

Федеральное агентство морского и речного транспорта  
Морской государственный университет  
имени адмирала Г. И. Невельского

В. В. Тарасов, С. Б. Малышко, С. А. Горчакова

## **ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

2–е издание, переработанное и дополненное

Рекомендовано Дальневосточным региональным отделением  
научно-методического объединения по образованию  
в области эксплуатации водного транспорта (ДВ РОУМО)  
в качестве учебного пособия

Владивосток  
2019

УДК 621.7:621.9 (075.8)  
Т19

**Т19**      **Тарасов, В. В.** Технология конструкционных материалов [Текст] : учеб. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. / В. В. Тарасов, С. Б. Малышко, С. А. Горчакова. — Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2019. — 123 с.

**ISBN 978-5-8343-0000-0**

Изложены сведения по основным разделам дисциплины «Технология конструкционных материалов»: технологические процессы получения заготовок литьём, горячей объёмной штамповкой, обработка заготовок резанием на металлообрабатывающих станках, технология сварочного производства. Рассмотрена геометрия режущих инструментов, применяемые приспособления и сущность обработки на токарных, фрезерных, сверлильных, шлифовальных и электрофизических станках. Приведена методика выбора режимов газовой и электроконтактной сварки. Рассмотрены теоретические сведения по указанным темам, представлены справочные данные, вопросы для самоконтроля, рекомендуемая литература.

**Ил. 47 68, табл. 25,** библиогр. 11 назв.

УДК 621.7:621.9 (075.8)

Рецензент

Т. Е. Коршунова, кандидат технических наук, доцент,  
Дальрыбвтуз

**ISBN 978-5-8343-0000-0**

© Тарасов В. В., Малышко С. Б.,  
Горчакова С. А., текст, 2019

© Морской государственный университет  
им. адм. Г. И. Невельского, издание, 2019

## Оглавление

Введение.....	5
1. Литейное производство .....	6
1.1. Технология литейного производства.....	6
1.2. Разработка технологического процесса .....	11
1.3. Изготовление литейной формы .....	18
Лабораторная работа.....	19
Контрольные вопросы .....	26
2. Горячая объёмная штамповка .....	27
2.1. Обработка металлов давлением.....	27
2.2. Разработка технологического процесса .....	30
Лабораторная работа.....	39
Контрольные вопросы .....	45
3. Газовая сварка.....	46
3.1. Технология газовой сварки .....	46
3.2. Расчёт режима газовой сварки .....	51
3.3. Способы сварки.....	53
Лабораторная работа.....	56
Контрольные вопросы .....	57
4. Выбор режимов стыковой и роликовой электрической контактной сварки.....	58
4.1. Технология контактной сварки .....	58
4.2. Основные виды контактной сварки .....	60
4.3. Расчёт режимов стыковой сварки .....	65
4.4. Расчёт режимов роликовой сварки .....	67
Лабораторная работа.....	69
Контрольные вопросы .....	72
5. Измерение геометрических параметров токарных резцов .....	73
5.1. Геометрические параметры режущего инструмента.....	73
5.2. Методика измерения углов.....	79

Лабораторная работа.....	81
Контрольные вопросы .....	81
6. Исследование кинематической цепи металлорежущего станка.....	82
6.1. Классификация металлорежущих станков .....	82
6.2. Кинематика станков .....	85
6.3. Расчет уравнения кинематической цепи станка.....	90
Лабораторная работа.....	92
Контрольные вопросы .....	92
7. Нарезание цилиндрических зубчатых колёс.....	93
7.1. Элементы зубчатого колеса .....	93
7.2. Сущность метода копирования .....	94
7.3. Наладка станка .....	96
7.4. Универсальные делительные головки.....	97
7.5. Контроль размеров зуба .....	103
Лабораторная работа.....	103
Контрольные вопросы .....	104
8. Тарировка токарного динамометра .....	105
8.1. Сила резания.....	105
8.2. Токарный динамометр ДК–1 .....	108
Лабораторная работа.....	110
Контрольные вопросы .....	111
9. Электрофизические и электрохимические методы обработки.....	112
9.1. Область применения электрофизических и электрохимических методов .....	112
9.2. Электроэрозионные методы обработки .....	113
9.3. Электрохимические методы обработки .....	117
9.4. Комбинированные методы обработки.....	119
9.5. Анодно-механическая обработка.....	120
Лабораторная работа.....	122
Контрольные вопросы .....	122
Список литературы .....	123

## Введение

Дисциплина «Технология конструкционных материалов» даёт представление о современных способах производства заготовок из конструкционных материалов. Конструкционные материалы — материалы, из которых изготавливают различные конструкции, детали машин и элементы сооружений, воспринимающие силовую нагрузку. Способность материала подвергаться различным способам обработки при производстве заготовок обусловлена технологическими свойствами, к которым относятся литейные свойства, обрабатываемость давлением, обрабатываемость резанием, свариваемость. В пособии изложены современные промышленные методы формообразования заготовок литьём, обработкой давлением, сваркой и обработкой резанием, что позволит читателю составить представление о технологических процессах получения заготовок машиностроительного производства.

В пособие включены теоретические сведения по основным разделам дисциплины «Технология конструкционных материалов», порядок выполнения лабораторных работ, справочные данные, контрольные вопросы. Пособие может быть использовано при выполнении лабораторных и практических работ, расчётно-графических заданий и в процессе учебной практики.

Изучение данной дисциплины совместно с другими общепрофессиональными дисциплинами направлено на обеспечение общеинженерной подготовки. Одновременно оно способствует более глубокому усвоению профилирующих дисциплин, формирующих специальные знания будущих специалистов.

В основу настоящего пособия положен модульный курс, составленный в соответствии с требованиями государственного стандарта, включающий изучение теоретического материала и приобретение практических навыков.

Изучение технологии конструкционных материалов наряду с другими общепрофессиональными дисциплинами необходимо для соответствия будущего профессионала — дипломированного специалиста и бакалавра — требованиям ПДНВ и ФГОС ВО РФ. В соответствии с предъявляемыми требованиями выпускник, освоивший программу, должен обладать необходимыми общекультурными и профессиональными компетенциями. К числу таких компетенций относятся фундаментальные знания естественнонаучных дисциплин для решения технологических задач, умение осуществлять рациональный выбор способов получения изделий, владение навыками технической эксплуатации производственного оборудования.

# 1. Литейное производство

## 1.1. Технология литейного производства

Сущность литейного производства заключается в получении отливок путём заливки расплавленного металла в специальную литейную форму. В литейной форме сплав остывает и затвердевает. При разработке чертежа отливки учитывают припуски на механическую обработку, напуски, литейные уклоны и литейные радиусы. Для изготовления литейной формы применяют литейную оснастку, в которую входят модели отливки и литниковой системы, стержневые ящики, опоки, подмодельные плиты.

Модель отливки — это приспособление, с помощью которого в формовочной смеси получают отпечаток, соответствующий наружной конфигурации отливки. Модель отличается от отливки увеличенными размерами, учитывающими усадку сплава, и наличием знаков.

Модель литниковой системы служит для получения в литейной форме полости, соответствующей внешней конфигурации литниковой системы.

Литниковая система представляет собой систему каналов, по которым жидкий расплав поступает в полость литейной формы.

Стержни используют для образования отверстий и иных сложных контуров внутри отливки. Литьём следует выполнять отверстия, диаметр которых превышает 25...30 мм, так как отверстия небольших размеров, полученные литьём, трудно очистить от спёкшейся внутри стержневой смеси, которая отрицательно влияет на стойкость режущего инструмента при последующей механической обработке.

Знаки — выступающие части модели для получения в литейной форме отпечатков знаковых частей стержней. Знаковые части стержня предназначены для закрепления стержня в литейной форме.

Модели делают из древесины, металлических сплавов и пластмасс. Деревянные модели используют при литье в песчано-глинистые формы. Их изготавливают из плотной хорошо просушенной древесины (сосна, ясень, бук и др.). Для предотвращения коробления модель делают не из целого куска древесины, а склеивают из отдельных брусочков так, чтобы направление волокон было различным. Преимущества деревянных моделей — дешевизна, простота изготовления, небольшая масса; основной недостаток — недолговечность.

Во избежание деформирования модели во влажных формовочных смесях и для лучшей вытяжки из формы деревянные модели окрашивают модельным лаком; для чугунных отливок принят красный цвет, для стальных — синий, для цветных — жёлтый.

Металлические модели имеют значительно большую долговечность, высокую точность и чистую рабочую поверхность. Такие модели чаще всего делают из алюминиевых сплавов, которые имеют малую плотность, не окисляются, хорошо обрабатываются резанием.

Модели из пластмасс устойчивы к действию влаги, не подвергаются короблению, имеют небольшую массу. Модели из вспененного полистирола газифицируются при заливке металла, поэтому их не надо вынимать из формы перед заливкой.

Стержневые ящики служат для изготовления стержней. При назначении размеров ящика учитывают усадку сплава и припуск на обработку; как и модели, они имеют уклоны. Стержневые ящики делают из тех же материалов, что и модели, а по конструкции — неразъёмными и разъёмными.

Опоки — прочные металлические рамы, предназначены для изготовления литейных полуформ из формовочных смесей. Их изготавливают из серого чугуна, стали, алюминиевых сплавов; они могут быть литыми, сварными или сборными из отдельных литых частей. Стенки опоки часто выполняют с отверстиями для уменьшения их массы, удаления газов из формы и для лучшего скрепления формовочной смеси с опокой. Соединяют опоки штырями и центрирующими отверстиями в приливах. Для скрепления опок применяют скобы или другие приспособления.

**Формовочные и стержневые смеси.** В литейном производстве наиболее распространено получение отливок в разовых формах, изготовленных из песчано-глинистых. Разовая форма пригодна для получения только одной отливки. При выемке (выбивке) готовой детали форму разрушают.

Формовочные и стержневые смеси должны обладать определёнными механическими, технологическими и теплофизическими свойствами, основными из которых являются прочность, поверхностная прочность, пластичность, податливость, непригораемость, газопроницаемость.

**Прочность** — способность смеси обеспечивать сохранность формы без разрушения при её изготовлении и использовании. Формы не должны разрушаться от толчков при сборке и транспортировке, должны выдерживать давление заливаемого металла.

Поверхностная прочность (осыпаемость) — сопротивление истирающему воздействию струи металла. Если она недостаточна, то происходит отделение частиц формовочной смеси, которые попадают в отливку.

Пластичность — способность смеси воспринимать очертания модели и сохранять полученную форму.

Податливость — способность смеси сокращаться в объёме под действием усадки металла. При недостаточной податливости в отливке возникают напряжения, которые могут привести к образованию трещин.

Непригораемость — способность смеси выдерживать высокую температуру заливаемого сплава без оплавления и химического с ним взаимодействия. Плёнки пригара ухудшают качество поверхности и затрудняют последующую обработку. При оплавлении смеси резко снижается её газопроницаемость.

Газопроницаемость — способность пропускать газы через стенки формы вследствие пористости. В расплавленном металле всегда содержатся растворённые газы, выделяющиеся при его охлаждении и затвердевании. Большое количество водяных паров и газов выделяется также из самих формовочных материалов при их нагревании. При недостаточной газопроницаемости в отливке могут образоваться газовые пузыри — раковины.

Для приготовления формовочных и стержневых смесей используют как природные, так и искусственные материалы.

Песок — основной исходный материал смесей. Наиболее часто применяют кварцевый песок, состоящий в основном из кремнезёма, обладающего высокой прочностью, твёрдостью, огнеупорностью ( $t_{пл} = 1713 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Мелкозернистые пески используют для мелкого литья, что обеспечивает получение гладкой поверхности отливок. Для крупных отливок применяют крупнозернистые пески, обеспечивающие более высокую газопроницаемость формовочной смеси.

Реже для формовочных смесей применяют цирконовый песок ( $t_{пл} = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$ ), хромит (хромистый железняк  $t_{пл} = 1850 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и некоторые другие материалы. Они превосходят кварцевый песок по термохимической устойчивости, теплопроводности, но они более дорогие; их используют в особо ответственных случаях, например для получения крупных стальных отливок с чистой поверхностью.

Глина — второй основной исходный материал в формовочных смесях. Она является связующим веществом, обеспечивающим прочность

и пластичность. На практике наиболее широко используют каолинистые или бентонитовые глины. При наличии влаги на поверхности глинистых частиц образуются гидратные оболочки из молекул воды, которые обеспечивают сцепление частиц и вместе с тем лёгкое скольжение между ними. Чем больше глина удерживает на поверхности воды, тем выше её связующая способность, а также и пластичность формовочной смеси. При нагревании (сушке) по мере удаления влаги прочность смеси возрастает.

Кроме глины в качестве связующих веществ в формовочные, а особенно в стержневые, смеси вводят жидкое стекло, синтетические смолы, декстрин, сульфитно–спиртовую барду и др. Их вводят в состав смеси в количестве 1...3 %; они значительно сокращают продолжительность затвердевания.

Для улучшения свойств песчано–глинистых смесей в них вводят специальные добавки. В качестве противопригарных материалов для стального литья используют пылевидный кварц (маршалит), хромистый железняк; для чугуна и цветного литья — каменноугольную пыль, мазут. Для увеличения податливости и газопроницаемости литейных форм в смеси добавляют древесные опилки.

По характеру использования формовочные смеси подразделяют на облицовочные, наполнительные и единые, а по состоянию литейной формы при её изготовлении и перед заливкой — на сырые и сухие.

Состав формовочной смеси выбирают в зависимости от литейного сплава с учётом его температуры плавления и усадки, а также массы, размеров и конфигурации отливки.

Для предотвращения пригара и улучшения чистоты поверхности отливок формы и стержни покрывают тонким слоем противопригарных материалов. В формах для чугунных отливок используют порошкообразную смесь оксида магния, древесного угля и бентонита, порошкообразный графит. В формах для стальных отливок применяют порошкообразную смесь оксида магния и огнеупорной глины, пылевидный кварц, циркон. Для сырых форм применяют припылы. Для сухих форм применяют противопригарные краски и водные суспензии этих материалов с добавками связующих.

**Литниковые системы.** Литейную форму заливают металлом через литниковую систему, которая представляет собой совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из ковша в полость формы. Литниковая система должна обеспечивать непрерывное поступление металла в форму, питание отливки для компенсации усадки, а также предотвращать разрушение формы и попадание шлака и воздуха со струёй расплава.

Основными элементами литниковой системы являются литниковая чаша, стояк, шлакоуловитель, питатели (рис.1.1).

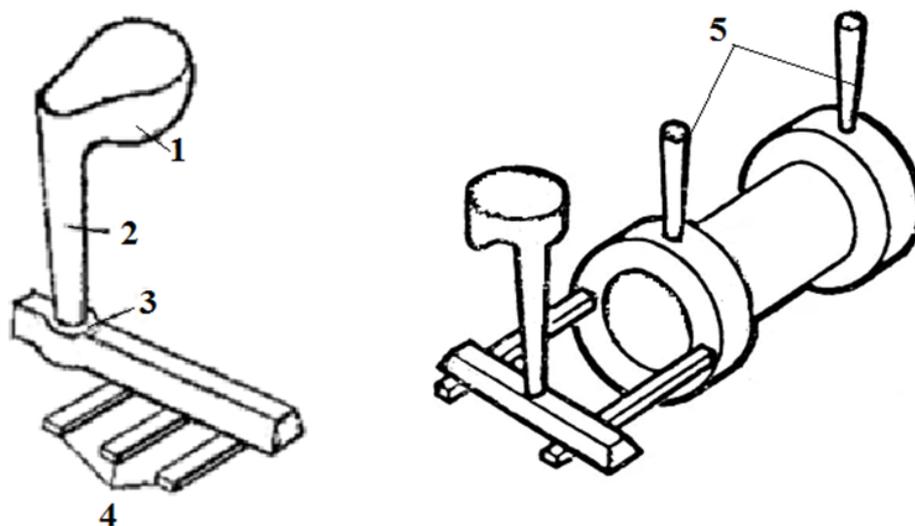


Рис. 1.1. Элементы литниковой системы:  
1 — литниковая чаша; 2 — стояк; 3 — шлакоуловитель;  
4 — питатели; 5 — выпоры

Ч а ш а уменьшает размывающее действие струи расплава, задерживает всплывающий шлак. Для лучшего задержания шлаковых включений в литниковые чаши или другие элементы литниковой системы иногда устанавливают фильтры (например, керамические сетки либо фильтры из специальной стеклоткани).

С т о я к представляет собой вертикальный конический, обычно суживающийся книзу канал круглого сечения, по которому металл из литниковой чаши или воронки попадает в шлакоуловитель.

Ш л а к о у л о в и т е л ь служит для задержания попавших в металл шлака и других включений и представляет собой горизонтальный канал, обычно трапециевидного сечения, располагающийся в верхней полуформе.

П и т а т е л и представляют собой каналы прямоугольного или трапециевидного сечения, которые примыкают к нижней части шлакоуловителя и предназначены для подвода металла непосредственно в полость формы. Их располагают в нижней полуформе на некотором расстоянии от стояка и концов шлакоуловителя, так как в противном случае в них, а следовательно, и в полость формы, может попасть шлак. Для лучшего задержания шлака в литниковой системе должно соблюдаться соотношение размера сечения стояка, шлакоуловителя и питателей  $S_{ст} > S_{шл} > S_{пит}$ .

