
10. В каком виде встречаются в природе алмазы ?
11. От чего зависит интенсивность окисления алмаза?
12. Что такое изометрическое алмазное зерно?
13. На какие группы подразделяют сверхтвердые поликристаллические инструментальные материалы?
14. Сколько марок выпускают исмита?
15. Где наиболее эффективно применяют лезвийные инструменты из сверхтвердых инструментальных материалов?
16. Перечислите ориентировочные режимы резания инструментами оснащенными поликристаллическими СТМ.
17. Что такое изометрическое алмазное зерно?
18. Для обработки каких металлов главным образом предназначены режущие инструменты оснащенные эльбором?
19. Какую поверхность и прочность имеют зерна обычной прочности?

ГЛАВА IV

Раздел 14

14. Технология производства валов

14.1. Характеристика валов

Деталь, на которую насаживают неподвижно или подвижно вращающееся устройство называется осью или валом.

Вал - вращающаяся деталь машины, предназначенная для поддержания установленных на нём деталей или для передачи вращающегося момента. При работе вал испытывает изгиб и кручение, в отдельных случаях растяжение и сжатие.

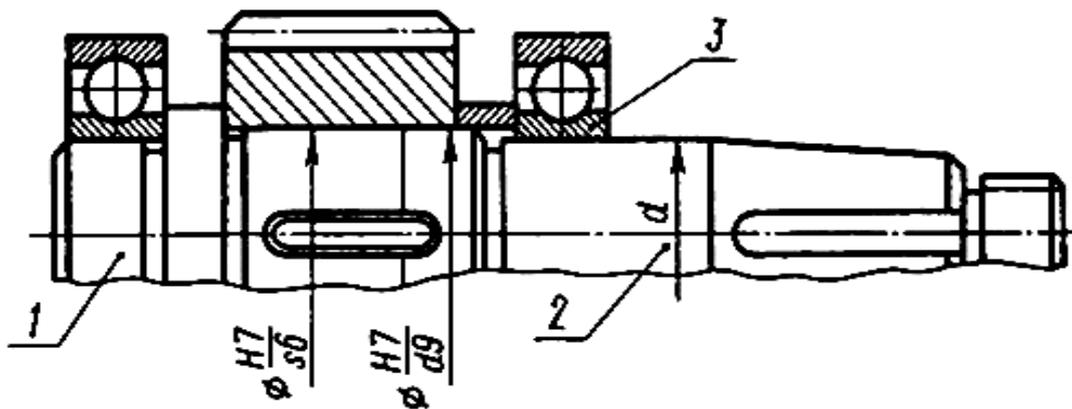


Рис. 14.1. Прямой ступенчатый вал. 1- шип, 2- шейка, 3- подшипник.

Ось – деталь машины, предназначенная только для поддержания установленных на ней деталей. Ось не передаёт вращающегося момента и следовательно не испытывает кручения. Оси могут быть подвижными и неподвижными.

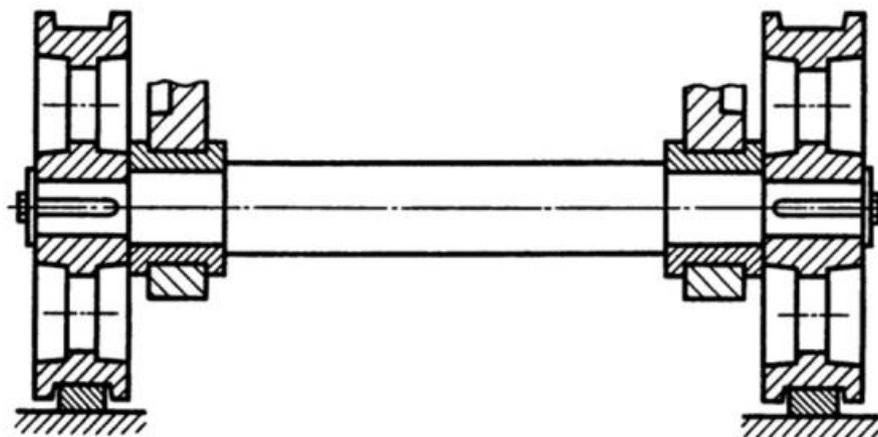


Рис. 14.2. Ось тележки.

По геометрической форме валы делятся на прямые, коленчатые и гибкие. Оси, как правило, изготавливают прямыми.

Детали класса "круглые стержни" подразделяются на валы, оси, пальцы, штоки. Конструктивно валы различаются на гладкие, ступенчатые, коленчатые, распределительные (кулачковые), шлицевые и валы-зубчатые колеса. Валы могут быть сплошные или полые. Наибольшее распространение в транспортных и технологических машинах получили ступенчатые, шлицевые валы и валы-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 ($L/D < 2...4$), средней жесткости ($9 > L/D > 4$) и низкой жесткости ($L/D > 10$), где L - длина вала; D - диаметр вала.

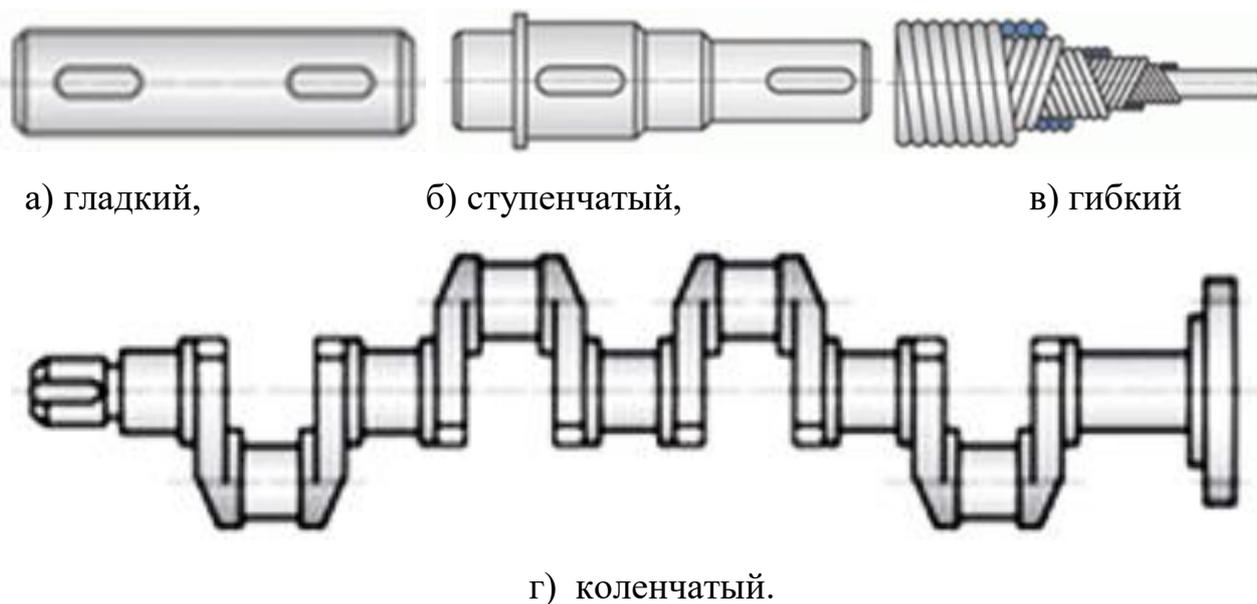


Рис. 14.3. Конструкции валов.

Оси служат для поддержания вращающихся вместе с ними или на них различных деталей машин и механизмов. Оси бывают вращающиеся и неподвижные.

Валы в отличие от осей предназначены для передачи крутящих моментов и в большинстве случаев для поддержания вращающихся вместе с ними относительно подшипников различных деталей машин (зубчатых колес, шкивов и т.п.).

По назначению различают:

1) валы передач, на которых устанавливают зубчатые колеса, звездочки, муфты и прочие детали передач.

2) коренные валы, на которых устанавливают не только детали передач, но и другие детали, например, маховики, шатуны, кривошипы.

3) валы могут быть прямые, коленчатые и гибкие. Широко распространены прямые валы. Коленчатые валы в кривошипно-шатунных передачах служат для преобразования возвратно - поступательного движения во вращательное или наоборот и применяются в двигателях, насосах

4) гибкие валы, представляющие собой многозаходные витые из проволок пружины кручения, применяют для передачи момента между узлами машин, меняющих свое положение в работе. По форме сечения валы и оси бывают гладкие, шлицевые, со шпоночными канавками, сплошные и кольцевые.

5) оси небольшой длины изготавливают одинакового диаметра по всей длине, а длинные и сильно нагруженные - фасонными.

6) прямые валы в зависимости от назначения делают либо постоянного диаметра, либо ступенчатыми различного диаметра на отдельных участках.

7) наиболее распространены ступенчатые валы, так как их форма удобна для установки на них деталей, каждая из которых должна к своему месту проходить свободно (валы редукторов). Иногда валы изготавливают заодно с шестернями или червяками. Опорную часть валов и осей называют цапфой.

8) цапфы, расположенные по концам валов, осей и воспринимающие радиальную нагрузку, носят название шипов, а расположенные по середине шеек. Цапфы, воспринимающие осевую нагрузку, называются пятнами.

9) по конструктивной форме различают шипы: цилиндрические, конические, сферические. Самые распространенные - цилиндрические шипы, которые для облегчения сборки и фиксации осевого положения вала обычно делают значительно меньше диаметра, чем соседний участок вала. На некоторых осях и валах для фиксации подшипников качения рядом с шипом предусматривают резьбу для гаек. Поверхность плавного перехода от одной ступени оси или вала к другой называют галтелью.

Для снижения концентрации напряжений радиусы закруглений галтелей, принимают возможно большими.

14.2. 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 неуказанными 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 торцов базовым поверхностям. Как правило, эти величины выбираются по V...V11 степеням точности.

Качество поверхностного слоя базовых и рабочих поверхностей валов обеспечивается:

1) шероховатостью в пределах 3,2...0,4 мкм по R_a , 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 подвергаются термообработке, технология которой может быть весьма разнообраз-

разной в зависимости от конструктивного назначения валов. Как правило, твердость закаленных поверхностей валов достигает 55...60 HRC₃.

К *технологичности* заготовок и валов предъявляются ряд требования, 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.

14.3. 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 термообрабатываемые стали, стали, подвергающиеся цементации или нитроцементации с последующей термической обработкой до твердости 50...60 HRC₃.

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 HRC₃), 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.

14.4. 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 холоднотянутого 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. 14,4 а, б). Ступенчатые валы сложной формы изготавливают поперечно-винтовой прокаткой на трехвалковых станах (рис. 14,4 в, г).

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).

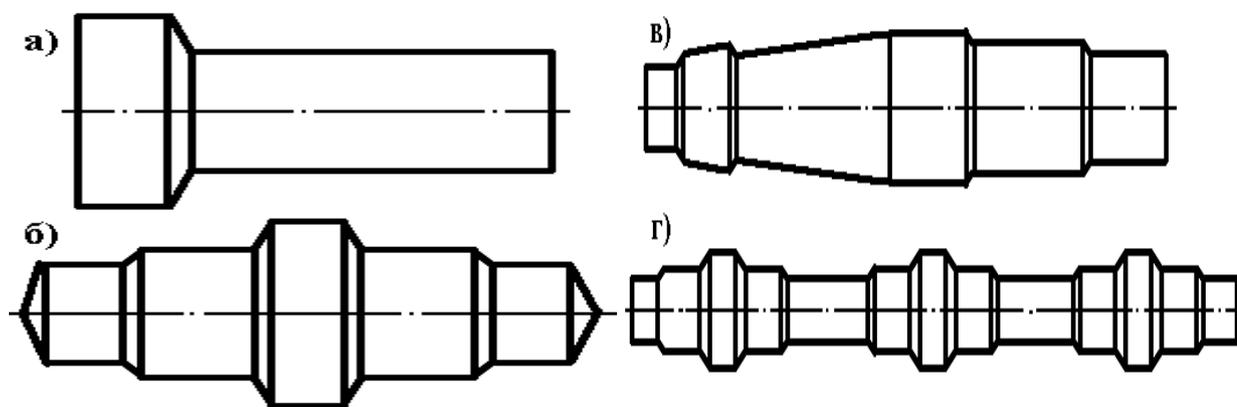


Рис. 14.4 Примеры получения заготовок давлением

14.5. 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 производительен, обеспечивать требуемую точность по длине 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 сравне-

нии 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. Отли-

чие калибровки от правки заключается в том, что при калибровке меняются размеры поковки, а при правке исправляются искажения 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.

14.6. Технологический процесс обработки валов

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

- 1) подрезка обоих торцов заготовки поочередно или одновременно;
- 2) центрование 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) шлицшлифование;
- 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.

14.7. 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 по-

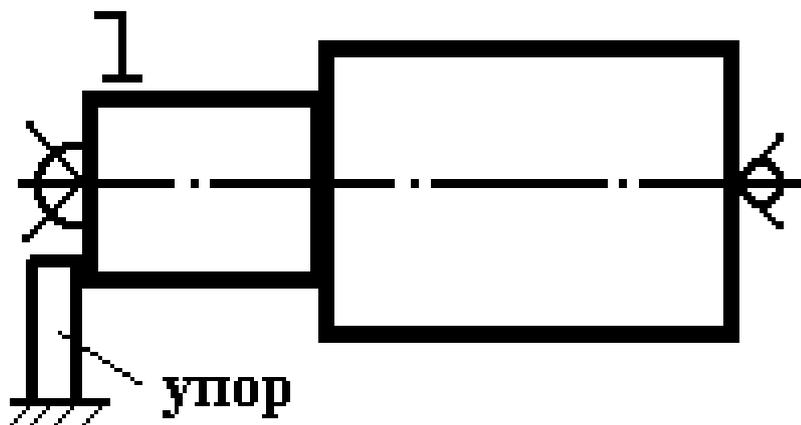


Рис. 14.5. Схема осуществляется с помощью поводкового базирования вала патрона (ГОСТ 2571) или хомутика (ГОСТ 2578).
 нии длин ступеней вала от его торца.

верхности 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 выдержива-

Для исключения данной погрешности базирования необходимо в качестве *опорной* технологической базы использовать торец заготовки, упирающийся в упор (рис. 14.5), а заготовку устанавливают на плавающий *передний* центр. Передача крутящего момента при установке вала в центрах

14.8. Подрезка торцов и сверление центровых отверстий

Данные переходы предназначены для подготовки технологических баз. Торцы и центровочные отверстия для большинства валов являются технологическими базами. 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 призмы и базированием в осевом направлении по упору (рис 14.6). 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.

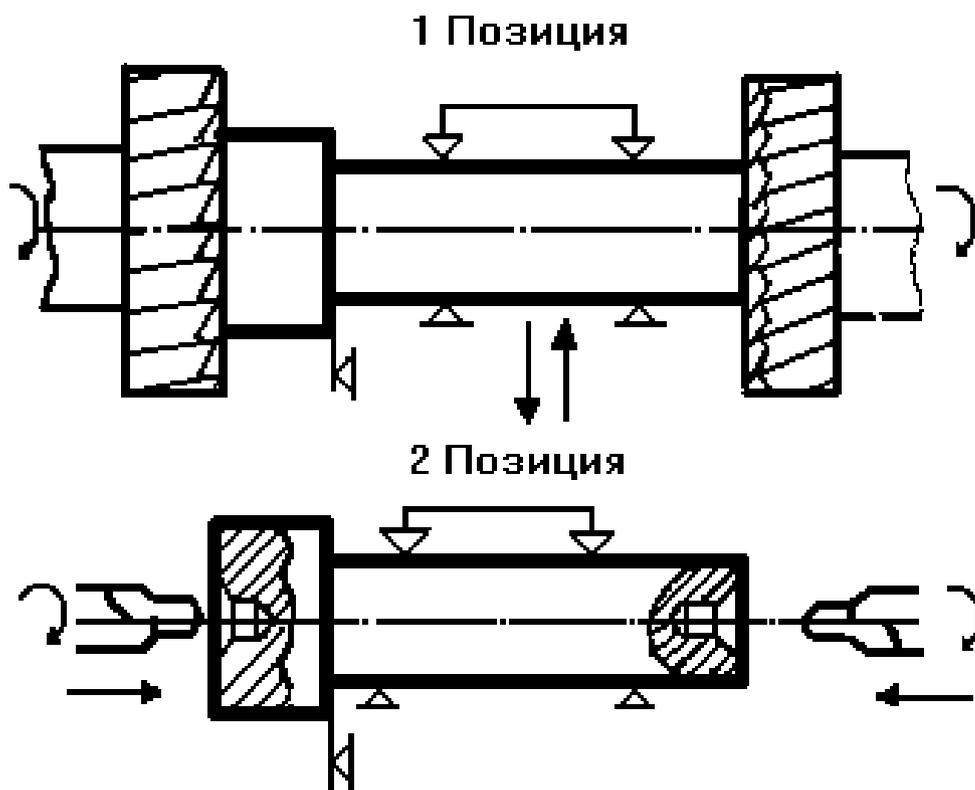


Рис. 14.6. Схема подрезки торцов вала в серийном производстве.

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

14.9. 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 R_a до 12,5 мкм;
- б) получистовая - 11...12 квалитет точности и с шероховатостью до 3,2 мкм;
- в) чистовая - 8... 10 квалитет точности и с шероховатостью R_a 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 R_a ;
- б) чистовую – 6... 7 квалитет точности и с шероховатостью до 0,4 мкм;
- в) тонкую – 5...6 квалитет точности и с шероховатостью R_a до 0,1 мкм.

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

14.10. 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 много переходную 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 из 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 много-резцовое точение. Если ступенчатый вал изготавливают из *проката*, то применяют метод деления припуска (Z_1, Z_2, Z_3) между резцами, число которых равно числу ступеней обрабатываемого вала (рис. 14.7,а). При точении наружной поверхности заготовки из *поковки*, где каждая ступень вала обрабатывается одним резцом (рис. 14.7 б), приводит к тому, что рабочий ход продольного суппорта определяется длиной наибольшей ступени (резцом 1). Резцы 2 и 3 в начале движения резца 1 совершают холостой пробег. При наладке станка по наименьшей ступени L_3 (рис. 14.7 в) рабочий ход суппорта будет определяться длиной этой ступени. Тогда для точения других ступеней устанавливают по несколько резцов, причем 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.

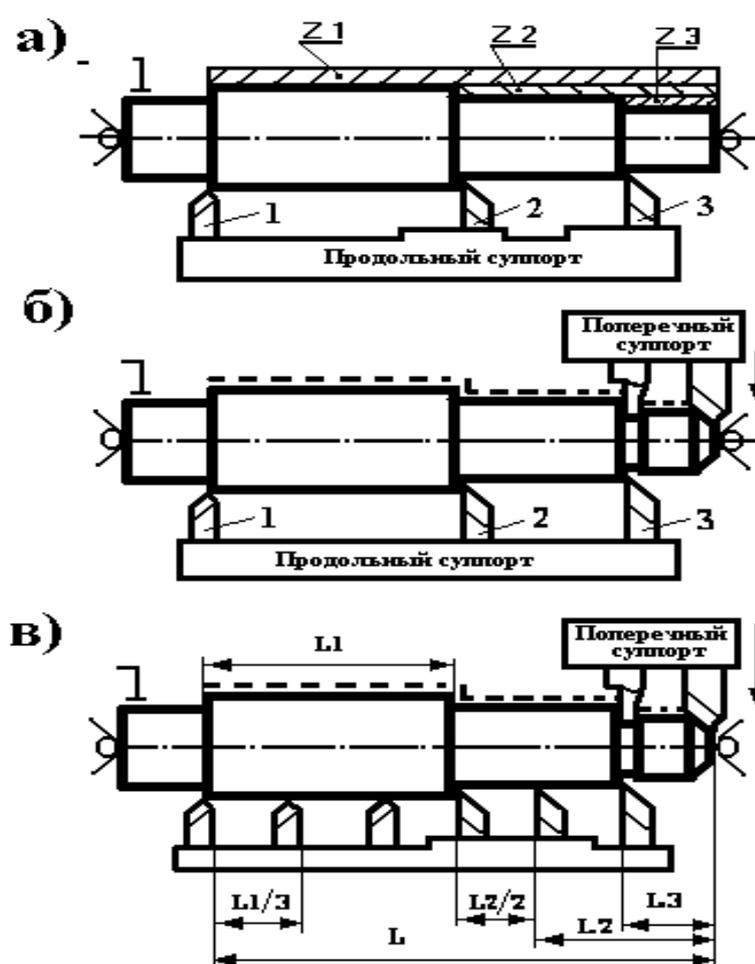


Рис. 14.7. Точение ступенчатого вала

Схемы наладок для обработки ступенчатых валов на многорезцовом станке приведены на рис. 14.8. Настройка резцов производится так, чтобы обработка всех участков вала заканчивалась одновременно. Точность обработки на многорезцовых станках обеспечивается в пределах 11...13 качества. Основное время рассчитывают для резца, который производит обработку наиболее длинной поверхности. В серийном производстве широко используют и одно-

шпиндельные гидрокопировальные полуавтоматы с двумя суппортами (горизонтальным и вертикальным). Горизонтальный суппорт совершает продольную подачу, а вертикальный суппорт 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,

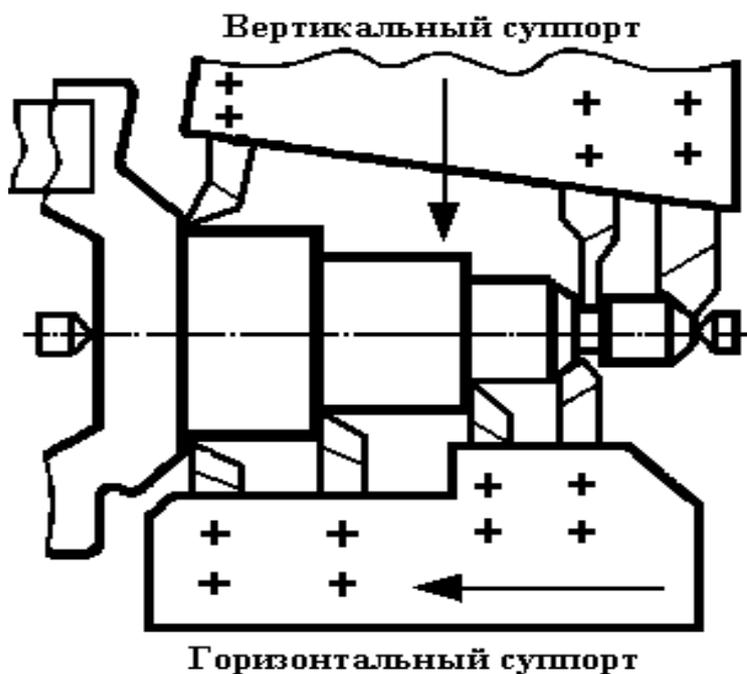


Рис. 14.8 Обработка валов на многорезцовых станках.

так как при многорезцовом точении скорость резания занижается с целью повышения стойкости резцов;

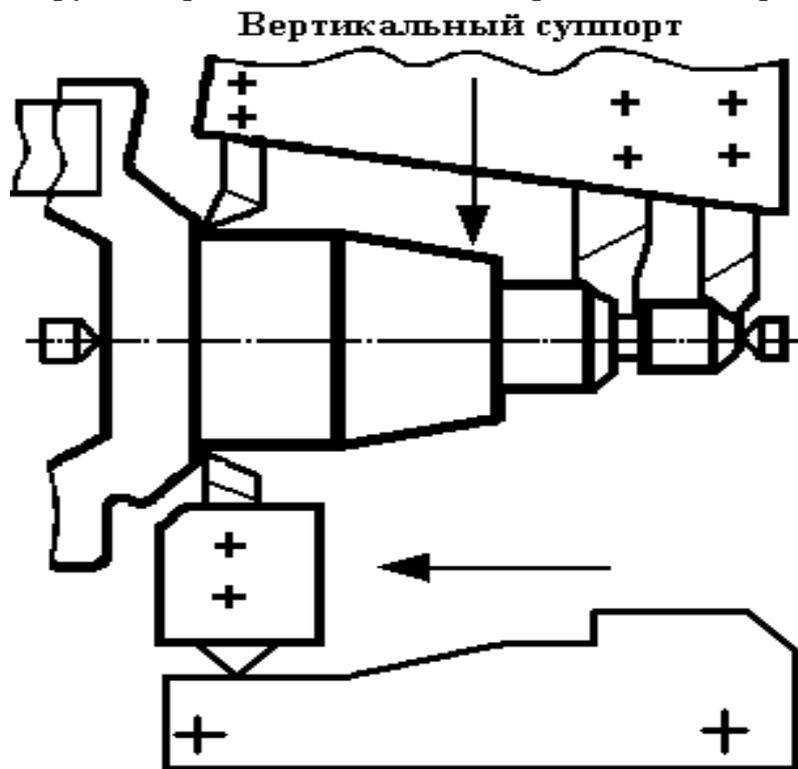
- при одном установе можно вести черновую и чистовую обработку;
- так как точение поверхности вала выполняется одним резцом, то деформации вала невелики, что позволяет производить обработку валов малой жесткости.

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 копировального суппорта. На рис.14.9 показана наладка гидрокопировального полуавтомата для обработки поворотного кулака.

На гидрокопировальных станках можно запрограммировать бесступенчатое изменение частоты вращения шпинделя, благодаря чему сохраняется постоян-

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

В крупносерийном и массовом производстве при производстве валов диамет-



ром до 100 мм и длиной до 160 мм применяются многошпиндельные (четырёх-, шести- и восьмишпиндельные) горизонтальные автоматы. На рис. 14.10 показана наладка шестишпиндельного автомата для обработки шарового пальца.

Рис. 14.9 Обработка вала на гидро-копировальном станке.

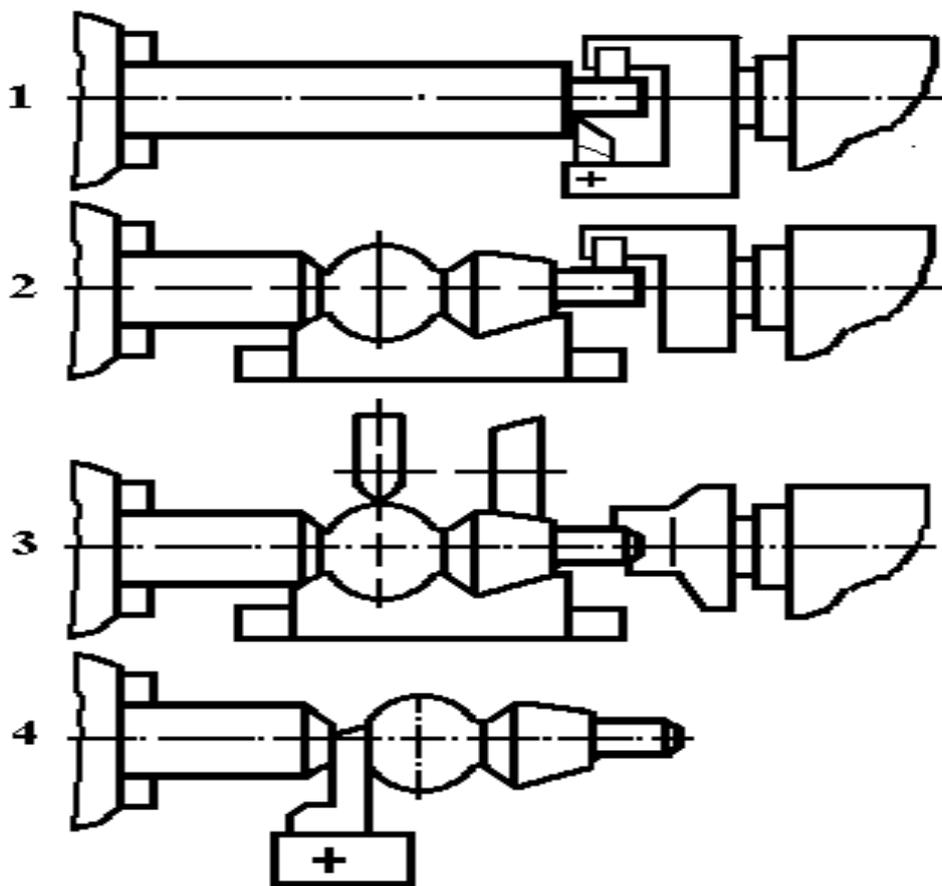


Рис. 14.10. Пример обработки шарового пальца на 6-ти шпиндельном автомате.

Шейку наименьшего диаметра получают резцом, установленным в люнетной державке (позиция 1). Фасонную поверхность обрабатывают на 4-х 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.

14.11. Операция шлифования

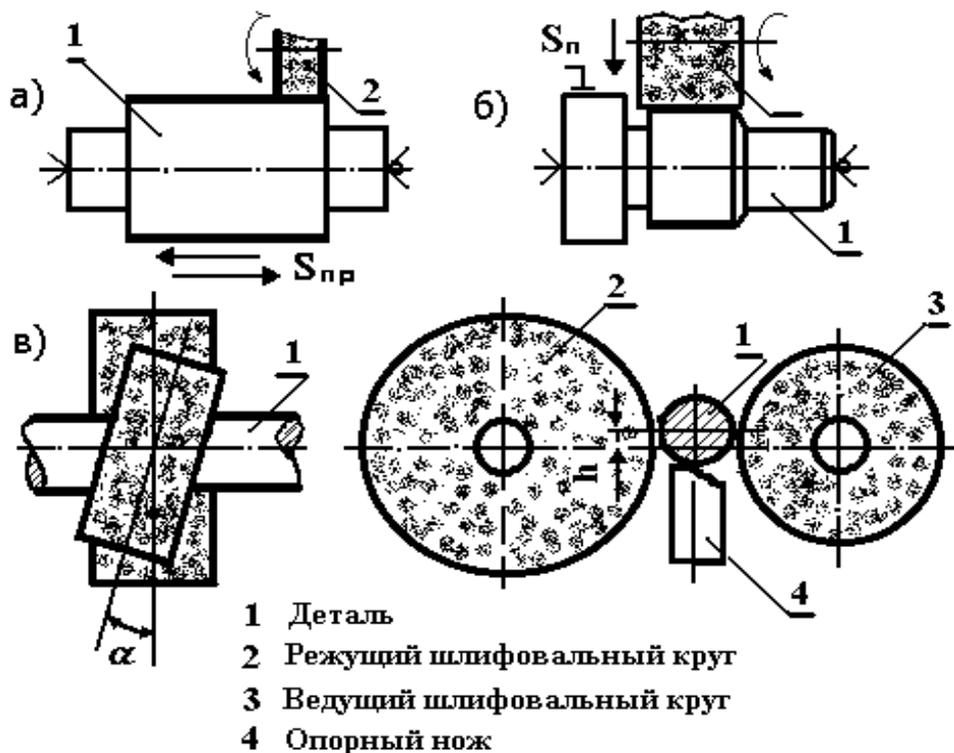


Рис. 14.11. Виды шлифовальных операций

Шлифование шеек валов проводят на круглошлифовальных станках методом продольной подачи (рис. 14.11, а) или врезанием (поперечным движением подачи, рис. 14.11, б), а так же на бесцентрово-шлифовальных полуавтоматах (рис. 14.11, в). Шейки валов шлифуют в две операции: предварительное и чистовое шлифование. После чистового шлифования точность размера 6...7 квалитет, а шероховатость до 0,4 мкм. Шлифование с продольной подачей (рис. 14.11, а) более универсальный, чем метод врезного шлифования (14.11, 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. 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 (14.11, б) одновременно обрабатывается вся шлифуемая поверхность. Данная операция применяется при обработке коротких шеек, поверхностей, ограниченных буртиками, а также при необходимости одновременного шлифования 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. Разновидностью этого метода является шлифование профильными шлифовальными кругами (рис. 14.12). 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, подвергают исправлению путем шлифования конусным кругом на центрошлифовальном станке (рис 14.13).

Как уже было отмечено в массовом производстве обработке наружных поверхностей валов бесцентровое шлифование (рис. 14.14).

Шлифовальный круг (2) вращается со скоростью 30...65 м/с, ведущий круг (3) – со скоростью 10...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 $V_{и}$. Благодаря скосу установочного ножа (4), направленного в сторону ведущего круга, заготовка прижимается к этому кругу.

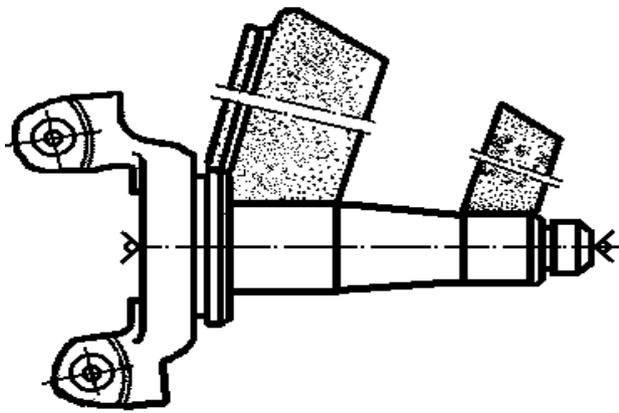


Рис. 14.12. Шлифование профильными кругами

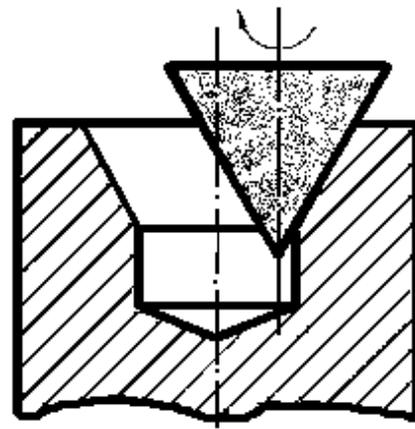
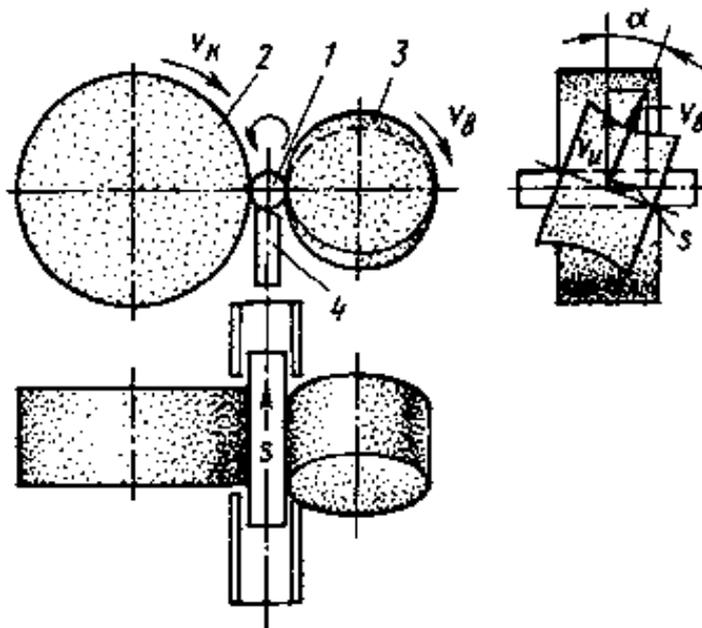


Рис. 9.13. Исправление центра

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

Рис. 14.14 Схема бесцентрового шлифования. мало жестких валов. Бесцентровое шлифование обеспечивает обработку валов с точностью 5...6 квалитета, а шероховатость достигается до 3,2 мкм. При тонком шлифовании шероховатость до 0,08 мкм (по R_a). Применяются два метода бесцентрового шлифования: проходное и врезное. Скорость продольной подачи V_s заготовки достигается за счет поворота оси ведущего круга на угол α . Значение угла α составляет 3...5° при предварительной обработке и 1...2° при чистовом шлифовании. Величина скорости продольной подачи определяется как:

$$V_s = V_b \cdot \sin \alpha \cdot \mu \quad (14.1)$$

где μ – коэффициент проскальзывания, 0,95...0,98.

При шлифовании напроход (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 напроход 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 устанавливаются параллельно. Обрабатываемая заготовка в процессе шлифования самоустанавливается между кругами. На рис. 14.15 показана наладка станка для шлифования шеек оси поворотной лебедки.

Шлифование производится 4-мя режущими и 2-мя ведущими кругами.

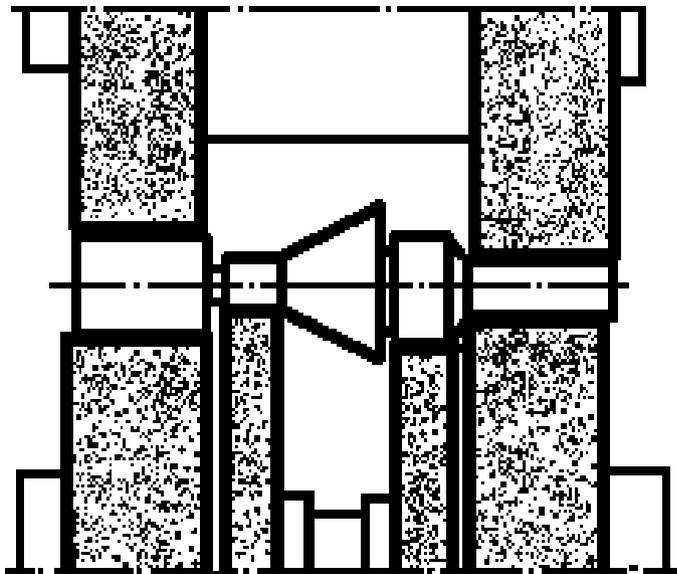


Рис. 14.15. Шлифование многоступенчатого вала.

Много-круговая наладка бесцентрового станка дает большой выигрыш в точности взаимного расположения осей шлифуемых ступеней вала и в производительности. Недостаток – длительность наладки (до 10...12 ч.).

14.12. 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. 14.16). 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 $+0,1$, $+0,2$ или $+0,3$ мм и длины паза по 11... 12 качествам. 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.

Закрытые с одной стороны с закруглением на конце – концевыми фрезами за один или несколько рабочих ходов. Использование концевой фрезы (мерного инструмента) имеет следующие недостатки:

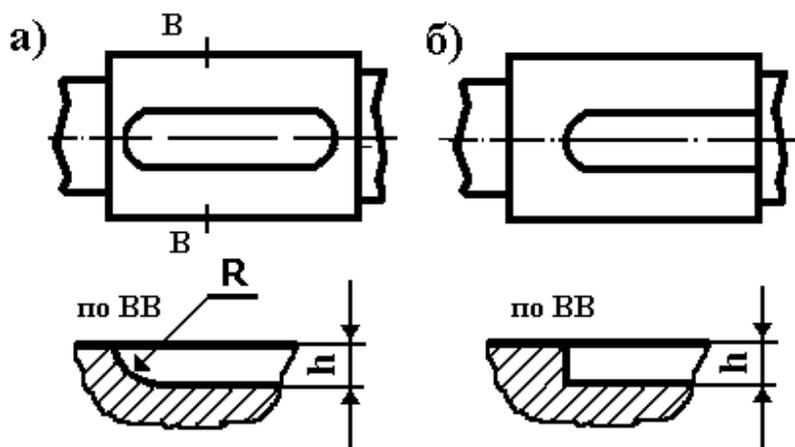


Рис. 14.16 Виды шпоночных пазов.

- большая погрешность обработки ширины паза, зависящая от допуска на размер инструмента и, так как фреза работает в основном своей периферической частью, диаметр после перезаточек уменьшается;

- попадание стружки в канавки инструмента, затрудняющее получение требуемой шероховатости поверхности.

Выполняются на вертикально-фрезерных станках общего типа или специальных станках.

Шпоночные пазы закрытого типа (глухие) фрезеруются двузубой концевой

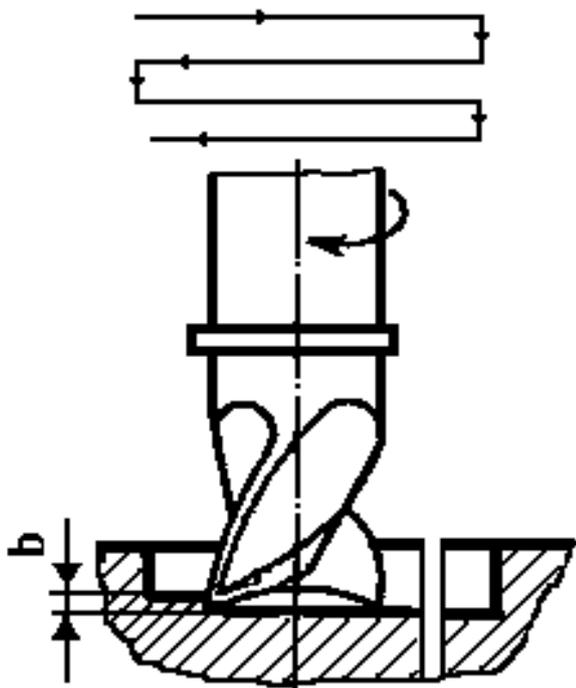


Рис. 14.17. Схема фрезерования 2-х зубой фрезой.

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. 14.17) 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 обес-

печивает 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 канавкам, то фрезеруют пазы концевыми фрезами.

Пазы под сегментную шпонку фрезеруются дисковыми фрезами на универсальных горизонтально фрезерных станках. Для повышения

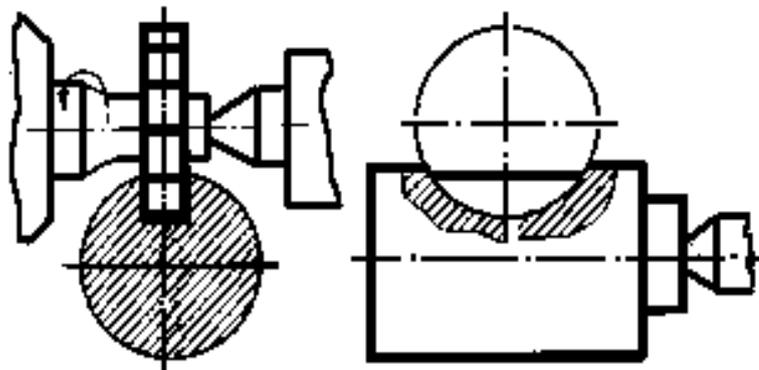


Рис. 14.18. Фрезерование сегментного паза.

точности размеров паза при фрезеровании сегментных пазов фрезу поддерживают центром (рис. 14.18). 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.

14.13. 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.

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. 14.19).

При центрировании по наружному диаметру с высокой степенью точности необходимо выдержать размеры наружного диаметра шлиц вала (D) и ширину шлиц (b).

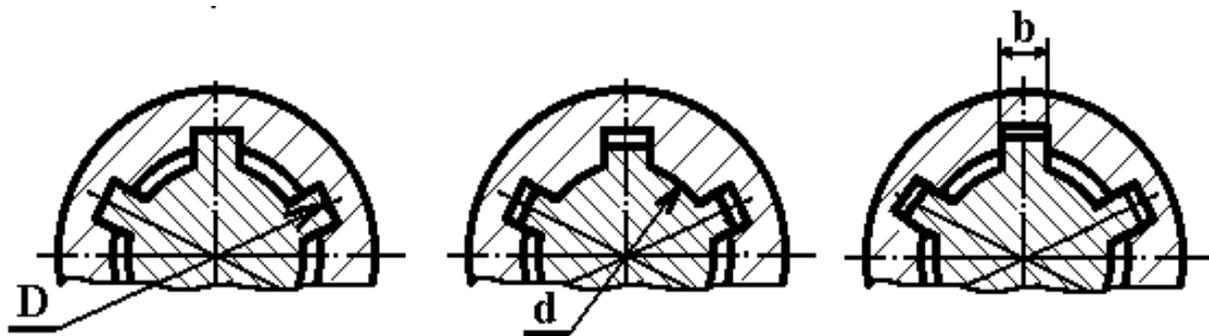


Рис. 14.19 Способы центрирования шлицевого соединения

При этом размер внутреннего диаметра шлиц вала выполняется по 14 качеству. 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 качеству. При центрировании по ширине шлица очень точно выполняют только размер ширины шлица (b), а остальные размеры соответственно по 14 и 12 качествам.

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 (ААи 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.

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; - боковые поверхности 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.14.20. Наиболее производителен способ шлифования фасонным кругом (а). Данная операция характеризуется простотой наладки, точным взаимным расположением обработанных поверхностей. Недосток – 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, 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.

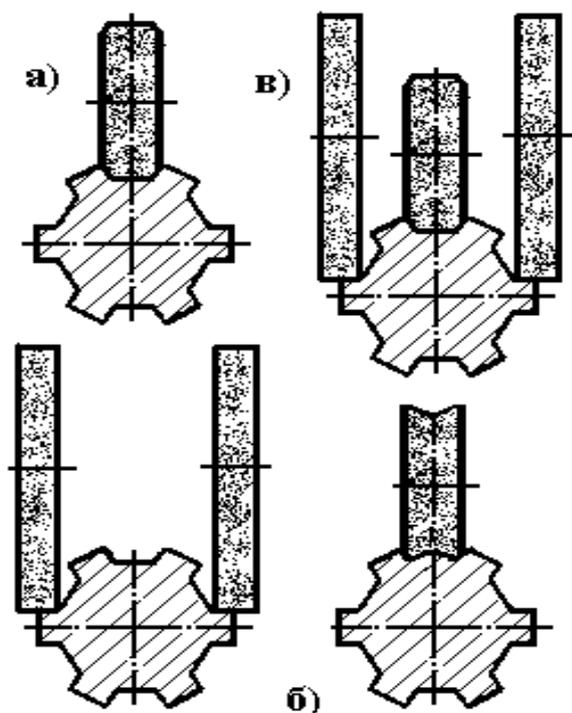


Рис. 14.20. Схема шлифования шлицевого вала.

имным расположением обработанных поверхностей. Недосток – 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, 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 шлицешлифования. При каждом ходе стола шлифуемый вал 1 (рис.14.21) набегают на автоскобу 2 и отводит ее в крайнее правое положение. При обратном ходе стола пружина 3 отводит автоскобу. Когда шлифуемая поверхность (впадина шлицев) будет иметь заданный размер, автоскоба при очередном касании с валом войдет в шлицы,

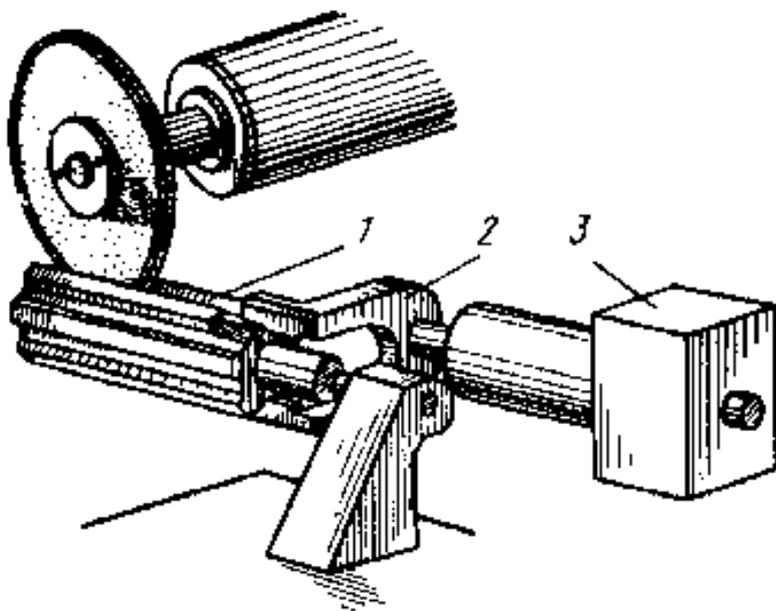


Рис. 14.21 Схема активного контроля при шлицешлифовании.

будет иметь заданный размер, автоскоба при очередном касании с валом войдет в шлицы, замкнет электроконтакт и даст команду на окончание обработки.

14.14. 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 резьбошлифование. 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 гре-

бенок, 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 – призматических и круглых. У этих резцов размеры элементов профиля резьбы выдерживаются более точно, чем у обычных, так как у них затачивается только передняя поверхность, сохраняя неизменным 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 – малопродуктивный 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.

В серийном и массовом производстве нарезание наружной резьбы производится резьбонарезными головками. Для получения коротких резьб с мелким шагом применяется процесс фрезерования гребенчатой фрезой, которая должна быть на 2...5 мм больше длины фрезеруемой поверхности. Резьбы 6-й степени точности диаметром до 120 мм на валах из стали твердостью менее НВ 250 можно получить резьбонакатыванием. Резьбонакатывание (выдавливание) осуществляется последовательным или одновременным копированием профиля накатного инструмента путем пластического деформирования. Накатной инструмент – плоские плашки и накатные ролики. Наибольшее распространение получил способ накатывания резьбы двумя роликами.