Над самым высоким местом полости формы, а именно на стороне, противоположной месту подвода в неё металла, делают в ы п о р ы — каналы для выхода из формы воздуха, газов и всплывающих неметаллических включений. Они содействуют нормальной усадке застывающего сплава и позволяют контролировать полноту заполнения формы металлом.

При изготовлении отливок из стали у наиболее массивных частей делают п р и б ы л и — наполненные жидким металлом полости, предназначенные для предупреждения образования в отливках усадочных раковин и рыхлостей. Они должны всё время пополнять затвердевающую отливку жидким металлом, а затем затвердевают сами.

В зависимости от формы и размера отливки, состава и свойств литейного сплава применяют верхнюю, нижнюю (сифонную) и ярусную литниковую систему. Верхняя система наиболее проста, её применяют для мелких деталей небольшой высоты. С увеличением высоты происходит размывание формы струёй металла, разбрызгивание и окисление его, увеличивается количество неметаллических включений в теле отливки.

Нижнюю систему применяют для средних и толстостенных отливок значительной высоты. Она обеспечивает спокойное заполнение формы металлом, но она более сложна.

Ярусная система обеспечивает последовательное питание отливки снизу вверх, и её применяют для крупных отливок. Недостатками ярусной системы являются сложность изготовления и значительный расход металла на литники.

## **1.2. Разработка технологического процесса**

Основой для разработки технологического процесса изготовления отливки является чертёж детали. На чертёж детали наносят технологические указания, необходимые для изготовления модельного комплекта, литейной формы и стержня. По чертежу детали разрабатывают чертёж отливки с учётом припуска на механическую обработку, напуска, литейных (формовочных) уклонов, литейных радиусов. По чертежу отливки разрабатывают чертёж модели с учётом усадки сплава в процессе затвердевания.

П р и п у с к на механическую обработку — поверхностный слой материала, удаляемый при механической обработке для обеспечения требуемой точности. Величина припуска зависит от размера и материала отливки. Припуск на верхние поверхности отливки должен быть больше, чем на нижние

и боковые поверхности, так как в верхней части отливки скапливаются шлаки, частички формовочной смеси и газовые включения. Поверхности деталей, для которых предусмотрена последующая механическая обработка, условно обозначают знаком  $\nabla$ . Знак  $\nabla(\nabla)$  в правом углу эскиза обозначает, что остальные поверхности механической обработке не подлежат.

Напуск применяют для упрощения изготовления отливки. Например, отверстия малого диаметра.

Литейные (формовочные) уклоны необходимы для удобства извлечения модели из формы без разрушения формы, то есть для предотвращения осыпания формовочной смеси. Величина уклона зависит от высоты отливки до линии разъёма модели РМ.

Литейные радиусы — закругления внешних и внутренних углов отливки для получения плавного перехода в сопрягаемых стенках. Наличие литейных радиусов исключает осыпание формовочной смеси в углах формы при извлечении модели. Сопряжения стенок в отливках должны быть плавными, без острых углов. Скругление внутренних углов называется галтелью, наружных — закруглением.

**Разработка технологического процесса.** На основании чертежа детали (рис. 1.2) разрабатывают чертёж отливки (рис. 1.3) следующим образом.

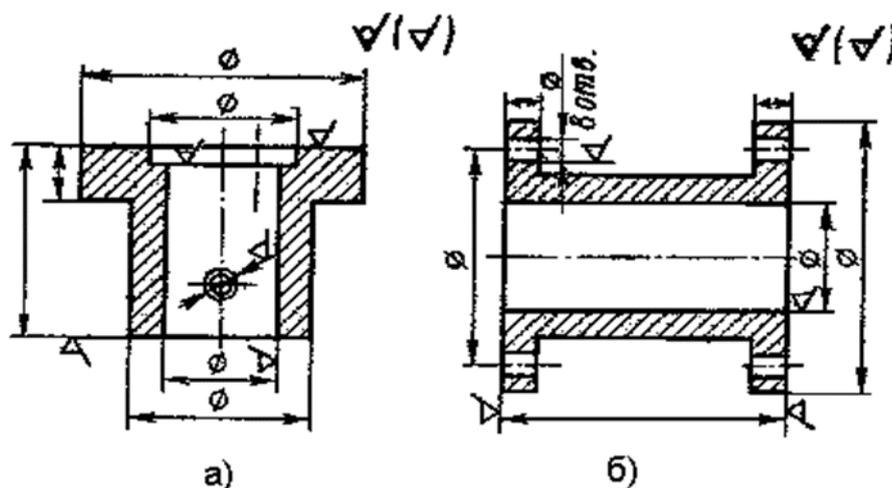


Рис. 1.2. Эскизы деталей:  
а — стальной; б — чугунной

На чертеже отливки плоскость разъёма модели и формы обозначают линией РМ и стрелками верха В и низа Н (рис. 1.3).

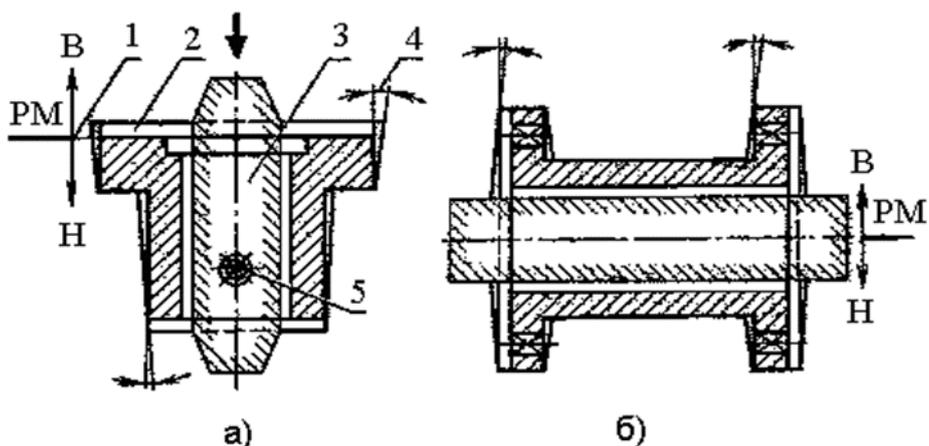


Рис. 1.3. Эскизы отливок:

- а — с вертикальной плоскостью разреза; б — с горизонтальной плоскостью разреза;  
 1 — разрез модели; 2 — припуск на механическую обработку; 3 — стержень;  
 4 — формовочные уклоны; 5 — необрабатываемые отверстия

Модели делают разъемными для удобства формовки и извлечения модели из уплотнённой формовочной смеси. Плоскость разреза, как правило, проходит через ось симметрии будущей модели. При выборе плоскости разреза наиболее ответственные поверхности отливки целесообразно располагать в нижней части формы, так как в верхней части отливки скапливаются такие дефекты, как газовые раковины и шлаковые включения.

Припуск на механическую обработку обозначают сплошными тонкими линиями у поверхностей, где указан знак обработки  $\nabla$ . Размеры отливки будут превышать размеры детали на соответствующую величину припуска. Диаметр отверстия в отливке выбирают меньше требуемого отверстия с учётом припуска на механическую обработку и уклонов на внутренней поверхности. Величину припуска выбирают в зависимости от способа литья, материала отливки, положения обрабатываемой поверхности при заливке, размеров отливки (табл. 1.1, 1.2).

Под номинальным размером отливки подразумевают расстояние между двумя противоположными обрабатываемыми поверхностями или расстояние от установочной базовой поверхности до обрабатываемой.

Отверстия, впадины и выемки, не выполняемые при литье, зачёркивают сплошными тонкими линиями, которые обозначают *напукки*; их допускается выполнять красным карандашом.

Таблица 1.1

## Припуск на механическую обработку отливок из серого чугуна

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм			
		До 50	51...120	121...260	261...500
До 120	верх	3,5	4,5		
	низ, бок	2,5	3,5		
121...260	верх	4,0	5,0	5,5	
	низ, бок	3,0	4,0	4,5	
261...500	верх	4,5	6,0	7,0	7,0
	низ, бок	3,5	4,5	5,0	6,0
501...800	верх	5,0	7,0	7,0	8,0
	низ, бок	4,0	5,0	5,0	6,0

Таблица 1.2

## Припуск на механическую обработку отливок из стали

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм			
		До 120	121...260	261...500	501...800
До 120	верх	5			
	низ, бок	4			
121...260	верх	5	6		
	низ, бок	4	5		
261...500	верх	6	8	9	
	низ, бок	5	6	6	
501...800	верх	7	8	10	11
	низ, бок	5	6	7	7
801...1250	верх	9	10	11	12
	низ, бок	6	7	8	8

Контуры стержня со стержневыми знаками изображают сплошной тонкой линией, которую допускается выполнять синим цветом. Стержни в разрезе штрихуют только у контура.

Литейные (формовочные) уклоны на вертикальных стенках обозначают тонкими линиями и выбирают в зависимости от высоты отливки от плоскости разъёма (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Формовочные уклоны на отливках

Высота отливки от плоскости разъёма	Величина уклона		Высота отливки от плоскости разъёма	Величина уклона	
	мм	град.		мм	град.
До 20	3°	1,0	201...300	0° 30 <sup>I</sup>	2,5
21...50	1° 30 <sup>I</sup>	1,3	301...800	0° 30 <sup>I</sup>	4,5
51...100	1°	1,5	801...2000	0° 20 <sup>I</sup>	9,0
101...200	0° 45 <sup>I</sup>	2,0	свыше 2000	0° 15 <sup>I</sup>	11,0

Литейные радиусы служат для получения плавного перехода в сопрягаемых стенках. Величину литейного радиуса выбирают в зависимости от толщины стенки отливки (табл. 1.4).

Таблица 1.4.

Литейные радиусы

Толщина стенки, мм	До 5	5...30	30...50	50...60	Свыше 60
Литейный радиус, мм	1	2	3	4	5

Помимо этих обозначений указывают процент усадки сплава, наносят литниковую систему, прибыли, выпоры, которые на рассматриваемом эскизе для простоты не указаны.

На рисунке 1.3б приведён эскиз чугунной отливки с модельно-литейными указаниями. Для этой отливки используют горизонтальный стержень. Горизонтальные стержни имеют цилиндрические стержневые знаки, а у вертикальных стержней знаки конусные.

По эскизам отливок выполняют эскизы моделей (рис. 1.4).

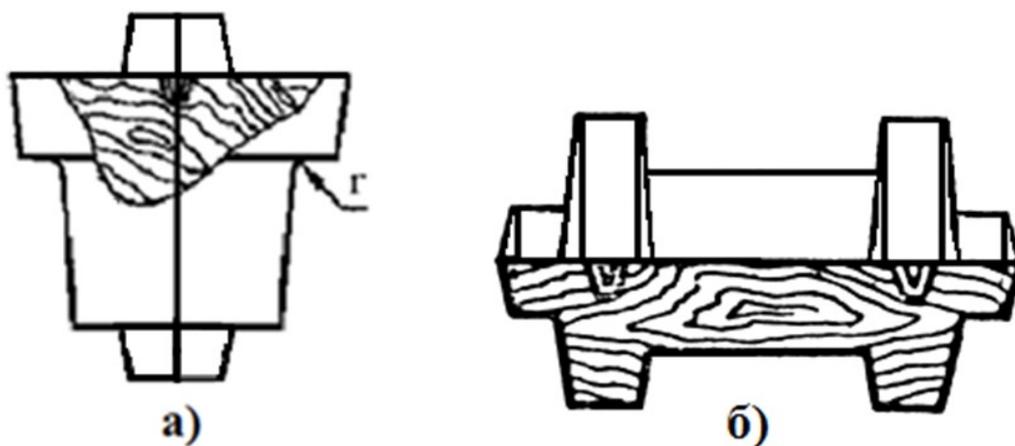


Рис. 1.4. Эскизы моделей:  
 а — с вертикальной плоскостью разреза;  
 б — с горизонтальной плоскостью разреза

Модели имеют стержневые знаки, радиусы закруглений  $r$  в местах перехода стенок и формовочные уклоны для вертикального стержня. Размеры модели превышают размеры отливки с учётом усадки сплава, которую выбирают по таблице 1.5.

Таблица 1.5

Линейная усадка литейных сплавов

№ п/п	Литейный сплав	Линейная усадка, %
1	<b>Чугун серый</b>	
	мелкие отливки (не более 100 кг)	1...1,25
	средние отливки (100...500 кг)	0,75...1,00
	крупные отливки (более 500 кг)	0,5...0,75
2	<b>Чугун ковкий</b>	1,5...1,75
3	<b>Сталь углеродистая</b>	
	мелкие отливки (не более 100кг)	1,8...2,2
	средние отливки (100...500 кг)	1,6...2,0
	крупные отливки (более 500 кг)	1,4...1,8
4	<b>Бронзы</b>	1,0...1,8
5	<b>Латуни</b>	1,0...2,0
6	<b>Алюминиевые сплавы</b>	1,0...1,25

Для изготовления стержней служат стержневые ящики — разъёмные либо неразъёмные. Стержни служат для получения отверстий и других полостей в отливке, а стержневые знаки — для закрепления стержня в литейной форме. Горизонтальные стержни имеют цилиндрические стержневые знаки, вертикальные — конусные (рис. 1.5).

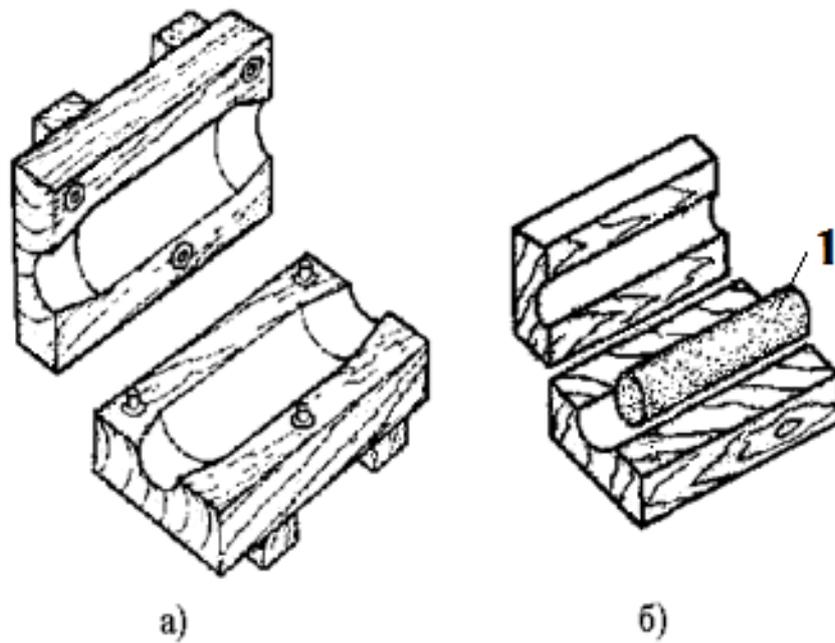


Рис. 1.5. Эскизы стержневых ящиков:  
 а — для вертикального стержня; б — для горизонтального стержня; 1 — стержень

Эскизы собранных литейных форм даны на рисунке 1.6.

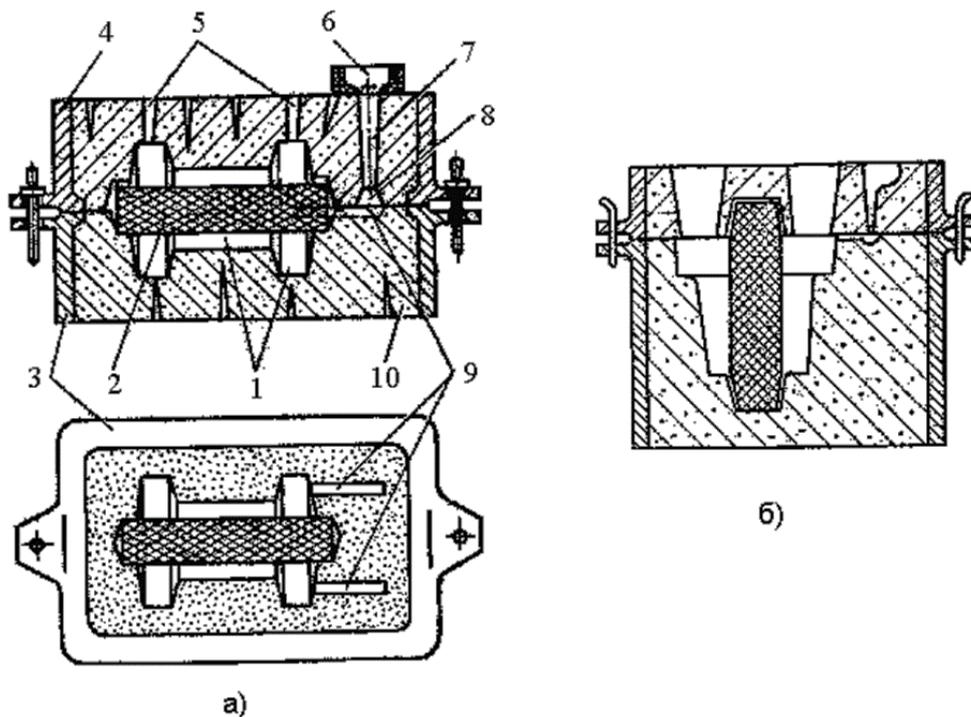


Рис. 1.6. Эскизы собранных литейных форм:  
 а — для чугуновой отливки; б — для стальной отливки;  
 1 — полость формы; 2 — стержень; 3 — нижняя опока;  
 4 — верхняя опока; 5 — выпоры; 6 — чаша; 7 — стояк;  
 8 — шлакоуловитель; 9 — питатели; 10 — формовочная смесь

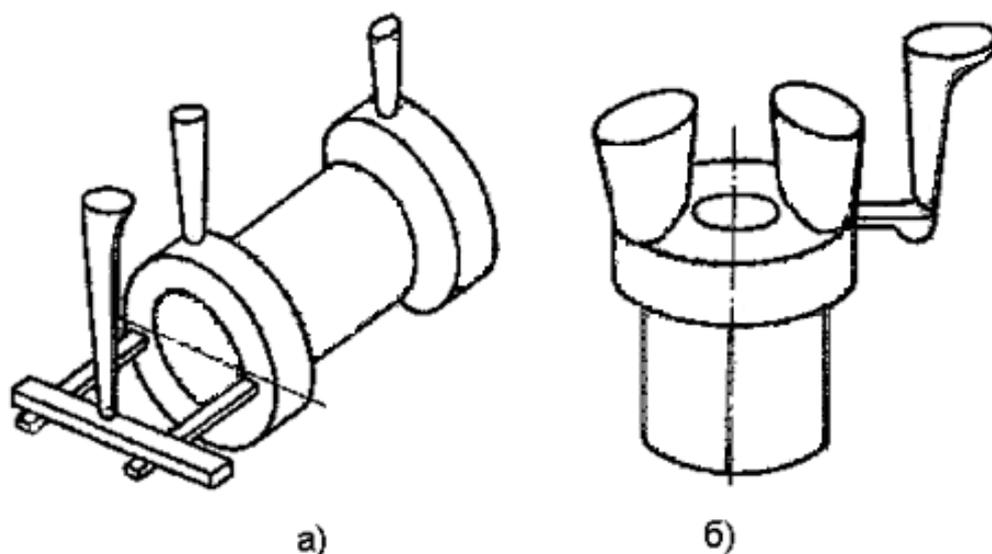


Рис. 1.7. Эскизы готовых отливок с литниковой системой:  
 а — отливка из чугуна; б — отливка из стали

В данном примере для получения чугунной отливки используют разъемную модель, а для получения стальной отливки — неразъемную. В форме для чугунного литья имеются шлакоуловитель и выпоры, а в форме для стального литья шлакоуловитель отсутствует; для компенсации большой усадки стали и предупреждения усадочных раковин предусмотрены прибыли.

На рисунке 1.7 приведены эскизы готовых отливок с литниковой системой.

### 1.3. Изготовление литейной формы

Ручную формовку в опоках по разъемной модели для изготовления отливки в разовой песчано-глинистой форме осуществляют в следующей последовательности:

**Изготовление нижней полуформы.** Нижнюю половину модели, не имеющую центрирующих шипов, ставят плоскостью разъёма на подмодельную доску и устанавливают опоку. Поверхность модели и доски посыпают разделительным составом для уменьшения прилипания смеси к оснастке (сухой кварцевый песок, порошок талька или графита). На модель наносят слой облицовочной смеси толщиной 20...30 мм, уплотняют её руками вокруг всей модели. Затем заполняют остальной объём опоки наполнительной смесью и уплотняют её трамбовкой сначала у стенок опоки, а затем в средней части. Излишек смеси срезают линейкой. В формовочной смеси на расстоянии 40...50 мм друг от друга и на 10...15 мм от модели душником накалывают

отверстия для выхода газов. Заформованную опоку покрывают второй под-модельной доской и переворачивают на 180°.

**Изготовление верхней полуформы.** На нижнюю половину модели по центрирующим шипам устанавливают верхнюю половину модели, модели шлакоуловителя, стояка и выпоров. Поверхность разъёма формы посыпают тонким слоем сухого кварцевого песка для того, чтобы формовочная смесь в верхней опоке не прилипла к смеси в нижней опоке. Верхнюю опоку устанавливают по центрирующим штырям на нижнюю. Наполняют её формовочными смесями так же, как и нижнюю. После уплотнения смеси вокруг стояка гладилкой прорезают литниковую чашу.

**Извлечение моделей.** Модели стояка и выпоров раскачивают и удаляют из верхней полуформы. Верхнюю опоку снимают и поворачивают на 180° разъёмом вверх. В плоскости разъёма нижней полуформы гладилкой прорезают питатели. Из полуформ после лёгкого раскачивания удаляют половины моделей и модель шлакоуловителя. Устраняют возможные дефекты формы, возникшие при извлечении моделей, обдувают обе полуформы сухим сжатым воздухом для удаления возможного засора. Поверхность полуформ припыливают молотым древесным углём или графитом.

**Сборка литейной формы.** В нижнюю полуформу, если требуется, устанавливают стержень и накрывают её верхней полуформой. Полуформы фиксируют штырями или скобами, на верхнюю полуформу устанавливают груз для предотвращения выхода жидкого металла через разъём формы во время заливки. Заливка металла в форму производится до тех пор, пока он, поднимаясь снизу, не заполнит до верха выпоры.

## **Лабораторная работа**

**Цель работы:** разработать технологический процесс изготовления отливки в разовой песчано–глинистой форме

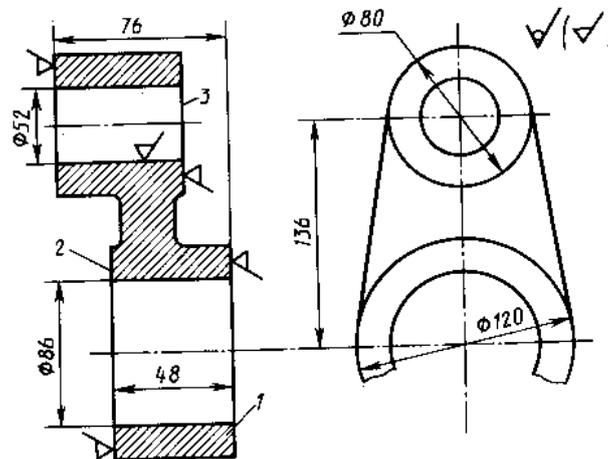
**Задание и указания к выполнению работы:** по чертежу детали разработать чертёж отливки с обозначением разъёма модели РМ, размера припусков, напусков, литейных уклонов, литейных радиусов; по чертежу отливки выполнить эскиз модели с указанием габаритных размеров с учётом усадки металла; начертить эскиз стержневого ящика без указания размеров; привести эскиз собранной литейной формы в разрезе с указанием

её элементов; дать краткое описание последовательных операций по изготовлению литейной формы и отливки.

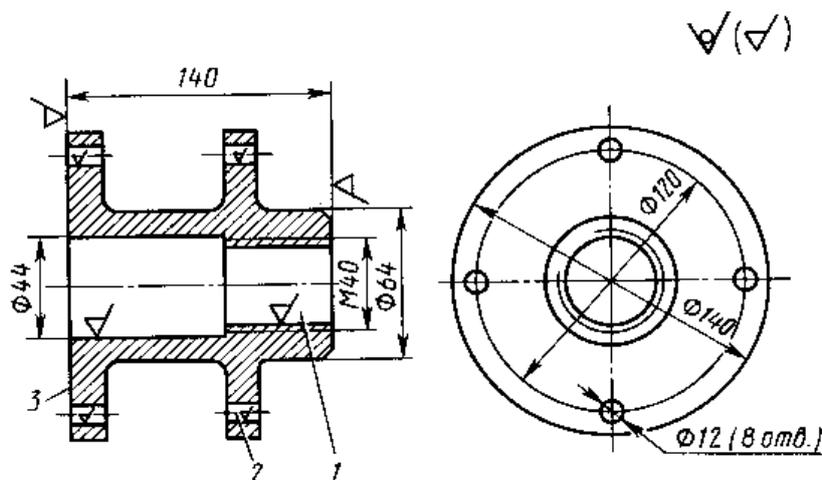
### Содержание отчёта:

1. Цель работы.
2. Эскиз детали.
3. Эскиз отливки.
4. Эскиз модели.
5. Эскиз стержневого ящика.
6. Эскиз собранной литейной формы.
7. Описание последовательности изготовления литейной формы.