Оборудование – резьбонакатные и специальные автоматические станки.

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Перечислите виды погрешностей 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 на валах.
12. Как определяется точность взаимного расположения поверхностей для большинства валов?
13. Какой правке подвергают в мелкие и средние по массе поковки, проводя правку после предварительной термической обработки и очистки поковок от окалины?
14. Для чего программировать бесступенчатое изменение частоты вращения шпинделя на гидрокопировальных станках?
15. На чем выполняется абразивная обработка внутреннего диаметра шлиц и их боковых поверхностей?

Раздел 15

15. Технологические процессы изготовления типовых деталей типа валов

15.1. Технологический процесс изготовления коленчатого вала

15.1.1. 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 (рис.15.1). 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.



Рис. 15.1. Коленчатый вал.

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 механи-

ческую обработку (на 30...40%) за счёт лучшего обжата 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 качеству 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...6,5 мм, 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 трудоёмкая 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 R_a . Высокая точность отливки позволяет сократить трудоёмкость 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 термореактивных смол может быть организовано по полуавтоматическому или автоматическому циклу, а литьё деталей в оболочко-

вые формы производится на конвейере. Эти особенности оболочкового литья позволяют сократить технологический цикл изготовления заготовок коленчатых 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.

15.1.2. Технологический процесс изготовления заготовки стального коленчатого вала

Исходным материалом для заготовки служит сталь 45, твёрдостью в нормализованном виде НВ 163...197. Заготовка изготавливается из проката квадратного сечения 120x120 мм, длиной 875 мм, массой 97 кг. Поковка коленчатого вала 58 кг, твёрдость поковки НВ 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°±2° (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° С, время нагрева 35 мин, охлаждение на воздухе).

10. Контроль твёрдости по Бринелю.
11. Очистка заготовки травлением или дробью.
12. Холодная правка по коренным шейкам.
13. Окончательный контроль основных размеров, формы и взаимного положения поверхностей.

15.1.3. Механическая обработка коленчатого вала

Технологический процесс механической обработки коленчатого вала трудоемок тем, что вал имеет достаточно сложную конструкцию при недостаточной ее жёсткости 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 жёсткость 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°C .
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 $300 \text{ Г}\cdot\text{см}$; вторая с точностью $30 \text{ Г}\cdot\text{см}$
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 HRC₃ 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.

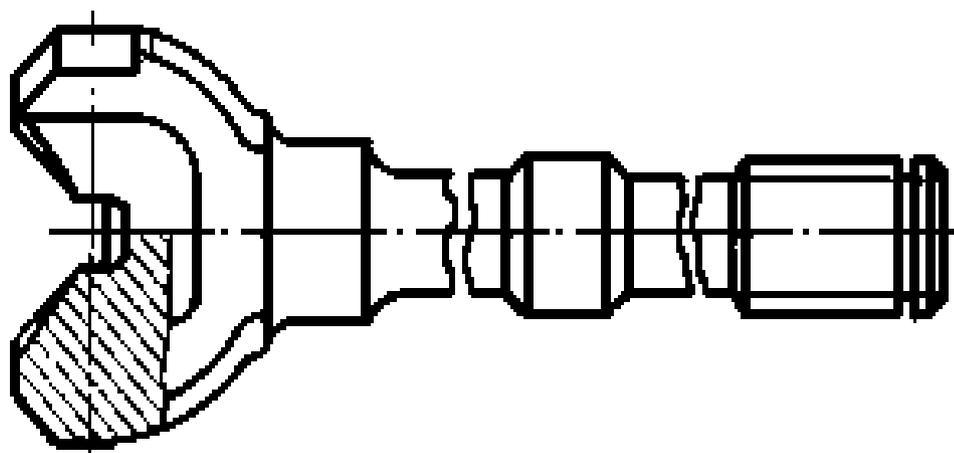
Качество обработки вала многократно контролируется. Промежуточный контроль предупреждает попадание бракованных деталей на последующие операции обработки. Контроль коленчатых валов является достаточно трудоёмкой работой, т.к. у вала в общей сложности контролируется около 100 различных показателей качества и он имеет большое количество поверхностей с высокой точностью размеров, формы и взаимного расположения. Поэтому контроль качества вала должен выполняться с применением автоматических устройств.

15.2. Технологический процесс изготовления кулаков шарниров

Кулак шарнира (рис. 15.2), представляющий собой ступенчатый вал с головкой; применяется в передних ведущих мостах гусеничных и колесных машин. Наиболее трудно обрабатываемыми поверхностями кулака являются четыре торовые 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. При изготовлении кулака центрирование осуществляют по наружному диаметру ступени со шлицами.

Рис.15.2 Кулак шарнира.

Поверхность центрирования должна быть обработана по 6-му качеству точности, а шероховатость в пределах 0,63 мкм по R_a . 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 $R_a = 10$ 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 HRC₃, сердцевины - не менее 26 HRC₃. 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 центрирование - выполняют на фрезерно-центровальных станках. Отверстие в головке сверлят в необработанной поверхности торца.

Токарную обработку выполняют на гидрокопировальных полуавтоматах. Заготовку устанавливают в плавающий передний (после обработки сферической поверхности - в шаровой) и задний 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. Для чистовой токарной обработки точность хвостовика должна соответствовать 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.

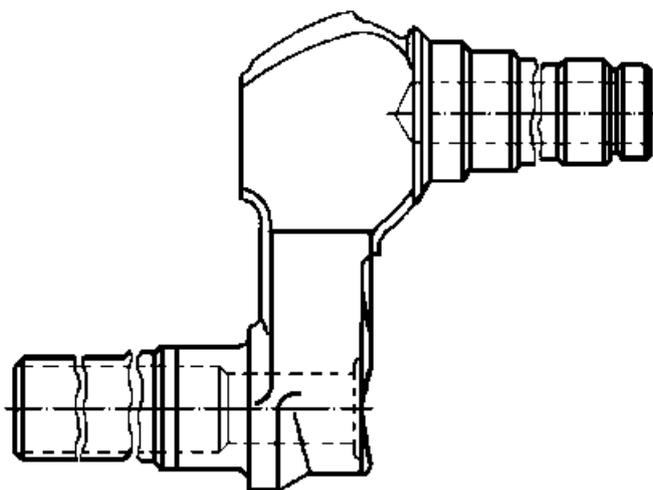
Дорожки фрезеруют на зубофрезерном станке специальной фрезой. Кулак крепят в цанговом патроне. При повороте детали для обработки следующих дорожек используют делительный диск. После обработки суммарная погрешность беговой дорожки, которую проверяют на специальном приспособлении, допускается не более $\pm 0,08$ 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.

15.3. Технологический процесс изготовления балансиров

Балансир (рис. 15.3) 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 качеству точности, шероховатость поверхности $R_a \geq 1,25$ мкм. Точность обработки шеек на оси балансира под подшипники должна соответствовать 8...9-му качествам, шероховатость поверхности



$R_a = 1,25$ мкм. Балансиры работают в условиях переменных ударных нагрузок, материалы, из которых оси изготовлены, должны обладать высокими прочностными свойствами, малой чувствительностью к концентрации напряжений.

Этим требованиям отвечают

Рис. 15.3 Балансир.

легированные стали. Заготовки балан-

сиров 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 многогоручьевых штампах на штамповочных молотах. Заготовки перед штамповкой нагревают до температуры 1200°C . 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 центрирова-

ние хвостовиков); - черновая обработка (обтачивание) наружных 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 многолезцовых 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 около 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 $R_a = 1,25$ 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 изготавливаются заготовки коленчатых валов?
2. Каким видам термообработки подвергают литые заготовки коленчатых валов?
3. Перечислите порядок технологического процесса изготовления заготовки коленчатого вала.
4. Перечислите операции технологического процесса обработки коленчатого вала на металлорежущих станках.
5. Как производится балансировка коленчатого вала?
6. По каким критериям должны быть обработаны различные поверхности кулака шарнира?
7. Перечислите укрупненную последовательность механической обработки балансира.
8. Какой метод изготовления заготовки коленчатых валов является более прогрессивным?
9. Технологический процесс изготовления балансиров.
10. Каким методом получают заготовки балансиров в серийном производстве?
11. С какой целью проводят шлифование кулака заготовки коленвала?
12. На каких станках выполняют черновую обработку шеек балансира?
13. Как производится закалка коленчатого вала?
14. Что служит исходным материалом для изготовления балансира?
15. Как получают заготовки чугунных коленчатых валов?
16. До какой твердости по HRC производится закалка коленчатого вала?
17. Где применяется кулак шарнира?
18. Как получают заготовку для кулака шарнира?
19. Зачем нужен балансир в независимой подвеске гусеничных машин?
20. Назовите последовательность механической обработки балансира.

Раздел 16.

16. Технология изготовления деталей класса втулок

16.1. Характеристика и материалы заготовок для 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 $0,5D < L \leq 2D$, 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 6...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 R_a , торцевых поверхностей – 3,2...6,3 мкм. Нижние величины шероховатостей для ответственных цилиндрических поверхностей.

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 горячекатанные 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 отдается 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).

16.2. 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.

Зенкер – инструмент, предназначенный для полустойковой обработки металла. Внешне представляет собой металлический вал с режущими поверхностями, напоминающий сверло. Он создан специально для металлообрабатывающей промышленности. Выпускается по ГОСТ 12489-71, ГОСТ 3231-71 или ТУ 2-035-923-83 в соответствии с разновидностью устройства.

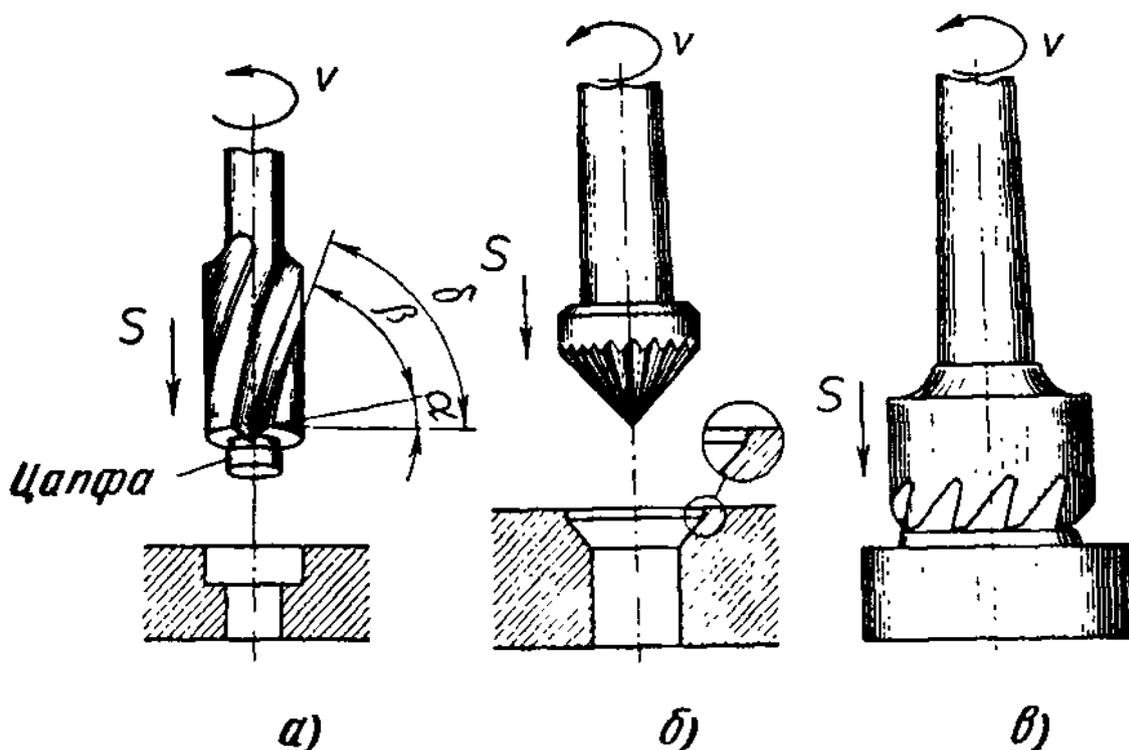


Рис. 16.1. Зенковки. а -цилиндрическая, б -коническая, в -торцевая (цековка).

Зенкеры подразделяются:

По типу закрепления в патроне станка: - хвостовые; - насадные.

По геометрической форме: - цилиндрические; - конические; - обратные.

По направлению ленточек и канавок: - правого вращения; -левого вращения.

По особенностям конструкции: - цельные; - сборные; - сварные; - с твёрдосплавными пластинами и без них.

Цельные хвостовые зенкеры наиболее похожи на свёрла, но отличаются наличием большего количества режущих кромок. В их поперечном сечении насчитывает от 3 до 6 таких острых зубчиков. Для изготовления применяется быстрорежущие инструментальные стали P9, P18, а также легированные пластины с повышенной твёрдостью и износоустойчивостью BK4, BK6, BK8, T15K6. Допустимая скорость резания у моделей с твердосплавными вставками выше, что увеличивает их КПД.

В их поперечнике строго 4 зубца. Сама насадка иногда комплектуется съёмными рабочими лезвиями из твёрдых сплавов. Фиксируются резак клиньями, и могут заменяться по мере надобности.

Конический зенкер похож на бур, рабочая часть инструмента сужается к его концу. Применяется для обработки наклонных круговых поверхностей. Изготавливаются из легированной стали и металлокерамики.

Ленточки сверла-зенкера могут быть закручены в разных направлениях, соответственно выделяют профили правого и левого вращения. Зенкеры левого вращения применяются в токарных полуавтоматах, осуществляющих подачу материала с правой стороны.



Рис. 16.2. Общий вид зенкера.

Выбор разновидности зенкера напрямую обусловлен размером отверстия в заготовке и её материалом. При диаметре до 12 мм работают цельными зенкерами, начиная от 20 мм – зенкерами-насадками и инструментом со вставными легированными лезвиями. Когда требуется сделать более гладкие и крупные

отверстия в станок устанавливаются комбинированные модели, где может быть до восьми острых зубчиков, при этом данные зенкеры опционально комбинируются со сверлами, развертками и другими сверлильно-режущими инструментами.

Отличие зенкерования от смежных операций. Зенкерование сходно с развёртыванием отверстий, режущие кромки инструмента снимают лишний материал со стенок отверстия, уменьшают шероховатость и увеличивают диаметр. Это полустачечная операция, что значит, за ней следует ещё один этап обработки. Развёртывание – финишная процедура. Во время зенкерования устраняются дефекты сверления, штамповки и литья. В процессе можно немного откорректировать привязку, добиться лучшей соосности для будущего соединения. Точность удаётся повысить до 5, а иногда даже до 4-го класса. При установке режима резания нужно помнить, что толщина удаляемого металла при зенкеровании равна половине припуска для заданного диаметра отверстия. Если сравнивать со сверлением, то подачу можно сделать больше в 1,5-2 раза, а скорость оставить такой же. Конкретные параметры резания рассчитываются по формулам, приводимым в нормативной литературе. Так как зенкер обладает большей в сравнении со сверлом жёсткостью, из-за повышенного числа острых выступов, возрастает точность направления движения, а также качество обработки, гладкость и чистота поверхности. Для сравнения сверление даёт шероховатость 20 мкм и качества 11–12, зенкерование – шероховатость 2,5 мкм, качества 9–11, а развёртывание – шероховатость 0,25-1,25 мкм и качества 6–9. Качеством называют точность изготовления детали, с увеличением его значения допуски растут, а точность падает. Если технологическим процессом для обработки изделия требуется и зенкерование и развёртка, то они производятся за одну установку и выверку заготовки на станке.

Зенкование и зенкерование нередко путают из-за схожести названий. На самом деле, зенкование имеет совершенно иную цель, и для него используется отличный инструмент, название которому зенковка. При этом виде обработки создаются углубления для размещения крепежа заподлицо с поверхностью детали. Помимо снятия фасок, зенковку применяют для вырезания углублений

конической формы. Ещё одним назначением будет зачистка и обработка выемок перед монтажом крепежа, это делается при помощи плоских или же торцевых зенковок, именуемых ещё цековками, что более грамотно.

Наибольшее распространение на рынке получили конические зенковки с рабочими углами в 90 и 120°, которыми создаются углубления, чтобы прятать шляпки болтов и винтов. В металлообрабатывающей промышленности находят своё применение и зенковки с плоским кончиком, служащие для зачистки выемок под крепежные элементы. Устанавливают зенковки в те же станки, что и другой инструмент для обработки отверстий для крепежа.

Стоит отметить, что зенкерование – обособленная операция по обработке отверстий в металлических изделиях, отличная от развёртки, и не имеющая практически ничего общего с зенкованием. Главное назначение зенкера – уменьшить шероховатости стенок отверстия и увеличить точность выполнения отверстия. Операция выполняется после сверления, литья или штамповки и предшествует чистовой обработке. Сборный зенкер может совмещаться со сверлом, развёрткой и другими инструментами. Вал прибора состоит из быстрорежущей стали, а рабочие зубцы, иногда, из твёрдосплавных вставок. Совместимые с этим отделочным сверлом аппараты – фрезеровочный, токарный, расточный и сверлильный. Выбор конкретного зенкера осуществляется в зависимости от диаметра отверстия, степени обработки и материала заготовки.

Режим работы станка и другие необходимые данные – расчётные величины, которые отображаются в рабочих чертежах изготавливаемых деталей. Отступление от этих величин и общей технологии зенкерования является одной из основных причин возникновения производственного брака. В качестве финишной операции зенкерование используется довольно редко, только при пониженных требованиях к точности, при классе ниже 4-го. На рынке продаётся множество зенкеров с разными характеристиками, оптимизированными для работы в разных условиях, под разный металл и диаметры отверстий.

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 поверх-

ности. 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 самоустанавливаются по уже имеющемуся отверстию. Развертки обычно не применяются для развертывания больших по диаметру, коротких, глухих и прерывистых отверстий.

Точность деталей определяется через такие понятия как класс и качество. Второе сейчас более употребимо, т. к. даёт более точную информацию о допустимых допусках несоответствия размеров. Между тем система классов всё ещё продолжает жить в профессиональной среде, используется квалифицированными кадрами на производствах. В отечественном машиностроении применяются только первые 9 классов по точности, и полезно знать каким качествам они соответствуют.

Классы точности при развертке. Таблица 16.1

Класс точности	Качество (отв./вал)	Допуск для Ø18-30 мм (отв./вал), мкм
1	6/5	13/9
2	7/6; 7/7	21/13
2а	8/7; 8/8	33/21
3	9/8; 9/9	52/33
3а	10/10	84/84
4	11/11	130/130
5	12/12	210/210
7	14/14	520/520
8	15/15	840/840
9	16/16	1300/1300

Пропущен 6-й класс точности, т. к. он используется крайне редко.

Установлен он для неотчетственных несопрягаемых поверхностей. Система допусков зафиксирована в ГОСТ 11472-69, ГОСТ 7713-62 и других.

Максимальная точность получаемых отверстий зависит от способа их обработки и применяемого инструмента. Зенкерование и развёртывание имеют разный показатель максимально возможного качества и класса. Обычно эти операции выполняются последовательно одна за другой.

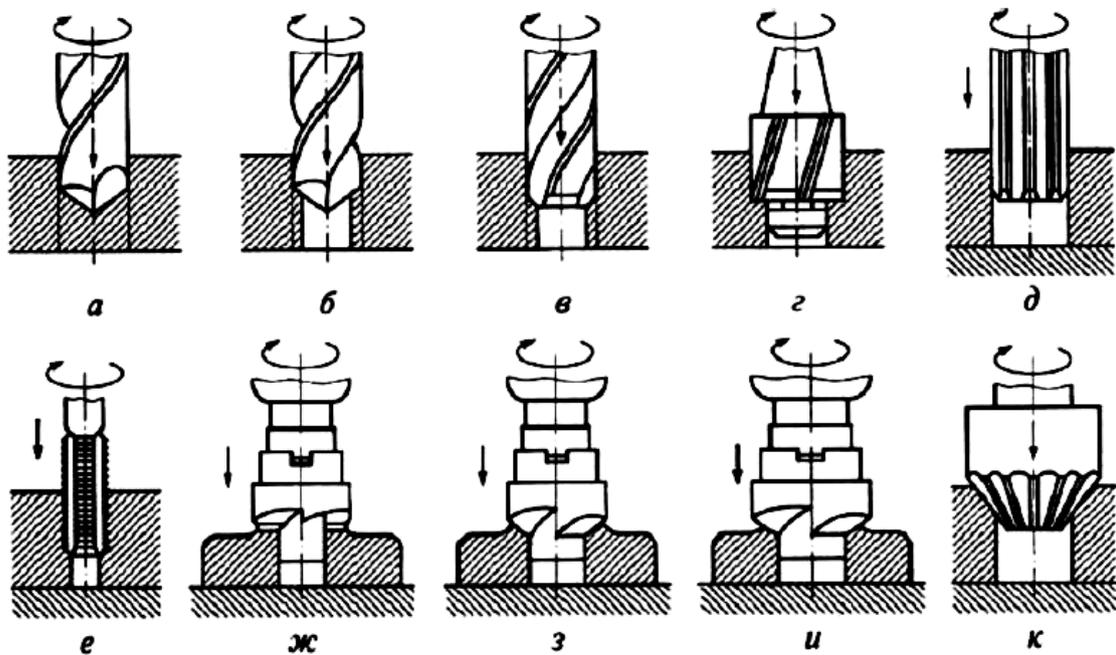


Рис. 16.3. Движение осевого инструмента при обработке отверстий на разных операциях.

a – сверление; *б* – рассверливание; *в*, *г* – зенкерование; *д* – развертывание; *е* – нарезание внутренней резьбы; *ж* – цекование; *з*, *и*, *к* – зенкование.

Сначала деталь зенкеруют, с боковых поверхностей отверстия удаляется лишний материал, правятся возможные незначительные отклонения его расположения. Главное чего удаётся добиться на этом этапе – уменьшить неровность стенок. Достижимый результат – 4-й класс точности и 11 квалитет.

Далее деталь обрабатывают с помощью развёртки, работа может проводиться на тех же самых станках. Инструмент, так же как и зенкер, сделан из легированной стали и оснащён твёрдыми сплавами, количество зубьев у него увеличено. Развёртка срезает более мелкую стружку, так достигается точность отверстий соответствующая 2–3 классу. Для высокоточных деталей 1-го класса развёртку применяют многократно, существуют и другие доводочные операции.

Зубья у развёрток чаще прямые. Винтовые используются для обработки отверстий с пазами, закручивание профиля инструмента берут противоположным направлением резания, для того чтобы его не затягивало в отверстие. Режущие выпуклости расположены на стержне развёртки неравномерно с тем, чтобы исключить влияние неоднородности металла заготовки. Наличие вкраплений с отличной плотностью изменяет нагрузку на контактирующий зуб, и

при отсутствии у них разбежки, на этом месте появиться местное углубление или выпуклость.

По той причине, что развёртка срезает при обработке меньше металла, она не используется для исправления направления отверстия, подобное просто не рационально. Следовательно, перед чистой операцией развёртывания должна идти более грубая обработка, зенкерование или растачивание. Исключение составляют отверстия до 10 мм диаметром, расточка которых сложна, а зенкеров подходящих габаритов попросту нет, тогда развёртка идёт сразу после сверления и выполняется особо аккуратно.

Чтобы достичь высоких показателей качества нужно обеспечить чёткую оснность обрабатываемого отверстия и инструмента. Выполнение сразу после зенкерования на том же станке помогает избежать погрешностей при переустановке заготовки в патроне. Детали с отверстиями 2-го класса точности правильно обрабатывать за 2 прохода, первый – черновой развёрткой, второй – чистой. Величина припуска для первого раза – $2/3$ общего значения. Резак для такой менее требовательной процедуры – это отшлифованная и откалиброванная потерявшая размер развёртка.

Растачивание отверстий может осуществляться двумя способами:

- 1) растачивание, при котором вращается заготовка (на станках токарной группы) и
- 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 (рис.16.4)

Для финишной обработки отверстий применяют внутреннее шлифование, хонингование, раскатывание.

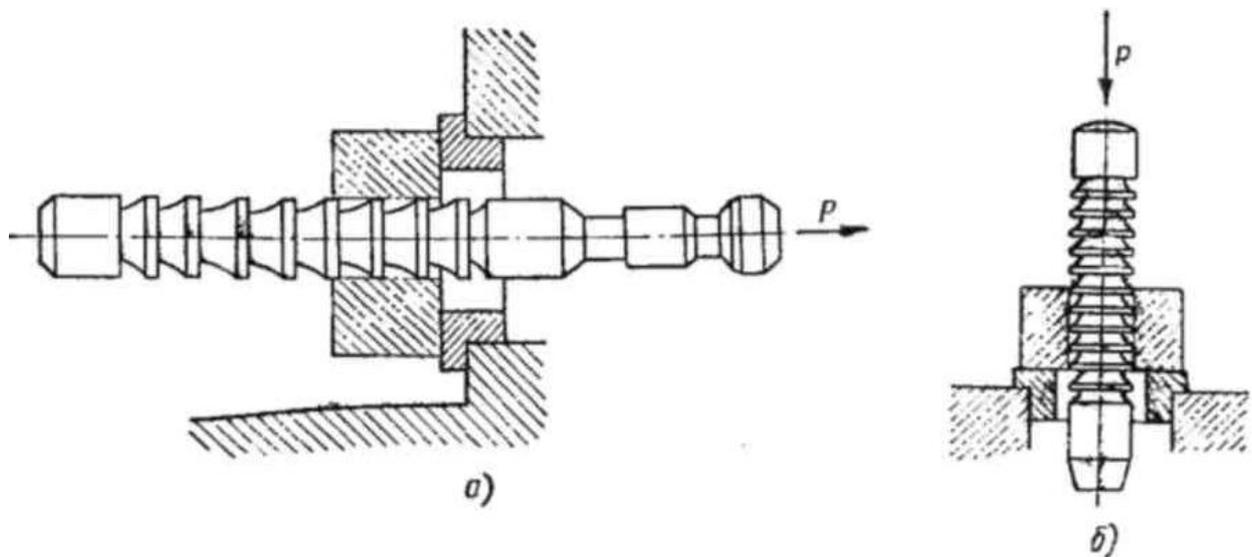


Рис. 16.4. Операция протягивание. а) горизонтальное, б) вертикальное.

Протягивание отверстий. Протягиванием называется обработка поверхностей инструментами - протяжками, снабженными зубьями, расположенными перпендикулярно оси инструмента; каждый из зубьев снимает определенный слой металла, так как высота зубьев различна. Снятие металла с поверхности при обработке отверстий происходит при перемещении протяжки по направлению оси обрабатываемой детали.

Наиболее распространенные протяжки для обработки ранее просверленных или расточенных отверстий состоят из хвостовика 1 (фрис.16.5) с замком для крепления инструмента; шейки 2, поперечное сечение которой выбирается так, чтобы при перегрузке протяжки ее разрыв произошел в этом, а не в каком-либо другом месте, где было бы трудно вновь сварить разорванные части инструмента; направляющей части 3, необходимой для предварительной ориентировки протяжки в обрабатываемом отверстии; рабочей части 4 (режущие зубья); калибрующей части 5 (калибрующие зубья); поддерживающей части 6.

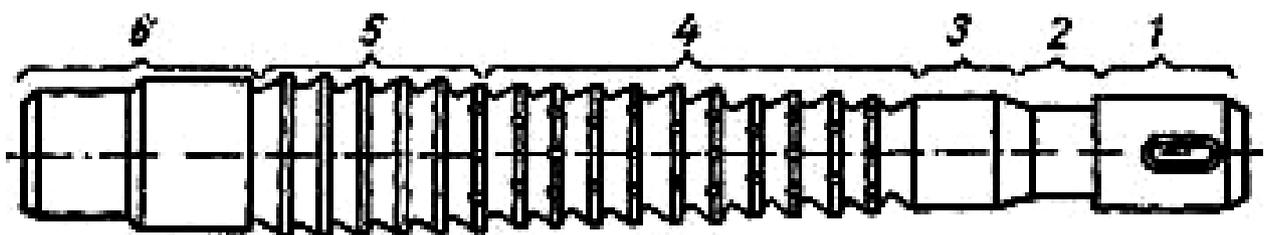


Рис. 16.5. Протяжка.

Расстояние между режущими кромками двух соседних зубьев, называемое шагом зубьев, различно у режущих и калибрующих зубьев. Для первых оно выбирается в зависимости от длины обрабатываемого отверстия, для вторых - обычно в среднем принимается равным половине шага режущих зубьев.

Условием правильной работы протяжки является одновременное резание не менее чем тремя зубьями. Однако во избежание появления чрезмерных усилий и разрыва протяжки в работе должно находиться не более 6-8 зубьев. Для получения после обработки более ровной и чистой поверхности шаг зубьев должен быть неодинаков (различие в шаге 0,2-0,3 мм).

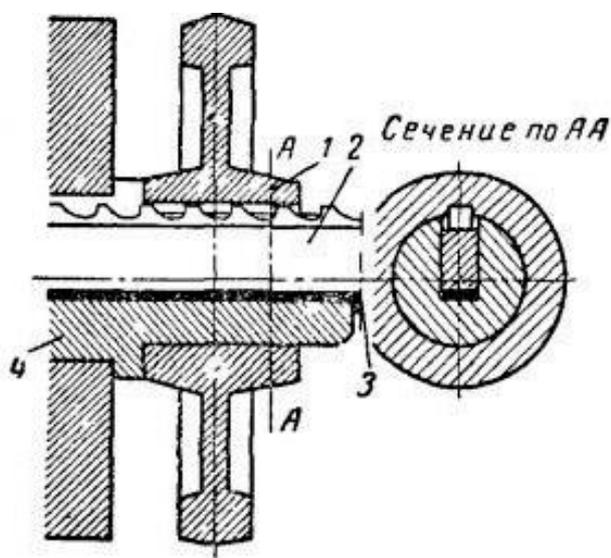
Высота зубьев рабочей части постепенно увеличивается от хвостовика к калибрующей части, в зависимости от обрабатываемого материала и размеров протягиваемого отверстия, на 0,01-0,2 мм.

Обычно рабочую и калибрующую части протяжки изготавливают из быстрорежущей стали, остальные части делают из конструкционной стали и сваривают с частями, изготовленными из быстрорежущей стали. Для уменьшения длины протяжки применяют прогрессивные протяжки (рис.16.5), у которых режущая часть большинства зубьев срезают металл не по всей окружности отверстия, а в отдельных ее частях («прогрессивное резание»). Только последними калибрующими круглыми зубьями отверстию придается цилиндрическая форма. В результате уменьшения ширины стружки можно увеличить ее толщину и, следовательно, уменьшить количество режущих зубьев протяжки, сократив ее длину почти вдвое, и уменьшить усилия резания, действующие на инструмент. Количество зубьев в секции 3-6 каждой секцией снимается слой металла толщиной 0,1-0,4 мм. На конце протяжки расположены круглые чистовые и калибрующие зубья.

Протягивание необработанных поверхностей затрудняется значительными колебаниями в их форме и размерах. В этих случаях применяют прогрессивные протяжки с зубьями четырех- или шестигранной формы, а также с шлицеобразными зубьями.

Различают свободное и координатное протягивание. В первом случае производится обработка поверхностей без придания им определенного, заранее

заданного положения относительно других поверхностей. Это обычное протягивание круглых и фасонных отверстий. При координатном протягивании требуется обеспечить определенную координацию обработанной протяжкой поверхности относительно других поверхностей, например, положения шпоночной канавки относительно оси ранее обработанного отверстия (рис.16.6). В этом случае обрабатываемая деталь не ориентируется в пространстве самой протяжкой, как при свободном протягивании: детали придается определенное положение на станке. Протяжка также перемещается по соответствующим направляющим или по поверхности детали, относительно которой должна



быть координирована протянутая поверхность. Очень часто обработку отверстий производят инструментом, подобным обычной протяжке (но более коротким), проталкивая его на прессе через обрабатываемое отверстие. При этом инструмент работает на сжатие в отличие от протяжки, работающей на растяжение.

Рис. 16.6. Схема координатного протягивания (обработка шпоночной канавки). 1- обрабатываемая деталь, 2- протяжка, 3- подкладка, 4- направляющий палец.

Этот процесс называют *прошиванием* отверстия, применяемые инструменты - прошивками.

Прошивание отверстий применяется обычно для их калибровки чаще всего после термической обработки деталей, при которой нарушается правильное и, формы отверстий. При протягивании и прошивании движения подачи не требуется, так как снятие последовательно отдельных слоев металла осуществляется вследствие различия в размерах зубьев протяжки.

Протягивание применяется при обработке различных внутренних поверхностей (круглых и фасонных отверстий диаметром 6-100 мм), плоскостей и внешних фасонных поверхностей. Некоторые виды поверхностей (например, шлицевые отверстия) в настоящее время обрабатывают только протягиванием

вследствие больших трудностей, возникающих при обработке таких поверхностей другими способами.

Широкое применение протягивания поверхностей (особенно в крупносерийном и массовом производствах) объясняется следующими преимуществами этого процесса:

- 1) высокой производительностью обработки;
- 2) высокой точностью (до 2-го класса) и высокой чистотой обработки (до 9-го класса);
- 3) простотой обслуживания станка и возможностью автоматизации процессов;
- 4) упрощением технологического процесса обработки детали в результате замены протягиванием последовательной обработки поверхности несколькими инструментами (зенкером и разверткой или расточным резцом и разверткой и т. д.);
- 5) возможностью обеспечить нужную точность протягиванием некоторых поверхностей (например, шлицевых отверстий), которые трудно точно обработать другими способами.

Применение протягивания ограничивается следующими причинами:

- 1) возникновением при протягивании значительных усилий резания, которые могут вызвать деформации обрабатываемых (особенно тонкостенных коробчатых) деталей;
- 2) невозможностью протягивания поверхностей деталей больших размеров;
- 3) невозможностью протягивания глухих отверстий;
- 4) высокой стоимостью протяжек;
- 5) невозможностью протягивания поверхностей при такой твердости поверхности, при которой неприменим лезвийный инструмент;
- 6) трудностью точно координировать положение оси обрабатываемого отверстия относительно других поверхностей детали (т. е. трудность исправить положение этого отверстия).

Протяжные станки для обработки отверстий подразделяют на следующие виды:

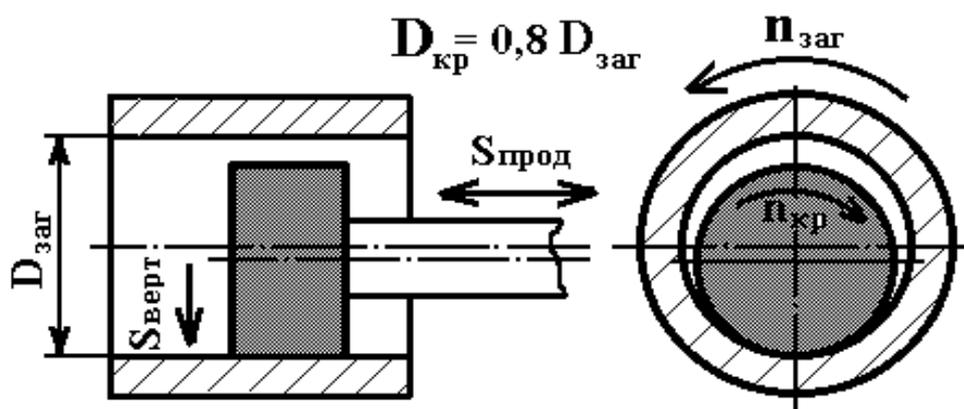
- 1) горизонтальные: а) с одним ползуном; б) с двумя ползунами;

- 2) вертикальные с одним ползуном;
- 3) вертикальные полуавтоматы: а) с одним ползуном; б) с несколькими ползунами.

Обычно станки, снабженные ползунами для придания протяжкам прямолинейного движения, имеют гидравлический привод.

Наиболее универсальными и широко распространенными во всех видах производства являются горизонтально-протяжные станки, предназначенные для обработки отверстий. Для вертикально-протяжных станков требуется меньше площади.

Шлифование применяют для окончательной обработки закаленных заготовок для обеспечения точности размеров IT6...IT7 и шероховатость поверхности $R_a = 0,4...1,6$ мкм. На рис. 16.7 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 обрабаты-



ваемой поверхности отверстия осуществляется по удлиненной дуге, что вызывает более интенсивный нагрев

Рис. 16.7 Схема внутреннего шлифования. 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.16.8 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...40 м/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 HRC₃ и заготовок из цветных металлов и сплавов.

Данный процесс обеспечивает достижение точности отверстий до 6 квалитета и шероховатость поверхности 0,2...0,4 мкм по R_a.

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 много роликовые раскатки. Схема процесса раскатывания много роликовой

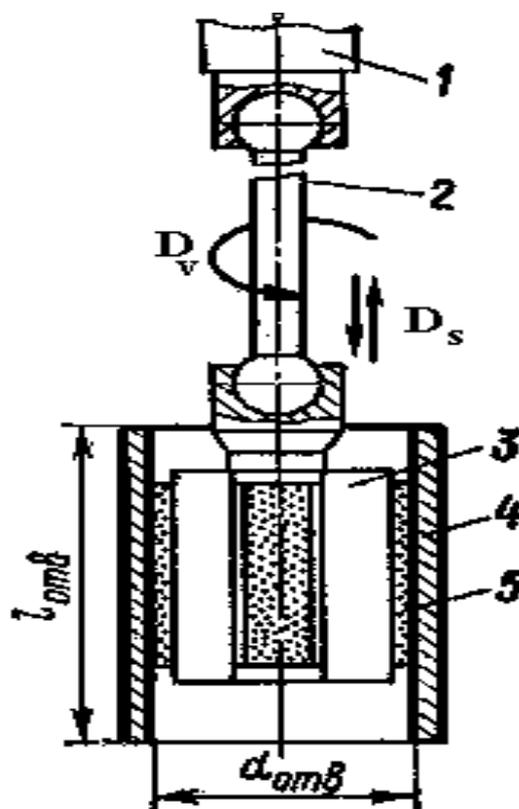


Рис. 16.8 Хонинговальная головка.

раскаткой приведена на рис. 16.9. До раскатывания отверстие заготовки 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. Данная операция эффективна при финишной обработке длинных отверстий, так как внутреннее шлифование таких отверстий вызывает большие технологические трудности.

Типовой маршрут изготовления втулок: На рис. 16.10 показан чертеж одной из конструкций втулок. 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.

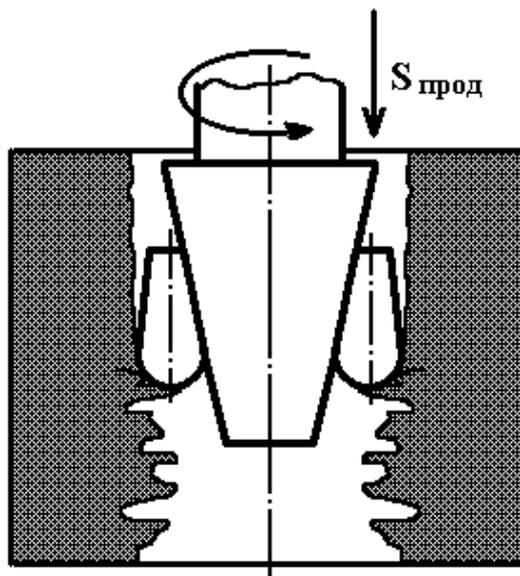


Рис.16.9. Схема раскатывания отверстия.

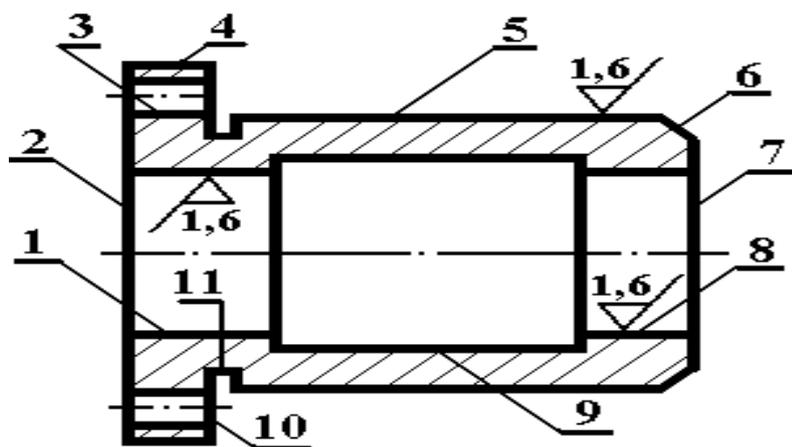


Рис. 16.10 Чертеж втулки.

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. Из каких материалов можно раскатывать втулки?
8. Какой процесс более эффективен при обработке внутренних поверхностей втулок: протягивание, хонингование или раскатывание?
9. Для чего применяют шлифование?
10. Для чего применяют раскатывание отверстий?
11. Что означает свободное и координатное протягивание?
12. Что служит материалом для изготовления деталей класса втулок?
13. Как производится операция протягивания?
14. Как производится операция хонингования?
15. Как производится операция раскатывания?
16. Для чего предназначен инструмент – зенкер?
17. Как подразделяются зенкеры?
18. В каких направлениях могут быть закручены ленточки сверла-зенкера?
19. В отличие зенкерования от смежных операций?
20. Для чего служит развертывание отверстий?

Раздел 17

17. Технология изготовления деталей типа рычагов и дисков

17.1. Характеристика деталей типа рычагов

Деталь "Рычаг" одна из распространённых деталей машиностроения. Её основное назначение - это передача движения. Деталь, на рисунке 17.1 представляет собой угловую форму, величина угла меньше прямого, меньше 90 градусов. В центре данного угла находится шлицевое отверстие. По краям на каждой из сторон имеются цилиндрические отверстия и центральные прорезы вдоль главной оси детали. То есть края "рычага" представляют собой форму вилки. На протяжении каждого колена с обеих сторон имеются углубления, которые необходимы для снижения общей массы детали и тем самым повышению экономической эффективности в связи с меньшим количеством материала, необходимым для изготовления рычага. Исходя из такой формы детали можно сказать, что данный рычаг выполняет функцию передачи и преобразования движения из вращательного в поступательное. Как правило, у рычагов обрабатываемыми поверхностями являются площадки и отверстия в бобышках, располагаемых на концах стержня. Поперечное сечение стержня обычно некруглое.

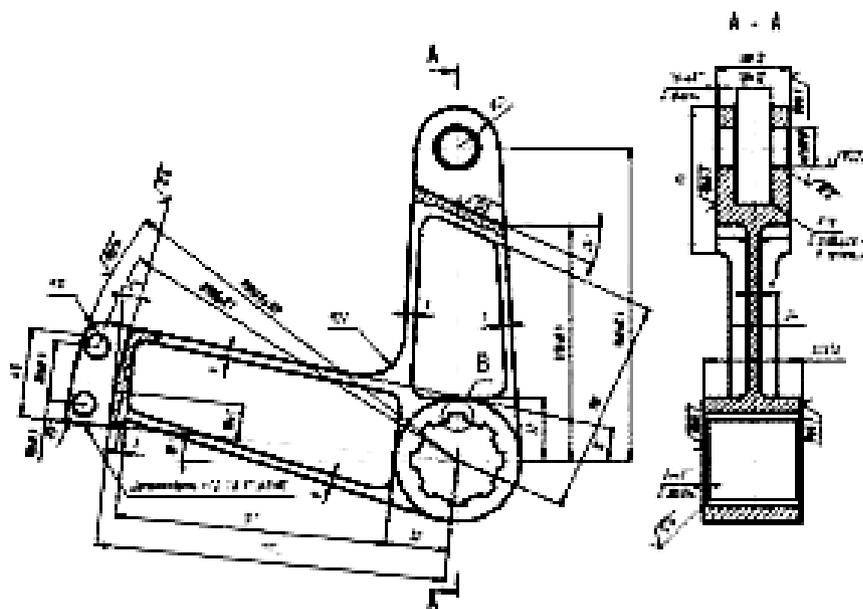


Рис. 17.1. Чертеж детали рычаг.

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 зависи-

мости от конструкции, обрабатывают шпоночные пазы, шлицевые поверхности, прорезы в бобышках, крепежные отверстия и другие поверхности.

В отдельных случаях обработке подвергаются и стержни. Так же к данному типу деталей относятся разной конфигурации, коромысла, вилки, шатуны, серьги, балансиры, 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.



Рис. 17.2. Различные виды деталей типа рычаг.

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 HRC_3 40...62.

Значительное разнообразие конструкций рычагов вызывает необходимость их классификации с целью сужения типовых технологических процессов. С этой целью рекомендуется следующая классификация.

1. Рычаги, у которых торцы втулок имеют общую плоскость или их торцы лежат в одной плоскости.
2. Рычаги, у которых торцы втулок лежат в разных плоскостях.
3. Рычаги, у которых имеется длинная втулка с отверстием и значительно более короткие втулки.

17.2. Материал и заготовки

Выбор материала зависит от служебного назначения и экономичности изготовления детали. Рычаги сложной формы могут быть достаточно экономично изготовлены из заготовки-отливки. Для деталей, работающих в машинах под небольшими, неударными нагрузками, выбирают менее дорогой и прочный серый чугун марок от СЧ12 до СЧ18. Детали, испытывающие более значительные нагрузки, изготавливают из более прочного и дорогого чугуна марок СЧ21 и СЧ24. Для нежестких деталей, работающих с толчками и ударами, недостаточно вязкий серый чугун является ненадежным материалом и заменяется ковким чугуном. При получении ковкого чугуна обязательным становится отжиг, после которого заготовки коробятся и должны дополнительно подвергаться правке.

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 изготавливают исключительно из кованных или штампованных заготовок, так как при этих методах обеспечиваются наиболее высокие механические характеристики материала. Введение дополнительных операций отжига и правки

удорожает заготовки, поэтому в ряде случаев рычаги изготавливают из стали.

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 кованую 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...15мм. 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 $R_a = 2,5 \dots 10$ мкм.

Шероховатость поверхности отливок по выплавляемым моделям соответствует $R_a = 6,3$ мкм. Отверстия диаметром менее 25 мм в заготовках литьем в песчаные формы и штамповкой обычно не получают. Припуски на обработку назначают в зависимости от величины деталей и рода заготовок. Литые чугунные заготовки должны иметь припуски в соответствии с ГОСТ 26645-85. Штампованные стальные заготовки изготавливают по ГОСТ 7505-89. Примерные

численные значения величин припусков по торцам следующие: для стальных штампованных заготовок -1,5...2 мм на сторону; для чугуновых заготовок - 3...4 мм на сторону; для поковок свободнойковки - 6...8 мм.

17.3. Технологические требования изготовления и технология обработки 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.

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 элементов, 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 агрегат-

ных 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 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 универсальных станках с ручным управлением в качестве технологических баз принимают обработанные торцы и наружные необработанные поверхности бобышек, благодаря чему достигается равная толщина стенок головок. Для формирования шпоночных и шлицевых пазов рычаги базируют по обработанным основным отверстиям и торцам. Для угловой ориентации используют либо второе отверстие, либо необработанную 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.

17.4 Технология изготовления и характеристика деталей типа дисков

Детали типа дисков широко применяются при изготовлении агрегатов транспортных и технологических машин. Это маховики, фланцы, шестерни, ведущие и направляющие колеса, опорные и поддерживающие катки, крышки, барабаны, различные кольца, диски трения, шкивы и др (рис. 17.3). 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, короткие цилиндрические и конические наружные и внутренние поверхности, обрабатываемые, в основном, при вращении детали.



а) неventилируемый

б) вентилируемый

Рис. 17.3. Тормозные диски машин.

К большинству деталей типа дисков предъявляются высокие технические требования по точности, прочности, жесткости, износостойкости, коррозионной стойкости и другим свойствам, определяемым их назначением.

На операциях обработки резанием технологическими базами служат сначала один торец и наружная или внутренняя цилиндрическая поверхность заготовки, а в последующем – поверхности, обработанные на первой операции. Если требуется угловая ориентация, то используются ее выступающие бобышки, а при их отсутствии – отверстие, обработанное на первых операциях. Наиболее массовыми и характерными деталями типа дисков являются зубчатые колеса.

17.4.1 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 $HВ = 170...240$. Диски трения изготавливают из легированной стали с покрытием металлокерамикой.

Наиболее широко используют стали 20, 45, 20Х, 40Х, 12ХНЗА, 18ХГГ, 25ХГТ, 40ХФА. Колеса из сталей 12ХНЗА, 20Х и 25ХГТ, 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 объемной штамповки ограничивается свойствами 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 спекаются 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 11...14-му квалитетам, а коэффициент использования металла - до 0,93.