### Варианты задания

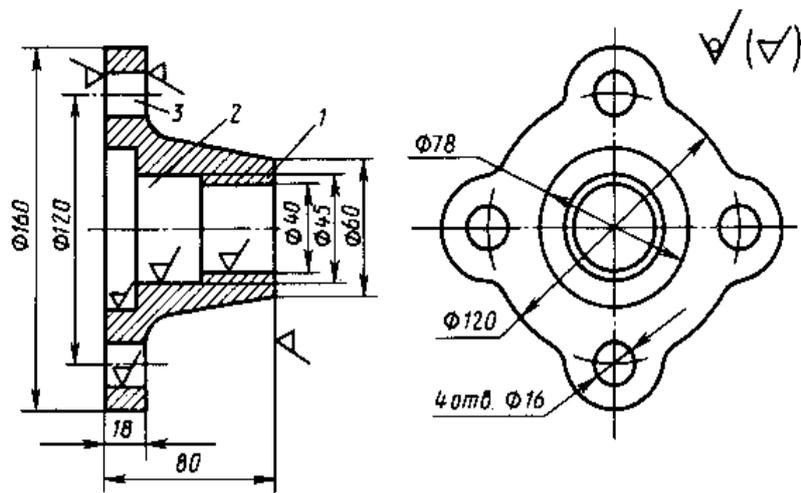


Вариант 1. Серьга. Сталь 30Л

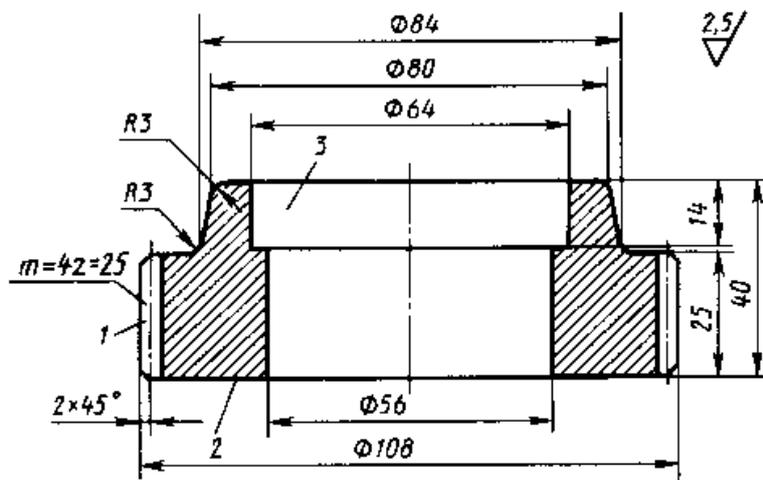


Вариант 2. Фланец. Чугун СЧ 10

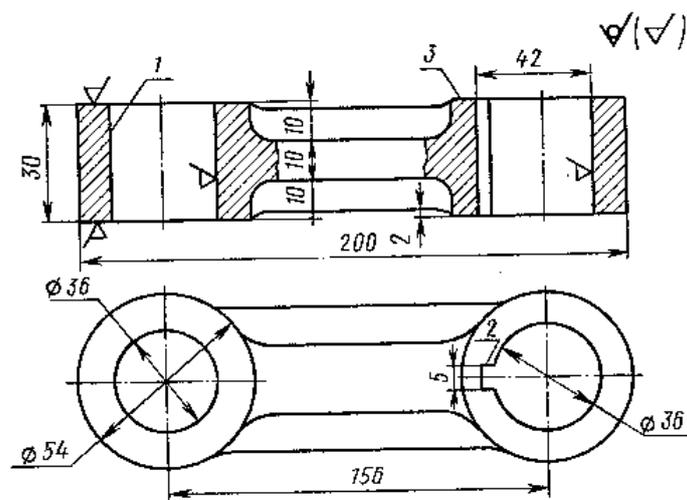




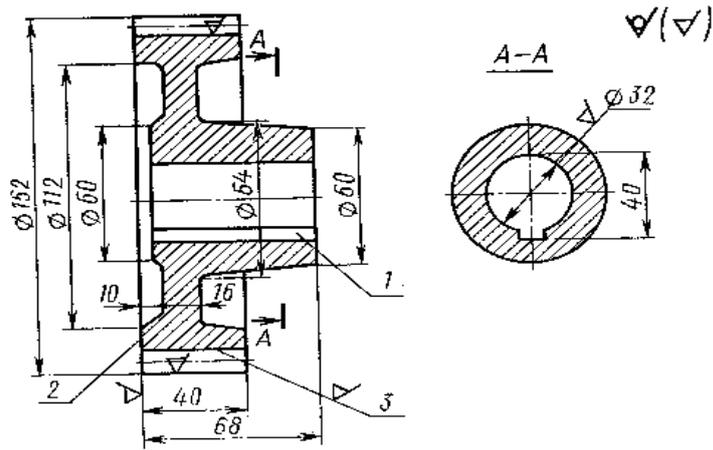
Вариант 6. Крышка. Чугун СЧ 20



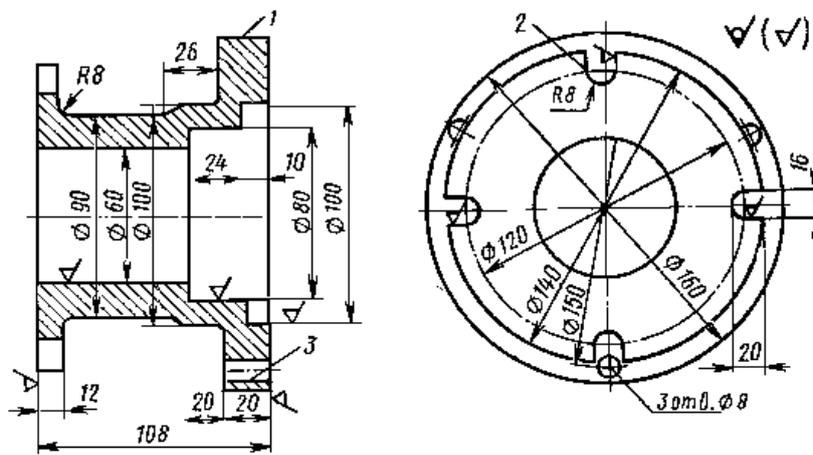
Вариант 7. Шестерня. Сталь 45



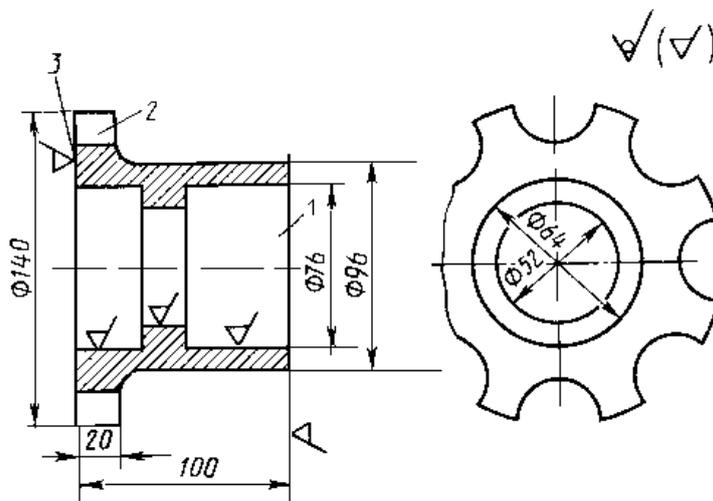
Вариант 8. Серьга. Чугун КЧ 36-6



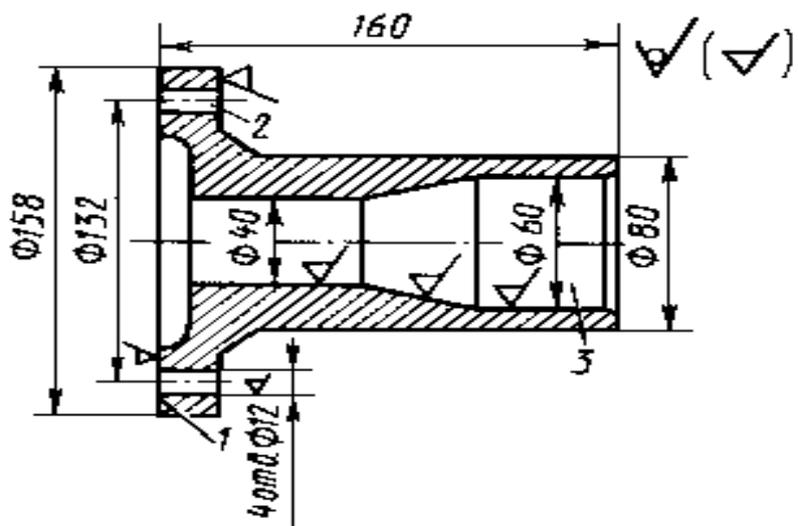
Вариант 9. Колесо. Сталь 50



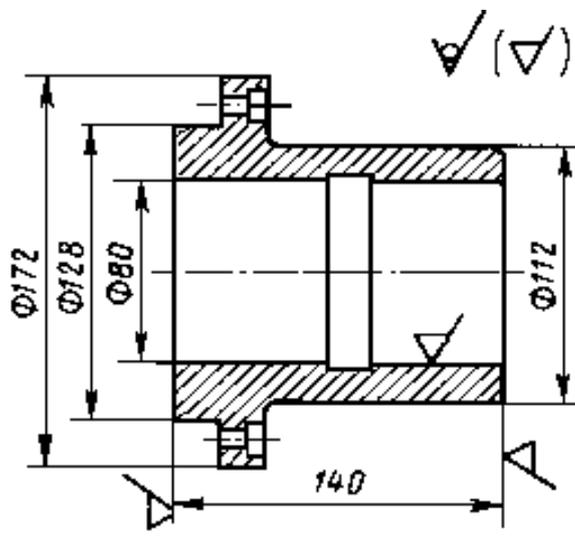
Вариант 10. Корпус. Сталь 40Л



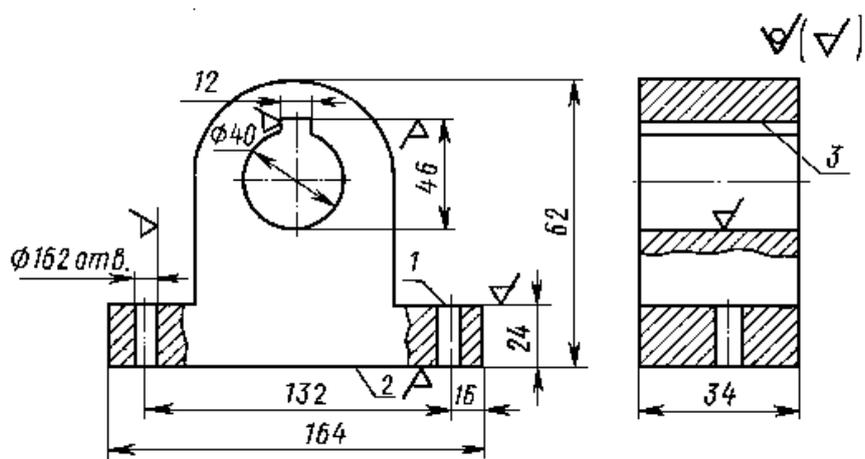
Вариант 11. Переходник. Чугун СЧ 10



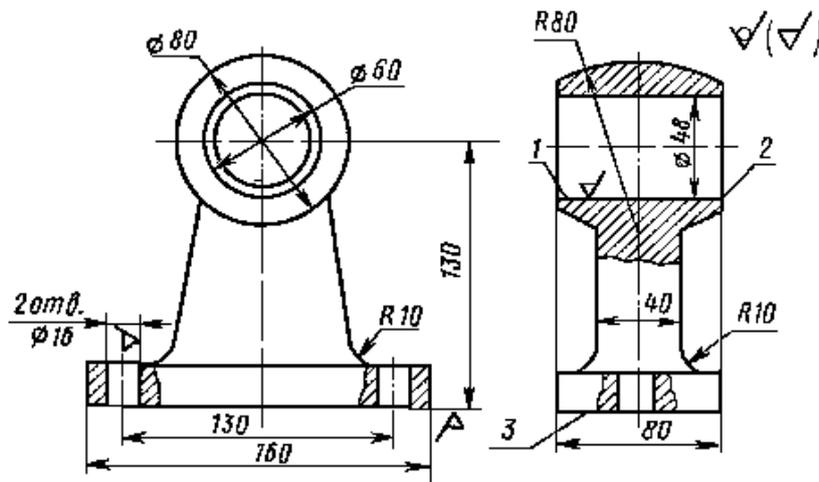
Вариант 12. Втулка. Сталь 30



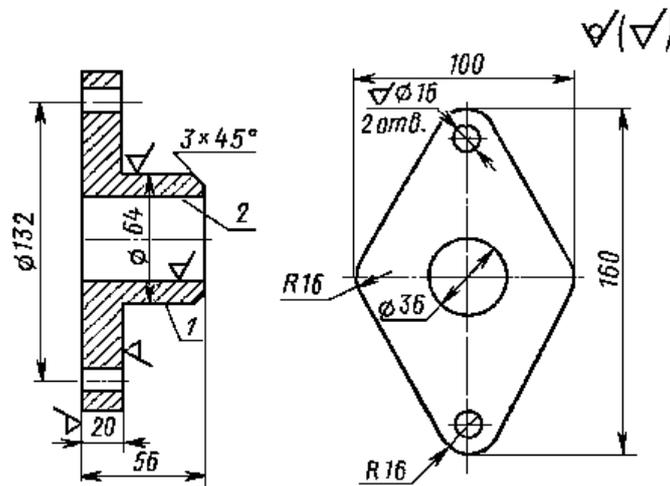
Вариант 13. Стакан. Сталь 40ХН



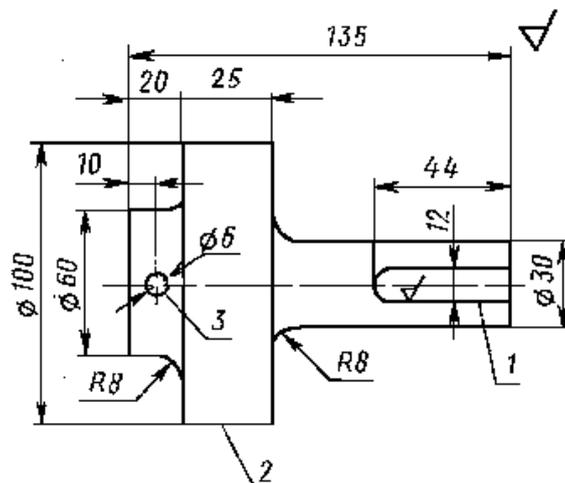
Вариант 14. Опора. Чугун СЧ 25



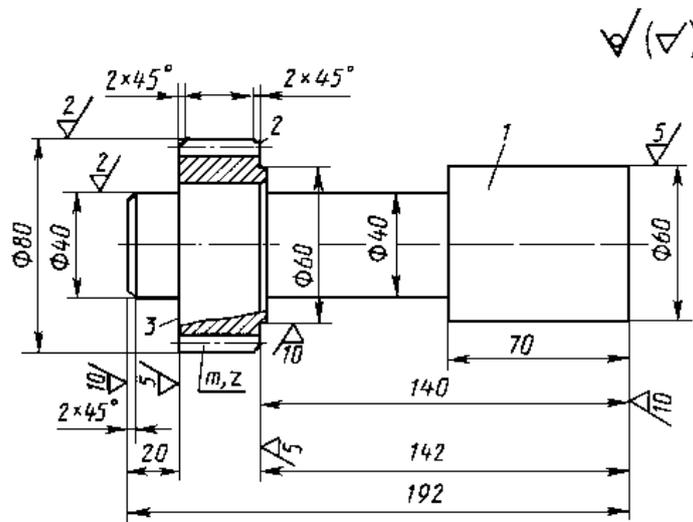
Вариант 15. Корпус. Чугун СЧ 20



Вариант 16. Фланец. Сталь 30Л



Вариант 17. Штуцер. Сталь 20



Вариант 18. Вал промежуточный. Сталь 45

### Контрольные вопросы

1. В чём состоит сущность литейного производства?
2. Что такое модель, и из каких материалов её изготавливают?
3. Чем модель отличается от отливки?
4. Как изготавливают отверстия в отливках?
5. Из каких материалов изготавливают формовочные и стержневые смеси? Какие требования к ним предъявляют?
6. Для чего назначают литейные (формовочные) уклоны?
7. В чём заключается назначение стержневых знаков?
8. Для чего предназначена литниковая система? Из каких элементов она состоит?
9. Что такое усадка металла? Как её учитывают при изготовлении литейной формы?
10. Что такое литейная форма? Какие элементы её образуют?
11. В какой последовательности осуществляют разработку эскиза отливки?
12. Какова последовательность изготовления литейной формы?

## 2. Горячая объёмная штамповка

### 2.1. Обработка металлов давлением

**Обработка металлов давлением (ОМД)** — это процесс получения заготовок методом пластического деформирования металла исходной заготовки под действием внешних сил.

К основным видам ОМД относят прокатку, объёмную и листовую штамповку, прессование, ковку, волочение.

Процесс обработки металлов давлением заключается в придании материалу требуемой формы, размеров и физико–механических свойств путём пластической деформации. В зависимости от полноты восстановления исходной формы и размеров тела после прекращения воздействия внешних сил различают упругую и пластическую деформацию. На величину пластической деформации оказывают влияние такие факторы, как механические свойства деформируемого сплава, температура процесса, скорость деформирования, схема напряжённого состояния, условия трения на поверхности контакта металла и инструмента и др.

Изменение формы и размеров твёрдого тела в результате действия внешних сил оценивается степенью деформации. Наибольшая допустимая степень деформации зависит от пластичности обрабатываемого материала и его сопротивления деформированию. В свою очередь, они определяются химическим составом сплава, температурой обработки, скоростью деформирования и схемой нагружения.

Сопротивление деформированию понижается, а пластичность повышается при понижении содержания углеродов и легирующих элементов в стали, при повышении температуры обработки, при понижении скорости деформирования, при применении схемы нагружения, создающей всестороннее неравномерное сжатие.

Пластическая деформация вызывает изменение структуры и свойств металла. При этом зёрна дробятся и вытягиваются в направлении пластического течения металла, создавая волокнистое строение. Волокнистое строение деформированного металла приводит к анизотропии его свойств: прочность и ударная вязкость вдоль его волокон выше, чем поперек.

В зависимости от температуры процесса обработки металла давлением различают холодную и горячую деформацию. Деформация называется

х о л о д н о й , если её проводят при температуре ниже температуры рекристаллизации  $t_{\text{рекр}}$ , а г о р я ч е й — если выше  $t_{\text{рекр}}$ .

Для большинства сплавов

$$t_{\text{рекр}} = (0,7 \dots 0,75) t_{\text{пл}},$$

где  $t_{\text{рекр}}$  — температура рекристаллизации сплава, град;

$t_{\text{пл}}$  — температура плавления сплава, град.

В результате холодной деформации происходит увеличение прочности и твёрдости при одновременном снижении пластичности. Упрочнение металла в результате холодной пластической деформации называется н а к л ё п о м , или нагартовкой. Наклёп вследствие снижения пластичности препятствует дальнейшему деформированию в связи с опасностью разрушения металла.

Устраняют наклёп термической обработкой. При нагреве холоднодеформированного металла в нём происходят разупрочняющие процессы, называемые возвратом и рекристаллизацией. При возврате несколько увеличивается пластичность, а волокнистая структура не меняется. Р е к р и с т а л л и з а ц и о н н ы й о т ж и г полностью снимает наклёп, металл разупрочняется, пластичность повышается, волокнистая структура превращается в равноосную. Рекристаллизационный отжиг заключается в нагреве сплава выше температуры рекристаллизации, выдержке при этой температуре и последующем медленном охлаждении.

Обработка металлов давлением существенно влияет на свойства материалов. Она позволяет улучшить качество строения литого металла, так как литая дендритная структура преобразуется в относительно мелкое зерно. При горячем деформировании ликвидируются пустоты и микротрещины внутри слитка, уменьшается его ликвация (неоднородность химического состава).

**Нагрев металла при обработке давлением.** При горячей деформации пластичность металла выше, а сопротивление деформации ниже, чем при холодной, поэтому она сопровождается меньшими энергетическими затратами. Вследствие этого холодную деформацию применяют только в том случае, если горячая деформация неприемлема.

Нагрев металла при обработке металла давлением выполняют для повышения пластичности и увеличения ковкости, то есть снижения сопротивления деформированию. При нагреве необходимо обеспечить равномерный прогрев заготовки по сечению и длине до соответствующей температуры за минимальное время с наименьшей потерей металла в окалину

и экономным расходом топлива. Неправильный нагрев вызывает такие дефекты, как трещины, обезуглероживание, окисление, перегрев и пережог.

Область температур между началом и окончанием обработки давлением, в котором сплав обладает наилучшей пластичностью и минимальным сопротивлением деформации, называется температурным интервалом горячей обработки давлением. Он ограничен верхним  $t_v$  и нижним  $t_n$  температурными пределами. Каждый сплав имеет свой определённый интервал горячей обработки давлением, который определяют по диаграмме состояния.

При нагреве выше оптимального интервала  $t_v$  возникает перегрев, при котором происходит рост зерна и, как следствие, снижение механических свойств. Перегрев исправляют отжигом путём нагрева заготовки до оптимальной температуры, выдержки и последующего медленного охлаждения вместе с печью.

Каждый металл и сплав имеют свой определённый температурный интервал горячей обработки давлением, который выбирают по таблицам в зависимости от марки сплава. Так, например, для углеродистых сталей температуру начала горячего деформирования выбирают по диаграмме состояния железо–цементит на 100...200 °С ниже температуры плавления стали заданного химического состава, а температуру конца деформирования принимают на 50...100 °С выше температуры рекристаллизации.

**Горячая объёмная штамповка (ГОШ).** Это вид обработки давлением, при котором формируется объёмное изделие с помощью инструмента — штампа. При этом нагретый металл заготовки заполняет полость штампа, приобретая её форму и размеры. **Поковка** — изделие, получаемое ковкой или штамповкой. **Штамп** — это инструмент, представляющий собой металлическую форму, полость которой соответствует конфигурации изготавливаемой поковки, и состоящий, как правило, из двух частей. Полости в верхней и нижней частях штампа называются ручьями. Течение металла в штампе ограничивается ручьями штампа. Перед штамповкой исходную заготовку нагревают до необходимой температуры и помещают в нижнюю половину штампа. Затем под действием ударов или давления верхней половины штампа металл заготовки заполняет полости штампа, формируя поковку.

По способу изготовления поковок горячую объёмную штамповку разделяют на штамповку в открытых штампах и штамповку в закрытых штампах.

## 2.2. Разработка технологического процесса

Основой для разработки технологического процесса изготовления поковки является чертёж детали. Проектирование технологического процесса горячей объёмной штамповки включает в себя разработку чертежа поковки и расчёт основных параметров штамповки. По чертежу детали (рис. 2.1) разрабатывают чертёж поковки (рис. 2.2) с учётом таких технологических указаний, как припуск на механическую обработку, допуск, напуск, штамповочные уклоны и радиусы скруглений. Затем по чертежу поковки проектируют чертёж штампа.

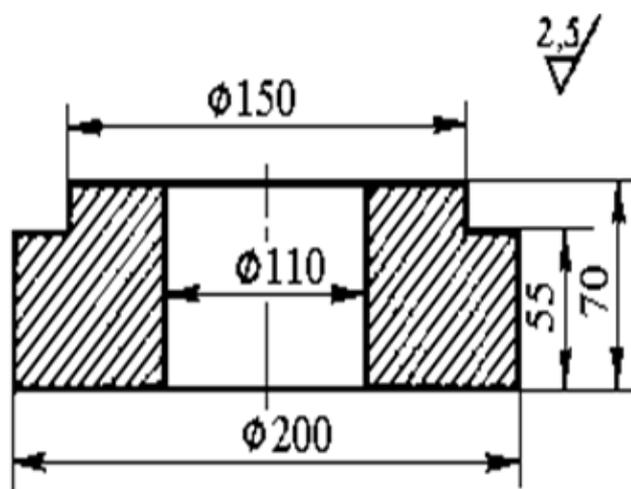


Рис. 2.1. Эскиз детали

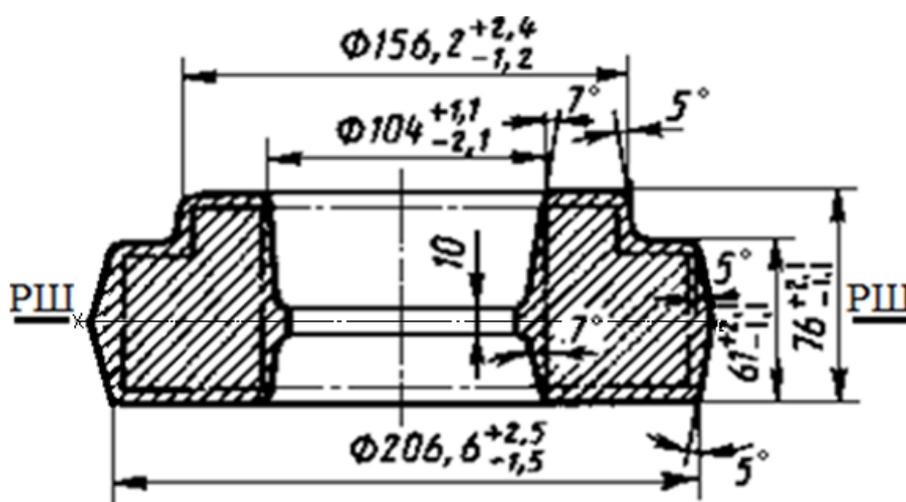


Рис. 2.2. Эскиз поковки

Припуск на механическую обработку — это поверхностный слой материала, удаляемый при механической обработке для обеспечения требуемой точности. Поверхности деталей, для которых предусмотрена последующая механическая обработка, условно обозначают знаком  $\surd$ . Знак  $\surd(\surd)$  в правом углу эскиза означает, что остальные поверхности механической обработке не подлежат. Напуск применяют для упрощения изготовления поковки. Напуск — это дополнительный объём металла, добавляемый к поковке для упрощения её формы, если изготовление поковки в соответствии с контуром детали невозможно или затруднено. Штамповочные уклоны необходимы для удобства извлечения поковки из штампа. Штамповочные радиусы — закругления внешних и внутренних углов поковки для получения плавного перехода в сопрягаемых стенках.

**Чертёж поковки.** При составлении чертежа поковки габаритный контур готовой детали показывают тонкими линиями. На основании чертежа детали разрабатывают чертёж поковки в следующей последовательности.

1. Выбирают плоскость разъёма штампа, на чертеже поковки её изображают тонкой штрихпунктирной линией с точками и обозначают линией РШ. Эта плоскость должна обеспечивать возможность свободного извлечения поковки из штампа, препятствовать возможному сдвигу одной части штампа относительно другой. Плоскость разъёма должна пересекать вертикальные поверхности поковки.

2. Устанавливают припуск на механическую обработку на те поверхности детали, для которых предусмотрена последующая механическая обработка, обозначенная на чертеже детали знаком  $\surd$ . Величина припуска зависит от габаритных размеров детали, её массы и требований к поковкам. Для определения припуска предварительно рассчитывают массу детали, разбивая весь объём на элементы, представляющие собой правильные геометрические тела, и учитывая, что плотность стали составляет  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$  (табл. 2.1).

3. Назначают допуски — допустимые отклонения размеров повок из-за возможной их недоштамповки по высоте, сдвига штампов и их износа (табл. 2.1δ). Допуски обозначают цифрами со знаками плюс и минус, расположенными справа выше и ниже размера поковки.

4. Для упрощения формы поковки назначают напуски, так как штамповкой не всегда можно получить сложную конфигурацию. Отверстия, впадины и выемки, не выполняемые при штамповке, зачёркивают сплошными тонкими линиями. К напускам также относятся штамповочные уклоны, внутренние радиусы закруглений, перемычки отверстий.

Таблица 2.1

## Припуск и допуск на механическую обработку поковок на сторону

Масса детали, кг	Штамповка на прессах							Элементы допусков, определяемые по массе детали, мм		
	Толщина (высота), длина или ширина детали, мм							по по износу штампа	по смещению	
	до 50	50...120	120...180	180...260	260...360	360...500	по			
До 0,25	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,6	0,3	0,2	
0,25...0,63	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,4	0,25	
0,64...1,60	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,2	0,5	0,3	
1,61...2,50	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,4	0,6	0,35	
2,51...4,00	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	0,7	0,4	
4,01...6,30	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,7	0,8	0,5	
6,31...10,0	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2,1	1,8	0,9	0,6	
10,1...16,0	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,0	1,0	0,6	
16,1...25,0	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,2	1,1	0,7	
25,1...40,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,6	2,5	1,2	0,7	

5. При наличии отверстия в поковке определяют толщину выдры, то есть величину перемычки под пробивку. В штампах с одной плоскостью разъёма нельзя получить в поковках сквозное отверстие. Поэтому в них делают наметку отверстия сверху и снизу, а между ними остаётся перемычка, которую впоследствии удаляют в специальных штампах. Толщина перемычки  $\delta$  зависит от диаметра отверстия:  $\delta = 0,1 \cdot d_{\text{отв}}$ . Диаметр наметки выбирают меньше требуемого отверстия с учётом припуска на механическую обработку и уклонов на внутренней поверхности. Отверстия диаметром менее 30 мм в поковках не делают, их получают сверлением.

6. Для облегчения извлечения поковки из штампа необходимы штамповочные уклоны. Их назначают на боковые поверхности поковки перпендикулярно плоскости разъёма штампа. Различают наружные  $\alpha$  и внутренние  $\beta$  уклоны (рис. 2.3).

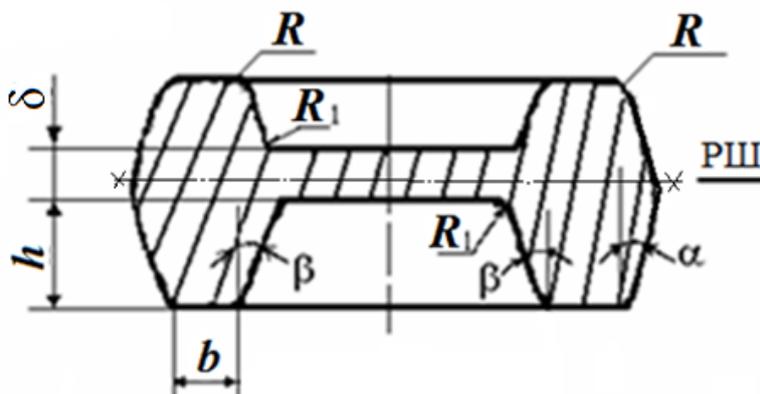


Рис. 2.3. Эскиз поковки с технологическими указаниями:  
 $\alpha$  — наружные штамповочные уклоны;  $\beta$  — внутренние штамповочные уклоны;  
 $\delta$  — перемычка;  $R$  — наружный радиус;  $R_1$  — внутренний радиус

Внутренние уклоны на  $2...3^\circ$  больше наружных, так как при охлаждении поковки её внутренние поверхности прижимаются к штампу, а наружные отходят от стенок штампа, уменьшая вероятность застревания поковки в штампе (табл. 2.2).

Таблица 2.2

### Штамповочные уклоны

Штамповочное оборудование	Допустимо		
	$h/b$	Внешний угол $\alpha$ , град	Внутренний угол $\beta$ , град
Гидравлические и механические прессы	до 2	3	5
	2...5	5	7
	5...7	7	10

7. На пересекающиеся поверхности поковки назначают внутренние и наружные радиусы закруглений (рис. 2.3), которые необходимы для лучшего заполнения полости штампа металлом, предохранения его от преждевременного изнашивания и поломок, а также для получения качественных поковок. Практически достаточно, если наружные радиусы будут на 0,5...1 мм больше величины припуска на механическую обработку данной поковки, а внутренние радиусы закруглений в 2...3 раза больше наружных. Для облегчения изготовления штампа радиусы для каждой поковки следует унифицировать, т. е. выбрать одно значение радиусов наружных и одно значение внутренних из ряда чисел: 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5.

**Расчёт параметров штамповки.** Расчёты выполняют для единичного способа производства, затем их результаты заносят в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

Результаты расчётов

Наименование параметра	Численное значение
Способ производства (массовое, серийное, единичное)	
Масса детали $M_d$ , кг	
Масса поковки $M_{п}$ , кг	
Масса исходной заготовки $M_{заг}$ , кг	
Коэффициент использования металла, Ким, %	
Время нагрева заготовки в печи $T$ , ч	
Усилие деформирования $F_d$ , кГ	
Усилие прессы на обрезку облоя $F_{об}$ , кГ	
Температурный интервал нагрева заготовки, °С	

Массу детали определяют по формуле

$$M_d = V_d \cdot \rho,$$

где  $M_d$  — масса детали, кг;

$V_d$  — объём детали, м<sup>3</sup>;

$\rho$  — плотность сплава, для стали  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3 = 7,8 \text{ г/см}^3$ .

Объём детали определяют как сумму составляющих её элементарных объёмов простой геометрической формы (цилиндра, сферы и т. п.) в соответствии с размерами, указанными на чертеже детали.

Массу поковки определяют по формуле

$$M_{\text{п}} = V_{\text{п}} \cdot \rho,$$

где  $M_{\text{п}}$  — масса поковки, кг;

$V_{\text{п}}$  — объём поковки, м<sup>3</sup>;

$\rho$  — плотность сплава, для стали  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>.

Расчёт объёма поковки следует выполнять по чертежу поковки, разбивая весь объём на элементы, представляющие собой правильные геометрические тела.

Массу исходной заготовки рассчитывают по формуле

$$M_{\text{заг}} = M_{\text{п}} + M_{\text{уг}} + M_{\text{о}},$$

где  $M_{\text{заг}}$  — масса исходной заготовки, кг;

$M_{\text{п}}$  — масса поковки, кг;

$M_{\text{уг}}$  — потери металла на угар при нагреве заготовки, кг; угар принимают равными 3 % от массы поковки при нагреве в пламенных печах;

$M_{\text{о}}$  — масса облоя, кг; массу облоя принимают равной 10...15 % от массы поковки.

Размеры исходной заготовки круглого сечения включают в себя диаметр и длину. Диаметр заготовки  $D_{\text{заг}}$  необходимо выбирать по сортаменту проката, при этом размер диаметра проката должен быть ближайшим к расчётному диаметру поковки в сторону уменьшения. Зная массу исходной заготовки, определяют её объём и длину:

$$V_{\text{заг}} = M_{\text{заг}} / \rho,$$

$$L_{\text{заг}} = 4V_{\text{заг}} / \pi D_{\text{заг}}^2,$$

где  $V_{\text{заг}}$  — объём исходной заготовки, м<sup>3</sup>;

$M_{\text{заг}}$  — масса исходной заготовки, кг;

$\rho$  — плотность стали,  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>;

$L_{\text{заг}}$  — длина заготовки, мм;

$D_{\text{заг}}$  — диаметр заготовки, мм.

Исходная заготовка представляет собой прокат круглого или квадратного сечения; исходя из этого подбирают соответственно диаметр или сторону квадрата заготовки по сортаменту.

Сортамент круглого в сечении проката стали:

...10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 60, 62, 63, 65, 67, 68, 70, 72, 75, 78, 80, 82, 85, 87, 90, 92, 95, 97, 100, 105, 110, 115, 120, 125, 130, 135, 140, 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175, 180, 185, 190, 195, 200.

Коэффициент использования металла зависит от массы детали и массы заготовки:

$$K_{ИМ} = M_{д} \cdot 100 / M_{заг},$$

где  $K_{ИМ}$  — коэффициент использования металла, %;

$M_{д}$  — масса детали, кг;

$M_{заг}$  — масса заготовки, кг.

Температурный интервал горячей штамповки включает в себя начальную и конечную температуры штамповки (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Температурные интервалы горячей объёмной штамповки

Марка стали	Предел прочности $\sigma_B$ , кГ/мм <sup>2</sup>	Температура, °С			Рекомендуемый интервал, °С
		Начало	Конец		
			не выше	не ниже	
10	33	1280	800	720	1250...750
15	38	1250	850	760	1220...800
30	50	1280	830	720	1250...750
35	54	1280	830	720	1250...750
45	61	1260	850	760	1220...800
70	105	1220	850	770	1180... 800
65Г	100	1220	850	760	1180...800
9Х	78	1150	850	800	1110...825
20Х	80	1250	870	800	1200...800
40Х	100	1200	870	800	1180...830
50ХН	82	1200	870	800	1180...830
18ХГТ	100	1250	850	800	1220...830
12ХН3А	95	1200	870	760	1180...800
12Х2Н4ВА	115	1200	850	800	1220...830

Время выдержки заготовки в печи определяют по формуле

$$T = K \cdot \alpha \cdot D_{\text{заг}} \sqrt{D_{\text{заг}}},$$

где  $T$  — общее время нагрева, включая выдержку, ч;

$K$  — коэффициент, учитывающий степень легирования стали; для углеродистой стали  $K = 10$ , для легированной стали  $K = 20$ ;

$\alpha$  — коэффициент, зависящий от способа укладки заготовок в печи; для штучных заготовок круглого сечения, нагреваемых со всех сторон (единичное производство),  $\alpha = 1$ , а для плотно уложенных (массовое или серийное производство)  $\alpha = 2$ ;

$D_{\text{заг}}$  — диаметр заготовки, м.

Необходимое усилие деформирования определяют по формуле

$$F_{\text{д}} = z \cdot m \cdot P \cdot S,$$

где  $F_{\text{д}}$  — усилие деформирования, кГ;

$z$  — коэффициент, учитывающий условия деформирования (табл. 2.5);

$P$  — давление деформирования, кГ/см<sup>2</sup>; для конструкционных сталей  $P = 6000$  кГ/см<sup>2</sup>;

$S$  — площадь проекции штампуемой поковки на плоскость разъёма штампа (без учёта облоя), см<sup>2</sup>;

$m$  — коэффициент, учитывающий объём заготовки (табл. 2.5).

Таблица 2.5

### Поправочные коэффициенты

Условия деформирования	$Z$	Объём заготовки, см <sup>3</sup>	$m$
Штамповка заготовок простой конфигурации	1,5	до 25	1
		25...100	1...0,9
Штамповка заготовок сложной конфигурации	1,8	100...1000	0,9...0,8
		1000...5000	0,8...0,7

Усилие прессы для обрезки облоя определяют по формуле

$$F_{\text{об}} = n \cdot \sigma_{\text{ср}} \cdot S_{\text{ср}},$$

где  $F_{\text{об}}$  — усилие прессы для обрезки облоя, кГ;

$n$  — коэффициент, учитывающий притупление режущих кромок;  $n = 1,6 \dots 1,8$ ;

$\sigma_{\text{ср}}$  — предел прочности на срез материала поковки, кГ/мм<sup>2</sup>.

Предел прочности на срез определяют по формуле

$$\sigma_{\text{ср}} = 0,8 \cdot \sigma_{\text{в}},$$

где  $\sigma_{\text{в}}$  — предел прочности материала поковки, кГ/мм<sup>2</sup> (табл. 2.4);

$S_{\text{ср}}$  — площадь среза, мм<sup>2</sup>.

Площадь среза подсчитывают по формуле

$$S_{\text{ср}} = p \cdot h,$$

где  $p$  — периметр обрезаемого слоя, мм;

$h$  — толщина облоя, мм;  $h = 3 \dots 4$  мм.

**Выбор способа штамповки.** Штамповка может быть осуществлена как в открытых, так и в закрытых штампах (рис. 2.4).

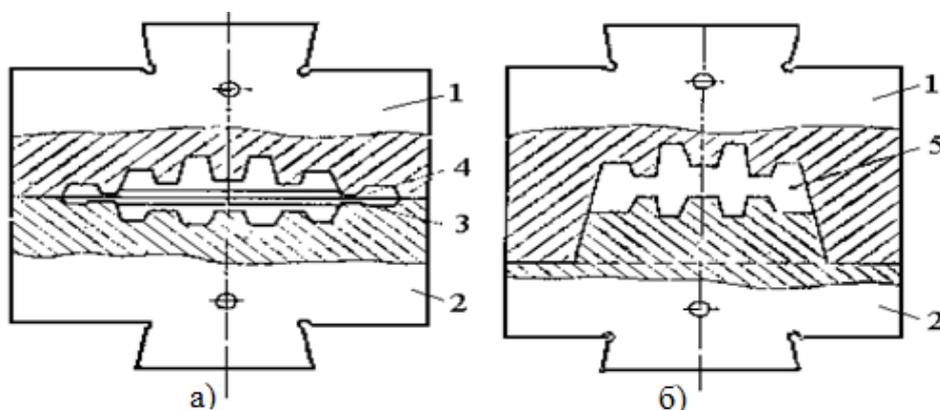


Рис. 2.4. Эскизы штампов:

а — открытого; б — закрытого;

1 — верхняя половина штампа; 2 — нижняя половина штампа;

3 — мостик; 4 — магазин; 5 — конфигурация поковки

Открытыми называются штампы, у которых вдоль всего внешнего контура штамповочного ручья сделана специальная облойная канавка, состоящая из узкого зазора — мостика 3, и расширенной части — магазина 4. При штамповке избыток металла вытесняется в облойную канавку, образуя слой металла, называемый облоем, или заусенцем. По мере затекания металла в облойную канавку давление нарастает и заставляет металл плотно заполнять все элементы ручья штампа, обеспечивая хорошее формообразование поковки.

Закрытыми, или безоблойными, называются штампы, в которых металл деформируется в замкнутой полости. Штамповку в них выполняют без заусенца.

Открытые штампы имеют поверхность разъёма в виде плоскости, а закрытые штампы имеют разъем по сложной поверхности. При безоблойной штамповке уменьшается расход металла и исключаются затраты на обрезку облоя. Однако закрытые штампы для деталей сложной формы конструктивно трудновыполнимы. Кроме того, при безоблойной штамповке необходимо точное соблюдение размеров заготовки и установка её по центру ручья штампа.

## Лабораторная работа

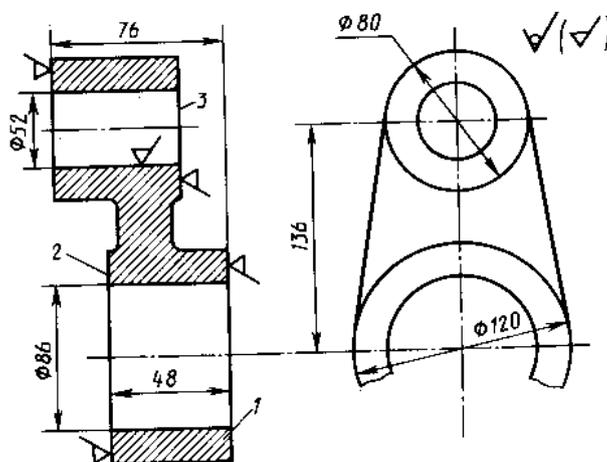
**Цель работы:** разработать технологический процесс получения поковки горячей объёмной штамповкой в открытом штампе на кривошипном прессе.

**Задание и указания к выполнению работы:** в соответствии с вариантом задания начертить эскизы заданной детали, поковки и открытого штампа; выбрать температурный интервал обработки; определить время нагрева заготовки; произвести расчёт параметров горячей объёмной штамповки. Подготовить отчёт о работе.