17.4.2 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, шпицы, 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

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.

17.5 Технологический процесс изготовления поворотного кулака

Поворотный кулак (рис. 17.4) 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° . 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. 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 $R_a = 0,80$ мкм.

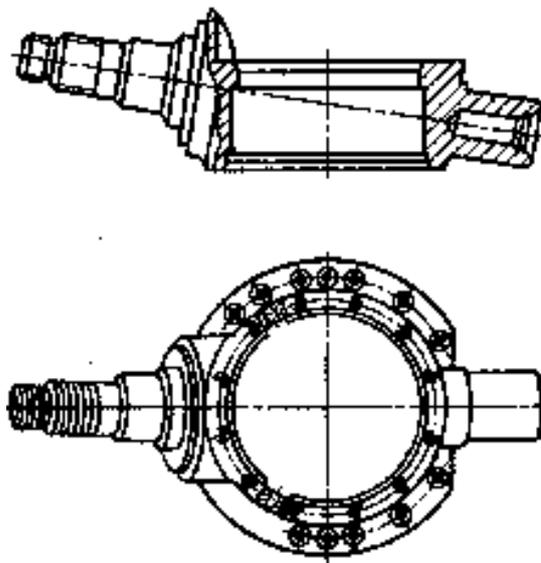


Рис. 17.4 Поворотный кулак.

Поле допуска наиболее точных ступеней центрального отверстия соответствует 7...8-му квалитетам точности, шероховатость поверхности $R_a = 0,32$ 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 100 мм. 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 HRC₃);

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 длинной цапфы;

22) мойка, окончательный контроль и нанесение клейма на 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 чистовую 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 об-

работки. Соответствие действительных размеров, отклонений расположения поверхностей требованиям чертежа контролируют с помощью скоб, эталонов, шаблонов, пробок и специальных контрольных приспособлений.

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Дайте характеристику деталей типа рычагов, дисков и поворотного кулака.
2. Перечислите основные материалы для изготовления рычагов и дисков.
3. Составьте маршрутную технологию обработки рычага.
4. Перечислите основные требования к изготовлению рычагов и дисков.
5. Приведите способы базирования деталей различных рычагов и дисков.
6. Опишите технологический процесс изготовления поворотного кулака
7. Как выполняют по копирам чистовую обработку?
8. От чего зависит выбор материала при изготовлении деталей типа рычаг?
9. В чем состоит конструктивная особенность деталей типа дисков?
10. Как обычно получают чугунные заготовки рычагов?
11. Какому технологическому процессу следует подвергать отливки из ковкого чугуна для уменьшения ее остаточных деформаций?
12. Каким способом можно достаточно экономично изготовить рычаги сложной формы?
13. Какие технические требования предъявляются к рычагам в зависимости от служебного назначения и конструкции деталей?
14. Назовите рекомендации по классификации конструкций рычагов с целью сужения типовых технологических процессов.
15. Каким видом металла заменяется вязкий серый чугун при изготовлении нежестких деталей, работающих с толчками и ударами?
16. Какой видковки используют в условиях единичного и мелкосерийного производства для получения стальных заготовок простой конфигурации?
- 17.
18. Как осуществляют штамповку?
19. Какой метод прессования является перспективным для изготовления рычагов, вилок и других деталей?
20. Для чего используют стержни?

Раздел 18

18. Технология изготовления зубчатых колес

18.1. Характеристика и конструктивные особенности 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. Наиболее часто встречающиеся конструкции зубчатых колес можно разделить на:

Конические колеса изготавливают венцовыми без ступицы или со ступицей (рис. 18.1 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.

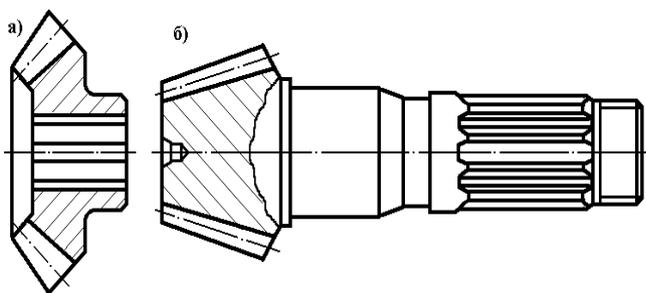


Рис.18.1 Конические
зубчатые колеса

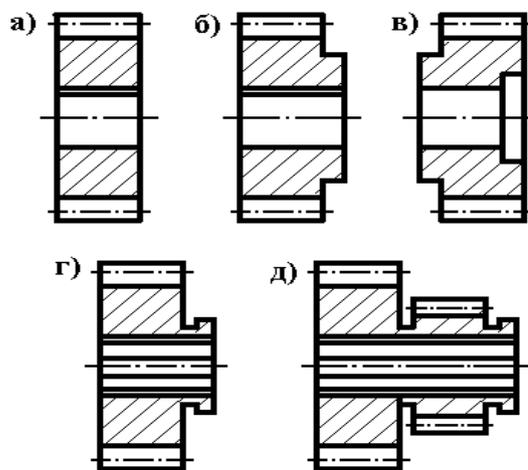


Рис.18.2 Цилиндрические
зубчатые колеса

Цилиндрические: одновенцовые колеса с плоскими торцами (тип а, б); одновенцовые с выточками в торце (тип в); одновенцовые со ступицей (тип г); многовенцовые блочные (тип д), (рис.18.2). По форме зуба цилиндрические колеса разделяют на прямозубые, косозубые, шевронные и винтовые. 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. Червячное зубчатое колесо (рис. 18.3) изготавливают или цельным для малых размеров червячных пар, или сборным со вставным венцом.

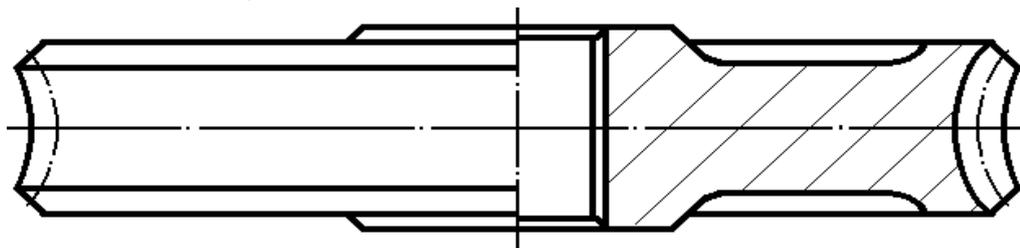


Рис. 18.3 Червячное колесо

18.2 Материал и способы получения заготовок 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 HRC₂) и вязкой сердцевиной.

в) легированные стали, подвергаемые азотированию, в основном, марок 35ХНЮА, 38ХМЮА;

г) стальное литье из углеродистой стали марок 40Л, 50Л, 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.

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 заготовки получают в открытых штампах, а в крупносерийном и массовом – в закрытых штампах. Основным способом 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 свыше 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.

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.

В последние годы стали использовать зубчатые колеса, полученные методом порошковой металлургии – колеса спекают 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.

18.3 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.

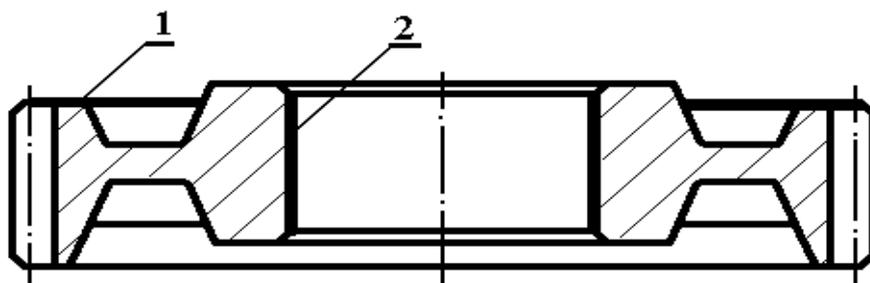
Кроме того, установлены 12 степеней точности, определяющие нормы кинематической точности, плавности работы колеса и контакта боковых поверхностей зубьев сопряженных колес. Показатели, характеризующие нормы точности, могут быть комплексными или дифференцированными. Зубчатые колеса целесообразно контролировать 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 транспортных 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 допускаются 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 T_n (T_n – допуск на смещение исходного контура), когда окружность выступов (D_B) исполь-

зуется 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.

У одновенцовых и многовенцовых *цилиндрических колес* с достаточной длиной центрального отверстия ($L/D > 1$) в качестве технологических баз используется *отверстие 1* и *торец 2* (рис.18.4). Если соотношение $L/D < 1$, то зубонарезание производится пакетом колес. При шлицевом отверстии у колеса оно



центрируется по внутреннему диаметру шлиц на гладкой оправке.

Рис. 18.4 Схема базирования шестерни для обработки.

Влияние базирования на точность изготовления зубчатого колеса показано на рис. 18.5 а, б. Неправильно производить базирование заготовки по торцу зубчатого венца, а зажим за торец ступицы (рис. 18.5, а), так как в этом случае происходит изгиб заготовки. При обработке зубьев базирование и зажим заготовки следует производить по торцам зубчатого венца (рис. 18.5, б).

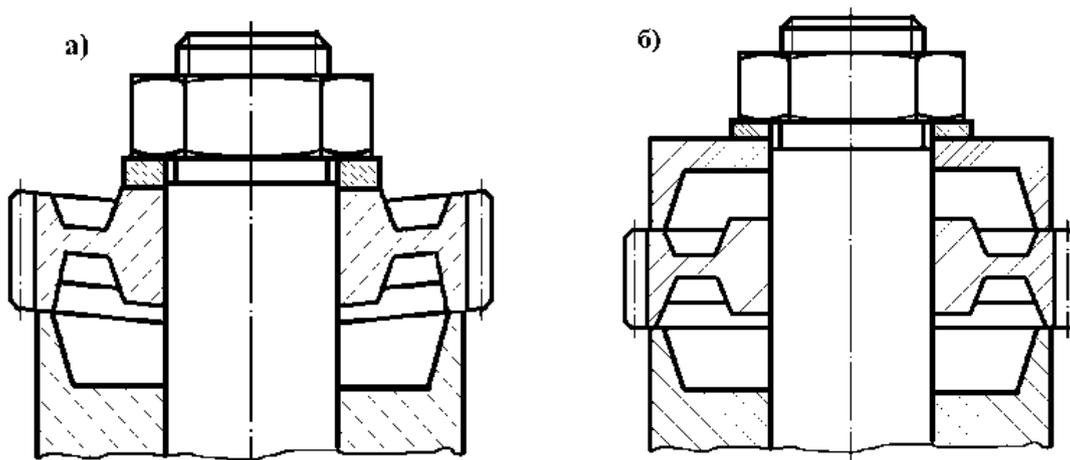
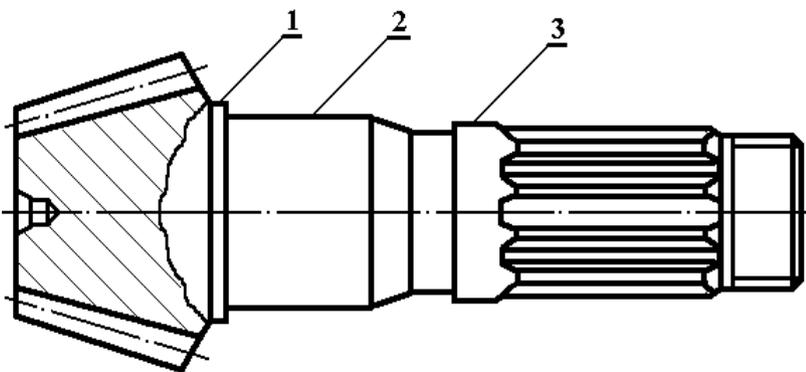


Рис. 18.5 Влияние базирования на точность изготовления колеса

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* базируются 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) базируются по эвольвентной боковой поверхности зубьев. Данный способ базирования обеспечивает наибольшую точность 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 18.6) 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.

Рис. 18.6 Схема базирования конических зубчатых колес.

4. Твердость рабочих поверхностей у незакаленных зубьев обычно находится в пределах HB 180...270, у закаленных зубьев из углеродистых и легированных сталей – HRC₂ 48...60. Твердость зубьев цементуемых колес должна быть в пределах HRC₃ 45...60 при глубине слоя цементации 1...2 мм, а при цианировании HRC₃ 42...55 при глубине слоя 0,5...0,8 мм.

Шероховатость поверхности зубчатого венца должна быть не более 1,6 мкм (по R_a), отверстия и торцов – 1,25 мкм, а эвольвентный профиль зуба – 0,4 мкм.

18.4 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 оказывает степень точ-

ности 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. Заготовка 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: - 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 незакаливаемых 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 малопроизводительная, позволяет нарезать только зубья невысокой степени точности. Погрешность обработки при данном методе нарезания зубьев определяется неточностью 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 24с. 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 18.7). При входе заготовки 1 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 к 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. 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.

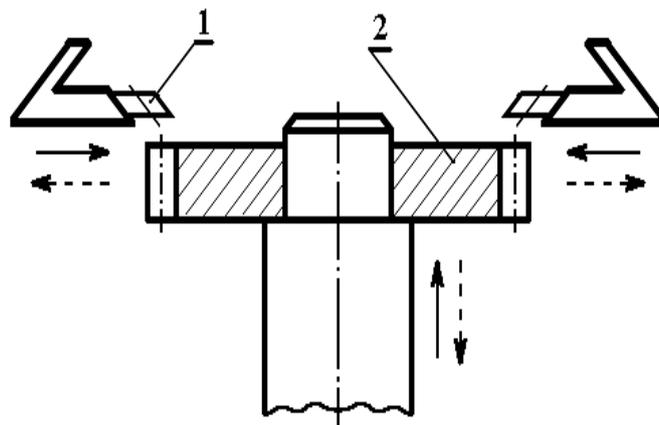
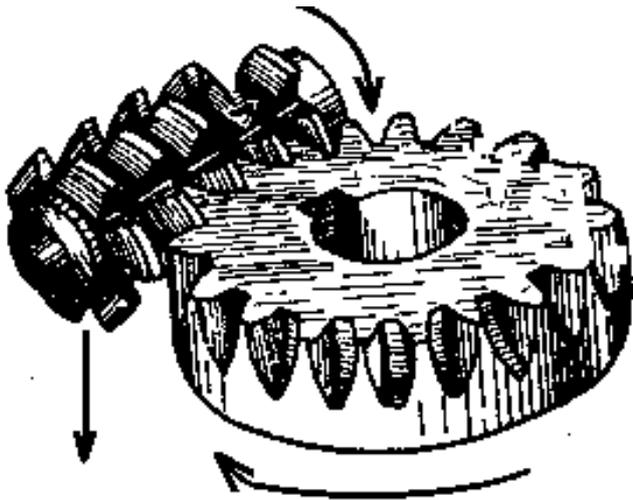


Рис. 18.7 Схема зубодолбления резцовыми головками.

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, воспроизводя движение зубчатой пары (зубчатой или червячной передачи). Данный метод обеспечивает высокую производительность и качество обработки (не ниже 8-й степени точности). Червячной фрезой (рис. 18.8) 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.

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 подачи: 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

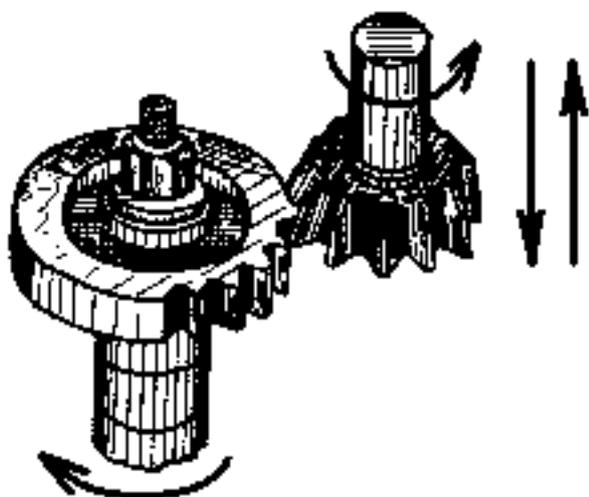
Рис. 18.8 Зубонарезание червячной фрезой. подачи является большая длина врезания червячной фрезы. При фрезеровании с радиально-осевой подачей червячная фреза в начале резания и до получения полной высоты зуба перемещается радиально. Затем радиальная подача выключается и включается осевая. Этот способ 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. Довольно часто встречаются конструкции колес, у которых зубья близко расположены к буртикам или со-

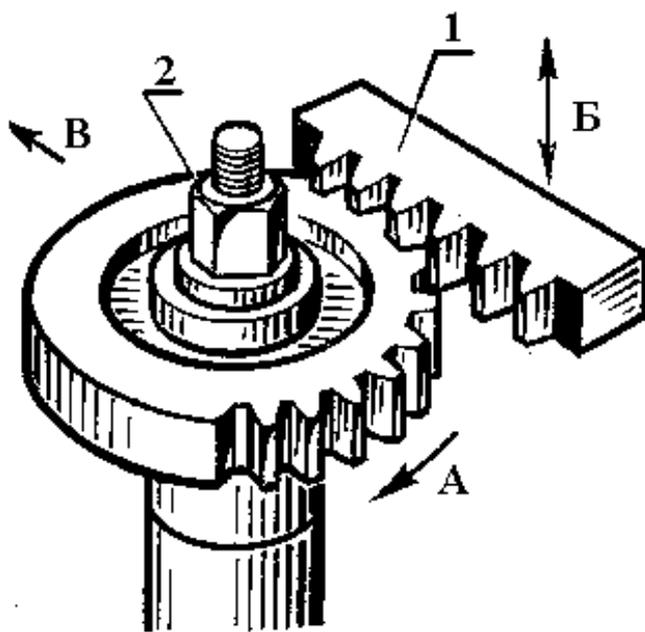


седними венцам блочного колеса. Для получения зубьев в этих случаях применяется операция *зубодолбление*, которая производится на специальных зубодолбежных станках. Режущим инструментом является круглый долбяк (рис. 18.9) с режущими элементами (зубьями), имеющими эвольвентный корригированный профиль.

Рис. 18.9 Схема зубодолбления.

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 (m) колеса до 2 мм, при $m = 3 \dots 4$ мм – два рабочих хода и при m 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 высокоточных зубчатых колес используют зуборезные гребенки (рис. 18.10), которые более точные инструменты, чем червячные фрезы и долбяки. При нарезании колеса гребенка 1, закрепленная на ползуне станка, имеет возвратно-поступательное движение Б в вертикальной плоскости относительно нарезаемого колеса 2.

Рис. 18.10 Зубонарезание гребенкой.

Движение обкатывания выполняется только нарезаемым колесом, совершающим два взаимно согласованных движения – вращательное А вокруг своей оси и поступательное В параллельно гребенке. Зубья колеса нарезаются только во время прямого хода сверху вниз, при обратном ходе гребенка отводится от заготовки во 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. Основной недостаток данного метода нарезания колес – малая производительность из-за цикличности процесса.

18.5 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 закругления обычно применяют фасонную пальцевую фрезу (рис 18.11, 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 18.11, б). Чашечные фрезы с прямолинейными режущими кромками проводят остроугольное закругление 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, кото-

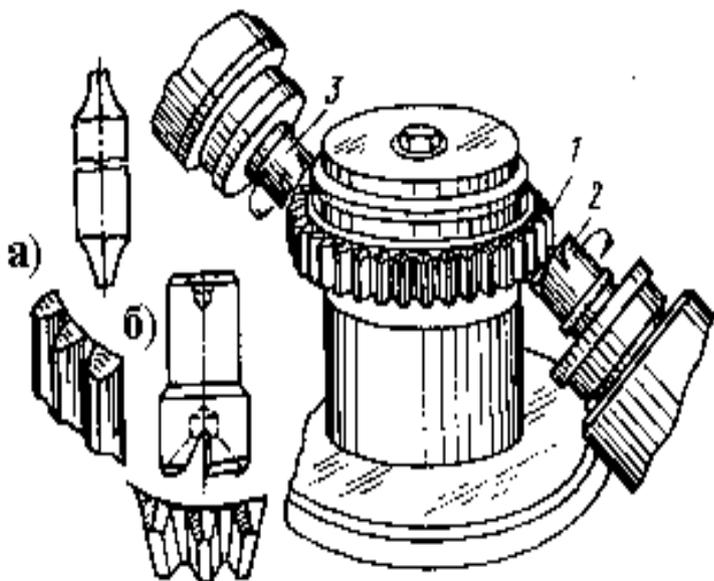
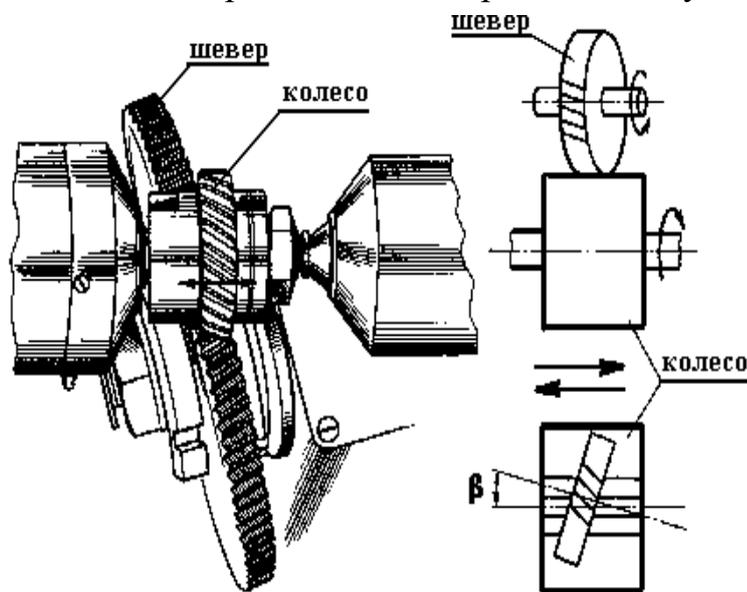


Рис.18.11 Зубозакругление зубчатых колес.

рые ухудшают качество зацепления, приводят к сколам острых кромок. Для снятия фасок и удаления заусенцев с торцов цилиндрических колес созданы высокопроизводительные 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 $R_a = 0,8...0,2\text{мкм}$. Шевингование колес (рис. 18.12) 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 1мм, которые образуют



многочисленные режущие кромки.

Шевер для прямозубых цилиндрических колес имеет косые зубья, расположенные под углом $\beta = 10...15^\circ$ для обработки стальных колес и под углом до 20° для обработки колес из чугуна и пластмассы.

Рис. 18.12 Схема шевингования зубчатого колеса.

В результате прижима шевера к обрабатываемому колесу с помощью подачи стола, на котором закреплено колесо, и относительного скольжения боковых поверхностей между ними, возникающего при 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 ше-

вингование 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 создает 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 $V_0 = 100 \dots 120$ м/мин. Частота вращения шевера:

$$n_{III} = 1000 V_0 \setminus z_{III} \text{ м } \pi, \quad (\text{об/мин}) \quad (18.1)$$

а частота вращения обрабатываемого колеса:

$$n_k = n_{III} z_{III} \setminus z_k, \quad (\text{об/мин}) \quad (18.2)$$

где z_{III} и z_k – соответственно число зубьев шевера и колеса.

Радиальная подача при параллельном и диагональном шевинговании принимается в пределах $0,02 \dots 0,06$ 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. Дополнительно осуществляют два-четыре калибрующих хода без радиальной подачи. Практически суммарное число ходов стола $6 \dots 10$. При большем числе ходов стола стойкость шевера снижается. Продольная подача стола станка в пределах $0,2 \dots 0,6$ мм/об обрабатываемого колеса. На точность шевингования влияет точность станка и оснастки. Биение наружного диаметра инструментального шпинделя не должно превышать $0,005 \dots 0,01$ мм, торца шевера – $0,010 \dots 0,015$ мм, биение центрирующей шейки оправки не должно быть более $0,01$ мм. В таблице 18.1 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.

Средняя точность (мм) зубчатых колес при зубофрезерований и шевинговании.

Таблица 18.1

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

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.

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 закаленных зубьев. Шлифование производится либо методом копирования или обкатки. На станках, работающих по методу копирования, зубья 2 шлифуют профилированными кругами 1 (рис 18.13), а точность профиля зуба зависит от точности профиля шлифовального круга и равномерности его изнашивания. Обработку производят сразу всего профиля впадины зубьев. Шлифовальный круг вращается ($V_k = 30...35$ 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 об-

катки, невелика. Боковые поверхности зубьев 2 обрабатываются шлифовальными тарельчатыми кругами 1 (рис 18.14). Движение обкатки складывается из двух движений: реверсивное вращения колеса вокруг своей оси и возвратно-поступательного движения. Круги имеют только вращательное движение.

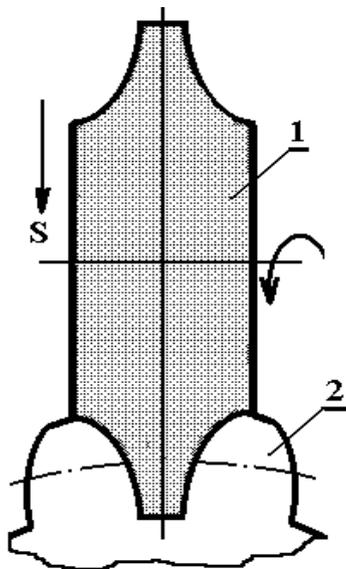


Рис. 18.13 Шлифование зубьев профильным кругом

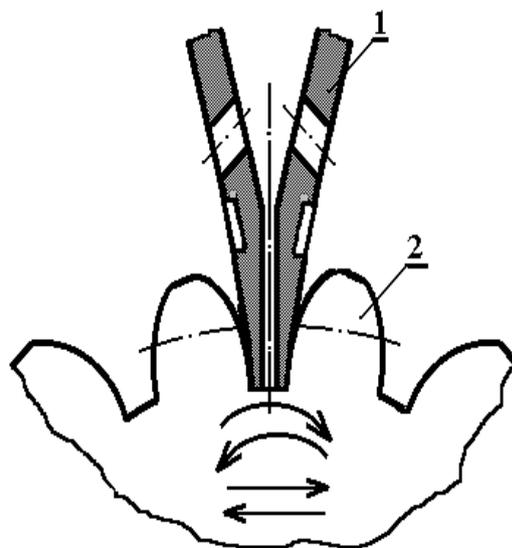


Рис. 18.14 Шлифование зубьев тарельчатыми кругами

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. Производительность 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 зубья-

ми, состоящее из стальной ступицы и пластмассового венца, пропитанного мелкозернистым абразивным порошком.

Кинематика хонингования примерно аналогична кинематики шевингования. Хон приводит во вращение обрабатываемое колесо, прижимаясь к нему с регулируемым усилием от 10 до 400 Н. Частота вращения хона $180 \dots 200 \text{ мин}^{-1}$. Колесо совершает дополнительно продольное возвратно-поступательное движение со скоростью $100 \dots 250 \text{ мм/мин}$. Обработка завершается за $2 \dots 6$ продольных рабочих ходов. Охлаждающей жидкостью является керосин или промышленное 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 $2 \dots 3 \text{ дБ}$, 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 $2 \dots 5^\circ$, что увеличивает скольжение зубьев притиров относительно зубьев колеса. Притиры совершают реверсивное вращение, чтобы исключить одностороннюю притирку боковой поверхности зуба. Основное время операции $2 \dots 3 \text{ мин}$.

18.6 Контроль колес

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. 18.15). Колебание межцентрового расстояния характеризует суммарные погрешности зацепления, образуемые биением зубчатого венца, отклонениями шага, изменениями толщины зуба, изменениями 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 от 2...5% общего выпуска. По результатам проверки, если это необходимо, наладчик вносит изменения в наладку станков. После термической и финишных операций про-

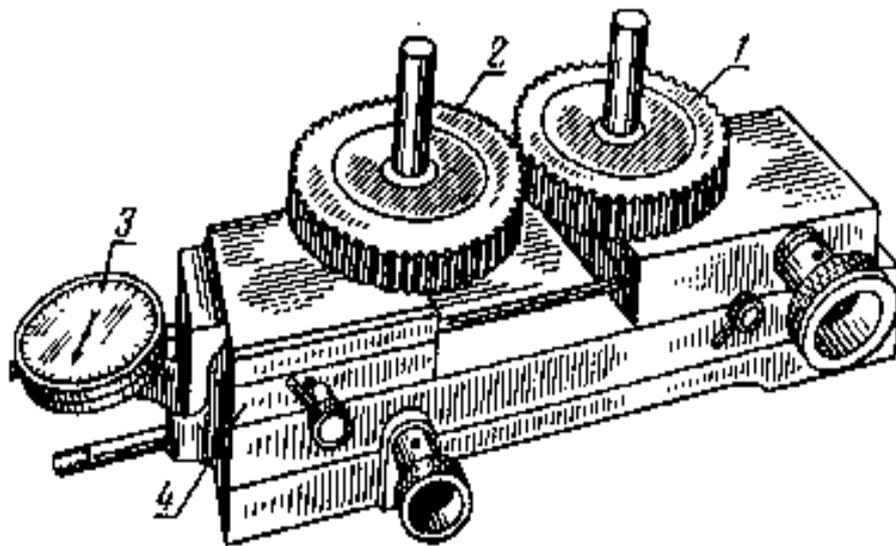


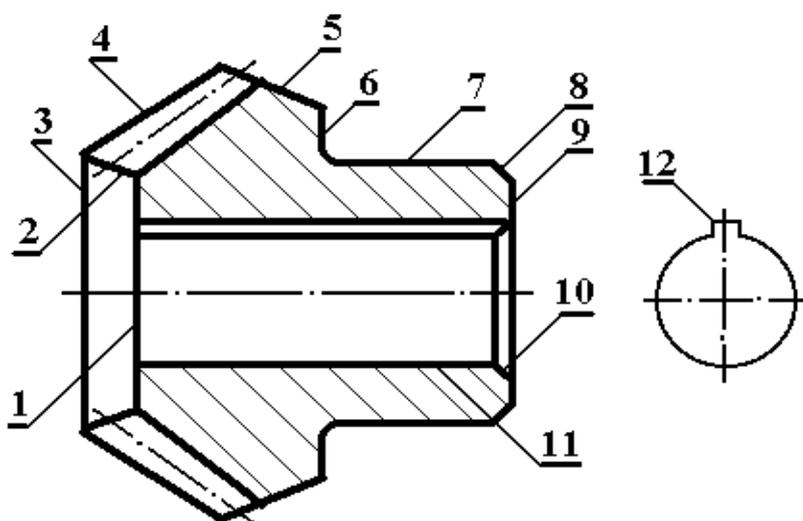
Рис.18.15 Приспособление для наклона зубьев.

изводится окончательный контроль зубчатого колеса для решения вопроса о его годности. Лабораторный контроль зубчатых колес в количестве 2...5% от общего выпуска проводится в специальном помеще-

нии 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.

18.7 Технология изготовления конических колес

На рис 18.16 показан чертеж одной из наиболее распространенной кон-



струкции конического прямозубого колеса. Заготовка – прокат из конструкционной стали.

Типовая маршрутная технология механической обработки получения данного колеса следующая.

Рис. 18.16 Чертеж конического прямозубого колеса. 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* (токарный полуавтомат).

Подрезать торец 3 предварительно; точить конуса 2, 4 и 5 предварительно.

015. *Протяжная операция* (горизонтально-протяжной станок).

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.

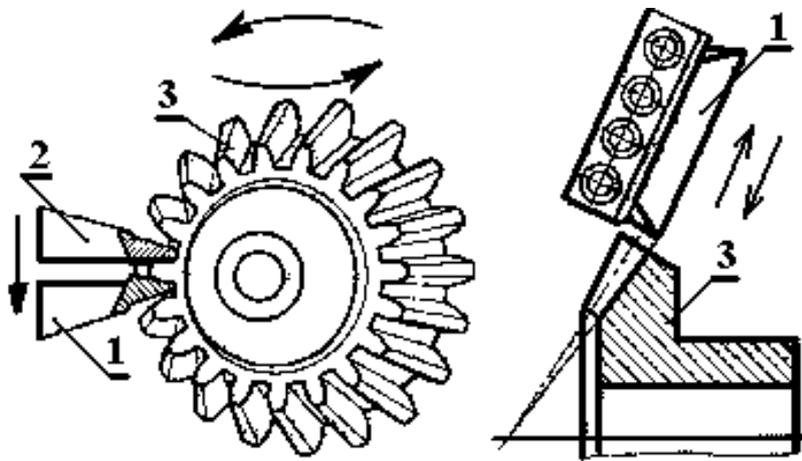
050. Операция контроля

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 18.17). Каждый резец обрабатывает свою сторону зуба. Сов-



местно 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

Рис. 18.17 Схема нарезания конических зубьев 6...7-я, а шероховатость зубьев строганием. 2,0...1,6 мкм (по R_a).

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 зубьев колеса (рис 18.18). Резцы каждой фрезы обрабатывают одну сторону зуба. Фрезы вращаются и одновременно совершают движение обкатки совместно с колесом. Диаметры дисковых фрез достаточно большие, что позволяет выполнять обработку зуба без продольного перемещения инструмента. Зубофрезерные станки для этой операции позволяют осуществлять нарезание зубьев методами врезания, обкатки и комбинированным. 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 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...30 с. Поэтому данный способ в основном применяется в серийном и крупносерийном производстве. Другим высоко произ-

водительным процессом нарезания зубьев у конических прямозубых колес является круговое *протягивание зубьев* (рис. 18.19). 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 $V = 0,42 \dots 0,6 \text{ м/с}$

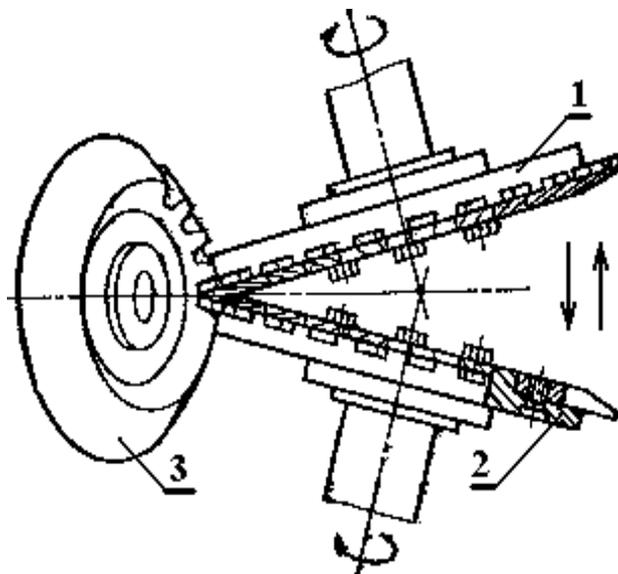


Рис. 18.18 Схема 2-х дискового зубофрезерования.

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 происходит автоматический поворот заготовки на один зуб. Время обработки одного зуба до 4с. Степень точности колес – 7-ая.

Конические колеса с *круговыми зубьями* нарезают специальными торцевыми многолезцовыми головками. Зубья нарезаются за две операции; – черновое и чистовое зубонарезание. Зубонарезание производится двумя методами: копирования (врезание) и обкати. При методе копирования заготовка в процессе резания неподвижна, а вращающаяся резцовая головка имеет осевую

подачу врезания и прорезает впадину зуба.

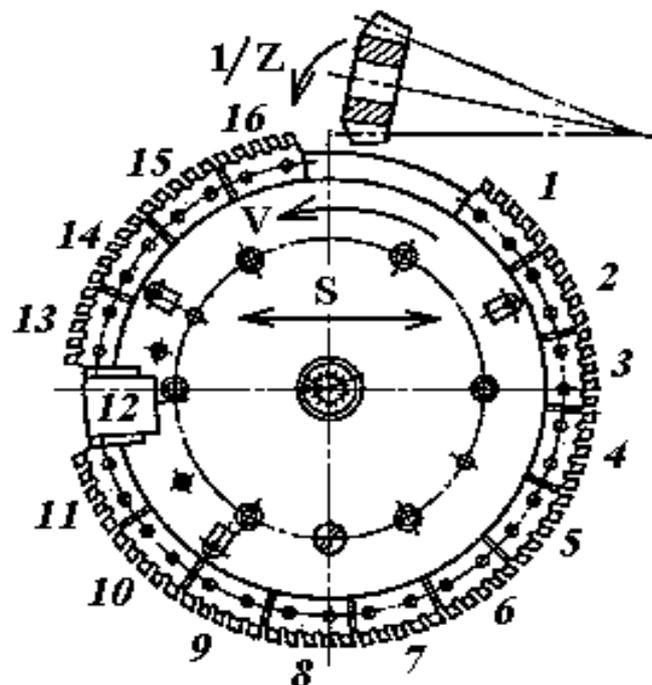
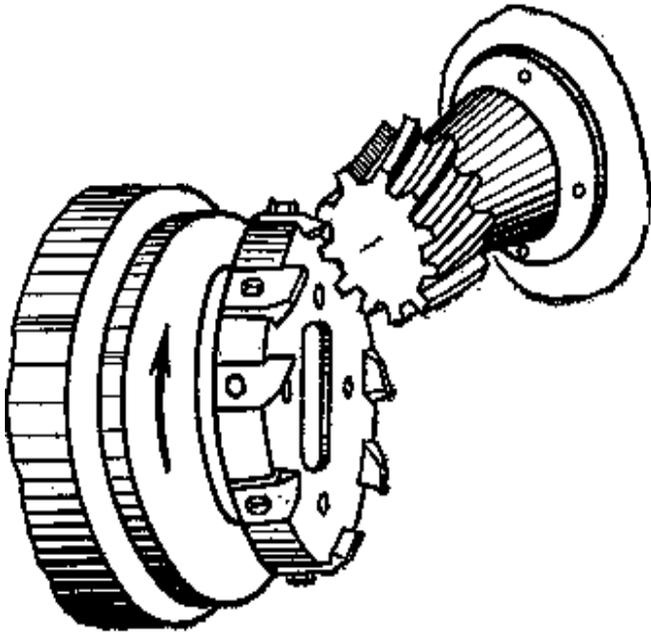


Рис.18.19 Схема кругового зубопротягивания.

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. Трехсторонние резцовые головки имеют три типа резцов (рис. 18.20): наружные; внутренние и средние. Наружные и внутренние резцы предназначены для обработки боковых сторон зуба, а средние резцы – для обработки только дна впадины зуба. При методе обката, обрабатываемая заготовка и резцовая головка вращаются согласованно. Данный метод чаще всего применяют при чистовой



операции зубонарезания.

Рис. 18.20 Трехсторонняя резцовая головка.

18.8 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 HRC, 37 и червяков, термически обработанных до твердости свыше HRC, 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 долбяками на специальных червячно -долбежных станках (массовое производство). Хотя метод фрезирования винтовой поверхности червяка является более производительным, чем нарезание профиль-

ными резцами, но данный метод дает достаточно большую погрешность отклонения профиля витка от прямолинейности. Чертеж цилиндрического термически необработанного червяка дан на рис. 18.21, а в таблице 18.2 – перечень операций изготовления червяка из проката. При термической обработке червяка до твердости HRC₃₇ термическую обработку производят после получения геометрических форм.

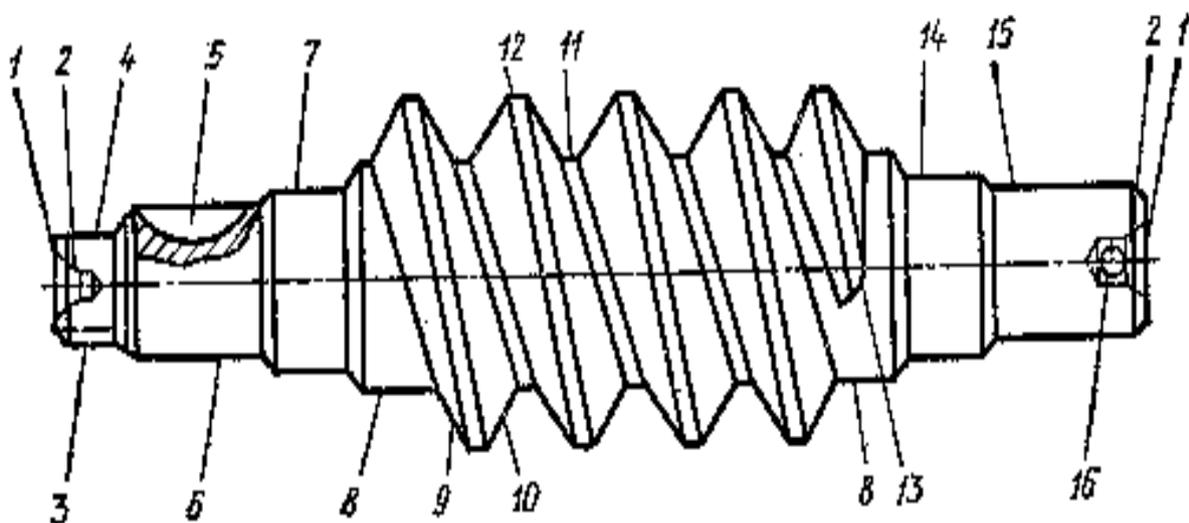


Рис. 18.21 Чертеж цилиндрического червяка.

При изготовлении червяка твердость свыше HRC₃₇ 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 мелкосерийном 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 HRC₃₇ 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.

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 находиться в зацеплении с нарезаемыми червячными колесами.

Отделочную обработку зубьев червячных колес выполняют шевингованием и притиркой.

Технологические операции изготовления цилиндрического червяка.

Таблица 18.2

№	Операции
	<i>1. Обработка для получения геометрических форм</i>
005	Подрезка торца, цетрование торца (пов. 1, 2)
010	Подрезка торца и центрование торца с другой стороны (пов. 1,2)
015	Черновая и чистовая обработка шеек 3, 6, 7, 8
	<i>2. Обработка базовых поверхностей</i>
020	Черновая и чистовая обработка шеек 15, 14, 8, 12
025	Шлифование шеек 6, 7, 14, 15
030	Шлифование поверхности 12
	<i>3. Нарезание винтовой поверхности</i>
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
	<i>4. Обработка остальных поверхностей</i>
055	Нарезание резьбы 3
060	Фрезерование шпоночной канавки 5
065	Сверление поверхности 16
070	Зачистка заусенцев
075	Контроль основных размеров

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. Из скольких сопряжений деталей состоит зубчатая передача?
7. Какой формы изготавливают конические колеса?
8. Для каких целей применяются цилиндрические и конические колеса?
9. Из чего изготавливаются в зависимости от служебного назначения зубчатые колеса?
10. Какими свойствами должен обладать материал зубчатых колес?
11. На какие этапы разделяется изготовление зубчатых колес?
12. Для чего чаще применяются заготовки из проката?
13. Какими методами производится зубонарезание?
14. Какие типы резцов имеют трехсторонние резцовые головки?
15. Зачем необходимо учитывать требования к термической обработке при составлении технологии изготовления червяка?
16. Какими резцовыми головками осуществляется в серийном и массовом производстве нарезание глобоидных червяков?
17. Какими фрезами производится нарезание зубьев червячных колес?
18. Чему должна точно соответствовать форма червячных фрез при нарезании червяков?
19. В каком порядке производится обработка червячного колеса?
20. Чем выполняют отделочную обработку зубьев червячных колес?

Раздел 19

19. Технология производства корпусных деталей

19.1 Классификация 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.

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 под подшипник, как правило, по 7-му качеству, реже – по 6-му качеству. Отклонение формы от округлости и цилиндричности не более 0,3...0,5 допущения 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 отверстий.

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.

Материалы и заготовки применяемые, для изготовления корпусных деталей 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 единственным 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 рекомендуется 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 сварными, 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 – штампованные и сварнолитые.

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 ($60...100^{\circ}/ч$) до $500...600^{\circ}C$, выдержке их при этой температуре в течение 1...6 ч (в зависимости от размера отливок) и последующем медленном охлаждении ($25...75^{\circ}/ч$) до $150...200^{\circ}C$.

Далее охлаждение можно вести ускоренно. После термообработки заготовки

подвергаются пескоструйной очистке.

2. *Малярная.* У чугунных заготовок, которые в процессе механической обработки не будут подвергаться термической обработки, 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.

19.2 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 19.1). 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 обрабатываются 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 параллельными осями и перпендикулярной им плоскости. Существуют и другие способы базирования корпусных заготовок: по основным отверстиям на центрирующих оправках, на самцентрирующихся оправках, по трем плоскостям, по внутренним поверхнос-

тям и др. Конкретный способ базирования корпусных заготовок зависит от конструктивных особенностей корпуса и экономической целесообразности.

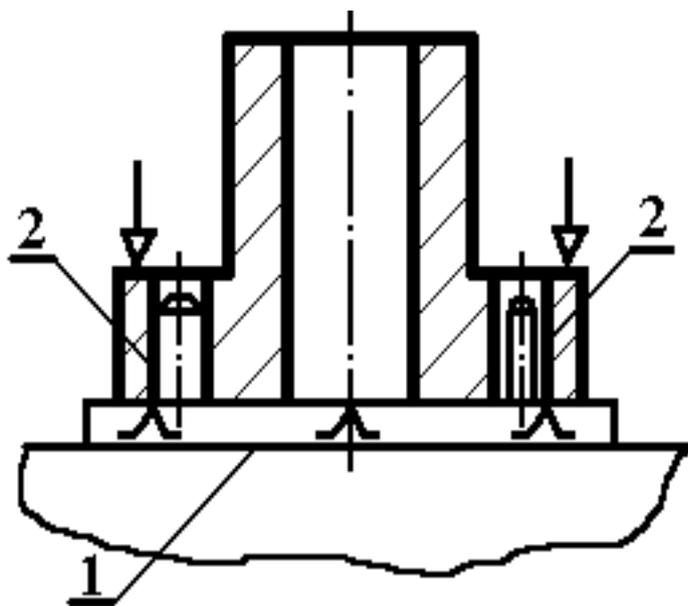


Рис.19.1 Схема базирования корпусной детали.

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.

Составляется карта технологического маршрута обработки 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 *разъёмных* корпусов существенно отличается от обработки заготовок для неразъёмных 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.

19.3 Основные операции обработки корпусных деталей

19.3.1 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. 19.2 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 снимаются 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

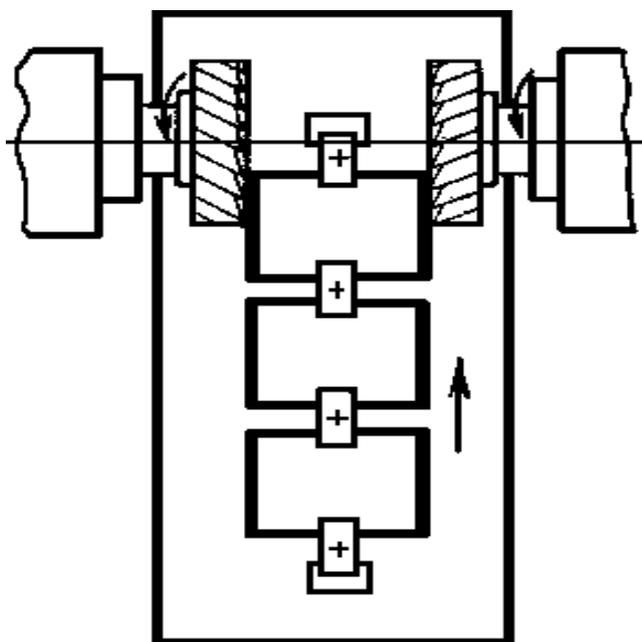


Рис. 19.2 Обработка корпуса на продольно-фрезерном станке.

со вставными ножами. При протягивании снимается припуск до 5 мм с шириной протягивания до 350 мм. Точность обработки размеров 9...7 квалитет, шероховатость 3,2...0,8 мкм. Ограничениями в использовании процесса протягивания является пока его высокая стоимость и сложность инструмента. Но в массовом производстве применение протягивания экономически выгодно.

19.3.2 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.