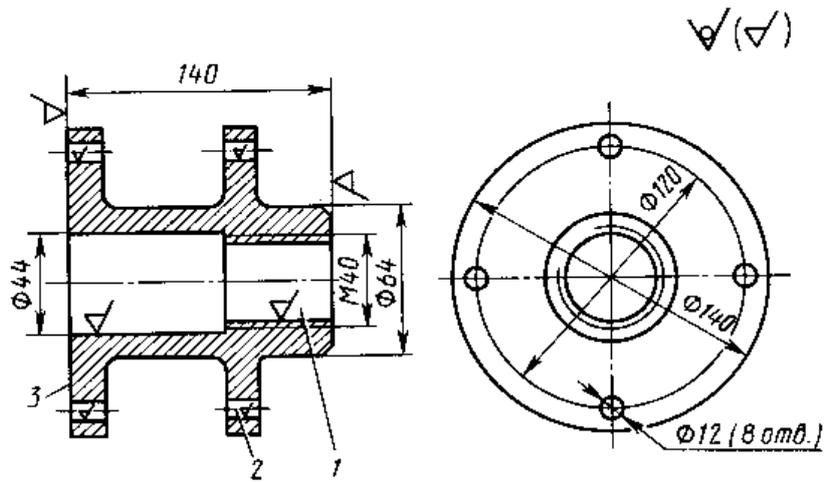
### Содержание отчёта:

1. Название работы.
1. Цель работы.
3. Эскиз детали.
4. Эскиз поковки.
5. Расчёт основных параметров горячей штамповки.
6. Эскиз открытого штампа.

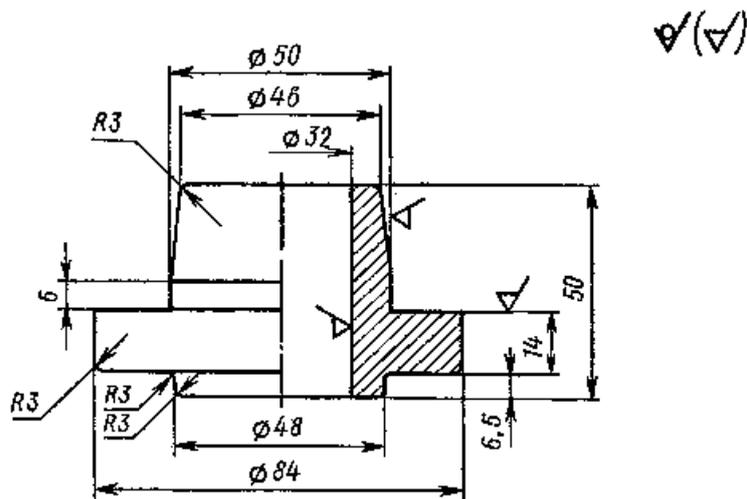
### Варианты задания



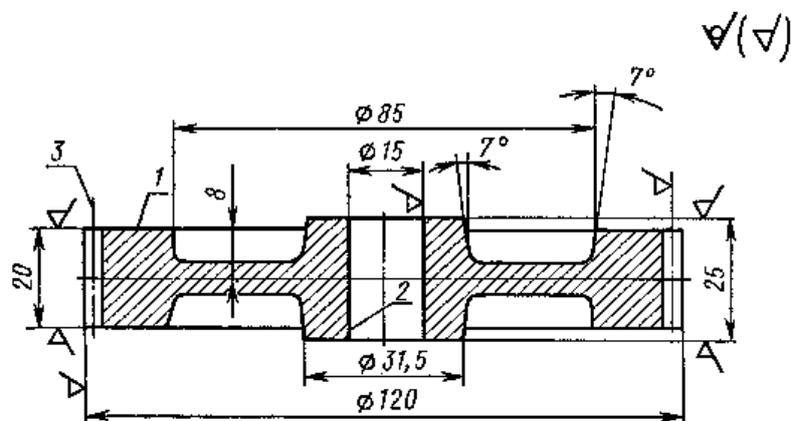
Вариант 1. Серьга. Сталь 30. Производство единичное



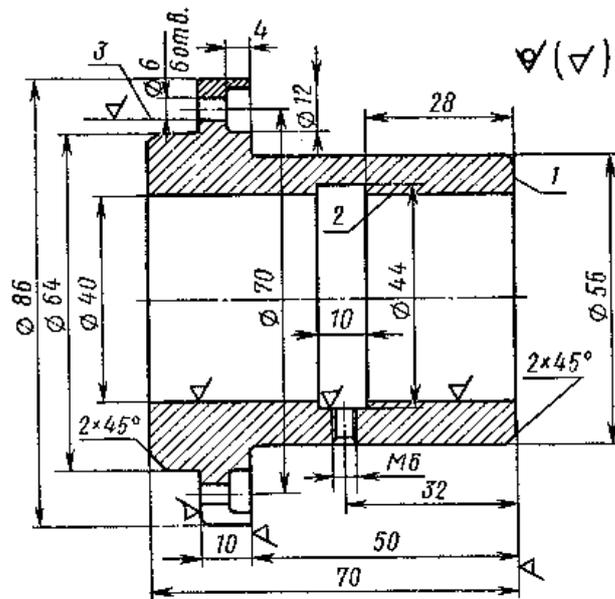
Вариант 2. Фланец. Сталь 10. Производство единичное



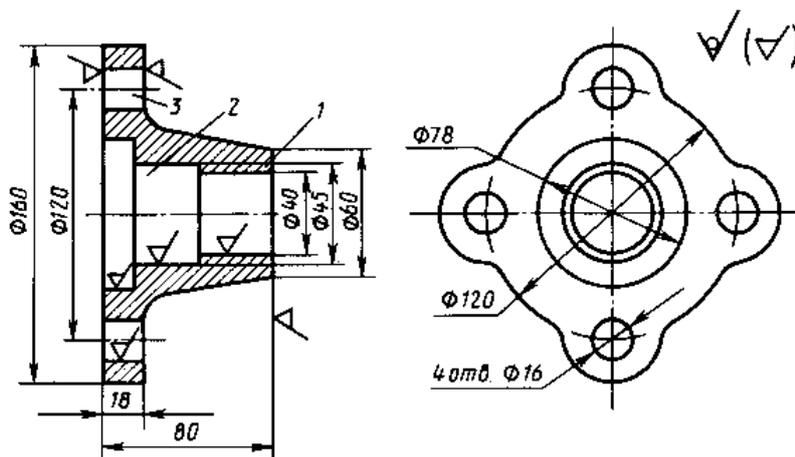
Вариант 3. Ступица. Сталь 15. Производство массовое



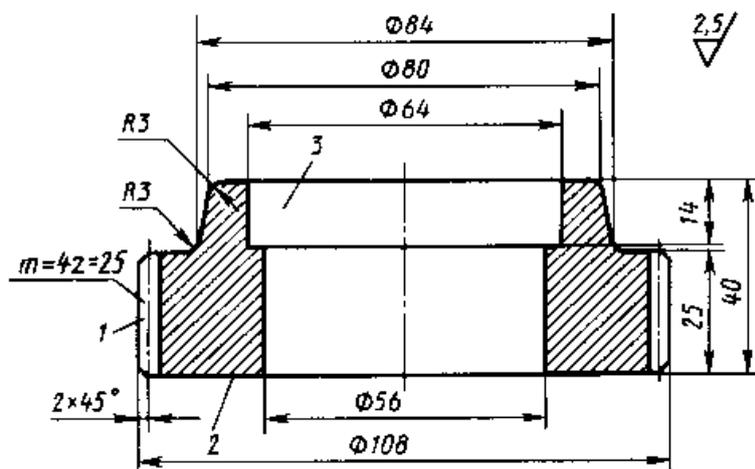
Вариант 4. Шестерня. Сталь 30. Производство серийное



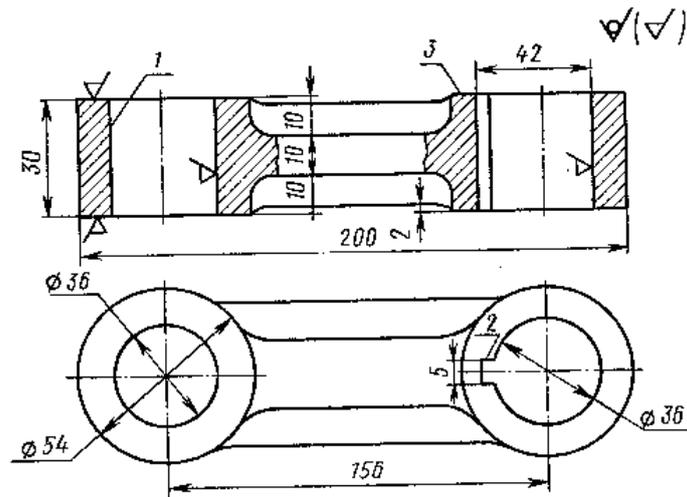
Вариант 5. Втулка. Сталь 35. Производство единичное



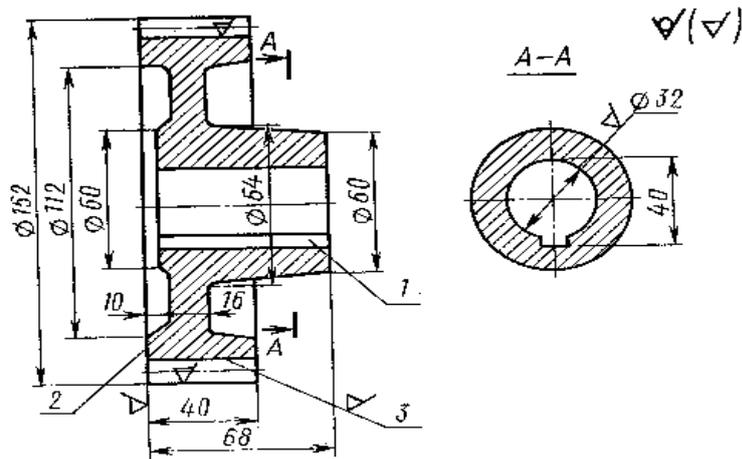
Вариант 6. Крышка. Сталь 45. Производство массовое



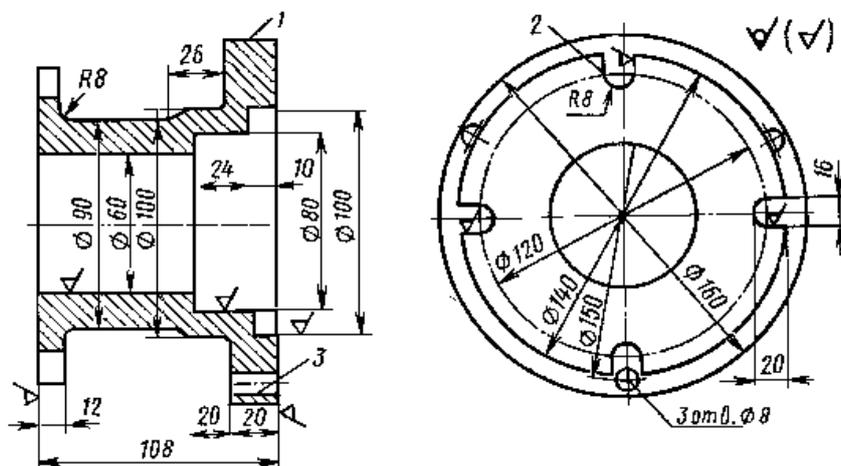
Вариант 7. Шестерня. Сталь 70. Производство серийное



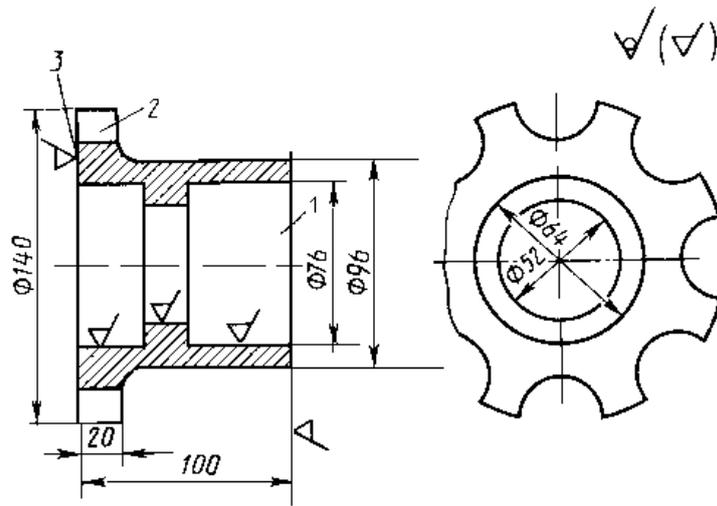
Вариант 8. Серьга. Сталь 9Х. Производство единичное



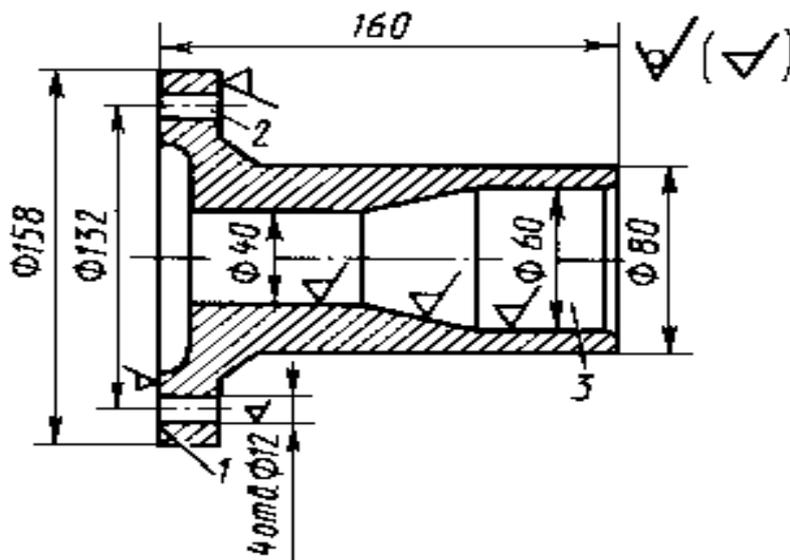
Вариант 9. Колесо. Сталь 40Х. Производство массовое



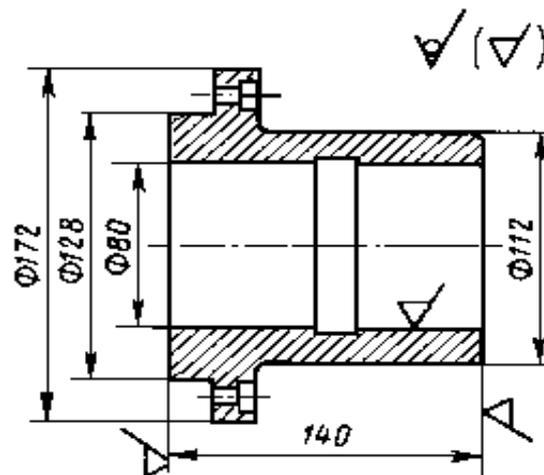
Вариант 10. Корпус. Сталь 20Х. Производство единичное



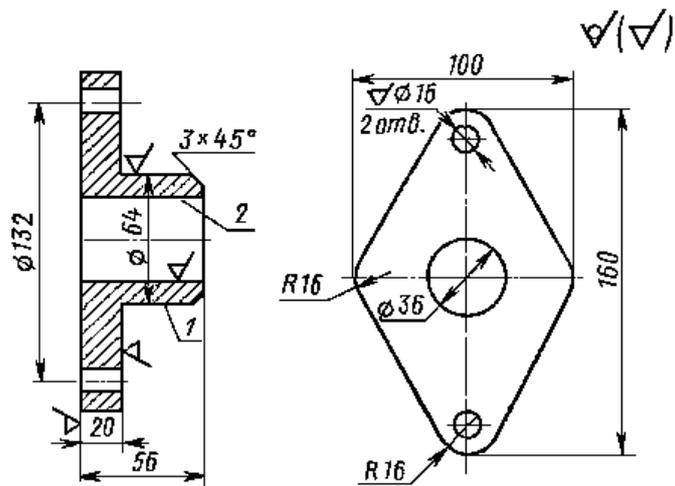
Вариант 11. Переходник. Сталь 50ХН. Производство единичное



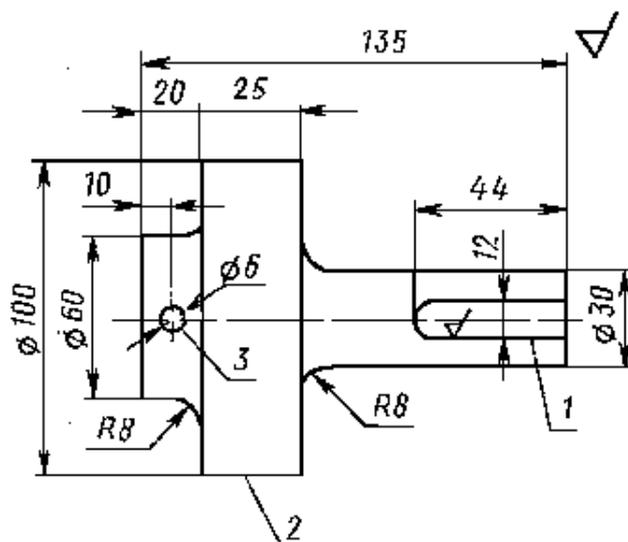
Вариант 12. Втулка. Сталь 18ХГТ. Производство массовое



Вариант 13. Стакан. Сталь 50ХН. Производство массовое



Вариант 14. Фланец. Сталь 30. Производство массовое



Вариант 15. Штуцер. Сталь 40X. Производство единичное

## Контрольные вопросы

1. В чём заключается сущность обработки металлов давлением?
2. От чего зависит наибольшая допустимая степень пластической деформации?
3. Какие факторы влияют на пластичность металла и его сопротивление деформированию?
4. Что называют наклёпом?
5. Как изменяются свойства металла при наклёпе?
6. Что такое рекристаллизация металлов?
7. При какой температуре обработка металлов давлением считается горячей?
8. Какие дефекты могут возникнуть при неправильном нагреве?
9. От чего зависит время нагрева заготовок?
10. Для чего назначают штамповочные уклоны и радиусы закруглений?
11. Какие штампы называются открытыми?
12. Чем закрытые штампы отличаются от открытых?
13. В чём заключаются преимущества и недостатки закрытых штампов?