19.3.3 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 од-

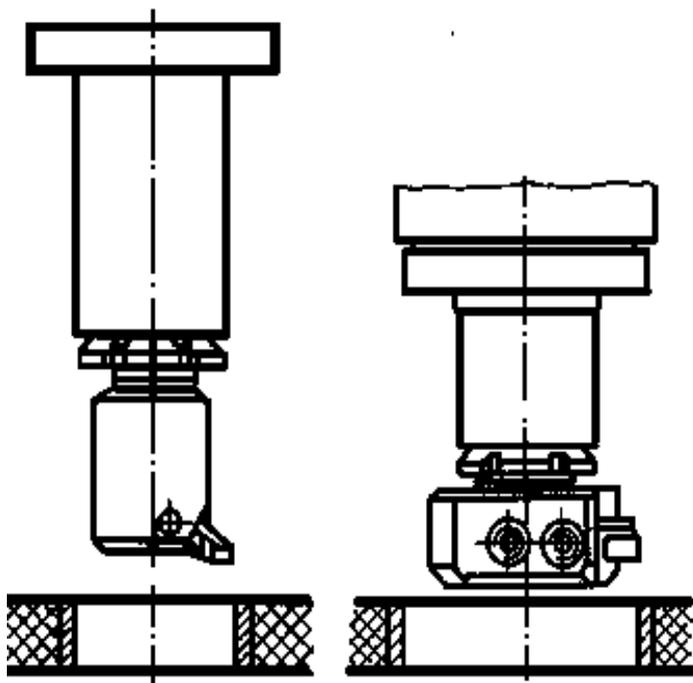


Рис. 19.3 Схема расточки основных отверстий.

норезцовые и многорезцовые головки. Для уменьшения погрешностей при расточке следует применять расточные оправки с наибольшим диаметром, допускаемым обрабатываемым отверстием, и с наименьшей длиной (рис 19.3). Для получения требуемой точности отверстия необходимо обращать внимание на установку как самого инструмента

в оправку, так и оправки в шпиндель станка. С целью повышения производи-

тельности обработки на расточных станках применяют многошпиндельные расточные головки для одновременной обработки нескольких отверстий с параллельными осями. 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 агрегатных станков обусловлены их компоновкой, предусматривающей размещение силовых головок с индивидуальными шпинделями или с многошпиндельными инструментальными насадками. Силовые головки могут быть самодвижущимися или неподвижными (перемещается силовой стол, на котором установлена головка или сама заготовка 1) (рис 19.4). 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.

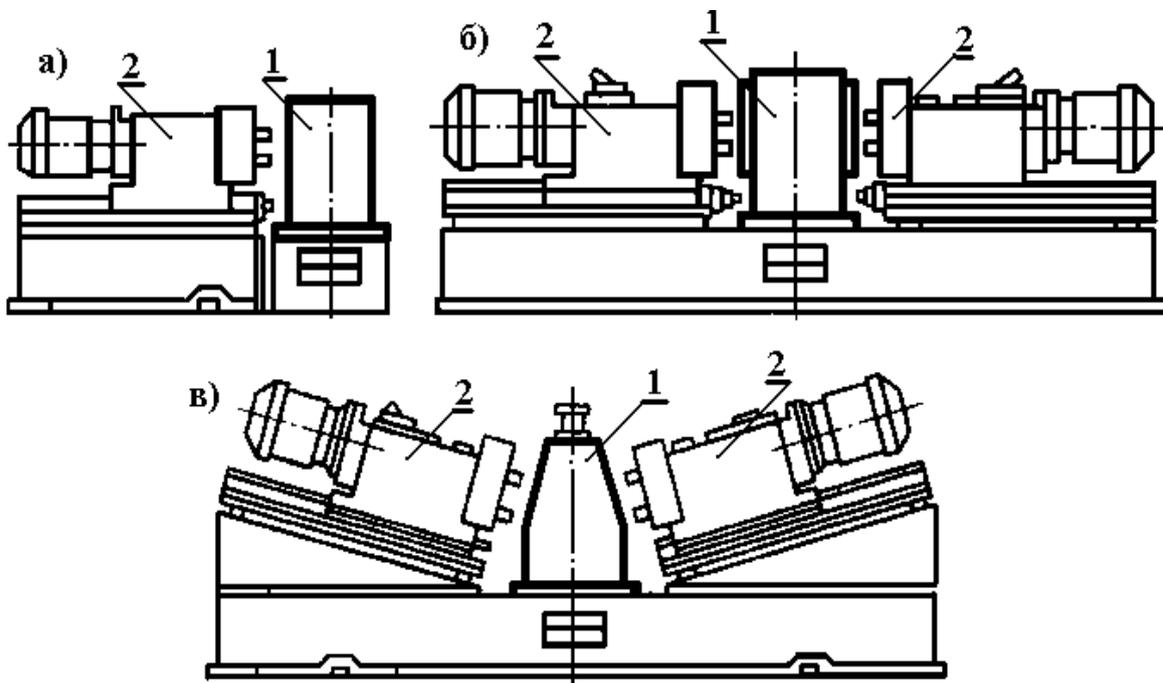


Рис. 19.4 Силовые головки. 1- заготовка, 2- силовая головка.

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.

19.3.4 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 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. 19.5, *а* двадцатишпиндельный станок с помощью горизонтальной головки производит сверле-

ние 6-ти отверстий на проход, сверление и зенкерование двух ступенчатых отверстий в боковой поверхности бруса с правой стороны; а вертикальная головка

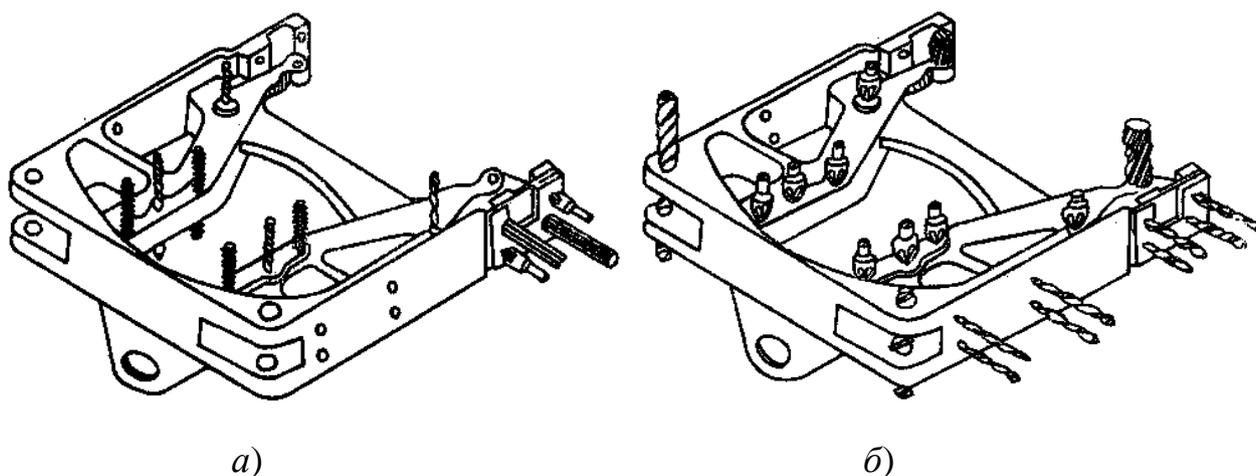


Рис. 19.5 Двадцатишпindelный станок

выполняет сверление 12-ти отверстий на проход. На рис. 19.5,б горизонтальная головка производит сверление 6-ти отверстий на проход, 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 для самоподготовки.

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 отверстий корпусов?
6. В чем существенная разница применения барабанно-фрезерного или карусельно-фрезерного станков?
7. Какими способами достигается малая шероховатость поверхностей основных отверстий?
8. Что используют при значительном вылете инструмента?
9. Как производится расточка отверстий с применением консольной оправки?
10. Что представляют собою силовые головки?

ГЛАВА V

Раздел 20.

20. Разработка технологического процесса изготовления детали

20.1 Разработка технологического процесса и маршрутной технологии изготовления детали

Разработка технологического процесса изготовления детали на металлорежущих станках является важным элементом всего процесса производства машины. От степени рациональности технологического процесса зависят качество, производительность труда и материально-технические затраты на изготовления самой детали и машины в целом. Составление технологического процесса изготовления детали на металлорежущих станках состоит из 4-х частей:

1. Разработка маршрутной технологии изготовления детали.
2. Выбор средств технологического оснащения.
3. Разработка операционной технологии.
4. Проведение расчетов по определению режимов резания.

При разработке маршрутной технологии не указываются размеры обрабатываемых поверхностей и режимы резания при их обработке.

Разработка маршрутной технологии изготовления детали предусматривает решение следующих вопросов: 1) определить вид операции обработки заготовки (токарная, фрезерная, шлифовальная и др.) для получения детали по заданному чертежу с учетом всех необходимых технических условий на ее изготовление;

2) установить последовательность применения выбранных операций при обработке заготовки;

3) в каждой операции установить последовательность обрабатываемых поверхностей заготовки.

Определение вида операций обработки заготовки

Вид операции для обработки заготовки определяются практически по двум параметрам: - по форме поверхности детали и

- по значению шероховатости поверхности.

а) Определение вида операции по форме поверхности детали

Токарная операция предусматривает получение цилиндрических наружных и внутренних поверхностей, фасок, обработку торцов и торцов буртиков, сверление вдоль оси заготовки и нарезание наружной и внутренней резьбы.

Фрезерная операция применяется для обработки или получения плоских поверхностей различной конфигурации.

Сверлильная операция назначается при получении отверстий в сплошном металле, ось которых перпендикулярна оси детали, увеличение имеющего отверстия (операция рассверливания) и повышения качества обрабатываемого отверстия за счет применения зенкеров и разверток. Данная операция применяется для получения и обработки отверстий в плоских, а также в круглых деталях, если ось обрабатываемых отверстий перпендикулярна или параллельна оси круглой детали.

Протяжная операция назначается для получения внутренних шпоночных или шлицевых канавок.

б) Определение вида операции по значению шероховатости обрабатываемой поверхности

Операция зенкерования или развертывания назначается для достижения более качественной поверхности отверстий по сравнению со сверлением.

Операция шлифования предусматривает обработку цилиндрических и плоских поверхностей для получения поверхностей с малой шероховатостью.

20.2 Определение последовательности применения выбранных операций при обработке заготовки

а) как правило, в первую очередь назначается токарная операция, так как обработанные поверхности заготовки при данной операции наиболее удобны для закрепления заготовки при выполнении последующих операций;

б) применение строгой последовательности других операций должны быть оговорены в технических условиях на изготовление детали. Если таких условий нет, то применение других операций устанавливается в зависимости от удобства обработки заготовки;

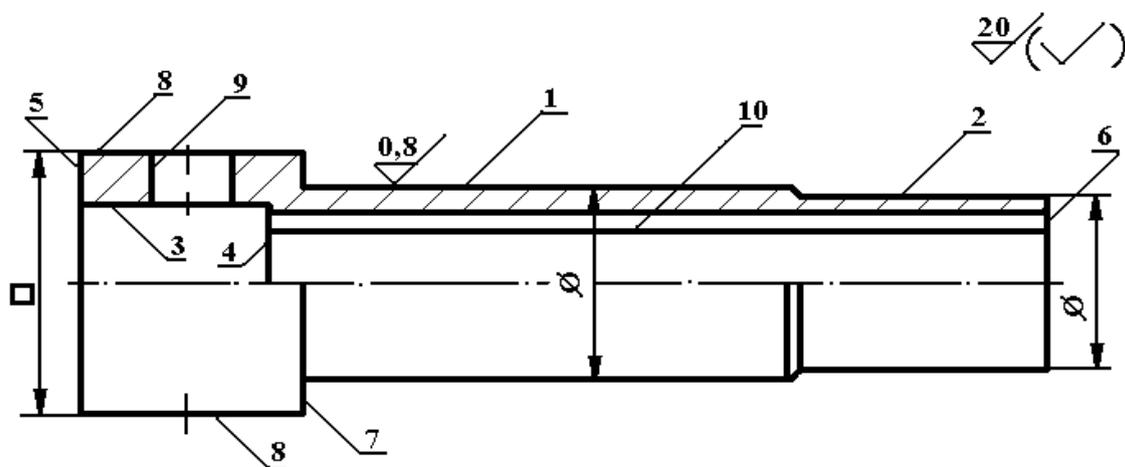
в) операция шлифования применяется в последнюю очередь, так как она относится к разряду чистовых операций;

г) учитывается влияние термической обработки.

Если в процессе обработки заготовка подвергается термической обработке, то весь технологический процесс расчлениают на две части: до термообработки и после нее. Такое разделение вызвано возможными деформациями заготовки в процессе термообработки, поэтому после термообработки должна быть проведена окончательная механическая обработка наиболее высокоточных и чистовых поверхностей детали.

Операция шлифования назначается после термической обработки, если предусмотрена операция термообработки. Рассмотрим пример по выбору и назначению последовательности применения выбранных операций при изучении чертежа детали на рис. 20.1. В соответствии с формой поверхности детали и значениями величин шероховатости отдельных поверхностей, можно установить следующие операции для изготовления детали и их последовательность:

1. токарная операция;
2. фрезерная операция;
3. операция сверления;
4. операция протягивания;
5. операция термообработки;
6. шлифовальная операция.



Материал детали - сталь 45
Заготовка - прокат (квадрат)
Термообработка HRC₃ 46...48

Рис. 20.1 Чертёж детали

Выбрана токарная операция, так как поверхности 1 и 2 по форме цилиндрические и их форма при обработке заготовки достигается на токарном станке. Подрезка торцов 5 и 6 и торца буртика 7 также производится на токарном стан-

ке. Расточка поверхности 3 и подрезка дна отверстия 4 осуществляется только на токарном станке. Выбирается фрезерная операция, так как плоские поверхности квадратных поверхностей 8 обрабатываются на фрезерном станке. Сверлильная операция выбрана в связи с тем, что ось отверстия 9 перпендикулярна оси детали. Получение такого положения отверстия можно осуществить только на сверлильном станке. Внутренний шпоночный паз 10 такой большой длины может быть выполнен только при протягивании шпоночной протяжкой, поэтому назначена операция протягивания. Так как в технических условиях на изготовления данной детали говорится о термической обработке детали, то назначается термическая операция. Первые четыре операции выбраны с учетом получения формы поверхностей детали и их расположения (операция сверления). Последняя 6-я операция – операция шлифования назначена, так как заданная высота шероховатости поверхности 1 может быть достигнута только при данной операции.

Назначение последовательности обработки поверхностей заготовки, обрабатываемой при каждой операции

1) Различают две укрупненные стадии обработки: черновую (обдирочную) и чистовую. В процессе черновой обработки снимают основную массу металла и обеспечивают взаимное расположение поверхностей. Целью чистовой обработки является достижение заданных размеров поверхностей детали и шероховатости.

2) При обработке ступенчатого вала сначала обрабатывают ступени большего диаметра, а затем меньшего;

3) Выполнять обработку *не основных* поверхностей (точение или фрезерование вспомогательных канавок, нарезание резьбы, снятие фасок и пр.) необходимо на стадии чистовой обработки;

20.3 Оформление технологической карты маршрутной технологии

Содержание маршрутной технологии излагают в маршрутной карте (ГОСТ 3.1118). Разрабатывая маршрутную технологию, необходимо выполнять следующие условия: - первое закрепление заготовки в приспособление станка обозначается цифрами 005, второе 010 и т.д.;

- выполнение технологического перехода записывать в повелительной форме (точить поверхность, фрезеровать поверхность, сверлить отверстие, зенковать фаску и т.д.). Технологический переход обозначается цифрами 1, 2, 3 и т.д.;

- если обработка поверхности разделяется на два вида (черновая и чистовая), то указывается, что первый раз эта поверхность обрабатывается *предварительно*, а второй раз – *окончательно*.

Пример записи технологических переходов: "точить поверхность 1 предварительно", "точить поверхность 1 окончательно";

- если одна и та же поверхность обрабатывается за несколько рабочих ходов инструмента, то число рабочих ходов инструмента указывается в тексте.

Например, "расточить поверхность 5 за три рабочих хода".

Для каждого закрепления заготовки оформляется карта эскиза установки, в которой дается эскиз чертежа заготовки той конфигурации, которая получится после выполнения всех технологических переходов при данном закреплении заготовки. На чертеже даются условные обозначения опор и зажимов в местах их соприкосновения с поверхностями заготовки, а также пронумеровываются последовательно обрабатываемые поверхности. Все обрабатываемые поверхности обозначаются толстыми линиями, необрабатываемые - тонкими. *Карт эскизов столько, сколько закреплений заготовки при рассматриваемой операции.*

20.4 Выбор средств технологического оснащения

К средствам технологического оснащения относятся:

1. Технологическое оборудование.
2. Технологическая оснастка.
3. Выбор средств измерений.

1. Выбор технологического оборудования (станков) определяется:

- точностью и качеством обрабатываемых поверхностей заготовки;
- габаритными размерами заготовки и ее массой;
- мощностью, потребной на резание;
- удобством и безопасностью работы и соблюдения правил экологии;
- стоимостью станка.

При выполнении курсовой работы технологическое оборудование согласовывается с преподавателем.

2. Технологическая оснастка.

К технологической оснастке относятся соответствующее приспособление для закрепления заготовки на станке и режущий инструмент.

К приспособлениям предъявляются три основных требования:

- 1) соответствовать своему назначению;
- 2) обеспечивать заданную точность обработки;
- 3) быть удобным и безопасным в эксплуатации.

Выбор конкретного приспособления для каждой операции согласовывается с преподавателем. Режущий инструмент выбирается с учетом метода обработки, твердости обрабатываемого материала, стойкости инструмента, стадии обработки (черновая, чистовая). Размеры так называемого *мерного режущего инструмента* т.е. инструмента, имеющего один постоянный размер (сверла, зенкеры, развертки, протяжки и др.) определяются размерами обработки. Всегда необходимо стремиться к использованию стандартного инструмента. Специальный и комбинированный режущий инструмент применяется в случае невозможности обработки поверхности заготовки стандартным инструментом или при явной экономической целесообразности применения специального инструмента. Более подробно о выборе режущего инструмента дано в методических указаниях по выполнению конкретной операции.

3. Выбор средств измерений

Измерение в процессе и по окончании обработки заготовки – нахождение физической величины размеров изготовленной детали - производится с помощью стандартных типовых измерительных инструментов. В качестве измерительных инструментов применяются штангенциркули, микрометры, нутромеры и другие инструменты. Выбор конкретных измерительных инструментов для контроля размеров той или иной обрабатываемой поверхности заготовки согласовывается с преподавателем.

20.5 Разработка операционной технологии

При разработке операционной технологии необходимо указывать размеры обрабатываемых поверхностей заготовки и режимы резания при каждом технологическом переходе изготовления детали.

Разрабатывая операционную технологию, необходимо выполнять следующие условия:

- строго соблюдать ту последовательность применения операций, которая была принята в маршрутной технологии;
- в каждой операции также соблюдать последовательность обрабатываемых поверхностей, установленных в маршрутной технологии;
- каждая запись закрепления заготовки в приспособление станка должна быть аналогична записи в маршрутной установке;
- обозначение технологического перехода осуществлять не арабскими цифрами (1, 2 и т.д.), а *каждый технологический переход* обозначать тремя большими буквами: О, Т и Р. После обозначения буквы О записывается текст технологического перехода более подробно, чем в маршрутной технологии, в соответствии с ГОСТом 3.1702. Примеры записи технологических переходов даны в методических указаниях по отдельным операциям. Размеры, которые необходимо выполнить при каждом технологическом переходе шифруются цифрами, а их величины указываются только в операционной карте эскизов (не путать с эскизами маршрутной технологии). После обозначения буквы Т записывается характеристика выбранного режущего инструмента для выполнения данного технологического перехода и характеристика мерительного инструмента. После буквы Р записываются следующие буквенные обозначения режимов резания: $t =$; $i =$; $S =$; $n =$. Численные значения режимов резания указываются в результате проведения соответствующих расчетов

Пример записи начала операционной технологии токарной обработки заготовки: 005. Установить заготовку в 3-х кулачковый патрон и закрепить.

О точить поверхность в размер 1 и 2 за 2 рабочих хода

Т резец проходной упорный с пластиной твердого сплава Т5К10, с углами заточки $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$, ГОСТ 18879.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

$P_t = 2 \text{ мм}$, $i = 2$, $S = 0,14 \text{ мм/об}$, $n = 630 \text{ об/мин}$

На каждый технологический переход дается карта эскизов, в которой указаны схематично зажимы и опоры, размеры, выполняемые при конкретном технологическом переходе, величина шероховатости обрабатываемой поверхности. Каждый размер шифруется той цифрой, которой он обозначен в тексте технологического перехода. Эскизы отдельных технологических переходов можно объединять, если нет совпадения одинаковых обрабатываемых поверхностей. Пример одной из операционной карты эскизов дан ниже (рис.20.2).

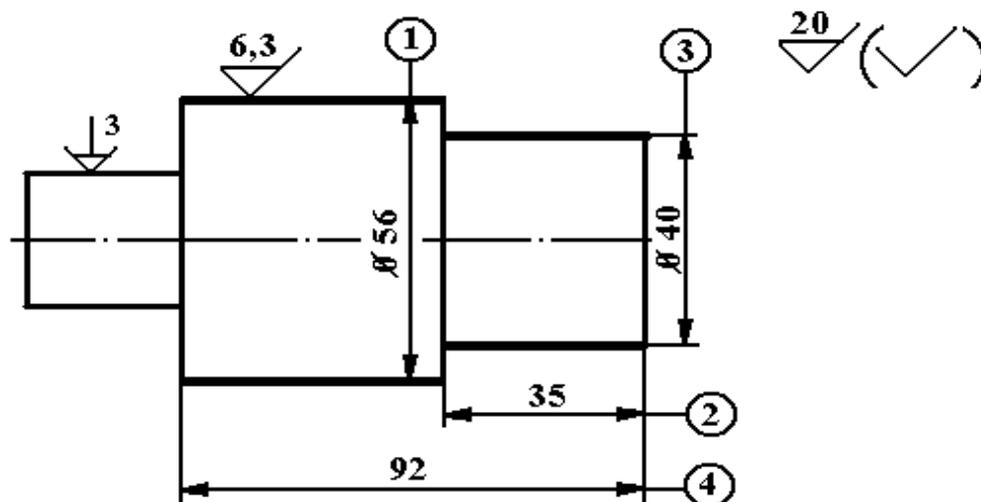


Рис. 20.2 Эскиз отдельных технологических переходов

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Решение каких вопросов предусматривает разработка маршрутной технологии изготовления детали?
2. По каким параметрам определяются вид операции для обработки заготовки?
3. Получение, каких поверхностей предусматривает токарная операция?
4. Получение, каких поверхностей применяется фрезерная операция?
5. В каких случаях назначается сверлильная операция?
6. Что излагается в маршрутной карте?
7. Для чего назначается протяжная операция?
8. Как шифруется размер в тексте технологического перехода?
9. Представьте пример записи начала операционной технологии токарной обработки заготовки.

Раздел 21

21. Расчеты по определению режимов резания

21.1 Проведение расчетов по определению режимов резания

21.1.1 Токарная операция

В соответствии с операционной картой рассматриваемой операции расчетными методами определяются режимы резания (t , i , s , n ,) для каждого технологического перехода данной операции. Порядок расчетов и формулы приведены в ниже по отдельным операциям.

Токарная операция предусматривает получение цилиндрических наружных и внутренних поверхностей, фасок, обработку торцов и торцов буртиков, сверление вдоль оси заготовки, нарезание наружной и внутренней резьбы.

Технологический процесс обработки детали на токарном станке состоит из 3-х частей:

1. маршрутной технологии изготовления детали;
2. операционной технологии изготовления детали;
3. расчетов для определения режимов резания;

1. Разработка маршрутной технологии

Разработка маршрутной технологии состоит из нескольких этапов. Если в процессе обработки деталь подвергается термической обработке, то весь технологический процесс расчлениают на две части: до термообработки и после нее.

Этап 1-й. Изучить чертеж детали.

Изучение чертежа заданной детали производится последовательно. Вначале устанавливается вид обработки каждой поверхности: *черновая*, *получистовая* или *чистовая*. Вид обработки конкретной поверхности зависит только от значения величины шероховатости данной поверхности, которая указывается или непосредственно на самой поверхности, или в правом верхнем углу чертежа. Величина получаемой шероховатости (в R_a) данных видов обработки даны в таблице 21.1

Вид обработки	Значение высоты шероховатости в R_a , (мкм)
Черновое точение	40...15
Получистовое точение	12,5...3,2
Чистовое точение	2,5...1,2
Сверление сверлом диаметром до 15 мм	6,3...12,5
Сверление сверлом диаметром более 15 мм	св. 12,5

Этап 2-й. Изучить чертеж заготовки

Изучая чертеж заготовки, необходимо определить:

- величину припуска металла h (мм), снимаемого с каждой обрабатываемой поверхности;
- определить за сколько рабочих ходов i инструмента (резца) будет снят припуск с обрабатываемой поверхности;
- какой припуск $h_1; h_2...h_i$ оставлять для последующих операций на других станках.

При токарной обработке припуск на обрабатываемую поверхность, как правило, задается *на сторону*.

При *точении* величина общего припуска определяется по формуле:

$$h_{\text{общ}} = (D_{\text{заг.}} - d_{\text{дет.}}) / 2 \quad (21.1)$$

где: $D_{\text{заг.}}$ – диаметр обрабатываемой поверхности, мм;

$d_{\text{дет.}}$ – диаметр обработанной поверхности, мм

При *расточивании* припуск на обработку определяется как:

$$(\varnothing_{\text{отв. дет.}} - \varnothing_{\text{отв. заг.}}) / 2 \quad (21.2)$$

Если же поверхность заготовки после токарной обработки будет обрабатываться еще и на шлифовальном станке, то из общего припуска необходимо отнять припуск на шлифование.

При чистовой обработке припуск должен составлять не более 0,5 мм на сторону и он снимается за 1 рабочий ход. Для получистовой обработки припуск должен быть не более 1 мм, который может сниматься за 1 или 2 рабочих хода инструмента. Для черновой обработки величина припуска более 1 мм.

Пример 1. *Общий припуск составляет 5 мм на сторону. Шероховатость обрабатываемой поверхности по чертежу 1,25 мкм, т.е. окончательная обра-*

ботка поверхности – чистовое точение. Общий припуск распределяется так: 0,5 мм на чистовую обработку, 4,5 мм на черновую обработку.

Пример 2. Общий припуск составляет 6 мм на сторону. Требуется получистовая обработка обрабатываемой поверхности. Общий припуск распределяется так: 1 мм на получистовую обработку, 5 мм – на черновую обработку.

Пример 3. Общий припуск составляет 3 мм на сторону. Окончательная обработка поверхности – шлифование. Перед шлифованием обрабатываемую поверхность обязательно обрабатывать чистовым точением. Тогда общий припуск распределяется так: 0,1...0,2 мм оставляется на шлифование, 0,4...0,3 мм – на чистовое точение, остальной припуск – 2,5 мм на черновое точение.

Для определения числа рабочих ходов резца при снятии припуска с обрабатываемой поверхности необходимо выбрать значение глубины резания t . Значение глубины резания для различных видов обработки на токарном станке даны в таблице 21.2

Значение глубины резания t . Таблица 21.2

Вид обработки	Значение глубины резания t (мм)							
	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Черновое точение				x	x	x	x	x
Получистовое точение		x	x					
Чистовое точение	x	x						
Растачивание черновое					x	x	x	
Растачивание чистовое		x	x					
Подрезка торца (буртика)			x	x	x			
Нарезание резьбы	x	x						

Число рабочих ходов резца определяется по формуле:

$$i = h / t \quad (\text{раз}) \quad (21.3)$$

Общее число рабочих ходов резца при обработке рассматриваемой поверхности $i_{\text{общ}}$ складывается из числа рабочих ходов резца за каждый вид обработки: $i_{\text{общ}} = i_{\text{чер}} + i_{\text{чист}}$ или $i_{\text{общ}} = i_{\text{чер}} + i_{\text{получист}}$;

3-й этап. Оформление маршрутной технологии.

Оформляя маршрутную технологию на бланке, необходимо выполнять следующие условия:

- запись "установка" (установка, закрепление заготовки на станке) и все технологические переходы производить кратко и в повелительной форме;

- установить заготовку; - закрепить; - точить поверхность 1; - сверлить отверстие 4 и т.д.;

- первый установ обозначается цифрами 005. Если обработка заготовки производится за несколько установов ее на станке, то каждый установ обозначается последовательно 010, 015 и...;

- технологические переходы обозначаются арабскими цифрами, начиная с цифры 1;

- если обработка поверхности разделяется на два вида (например, черновая и чистовая), то в тексте технологического перехода указывается, что в первый раз эта поверхность обрабатывается *предварительно*, а во второй раз – *окончательно*.

Пример, "точить поверхность 1 предварительно", "расточить поверхность 3 окончательно".

- если поверхность обрабатывается за несколько рабочих ходов резца, то число рабочих ходов инструмента указывается в тексте – "точить поверхность 1 за 3 рабочих хода";

- после перечня технологических переходов без цифры пишется: "снять деталь";

- на каждый установ чертится карта эскиза, которая отражает всю конфигурацию заготовки, которую она получила после обработки при данном закреплении ее на станке. Все обработанные поверхности нумеруются арабскими цифрами в той последовательности, в какой обрабатывались поверхности.

Сколько установ, столько и карт эскизов.

На каждой карте эскизов показываются условными значками способы крепления заготовки, а обработанные поверхности обводятся красным карандашом или рисуются толстой линией.

4-й этап. Определение способа обработки поверхности и выбор резца.

Определение способа обработки поверхностей заготовки (наружное точение, расточка, подрезка торца и др.) определяется по расположению поверхности заготовки. Для каждого способа обработки поверхностей выбирается соответствующий тип токарного резца.

При обработке наружных поверхностей (точение) применяются токарные проходные резцы, которые подразделяются на: - проходные прямые;

- проходные с отогнутой головкой; - проходные упорные.

При обработке торцевых поверхностей и буртиков применяются токарные подрезные отогнутые резцы. При прорезании канавок – токарные отрезные резцы. При расточке и подрезке дна отверстий (обработка внутренних поверхностей) используются токарные расточные резцы, которые подразделяются:

- для расточки сквозных отверстий;

- для расточки ступенчатых или глухих отверстий и подрезки дна отверстий.

При нарезании резьбы применяются токарные резьбовые резцы для наружных и внутренних резьб. Конкретный тип резца и его ГОСТ указаны ниже.

Точение заготовок по наружному диаметру.

- резец токарный проходной *прямой* с углом $\varphi = 45^{\circ}$, с пластиной из твердого сплава, ГОСТ 18878

- резец токарный проходной *отогнутый* с углом $\varphi = 45^{\circ}$, с пластиной из твердого сплава, ГОСТ 18877

Точение ступенчатых заготовок, подрезка торцов, буртика.

- резец токарный проходной упорный с пластиной из твердого сплава с углом $\varphi = 90^{\circ}$, ГОСТ 18879

Подрезание торцов:

- резец токарный подрезной отогнутый с пластиной из твердого сплава с углом $\varphi = 10^{\circ}$, ГОСТ 18880.

Прорезка канавок:

- резец токарный отрезной с пластиной из твердого сплава, ГОСТ 18884.

Растачивание сквозных или глухих отверстий:

- резец токарный расточной для *сквозных* отверстий с пластиной из твердого сплава с углом $\varphi = 45^{\circ}$ или 60° , ГОСТ 18882;

- резец токарный расточной для *глухих* отверстий с пластиной из твердого сплава с углом $\varphi = 95^{\circ}$, ГОСТ 18883.

Нарезание резьбы: - резец токарный резьбовой для наружной и внутренней метрической резьбы с пластиной из твердого сплава, ГОСТ 18885.

Так как при токарной операции могут применяться сверла для сверления отверстий *вдоль оси заготовки*, то ниже даны рекомендуемый тип сверла и его диаметр:

- сверло спиральное с коническим хвостовиком, ГОСТ 10903.

Размеры сверла: от 5 до 14 мм через каждые 0,2 мм;

от 14 до 45,0 мм через каждые 0,25 мм.

5-й этап. Выбор материала режущей части резца и значений основных углов.

Режущая часть токарных резцов изготавливается преимущественно из твердого сплава марок ВК3М, ВК4, Т15К6, Т5К10. Твердый сплав марки ВК3М применяется для *чистового точения, нарезания резьбы* при обработке заготовок из серого чугуна, цветных металлов и сплавов. Твердый сплав марки ВК4 применяется при *черновой и получистовой обработке* чугуна, цветных металлов и сплавов. Твердый сплав марки Т15К6 применяется при *чистовом и получистовом* точении, растачивании, нарезания резьб у заготовок из легированных и углеродистых сталей. Твердый сплав марки Т5К10 применяется при *черновой обработке* заготовок из легированных и углеродистых сталей, преимущественно в виде поволоков, штамповок и отливок. Одним из главных факторов, влияющих на качественный процесс резания, является правильный выбор значений основных углов применяемого токарного резца.

К основным углам резца (любого по назначению) относятся:

γ - передний угол; α - задний главный угол;

ϕ - главный угол в плане; ϕ_1 - вспомогательный угол в плане.

Значение основных углов режущей части токарного резца при различных видах обработки даны в таблице 21.3 и 21.4 .

Точение жесткой заготовки $L/D < 10$. Таблица 21.3

Наименование угла	Угол в градусах
Передний угол	0...+5°
Задний главный угол	8...12°
Главный угол в плане	30...90°
Вспомогательный угол в плане	5...10°

Точение недостаточно жесткой заготовки $L/D > 10$

растачивание отверстий. Таблица 21.4

Наименование угла	Угол в градусах
Передний угол	0...5°
Задний главный угол	8...12°
Главный угол в плане	60...95°
Вспомогательный угол в плане	5...10°

21.1.2 Разработка операционной технологии

Разрабатывая операционную технологию, необходимо выполнять следующие условия:

- запись последовательности обработки поверхностей в каждой установке заготовки должна строго соответствовать последовательности обработки поверхностей, указанной в маршрутной технологии;

- запись "установа" должна быть аналогична записи в маршрутной установке;

- обозначение технологического перехода осуществлять не арабскими цифрами (1, 2 и т.д.), а *каждый переход* обозначать тремя большими буквами: О, Т и Р. После обозначения буквы **О** записывается текст технологического перехода более подробно, чем в маршрутной технологии, в соответствии с ГОСТом 3.1702.

Примеры: подрезать торец в размер 1, точить поверхность в размер 1 и 2, сверлить отверстие в размеры 1, 2, расточить канавку в размеры 1, 2, 3. Более подробный перечень текста переходов дан ниже.

Размеры, которые необходимо выполнить при каждом технологическом переходе шифруются цифрами, а их величины указываются только в карте эскизов. После буквы **Т** записывается характеристика выбранного резца для выполнения данного технологического перехода и характеристика мерительного инструмента.

После буквы **Р** записываются следующие режимы резания: $t =$; $i =$; $S =$; $n =$. численные значения которых определяются расчетами. На каждый технологический переход дается карта эскизов, в которой указаны схематично зажимы и опоры, размеры, выполняемые при конкретном переходе, шероховатость обра-

батываемых поверхностей. Каждый размер шифруется той цифрой, которой он обозначен в тексте технологического перехода. Эскизы отдельных переходов можно объединять, если нет совпадения одинаковых обрабатываемых поверхностей.

Основная терминология технологических переходов токарной операции:

Точить поверхность в размер 1 на проход; Точить поверхность в размер 1 и 2; Точить поверхность с подрезкой торца буртика в размеры 1, 2; Точить галтель (радиус) в размер 1; Точить фаску в размер 1; Подрезать торец в размер 1; Подрезать торец буртика в размер 1; Центровать торец в размеры 1, 2, 3; Сверлить отверстие в размер 1 на проход; Сверлить отверстие в размеры 1, 2; Рассверлить отверстие в размер 1 на проход; Рассверлить отверстие в размеры 1, 2; Зенкеровать отверстие в размер 1 на проход; Зенкеровать отверстие в размеры 1, 2; Расточить отверстие в размер 1 на проход; Расточить отверстие в размеры 1, 2; Расточить отверстие с подрезкой дна в размеры 1, 2; Подрезать дно в размер 1; Развернуть отверстие в размер 1 на проход; Развернуть отверстие в размеры 1, 2; Зенковать фаску в размер 1; Проточить канавку в размеры 1, 2, 3; Нарезать резьбу в размер 1 на проход; Нарезать резьбу в размеры 1, 2; Раскатать отверстие в размер 1; Обкатать поверхность в размер 1.

21.2 Проведение расчетов для определения режимов резания

21.2.1 Выбор станка

Станок должен обеспечивать выполнение всех требований чертежа по точности получения размеров, чистоте обработанных поверхностей, точности взаимного положения поверхностей и осей, а также обеспечить наименьшие затраты времени на обработку заготовки. Выбор конкретного токарного станка производится в зависимости от максимального диаметра детали, ее длины и затрачиваемой мощности при резании.

В учебных целях рекомендуется токарно-винторезный станок марки 1К62, мощностью 10 кВт и КПД станка, равным 0,75.

Характеристика станка:

- частота вращения шпинделя: 16, 20, 25, 31, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 об/мин;

- значения продольных и поперечных подач: 0,070, 0,074, 0,084, 0,097, 0,11, 0,12, 0,13, 0,14, 0,15, 0,17, 0,195, 0,21, 0,23, 0,26, 0,28, 0,30, 0,34, 0,39, 0,43, 0,47, 0,52, 0,57, 0,61, 0,70, 0,78, 0,87, 0,95, 1,04, 1,14, 1,56, 1,74, 1,90, 2,08, 2,28 мм/об

21.2.2 Выбор подачи резца S (мм/об)

В зависимости от вида обработки (*черновая, получистовая или чистовая*) выбирается соответственно и подача резца. При черновой обработке подачу выбирают максимально возможной, исходя из жесткости системы СПИД (станок-приспособление – инструмент - деталь). Так как часто бывает трудно определить величину жесткости системы СПИД, то величину черновой подачи выбирают из справочника. Ниже приведены значения черновой подачи при обработке заготовок из конструкционных и легированных сталей и чугунного литья резцом, оснащенным пластиной твердого сплава (таблица 21.5).

Значения подачи резца при черновой обработке заготовок. Таблица 21.5

Материал заготовки	Диаметр заготовки, мм	Глубина резания t (мм)	
		до 4 мм	до 6 мм
		Подача, S (мм/об)	
Стальной прокат, поковки, штамповки	до 20	0,1...0,5	0,3...0,4
	до 60	0,5...0,7	0,4...0,5
	до 100	0,6...0,9	0,5...0,8
	до 200	0,8...1,4	0,7...1,2
Чугунное литье	до 20	0,4...0,5	0,3...0,4
	до 60	0,5...0,7	0,4...0,5
	до 100	0,5...0,8	0,5...0,7
	до 200	0,7...1,0	0,6...0,9

Выбранное значение подачи уточняется по станку и в дальнейших расчетах используется уточненная подача $S_{ст}$.

$$S_{ст} \leq S_{табл} \quad (21.4)$$

Для получистовой и чистовой обработки поверхности заготовки подача резца выбирается в зависимости от заданной шероховатости поверхности детали. Величину подачи резца определяют по формуле:

$$S_{чист} = \frac{C_s \cdot R_a}{t^x \cdot \varphi^z \cdot \varphi_1^z} \quad (\text{мм/об}) \quad (21.5)$$

где: C_s -коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала обрабатываемой заготовки; R_a -величина шероховатости, указанная на чертеже, мкм; t -глубина резания, мм; φ - главный угол в плане резца, град.,

φ_1 -вспомогательный угол в плане резца, град.; X, Y, Z - показатели дробных степеней.

Значения коэффициента C_s и показателей дробных степеней даны в таблице 21.6, а значения углов φ и φ_1 в соответствии с выбранными углами резца. Углы резца указываются в тексте технологического перехода операционной технологии. Полученные значения подачи по формуле необходимо уточнить по паспорту станка (взять ближайшую *наименьшую* подачу) и в дальнейших расчетах пользоваться только значением подачи по станку - $S_{ст} \leq S_{табл}$

Значения коэффициента C_s и показателей дробных степеней. Таблица 21.6

Материал заготовки	Вид обработки	Значение C_s и показатели дробных степеней		
		C_s	X	Z
Сталь	Получистовая	0,77	0,12	0,15
Чугун	Получистовая	0,49	0,12	0,25
Сталь	Чистовая	0,60	0,30	0,35
Чугун	Чистовая	0,45	0,25	0,50

Назначение периода стойкости резца - T (мин).

Под периодом стойкости резца (да и любого инструмента) понимают время работы резца от заточки до заточки. Обычно принимают период стойкости резца, равным 45, 60 или 90 минут. При расчетах рекомендуется принимать $T = 60$ минут.

21.2.3 Определение теоретической скорости резания V_T (м/мин)

Теоретическая скорость резания при токарной обработке определяется по формуле:

$$V_T = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S_{ст}^y} \cdot K_V, \quad (\text{м/мин}) \quad (21.6)$$

где: C_v - коэффициент, зависящий от физико –механических свойств материала, заготовки; T - стойкость резца, мин.; t - глубина резания, мм; $S_{ст}$ - подача резца по станку, мм/об; m, x, y - показатели дробных степеней; K_v - поправочный коэффициент.

Значения коэффициента C_v и показатели дробных степеней даны в таблице 21.7. Значения коэффициентов K_1 K_2 и даны в таблицах 21.8...21.9. Поправочный коэффициент K_v определяется по формуле:

$$K_v = K_1 \cdot K_2 \quad (21.7)$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий влияние физико-механических свойств материала заготовки; K_2 - коэффициент, учитывающий влияние материала режущей части резца.

Значения коэффициента C_v и показатели дробных степеней. Таблица 21.7

Материал заготовки	Подача мм/об	C_v	m	x	y
Сталь	< 0,3	142	0,20	0,45	0,35
	> 0,3	260	0,20	0,18	0,45
Чугун	< 0,3	126	0,12	0,22	0,40
	> 0,3	140	0,08	0,30	0,50

Коэффициент, учитывающий влияние физико-механических свойств материала заготовки. Таблица 21.8

Стали с содержанием углерода < 0,6 %	$K_1 = 0,85$
Стали с содержанием углерода > 0,6 %	$K_1 = 1,00$
Легированные стали	$K_1 = 1,10$
Чугуны	$K_1 = 1,0$

Коэффициент, учитывающий влияние материала режущей части резца
Таблица 21.9

Материал заготовки	Значение коэффициента K_2			
	Материал резца			
	ВКЗМ	ВК4	T15K6	T5K10
Стальной прокат поковки, штамповки	--	--	1,25	1,40
Чугунное литье	1,15	1,0	--	--

21.2.4 Определение теоретической частоты вращения шпинделя станка - n_T (об/мин)

Теоретическая частота вращения шпинделя станка (заготовки) определяется

по формуле:

$$n_T = \frac{1000 \cdot V_T}{\pi \cdot D_{\text{заг}}}, \quad (\text{об/мин}) \quad (21.8)$$

где: V_T - теоретическая скорость резания, м/мин; $D_{\text{заг}}$ - диаметр обрабатываемой поверхности, мм.

Найденное значение теоретической частоты вращения шпинделя станка (заготовки) уточняется по паспорту станка, выбирается *ближайшее наименьшее* и в дальнейших расчетах используется только станочное значение частоты вращения шпинделя – $n_{\text{ст}}$.

21.2.5 Определение действительной скорости резания V_d (м/мин)

Действительная скорость резания определяется по формуле:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D_{\text{заг}} \cdot n_{\text{ст}}}{1000}, \text{ (м/мин)} \quad (21.9)$$

21.2.6 Определение силы резания - P_z (кН)

Сила резания при точении определяется по формуле:

$$P_z = C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p, \text{ (кН)} \quad (21.10)$$

где: C_p - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала заготовки; t - глубина резания, мм; $S_{\text{ст}}$ - подача резца по станку, мм/об; K_p - поправочный коэффициент; x, y - показатели дробных степеней.

Значение коэффициента C_p и показателей дробных степеней даны в таблице 21.10

Значение коэффициента C_p и показателей дробных степеней. Таблица 21.10

Материал заготовки	C_p	x	y
Углеродистая сталь	1,25	1,0	0,75
Легированная сталь	1,55	1,0	0,90
Чугун	0,55	0,9	0,65

Поправочный коэффициент K_p определяется по формуле:

$$K_p = K_1 \cdot K_2 \quad (21.11)$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий влияние физико-механических свойств материала заготовки; K_2 - коэффициент, учитывающий влияние износа режущей части резца.

Значения данных коэффициентов даны в таблицах 21.11 и 21.12.

Значения коэффициента K_1 . Таблица 21.11

Стали с содержанием углерода < 0,6 %	$K_1 = 0,9$
Стали с содержанием углерода > 0,6 %	$K_1 = 1,1$
Легированные стали	$K_1 = 1,2$
Чугуны	$K_1 = 0,7$

Значения коэффициента K_2 . Таблица 21.12

Материал заготовки	Значение коэффициента K_2 при износе лезвия резца до (мм)	
	1,5	2,0
Сталь	1,0	-
Чугун	-	1,0

21.2.7 Определение эффективной мощности резания – $N_{рез}$. (кВт)

Эффективная мощность резания при токарной обработке определяется по формуле:

$$N_{рез} = P_z \cdot V_d, \text{ (кВт)} \quad (21.12)$$

где: P_z - сила резания при точении, кН; V_d - действительная скорость резания, м/с

Проверка достаточности мощности электродвигателя станка

Проверка достаточности мощности электродвигателя станка проводится по формуле:

$$N_{рез} < N_{шпинд.} \quad \text{или} \quad N_{шпинд.} = N_{ст.} \cdot \eta_{ст} \quad (21.13)$$

Если при расчетах получается, что эффективная мощность резания больше мощности на шпинделе станка, то необходимо либо уменьшить скорость резания, либо снижать значения величин глубины резания или подачи, т.е. уменьшить значение P_z .

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Что означает технологический процесс изготовления детали?
2. Решение каких вопросов предусматривает разработка маршрутной технологии изготовления детали?
3. Как определяется последовательность выбранных операций при обработке заготовки
4. Назначение последовательности обработки поверхностей заготовки, обрабатываемой при каждой операции.
5. Правильный выбор средств технологического оснащения.
6. Необходимость соблюдения условий при разработке операционной технологий.
7. Общий порядок выполнения расчетов по определению режимов резания.
8. Как обозначаются технологические переходы, при разработке операционной технологий обработки заготовки?
9. Определение теоретической и действительной скорости при резании.
10. Как проводится проверка достаточности мощности электродвигателя станка?

ГЛАВА VI.

Раздел 22

22. Практические работы.

22.1 Изучение абразивных инструментов для шлифовальных работ

22.1.1. Цель и порядок выполнения работы.

Приобрести практические навыки по расшифровке и выбору абразивных материалов и инструментов для выполнения финишных операций в технологических процессах механической обработки деталей.

1. Изучить свойства и назначения абразивных материалов и инструментов.
2. Провести расшифровку абразивных инструментов (набор инструментов задаётся преподавателем).
3. Произвести выбор абразивных инструментов для выполнения работ условия, которых задаются преподавателем.
4. Оформить и сдать отчёт.

22.2. Содержание отчета.

22.2.1. Расшифровать маркировку абразивных инструментов, заданных преподавателем.

1. Абразивного круга.
2. Хонинговального бруска.
3. Алмазного круга.
4. Шлифовальной шкурки.

При расшифровке абразивных инструментов указать:

- вид абразивного материала; - вид связки;
- номер зернистости и размеры абразивного зерна;
- твёрдость абразивного круга и хонинговального бруска;
- вид структуры;
- прочие характеристики абразивного инструмента (форма круга, размеры инструмента, область применения).

22.2.2. Выбрать абразивный инструмент для выполнения технологических операций, заданных преподавателем.

22.2.3. Дать краткое обоснование выбора инструментов по пункту 22.2.2.

22.3. Характеристика абразивных материалов.

22.3.1. Общая характеристика абразивных материалов

Под абразивными материалами понимают измельчённые в виде зёрен и порошков природные и искусственные минералы, применяемые для изготовления шлифовальных инструментов и паст.

Природными (естественными) абразивными материалами, имеющие промышленное значение, являются:

- алмаз; - корунд; - наждак; - кварц; - окись хрома; - окись железа;

Искусственными абразивными материалами являются:

- электрокорунды (промышленность производит несколько разновидностей электрокорундов:

- электрокорунд нормальный, электрокорунд белый, электрокорунд хромистый, титанистый, циркониевый, а также монокорунд и сферокорунд);

- карбид кремния (карборунд);

- кубический нитрид бора; - синтетические алмазы.

Алмаз – разновидность углерода (кристаллический углерод). Редкий минерал, обладает наивысшей твёрдостью по сравнению с известными естественными и искусственными материалами (уступает по твёрдости лишь борсиликарбиду). Встречается в природе в виде кристаллов массой от 0,005 до нескольких карат (карат равен 0,205 грамм). Алмазы размером более 0,2 карата применяются для изготовления резцов, стеклорезов, наконечников к измерительным приборам, бурового инструмента и т.д. , а более мелкие зёрна и пыль - для производства абразивных кругов ,брусков, надфилей, паст (шлифование и заточка твёрдых сплавов, хонингование, суперфиниширование, притирка, полирование, правка абразивных кругов).

Корунд – минерал, состоящий из окиси алюминия (Al_2O_3 от 70 до 92 %) и примесей кварца, окиси железа и др. минералов. Цвет в зависимости от состава и количества примесей: серый, синий, красный, жёлтый, бурый, белый. Используется, в основном, в виде порошков, микропорошков и паст для доводки изделий из металла и стекла. Зёрна корунда не очень прочные и круги из них не могут работать в тяжёлых условиях.

Наждак - мелкозернистая горная порода, состоящая в основном из корунда, магнетита, кварца в различных соотношениях (содержание корунда до 30%).

Цвет – чёрный, красновато-чёрный, серо-чёрный. Используется для изготовления абразивной шкурки, бытовых брусков, притирочных паст.

Квариц - горная порода, состоящая в основном, из кристаллического кремнезёма SiO_2 . Применяется для изготовления абразивной шкурки для обработки дерева, кожи, резины.

Электрокорунд – искусственный корунд, получаемый электрической плавкой бокситов из глинозёма, богатых окисью алюминия. Различают несколько разновидностей электрокорунда.

Электрокорунд нормальный – содержащий не менее 87% окиси алюминия (Al_2O_3). Цвет от светло-коричневого до тёмно-коричневого. При содержании Al_2O_3 до 90 % имеет марку 12А, при 90-92 % -- 13А, 93% -14А, 94 % - 15А, при 95-96 % Al_2O_3 – марка 16А. Применяется для обдирочного шлифования чугуновых и стальных отливок, поковок, штамповок, для шлифования конструкционных и легированных сталей в сыром и закалённом виде, твердых бронз.

Электрокорунд белый – содержащий не менее 97% окиси алюминия и имеющий белый или светло-розовый цвет. При содержаниях 98% имеет марку 22А, 99% - 23А, 99,3% - 24А, свыше 99,3% - 25А. Круги из этих марок применяются для шлифования и доводки легированных сырых и закалённых сталей, заточки и доводки режущего инструмента.

Монокорунд – разновидность электрокорунда. Получается, по особой технологии, в результате которой зёрна монокорунда являются целыми кристаллами, а не осколками кристаллов, полученных при дроблении электрокорундов. Обладает большей твёрдостью, прочностью, лучшим режущим свойством. Используется при шлифовании высокоточных деталей цементированных и азотированных закалённых сталей, заточке режущих инструментов.

При содержаниях Al_2O_3 до 97,4% имеет марку 43А, при содержаниях Al_2O_3 до 98,5% - 44А, более 98,5% - 45А.

Сферокорунд – разновидность электрокорунда. По особой технологии получают зёрна в виде полых корундовых сфер. Содержание Al_2O_3 более 99%. В процессе шлифования сферы разрушаются и обнажают острые режущие кромки, что обеспечивает более производительное шлифование. Применяется при обработке мягких и вязких материалов – кожи, резины, пластмассы, цветных металлов.

Электрокорунд хромистый – марка 32А, 33А и 34А и **Электрокорунд титанистый** (марка 37А) получают на базе электрокорунда белого с добавкой в процессе электроправки окиси хрома или окиси титана. Применяется для шлифования углеродистых и легированных сталей. С 1976 г. применяют хромтитанистый электрокорунд, у которого стойкость круга увеличена в 1,5 - 2 раза. Обозначают его 91А,92А,93А.

Электрокорунд цирконистый – изготавливается на базе электрокорунда белого с добавкой циркония. Материал имеет очень высокую прочность, способен обрабатывать деталь с усилием прижима к ней в 10 раз больше, чем остальные круги. Эффективен при черновом и обдирочном шлифовании. Обозначается 38А.

Карбид кремния (Карборунд) – химическое соединение (Si C) кремния и углерода (кварцевого песка и кокса) получаемое в электропечах. По твёрдости карбид кремния уступает только борсиликарбиду, алмазу и эльбору. Различают два вида карбида кремния – карбид кремния чёрный (марки 52С, 53С, 54С и 55С) и карбид кремния зелёный (марки 62С, 63С и 64С). По химическому составу и физическим свойствам они отличаются незначительно, однако карбид кремния зелёный содержит меньше примесей, имеет несколько повышенную хрупкость и большую абразивную способность.

Чёрный карбид кремния – применяется при шлифовании твёрдых сплавов, хрупких и очень вязких материалов, серого и отбеленного чугуна, бронзового и латунного литья, меди, неметаллических материалов (кожи, фарфора, резины, пластмасс).

Зелёный карбид кремния – применяется при тонком шлифовании, для чистовой заточки твёрдосплавного инструмента, хонингования и суперфиниши-

рования, а также для шлифования керамики, камня и для правки шлифовальных кругов.

Кубически нитрид бора (КНБ) – как вещество в природе не известен. Он синтезирован из нитрида бора. Физико-механические свойства КНБ близки к свойствам алмаза. Твердость его несколько ниже чем у алмаза, но имеет более высокую теплостойкость. На него не действуют никакие кислоты и растворы.

КНБ выпускают двух модификаций – эльбор и кубонит. Для абразивной обработки применяется эльбор-Л марок ЛО (эльбор обычной прочности) и ЛП (эльбор повышенной прочности) в виде шлифовальных зёрен, порошков и микропорошков. Из кубонита изготавливают шлифовальные порошки обычной прочности (КО) и повышенной прочности (КР), а также микропорошок (КМ).

Для упрочнения зерна КНБ покрывают неметаллической оболочкой (бор-силикат, специальные пластмассы). Область применения КНБ очень широка, особенно при обработке трудно обрабатываемых сталей.

Другие синтетические материалы на основе бора (славутич, боразон, гексалит - Р, исмит, поликристаллический кубически нитрид бора ПКНБ) в абразивной обработке не применяются.

Синтетические алмазы. В зависимости от размера зёрен и метода их получения порошка из синтетических алмазов делят на две группы; шлифовальные порошки и микропорошки. Шлифовальные порошки выпускают 5-ти марок: АСО, АСР, АСВ, АСК, АСС. При абразивной обработке применяются порошки первых 3-х марок.

- АСО – прочность зёрен в 2 – 5 раз ниже, чем природных алмазов. Имеет повышенную хрупкость обеспечивает высокое качество обработанной поверхности. Размеры зерна до 160 мкм.

- АСР – прочность в 1,2 – 2 раза выше АСО. Размеры зерна до 250 мкм.

- АСВ –обладает более высокой прочностью и меньшей хрупкостью. Размеры зёрен до 400 мкм.

22.3.2. Зернистость абразивных материалов

Абразивный круг, брусок или порошок изготавливаются из абразивных зёрен определённого размера, чтобы снимаемые ими стружки были бы примерно одинаковыми. Размер зёрен -- зернистость абразивных материалов -- определяются размерами сторон ячеек сит в сотых долях миллиметра, через которые просеивают абразивные зёрна и порошки. Для микропорошков размер зёрен определяется в микрометрах. Зернистость абразивных материалов (кроме алмазных и синтетических) определяются по ГОСТ 3647-71. В зависимости от крупности частиц абразивные материалы делятся на группы и номера (табл.22.1). Микропорошки обозначаются буквой М, показывающей наибольший размер зерна в микрометрах.

Группы и номера абразивных материалов. Таблица 22.1

№ п/п	Группа зернистости	Номер зернистости
1	Шлифзерно	200,160,125, 100,80,63, 50, 40,30, 25, 20, 16.
2	Шлифпорошки	12, 10, 8, 6, 5, 4, 3.
3	Микропорошки	М63,М50,М40,М28, М20,М14.
4	Тонкие микропорошки	М10, М7, М5, М3, М2, М1.

Размеры зёрен зернистости № 200 – 2... 2,5 мм:

зернистости № 80 – 1,0... 0,80 мм;

зернистости № 40 – 0,50... 0,40 мм;

зернистости № 16 – 0,20... 0,16 мм.

Размеры шлифпорошков зернистости № 12 – 0,16...0,125мм:

зернистости № 4 – 0,05... 0,04 мм.

Размеры микропорошков и тонких микропорошков:

зернистости № М63 – 63... 50 мкм;

зернистости № М20 – 20... 14 мкм;

зернистости № М5 – 5...3 мкм.

Каждый номер зернистости характеризуется несколькими фракциями зёрен – основной, крупной, комплексной и мелкой.

Основная фракция - это совокупность абразивных зерен одного интервала размеров, преобладающих по количеству данного абразивного порошка.

В крупной фракции размеры зёрен превышают размеры зёрен основной фракции. В зависимости от процентного состава основной фракции номер зернистости дополняется буквенными индексами В (55...60% основной фракции), П (45...55%), Н (40...45%) и Д (37...41%). Например, зернистость 63П, М20Д.

22.3.3. Некоторые рекомендации по выбору зернистости кругов:

- при ручных обдирочных операциях (зачистке заготовок, отливок, штампованных деталей) выбирают зернистость 125...80;
- при предварительном шлифовании (черновом), заточке быстрорежущего инструмента - зернистость 63...40;
- при получистом шлифовании, заточке твёрдосплавного инструмента - зернистость 40...25;
- при чистовом шлифовании, обработке профильных поверхностей, шлифовании хрупких материалов, заточке мелких инструментов – зернистость 25...16;
- при отделочном шлифовании, доводке твердых сплавов и заточке тонких режущих кромок инструментов – зернистость 12...6.

Зернистость алмазных шлифпорошков определяется по ГОСТ 9206-70. Алмазные порошки представляют собой совокупность алмазных зёрен различной величины и формы в виде монокристаллов, их осколков, сростков и поликристаллов. Зерновой состав алмазных порошков характеризуется совокупностью фракции: основной (преобладающей по количеству) и побочных -- крупной и мелкой, выраженных в процентах. Зернистость алмазов и других синтетических сверхтвёрдых материалов обозначают дробью, у которой числитель соответствует наибольшему, а знаменатель наименьшему размерам зерен основной фракции в микрометрах.

Например: АСО 160/125; АСМ 60/40 и т.д. Зернистость шлифпорошков выпускается двух диапазонов: широкого и узкого.

Широки диапазон зернистостей: 400/250; 250/160; 160/100; 100/63; 63/40.

Узкий диапазон зернистостей: 630/500; 500/400; 400/315; 315/250; 250/200;
200/160; 160/125; 125/100; 100/80; 80/63; 63/50; 50/40.

Зернистость микропорошков только одного диапазона: 60/40; 40/28; 28/20;
20/14; 14/10; 10/7; 7/5; 5/3; 3/2; 2/1; 1/0.

22.4. Характеристики абразивных инструментов.

Абразивные инструменты (круги, головки, сегменты и бруски) состоят из абразивного материала, скреплённых связкой. Они характеризуются, кроме вида абразивного материала и его размера (зернистости), следующими параметрами:

- связкой;
- твёрдостью;
- структурой;
- формой и размерами;
- точностью изготовления;
- прочностью;
- сбалансированностью (для кругов и головок).

22.4.1. Связка абразивных инструментов

Абразивные зёрна и порошки соединяют в единую прочную массу определённой формы (круга, сегмента и т.п.) при помощи связующего вещества.

Связующие вещества для абразивных материалов делятся на неорганические и органические. К неорганическим относят металлическую, керамическую силикатную и магнезиальную связку, к органическим – бакелитовую, вулканитовую, глифталевую. В настоящее время удельный вес выпуска абразивных инструментов составляет: на керамических связках 50...55 %, на бакелитовых - 35... 40 %, на вулканитовых - около 5% и на остальных связках менее 10%.

Керамическая связка – представляет собой стекловидную массу, составные части которой – огнеупорная глина, полевой шпат, кварц и др. материалы. Смесь из связки и абразивных зёрен прессуется или в формы или отливается. Керамическая связка тепло-водо и химически стойка, жёстка и достаточно прочна. Может применяться для изготовления абразивных инструментов любых форм, размеров, зернистости и твёрдости (за исключением отдельных кругов). Круги на данной связке могут работать с любой охлаждающей жидкостью и без нее. Скорость резания абразивных кругов на керамической связке до 50 м/сек. Керамическая связка обозначается буквой “К” и имеет следующую разновидность маркировки:

КО – для малогабаритных кругов внутреннего шлифования;

К1 и К8 - для инструментов общего назначения для всех видов шлифования, кроме обрезных и прорезных работ;

К5 и К7 - для инструментов повышенной прочности для скоростного профильного и врезного шлифования;

ЗК - для инструментов из карбида кремния для всех видов шлифования и заточки.

Силикатная связка – состоит из жидкого стекла, окиси цинка, мела и других наполнителей. Она не обеспечивает прочного закрепления зёрен в круге. Обработка ведётся без охлаждения, со скоростью до 30 м/сек. Силикатная связка обозначается буквой “С”.

Магнезиальная связка – представляет собой смесь каустического магнезита и хлористого магния. Применяется для изготовления кругов, брусков из наждака и естественного корунда. Круги на данной связке быстро и неравномерно изнашиваются. Скорость резания – до 20 м/сек.

Бакелитовая связка – представляет собой бакелитовую смолу или фенолформальдегидную смолу. По сравнению с керамической связкой более прочна, особенно на сжатие и упругость, поэтому круги на бакелитовой связке обладают высокой прочностью и эластичностью и устойчивы при переменных нагрузках. Круги на бакелитовой связке изготавливают из различных абразивных материалов, скорость резания – до 70 м/сек. В настоящее время стойкость кругов на данной связке увеличена на 50 % за счёт добавления в связку наполнителей: криолита, тканей, нити нейлона, капрона. При нагреве круга до температуры 250⁰ С связка начинает быстро выгорать, а зёрна легко выкрашиваются. Нестойка данная связка и к щелочным растворам, поэтому концентрация их должна быть не более 1,5. Этот недостаток частично устраняется, если боковые поверхности круга покрыть водостойким лаком, краской, серой.

Бакелитовая связка обозначается буквой “Б” и имеет следующую разновидность маркировки:

Б - для кругов с повышенной режущей способностью, для обдирочного шлифования;

Б1 - для кругов общего назначения, а также для плоского и внутреннего шлифования;

БУ - для кругов повышенной прочности для скоростного шлифования, зачистки литья и поковок, для обрезных работ.

Вулканитовая связка – в своей основе имеет синтетический каучук с вулканизирующими добавками. На этой связке выпускаются жёсткие и эластичные инструменты. Жёсткие круги изготавливаются большого ассортимента. Работают, при скоростях резания до 50 м/сек. Гибкие круги способны принимать форму обрабатываемой поверхности, оказывают хорошее полирующее действие, но менее прочны и работают, при скоростях резания до 30 м/сек.

Круги на вулканитовой связке не должны нагреваться выше температуры 180⁰ С, нестойки к керосину, быстро засаливаются и требуют частой правки.

Вулканитовая связка обозначается буквой “ В “ и имеет следующую разновидность маркировки:

В, В1–для кругов общего назначения , для отрезных работ, для шлифования фасонных поверхностей;

В2–для кругов повышенной прочности для скоростного шлифования;

В3–для кругов с повышенной режущей способностью для чистового шлифования цилиндрических и некруглых поверхностей.

Глифталева связка – изготавливается из глицерина и фталевого ангидрида. Круги на этой связке более упруги и водостойки, чем бакелитовые, но имеют меньшую прочность и теплостойкость. Скорость резания на этой связке до 50 м/сек. Применяется при чистовом и отделочном шлифовании сталей, особенно высокоуглеродистых. Обозначается связка буквами “ГФ”.

22.4.2. Некоторые рекомендаций по выбору связки:

- керамическая – для всех видов шлифования, кроме обдирки, резки и прорезки узких пазов;

- бакелитовая – для плоского шлифования торцом круга, обдирочных работ, отрезки и прорезки пазов, заточки инструментов, отделочного шлифования цилиндров;

- вулканитовая – для отрезки, прорезки и шлифования пазов, обработки

сферических пазов, чистовых операций при других видах фасонного шлифования, бесцентрового шлифования, шлифование деталей, где опасен прижог;

- глифталевая – для окончательного полирования.

22.4.3. Связка алмазных, эльборовых и кубонитовых инструментов.

Для изготовления алмазных, эльборовых и кубонитовых кругов разработано очень большое количество рецептов связок, которые по роду основного связующего компонента разделяются на металлические, органические, керамические и каучукодержащие.

Металлическая связка – изготавливают из различных композиций на основе меди и олова (медно-оловянные), железа и никеля (железоникелевая), вольфрама и кобальта (вольфрамокобальтовая) и ряд других металлов. В некоторые металлические связки добавляют наполнитель в виде электрокорунда белого, карбида кремния. Данные связки отличаются высокой прочностью и износостойчивостью. Металлическая связка придает кругу светло-серый цвет.

Обозначается буквой “М”.

Наиболее распространены металлические связки марок:

- М1–80 % меди +20% олова, М5;
- МВ1 – медно-алюмо-цинковый сплав;
- МС3 – медно-оловянная легированная титаном;
- МИ – медь + олово + зёрна электрокорунда белого;
- МО13; МС8 и др.

Органическая связка – (бакелитовые) те же, что и для обычных абразивных материалов.

Наиболее распространены связки:

- Б1; - Б2; - Б3; в которые добавляются наполнители в виде электрокорунда белого с коллоидным графитом, железный или медный порошок.

Как правило на бакелитовой связке изготавливаются круги из материалов: - АСО; - ЛО; - КО.

Керамические связки – те же, что и для обычных абразивных материалов. На керамических связках изготавливаются круги из материалов: - АСР; - ЛП; - КР.

22.4.4. Твёрдость абразивных инструментов.

Согласно ГОСТ18118 -72 под твёрдостью абразивного инструмента понимается сопротивляемость связки вырыванию абразивных зёрен с поверхности инструмента под влиянием внешних усилий. Чем твёрже круг, тем большее усилие нужно, чтобы вырвать зерно из связки. Шкала твёрдости абразивного инструмента дана в таблице 22.2

Шкала твёрдости абразивного инструмента. Таблица 22.2

№ п/п	Обозначение	Наименование	Группа твёрдости
1	М	Мягкие	М1, М2, М3
2	СМ	Средней мягкости	СМ1, СМ2
3	С	Средние	С1, С2
4	СТ	Средней твёрдости	СТ1,СТ2,СТ3
5	Т	Твёрдые	Т1, Т2
6	ВТ	Весьма твёрдые	ВТ
7	ЧТ	Чрезвычайно твёрдые	ЧТ

Твёрдость круга не зависит, не от вида абразивного материала, ни от зернистости, ни от связки. Они зависят только от технологии обжига или спекания абразивного круга в процессе его изготовления.

Твёрдость абразивных инструментов в значительной степени определяет производительность процесса обработки и качество обработанной детали. При выборе твёрдости круга необходимо руководствоваться следующими основными положениями:

- при обработке твёрдых материалов абразивные зёрна быстрее стираются и затупляются;

- удаление затупившихся зёрен легче происходит в мягких кругах.

Поэтому для обработки твёрдых материалов следует применять мягкие и среднемягкие абразивные инструменты, а для материалов невысокой твёрдости – более твёрдые круги.

Исключение составляют обработка меди, алюминия, свинца, нержавеющей и жаропрочной стали, которые обрабатываются мягкими кругами:

- для предварительных операции шлифования применяют более твёрдые круги, чем для чистовых операций;

- при шлифовании без охлаждения следует использовать мягкие круги, при работе с охлаждением – более твёрдые;
- мелкозернистый инструмент должен иметь меньшую твёрдость, чем крупнозернистый;
- при шлифовании неровных, прерывистых поверхностей необходимо применять более твёрдые круги;
- с повышением окружной скорости круга при прочих постоянных условиях следует уменьшать твёрдость круга;
- для обдирочных работ применяют более твёрдые круги.

Более конкретные рекомендации:

- M1; M2; M3 – плоское шлифование торцом круга;
- CM; CM2. внутреннее шлифование закалённой стали;
- заточка и доводка режущего инструмента;
- обработка цветных металлов, труднообрабатываемых и вязких сплавов;
- шлифование высокотвёрдой закалённой стали.

Чистовое шлифование:

- C1; C2 - окончательное и чистовое шлифование (круглое, бесцентровое, внутреннее);
 - плоское шлифование периферией круга;
 - шлифование чугуна;
 - обдирочное шлифование торцом круга.
 - CT1; CT2; CT3 - круглое и бесцентровое врезное шлифование;
- профильное шлифование;
- обработка разобщенных поверхностей;
 - обдирочное шлифование чугунов.
 - T1; T2 - обдирочное шлифование;
 - снятие заусенец на поковках, литье;
 - отрезные круги;
 - врезное и профильное шлифование с большим съёмом металла.
 - BT; CT - силовое обдирочное шлифование;
 - выполнение операции с большим удельным давлением резания.

На керамической и бакелитовой связке выпускаются инструменты всех твёрдостей, а на вулканитовой только CM1; CM2; C1; C2; CT1; CT2; CT3; T1; T2.

22.4.5. Структура абразивного инструмента.

При изготовлении абразивных инструментов (кругов, головок, брусков и т.п.) между отдельными частицами абразива и связкой образуются пустоты-поры.

При изготовлений, например, круга, в связку специально добавляют ряд веществ (молотый уголь, пластмассовую крошку, древесные опилки) которые при спекании круга выгорают, и таким образом, образуются поры. Внутреннее строение, т.е. количественное (или объёмное) соотношение и взаимное расположение зёрен, связки и пор, называют – структурой круга. Система регулирования структур основана на сохранении равенства:

Структура кругов и других абразивных инструментов обозначается номерами и названием:

- плотные (закрытые) структуры номеров 1; 2; 3 и 4, что соответствует 60; 58; 56 и 54% абразивных зёрен в объёме инструмента;

- средние структуры номеров 5; 6; 7 и 8 соответствуют объёмному содержанию зёрен 52; 50; 48 и 46% ;

- открытие структуры номеров 9; 10; 11 и 12 соответствуют объёмному содержанию зёрен 44; 42; 40 и 38% .

Объёмное содержание пор (пористость) кругов существенно влияет на шлифующие свойства абразивного инструмента. Основное количество кругов изготавливают пористостью 30...45%. Так, например, структуре круга твёрдостью CM1 соответствует объём зёрен 52%, объём связки 9%, объём пор (пористость) 39%. Чем больше номер структуры, тем больше расстояние между зёрнами. Применяются и высокопористые абразивные круги, имеющие номера структуры 13...18. У этих кругов количество пор и их размеры больше, чем обычных кругов. Высокопористый круг меньше засаливается, лучше охлаждается и тем самым имеет лучшую режущую способность. Ими обрабатывают очень вязкие материалы (медь, латунь пластмассы, кожу) а также используют при сухом шлифовании. Зернистость высокопористых кругов должен быть на 1...2 номера меньше, чем у обычных.

Закрытая структура

Открытая структура

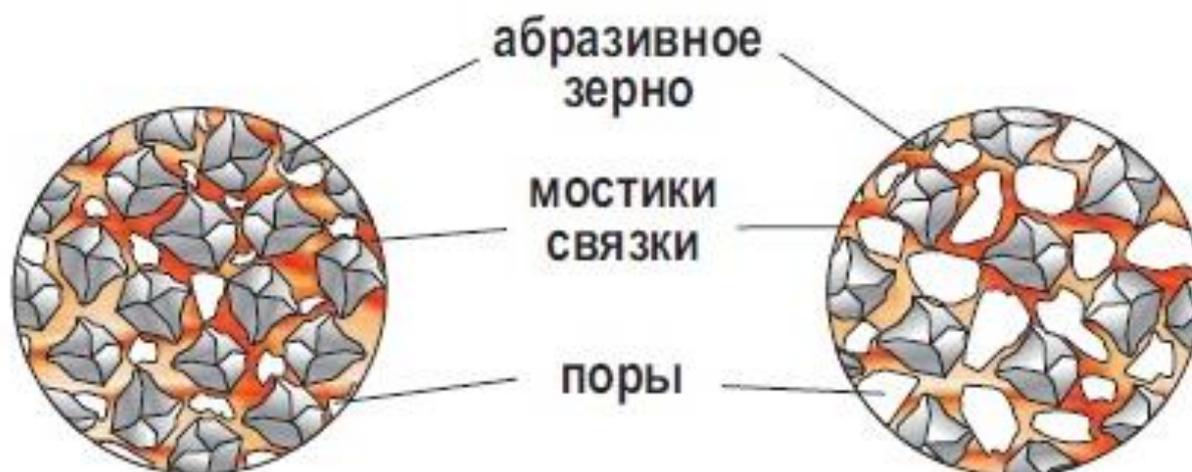


Рис. 22.1. Структура шлифовального круга.

При выборе структуры круга нужно руководствоваться следующими положениями:

- круги плотной структуры предназначаются для обработки твёрдых материалов, для чистовых и доводочных работ, обеспечивающих получение малой шероховатости. При отрезке, профильном шлифовании с сохранением профиля круга, шлифовании при больших и переменных нагрузках рекомендуется применять круги со структурой 3 и 4;

- круги средней структуры предназначаются при круглом наружном и бесцентровом шлифовании, плоском шлифовании периферией круга № 5 и 6 и торцом круга № 7 и 8, внутреннем шлифовании № 7 и 8.

- круги открытой структуры предназначаются для обработки вязких материалов.

22.4.6. Вид, форма и размеры абразивных инструментов.

Абразивные инструменты различают по виду на круги, головки, сегменты, брусы, шкуры, пасты и др. инструменты многих разновидностей и типов размеров (около 16000). В соответствии с ГОСТом 2424-75 выпускаются 14 типов кругов диаметром от 3 до 1060 мм, высотой от 0,18 до 275 мм и диаметром отверстия от 1 до 305 мм.

Наиболее распространённые по форме из них следующие:

- плоские прямого профиля ПП (самые простые, используются на большинстве шлифовальных станков);

- прямого профиля с двухсторонней выточкой ПВД;
- чашечные конические ЧК (для обработки на плоскошлифовальных станках).

В соответствии с ГОСТом 2447-76 выпускаются 7 типов шлифовальных головок (цилиндрические ГЦ, угловые ГУ, шаровые ГШ и др.). Все они применяются для внутреннего шлифования и зачистки на станках с гибким валом. Имеют глухое отверстие и крепятся на валу приклеиванием.

В соответствии с ГОСТом 2464-75 выпускаются 9 видов шлифовальных сегментов (плоские СП, выпукло-вогнутые 1С, трапецевидные 5С, специальные 7С и др.). Применяются главным образом для плоского шлифования.

В соответствии с ГОСТом 2456-75 выпускаются 6 видов шлифовальных брусков (квадратные БК₆, трёхгранные БТ и др.). Применяются для хонингования, суперфиниширования, слесарных доводочных работ.

В соответствии с ГОСТом 16167-70 ... 16180-70 изготавливаются алмазные круги. Данные круги представляют собой металлический (алюминиевый или стальной) или пластмассовый диск (корпус) различной толщины на которой нанесён алмазоносный слой (высотой от 0,1 до 10мм), состоящий из зёрен или порошка алмазов, связки, наполнителя (электрокорунд белый, карбид кремния и др.) и пор. Этот слой характеризуется по содержанию алмазов в 1см³ так называемой «концентрацией», которую принято выражать в процентах: 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 и 200 %. За 100% условно принято содержание в 1 см³ данного слоя 0,878 карат алмазов. Или за 100% -ную концентрацию принимают такой круг, у которого 25% объема алмазного слоя составляют алмазные зёрна или порошок. Формы кругов аналогичны обычным, но впереди условного обозначения ставится буква “А” (АПП, АЧК и т.д.).

В соответствии с ГОСТом 17123-71 и ОСТ 2.036-3-70 выпускают эльборовые круги, которые изготавливаются также как и алмазные круги имеющие такую же концентрацию эльборосодержащего слоя. ГОСТами 6456-75 и 5009-75 определено применение шлифовальных шкурок, которые выпускаются на тканевой и бумажной основе в виде листов, лент, кругов и т.д. Шкурка предназначена для машинного, ручного шлифования и полирования всухую и с охлаждением. Для обработки всухую или с маслом или керосином, применяются

шкурки на мездровом клее (мездровый клей в воде растворяется). Для работы с охлаждением водными растворами, эмульсиями, а также маслом, керосином и уайт-спиртом и всухую применяются водостойкие шкурки на синтетических смолах и лаках. Шкурки изготавливаются приклеиванием на бумажную и тканевую основу абразивных зёрен из электрокорунда нормального, белого, карбида кремния, стекла, эльбора, алмаза. Способ нанесения абразивных зёрен – электростатический ЭС и механический МС.

По износостойкости шкурки выпускаются 3-х классов на мездровом клее (А, Б и В) и 2-х классов (А и Б) водостойких. Зернистость шкурок колеблется от 80 до 144.

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Что понимается под абразивными материалами, виды абразивов и порошков?
2. Различие абразивных материалов и область их применения.
3. Чем руководствоваться при выборе зернистости и твёрдости кругов?
4. На что влияет связка абразивных инструментов?
5. Что такое твёрдость абразивных инструментов?
6. Подобрать абразивный инструмент по составу абразивного материала, твёрдости и связке для обдирочного шлифования чугунных и стальных отливок, поковок, твёрдых бронз.
7. Почему высокопористый круг имеет лучшую режущую способность?
8. Какими номерами и названием обозначаются структуры кругов и других абразивных инструментов?
9. На сколько должен быть меньше зернистость высокопористых кругов, чем у обычных?
10. Какие разновидности электрокорунда вам известны?
11. Какие круги изготавливаются на керамических связках?
12. Какими изготавливаются эльборовые круги?

Раздел 23

23. Разработка технологического процесса обработки деталей на токарном станке.

Часть I.

23.1 Разработка технологического процесса.

Разработка технологического процесса изготовления детали на металлорежущих станках является важным элементом всего процесса производства машины. От степени рациональности технологического процесса зависят качество, производительность труда и материально-технические затраты на изготовления самой детали и машины в целом.

Составление технологического процесса изготовления детали на металлорежущих станках состоит из 4-х частей:

1. Разработка маршрутной технологии изготовления детали.
2. Выбор средств технологического оснащения
3. Разработка операционной технологии.
4. Проведение расчетов по определению режимов резания.

23.2. Разработка маршрутной технологии.

При разработке маршрутной технологии не указываются размеры обрабатываемых поверхностей и режимы резания при их обработке.

Разработка маршрутной технологии изготовления детали предусматривает решение следующих вопросов:

- 1) определить вид операции обработки заготовки (токарная, фрезерная, шлифовальная и др.) для получения детали по заданному чертежу с учетом всех необходимых технических условий на ее изготовление;
- 2) установить последовательность применения выбранных операций при обработке заготовки;
- 3) в каждой операции установить последовательность обрабатываемых поверхностей заготовки.

23.3. Определение вида операций обработки заготовки.

Виды операции для обработки заготовки определяются практически по двум параметрам:

- по форме поверхности детали и
- по значению шероховатости поверхности.

Определение вида операции по форме поверхности детали.

Токарная операция предусматривает получение цилиндрических наружных и внутренних поверхностей, фасок, обработку торцов и торцов буртиков, сверление вдоль оси заготовки и нарезание наружной и внутренней резьбы.

Фрезерная операция применяется для обработки или получения плоских поверхностей различной конфигурации.

Сверлильная операция назначается при получении отверстий в сплошном металле, ось которых перпендикулярна оси детали, увеличение имеющего отверстия (операция рассверливания) и повышения качества обрабатываемого отверстия за счет применения зенкеров и разверток. Данная операция применяется для получения и обработки отверстий в плоских, а также в круглых деталях, если ось обрабатываемых отверстий перпендикулярна или параллельна оси круглой детали.

Протяжная операция назначается для получения внутренних шпоночных или шлицевых канавок.

Определение вида операции по значению шероховатости обрабатываемой поверхности

Операция зенкерования или развертывания назначается для достижения более качественной поверхности отверстий по сравнению со сверлением.

Операция шлифования предусматривает обработку цилиндрических и плоских поверхностей для получения поверхностей с малой шероховатостью.

23.4. Определение последовательности применения выбранных операций при обработке заготовки.

а) как правило, в первую очередь назначается токарная операция, так как обработанные поверхности заготовки при данной операции наиболее удобны для закрепления заготовки при выполнении последующих операций;

б) применение строгой последовательности других операций должны быть оговорены в технических условиях на изготовление детали. Если таких условий нет, то применение других операций устанавливается в зависимости от удобства обработки заготовки;

в) операция шлифования применяется в последнюю очередь, так как она относится к разряду чистовых операций;

г) учитывается влияние термической обработки. Если в процессе обработки заготовка подвергается термической обработке, то весь технологический процесс расчлениют на две части: до термообработки и после нее. Такое разделение вызвано возможными деформациями заготовки в процессе термообработки, поэтому после термообработки должна быть проведена окончательная механическая обработка наиболее высокоточных и чистовых поверхностей детали.

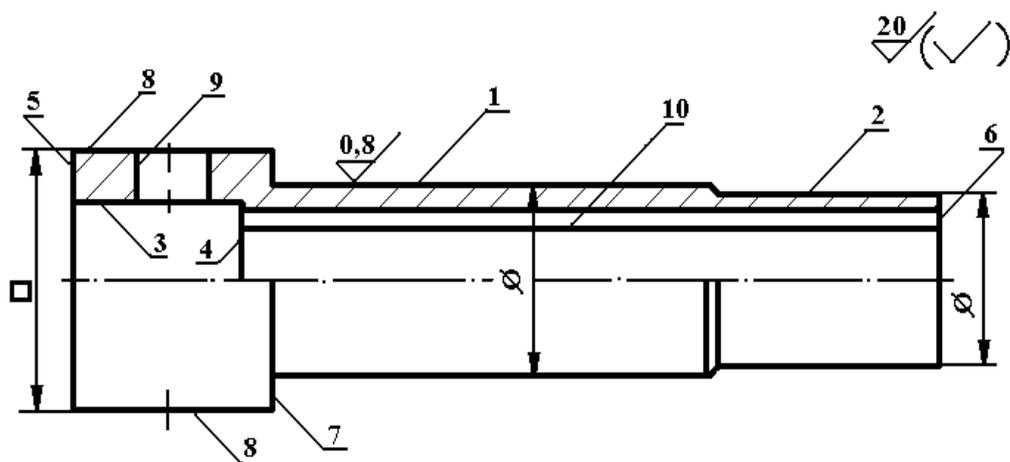
Операция шлифования назначается после термической обработки, если предусмотрена операция термообработки.

Рассмотрим пример по выбору и назначению последовательности применения выбранных операций при изучении чертежа детали на рис. 23.1. В соответствии с формой поверхности детали и значениями величин шероховатости отдельных поверхностей, можно установить следующие операции для изготовления детали и их последовательность:

1. токарная операция;
2. фрезерная операция;
3. операция сверления;
4. операция протягивания;
5. операция термообработки;
6. шлифовальная операция.

Выбрана токарная операция, так как поверхности 1 и 2 по форме цилиндрические и их форма при обработке заготовки достигается на токарном станке. Подрезка торцов 5 и 6 и торца буртика 7 также производится на токарном станке. Расточка поверхности 3 и подрезка дна отверстия 4 осуществляется только на токарном станке. Выбирается фрезерная операция, так как плоские поверхности квадратных поверхностей 8 обрабатываются на фрезерном станке.

Сверлильная операция выбрана в связи с тем, что ось отверстия 9 перпендикулярна оси детали. Получение такого положения отверстия можно осуществить только на сверлильном станке.



Материал детали - сталь 45
 Заготовка - прокат (квадрат)
 Термообработка HRC₃ 46...48

Рис 23.1. Чертёж детали

Внутренний шпоночный паз 10 такой большой длины может быть выполнен только при протягивании шпоночной протяжкой, поэтому назначена операция протягивания. Так как в технических условиях на изготовления данной детали говорится о термической обработке детали, то назначается термическая операция. Первые четыре операции выбраны с учетом получения формы поверхностей детали и их расположения (операция сверления). Последняя 6-я операция – операция шлифования назначена, так как заданная высота шероховатости поверхности 1 может быть достигнута только при данной операции.

23.5. Назначение последовательности обработки поверхностей заготовки, обрабатываемой при каждой операции.

1) Различают две укрупненные стадии обработки: черновую (обдирочную) и чистовую. В процессе черновой обработки снимают основную массу металла и обеспечивают взаимное расположение поверхностей. Целью чистовой обработки является достижение заданных размеров поверхностей детали и шероховатости.

2) При обработке ступенчатого вала сначала обрабатывают ступени большого диаметра, а затем меньшего;

3) Выполнять обработку *не основных* поверхностей (точение или фрезерование

вспомогательных канавок, нарезание резьбы, снятие фасок и пр.) необходимо на стадии чистовой обработки;

23.6. Оформление технологической карты маршрутной технологии.

Содержание маршрутной технологии излагают в маршрутной карте (ГОСТ 3.1118). Разрабатывая маршрутную технологию, необходимо выполнять следующие условия:

- первое закрепление заготовки в приспособление станка обозначается цифрами 005, второе 010 и т.д.

- выполнение технологического перехода записывать в повелительной форме (точить поверхность, фрезеровать поверхность, сверлить отверстие, зенковать фаску и т.д.). Технологический переход обозначается цифрами 1, 2, 3 и т.д.

- если обработка поверхности разделяется на два вида (черновая и чистовая), то указывается, что первый раз эта поверхность обрабатывается *предварительно*, а второй раз – *окончательно*.

Пример записи технологических переходов: "точить поверхность 1 предварительно", "точить поверхность 1 окончательно";

- если одна и та же поверхность обрабатывается за несколько рабочих ходов инструмента, то число рабочих ходов инструмента указывается в тексте. Например, "расточить поверхность 5 за три рабочих хода".

Для каждого закрепления заготовки оформляется карта эскиза установки, в которой дается эскиз чертежа заготовки той конфигурации, которая получится после выполнения всех технологических переходов при данном закреплении заготовки. На чертеже даются условные обозначения опор и зажимов в местах их соприкосновения с поверхностями заготовки, а также пронумеровываются последовательно обрабатываемые поверхности. Все обрабатываемые поверхности обозначаются толстыми линиями, необрабатываемые – тонкими.

Карт эскизов столько, сколько закреплений заготовки при рассматриваемой операции.

23.7. Выбор средств технологического оснащения.

К средствам технологического оснащения относятся:

1. Технологическое оборудование.
2. Технологическая оснастка.
3. Выбор средств измерений.

23.7.1. Выбор технологического оборудования

Выбор технологического оборудования (станков) определяется:

- точностью и качеством обрабатываемых поверхностей заготовки;
- габаритными размерами заготовки и ее массой;
- мощностью, потребной на резание;
- удобством и безопасностью работы и соблюдения правил экологии;
- стоимостью станка.

При выполнении курсовой работы технологическое оборудование согласовывается с преподавателем.

23.7.2. Выбор технологической оснастки

К технологической оснастке относятся соответствующее приспособление для закрепления заготовки на станке и режущий инструмент.

К приспособлениям предъявляются три основных требования:

- 1) соответствовать своему назначению;
- 2) обеспечивать заданную точность обработки;
- 3) быть удобным и безопасным в эксплуатации.

Выбор конкретного приспособления для каждой операции согласовывается с руководителем.

23.7.3. Выбор режущего инструмента

Режущий инструмент выбирается с учетом метода обработки, твердости обрабатываемого материала, стойкости инструмента, стадии обработки (черновая, чистовая). Размеры так называемого *мерного режущего инструмента* т.е. инструмента, имеющего один постоянный размер (сверла, зенкеры, развертки, протяжки и др.) определяются размерами обработки. Всегда необходимо стремиться к использованию стандартного инструмента. Специальный и комбинированный режущий инструмент применяется в случае невозможности обработки поверхности заготовки стандартным инструментом или при явной экономии

ческой целесообразности применения специального инструмента. Более подробно о выборе режущего инструмента дано ниже в разделах по выполнению конкретной операции.

23.7.4. Выбор средств измерений

Измерение в процессе и по окончании обработки заготовки – нахождение физической величины размеров изготовленной детали - производится с помощью стандартных типовых измерительных инструментов. В качестве измерительных инструментов применяются штангенциркули, микрометры, нутромеры и другие инструменты. Выбор конкретных измерительных инструментов для контроля размеров той или иной обрабатываемой поверхности заготовки согласовывается с руководителем.

23.8. Разработка операционной технологий.

При разработке операционной технологии необходимо указывать размеры обрабатываемых поверхностей заготовки и режимы резания при каждом технологическом переходе изготовления детали.

Разрабатывая операционную технологию, необходимо выполнять следующие условия:

- строго соблюдать ту последовательность применения операций, которая была принята в маршрутной технологии;
- в каждой операции также соблюдать последовательность обрабатываемых поверхностей, установленных в маршрутной технологии;
- каждая запись закрепления заготовки в приспособление станка должна быть аналогична записи в маршрутной установке;
- обозначение технологического перехода осуществлять не арабскими цифрами (1, 2 и т.д.), а *каждый технологический переход* обозначать тремя большими буквами: О, Т и Р. После обозначения буквы О записывается текст технологического перехода более подробно, чем в маршрутной технологии, в соответствии с ГОСТом 3.1702. Примеры записи технологических переходов даны в разделах по выполнению отдельных операции. Размеры, которые необходимо выполнить при каждом технологическом переходе шифруются цифрами, а их величины указываются только в операционной карте эскизов (не путать с

эскизами маршрутной технологии). После обозначения буквы Т записывается характеристика выбранного режущего инструмента для выполнения данного технологического перехода и характеристика мерительного инструмента. После буквы Р записываются следующие буквенные обозначения режимов резания:

$$t = \quad i = \quad S = \quad n =$$

Численные значения режимов резания указываются в результате проведения соответствующих расчетов. Пример записи начала операционной технологии токарной обработки заготовки:

005. Установить заготовку в 3-х кулачковый патрон и закрепить.

О точить поверхность в размер 1 и 2 за 2 рабочих хода

Т резец проходной упорный с пластиной твердого сплава Т5К10, с углами заточки $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$, ГОСТ 18879.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

$$P \quad t = 2 \text{ мм}; \quad i = 2; \quad S = 0,14 \text{ мм/об}; \quad n = 630 \text{ об/мин.}$$

На каждый технологический переход дается карта эскизов, в которой указаны схематично зажимы и опоры, размеры, выполняемые при конкретном технологическом переходе, величина шероховатости обрабатываемой поверхности. Каждый размер шифруется той цифрой, которой он обозначен в тексте технологического перехода. Эскизы отдельных технологических переходов можно объединять, если нет совпадения одинаковых обрабатываемых поверхностей. Пример одной из операционной карты эскизов дан ниже (рис.23.2).

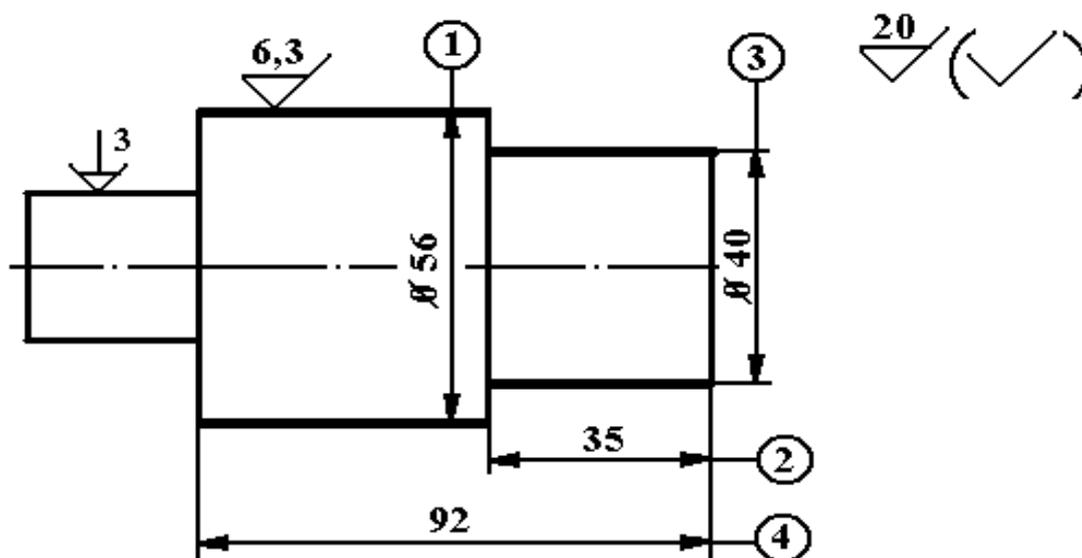


Рис. 23.2. Эскиз отдельных технологических переходов.

Часть II

23.9. Проведение расчётов по определению режимов резания.

В соответствии с операционной картой рассматриваемой операции расчетными методами определяются режимы резания (t , i , s , n ,) для каждого технологического перехода данной операции. Порядок расчетов и формулы приведены в ниже по отдельным операциям.

23.9.1. Токарная операция.

Токарная операция предусматривает получение цилиндрических наружных и внутренних поверхностей, фасок, обработку торцов и торцов буртиков, сверление вдоль оси заготовки, нарезание наружной и внутренней резьбы. Технологический процесс обработки детали на токарном станке состоит из 3-х частей: 1. маршрутной технологии изготовления детали; 2. операционной технологии изготовления детали; 3. расчетов для определения режимов резания

23.9.2. Разработка маршрутной технологии.

Разработка маршрутной технологии состоит из нескольких этапов. Если в процессе обработки деталь подвергается термической обработке, то весь технологический процесс расчлняют на две части: до термообработки и после нее.

Этап 1-й. Изучить чертеж детали. Изучение чертежа заданной детали производится последовательно. Вначале устанавливается вид обработки каждой поверхности: *черновая*, *получистовая* или *чистовая*. Вид обработки конкретной поверхности зависит только от значения величины шероховатости данной поверхности, которая указывается или непосредственно на самой поверхности, или в правом верхнем углу чертежа. Величина получаемой шероховатости (в R_a) данных видов обработки даны в таблице 23.1

Величина получаемой шероховатости (в R_a). Таблица 23.1

Вид обработки	Значение высоты шероховатости	
	в	R_a (мкм)
Черновое точение		40...15
Получистовое точение		12,5...3,2
Чистовое точение		2,5...1,2
Сверление сверлом диаметром до 15 мм		6,3...12,5
Сверление сверлом диаметром более 15 мм		св. 12,5

Этап 2-й. Изучить чертеж заготовки. Изучая чертеж заготовки, необходимо определить:

- величину припуска металла h (мм), снимаемого с каждой обрабатываемой поверхности;
- определить за сколько рабочих ходов i инструмента (резца) будет снят припуск с обрабатываемой поверхности;
- какой припуск $h_1; h_2 \dots h_i$ оставлять для последующих операций на других станках.

При токарной обработке припуск на обрабатываемую поверхность, как правило, задается *на сторону*.

При *точении* величина общего припуска определяется по формуле:

$$h_{\text{общ}} = (D_{\text{заг.}} - d_{\text{дет.}}) / 2 \quad (23.1)$$

где $D_{\text{заг}}$ – диаметр обрабатываемой поверхности, мм;

$d_{\text{дет}}$ – диаметр обработанной поверхности, мм

При *расточивании* припуск на обработку определяется как:

$$(\varnothing_{\text{отв. дет}} - \varnothing_{\text{отв. заг}}) / 2 \quad (23.2)$$

Если же поверхность заготовки после токарной обработки будет обрабатываться еще и на шлифовальном станке, то из общего припуска необходимо отнять припуск на шлифование.

При чистовой обработке припуск должен составлять не более 0,5 мм на сторону и он снимается за 1 рабочий ход. Для получистовой обработки припуск должен быть не более 1 мм, который может сниматься за 1 или 2 рабочих хода инструмента. Для черновой обработки величина припуска более 1 мм.

Пример 1. *Общий припуск составляет 5 мм на сторону. Шероховатость обрабатываемой поверхности по чертежу 1,25 мкм, т.е. окончательная обработка поверхности – чистовое точение. Общий припуск распределяется так: 0,5 мм на чистовую обработку, 4,5 мм на черновую обработку.*

Пример 2. *Общий припуск составляет 6 мм на сторону. Требуется получистовая обработка обрабатываемой поверхности. Общий припуск распределяется так: 1 мм на получистовую обработку, 5 мм – на черновую обработку.*

Пример 3. Общий припуск составляет 3 мм на сторону. Окончательная обработка поверхности – шлифование. Перед шлифованием обрабатываемую поверхность обязательно обрабатывать чистовым точением. Тогда общий припуск распределяется так: 0,1...0,2 мм оставляется на шлифование, 0,4...0,3 мм – на чистовое точение, остальной припуск – 2,5 мм на черновое точение.