## 3. Газовая сварка

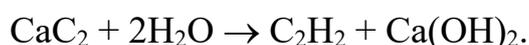
### 3.1. Технология газовой сварки

Газовая сварка — это сварка плавлением, при которой расплавление кромок свариваемого изделия и присадочной проволоки осуществляется теплом, выделяющимся при сжигании горючего газа в смеси с кислородом. Газовую сварку применяют при изготовлении сварных изделий из тонколистовой стали, медных и алюминиевых сплавов, при исправлении дефектов в чугунных и бронзовых отливках, а также при различных ремонтных работах. Способность металлов или сплавов образовывать качественное сварное соединение, не уступающее по своей прочности основному металлу, называется свариваемостью. Наибольшее влияние на свариваемость стали оказывает количество содержащегося в ней углерода и легирующих элементов. С увеличением содержания углерода и некоторых легирующих элементов свариваемость сталей ухудшается.

Газовую сварку осуществляют путём нагрева газовой горелкой соединяемых поверхностей до перехода металла в жидкое состояние. При газовой сварке горючий газ (ацетилен) сжигается в струе кислорода, и пламя направляется на свариваемое место металла. Горючий газ и кислород по гибким шлангам подводят в сварочную горелку, в которой они смешиваются. По выходе из горелки смесь воспламеняется и даёт высокую температуру. Перед сваркой необходимо открыть подачу ацетиленового газа до появления резкого специфического запаха. Горелка поджигается, после чего надо постепенно добавлять кислород до образования устойчивого синего пламени.

В качестве горючих газов могут быть использованы ацетилен, водород, природный и нефтяной газы, пары бензина и керосина. Наиболее универсальным и эффективным горючим газом для газовой сварки является ацетилен. Температура ацетилено–кислородного пламени достигает 3150 °С.

Ацетилен (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) — бесцветный газ с характерным запахом, ядовит, взрывоопасен; газ воспламеняется при 420 °С, становится взрывоопасным при сжатии свыше 0,18 МПа, а также при длительном соприкосновении с медью и серебром. Ацетилен получают в ацетиленовых генераторах при взаимодействии карбида кальция с водой:



Ацетилен поставляют в стальных баллонах белого цвета с надписью красного цвета «Ацетилен». Объём стандартного ацетиленового баллона 40 литров. Для уменьшения взрывоопасности баллон заполнен активированным углем и залит ацетоном, в котором растворён ацетилен. В заполненном баллоне ацетилен находится под давлением 1,9 МПа, при этом баллон вмещает около  $5,5 \text{ м}^3$  ацетилена.

Кислород, используемый для сварочных работ, получают из воздуха методом глубокого охлаждения и поставляют к месту потребления в сжиженном состоянии в стальных баллонах голубого цвета с чёрной надписью «Кислород». В баллоне водяной ёмкостью 40 литров помещается  $6 \text{ м}^3$  газообразного кислорода при давлении 15 МПа.

Схема газосварочного поста показана на рисунке 3.1.

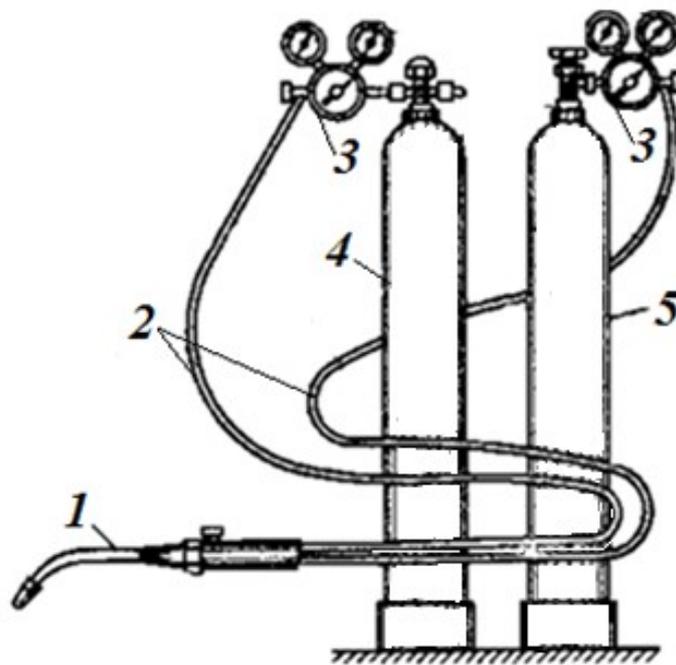


Рис. 3.1. Схема газосварочного поста с питанием от баллонов:  
1 — сварочная горелка; 2 — шланги подачи газов; 3 — редукторы;  
4 — баллон с ацетиленом; 5 — баллон с кислородом

Сварочное оборудование состоит из баллонов с кислородом 5 и ацетиленом 4. К вентилям баллонов крепятся газовые редукторы 3, которые предназначены для снижения давления газа, поступающего из баллона к горелке 1, и поддержания постоянства давления во время работы. К сварочной горелке кислород и ацетилен от редукторов подают через специальные

резиновые шланги. Горелку зажигают специальной зажигалкой. Сварку осуществляют путём нагрева газовой горелкой соединяемых поверхностей до перехода металла в жидкое состояние.

Газовые редукторы 3 имеют обычно два манометра, один из которых измеряет давление газа на входе в редуктор, второй — на выходе из него. Редукторы для различных газов отличаются устройством присоединительной части. Корпус редуктора окрашивают в определённый цвет, например, голубой для кислорода, белый для ацетилена.

Газосварочная горелка 1 служат для смешивания кислорода и ацетилена, подачи горючей смеси к месту сварки и создания концентрированного пламени требуемой мощности. Горючая смесь, выходящая из мундштука горелки, сгорает, создавая высокотемпературное сварочное пламя.

По принципу действия горелки подразделяются на инжекторные и безинжекторные (рис. 3.2).

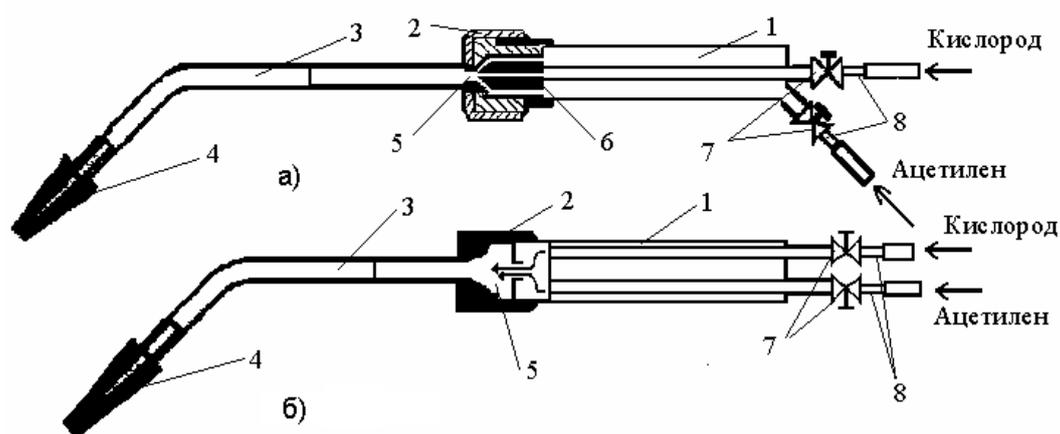


Рис. 3.2. Схемы ацетиленовых горелок:  
*а* — инжекторные; *б* — безинжекторные;  
 1 — ствол горелки; 2 — гайка; 3 — наконечник; 4 — мундштук;  
 5 — смесительная камера; 6 — инжектор; 7 — вентиль;  
 8 — штуцер присоединительный

Для сварки чаще всего используют газосварочные горелки инжекторного типа, так как они наиболее безопасны. В инжекторных горелках поступление горючего газа (ацетилена) происходит за счёт подсоса его струей кислорода, который, вытекая с большой скоростью из сопла инжектора, создает разрежение в каналах, по которым поступает ацетилен. Давление кислорода должно быть при этом равным 0,2...0,4 МПа, а давление ацетилена на входе

в горелку может быть 0,001...0,002 МПа. Горелки этого типа имеют сменные наконечники с различными диаметрами выходных отверстий инжектора и мундштука, что позволяет регулировать в широких пределах мощность ацетилено–кислородного пламени, поддерживая достаточно высокую скорость истечения газов из горелки. Наиболее распространенные инжекторные горелки «Звезда» и ГС–3 имеют семь номеров сменных наконечников (табл. 3.1).

Таблица 3.1

### Техническая характеристика инжекторных горелок

Толщина свариваемого металла, мм (сталь малоуглеродистая)						
0,5...1,5	1...2,5	2,5...4	4...7	7...11	10...18	17...30
Номера наконечников						
1	2	3	4	5	6	7
Давление кислорода, МПа						
0,1...0,4	0,15...0,4	0,2...0,4	0,2...0,4	0,2...0,4	0,2...0,4	0,2...0,4
Давление ацетилена, МПа						
Не ниже 0,001						

Горелки большой мощности и многопламенные, работающие в тяжелых условиях, при высокой температуре, обычно делаются безинжекторными, в них оба газа — кислород и ацетилен — поступают под одинаковым давлением в пределах 0,01...0,15 МПа.

**Сварочное пламя.** В пламени сварочной горелки выделяют три зоны: ядро пламени 1, восстановительная зона 2 и факел 3 (рис. 3.3).

Ядро представляет собой ярко светящийся внутренний конус. В ядре происходит постепенный нагрев до температуры воспламенения газовой смеси, поступающей из мундштука. Восстановительная зона имеет более темный цвет, чем ядро, и наиболее высокую температуру на расстоянии 3...5 мм от края ядра. В факеле протекает горение ацетилена за счёт атмосферного кислорода. Нагрев металла ведут внутренней зоной на расстоянии 2–3 мм от ядра, в этом месте температура пламени максимальна.

В зависимости от соотношений объёмов ацетилена и кислорода, подаваемых в горелку, изменяется состав пламени, в связи с чем различают три основных вида пламени: нормальное, окислительное и науглероживающее.

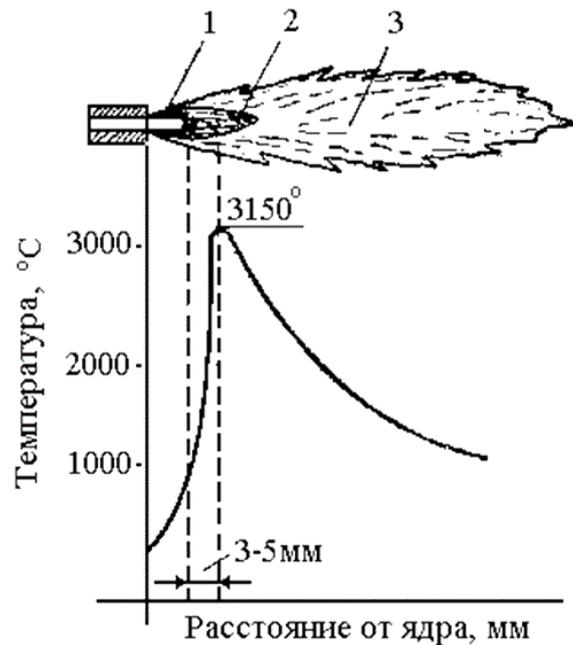


Рис. 3.3. Строение сварочного ацетилено–кислородного пламени:  
1 — ядро; 2 — восстановительная зона; 3 — факел пламени

Нормальным считают пламя, не вызывающее окисления металла или насыщения его углеродом. Это происходит при соотношении объёмов кислорода и ацетилена  $O_2/C_2H_2 = 1 \dots 1,2$ ; при этом весь ацетилен полностью сгорает. Нормальное пламя используют для сварки малоуглеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей, а также меди, магниевых сплавов, алюминия, цинка, свинца и др. В большинстве случаев сварку выполняют нормальным пламенем.

Окислительным называют пламя, вызывающее окисление металла; это происходит при увеличении содержания кислорода до соотношения  $O_2/C_2H_2 > 1,2$ . Пламя приобретает голубоватый оттенок и имеет заострённую форму ядра. Такое пламя может быть использовано только при сварке латуни. В этом случае избыточный кислород образует с цинком, содержащимся в латуни, тугоплавкие оксиды, плёнка которых препятствует дальнейшему испарению цинка.

Науглероживающим является пламя, вызывающее науглероживание металла, то есть переход углерода из продуктов горения в металл. Это происходит при увеличении содержания ацетилена до соотношения  $O_2 / C_2H_2 < 1$ . Пламя при этом удлиняется, становится коптящим и имеет красноватый оттенок. Такое пламя применяют для сварки высокоуглеродистых сталей, чугуна, цветных металлов (исключая латунь) и наплавке твёрдых сплавов.

### 3.2. Расчёт режима газовой сварки

Ацетилено–кислородная сварка имеет три основных параметра, от которых зависит качество сварного шва. К ним относят тепловую мощность сварочного пламени, угол наклона горелки, диаметр используемого присадочного прутка. Кроме этого, качественный сварной шов обеспечивается правильным подбором способа сварки, вида пламени, присадочного материала и флюса.

Тепловую мощность сварочного пламени условно оценивают часовым расходом ацетилена, для этого используют зависимость

$$q = A \cdot \delta,$$

где  $q$  — тепловая мощность, л/ч;

$A$  — коэффициент тепловой мощности (для малоуглеродистой стали  $A = 100 \dots 130$  л/ч·мм);

$\delta$  — толщина свариваемого металла, мм.

По мощности пламени определяют номер наконечника горелки.

При использовании газовой сварки для изготовления металлических изделий предпочтительным типом соединения является стыковое. Нахлесточные и тавровые соединения нежелательны вследствие возникновения в изделии значительных собственных напряжений, а при сварке изделий большой толщины вообще недопустимы.

Сварку сталей толщиной до 2 мм осуществляют без скоса кромок и без зазора между листами или с отбортовкой кромок без присадочного металла. При толщине листа 2...5 мм соединение встык выполняют без скоса кромок, но с соответствующим зазором. Сталь толщиной более 5 мм сваривают только встык с применением одностороннего или двухстороннего скоса кромок.

Угол наклона горелки к свариваемой поверхности зависит от толщины металла. При её увеличении нужна большая концентрация тепла и соответственно большой угол наклона горелки (рис. 3.4).

Диаметр присадочной проволоки  $d$  определяют в зависимости от выбранного способа сварки и толщины свариваемого металла  $\delta$  по следующим формулам:

$$d = \delta/2 + 1 \text{ — при левом способе;}$$

$$d = \delta/2 \text{ — при правом способе.}$$

По результатам расчёта выбирают ближайший из следующего ряда стандартных диаметров: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10 и 12 мм. При сварке изделия толщиной более 15 мм диаметр проволоки принимают не более 6...8 мм.

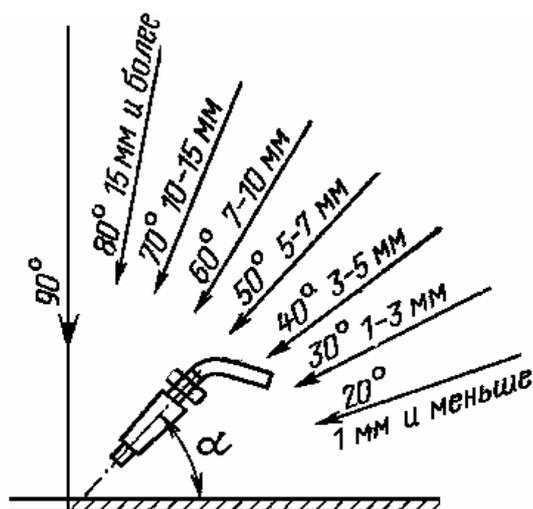


Рис. 3.4. Изменение угла наклона горелки в зависимости от толщины свариваемого металла

Скорость сварки  $V$  зависит от свойств металла; её определяют по глубине проплавления:

$$V = C / \delta,$$

где  $V$  — скорость сварки, м/ч;

$C$  — коэффициент скорости сварки, м·мм/ч (для углеродистых сталей  $C = 12 \dots 15$  м·мм/ч);

$\delta$  — толщина металла, мм.

Время сварки  $T$  определяют из уравнения

$$T = L / V,$$

где  $T$  — время сварки, ч;

$L$  — длина шва, м;

$V$  — скорость сварки, м/ч.

Полный расход горючего газа  $Q$  определяют по формуле

$$Q = q \cdot T,$$

где  $Q$  — полный расход горючего газа, л;

$q$  — тепловая мощность сварочного пламени, л/ч;

$T$  — время сварки, ч.

### 3.3. Способы сварки

Существуют два основных способа газовой сварки: правый и левый (рис. 3.5).