Для определения числа рабочих ходов резца при снятии припуска с обрабатываемой поверхности необходимо выбрать значение глубины резания t . Значение глубины резания для различных видов обработки на токарном станке даны в таблице 23.2.

Значение глубины резания для различных видов обработки t . Таблица 23.2.

Вид обработки	Значение глубины резания t (мм)							
	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Черновое точение				x	x	x	x	x
Получистовое точение		x	x					
Чистовое точение	x	x						
Растачивание черновое					x	x	x	
Растачивание чистовое		x	x					
Подрезка торца (буртика)			x	x	x			
Нарезание резьбы	x	x						

Число рабочих ходов резца определяется по формуле:

$$i = h / t \quad (\text{раз}) \quad (23.3)$$

Общее число рабочих ходов резца при обработке рассматриваемой поверхности $i_{\text{общ}}$ складывается из числа рабочих ходов резца за каждый вид обработки:

$$i_{\text{общ}} = i_{\text{чер}} + i_{\text{чист}} \quad \text{или} \quad i_{\text{общ}} = i_{\text{чер}} + i_{\text{получист}};$$

3-й этап. Оформление маршрутной технологии. Оформляя маршрутную технологию на бланке, необходимо выполнять следующие условия:

- запись "установа" (установка, закрепление заготовки на станке) и все технологические переходы производить кратко и в повелительной форме;
- установить заготовку и закрепить;
- точить поверхность 1; сверлить отверстие 4 и т.д.
- первый установ обозначается цифрами 005. Если обработка заготовки производится за несколько установов ее на станке, то каждый установ обозначается последовательно 010, 015 и...;

- технологические переходы обозначаются арабскими цифрами, начиная с цифры 1;

- если обработка поверхности разделяется на два вида (например, черновая и чистовая), то в тексте технологического перехода указывается, что в первый раз эта поверхность обрабатывается *предварительно*, а во второй раз - *окончательно*.

Пример: - "точить поверхность 1 предварительно", "расточить поверхность 3 окончательно";

- если поверхность обрабатывается за несколько рабочих ходов резца, то число рабочих ходов инструмента указывается в тексте – "точить поверхность 1 за 3 рабочих хода";

- после перечня технологических переходов без цифры пишется: "снять деталь";

- на каждый установ чертится карта эскиза, которая отражает всю конфигурацию заготовки, которую она получила после обработки при данном закреплении ее на станке. Все обработанные поверхности нумеруются арабскими цифрами в той последовательности, в какой обрабатывались поверхности.

Сколько установ, столько и карт эскизов.

На каждой карте эскизов показываются условными значками способы крепления заготовки, а обработанные поверхности обводятся красным карандашом или рисуются толстой линией.

4-й этап. Определение способа обработки поверхности и выбор резца.

Определение способа обработки поверхностей заготовки (наружное точение, расточка, подрезка торца и др.) определяется по расположению поверхности заготовки. Для каждого способа обработки поверхностей выбирается соответствующий тип токарного резца.

При обработке наружных поверхностей (точение) применяются токарные проходные резцы, которые подразделяются на:

- проходные прямые;
- проходные с отогнутой головкой;
- проходные упорные.

При обработке торцевых поверхностей и буртиков применяются токарные подрезные отогнутые резцы. При прорезании канавок – токарные отрезные резцы. При расточке и подрезке дна отверстий (обработка внутренних поверхностей) используются токарные расточные резцы, которые подразделяются:

- для расточки сквозных отверстий;
- для расточки ступенчатых или глухих отверстий и подрезки дна отверстий.

При нарезании резьбы применяются токарные резьбовые резцы для наружных и внутренних резьб. Конкретный тип резца и его ГОСТ указаны ниже.

Точение заготовок по наружному диаметру:

- резец токарный проходной *прямой* с углом $\varphi = 45^{\circ}$, с пластиной из твердого сплава, ГОСТ 18878;
- резец токарный проходной *отогнутый* с углом $\varphi = 45^{\circ}$, с пластиной из твердого сплава, ГОСТ 18877.

Точение ступенчатых заготовок, подрезка торцов, буртика:

- резец токарный проходной упорный с пластиной из твердого сплава с углом $\varphi = 90^{\circ}$, ГОСТ 18879.

Подрезание торцов: - резец токарный подрезной отогнутый с пластиной из твердого сплава с углом $\varphi = 10^{\circ}$, ГОСТ 18880.

Прорезка канавок: - резец токарный отрезной с пластиной из твердого сплава, ГОСТ 18884.

Растачивание сквозных или глухих отверстий:

- резец токарный расточной для *сквозных* отверстий с пластиной из твердого сплава с углом $\varphi = 45^{\circ}$ или 60° , ГОСТ 18882;
- резец токарный расточной для *глухих* отверстий с пластиной из твердого сплава с углом $\varphi = 95^{\circ}$, ГОСТ 18883.

Нарезание резьбы:

- резец токарный резьбовой для наружной и внутренней метрической резьбы с пластиной из твердого сплава, ГОСТ 18885.

Так как при токарной операции могут применяться сверла для сверления отверстий *вдоль оси заготовки*, то ниже даны рекомендуемый тип сверла и его диаметр: - сверло спиральное с коническим хвостовиком, ГОСТ 10903.

Размеры сверла: от 5 до 14 мм через каждые 0,2 мм

от 14 до 45,0 мм через каждые 0,25 мм

5-й этап. Выбор материала режущей части резца и значений основных углов. Режущая часть токарных резцов изготавливается преимущественно из твердого сплава марок ВК3М, ВК4, Т15К6, Т5К10. Твердый сплав марки ВК3М применяется для *чистового точения, нарезания резьбы* при обработке заготовок из серого чугуна, цветных металлов и сплавов. Твердый сплав марки ВК4 применяется при *черновой и получистовой обработке* чугуна, цветных металлов и сплавов. Твердый сплав марки Т15К6 применяется при *чистовом и получистовом* точении, растачивании, нарезания резьб у заготовок из легированных и углеродистых сталей. Твердый сплав марки Т5К10 применяется при *черновой* обработке заготовок из легированных и углеродистых сталей, преимущественно в виде поковок, штамповок и отливок.

Одним из главных факторов, влияющих на качественный процесса резания, является правильный выбор значений основных углов применяемого токарного резца. К основным углам резца (любого по назначению) относятся:

- γ -передний угол;
- α -задний главный угол;
- ϕ -главный угол в плане;
- ϕ_1 -вспомогательный угол в плане.

Значение основных углов режущей части токарного резца при различных видах обработки даны в таблице 23.3 и 23.4.

Значение основных углов режущей части токарного резца при точении жесткой заготовки. Таблица 23.3

Точение жесткой заготовки $L/D < 10$	Передний угол	$0...+5^\circ$
	Задний главный угол	$8...12^\circ$
	Главный угол в плане	$30...90^\circ$
	Вспомогат. угол в плане	$5...10^\circ$

Значение основных углов режущей части токарного резца при точении недостаточно жесткой заготовки. Таблица 23.4

Точение недостаточно жесткой заготовки $L/D > 10$ Растачивание отверстий	Передний угол	$0...5^\circ$
	Задний главный угол	$8...12^\circ$
	Главный угол в плане	$60...95^\circ$
	Вспомогат. угол в плане	$5...10^\circ$

23.10. Разработка операционной технологии.

Разрабатывая операционную технологию, необходимо выполнять следующие условия: - запись последовательности обработки поверхностей в каждой установке заготовки должна строго соответствовать последовательности обработки поверхностей, указанной в маршрутной технологии;

- запись "установа" должна быть аналогична записи в маршрутной установке;
- обозначение технологического перехода осуществлять не арабскими цифрами (1, 2 и т.д.), а *каждый переход* обозначать тремя большими буквами: О, Т и Р.

После обозначения буквы О записывается текст технологического перехода более подробно, чем в маршрутной технологии, в соответствии с ГОСТом 3.1702. Примеры: подрезать торец в размер 1, точить поверхность в размер 1 и 2, сверлить отверстие в размеры 1, 2, расточить канавку в размеры 1, 2, 3. Более подробный перечень текста переходов дан ниже.

Размеры, которые необходимо выполнить при каждом технологическом переходе шифруются цифрами, а их величины указываются только в карте эскизов.

После буквы Т записывается характеристика выбранного резца для выполнения данного технологического перехода и характеристика мерительного инструмента. После буквы Р записываются следующие режимы резания:

$$t = \quad ; \quad i = \quad ; \quad S = \quad ; \quad n = \quad .$$

численные значения которых определяются расчетами.

На каждый технологический переход дается карта эскизов, в которой указаны схематично зажимы и опоры, размеры, выполняемые при конкретном переходе, шероховатость обрабатываемых поверхностей. Каждый размер шифруется той цифрой, которой он обозначен в тексте технологического перехода. Эскизы отдельных переходов можно объединять, если нет совпадения одинаковых обрабатываемых поверхностей.

23.10.1. Основная терминология технологических переходов токарной операции

Точить поверхность в размер 1 на проход. Точить поверхность в размер 1 и 2.

Точить поверхность с подрезкой торца буртика в размеры 1, 2.

Точить галтель (радиус) в размер 1. Точить фаску в размер 1.

Подрезать торец в размер 1. Подрезать торец буртика в размер 1. Центровать торец в размеры 1, 2, 3. Сверлить отверстие в размер 1 на проход. Сверлить отверстие в размеры 1, 2. Рассверлить отверстие в размер 1 на проход. Рассверлить отверстие в размеры 1, 2. Зенкеровать отверстие в размер 1 на проход. Зенкеровать отверстие в размеры 1, 2. Расточить отверстие в размер 1 на проход. Расточить отверстие в размеры 1, 2. Расточить отверстие с подрезкой дна в размеры 1, 2. Подрезать дно в размер 1. Развернуть отверстие в размер 1 на проход. Развернуть отверстие в размеры 1, 2. Зенковать фаску в размер 1. Проточить канавку в размеры 1, 2, 3. Нарезать резьбу в размер 1 на проход. Нарезать резьбу в размеры 1, 2. Раскатать отверстие в размер 1. Обкатать поверхность в размер 1.

23.10.2. Проведение расчетов для определения режимов резания.

23.10.3. Выбор станка

Станок должен обеспечивать выполнение всех требований чертежа по точности получения размеров, чистоте обработанных поверхностей, точности взаимного положения поверхностей и осей, а также обеспечить наименьшие затраты времени на обработку заготовки. Выбор конкретного токарного станка производится в зависимости от максимального диаметра детали, ее длины и затрачиваемой мощности при резании.

В учебных целях рекомендуется токарно-винторезный станок марки 1К62, мощностью 10 кВт и КПД станка, равным 0,75.

23.10.4. Характеристика станка:

- частота вращения шпинделя: 16, 20, 25, 31, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 об/мин;

- значения продольных и поперечных подач: 0,070, 0,074, 0,084, 0,097, 0,11, 0,12, 0,13, 0,14, 0,15, 0,17, 0,195, 0,21, 0,23, 0,26, 0,28, 0,30, 0,34, 0,39, 0,43, 0,47, 0,52, 0,57, 0,61, 0,70, 0,78, 0,87, 0,95, 1,04, 1,14, 1,56, 1,74, 1,90, 2,08, 2,28 мм/об

23.10.5. Выбор подачи резца S (мм/об).

В зависимости от вида обработки (*черновая, получистовая или чистовая*) выбирается соответственно и подача резца. При черновой обработке подачу выбирают максимально возможной, исходя из жесткости системы СПИД.

Так как часто бывает трудно определить величину жесткости системы СПИД (станок-приспособление–инструмент-деталь), то величину черновой подачи выбирают из справочника.

Ниже приведены значения черновой подачи при обработке заготовок из конструкционных и легированных сталей и чугунного литья резцом, оснащенным пластиной твердого сплава (таблица 23.5).

Значения черновой подачи при обработке заготовок t . Таблица 23.5

Материал заготовки	Диаметр заготовки, мм	Глубина резания t (мм)	
		до 4 мм	до 6 мм
		Подача, S (мм/об)	
Стальной прокат, поковки, штамповки	до 20	0,1...0,5	0,3...0,4
	до 60	0,5...0,7	0,4...0,5
	до 100	0,6...0,9	0,5...0,8
	до 200	0,8...1,4	0,7...1,2
Чугунное литье	до 20	0,4...0,5	0,3...0,4
	до 60	0,5...0,7	0,4...0,5
	до 100	0,5...0,8	0,5...0,7
	до 200	0,7...1,0	0,6...0,9

Выбранное значение подачи уточняется по станку и в дальнейших расчетах используется уточненная подача $S_{ст}$.

$$S_{ст} \leq S_{табл} \quad (23.4)$$

Для получистовой и чистовой обработки поверхности заготовки подача резца выбирается в зависимости от заданной шероховатости поверхности детали. Величину подачи резца определяют по формуле:

$$S_{чист} = \frac{C_S \cdot R_a}{t^X \cdot \varphi^Z \cdot \varphi_1^Z}, \text{ (мм/об)} \quad (23.5)$$

где C_S - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала обрабатываемой заготовки; R_a - величина шероховатости, указанная на чертеже, мкм.; t - глубина резания, мм.; φ - главный угол в плане резца, град.; φ_1 - вспомогательный угол в плане резца, град.; X, Y, Z - показатели дробных степеней.

Значения коэффициента C_S и показателей дробных степеней даны в табл. 23.6 а значения углов φ и φ_1 в соответствии с выбранными углами резца. Углы резца указываются в тексте технологического перехода операционной технологии.

Полученные значения подачи по формуле необходимо уточнить по паспорту станка (взять ближайшую *наименьшую* подачу) и в дальнейших расчетах пользоваться только значением подачи по станку - $S_{ст} \leq S_{табл.}$

Назначение периода стойкости резца - T (мин).

Под периодом стойкости резца (да и любого инструмента) понимают время работы резца от заточки до заточки. Обычно принимают период стойкости резца, равным 45, 60 или 90 минут. При расчетах рекомендуется принимать $T = 60$ минут.

Значения коэффициента C_s . Таблица 23.6

Материал заготовки	Вид обработки	Значение C_s и показатели дробных степеней		
		C_s	X	Z
Сталь	Получистовая	0,77	0,12	0,15
Чугун	Получистовая	0,49	0,12	0,25
Сталь	Чистовая	0,60	0,30	0,35
Чугун	Чистовая	0,45	0,25	0,50

23.10.6. Определение теоретической скорости резания V_T (м/мин).

Теоретическая скорость резания при токарной обработке определяется по формуле:

$$V_T = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S_{ст}^y} \cdot K_V, \text{ (м/мин)} \quad (23.6)$$

где C_V - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала, заготовки; T - стойкость резца, мин.; t - глубина резания, мм.; $S_{ст}$ - подача резца по станку, мм/об.; m, x, y - показатели дробных степеней; K_V - поправочный коэффициент.

Значения коэффициента C_V и показатели дробных степеней даны в таблице 23.7.

Поправочный коэффициент K_V определяется по формуле:

$$K_V = K_1 \cdot K_2 \quad (23.7)$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий влияние физико-механических свойств материала заготовки; K_2 - коэффициент, учитывающий влияние материала режущей части резца.

Значения данных коэффициентов даны в таблицах 23.8 и 23.9.

Значения коэффициента C_v .

Таблица 23.7

Материал заготовки	Подача мм/об	C_v	m	x	y
Сталь	< 0,3	142	0,20	0,45	0,35
	> 0,3	260	0,20	0,18	0,45
Чугун	< 0,3	126	0,12	0,22	0,40
	> 0,3	140	0,08	0,30	0,50

Значения коэффициента K_1 .

Таблица 23.8

Стали с содержанием углерода < 0,6 %	$K_1 = 0,85$
Стали с содержанием углерода > 0,6 %	$K_1 = 1,00$
Легированные стали	$K_1 = 1,10$
Чугуны	$K_1 = 1,0$

Значения коэффициента K_2 .

Таблица 23.9

Материал заготовки	Значение коэффициента K_2			
	Материал резца			
	ВКЗМ	ВК4	T15K6	T5K10
Стальной прокат, поковки, штамповки	-	-	1,25	1,40
Чугунное литье	1,15	1,0	-	-

23.10.7. Определение теоретической частоты вращения шпинделя станка - n_T (об/мин).

Теоретическая частота вращения шпинделя станка (заготовки) определяется по формуле:

$$n_T = \frac{1000 \cdot V_T}{\pi \cdot D_{\text{заг}}}, \text{ (об/мин)} \quad (23.8)$$

где V_T - теоретическая скорость резания, м/мин; $D_{\text{заг}}$ - диаметр обрабатываемой поверхности, мм

Найденное значение теоретической частоты вращения шпинделя станка (заготовки) уточняется по паспорту станка, выбирается *ближайшее наименьшее* и в дальнейших расчетах используется только станочное значение частоты вращения шпинделя – $n_{\text{ст}}$.

23.10.8. Определение действительной скорости резания - V_d (м/мин).

Действительная скорость резания определяется по формуле:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D_{\text{заг}} \cdot n_{\text{ст}}}{1000}, \text{ (м/мин)} \quad (23.9)$$

23.10.9. Определение силы резания - P_z (кН).

Сила резания при точении определяется по формуле:

$$P_z = C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p, \text{ (кН)} \quad (23.10)$$

где C_p - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала заготовки; t - глубина резания, мм.; $S_{ст}$ - подача резца по станку, мм/об; K_p - поправочный коэффициент; x, y - показатели дробных степеней.

Значение коэффициента C_p и показателей дробных степеней даны в таблице 23.10. Значение коэффициента C_p . Таблица 23.10

Материал заготовки	C_p	x	y
Углеродистая сталь	1,25	1,0	0,75
Легированная сталь	1,55	1,0	0,90
Чугун	0,55	0,9	0,65

Поправочный коэффициент K_p определяется по формуле:

$$K_p = K_1 \cdot K_2 \quad (23.11)$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий влияние физико-механических свойств материала заготовки; K_2 - коэффициент, учитывающий влияние износа режущей части резца. Значения данных коэффициентов даны в таблицах 23.11 и 23.12.

Значение коэффициента K_1 . Таблица 23.11

Стали с содержанием углерода < 0,6 %	$K_1 = 0,9$
Стали с содержанием углерода > 0,6 %	$K_1 = 1,1$
Легированные стали	$K_1 = 1,2$
Чугуны	$K_1 = 0,7$

Значение коэффициента K_2 . Таблица 23.12

Материал заготовки	Значение коэффициента K_2 при износе лезвия резца до (мм)	
	1,5	2,0
Сталь	1,0	-
Чугун	-	1,0

23.10.10. Определение эффективной мощности резания - $N_{рез}$ (кВт).

Эффективная мощность резания при токарной обработке определяется по формуле:

$$N_{рез} = P_z \cdot V_d, \text{ (кВт)} \quad (23.12)$$

где: P_z - сила резания при точении, кН; V_d - действительная скорость резания, м/с.

Проверка достаточности мощности электродвигателя станка

Проверка достаточности мощности электродвигателя станка проводится по формуле: $N_{рез.} < N_{шпинд.}$ или $N_{шпинд.} = N_{ст.} \cdot \eta_{ст}$ (23.13)

Если при расчетах получается, что эффективная мощность резания больше мощности на шпинделе станка, то необходимо либо уменьшить скорость резания, либо снижать значения величин глубины резания или подачи, т.е. уменьшить значение P_z .

Часть III.

23.11. Пример токарной обработки.

На рис. (23.3) представлен чертеж детали, а на рис.(23.4) чертеж заготовки.

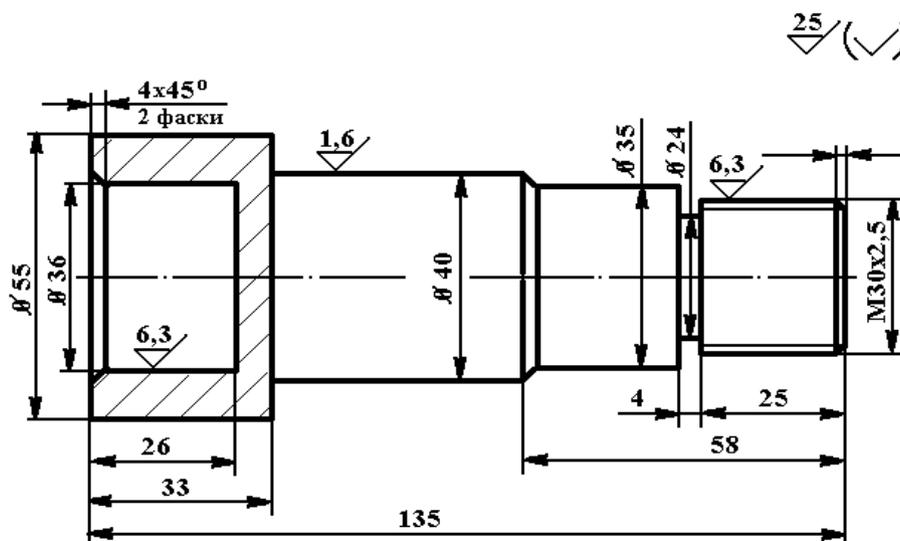
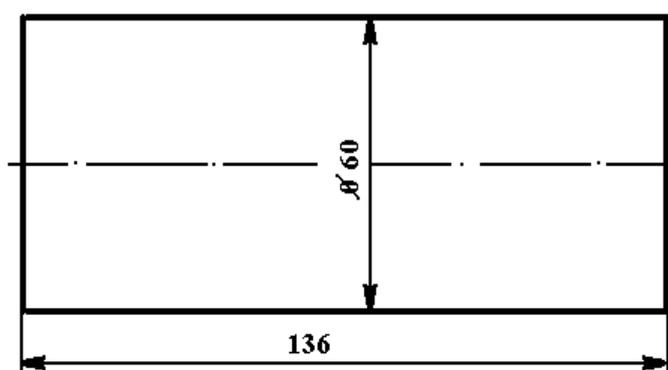


Рис. 23.3. Чертеж детали



Материал заготовки - Ст.20

Рис. 23.4. Чертеж заготовки

23.11. 1. Разработка маршрутной технологии.

При изучении чертежа детали и заготовки необходимо определить:

- 1) вид обработки – черновая, получистовая или чистовая;

2) величину припуска, глубины резания и число рабочих ходов при обработке каждой поверхности заготовки (рис.23.5.).

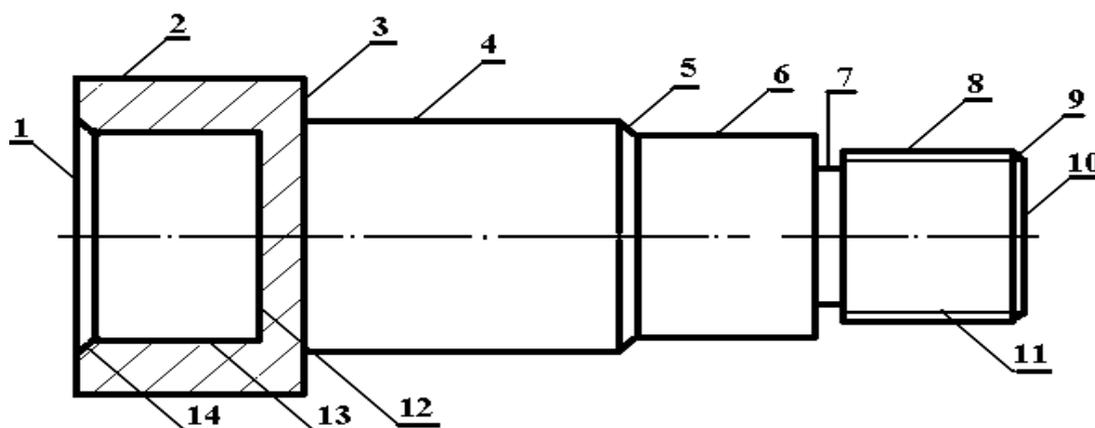


Рис. 23.5. Число рабочих ходов при обработке заготовки

1) Вид обработки. Анализ чертежа детали показывает, что:

- размер поверхности 4 достигается при *чистовом* точении ($R_a=1,6$ мкм);
- при обработке поверхностей 8 и 13 требуется *получистовое* точение

($R_a= 6,3$ мкм);

- остальные поверхности обрабатываются при *черновом* точении ($R_a=25$ мкм), см. табл. 23.1.

2) Величина припуска, глубина резания и число рабочих ходов.

Сравнивая размеры заготовки и размеры поверхностей детали, определяются значения *припусков* (h) при обработке каждой поверхности заготовки:

а) у торцовых поверхностей 1 и 10 - h_1 и h_{10} равны по $0,5$ мм $[(L_{\text{заг}} - L_{\text{дет}}) / 2]$;

б) поверхности 2 - $h_2 = 2,5$ мм $[(\varnothing 60 - \varnothing 55) / 2]$. Так как данная поверхность обрабатывается при черновом точении и припуск на ее обработку меньше 6 мм (см. табл.23.2), то глубину резания $t_{\text{черн}}$ можно принять равной припуску (2,5 мм) и точение произвести за 1 рабочий ход.

в) на подрезку торца буртика (3) оставляют обычно 0,5 мм;

г) общий припуск поверхности 4 составляет 10 мм $[(\varnothing 60 - \varnothing 40) / 2]$.

Но данная поверхность окончательно обрабатывается при чистовом точении. Поэтому ее общий припуск 10 мм делится на черновой и чистовой. $h_{\text{чист}}=0,5$ мм, а $h_{\text{черн}}= 9,5$ мм. Чистовой припуск снимается за 1 рабочий ход резца, поэтому глубина резания при чистовом точении равна величине припуска, т.е. $t = 0,5$ мм. Глубина резания при черновом точении может быть до 6 мм (табл. 2.2), поэто-

му черновой припуск будет сниматься за 2 рабочих хода резца. Тогда глубина резания при черновом точении составит 4,75 мм:

$$t_{\text{черн}} = h_{\text{черн}} / 2. \quad (23.14)$$

Так как сначала производятся все черновые операции при каждой установке и закреплении заготовки в приспособление станка, то и поверхность 4 вначале обрабатывается начерно и ее размер будет равен 41 мм, так как $h_{\text{черн}} = 9,5$ мм $[(\varnothing 60 - \varnothing 41) / 2]$.

д) припуск поверхности 6 составляет 3 мм, $h_6 = [(\varnothing 41 - \varnothing 35) / 2]$.

Обработка черновая, поэтому припуск снимается за 1 рабочий ход и глубина резания равна величине припуска, т.е. $t = 3$ мм.

е) припуск поверхности 7 составляет 3 мм. $h_7 = [(\varnothing 30 - \varnothing 24) / 2]$.

Обработка осуществляется за 1 рабочий ход, поэтому глубина резания также равняется 3 мм.

ж) припуск поверхности 8 составляет 2,5 мм, $h_8 = [(\varnothing 35 - \varnothing 30) / 2]$.

Обработка поверхности – получистовая и максимальная глубина резания может быть равной 1 мм (табл.2.2). Поэтому весь припуск снимается за 3 рабочих хода. Но данный припуск можно снять и за 2 рабочих хода: первый рабочий ход как черновое точение с глубиной резания $t = 1,5$ мм и второй рабочий ход с глубиной резания $t = 1$ мм, получая получистовую поверхность.

з) припуск поверхности 13 составляет половину значения внутреннего диаметра, т.е. 18 мм.

Для получения получистового отверстия диаметром 36 мм необходимо выполнить следующие действия:

1) сверлить отверстие предварительно (для получения отверстия в сплошном металле) сверлом $\varnothing 16$ мм,

2) рассверлить отверстие окончательно сверлом $\varnothing 32$ мм,

3) расточить отверстие за 2 рабочих хода.

Таким образом, общий припуск разделится на припуск для сверления $h_{\text{св}} = 8$ мм (половина диаметра сверла), для рассверливания $h_{\text{рассв}} = 8$ мм $[\varnothing$ сверла 32 мм минус \varnothing просверленного отверстия 16 мм и деленное на 2] и для получистового растачивания, $h_{\text{п.ч.}} = 2$ мм. Согласно табл. 2.2, глубину резания при полу-

чистовом (чистовом) растачивании можно принять равной 1 мм, $t = 1$ мм.

и) на подрезку дна отверстия 12 обычно оставляют припуск, равный 0,5 мм, который снимают при последнем рабочем ходе в процессе растачивания.

к) величина припусков и глубина резания фасок равна их размеру, т.е. для фаски 9 – h и $t = 2,5$ мм, для фаски 14 – 4,0 мм, а фаска 5 получается автоматически при применении проходного резца с углом $\varphi = 45^\circ$.

При токарной операции заготовка устанавливается и закрепляется в приспособление станка как минимум 2 раза. Вначале обрабатывается один конец заготовки, а затем второй. В принципе особо не играет роль какой конец заготовки обрабатывать при первой установке заготовки в приспособление станка, если нет специальных оговариваемых условий. Но существует основное правило – за полученную чистовую поверхность зажимать заготовку для выполнения других технологических переходов нельзя. И только, если данная чистовая поверхность будет в дальнейшем шлифоваться или вновь обрабатываться начисто, то делается исключение из этого правила.

В приведенном чертеже детали целесообразно обработать вначале левый конец заготовки, затем при втором ее закреплении зажать заготовку за поверхность 2, так как она будет обработана грубо (черновое точение) и следы от зажимных устройств приспособления не испортят данную поверхность.

В качестве приспособления для закрепления заданной заготовки цилиндрической формы на токарном станке используется 3-х кулачковый патрон.

3) Запись маршрутной технологии.

005. Установить заготовку в 3-х кулачковый патрон и закрепить (рис. 23.6).

1. Подрезать торец 1.
2. Точить поверхность 2.
3. Сверлить отверстие 3 предварительно.
4. Сверлить отверстие 3 окончательно.
5. Расточить отверстие 3 предварительно.
6. Расточить отверстие 3 окончательно с подрезкой дна 4.
7. Зенковать фаску 5;
8. Снять деталь.

Эскиз установки 005

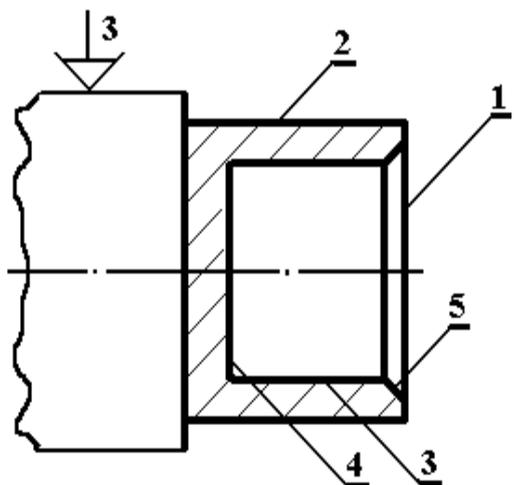


Рис. 23.6 Эскиз установки.

Эскиз установки 010

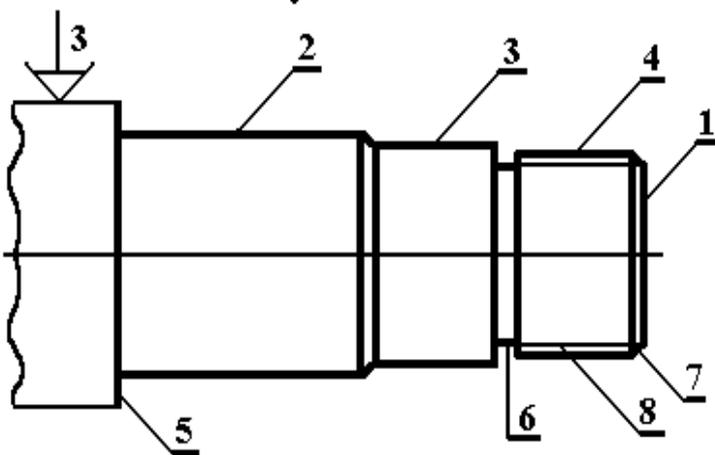


Рис. 23.7 Эскиз установки

010. Установить заготовку в 3-х кулачковый патрон и закрепить (рис.23.7).

1. Подрезать торец 1.
2. Точить поверхность 2 предварительно за 2 рабочих хода.
3. Точить поверхность 3.
4. Точить поверхность 4 предварительно.
5. Точить поверхность 2 окончательно с подрезкой торца буртика 5.
6. Точить поверхность 4 окончательно.
7. Проточить канавку 6.
8. Точить фаску 7:
9. Нарезать резьбу 8;
10. Снять деталь.

23.11.2 Разработка операционной технологии.

005. Установить заготовку в 3-х кулачковый патрон и закрепить.

Если проанализировать маршрутную технологию при данной установке (005) на предмет, размеры каких технологических переходов можно отразить в первом операционном эскизе, то выяснится, что *первый раз повторно* в 4-м технологическом переходе речь пойдет о отверстии 3, первоначальные размеры которого необходимо было получить в 3-м технологическом переходе. Таким образом, в первом операционном эскизе (рис.23.8) можно будет показать только размеры, полученные в 1...3 технологических переходах.

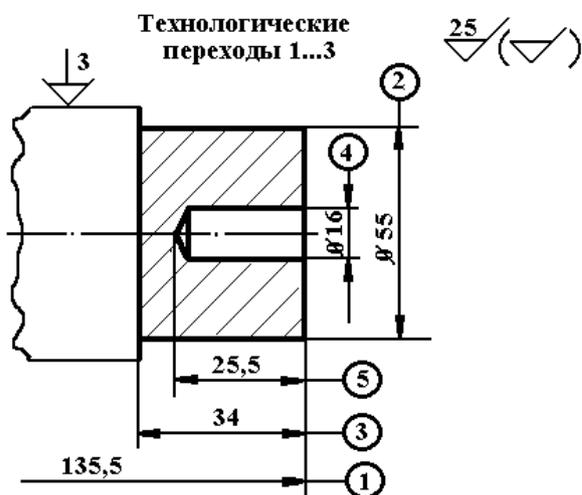


Рис. 23.8. Эскиз технологических переходов.

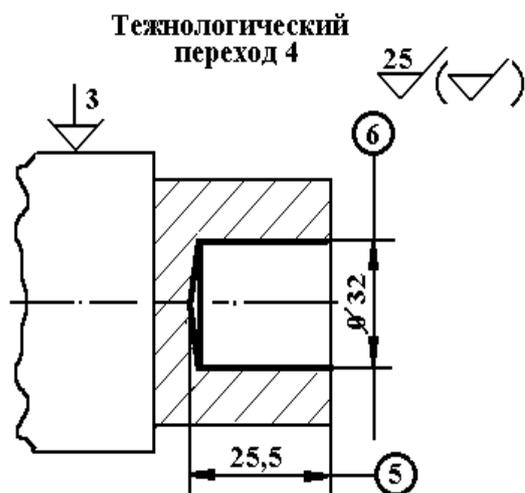


Рис. 23.9. Эскиз технологических переходов.

Примечание: значение режимов резания в технологических переходах заполнены после выполнения расчетов. Если при одной и той же установке заготовки на станке поверхность заготовки обрабатывается начерно, а затем начисто, то марку твердого сплава резца выбирают в обоих случаях одну и ту же и принимают ее применительно к чистовому точению (расточиванию).

Технологические переходы 1...3 (рис. 23.8).

О Подрезать торец в размер 1.

Т Резец токарный подрезной отогнутый с пластиной из твердого сплава Т5К10 с углами заточки (см. табл.12.3). $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 10^\circ$ (см. характеристику резца) ГОСТ 18880.

Р $t = 0,5$ мм, $i = 1$, $S = 0,52$ мм/об, $n = 800$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

О Точить поверхность в размер 2 и 3.

Т Резец токарный проходной упорный с пластиной из твердого сплава Т5К10 с углами заточки $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ ГОСТ 18879.

Р $t = 2,5$ мм, $i = 1$, $S = 0,52$ мм/об, $n = 800$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

О Сверлить отверстие в размеры 4 и 5.

Т Сверло спиральное $\varnothing 16$ мм ГОСТ 10903.

Р $t = 8$ мм, $i = 1$, $S = 1,56$ мм/об, $n = 200$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

Так как в 4-м технологическом переходе речь идет опять о поверхности 3, но с другими размерами, то необходимо дать новый эскиз (рис. 23.9), на котором будут указаны новые размеры поверхности 3. В 5-м технологическом переходе снова речь идет о поверхности 3 с новыми размерами. Поэтому потребуется новый эскиз (рис. 23.10), на котором будут указаны измененные размеры поверхности 3.

Технологический переход 4 (рис. 23.9).

О Сверлить отверстие в размеры 6 и 5.

Т Сверло спиральное $\varnothing 32$ мм, ГОСТ 10903.

Р $t = 8$ мм, $i = 1$, $S = 1,56$ мм/об, $n = 160$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

Технологический переход 5 (рис. 23.10).

О Расточить отверстие в размеры 7 и 5.

Т Резец расточной для глухих отверстий с пластиной из твердого сплава Т15К6 с углами заточки: $\gamma = 5^\circ$, $\alpha = 12^\circ$, $\varphi = 95^\circ$ ГОСТ 18883.

Р $t = 1$ мм, $i = 1$, $S = 0,26$ мм/об, $n = 1200$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

Так как в 6-м технологическом переходе опять необходимо получить другие (окончательные) размеры поверхности 3, то необходим новый эскиз, в котором будут показаны эти размеры (рис. 23.11). Размер, получаемый при 7-м технологическом переходе можно показать на этом же эскизе, так как он не связан с поверхностью 3.

Технологические переходы 6...7.

О Расточить отверстие с подрезкой дна в размеры 8 и 9.

Т Резец расточной для глухих отверстий с пластиной из твердого сплава

Т15К6 с углами заточки: $\gamma = 5^\circ$, $\alpha = 12^\circ$, $\varphi = 95^\circ$ ГОСТ 18883.

Р $t = 1$ мм, $i = 1$, $S = 0,26$ мм/об, $n = 1200$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

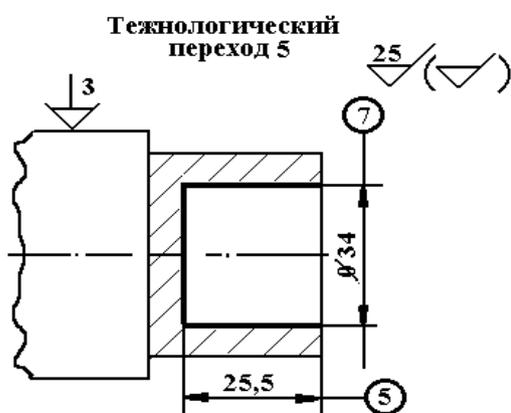


Рис. 23.10. Технологический переход 5.

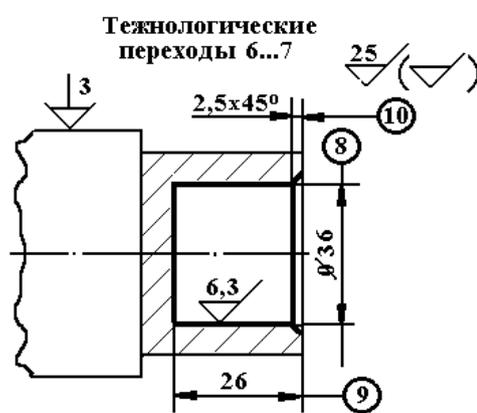


Рис. 23.11. Технологический переход 6...7.

О Зенковать фаску в размер 1.

Т Резец расточной для сквозных отверстий с пластиной из твердого сплава Т15К6 с углами заточки: $\gamma = 5^\circ$, $\alpha = 12^\circ$, $\varphi = 45^\circ$ ГОСТ 18882.

Р $t = 4$ мм, $i = 1$, $S =$ ручная, $n = 1200$ об/мин.

Штангенциркуль ШЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166. Снять деталь

010. Установить заготовку в 3-х кулачковый патрон и закрепить

Анализ маршрутной технологии при данной установке показывает, что *первый раз повторно* об одной и той же поверхности (пов. 2) будет говориться в 5-м технологическом переходе, при котором необходимо получить новые размеры поверхности 2. Поэтому в первом операционном эскизе данной установки (рис.23.12) можно показать размеры, полученные с 1-го по 4-й технологический переход.

Технологические переходы 1...4 (рис.23.12).

О Подрезать торец в размер 1.

Т Резец токарный подрезной отогнутый с пластиной из твердого сплава Т5К10 с углами заточки: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 10^\circ$, ГОСТ 18880.

Р $t = 0,5$ мм. $i = 1$, $S = 0,52$ мм/об, $n = 800$ об/мин.

Штангенциркуль ШЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

О Точить поверхность в размер 2 и 3.

Т Резец токарный проходной упорный с пластиной из твердого сплава Т15К6 с углами заточки: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ ГОСТ 18879.

Р $t = 4,5$ мм, $i = 2$, $S = 0,52$ м/об, $n = 800$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

О Точить поверхность в размер 4 и 5.

Т Резец токарный проходной прямой с пластиной из твердого сплава Т5К10 с углами заточки $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 45^\circ$ ГОСТ 18878.

Р $t = 3$ мм, $i = 1$, $S = 0,52$ мм/об, $n = 800$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

О Точить поверхность в размер 6 и 7.

Т Резец токарный проходной упорный с пластиной из твердого сплава Т15К6 с углами заточки $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ ГОСТ 18879.

Р $t = 1,5$ мм, $i = 1$, $S = 0,52$, мм/об $n = 800$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

Так как показать на одном и том же эскизе окончательный размер поверхности 4 и размер резьбы 8 на этой же поверхности нельзя, то приходится давать отдельные эскизы. На эскизе рис. 23.13 показываються размеры 5 и 6-го технологического переходов, на эскизе рис. 2.14 – размеры 7...9 технологических переходов.

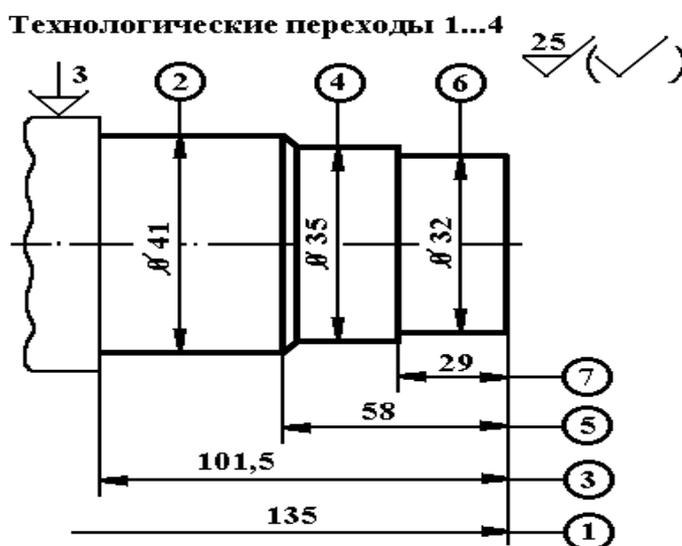


Рис. 23.12. Технологические переходы 1...4.

Технологические переходы 5...6 (рис. 23.13).

О Точить поверхность в размер 8 и 9.

Т Резец токарный проходной упорный с пластиной из твердого сплава Т15К6 с углами заточки $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ ГОСТ 18879

Р $t = 0,5$ мм, $i = 1$, $S = 0,12$ мм/об, $n = 1000$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

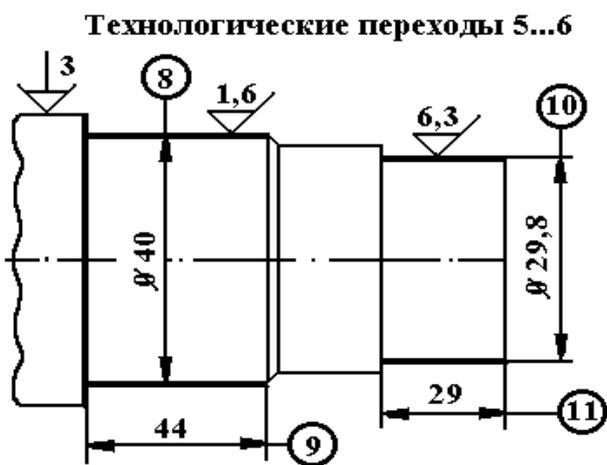


Рис. 23.13. Технологические переходы 5...6.

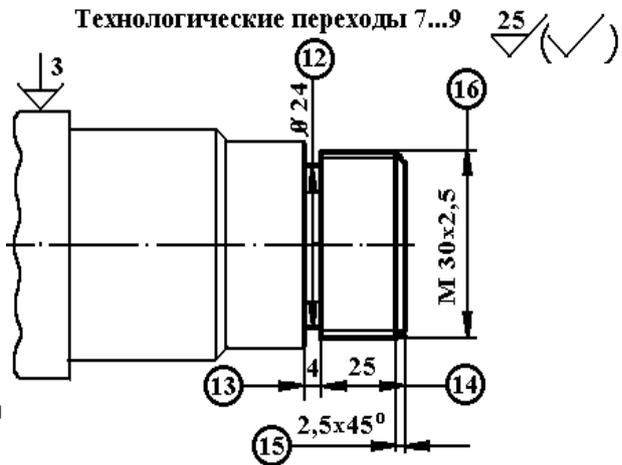


Рис. 23.14. Технологические переходы 7...9.

О Точить поверхность в размер 10 и 11.

Т Резец токарный проходной упорный с пластиной из твердого сплава Т15К6 с углами заточки $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ ГОСТ 18879.

Р $t = 1$ мм, $i = 1$, $S = 0,26$ мм/об, $n = 1200$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

Технологические переходы 7...9 (рис. 23.14).

О Проточить канавку в размеры 12; 13 и 14.

Т Резец токарный отрезной с пластиной из твердого сплава Т5К10 с углами заточки $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ ГОСТ 18884.

Р $t = 3$ мм, $i = 1$, $S = 0,11$ мм/об, $n = 800$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

О Точить фаску в размер 15.

Т Резец токарный проходной прямой с пластиной из твердого сплава Т5К10 с углами заточки $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 45^\circ$ ГОСТ 18878.

Р $t = 2,5$ мм, $i = 1$, $S =$ ручная, $n = 800$ об/мин.

Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

О Нарезать резьбу в размеры 16 и 14.

Т Резец токарный резьбовой с пластиной из твердого сплава Т15К6 с углами заточки $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 60^\circ$ ГОСТ 18885.

Р $t = 0,35$ мм, $i = 6$, $S = 2,5$ мм/об, $n = 315$ об/мин.

Резьбовой шаблон для метрической резьбы. Снять деталь.

23.12. Пример расчетов режимов резания при черновом точении.

В качестве примера расчетов режимов резания при *черновом* точении выбран 2-й технологический переход операционной технологии при первой установке заготовки **005**.

Необходимо записать текст технологического перехода максимально подробно с указанием, с какого и до какого диаметров обрабатывается поверхность заготовки, на какую длину и за сколько рабочих ходов. Одновременно дать характеристику применяемого резца, указанную в тексте операционной технологии. Запись выбранного технологического перехода для расчетов режимов резания должна быть следующей:

точить поверхность с Ø 60 мм до Ø 55 мм на длину 34 мм за 1 рабочий ход. Резец токарный проходной упорный с пластиной из твердого сплава T5K10 с углами заточки $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ ГОСТ 18879

23.12.1 Последовательность расчетов.

1) *Выбор станка.* В соответствии с рекомендациями выбирается токарно-винторезный станок марки 1К62.

2) *Определение величины глубины резания - t (мм):* $t = (60-55) / 2 = 2,5$ мм.

3) *Выбор подачи резца S (мм/об).*

Так как величина черновой подачи не рассчитывается, а выбирается из справочника, то значение черновой подачи берется из таблицы 2.5 данного учебного пособия. Материал заготовки – стальной прокат, глубина резания 2,5 мм, диаметр до 60 мм, следовательно величина подачи колеблется в пределах 0,5...0,7 мм/об. Выбранное значение уточняется по паспорту (характеристике) станка и принимается, как ближайшее *наименьшее*, равным 0,52 мм/об.

4) *Назначение периода стойкости резца – T (мин).*

Согласно рекомендациям принимается стойкость резца, равной 60 мин.

5) *Определение теоретической скорости резания V_m (м/мин).*

$$V_T = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot (K_1 \cdot K_2) \quad (23.15)$$

Согласно таблице 2.7. $C_V = 260$; $m = 0,2$; $x = 0,18$; $y = 0,45$.

таблице 2.8. $K_1 = 0,85$; таблице 2.9. $K_2 = 1,4$ (марка пластины T5K10).

$$V_T = (260 / 60^{0,2} \cdot 2,5^{0,18} \cdot 0,52^{0,45}) \cdot 0,85 \cdot 1,4 = 154,7 \text{ м/мин}$$

б) *Определение теоретической частоты вращения шпинделя станка*

- n_m (об/мин).

$$n_T = \frac{1000 \cdot V_T}{\pi \cdot D_{\text{заг}}} \quad (23.16)$$

$$n_T = \frac{1000 \cdot 123,7}{3,14 \cdot 60} = 821,1 \text{ об/мин.}$$

Принимается ближайшее *наименьшее* значение частоты вращения шпинделя станка. $n_{\text{ст}} = 800 \text{ об/мин}$

7) *Определение действительной скорости резания V_D (м/мин).*

$$V_D = \frac{\pi \cdot D_{\text{заг}} \cdot n_{\text{ст}}}{1000} \quad (23.17)$$

$$V_D = (3,14 \cdot 60 \cdot 800) / 1000 = 150,7 \text{ (м/мин).}$$

8) *Определение силы резания - P_z (кН).*

$$P_z = C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (23.18)$$

Согласно таблице 23.10. $C_p = 1,25$; $x = 1$; $y = 0,75$

таблице 23.11. $K_1 = 0,9$; таблице 23.12. $K_2 = 1,0$

$$P_z = 1,25 \cdot 2,5^1 \cdot 0,52^{0,75} \cdot 1 \cdot 1 = 1,91 \text{ кН}$$

9) *Определение эффективной мощности резания - $N_{\text{рез}}$ (кВт).*

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z \cdot V_D}{60} \quad (23.19)$$

$$N_{\text{рез}} = (1,91 \cdot 150,7) / 60 = 4,8 \text{ (кВт).}$$

10) *Проверка достаточности мощности электродвигателя станка (шпинделя станка).* $N_{\text{рез}} < N_{\text{шпинд}}$ $N_{\text{шпинд}} = N_{\text{ст}} \cdot \eta$, (23.20)

$$N_{\text{шпинд}} = N_{\text{ст}} \cdot \eta = 10 \cdot 0,75 = 7,5 \text{ кВт}; \quad N_{\text{рез}} < 7,5 \text{ кВт.}$$

23.13. Пример расчетов режимов резания при чистовом точении.

В качестве примера расчетов режимов резания при *чистовом* точении выбран 5-й технологический переход операционной технологии при второй установке заготовки 010. Запись текста данного технологического перехода должна быть максимально подробна с указанием с какого и до какого диаметров обрабатывается поверхность заготовки, на какую длину и за сколько рабочих ходов.

Одновременно необходимо дать характеристику применяемого резца, указанную в тексте операционной технологии.

Запись выбранного технологического перехода для расчетов режимов резания должна быть следующей:

- точить поверхность с $\varnothing 41$ мм до $\varnothing 40$ мм на длину 44 мм за 1 рабочий ход.

Резец токарный проходной упорный с пластиной из твердого сплава Т15К6 с углами заточки: $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\varphi = 90^\circ$; $\varphi_1 = 10^\circ$ ГОСТ 18879.

23.13.1. Последовательность расчетов.

1) *Выбор станка.* В соответствии с рекомендациями выбирается токарно-винторезный станок марки 1К62.

2) *Определение величины глубины резания - t (мм):* $t = (41 - 40) / 2 = 0,5$ мм.

3) *Выбор подачи резца S (мм/об).*

Подача резца выбирается в зависимости от шероховатости обрабатываемой поверхности ($R_a = 1,6$ мкм):

$$S_{\text{чист}} = \frac{C_s \cdot R_a}{t^x \cdot \varphi^z \cdot \varphi_1^z}, \text{ (мм/об)} \quad (23.21)$$

Согласно таблице 2.6. $C_s = 0,6$; $x = 0,30$; $z = 0,35$.

$$S_{\text{чист}} = \frac{0,6 \cdot 1,6}{0,5^{0,3} \cdot 90^{0,35} \cdot 10_1^{0,35}} = 0,11 \text{ мм/об.}$$

Полученное значение уточняется по паспорту (характеристике) станка и принимается, как ближайшее *равное* или *наименьшее*, $S_{\text{чист}} = 0,11$ мм/об.

4) *Назначение периода стойкости резца – T (мин).*

Согласно рекомендациям принимается стойкость резца, равной 60 мин.

5) *Определение теоретической скорости резания V_m (м/мин).*

$$V_T = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot (K_1 \cdot K_2) \quad (23.22)$$

Согласно таблице 23.7. $C_v = 142$; $m = 0,2$; $x = 0,45$; $y = 0,35$.

таблице 23.8. $K_1 = 0,85$; таблице 23.9. $K_2 = 1,25$.

$$V_T = \frac{142}{60^{0,2} \cdot 0,5^{0,45} \cdot 0,11^{0,35}} \cdot (0,85 \cdot 1,25) = 198,5 \text{ м/мин.}$$

6) *Определение теоретической частоты вращения шпинделя станка - n_m (об/мин).*

$$n_T = \frac{1000 \cdot V_T}{\pi \cdot D_{\text{заг}}} \quad (23.23)$$

$$n_T = \frac{1000 \cdot 198,5}{3,14 \cdot 41} = 1541,9 \text{ об/мин}$$

Принимается ближайшее *наименьшее* значение частоты вращения шпинделя станка: $n_{ст} = 1600$ об/мин.

7) *Определение действительной скорости резания V_D (м/мин).*

$$V_D = \frac{\pi \cdot D_{заг} \cdot n_{ст}}{1000} \quad (23.24)$$

$$V_D = (3,14 \cdot 41 \cdot 1600) / 1000 = 206,0 \text{ (м/мин)}.$$

8) *Определение силы резания - P_z (кН).*

$$P_z = C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (23.25)$$

Согласно таблице 23.10. $C_p = 1,25$; $x = 1$; $y = 0,75$.

таблице 23.11. $K_1 = 0,9$; таблице 23.12. $K_2 = 1,1$.

$$P_z = 1,25 \cdot 0,5^1 \cdot 0,11^{0,75} \cdot 0,9 \cdot 1,1 = 0,12 \text{ кН}$$

9) *Определение эффективной мощности резания - $N_{рез}$ (кВт.)*

$$N_{рез} = \frac{P_z \cdot V_D}{60} \quad (23.26)$$

$$N_{рез} = (0,12 \cdot 206) / 60 = 0,41 \text{ кВт.}$$

10) *Проверка достаточности мощности электродвигателя станка (шпинделя станка)*

$$N_{рез} < N_{шпинд} : \quad N_{шпинд} = N_{ст} \cdot \eta \quad (23.27)$$

$$N_{шпинд} = N_{ст} \cdot \eta = 10 \cdot 0,75 = 7,5 \text{ кВт.}; \quad N_{рез} < 7,5 \text{ кВт}$$

23.13.2 Определение глубины резания и величин подач для других технологических переходов.

Установка 005

1. Так как припуски торцовых поверхностей детали равны 0,5мм, и они срезаются за 1 рабочий ход, то глубина резания принимается равной припуску, $t = 0,5$ мм.

Точение черновое, поэтому подача принята 0,52 мм/об и частота вращения заготовки 800 об/мин согласно приведенным расчетам чернового точения.

2. Данный технологический переход рассчитан в качестве примера.

3. Глубина резания при сверлении равна половине диаметра сверла. Так как применено сверло $\varnothing 16$ мм, то $t = 8$ мм. Подача при сверлении равна 0,1...0,2 диаметра сверла для сверл диаметром до 20 мм и 0,05...0,08 - для сверл диаметром более 20 мм. Для сверла $\varnothing 16$ мм подача выбирается равной 0,1 диаметра и

составляет 1,6 мм/об. Данная величина уточняется по характеристике станка и окончательно принимается равной 1,56 мм/об. Частота вращения сверла принимается равной 10...15 диаметра сверла для сверл диаметром до 20 мм и 5...10 – для сверл более 20 мм. Частота вращения сверла выбирается равной $12\varnothing$ сверла, уточняется по характеристике станка и принимается 200 об/мин.

4. Глубина резания при рассверливании равна *половине* разности между диаметром сверла ($\varnothing 32$) и диаметром имеющегося отверстия ($\varnothing 16$). Таким образом, глубина резания при рассверливании для данного технологического перехода равна 8 мм. Подача выбирается равной 0,05 \varnothing , уточняется по станку и принимается 1,56 мм/об. Частота вращения выбирается равной 5 \varnothing сверла и принимается 160 об/мин.

5 и 6. Припуск под растачивание отверстия равен 2 мм. Данный припуск снимается за два технологических перехода 5-й (расточка предварительная) и 6-й (расточка с подрезкой дна отверстия) с равной глубиной резания (по $t = 1$ мм), равной подачей и равным значением частоты вращения заготовки. Так как эти технологические переходы выполняются при получистовом точении, то для них можно принять значение частоты вращения заготовки $3/4$ величины, полученной при расчете чистового точения, т. е. 1200 об/мин,. Значение подачи при получистовом растачивании принимается равной половине значения подачи при черновом точении, т.е. для данных технологических переходов $S = 0,26$ мм/об.

7. Глубина резания при получении фасок равна их размеру, поэтому при зенковании фаски $t = 4$ мм. Подача ручная, частота вращения заготовки – 1200 об/мин, такая же как и в предыдущем технологическом переходе (6), чтобы не останавливать станок и не производить переключения в коробке скоростей.

Установка 010

1. Режимы резания аналогичны технологическому переходу 1 при установке 005.

2. Глубина резания $t = 4,75$ мм, подача 0,52 мм/об и частота вращения заготовки 800 об/мин, так как черновое точение. Число рабочих ходов 2.

3. Глубина резания $t = 3$ мм. Так как точение черновое, то величина подачи $0,52$ мм/об и частота вращения заготовки – 800 об/мин.

4. Глубина резания $t = 1,5$ мм. Так как черновое точение, то $S = 0,52$ мм/об и $n_{ст} = 800$ об/мин.

5. Глубина резания $t = 0,5$ мм. Так как точение чистовое, то $S = 0,11$ мм/об и $n_{ст} = 1600$ об/мин.

6. Глубина резания $t = 1$ мм. Так как точение получистовое, то $S = 0,26$ мм/об и $n_{ст} = 1200$ об/мин.

7. Так как канавка прорезается за 1 рабочий ход резца, то глубина резания равна припуску, т. е. $t = 3$ мм. В связи с тем, что прочность резца недостаточна, то занижают режимы резания. Значение подачи принимают равной при чистовом точении. $S = 0,11$ мм/об. Частота вращения заготовки - как при черновом точении, т.е. 800 об/мин.

8. При точении фаски шириной $2,5$ мм глубину резания принимают равной ширине фаски. Подача ручная, частота вращения заготовки та же, что и предыдущий технологический ход, чтобы не производить переключение коробки скоростей. $n_{ст} = 800$ об/мин.

9. При нарезании резьбы резцом глубину резания устанавливают в пределах $0,25...0,45$ мм, число рабочих ходов – $5...8$, подача равна шагу резьбы и частота вращения заготовки в пределах $200...400$ об/мин. Приняты режимы резания: $t = 0,35$ мм, число рабочих ходов – 6 , $S = 2,5$ мм/об, $n_{ст} = 315$ об/мин.

Контрольные вопросы для самоподготовки:

1. Из каких частей состоит составление технологического процесса изготовления детали на металлорежущих станках?

2. Решение, каких вопросов предусматривает разработка маршрутной технологии изготовления детали?

3. По каким практическим параметрам определяются вид операции для обработки заготовки?

4. Что предусматривает токарная операция?

5. Как определяется последовательность применения выбранных операций при обработке заготовки?
6. Назовите назначение последовательности обработки поверхностей заготовки, обрабатываемой при каждой операции.
7. Какие условия необходимо выполнять при разработке маршрутной технологии?
8. Что относится к средствам технологического оснащения?
9. Как определяется выбор технологического оборудования, станков?
10. Какие приспособления относятся к технологической оснастке?
11. Какие измерительные инструменты применяются в процессе и по окончании обработки заготовки?
12. Что схематический указывается на карте эскизов для каждого технологического перехода?
13. Что необходимо определить при изучении чертежа заготовки?
14. Что следует сделать с общим припуском, если поверхность заготовки после токарной обработки будет обрабатываться еще и на шлифовальном станке?
15. Что означает припуск на обработку?

Раздел 24

24. Разработка технологического процесса обработки деталей на фрезерном станке

24.1. Фрезерная операция.

Фрезерная операция применяется для обработки или получения плоских поверхностей различной конфигурации. Разработка технологического процесса изготовления детали на фрезерном станке аналогична технологическому процессу изготовления детали на токарном станке и также состоит из 3-х этапов:

1. маршрутной технологии изготовления детали;
2. операционной технологии изготовления детали;
3. проведение расчетов для определения режимов резания;

24.2. Разработка маршрутной технологии.

24.2.1. Изучение чертежа детали.

При изучении чертежа заданной детали устанавливается вид обработки каждой поверхности: *черновая* или *чистовая*. Вид обработки поверхности зависит от значения величины шероховатости данной поверхности, которая указывается или непосредственно на самой поверхности, или в правом верхнем углу чертежа. Величина получаемой шероховатости (R_a) данных видов обработки даны в таблице 24.1.

Величина шероховатости (в R_a). Таблица 24.1

Вид обработки	Значение высоты шероховатости в R_a (мкм)
Черновое фрезерование	40...12,5
Чистовое фрезерование	12,5...3,2

24.2.2. Изучение чертежа заготовки.

Изучая чертеж заготовки, необходимо определить:

- размеры обрабатываемой поверхности – длину и ширину фрезерования;
- величину припуска металла h (мм), снимаемого с обрабатываемой поверхности;
- определить за сколько рабочих ходов фрезы i будет снят припуск с обрабатываемой поверхности;

- какой припуск h_i оставлять для последующих операций на других станках (например – шлифование).

Припуск на обрабатываемую поверхность при фрезерной обработке определяется как:

$$H_{\text{заг}} - h_{\text{дет}} \quad (24.1)$$

где: $H_{\text{заг}}$ - начальный размер заготовки, мм; $h_{\text{дет}}$ - окончательный размер детали, мм

При симметричном фрезеровании или при фрезеровании круглой поверхности для получения прямоугольника или квадрата припуск определяется как:

$$(H_{\text{заг}} - h_{\text{дет}}) / 2 \quad (24.2)$$

При чистовой обработке припуск должен составлять не более 1 мм. Для черновой обработки величина припуска более 1 мм. При определении числа рабочих ходов фрезы i для снятия припуска с обрабатываемой поверхности необходимо выбрать значение глубины резания t . При *черновом* фрезеровании глубина резания устанавливается до 5 мм, а при *чистовом* фрезеровании до 1 мм, если зубья фрезы из быстрорежущей стали. Эти значения *удваиваются*, если зубья фрезы оснащены пластинами твердого сплава.

24.2.3. Оформление маршрутной технологии.

Оформляя маршрутную технологию, необходимо выполнять следующие условия:

- запись "*установка*" и запись технологических *переходов* производить кратко и в повелительной форме (установить заготовку, закрепить, фрезеровать поверхность 1 и т.д.).

- если обработка поверхности разделяется на два вида (черновая и чистовая), то в тексте технологического перехода указывается, что в первый раз эта поверхность обрабатывается *предварительно*, а во второй раз – *окончательно*.

Пример: - "фрезеровать поверхность 1 *предварительно*";

- "фрезеровать поверхность 3 *окончательно*".

- если поверхность обрабатывается за несколько рабочих ходов фрезы, то число рабочих ходов инструмента указывается в тексте – "фрезеровать поверхность 1 за 3 рабочих хода".

- на каждый установ чертится карта эскиза, которая отражает всю конфигурацию заготовки, которую она получила после обработки при данном закреплении ее на станке.

Все обработанные поверхности нумеруются арабскими цифрами в той последовательности, в какой обрабатывались поверхности.

Сколько установов, столько и карт эскизов.

На каждой карте эскизов показываются условными значками способы крепления заготовки, а обработанные поверхности обводятся красным карандашом или рисуются толстой линией.

24.2.4. Выбор инструмента.

Зная размеры фрезеруемой поверхности, выбирается тип фрезы с учетом модели фрезерного станка – горизонтально-фрезерного или вертикально-фрезерного.

При фрезеровании больших плоскостей (если длина и ширина обрабатываемой заготовки более 100 мм) применяются торцевые фрезы. Данные фрезы насадные со вставными ножами, оснащенными пластинами твердого сплава. Фрезерование небольших плоскостей, в том числе квадратов, шестигранников и подобных профилей выполняют цилиндрическими фрезами, оснащенные винтовыми пластинами из быстрорежущей стали.

При фрезеровании пазов и уступов при работе на горизонтально-фрезерном станке применяются дисковые пазовые фрезы, а при работе на вертикально-фрезерном станке – концевые фрезы.

Дисковые пазовые фрезы применяют при фрезеровании неглубоких пазов (до 8 мм). Для более глубоких пазов применяются концевые фрезы.

Фрезерование шпоночных канавок для призматических шпонок производится шпоночными фрезами, для сегментных шпонок – дисковыми фрезами.

24.2.5. Выбор материала зубьев фрезы.

Для обработки мягких материалов (твердостью HB < 200) применяются фрезы, зубья которых выполнены из быстрорежущей стали марки Р6М5. Для фрезерования заготовок из стали и чугуна повышенной твердости используют фрезы, зубья которых оснащены пластинами твердого сплава. Пластина твердого

сплава марки ВК8 применяется при черновом, а марки ВК4 – при чистовом фрезеровании заготовок из чугуна. Пластина твердого сплава марки Т5К10 применяется при черновой обработке, а пластина твердого сплава марки Т15К6 применяется при чистовом фрезеровании заготовок из углеродистых и легированных сталей.

24.2.6. Выбор размеров фрезы.

Диаметр торцевой фрезы выбирается в зависимости от ширины фрезерования по формуле:

$$D_{\text{фр}} = (1,3 \dots 1,8) B, \quad (24.3)$$

где B – ширина фрезерования (мм).

Длина цилиндрической фрезы берется на 5...10 мм больше ширины фрезерования, а диаметр фрезы должен быть примерно равен ее длине.

Диаметр концевой фрезы должен быть равен ширине паза и больше на 5...10 мм ширины фрезерования уступов. Диаметр дисковой фрезы в 10...20 раз больше глубины паза или уступа. Диаметр шпоночной фрезы равен значению ширины шпоночного паза. Ниже даны размеры фрез и ГОСТы их изготовления.

24.2.7. Фрезерование плоских поверхностей.

1. Фреза цилиндрическая из быстрорежущей стали, ГОСТ 3752.
2. Фреза торцевая насадная со вставными ножами, оснащенная пластинами твердого сплава, ГОСТ 24359.

Размеры фрез:

Фреза № 1: диаметр: 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250 мм.

число зубьев: 14 16 10 12 10 12 12.

Фреза № 2: диаметр: 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400 мм.

число зубьев: 10 14 16 20 20 24 28.

24.2.8. Фрезерование пазов и уступов.

1. Фреза дисковая 3-х сторонняя из быстрорежущей стали, ГОСТ 3755.
2. Фреза концевая, оснащенная винтовыми пластинами из твердого сплава, ГОСТ 20537.

Размеры фрез:

Фреза № 1: диаметр 63 мм; ширина - 8, 9, 10, 12, 14, 16 мм; число зубьев -14.

диаметр 100 мм; ширина - 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25 мм; число зубьев -12.

диаметр 125 мм; ширина - 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28 мм; число зубьев -16.

Фреза № 2: диаметр: 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32 мм.

число зубьев: 5 5 5 3 3 4 4 5 5 5.

24.2.9. Фрезерование шпоночных пазов.

1. Фреза шпоночная из быстрорежущей стали, ГОСТ 9140.
2. Фреза шпоночная, оснащенная пластинами из твердого сплава, ГОСТ 6396.
3. Фреза для пазов сегментных шпонок, ГОСТ 6648.

24.3. Разработка операционной технологии.

При разработке операционной технологии необходимо указывать размеры обрабатываемых поверхностей заготовки и режимы резания при каждом технологическом переходе изготовления детали.

Разрабатывая операционную технологию, необходимо выполнять следующие условия:

- запись последовательности обработки поверхностей в каждой установке заготовки должна строго соответствовать последовательности обработки поверхностей, указанной в маршрутной технологии.

- обозначение технологического перехода осуществлять тремя большими буквами: О, Т и Р. После обозначения буквы О записывается текст технологического перехода более подробно, чем в маршрутной технологии, в соответствии с ГОСТом 3.1702. Размеры, которые необходимо выполнить при каждом технологическом переходе шифруются цифрами, а величина этих размеров указывается только в карте эскизов.

Примеры: - фрезеровать поверхность в размер 1 на проход;

- фрезеровать поверхность в размер 1 и 2;

- фрезеровать окно в размер 1, 2, 3.

Более подробный перечень текста технологических переходов дан ниже. После обозначения буквы Т записывается характеристика выбранной фрезы для выполнения данного технологического перехода и характеристика мерительного инструмента. Пример: фреза торцевая насадная, оснащенная пластинами твердого сплава Т5К10, ГОСТ 24359. Штангенциркуль ЩЦ-П 160-0,05 ГОСТ 166.

После обозначения буквы Р записываются следующие режимы резания:

$$t = ; \quad i = ; \quad S_{\text{мин}} = ; \quad n_{\text{фр}} = .$$

На каждый технологический переход рисуется карта эскизов, в которой указаны схематично зажимы и опоры, размеры, выполняемые при конкретном технологическом переходе, шероховатость обрабатываемых поверхностей. Каждый размер шифруется той цифрой, которой он обозначен в тексте технологического перехода. Эскизы можно объединять, если не указаны в них одни и те же поверхности, но с разными размерами.

24.3.1. Основная терминология технологических переходов фрезерной операции.

Фрезеровать поверхность в размер 1 на проход. Фрезеровать поверхность в размеры 1 и 2. Фрезеровать уступ в размеры 1, 2. Фрезеровать торец в размер 1. Фрезеровать паз в размеры 1, 2, 3. Фрезеровать шпоночный паз в размеры 1, 2, 3, 4. Фрезеровать окно в размеры 1, 2, 3. Фрезеровать скос в размеры 1, 2. Фрезеровать ребро в размер 1. Фрезеровать шестигранник в размер 1. Фрезеровать квадрат в размер 1 на проход. Фрезеровать квадрат в размеры 1, 2. Фрезеровать лыску в размер 1.

24.4. Проведение расчетов для определения режимов резания.

24.4.1. Определение подачи стола станка

Движение заготовки относительно вращающейся фрезы осуществляется столом станка, на котором заготовка крепится или непосредственно, или в приспособлении, установленном на столе станка. Перемещение стола определяется в *миллиметрах за 1 минуту*, т.е. размерность подачи – мм/мин.

Величина подачи стола станка определяется по формуле:

$$S_{\text{мин}} = S_{\text{зуб}} \cdot Z \cdot n_{\text{фрез}}, \quad (\text{мм/мин}) \quad (24.4)$$

где $S_{\text{мин}}$ - минутная подача стола станка, мм/мин; $S_{\text{зуб}}$ - подача стола станка за поворот фрезы на 1 зуб, мм/зуб; Z - число зубьев фрезы; $n_{\text{фрез}}$ – частота вращения фрезы, об/мин.

Так как вначале не известна частота вращения фрезы $n_{\text{фрез}}$ (число зубьев фрезы известно при выборе типа и размеров фрезы), то при расчетах других пара-

метров режимов фрезерования берут значение подачи стола за поворот фрезы на 1 зуб.

24.4.2. Выбор подачи на 1 зуб фрезы при черновом фрезеровании.

Ниже даются значения подачи стола станка при повороте фрезы на 1 зуб для *чернового* фрезерования фрезами, с режущими зубьями из *быстрорежущей стали* (таблица 24.2).

Значения подачи стола станка при повороте фрезы на 1 зуб
для *чернового* фрезерования. Таблица 24.2

Способ получения заготовки	Тип фрезы			
	Торцевой	Цилиндрич.	Дисковый	Концевой
	Величина подачи на 1 зуб (мм/зуб)			
Прокат	0,3...0,5	0,08...0,12	0,2...0,4	0,05..0,08
Поковки, штамповки	0,05..0,1	0,02...0,05	0,05..0,1	0,01..0,02
Литье	0,5...0,8	0,20...0,30	0,3...0,6	0,12..0,18

Примечание: значение подачи на 1 зуб фрезы для *шпоночных* фрез те же, что и для концевых фрез. Для фрез, зубья которых оснащены пластинами твердого сплава, значение подачи на 1 зуб фрезы увеличивать в 1,5...2 раза.

В таблице 24.3 даются значения подачи стола станка при повороте фрезы на 1 зуб при *чистовом* фрезеровании для фрез, оснащенных пластинами твердого сплава. Для фрез с зубьями из *быстрорежущей стали* значение подачи уменьшается в 2 раза. В дальнейшем, после расчета величины частоты вращения фрезы, будет определена минутная подача стола станка - $S_{мин}$.

Значения подачи стола станка при повороте фрезы на 1 зуб
при *чистовом* фрезеровании. Таблица 24.3

Марка твердого сплава	Тип фрезы							
	Торцевая		Цилиндрич.		Дисковая		Концевая	
	Материал заготовки							
	сталь	чугун	сталь	чугун	сталь	чугун	сталь	чугун
T15K6	0,15		0,20		0,1		0,1	
BK4		0,20		0,35		0,15		0,1

Для определения частоты вращения фрезы необходимо знать величину стойкости фрезы и теоретическую скорость резания при фрезеровании заданной заготовки.

24.4.3. Назначение периода стойкости фрезы.

В таблице 24.4 даны рекомендуемые средние значения периода стойкости фрез.

Определение теоретической скорости резания. Теоретическая скорость резания при фрезеровании определяется по формуле:

$$V_T = \frac{C_V \cdot D_{\text{фр}}^g}{T^m \cdot T^x \cdot S_{\text{зуб}}^y \cdot B^u} \cdot K_V, \text{ м/мин.} \quad (24.5)$$

где C_V - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала заготовки; $D_{\text{фр}}$ - диаметр фрезы, мм.; T^m - стойкость фрезы, мин, t^x - глубина резания, мм.; $S_{\text{зуб}}$ - подача на 1 зуб фрезы, мм/зуб; B^u - ширина фрезерования, мм.; x, y, m, g, u – показатели дробных степеней, K_V - поправочный коэффициент.

Значение коэффициента C_V и показатели дробных степеней для фрез с зубьями из быстрорежущей стали даны в таблице 24.5. Значение коэффициента C_V и показатели дробных степеней для фрез с зубьями из твердого сплава даны в таблице 24.6.

Средние значения периода стойкости фрез. Таблица 24.4

Тип фрезы	Диаметр фрезы (мм)		
	до 25	25...75	75...250
Стойкость фрезы, T (мин)			
Фреза торцевая насадная с зубьями, оснащенными пластинами твердого сплава	--	--	240
Фреза цилиндрическая из быстрорежущей стали	--	90	120
Фреза дисковая 3-х сторонняя из быстрорежущей стали	--	90	120
Фреза концевая, оснащенная винтовыми пластинами из твердого сплава	120	180	--
Фреза шпоночная из быстр. стали	90	--	--
Фреза шпоночная, оснащенная пластинами из твердого сплава	120	--	--
Фреза для пазов сегментных шпонок	90	120	--

Значение коэффициента C_V и показатели дробных степеней для фрез с зубьями из быстрорежущей стали. Таблица 24.5

Тип фрезы	C_V	x	y	m	g	u
Торцевая	40	0,1	0,4	0,2	0,25	0,15
Цилиндрическая	55	0,3	0,2	0,33	0,45	0,1
Дисковая	70	0,3	0,2	0,2	0,25	0,1
Концевая	45	0,5	0,5	0,2	0,45	0,1
Шпоночная	85	0,4	0,3	0,2	0,3	0,15

Значение коэффициента C_v и показатели дробных степеней для фрез с зубьями из твердого сплава. Таблица 24.6

Тип фрезы	C_v	x	y	m	g	u
Торцевая	330	0,1	0,4	0,2	0,25	0,15
Цилиндрическая	700	0,4	0,3	0,33	0,17	0,08
Дисковая	690	0,3	0,4	0,35	0,2	-
Концевая	145	0,25	0,25	0,35	0,45	0,1
Шпоночная	425	0,3	0,1	0,2	0,35	0,2

Поправочный коэффициент на величину скорости резания определяется как:

$$K_v = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (24.6)$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий твердость обрабатываемого материала заготовки; K_2 - коэффициент, учитывающий материал зубьев фрезы; K_3 - коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки, значение коэффициентов даны в таблицах 24.7; 24.8 и 24.9.

24.4.4. Определение теоретической частоты вращения фрезы

Теоретическая частота вращения фрезы определяется по формуле:

$$n_T = \frac{1000 \cdot V_T}{\pi \cdot D_{фр}}, \text{ об/мин.} \quad (24.7)$$

где V_T - теоретическая скорость резания при фрезеровании, м/мин;

$D_{фр}$ - диаметр фрезы, мм.

Значение коэффициента K_1 .

Таблица 24.7

Вид заготовки	Тип фрезы				
	Значение коэффициента K_1				
	Торцевая	Цилиндр.	Дисковая	Концевая	Шпоночная
<i>Зубья из быстрорежущей стали</i>					
Прокат	1,3	1,1	0,8	0,7	0,5
Поковки, штамповки	1,0	0,9	0,6	0,5	0,4
Литье	1,4	1,2	1,0	0,7	0,6
<i>Зубья, оснащенные пластинами из твердого сплава</i>					
Прокат	1,5	1,3	1,1	0,9	0,7
Поковки, штамповки	1,3	1,1	0,9	0,7	0,6
Литье	1,4	1,2	1,0	0,8	0,8

Значение коэффициента K_2 .

Таблица 24.8

Для фрез с зубьями из быстрорежущей стали	$K_2 = 1,0$
Для фрез, оснащенных пластинами из твердого сплава	$K_2 = 1,2$

Материал зубьев фрезы	Способ получения заготовки		
	Прокат	Штамповка, поковка	Литье
Значение коэффициента K_3			
Быстрорежущая сталь	1	0,9	1,0
Твердый сплав	1,3	1,1	1,5

24.4.5. Определение действительной частоты вращения фрезы.

Действительная частота вращения фрезы выбирается из характеристики станка. Ее величина должна быть равной или несколько меньшей теоретической частоты. В дальнейших расчетах используется только величина действительной частоты вращения фрезы – $n_{фр}$.

Ниже даны значения частоты вращения фрезы наиболее распространенных горизонтально-фрезерного станка марки 6P82Г и вертикально-фрезерного станка марки 6P13. Значения частоты вращения фрезы у них одинаковые.

80 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1000 1250 об/мин.

24.4.6. Определение минутной подачи стола станка.

$$S_{мин} = S_{зуб} \cdot z \cdot n_{фрез}; \quad (\text{мм/мин}). \quad (24.8)$$

Действительная минутная подача стола станка устанавливается согласно характеристике станка. Ее величина должна быть равной или несколько меньшей теоретического значения. В дальнейших расчетах используется только величина действительной минутной подачи стола станка - $S_{мин}$

Ниже даны значения минутной продольной, поперечной и вертикальной подач стола станков марки 6P82Г и 6P13 (их характеристики одинаковые).

а) значение продольных и поперечных подач:

25, 31, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250,
315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600. (мм/мин);

б) значения вертикальных подач:

8, 10, 13, 21, 27, 33, 42, 53, 67, 83,
105, 133, 167, 210, 267, 333, 400. (мм/мин)

24.4.7. Определение действительной скорости резания.

$$V_d = \frac{\pi \cdot D_{фр} \cdot n_{фр}}{1000 \cdot 60}, \quad \text{м/с.} \quad (24.9)$$

24.4.8. Определение силы резания при фрезеровании.

Сила резания при фрезеровании определяется по формуле:

$$P_Z = \frac{C_p \cdot t^x \cdot S_{зуб}^y \cdot Z \cdot B^u}{D_{фр}^g \cdot n_{фр}^q} \cdot K_p, \text{ (кН)}. \quad (24.10)$$

где: C_p - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала заготовки;

t - глубина резания, мм.; $S_{зуб}$ - подача на 1 зуб фрезы, мм/зуб;

Z - число зубьев фрезы; B - ширина фрезерования, мм.;

$D_{фр}$ - диаметр фрезы, мм.;

$n_{фр}$ - действительная частота вращения фрезы, об/мин; x, y, g, u, q - показатели степени; K_p - поправочный коэффициент.

Значение коэффициента C_p и показатели дробных степеней для фрез с зубьями из быстрорежущей стали даны в таблице 10, а значение коэффициента C_p и показатели дробных степеней для фрез с зубьями, оснащенными пластина твердого сплава, даны в таблице 24.11.

Поправочный коэффициент силы резания K_p определяется как:

$$K_p = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (24.11)$$

где: K_1 - коэффициент, учитывающий твердость обрабатываемого материала заготовки;

K_2 - коэффициент, учитывающий материал зубьев фрезы,

K_3 - коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки.

Значения коэффициентов даны в таблице 24.12; 24.13 и 24.14.

Значение коэффициента C_p и показатели дробных степеней для фрез с зубьями из быстрорежущей стали. Таблица 24.10

Тип фрезы	C_p	x	y	g	u	q
Торцевая	0,8	0,9	0,8	0,85	1,1	1,1
Цилиндрическая	0,7	0,88	0,72	0	1,0	0,9
Дисковая	0,7	0,86	0,72	0	1,0	0,9
Концевая	0,7	0,86	0,5	0	1,0	0,9
Шпоночная	0,47	0,76	0,8	1,0	1,2	1,0

Значение коэффициента C_p и показатели дробных степеней для фрез с зубьями, оснащенной пластина твердого сплава. Таблица 24.11

Тип фрезы	C_p	x	y	g	u	q
Торцевая	3,8	0,9	0,75	0,2	1,1	1,3
Цилиндрическая	1,7	0,88	0,75	0,4	1,0	0,8
Дисковая	2,7	0,9	0,8	0,4	1,1	1,1
Концевая	0,3	0,85	0,75	0,2	1,0	0,7
Шпоночная	0,47	0,76	0,8	1,0	1,2	1,0

Коэффициент, учитывающий твердость обрабатываемого материала заготовки. Таблица 24.12

Материал заготовки	Значение K_1
<i>Зубья из быстрорежущей стали</i>	
Сталь твердостью HRC ₃ < 30	0,9
Сталь твердостью HRC ₃ > 30	1,1
Чугун твердостью HB < 170	0,75
Чугун твердостью HB > 170	0,85
<i>Зубья, оснащенные пластинами из твердого сплава</i>	
Сталь твердостью HRC ₃ < 30	1,1
Сталь твердостью HRC ₃ > 30	1,35
Чугун твердостью HB < 170	0,9
Чугун твердостью HB > 170	1,0

Коэффициент, учитывающий материал зубьев фрезы. Таблица 24.13

Для фрез с зубьями из быстрорежущей стали	$K_2 = 1,0$
Для фрез, оснащенных пластинами твердого сплава	$K_2 = 1,2$

Коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки. Таблица 24.14

Материал зубьев фрезы	Способ получения заготовки			
	Прокат	Штамповка	Поковка	Чугунное литье
	Значение коэффициента K_3			
Быстрорежущая сталь	1,0	1,3	1,1	0,8
Твердый сплав	1,2	1,3	1,4	1,0

24.4.9. Определение мощности резания при фрезеровании

Мощность резания при фрезеровании определяется по формуле:

$$N_{\text{рез}} = P_z \cdot V_{\text{д}}, \quad (\text{кВт}). \quad (24.12)$$

где: P_z - сила резания при фрезеровании, кН;

$V_{\text{д}}$ - действительная скорость резания, м/с.

Проверка достаточности мощности электродвигателя станка.

Проверка достаточности мощности электродвигателя станка проводится при условии $N_{рез} < N_{шпинд}$ и рассчитывается по формуле:

$$N_{шпинд} = N_{ст} \cdot \eta \quad (24.13)$$

Значения мощности электродвигателей и К.П.Д. станков марки 6Р82Г и 6Р13 (их технические характеристики одинаковые): $N_{эл} = 7,5$ кВт. $\eta = 0,8$

Если при расчетах получается, что мощность резания больше мощности на шпинделе станка, то необходимо либо уменьшить скорость резания, либо снижать значения величин глубины резания или подачи.

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Для чего применяется фрезерная операция?
2. С учетом каких факторов выбирается тип фрезы?
3. Какие фрезы применяются для обработки мягких материалов?
4. Когда применяются торцевые фрезы?
5. Когда применяются дисковые пазовые фрезы?
6. В зависимости от каких параметров выбирается диаметр торцевой фрезы?
7. Что представляет собою торцевая насадная фреза со вставными ножами?
8. Как проводится проверка достаточности мощности электродвигателя станка?
9. Как определяется мощность резания при фрезеровании?
10. Как определяется поправочный коэффициент силы резания K_p ?
11. На что влияет K_1 - коэффициент, учитывающий твердость обрабатываемого материала заготовки?
12. На что влияет K_2 - коэффициент, учитывающий материал зубьев фрезы?
13. На что влияет K_3 - коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки?
14. Как определяется действительная скорость резания?
15. Как определяется минутная подача стола станка?

Раздел 25

25. Разработка технологического процесса обработки деталей на сверлильном станке

25.1. Операция сверления.

Операция сверления предусматривает получение отверстий в сплошном металле, увеличение имеющего отверстия (операция рассверливания) и уменьшения шероховатости поверхности обрабатываемого отверстия за счет применения зенкеров и разверток. Данная операция применяется для получения и обработки отверстий в плоских деталях, а также в круглых деталях, если ось обрабатываемых отверстий перпендикулярна или параллельна оси детали.

Разработка технологического процесса механической обработки детали на сверлильном станке состоит из разработки:

- маршрутной и операционной технологий изготовления детали;
- расчетов по определению режимов резания.

25.2. Разработка маршрутной технологии.

25.2.1. При разработке маршрутной технологии не указываются размеры обрабатываемых поверхностей и режимы резания при их обработке.

Составление маршрутной технологии обработки детали состоит из нескольких этапов. На первом этапе изучается чертеж детали. По чертежу определяются количество отверстий, их размеры (диаметр и длина), месторасположение, а также величина шероховатости. По величине шероховатости, пользуясь данными таблицы 25.1, назначают виды обработки отверстий – сверление (рассверливание), зенкерование, развертывание.

Вид обработки	Шероховатость, мкм
Сверление сверлом диаметром до 15мм	12,5...6,3
Сверление сверлом диаметром свыше 15мм	25,0...12,5
Зенкерование	6,3...3,2
Развертывание	3,2...1,6

При окончательной обработке отверстия *зенкерованием* необходимо придерживаться следующей последовательности применения инструментов и их размеров:

а) для отверстий с номинальным размером $D_{\text{НОМ}}$ до 18 мм:

$$D_{\text{СВ}} = D_{\text{НОМ}} - 2 \text{ мм}; \quad D_{\text{ЗЕНК}} = D_{\text{НОМ}}$$

б) для отверстий с номинальным размером $D_{\text{НОМ}}$ до 30 мм:

$$D_{\text{СВ}} = D_{\text{НОМ}} - 3 \text{ мм}; \quad D_{\text{ЗЕНК}} = D_{\text{НОМ}}$$

в) для отверстий с номинальным размером $D_{\text{НОМ}}$ свыше 30 мм до 50 мм:

1-е сверло: $D_{\text{СВ}} = 20 \text{ мм}$,

2-е сверло: $D_{\text{СВ}} = D_{\text{НОМ}} - 3 \text{ мм}; \quad D_{\text{ЗЕНК}} = D_{\text{НОМ}}$

При окончательной обработке отверстия *развертыванием* необходимо придерживаться следующей последовательности применения инструментов и их размеров:

а) для отверстий с номинальным размером $D_{\text{НОМ}}$ до 18 мм:

$$D_{\text{СВ}} = D_{\text{НОМ}} - 2 \text{ мм}; \quad D_{\text{ЗЕНК}} = D_{\text{НОМ}} - 0,25 \text{ мм}; \quad D_{\text{РАЗВ}} = D_{\text{НОМ}}$$

б) для отверстий с номинальным размером $D_{\text{НОМ}}$ до 30 мм:

$$D_{\text{СВ}} = D_{\text{НОМ}} - 3 \text{ мм}; \quad D_{\text{ЗЕНК}} = D_{\text{НОМ}} - 0,25 \text{ мм}; \quad D_{\text{РАЗВ}} = D_{\text{НОМ}}$$

в) для отверстий с номинальным размером $D_{\text{НОМ}}$ свыше 30 мм до 50 мм:

1-е сверло: $D_{\text{СВ}} = 20 \text{ мм}$,

2-е сверло: $D_{\text{СВ}} = D_{\text{НОМ}} - 4 \text{ мм}; \quad D_{\text{ЗЕНК}} = D_{\text{НОМ}} - 0,4 \text{ мм}; \quad D_{\text{РАЗВ}} = D_{\text{НОМ}}$.

25.3. Оформление маршрутной технологии.

Оформляя маршрутную технологию, необходимо выполнять следующие условия:

- запись "установка" и запись технологических *переходов* производить кратко и в повелительной форме: установить заготовку, закрепить, сверлить отверстие 1, развернуть отверстие 2, нарезать резьбу в отверстия 1 и т.д.;

- первый установ обозначается цифрами 005. Если обработка заготовки производится за несколько установов ее на станке, то каждая установ обозначается последовательно 010, 015 и т.д.;

- технологические переходы обозначаются арабскими цифрами, начиная с цифры 1;

- после перечня технологических переходов без цифры записывается: "снять деталь";

- на каждый установ чертится карта эскиза, которая отражает всю конфигурацию заготовки, которую она получила после обработки при данном закреплении ее на станке.

Все обработанные поверхности нумеруются арабскими цифрами в той последовательности, в какой обрабатывались поверхности.

25.3.1. Карт эскизов столько, сколько установов при изготовлении детали на станке.

На каждой карте эскизов показываются условными значками способы крепления заготовки, а обработанные поверхности обводятся красным карандашом или рисуются двойной толщиной линий.

25.4. Разработка операционной технологии.

25.4.1. При разработке операционной технологии необходимо указывать размеры обрабатываемых отверстий и режимы резания их при каждом технологическом переходе изготовления детали.

Разрабатывая операционную технологию, необходимо выполнять следующие условия:

- запись последовательности обработки отверстий при каждой установке заготовки должна строго соответствовать последовательности обработки отверстий, указанной в маршрутной технологии;

- запись "установа" должна быть аналогична записи в маршрутной установке;

- обозначение технологического перехода осуществлять обозначать тремя буквами; О, Т и Р. После обозначения буквы О записывается текст технологического перехода более подробно, чем в маршрутной технологии, в соответствии с ГОСТом 3.1702.

Размеры, которые необходимо выполнить при каждом переходе шифруются цифрами, а величина этих размеров указывается только в карте эскизов. Примеры: - сверлить отверстие в размеры 1, 2; - зенкеровать отверстие в размер 1 на проход. Подробный перечень текста переходов дан ниже.

После обозначения буквы Т записывается характеристика выбранного инструмента для выполнения данного перехода и характеристика мерительного инструмента.

Пример: зенкер цельный с $Z = 3$ из быстрорежущей стали, диаметром 30 мм, ГОСТ 12489. Нутромер индикаторный 18...50-0,01, ГОСТ 868.

После обозначения буквы Р записываются следующие режимы резания:

$$t = \quad ; \quad i = \quad ; \quad S = \quad ; \quad n = \quad .$$

На каждый технологический переход дается карта эскизов, в которой указаны схематично зажимы и опоры, размеры, выполняемые при конкретном переходе, шероховатость обрабатываемых поверхностей. Каждый размер шифруется той цифрой, которой он обозначен в тексте перехода.

Эскизы отдельных переходов можно объединять, если нет совпадения одинаковых обрабатываемых поверхностей, но с разными указанными размерами.

25.4.2. Основная терминология технологических переходов операции сверления.

Сверлить отверстие в размер 1 на проход. Рассверлить отверстие в размер 1 на проход. Рассверлить отверстие в размеры 1, 2. Зенкеровать отверстие в размер 1 на проход. Зенкеровать отверстие в размеры 1, 2. Развернуть отверстие в размер 1 на проход. Зенковать бобышку в размер 1. Нарезать резьбу в размер 1 на проход. Нарезать резьбу в размеры 1, 2.

25.5. Проведение расчетов для определения режимов резания.

25.5.1. Выбор станка.

Если для многих операций существует большой выбор станков, то для операции сверления диапазон выбора станков достаточно мал. Операцию сверления, зенкерования и развертывания производят на вертикально-сверлильном станке марок 2Н118, 2Н125, 2Н135, 2А135 и 2Н150 по условному максимальному диаметру сверления 18 мм, 25 мм, 35 мм и 50 мм.

25.5.2. Выбор инструмента.

Существует большое количество разновидностей конструкций сверл, зенкеров и разверток в зависимости от диаметра отверстия, глубины обработки, точности отверстия и расположения его оси, обрабатываемого материала и других факторов. Среди сверл самое широкое применение находит универсальное спиральное сверло, которое изготавливают диаметром от 0,25 до 80 мм. Ниже даны наиболее широко ходовые типоразмеры сверл:

1. Сверло спиральное с цилиндрическим хвостовиком диаметром 0,25...20мм
ГОСТ 10902

2. Сверло спиральное с коническим хвостовиком диаметром 5...80мм,
ГОСТ10903

25.5.3. Размеры спиральных сверл (мм).

Сверло № 1 от 0,25 до 3,35 мм через каждые 0,05 мм
от 3,35 до 14 мм через каждые 0,1 мм
от 14 до 20 мм через каждые 0,25 мм

Сверло № 2 от 5 до 14 мм через каждые 0,2 мм
от 14 до 45,25 мм через каждые 0,25 мм
от 45,5 до 51,5 мм через каждые 0,5 мм
от 52 до 80 мм через каждый 1 мм

25.5.4. Зенкеры.

Для процесса зенкерования наибольшее применение имеют зенкеры:

1. Зенкер цельный с $Z = 3$ из быстрорежущей стали, ГОСТ 12489.

2. Зенкер цельный с $Z = 3$, оснащенный твердосплавными пластинами,
ГОСТ 3231

25.5.4.1. Диаметры зенкеров (мм.)

Зенкер № 1	7,8	8,0	8,8	9,0	9,8	10,0	10,75	11,0	11,75
	12,0	13,75	14,0	15,75	16,0	17,75	18,0	19,7	20,0
	21,7	22,0	24,7	25,0	27,7	28,0	31,6	32,0	35,6
	36,0	37,6	38,0	39,6	40,0	44,6	45,0	49,6	50,0

Зенкер № 2	11,75	12,0	12,75	13,0	13,75	14,0	14,75	15,0
	15,75	16,0	16,75	17,0	17,75	18,0	18,7	19,0
	19,7	20,0	20,7	21,0	21,7	22,0	22,7	23,0
	23,7	24,0	24,7	25,0	25,7	26,0	27,7	28,0
	29,7	30,0	31,6	32,0	33,6	34,0	34,6	35,0
	35,6	36,0	36,6	37,0	37,6	38,0	39,6	40,0

25.5.5. Развертки.

Среди применяемых разверток наиболее распространены следующие развертки:

1. Развертка машинная цельная с коническим хвостовиком из быстрорежущей стали, ГОСТ 1672.
2. Развертка машинная со вставными ножами из быстрорежущей стали с коническим хвостовиком, ГОСТ 883.
3. Развертка машинная, оснащенная пластинами из твердого сплава с коническим хвостовиком, ГОСТ 11175.
4. Развертка машинная, оснащенная пластинами из твердого сплава, насадная, ГОСТ 11175.

25.5.5.1. Диаметры разверток (мм.)

Развертка № 1	5,5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22	25	28	32
	36	40	45	50													
Развертка № 2	32	34	36	38	40	42	45	47	48	50							
Развертка № 3	10	11	12	14	16	18	20	22	25	28	32						
Развертка № 4	32	36	40	45	50												

25.5.6. Материал режущей части сверла, зенкера и развертки.

Все перечисленные инструменты с рабочей частью из быстрорежущей стали марки Р6М5 применяются для обработки заготовок из конструкционных и среднелегированных сталей, а также заготовок из цветных металлов и сплавов. Сверла, зенкеры и развертки из быстрорежущей стали Р9 используются для сверления чугуновых заготовок всех марок.

Инструменты для обработки отверстий, оснащенные пластинами твердого сплава марки Т5К10 применяются при обработке заготовок из углеродистых и легированных сталей, а оснащенные пластинами твердого сплава марки ВК4 – для заготовок из чугуна и цветных металлов.

25.5.7. Назначение глубины резания - t (мм.)

Так как сверло, зенкер и развертка однопроходные инструменты, то припуск h снимается за один проход. При сверлении глубина резания равна половине диаметра сверла:

$$t = D_{\text{св}} / 2, \text{ (мм)} \quad (25.1)$$

При рассверливании, зенкерования и развертывании глубина резания равна:

$$t = \frac{D_{\text{инс}} \cdot D_{\text{отв}}}{2}, \text{ (мм)} \quad (25.2)$$

25.5.8. Выбор подачи сверла - S (мм/об).

Значение подачи при сверлении и рассверливании равно:

$$S = 0,02 \dots 0,03 \text{ диаметра сверла.}$$

Подачи при зенкерования в 1,5 раза больше подачи сверла. При развертывании значение подачи принимают в 2 раза больше подачи сверла.

Рассчитанная подача уточняется по станку (берется ближайшая *наименьшая* подача) и в дальнейших расчетах используется выбранная величина $S_{\text{ст}}$.

Ниже представлены значения подач сверла вертикально – сверлильных станков (они для всех марок станков одинаковы):

$$S_{\text{ст}} = 0,1 \quad 0,14 \quad 0,2 \quad 0,28 \quad 0,4 \quad 0,56 \quad 0,8 \quad 1,12 \quad 1,6 \quad \text{мм/об}$$

25.5.9. Определение теоретической скорости резания - V_T (м/мин).

Величину теоретической скорости резания при сверлении, рассверливании, зенкерования и развертывании определяют по таблице 25.2. Меньшие значения для инструментов из быстрорежущей стали

Величины теоретических скоростей резания. Таблица 25. 2

Материал заготовки)	Скорость резания V_T (м/мин)
Конструкционная сталь	24...30
Легированная сталь	21...24
Стальное литье	7...12
Штамповка, поковка	15...18
Литье	20...30
Цветные металлы и сплавы	50...80

25.5.10. Определение теоретической частоты вращения инструмента - n_T (об/мин.)

Теоретическая частота вращения сверла, зенкера, развертки определяется как:

$$n_T = \frac{1000 \cdot V_T}{\pi \cdot D_{\text{св}}}, \text{ об/мин} \quad (25.3)$$

где: V_T - теоретическая скорость резания, м/мин; $D_{\text{св}}$ - диаметр применяемого инструмента, мм.; $\pi = 3,14$

Полученное теоретическое значение частоты вращения сверла уточняют по паспорту станка, берется ближайшее *наименьшее* значение и в дальнейших расчетах используется величина $n_{ст}$.

Ниже даны значения частоты вращения шпинделя вертикально-сверлильных станков различных моделей (марок):

2Н118	2Н125	2Н135 (2А135)	2Н150
180,250,350	45,63,90,125	31,5,45,63,90	2,32,45,63,89
500,700,1000	125,180,250,355	125,180,250,355	123,176,248,
1400, 2000	500,710,1000,1400	500, 710, 1000,1400	350,493,645, 980

25.5.11. Определение действительной скорости резания - V_d (м/мин).

Действительную скорость резания определяют по формуле:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D_{инст} \cdot n_{ст}}{1000}, \text{ м/мин} \quad (25.4)$$

25.5.12. Определение осевой силы при сверлении - P_o (кН).

Осевая сила определяется только при операции сверления. Данная сила противодействует перемещению сверла и вызывает его продольный изгиб. Она определяется согласно формуле:

$$P_o = C_o \cdot D_{св.}^x \cdot S_{ст.}^y \cdot K_o \quad (\text{кН}) \quad (25.5)$$

где C_o - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала заготовки; $D_{св.}$ - диаметр сверла, мм.; $S_{ст.}$ - подача по станку, мм/об.; x, y - показатели дробных степеней; K_o - поправочный коэффициент.

Значение коэффициента C_o и показателей дробных степеней даны в таблице 25.3.

Значение коэффициента C_o . Таблица 25.3

Способ получения заготовки	C_o	x	y
Прокат	0,68	1,0	0,7
Стальное литье	0,96	1,0	0,8
Поковка, штамповка	1,12	0,9	0,8
Чугунное литье	0,42	1,2	0,6
Цветные металлы и сплавы	0,31	0,8	0,4

Поправочный коэффициент K_o определяется по формуле:

$$K_o = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (25.6)$$

где: K_1 - коэффициент, зависящий от твердости материала обрабатываемой заготовки; K_2 - коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки; K_3 - коэффициент, учитывающий влияние износа режущего лезвия.

Значение данных коэффициентов даны, в таблицах 25.4...25.6.

Значение коэффициента K_1 .

Таблица 25.4

Твердость материала заготовки	Значение K_1
Стальная заготовка твердостью HB < 220	1,1
Стальная заготовка твердостью HB > 220	1,4
Чугунная заготовка твердостью HB < 170	0,9
Чугунная заготовка твердостью HB > 170	1,2
Для цветных металлов и сплавов	1,0

Значение коэффициента K_2 .

Таблица 25.5

Способ получения заготовки	Значение K_2
Стальной прокат	1,0
Стальное литье	1,2
Поковка, штамповка	1,3
Чугунное литье	1,5
Цветные металлы и сплавы	0,7

Значение коэффициента K_3 . Таблица 25.6

Материал заготовки	Значение K_3 при износе лезвия до:		
	1,0 мм	1,5 мм	2,0 мм
Сталь	0,7		
Чугун	0,85		
Цветной металл и сплавы	0,8		

25.5.13. Проверка достаточности осевого усилия станка перемещению сверла.

Условие: $P_{ст} > P_0$

Ниже даны значения максимального осевого усилия перемещения сверла при сверлении ($P_{ст}$) для различных марок станков:

2Н118 - 5,6 кН; 2Н125 - 9,0 кН; 2Н135 - 15,0 кН; 2Н150 - 23 кН.

Если P_0 окажется больше $P_{ст}$, то необходимо уменьшить величину подачи станка.

**25.5.14. Определение крутящего момента при сверлении,
зенкеровании и развертывании – $M_{кр}$ (Н/м).**

По крутящему моменту резания рассчитывают на прочность детали механизма главного движения станка. Крутящий момент резания определяется по следующей формуле:

$$M_{кр} = C_m \cdot D_{инстр} \cdot S_{ст}^x \cdot K_m^y, \text{ (Н/м)} \quad (25.7)$$

где: C_m - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала заготовки;

$D_{инстр}$ - диаметр сверла, мм.;

$S_{ст}$ - подача по станку, мм/об.;

x, y - показатели дробных степеней;

K_m - поправочный коэффициент.

Значение коэффициента C_m и показателей дробных степеней даны в таблице 25.7

Значение коэффициента C_m . Таблица 25.7

Способ получения заготовки	C_m	x	y
Прокат	0,035	2,0	0,8
Стальное литье	0,056	1,7	0,8
Поковка, штамповка	0,082	1,9	0,7
Чугунное литье	0,022	2,2	0,8
Цветные металлы и сплавы	0,012	1,8	0,6

Поправочный коэффициент K_m определяется по формуле:

$$K_m = K_1 \cdot K_2 \quad (25.8)$$

где: K_1 - коэффициент, учитывающий способ получения заготовки;

K_2 - коэффициент, учитывающий твердость материала заготовки.

Значения данных коэффициентов даны в таблицах 25.8...25.9.

Значение коэффициента K_1 . Таблица 25.8

Способ получения заготовки	Значение K_1
Прокат	1,1
Стальное литье	1,3
Поковка, штамповка	1,4
Чугунное литье	1,6
Цветные металлы и сплавы	0,7

Значение коэффициента K_2 . Таблица 25.9

Твердость материала заготовки	Значение K_2
Стальная заготовка твердостью HB < 220	1,2
Стальная заготовка твердостью HB > 220	1,4
Чугунная заготовка твердостью HB < 170	0,8
Чугунная заготовка твердостью HB > 170	1,1
Для цветных металлов и сплавов	1,0

25.5.15. Определение мощности резания - $N(\text{рез})$ (кВт).

Мощность резания при сверлении определяется по формуле:

$$N_{\text{рез}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n_{\text{ст}}}{9750}, \text{ кВт} \quad (25.9)$$

где: $M_{\text{кр}}$ - крутящий момент при резании, Н/м; $n_{\text{ст}}$ - частота вращения инструмента, мм/об.

25.5.16. Определение достаточности мощности привода станка.

Условие: $N_{\text{рез}} < N_{\text{шп}}$

Ниже даны значения мощности, передаваемой шпинделем станка, для различных марок вертикально-сверлильных станков:

2Н118 - 4,48 кВт; 2Н125 - 7,2 кВт; 2Н135 - 12,0 кВт; 2Н150 - 18,4 кВт.

Если окажется, что $N_{\text{рез}}$ больше $N_{\text{шп}}$ станка, то необходимо уменьшить величину скорости резания.

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Что предусматривает операция сверления?
2. Как определяется теоретическая скорость резания?
3. Как определяется достаточная мощность привода станка?
4. Как определяется крутящий момент при сверлении?
5. Как определяется крутящий момент при развертываний?
6. Когда определяется осевая сила?
7. Как определяется достаточная мощность резания?
8. Как определяется поправочный коэффициент K_m ?
9. Как определяется K_1 - коэффициент, учитывающий способ получения заготовки?
10. Во сколько раз больше подача при зенкерованиях от подачи сверла?

Раздел 26

26. Разработка технологического процесса обработки деталей на шлифовальном станке.

26.1. Операция шлифования.

Операция шлифования подразделяется на наружное круглое, плоское и бесцентровое с различными вариациями, например, силовое или врезное шлифование и др. Наиболее распространенным способом шлифования является наружное круглое шлифование, которое применяется для шлифования валов различного типа или шеек валов.

Разработка технологического процесса изготовления детали на шлифовальных станках аналогична технологическому процессу изготовления детали при любой операции и также состоит из разработки маршрутной технологии, разработки операционной технологии и проведение расчетов для определения режимов шлифования (резания). Операция шлифования независимо от ее вида (круглое, плоское или бесцентровое) имеет ряд особенностей:

1. шероховатость обрабатываемой поверхности не зависит от режимов шлифования, а зависит только от зернистости применяемого абразивного или алмазного круга;

2. процесс шлифования одновременно при получении точных размеров исправляет исходные погрешности формы обрабатываемых поверхностей и взаимного положения шлифуемых поверхностей. Поэтому при разработке технологии процесса шлифования важную роль играют приспособления для закрепления или установки заготовки на станке;

3. качество и производительность процесса шлифования в основном зависит от правильного выбора шлифовального круга.

26.2. Разработка маршрутной технологии.

26.2.1. При разработке маршрутной технологии не указываются размеры обрабатываемых поверхностей и режимы резания при их обработке.

При разработке маршрутной технологии также необходимо вести запись кратко и в повелительной форме. Если обработка поверхности разделяется на

черновую и чистовую, то в тексте технологического перехода указывается, что в первый раз эта поверхность шлифуется *предварительно*, а во второй - *окончательно*. Как правило, обрабатываемая поверхность шлифуется за несколько рабочих ходов абразивного круга или стола станка. Но в отличие от других операций с большим числом рабочих ходов, число рабочих ходов в тексте технологического перехода не указывается.

На каждый установ заготовки чертится карта эскиза, на которой показываются условными значками способ закрепления заготовки, арабскими цифрами нумеруются обрабатываемые поверхности в той последовательности, которой они обрабатываются. Обработанные поверхности обводятся красным карандашом или рисуются толстыми линиями.

Наружное круглое шлифование ведется способом многопроходного шлифования, которым осуществляется снятие заданного припуска. На круглошлифовальных станках осуществляется два вида шлифования:

- *предварительное* (черновое) шлифование для достижения высоты шероховатости обрабатываемой поверхности до 0,8 мкм по R_a ;
- *окончательное* (чистовое) шлифование для достижения высоты шероховатости обрабатываемой поверхности до 0,2 мкм по R_a .

26.3. Разработка операционной технологии.

26.3.1. При разработке операционной технологии необходимо указывать размеры обрабатываемых поверхностей и режимы резания при каждом технологическом переходе изготовления детали.

Разрабатывая операционную технологию, необходимо выполнять следующие условия: - запись последовательности обработки поверхностей в каждой установке заготовки должна строго соответствовать последовательности обработки поверхностей, указанной в маршрутной технологии;

- запись "установа" должна быть аналогична записи в маршрутной технологии;
- каждый технологический переход обозначать тремя большими буквами; О, Т и Р. После обозначения буквы О записывается текст перехода более подробно, чем в маршрутной технологии, в соответствии с ГОСТом 3.1702. Размеры, которые необходимо выполнить при каждом технологическом переходе

шифруются цифрами, а величина этих размеров указывается только в карте эскизов.

Примеры: шлифовать поверхность в размер 1, шлифовать отверстие в размер 1 на проход. Более подробный перечень текста переходов дан ниже.

После обозначения буквы Т записывается характеристика выбранного шлифовального круга для выполнения технологического перехода и характеристика мерительного инструмента.

Пример: абразивный круг 22А-40П-СМ2-7-К8 размером 400 х203х50 мм, Микрометр гладкий 0,01- 0...50 ГОСТ 6507

После обозначения буквы Р записываются следующие режимы резания:

$$t = \quad ; \quad i = \quad ; \quad S = \quad ; \quad n = \quad .$$

На каждый технологический переход дается карта эскизов, в которой указаны схематично зажимы и опоры, размеры, выполняемые при конкретном переходе, шероховатость обрабатываемых поверхностей. Каждый размер шифруется той цифрой, которой он обозначен в тексте технологического перехода.

26.3.2. Основная терминология технологических переходов шлифовальной операции.

Шлифовать поверхность в размер 1;

Шлифовать поверхность в размеры 1, 2;

Шлифовать поверхность и торец в размеры 1, 2;

Шлифовать канавку в размеры 1, 2, 3, 4;

Шлифовать отверстие в размер 1 на проход;

Шлифовать отверстие в размеры 1, 2;

Шлифовать торец в размер 1;

Шлифовать уступ в размеры 1, 2.;

Шлифовать паз в размеры 1, 2, 3;

Шлифовать фаску в размер 1;

Шлифовать резьбу в размер 1 на проход;

Шлифовать n шлицев в размеры 1, 2, 3, 4.

26.4. Проведение расчетов для определения режимов резания.

26.4.1. Выбор станка.

Станок должен обеспечивать выполнение всех требований чертежа по точности получения размеров, чистоте обработанных поверхностей, точности взаимного положения поверхностей детали, а также обеспечить наименьшие затраты времени на обработку заготовки.

Наиболее распространенным станком для шлифования валов и их шеек являются кругло шлифовальные станки модели 3Б153 и 3А161.

а) Характеристика станка 3Б153:

- наибольший диаметр шлифования поверхности - 120 мм,
- наибольшая длина шлифования - 450 мм,
- диаметр шлифовального круга - 400 мм,
- высота шлифовального круга - 50 мм,
- диаметр отверстия в круге - 203 мм,
- частота вращения заготовки - 80...800 об/мин,
- частота вращения шлифовального круга - 1620 об/мин,
- мощность электродвигателя - 5,5 кВт.

б) Характеристика станка 3А161:

- наибольший диаметр шлифования поверхности - 250 мм,
- наибольшая длина шлифования - 900 мм,
- диаметр шлифовального круга - 600 мм,
- высота шлифовального круга - 63 мм,
- диаметр отверстия в круге - 305мм,
- частота вращения заготовки - 63...400 об/мин,
- частота вращения шлифовального круга - 1100 об/мин,
- мощность электродвигателя - 7,5 кВт.

26.4.2. Выбор приспособления.

Точность обработки зависит от применяемого приспособления для закрепления заготовки. В таблице 26.1 даны значения погрешностей, возникающих при обработке заготовки в выбранном приспособлении.

Наименование приспособления	Величина погрешности (мм)		
	Некруглость	Нецилиндричность	
		Длина детали	
		до 200 мм	св. 200 мм
3-х кулачковый патрон с задним центром	св. 0,05	св. 0,10	св. 0,40
Оправка цилиндрическая	св. 0,02	св. 0,03	св. 0,03
Оправка цанговая	св. 0,01	св. 0,03	-
Поводковый патрон с вращающимися центрами	св. 0,005	св. 0,02	св. 0,05
Патрон с рифленным и вращающимся центрами	св. 0,01	св. 0,03	св. 0,05

26.4.3. Выбор шлифовального круга.

Шлифовальный круг выбирается по 7-ми позициям:

- вид и марка абразивного зерна круга, например: электрокорунд нормальный -12А; электрокорунд белый -22А; карбид кремния -62С.;
- зернистость круга, например, 25Н;
- твердость круга, например, СМ1;
- структура круга, например, 7;
- связка круга, например, К8;
- размеры круга; - рабочая окружная скорость, м/с.

Каждая позиция круга находится из следующих рекомендаций:

а) вид и марка абразивного зерна круга

12А...14А-при шлифовании конструкционных и низколегированных сталей в сыром и закаленном виде;

15А...16А-при шлифовании высокоуглеродистых и легированных сырых и закаленных сталей;

22А...25А-при шлифовании средне- и высоколегированных сырых и закаленных сталей;

62С...64С-при шлифовании чугуна и цветных металлов.

б) зернистость круга в зависимости от высоты неровностей обрабатываемой поверхности: $R_a = 1,6...0,9$ мкм. - 50П, 50Н, 40Н, 40Д;

$R_a = 0,8...0,4$ мкм. - 10П, 10Н, 8П, 8Н, 8Д, 6П, 6Н;

R_a менее 0,4 мкм. - 5П, 4П, 4Н, 3Н

в) твердость круга в зависимости от твердости обрабатываемой поверхности: $HRC_3 < 30$ - C1, C2; $HRC_3 31...50$ - C1, C2, CM1, CM2;

$HRC_3 > 50$ - CM1, CM2, M3

г) структура круга (в зависимости от зернистости круга)

№ зернистости: 50 -4, 5, 6, 7; 40 -5, 6, 7, 8; 10 -7, 8, 9; 5...3 -2, 3, 4.

д) связка круга: K5 -для кругов из 22A...25A; K8 -для кругов из 12A...16A;

K3 -для кругов из карбида кремния.

е) размеры круга - в соответствии с конструкцией станка (из характеристики станка).

ж) рабочая окружная скорость круга (в зависимости от формы круга)

ПП - 30, 35, 40, 50 м/с; и прочие типы - 25, 30, 35 м/с

26.4.4. Определение припуска на обработку – h (мм).

Рекомендуемые значения припусков на диаметр для шлифования наружных поверхностей стальных заготовок даны в таблице 26.2.

Значения припусков на диаметр для шлифования. Таблица 26.2

Диаметр шлифуемой поверхности (мм)	Длина шлифования (мм)		
	до 75	до 100	до 400
	Величина припуска на диаметр (мм)		
до 30	0,10...0,15	0,10...0,15	0,10...0,15
	0,10...0,15	0,10...0,20	0,15...0,25
до 50	0,10...0,20	0,10...0,20	0,15...0,25
	0,15...0,25	0,15...0,25	0,20...0,30
до 120	0,15...0,25	0,15...0,25	0,15...0,25
	0,20...0,30	0,20...0,30	0,25...0,35
до 180	0,20...0,30	0,20...0,30	0,20...0,30
	0,25...0,35	0,25...0,35	0,30...0,40

Примечание: в числителе припуск для заготовок твердостью HRC_3 до 30; в знаменателе -для заготовок твердостью HRC_3 более 30

Для определения величины припуска для шлифования наружных поверхностей заготовок из чугуна и цветных металлов и сплавов необходимо увеличить в *двое* значение величины припуска при шлифовании закаленных сталей ($HRC_3 > 30$).

Если предусматривается черновое и чистовое шлифование, то припуск на *чистовое* шлифование составляет 0,05 мм на диаметр для сырых и закаленных сталей и 0,08 мм для шлифования чугунных и цветных металлов и сплавов, а на *черновое* шлифование – остальное от общего припуска.

26.4.5. Определение глубины резания – t (мм/дв. ход).

Глубина резания t при шлифовании наружных поверхностей (валов) методом *продольной подачи* измеряется в *миллиметрах на двойной ход* стола или шлифовальной бабки. Реже – в миллиметрах на ход стола (шлифовальной бабки).

Величину глубины резания при *черновом* шлифовании выбирают в пределах:

$$t = 0,015 \dots 0,050 \text{ мм/дв. ход}$$

Величину глубины резания при *чистовом* шлифовании выбирают в пределах:

$$t = 0,005 \dots 0,015 \text{ мм/дв. ход}$$

26.4.6. Определение числа рабочих ходов шлифовального круга – I .

Как и для всех операций $i = h/t$ плюс 1...2 вспомогательных хода на "выглаживание" шлифованной поверхности.

26.4.7. Определение продольной подачи S_o (мм/об).

Продольная подача стола станка или шлифовальной бабки, т.е. круга, S_o относительно обрабатываемой поверхности заготовки определяется в долях высоты круга T за 1 оборот заготовки и имеет размерность мм/об.

При *черновом* шлифовании $S_o = (0,3 \dots 0,5) T$ мм/об.

При *чистовом* шлифовании $S_o = (0,1 \dots 0,2) T$ мм/об.

26.4.8. Определение скорости вращения круга $V_{кр}$ (м/с).

Скорость вращения шлифовального круга определяется по формуле:

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60}, \text{ м/с} \quad (26.1)$$

где $D_{кр}$ - диаметр шлифовального круга, мм.; $n_{кр}$ - частота вращения круга на станке, об/мин.

Значения данных величин берутся из характеристики выбранного станка.

26.4.9. Определение частоты вращения детали n_d (об/мин).

Частота вращения детали определяется по формуле:

$$n_d = \frac{1000 \cdot V_d}{\pi \cdot d_d}, \text{ об/мин} \quad (26.2)$$

где: d_d - диаметр обрабатываемой поверхности, мм.; V_d - скорость вращения детали, м/мин.

Рекомендуемые скорости вращения детали (заготовки) представлены в таблице 26.3.

Рекомендуемые скорости вращения детали. Таблица 26.3

Скорость вращения круга, м/с	Скорость вращения детали, м/мин				
	Сталь			Чугун	Цв.мет.
	HRC ₃ <30.	HRC ₃ 30...50.	HRC ₃ >50.		
25...35	20...25	25...35	35...45	20...25	30...35
40...50	20...25	30...40	40...50	25...30	35...40

26.4.10. Определение минутной продольной подачи $S_{пр}$ (мм/мин).

Продольная минутная подача определяется по формуле:

$$S_{пр} = S_o \cdot n_d, \text{ (мм/мин)} \quad (26.3)$$

26.5. Проверка выбранных режимов резания.

Проверка выбранных режимов резания проверяется по 2-м параметрам:

- по мощности привода шлифовальной бабки станка, кВт
- по условию бесприжогового шлифования.

26.5.1. Проверка выбранных режимов резания по мощности привода шлифовальной бабки станка.

Мощность, затрачиваемая на резание (шлифование), должна быть меньше мощности на шпинделе шлифовальной бабки. условие: $N_{рез} < N_{шп.}$

$$N_{шп.} = N_{эл. дв.} \cdot \eta \quad (26.4)$$

где: $N_{эл. дв.}$ - мощность электродвигателя выбранного шлифовального станка, кВт.; η - к.п.д. станка, равное 0,8.

$$N_{рез} = C \cdot t^x \cdot S_o^y \cdot V_d^z, \text{ (кВт)}, \quad (26.5)$$

Значение коэффициента C и дробных показателей x, y, z приведены в таблице 26.4.

Значение коэффициента C и дробных показателей x, y, z . Таблица 26. 4

Материал	C	x	y	z
Сталь незакаленная	2,20	0,50	0,50	0,55
Сталь закаленная	1,30	0,85	0,75	0,70
Чугун	0,14	0,80	0,70	0,65
Цветной металл	2,65	0,45	0,40	0,50

26.5.2. Проверка выбранных режимов резания по условию бесприжогового шлифования.

Условием бесприжогового шлифования является не превышение удельной мощности резания допустимой удельной мощности.

Удельная мощность резания определяется как:

$$N_{\text{уд. рез.}} = N_{\text{рез.}} / T_{\text{кр}}, \quad (\text{кВт/мм}) \quad (26.6)$$

Допустимая удельная мощность резания определяется по формуле:

$$N_{\text{уд. доп.}} = C_o \cdot V_d^{0.4}, \quad (\text{кВт/мм}) \quad (26.7)$$

Значение коэффициента C_o дано в таблице 26.5.

Значение коэффициента C_o . Таблица 26.5

Твердость круга	M1...M3	CM1...CM2	C1...C2
Значение C_o	0,040	0,037	0,030

Если условие $N_{\text{уд. рез.}} < N_{\text{уд. доп.}}$ не выполняется, то необходимо изменить скорость вращения детали (заготовки) или применить шлифовальный круг с меньшей твердостью.

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. На какие виды подразделяется операция шлифования?
2. Какие особенности имеет операция шлифования независимо от ее вида (круглое, плоское или бесцентровое)?
3. Какие виды шлифования осуществляются на кругло шлифовальных станках?
4. Какие условия необходимо выполнять при разработке операционной технологии шлифования?
5. По каким позициям выбирается шлифовальный круг?
6. Как определяется число рабочих ходов шлифовального круга?
7. Как определяется продольная подача стола шлифовального станка?
8. Назовите рекомендуемые скорости вращения детали (заготовки)
9. Проведите проверку выбранных режимов резания?
10. Что является условием бесприжогового шлифования?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.В. Основы теории надежности машин: учебное пособие / Ю.В. Баженов. М.: Форум, НИЦ Инфра-М, 2014. -312 с.
2. Батищев А.Н., Кузнецов Ю.А., Коломейченко А.В. и др. Лабораторный практикум по надёжности технических систем: учебное пособие / А.Н. Батищев, Ю.А. Кузнецов, А.В. Коломейченко и др. – Орёл: Орёл ГАУ, 2006.
3. Быков В.В. Технология машиностроения. Курсовое проектирование: Учебное пособие для студентов спец. 150405, 190603.– М.: МГУЛ, 2006 – 320 с.
4. Вереина, Л.И. Справочник токаря: учеб. пособие для нач. проф. образования / Л.И. Вереина. – М.: Издательский центр "Академия", 2002- 448 с.
5. ГОСТ 27.003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надёжности. – М.: изд. Стандартов, 1990.
6. Голиницкий П.В., Тойгамбаев С.К. Измерение и контроль деталей транспортных и транспортно-технологических комплексов: уч. пособие /С.К. Тойгамбаев, П.В. Голиницкий // - М.: Изд. “Спутник +”, 2018. -154с.
7. Дидманидзе О.Н. Основы работоспособности технических систем: учебное пособие / О.Н. Дидманидзе, Г.Е. Митягин, А.М. Карев, В.Л. Пильщиков. М.: Изд-во (ОО «УМЦ «Триада», 2016.-188 с.
8. Дидманидзе О.И. Надежность технических систем: учебное пособие / О.Н. Дидманидзе, А.В. Чепурин, А.М. Карев. М.: Изд-во ООО «Триада», 2016.-232 с.
9. Долгин В.П. Надежность технических систем: учебное пособие / В.П. Долгин, А.О. Харченко. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015.-176 с.
10. Ерохин М.Н., Леонов О.А. Взаимосвязь точности и надежности соединений при ремонте сельскохозяйственной техники // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2006. № 2. С. 22-25.
11. Зубарев, Ю.М. Современные инструментальные материалы.//Учебник. Ю.М. Зубарев. – СПб.: Издательство «Лань», 2008.-224 с.
12. Зорин В.А. Надежность механических систем: учебник / В.А. Зорин. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015.-380 с.
13. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник / В.А. Зорин. М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005.-536 с.

14. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник / В.А. Зорин. М.: Издательский центр «Академия», 2009.-208 с.
15. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник / В.А. Зорин. 2-е изд., перераб. М.: ИЦ «Академия», 2015.-207 с.
16. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем / В.А. Зорин, В.А. Даугелло. М.: Изд-во ООО «Техполиграфцентр», 2006.-183 с.
17. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем. Практикум: учебное пособие / В.А. Зорин, Н.С. Севрюгина. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013.-141с.
18. Исаенко П.В. Основы работоспособности технических систем: в 2 ч.: учебное пособие / Л.В. Исаенко, А.В. Исаенко. Томск: Изд-во Том. гос. архит.строит, ун-та, 2014.-324 с.
19. Коломейченко А.В. Надежность технических систем. Практикум: учебное пособие / А.В. Коломейченко, Ю.А. Кузнецов, В.Н. Логачев, Н.В. Титов, Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2013.-114 с.
20. Кравченко И.Н. Основы надежности машин: учебное пособие / И.Н. Кравченко, В.А. Зорин, Е.А. Пучин. Часть I. М.: Изд-во ООО «Монолит», 2007.-224с.
21. Кравченко И.Н. Основы надежности машин: учебное пособие / И.Н. Кравченко, В.А. Зорин, Е.А. Пучин. Часть I. М.: Изд-во ООО «Монолит», 2007.260 с.
22. Кравченко И.Н. Оценка надежности машин и оборудования: теория и практика: учебник / И.Н. Кравченко Е.А. Пучин, А.В. Чепурин [и др.]; под ред. проф. И.Н. Кравченко, М.: Инфра-М, Альфа-М, 2012.-336 с.
23. Кравченко И.Н. Оценка надежности машин и обоснование мероприятий по повышению ее в процессе эксплуатации. И.Н. Кравченко, В.Ю. Гладков, А.В. Чепурин [и др.]: /учебное пособие М.: Изд-во УМІ «Триада». 2012.-106 с.
24. Курчаткин В.В. Надежность и ремонт машин / Под ред. В.В. Курчаткина. – М: Колос, 2000.
25. Корнеев В.М., Кравченко И.Н., Орлов А.М., Зорин В.А., Коломейченко А.В., Пастухов А.Г. / Надежность технических систем: практикум.
26. Лисунов Е.А. Практикум по надежности технических систем: учебное пособие / Е.А. Лисунов. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во Лань, 2015.-240 с.

27. Леонов О.А. Теоретические основы расчета допусков посадок при ремонте сельскохозяйственной техники // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2010. № 2. С. 106-110.
28. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Расчет затрат на контроль технологических процессов ремонтного производства // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2004. № 5. С. 75-77. Зраза
29. Малафеев С.И. Надежность технических систем. Примеры и задачи: учебное пособие / С.И. Малафеев, А.И. Копейкин. СПб.: Лань, 2012.-320 с.
30. Мурашкин С.Л и др. Технология машиностроения. Ч.II: Проектирование технологических процессов /под ред. С.Л. Мурашкина. –СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003 – 498 с.
31. Малиновский, М.П. М192 Системы управления колёсных машин: учеб. пособие / М.П. Малиновский. – М.: МАДИ, 2018. – 100 с.
32. Мельник С. В., Злобин А. И., Шапошникова Л.А. Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования. Технология и организация восстановления деталей и сборочных единиц: методические указания к лабораторным работам / сост.: С. В. Мельник, А. И. Злобин, Л.А. Шапошникова. – Омск: СибАДИ, 2011.– 48 с.
33. Мурашкин С.Л. Технология машиностроения. Кн. 2. Производство деталей машин. 2-е изд., доп. / Под ред. С.Л. Мурашкина. М.: Высшая школа, 2005.
34. Ненишев А.С., Мельник С.В. и др. Технология производства деталей двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие / А.С. Ненишев, С.В. Мельник, В.П. Расщупкин, М.С. Корытов, Ю.К. Корзунин. – Омск: СибАДИ, 2009. -92 с
35. Пучин Е.А., Коломейченко А.В. и др. Надежность технических систем. Курсовое проектирование: учебное пособие /Е.А. Пучин, А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев, Н.В. Титов, А.Л. Семешин, В.Н. Коренев, А.С. Кононенко, В.М. Корнеев, А.М. Орлов, Д.В. Лайко, Д.В. Варнаков. – Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2012. – 96с.
36. Пучин Е.А. Надежность технических систем: учебник / Е.А. Пучин, О.Н. Дидманидзе, П.П. Лезин, Е.А. Лисунов, И.Н. Кравченко; под общ. ред. Е.А. Пучина, О.Н. Дидманидзе. М.: Изд-во УМЦ «Триада», 2005.-353 с.

37. Пучин Е.А. Надежность технических систем: учебник / Е.А. Пучин, Е.А. Лисунов, А.В. Чепурин, И.Н. Кравченко, В.М. Корнеев [и др.]. М.: КолосС, 2010.-318с.
38. Пучин Е. А. Надежность технических систем, Курсовое проектирование: учебное пособие / Е.А. Пучин, А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев, В.М. Корнеев [и др.]. Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2012. -96 с.
39. Пучин Е.А., Дидманидзе О.Н. и др. Надежность технических систем / Е. А. Пучин, О. Н. Дидманидзе и др. – М.: УМЦ Триада, 2005. 353 с.
40. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности: учебное пособие для студентов вузов / А.М. Половко, С.В. Гуров. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – СПб.: БХВПетербург, 2006.-702с.
41. Схиртладзе А.Г., Борискин В.П., Макаров А.В. Проектирование и производство заготовок./ учебное пособие. А.Г. Схиртладзе, В.П. Борискин, А.В. Макаров.- Старый Оскол; ТНТ. 2010. - 448с.
42. Справочник конструктора инструментальщика./под общей редакцией В.А. Гречишников, Г.Н. Кирсанова. М.: – Машиностроение. 2006.-542с.
43. Справочник технолога-машиностроителя в 2 т../ под редакцией А.М. Далского и др. М.: – Машиностроение. 2001. - Т1. -912с., Т2-944с.
44. Синельников А.Ф. Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования./ Учебник для ВУЗов. –М.: Изд. Академия 2014-320с.
45. Скворцов В.Ф. Основы технологии машиностроения: учебное пособие / В.Ф. Скворцов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012 – 352 с.
46. Тойгамбаев С.К., Шнырев А.П., Голиницкий П.В. Метрология. Стандартизация. Сертификация: учебник /С.К. Тойгамбаев, А.П. Шнырев, П.В. Голиницкий // -М. : Изд. “Спутник +”, 2017. -375с.
47. Тойгамбаев С.К. Выбор теоретического закона при оценке показателей надежности транспортных и технологических машин: методическое пособие /С.К. Тойгамбаев// - М.: Изд. ООО «Мегаполис» 2020. - 50с.

48. Тойгамбаев С.К., Апатенко А.С. Обработка результатов информации по надёжности транспортных и технологических машин методом математической статистики: методическое пособие /С.К. Тойгамбаев, П.В. А.С. Апатенко// - М.: Изд. ООО «Мегаполис» 2020. -25с.
49. Тойгамбаев С.К., Апатенко А.С. Анализ износа деталей транспортных и технологических машин: Методическое пособие /С.К. Тойгамбаев, П.В. А.С. Апатенко// - М.: Изд. ООО «Мегаполис» 2020. - 50с.
50. Тойгамбаев С.К. Применение инструментальных материалов при резании металлов. Учебное пособие для ВУЗов, Рекомендован УМО ВУЗов МВТУ им. Н.Э. Баумана и СПбГПУ /С.К. Тойгамбаев // . РИО МГУП. – М.: 2007. -205с.
51. Тойгамбаев С.К. Применение термодиффузионных процессов для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственной техники. /С.К. Тойгамбаев// Монография, Рекомендован УМО ВУЗов МГУП. РИО МГУП. – М.: 2011. -153с.
52. Тойгамбаев С.К. Изучение абразивных инструментов для шлифовальных работ. /С.К. Тойгамбаев// Методическое указание для студентов механического факультета. МГУП. – М.: 2004. – 22с.
53. Тимошенко С.П. Основы теории надежности: учебник и практикум / С.П. Тимошенко, Б.М. Симонов, В.Н. Горошко. М.: Издательство Юрайт, 2015.445с
54. Шнырёв А.П., Тойгамбаев С.К. Основы надёжности транспортных и технологических машин. Учебное пособие для студентов технических ВУЗов УМО МГУП /А.П. Шнырев, С.К. Тойгамбаев // Издательская «Компания Спутник +». – М.: 2006. -133с.
55. Шнырёв А.П., Тойгамбаев С.К., Мынжасаров Р.И. Надёжность технологических машин. Учебное пособие для ВУЗов, Рекомендован УМО ВУЗов МВТУ им. Н.Э. Баумана и СПбГПУ /А.П. Шнырев, С.К. Тойгамбаев, Р.И. Мынжасаров// РИО МГУП. – М.: 2008. -194 с.
56. Шнырёв А.П., Тойгамбаев С.К., Сергеев Г.А., Казимирчук А.Ф. Основы технологии изготовления деталей транспортных и технологических машин. Учебное пособие для ВУЗов, Рекомендован УМО ВУЗов МГУП /А.П. Шнырев, С.К. Тойгамбаев, Сергеев Г.А., Казимирчук А.Ф.// РИО МГУП. – М.: 2008. -24с.

57. Шнырев А.П., Тойгамбаев С.К. Разработка технологического процесса обработки детали на фрезерном станке. /А.П. Шнырев, С.К. Тойгамбаев// Методическое указание для студентов механического факультета. МГУП. – М.: 2004. – 22с.
58. Шнырев А.П., Тойгамбаев С.К. Разработка технологического процесса обработки детали на сверлильном станке. /А.П. Шнырев, С.К. Тойгамбаев// Методическое указание для студентов механического факультета. МГУП. – М.: 2004. – 17с.
59. Шнырев А.П., Тойгамбаев С.К. Разработка технологического процесса обработки детали на токарном станке. /А.П. Шнырев, С.К. Тойгамбаев// Методическое указание для студентов механического факультета. МГУП. – М.: 2004. – 36с.
60. Шишмарев В.Ю. Надежность технических систем: учебник для студентов высших учебных заведений / В.Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010.-304с.
61. Шишмарев В.Ю. Надежность технических систем: учебник /. М.: Издательский центр «Академия», 2010.-304с.
62. Шрубченко И.В. и др. Технология изготовления типовых деталей машин, учебное пособие. / И.В. Шрубченко, Т.А. Дуюн, А.А. Погонин, А.В. Хуртасенко, М.Н. Воронкова. – М.: Инфра М. 2018.-361с.
63. Чепурин А.В. Надежность технических систем: учебник / А.В. Чепурин, В.М. Корнеев, И.Н. Кравченко, А.М. Орлов [и др.]. М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2017.-293с.
64. Яхьяев Н.Я. Основы теории надежности: учебник / Н.Я. Яхьяев, А.В. Кораблин. 2-изд., перераб. и доп. М.: Издательский центр «Академия», 2014.-208с.
65. Яхьяев Н.Я., Кораблин А.В. Основы теории надежности и диагностика: учебник для студентов высших учебных заведений / Н.Я. Яхьяев, А.В. Кораблин. – М.: Издательский центр «Академия», 2009.-256с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
ГЛАВА 1. Раздел 1. 1. Производство черных и цветных металлов.....	6
1. 1 Основные процессы получения черных и цветных металлов.....	6
1.2 Производство чугуна.....	7
1. 3 Технологический процесс получения чугуна.....	14
1. 4 Производство стали.....	17
1. 5 Производство алюминия и его сплавов.....	31
1.6. Производство меди и сплавов на ее основе.....	36
Раздел 2. 2. Заготовки для деталей машин.....	46
2.1. Заготовки.....	46
2.2. Виды и требования к заготовке.....	49
2.3. Характеристика отливок.....	50
2.4. Характеристика заготовок полученные прокаткой.....	54
2.5. Характеристика поковок и штампованных заготовок.....	55
2.6. Характеристика прессованных профилей.....	58
Раздел 3. 3. Производство заготовок литьем.....	61
3.1. Основы литейного производства заготовок.....	61
3.2. Сущность и значение литейного производства.....	62
3.3. Получение заготовок в песчаной литейной форме.....	65
3.4. Получение заготовок в металлической форме.....	79
3.5. Получение заготовок литьем по выплавляемой модели.....	82
3.6. Получение заготовок литьем в оболочковую форму.....	84
3.7. Получение заготовок литьем под давлением.....	84
3.8. Получение заготовок центробежным литьем.....	85
3.9. Литье по выплавляемым моделям.....	86
3.10. Технология приготовления расплава.....	87
Раздел 4. 4. Получения заготовок давлением.....	91
4.1. Прокатное производство.....	91
4.2. Получение заготовок процессамиковки.....	95

4.3	Получение заготовок процессами штамповки.....	100
ГЛАВА II. Раздел 5.		
5.	Производственные и технологические процессы.....	108
5.1.	Понятие о производственном процессе.....	108
5.2.	Виды технологических процессов.....	109
5.3.	Понятие о технологическом процессе механической обработки заготовок.....	114
5.4.	Типы производства.....	118
5.5.	Характеристика типа производства.....	119
Раздел 6. 6. Базы и базирование.....		
6.1.	Понятие о базах.....	123
6.2.	Классификация баз по назначению.....	124
6.3.	Классификация баз по лишаемым степеням свободы.....	126
6.4.	Классификация баз по характеру проявления.....	128
6.5.	Понятие о базировании.....	130
6.6.	Принцип постоянства базы.....	134
6.7.	Принцип совмещения баз.....	135
Раздел 7. 7. Точность механической обработки деталей на металлорежущих станках.....		
7.1.	Основные понятия и определения.....	138
7.2.	Классификация погрешностей.....	140
7.3.	Обеспечение точности размеров детали.....	141
Раздел 8. 8. Станочные приспособления.....		
8.1.	Назначение приспособлений и их классификация.....	153
8.2.	Установочные элементы приспособлений.....	159
8.3.	Зажимные устройства приспособлений.....	161
ГЛАВА III. Раздел 9.		
9.	Классификация материалов.....	166
9.1.	Классификация инструментальных материалов.....	166
9.2.	Углеродистые инструментальные стали.....	170

9.3. Легированные инструментальные стали.....	172
Раздел 10. 10. Быстрорежущие инструментальные стали.....	176
10.1. Марки быстрорежущих сталей.....	176
10.2. Основные принципы выбора марок быстрорежущих сталей.....	185
10.3. Перспективы развития быстрорежущих сталей.....	188
Раздел 11. 11. Твердые сплавы.....	194
11.1. Марки твердых сплавов.....	194
11.2. Рекомендации по выбору марок твердых сплавов.....	200
11.3. Перспективы развития твердых сплавов.....	204
Раздел 12. 12. Керамические инструментальные материалы.....	211
12.1. Марки керамических инструментальных материалов.....	211
12.2. Некоторые особенности применения керамических материалов для режущих инструментов.....	219
Раздел 13. 13. Сверхтвердые материалы.....	223
13.1. Особенности сверхтвердых материалов.....	223
13.2. Алмазы и алмазные пасты.....	225
13.3 Синтетические сверхтвердые материалы для лезвийных инструментов.....	233
13.4 Применение лезвийных инструментов из СТМ.....	237
13.5 Абразивные материалы.....	239
13.6 Зернистость и зерновой состав абразивных материалов.....	245
13.7 Кубический нитрид бора для абразивных инструментов.....	248
ГЛАВА IV. Раздел 14.	
14. Технология производства валов.....	252
14.1. Характеристика валов.....	252
14.2. Технологические задачи изготовления валов.....	255
14.3. Материал валов.....	256
14.4. Способы получения заготовок для валов.....	257
14.5. Предварительная обработка заготовок.....	258
14.6. Технологический процесс обработки валов.....	260

14.7. Основные схемы базирования валов.....	261
14.8. Подрезка торцов и сверление центровых отверстий.....	262
14.9. Обработка наружных цилиндрических поверхностей вала.....	263
14.10. Токарная операция.....	263
14.11. Операция шлифования.....	268
14.12. Изготовление шпоночных пазов.....	272
14.13. Изготовление шлицев на валах.....	274
14.14. Изготовление резьбы.....	277
Раздел 15. 15. Технологические процессы изготовления типовых деталей типа валов.....	280
15.1. Технологический процесс изготовления коленчатого вала.....	280
15.2. Технологический процесс изготовления кулаков шарниров.....	285
15.3. Технологический процесс изготовления балансиров.....	288
Раздел 16. 16. Технология изготовления деталей класса втулок.....	291
16.1. Характеристика и материалы заготовок для втулок.....	291
16.2. Основные операции обработки наружных и внутренних поверхностей.....	292
Раздел 17. 17. Технология изготовления деталей типа рычагов и дисков.....	308
17.1. Характеристика деталей типа рычагов.....	308
17.2. Материал и заготовки.....	310
17.3. Технологические требования изготовления и технология обработки рычагов.....	312
17.4. Технология изготовления и характеристика деталей типа дисков....	314
17.5. Технологический процесс изготовления поворотного кулака.....	318
Раздел 18. 18. Технология изготовления зубчатых колес.....	323
18.1. Характеристика и конструктивные особенности зубчатых колес....	323
18.2. Материал и способы получения заготовок зубчатых колес.....	325
18.3. Технологические задачи изготовления зубчатых колес.....	327
18.4. Технология изготовления цилиндрических колес.....	329

18.5. Отделочные операции для зубьев цилиндрических колес.....	336
18.6. Контроль колес.....	342
18.7. Технология изготовления конических колес.....	343
18.8. Технология изготовления червяков и червячных колес.....	347
Раздел 19. 19. Технология производства корпусных деталей.....	351
19.1. Классификация корпусных деталей.....	351
19.2. Основные схемы базирования заготовок при механической обработке.....	354
19.3. Основные операции обработки корпусных деталей.....	357
ГЛАВА V. Раздел 20.	
20. Разработка технологического процесса изготовления детали.....	364
20.1. Разработка технологического процесса и маршрутной технологии изготовления детали.....	364
20.2. Определение последовательности применения выбранных операций при обработке заготовки.....	365
20.3. Оформление технологической карты маршрутной технологии.....	367
20.4. Выбор средств технологического оснащения.....	368
20.5. Разработка операционной технологии.....	370
Раздел 21. 21. Расчеты по определению режимов резания.....	372
21.1. Проведение расчетов по определению режимов резания.....	372
21.2. Проведение расчетов для определения режимов резания.....	379
ГЛАВА VI. Раздел 22. Практические работы.....	
22.1 Изучение абразивных инструментов для шлифовальных работ.....	386
22.2. Содержание отчета.....	386
22.3. Характеристика абразивных материалов.....	387
22.4. Характеристики абразивных инструментов.....	393
Раздел 23. 23. Разработка технологического процесса обработки деталей на токарном станке. Часть I.....	403
23.1 Разработка технологического процесса.....	403

23.2. Разработка маршрутной технологии.....	403
23.3. Определение вида операций обработки заготовки.....	404
23.4. Определение последовательности применения выбранных операций при обработке заготовки.....	404
23.5. Назначение последовательности обработки поверхностей заготовки, обрабатываемой при каждой операции.....	406
23.6. Оформление технологической карты маршрутной технологии.....	407
23.7. Выбор средств технологического оснащения.....	408
23.8. Разработка операционной технологий.....	409
23.9. Проведение расчётов по определению режимов резания. Часть II..	411
23.10. Разработка операционной технологии.....	417
23.11. Пример токарной обработки. Часть III.	423
23.12. Пример расчетов режимов резания при черновом точении.....	433
23.13. Пример расчетов режимов резания при чистовом точении.....	434
Раздел 24. 24. Разработка технологического процесса обработки деталей на фрезерном станке.....	440
24.1. Фрезерная операция.....	440
24.2. Разработка маршрутной технологии.....	440
24.3. Разработка операционной технологии.....	444
24.4. Проведение расчетов для определения режимов резания.....	445
Раздел 25. 25. Разработка технологического процесса обработки деталей на сверлильном станке.....	453
25.1. Операция сверления.....	453
25.2. Разработка маршрутной технологии.....	453
25.3. Оформление маршрутной технологии.....	454
25.4. Разработка операционной технологии.....	455
25.5. Проведение расчетов для определения режимов резания.....	456
Раздел 26. 26. Разработка технологического процесса обработки деталей на шлифовальном станке.....	464
26.1. Операция шлифования.....	464

26.2. Разработка маршрутной технологии.....	465
26.3. Разработка операционной технологии.....	465
26.4. Проведение расчетов для определения режимов резания.....	467
26.5. Проверка выбранных режимов резания.....	471
Библиографический список.....	473
Содержание.....	479

академик МОАЭБП
профессор РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева
член Союза Журналистов России

СЕРИК КОКИБАЕВИЧ ТОЙГАМБАЕВ

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ
ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
МАШИН ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Издательство «Спутник +»
109428. Москва, Рязанский проспект, д. 8А.
Тел.: (495) 730-47-74; 778-45-60: (с9.00 до 18.00)

Подписано в печать. 03.08.2020г. 0Формат 60 х 90/16.
Бумага офисная. Усл. печ. л. 30,32. Тираж 1000 экз. Заказ №
Цена договорная.

Отпечатано в ООО «Издательство «Спутник +»