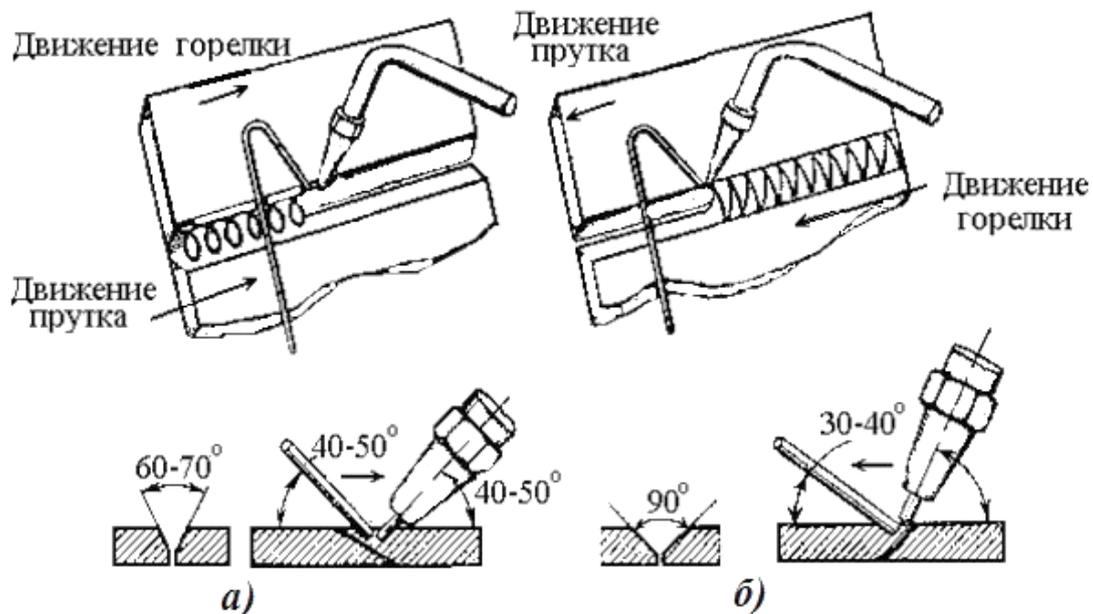


Рис. 3.5. Способы газовой сварки:  
а — правый; б — левый

Правый способ сварки применяют при толщине металла более 5 мм; при этом горелка движется впереди сварочной проволоки слева направо. Пламя направлено на наплавленный металл, что способствует более качественному формированию шва, увеличивает производительность, уменьшает расход ацетилена, но при малых толщинах может привести к прожогу металла.

Левый способ сварки применяют при толщине металла менее 5 мм; при этом горелка движется справа налево. Присадочный пруток находится слева от горелки и передвигается впереди пламени, направленного от наплавленного металла в сторону основного металла, на нагрев которого расходуется значительная часть тепла, в результате чего наплавленный металл быстро охлаждается.

**Сварочная проволока.** Для заполнения зазора между кромками свариваемого металла и образования валика шва в сварочную ванну вводят присадочный металл в виде проволоки, имеющей состав, аналогичный свариваемому металлу. Сварочная проволока перед сваркой должна быть тщательно очищена от краски, масла, ржавчины и других загрязнений. Для сварки чугуна

применяют специальные литые чугунные стержни; для наплавки износостойких покрытий — литые стержни из твёрдых сплавов.

Маркировка сварочной проволоки включает в себя следующие стали: шесть марок низкоуглеродистой, 30 легированной, 41 высоколегированной неомеднённой и омеднённой проволоки.

Обозначение сварочной проволоки состоит из букв «Св» (сварочная) и буквенно-цифрового обозначения её состава. Легирующие элементы, содержащиеся в металле проволоки, обозначаются буквами Б — ниобий, В — вольфрам, Г — марганец, Д — медь, К — кобальт, М — молибден, Н — никель, С — кремний, Т — титан, Ф — ванадий, Х — хром, Ю — алюминий. Цифры после букв «Св» указывают на содержание в проволоке углерода в сотых долях процента, а цифры после буквенного обозначения легирующего элемента указывают на его содержание в процентах. Отсутствие цифр после буквы означает, что данного элемента менее одного процента. Буква «А» в конце условного обозначения марок низкоуглеродистой и легированной проволоки указывает на повышенную чистоту металла по содержанию вредных примесей серы и фосфора. Две буквы «А» указывают на пониженное содержание серы и фосфора по сравнению с проволокой, в обозначении которой одна буква «А».

Например, марка 4Св–08А–О обозначает следующее: сварочная проволока диаметром 4 мм содержит 0,08 % углерода, имеет пониженное содержание серы и фосфора и омеднённую поверхность.

Присадочный металл при газовой сварке должен отвечать следующим требованиям:

- температура плавления присадочного металла должна быть не выше температуры плавления основного металла;
- поверхность проволоки и стержней должна быть ровной и чистой — без окалины, ржавчины, масла, краски и других загрязнений;
- присадочный металл должен плавиться спокойно, без разбрызгивания, способствуя получению наплавленного металла, по свойствам близкого к основному.

**Флюсы.** В процессе сварки все металлы и их сплавы, соединяясь с кислородом окружающего воздуха и кислородом сварочного пламени, образуют окислы, которые имеют более высокую температуру плавления, чем свариваемый металл. Для защиты расплавленного металла от окисления и удаления образовавшихся при сварке окислов и неметаллических включений применяют

сварочные порошки или пасты, называемые флюсами. При газовой сварке флюсы вводят в сварочную ванну в виде легко испаряющейся жидкости.

Флюс наносят заранее на кромки свариваемого металла и на присадочные прутки либо вносят в ванну в процессе сварки периодическим погружением присадочного прутка в сосуд с флюсом.

В случае применения флюсов в виде паров (например, флюса БМ–1 при сварке меди, медных и никелевых сплавов) он подаётся в пламя горелки автоматически в строго дозированном количестве специальным прибором.

В процессе сварки флюсы, вводимые в сварочную ванну, расплавляются и образуют с окислами легкоплавкие шлаки, всплывающие на поверхность сварочной ванны. При этом плёнка покрывает расплавленный металл шва, предохраняя его от дальнейшего воздействия атмосферного воздуха. Необходимость применения флюсов при сварке цветных металлов и сплавов, высоколегированных сталей и чугуна вызвана тем, что при нагревании металлов до высокой температуры на их поверхности образуется окисная пленка, которая при расплавлении переходит в сварочную ванну, препятствуя при этом надёжному сплавлению основного и присадочного металла. При сварке углеродистых сталей флюсы, как правило, не применяют.

В зависимости от вида свариваемого металла в сварочной ванне образуются основные или кислые окислы. Если образуются основные окислы, то применяют кислый флюс, если кислые — основной флюс. В обоих случаях реакция протекает по следующей схеме:



В качестве флюсов используют буру, борную кислоту, окислы и соли бария, калия, лития, натрия, фтора и др. Состав флюса выбирают в зависимости от свойств свариваемого металла. При сварке чугуна в сварочной ванне образуется кислый окисел  $\text{SiO}_2$ , для его растворения вводят сильные основные окислы  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ . В качестве основных флюсов применяют углекислый натрий ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), углекислый калий ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) и буру ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ).

При газовой сварке меди, латуни образуются основные окислы ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{FeO}$  и др.), поэтому для их растворения вводят кислые флюсы. Они обычно представляют собой соединения бора. Для сварки алюминиевых сплавов — бескислородные флюсы на основе фтористых, хлористых солей лития, калия, натрия и кальция. Во флюсы можно вводить элементы, раскисляющие и легирующие наплавленный металл.

## Лабораторная работа

**Цель работы:** ознакомиться с технологией газовой сварки, применяемыми материалами и оборудованием

**Задание и указания к выполнению работы:** изучить схему газосварочного поста и строение сварочного пламени; выбрать режим сварки и произвести необходимые расчёты; описать сущность и технологию газовой сварки. Подготовить отчёт о работе.

### Содержание отчёта:

1. Цель работы.
2. Зарисовать схему газосварочного поста (рис. 3.1.).
3. Зарисовать схему строения сварочного пламени (рис. 3.3).
4. Зарисовать схему изменения угла наклона горелки (рис. 3.4.)
5. Выбрать режим сварки для газовой сварки в нижнем положении малоуглеродистой стали в соответствии с вариантом задания
6. Результаты расчётов занести в таблицу 3.2. Исходные данные для выполнения работы приведены в таблице 3.3.
7. Описать сущность и технологию газовой сварки.
8. Сделать выводы по выполненной работе.

Таблица 3.2

### Исходные данные и результаты расчётов

Параметр	Расчётная формула	Численное значение
Толщина свариваемого металла $\delta$ , мм	Табл. 3.3	
Длина шва $L$ , мм	Табл. 3.3	
Способ сварки (правый, левый)		
Коэффициент тепловой мощности $A$ , л/ч·мм		
Тепловая мощность пламени $q$ , л/ч		
Угол наклона мундштука горелки, град	Рис. 3.5	
Диаметр присадочной проволоки $d$ , мм		
Номер наконечника горелки	Табл. 3.1	
Коэффициент скорости сварки $C$ , м·мм/ч		
Скорость сварки $V$ , м/ч		
Вид пламени		
Время сварки $T$ , ч		
Полный расход горючего газа $Q$ , л		

Таблица 3.3

## Исходные данные для выполнения работы

Вариант	Толщина свариваемого металла $\delta$ , мм	Длина шва $L$ , мм	Вариант	Толщина свариваемого металла $\delta$ , мм	Длина шва $L$ , мм
1	0,5	250	16	8,0	500
2	1,0	260	17	8,5	470
3	1,5	270	18	9,0	440
4	2,0	280	19	9,5	410
5	2,5	290	20	10,0	380
6	3,0	300	21	11,0	350
7	3,5	320	22	12,0	320
8	4,0	340	23	13,0	290
9	4,5	360	24	14,0	260
10	5,0	380	25	15,0	230
11	5,5	400	26	16,0	220
12	6,0	420	27	17,0	240
13	6,5	440	28	18,0	310
14	7,0	460	29	19,0	330
15	7,5	480	30	20,0	350

**Контрольные вопросы**

1. Сущность газовой сварки и область её применения.
2. Получение, хранение и транспортировка ацетилена.
3. Состав газосварочного поста.
4. Характеристика применяемых газов.
5. Характеристика горелок и их назначение.
6. Назначение газовых редукторов.
7. Строение ацетилено–кислородного пламени.
8. Виды пламени и область их применения.
9. Основные параметры режима газовой сварки.
10. Давление кислорода в баллоне и перед горелкой.
11. Давление ацетилена в баллоне и перед горелкой.
12. Основные способы газовой сварки и их характеристика.
13. Сварочные материалы. Маркировка сварочной проволоки.

## 4. Выбор режимов стыковой и роликовой электрической контактной сварки

### 4.1. Технология контактной сварки

Контактная сварка относится к способам сварки давлением, при которой заготовки в месте соединения нагреваются теплом, выделяющимся при прохождении электрического тока, и сжимаются определённым усилием. Для получения качественных сварных деталей металл в месте контакта нагревают до расплавления и лишь в отдельных случаях (например, при стыковой сварке сопротивлением) до пластического состояния, обеспечивающего требуемую пластическую деформацию заготовок. В процессе этой деформации происходит удаление окислов из места соединения, устранение раковин и уплотнение металла.

При пропускании электрического тока через свариваемые заготовки максимальное количество теплоты выделяется в месте свариваемого контакта, его можно определить по закону Джоуля — Ленца:

$$Q = 0,24 \cdot J^2 \cdot R \cdot T,$$

где  $Q$  — количество теплоты, выделяемое в сварочном контуре, Дж;

$J$  — сила сварочного тока, А;

$R$  — полное сопротивление, Ом;

$T$  — время протекания тока, с.

Полное сопротивление сварочного контура  $R$  состоит из сопротивления выступающих концов свариваемых заготовок  $R_3$ , сопротивления сварочного контакта  $R_k$  и сопротивления между электродами и заготовками  $R_э$ :

$$R = R_3 + R_k + R_э.$$

Сопротивление сварочного контакта  $R_k$  является наибольшим, так как поверхности стыка заготовок даже после тщательной обработки имеют неровности и соприкасаются только в отдельных точках. Из-за этого происходит резкое уменьшение действительного сечения металла, через которое проходит ток, и в зоне контакта возникают большие плотности тока. Кроме того, на поверхности свариваемого металла имеются плёнки окислов и загрязнения с малой электропроводностью, которые также увеличивают электросопротивление.

В результате высокой плотности тока в точках контакта металл нагревается до термопластичного состояния или до оплавления. При непрерывном сдавливании нагретых заготовок образуются новые точки соприкосновения, и так до тех пор, пока не произойдет полное сближение до межатомных расстояний, т. е. сварка поверхностей.

Однако при сварке неочищенных поверхностей контактные сопротивления изменяются в широких пределах, что приводит к изменению температур нагрева заготовок, снижению стабильности прочностных показателей сварных соединений, увеличению износа электродов и возникновению дефектов.

Режим нагрева при контактной сварке определяется силой тока и временем протекания его через свариваемые изделия. Обычно стремятся к получению интенсивного нагрева в наименьший промежуток времени. Такой режим сварки называется жестким и обеспечивает повышение производительности, экономию электроэнергии, уменьшение окисления деталей, уменьшение величины зоны термического влияния и возможность сварки металлов с высокой теплопроводностью и специальных легированных сталей.

Если есть опасность возникновения закалочных структур, которые могут привести к образованию трещин в зоне сварного соединения, применяют мягкие режимы сварки, для которых характерно увеличение длительности протекания тока при соответственном уменьшении его величины.

Процесс контактной сварки характеризуется не только явлением нагрева, но и пластической деформацией при сжатии деталей. Слои нагретого металла, подвергаемые сжатию, претерпевают структурные изменения, выражающиеся в переориентировке кристаллов сварного соединения, что оказывает большое влияние на качество соединения. Величина оптимального давления зависит от температуры нагрева. С увеличением температуры необходимое усилие сжатия уменьшается.

Контактная сварка находит широкое применение в промышленности, что обусловлено её преимуществами: высокой производительностью, возможностью механизации процесса, возможностью соединения различных металлов и сплавов, а также разнородных металлов, минимальной деформацией свариваемых изделий.

## 4.2. Основные виды контактной сварки

Наиболее широкое применение получили следующие основные виды контактной сварки: стыковая (рис. 4.1), точечная (рис. 4.2) и роликовая (рис. 4.3). Каждый из этих видов сварки может осуществляться различными способами, различающимися по техническим признакам, роду используемой электроэнергии и способу подвода тока к свариваемым заготовкам.

**Стыковая сварка.** Заготовки сваривают по всей плоскости их касания. Для осуществления стыковой контактной сварки применяют специальные машины ручного или автоматического действия (рис. 4.1). На станине 1 машины расположены плиты 2 и 3, несущие на себе зажимы 4 и 5, предназначенные для закрепления свариваемых деталей и подвода к ним тока от вторичного витка трансформатора 6. Левая плита 2 обычно неподвижна, изолирована от станины. Правая плита 3 может перемещаться прямолинейно по направляющим станины вручную с помощью рычага, штурвала или пружин.

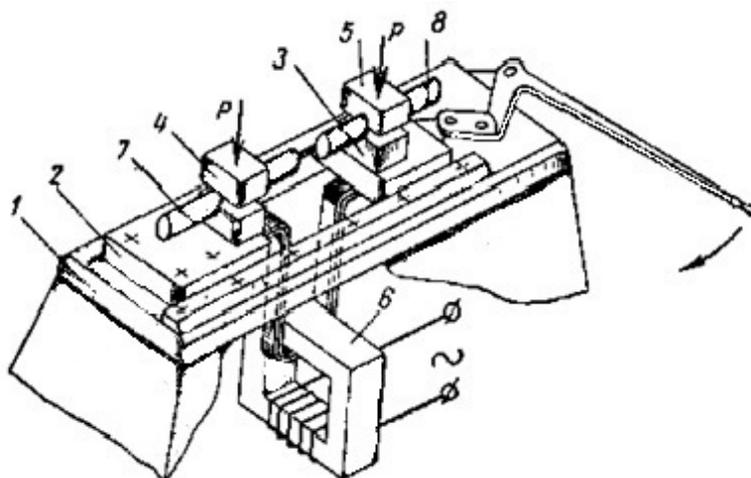


Рис. 4.1. Схема машины для стыковой контактной сварки

В зависимости от марки металла, площади сечения заготовки и требований к качеству соединения стыковую сварку можно выполнять несколькими способами: сопротивлением, непрерывным оплавлением и оплавлением с подогревом (табл. 4.4).

При стыковой сварке сопротивлением заготовки, установленные и закреплённые в стыковой машине, прижимают одну к другой

усилием определенной величины, после чего по ним пропускают электрический ток. При нагревании металла в зоне сварки до пластичного состояния производится осадка. Ток выключают до окончания осадки. Этот способ сварки требует механической обработки и тщательной зачистки поверхностей торцов заготовки. Неравномерность нагрева и окисление металла на торцах понижают качество сварки сопротивлением, что ограничивает область её применения. С увеличением сечения заготовок качество сварки снижается особенно заметно, главным образом из-за образования окислов в стыке.

Этим способом соединяют заготовки малого (до 100 мм<sup>2</sup>) и простого сечения (круг, квадрат). Металл соединяемых заготовок должен быть однородным. Сварка сопротивлением даёт хорошие результаты для металлов, обладающих хорошей свариваемостью в пластичном состоянии — низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей, алюминиевых и медных сплавов.

Стыковая сварка непрерывным оплавлением состоит из двух стадий: оплавления и осадки. Заготовки устанавливают в зажимах машины, затем включают ток и медленно сближают их. При этом торцы заготовок касаются в одной или нескольких точках. В местах касания образуются перемычки, которые мгновенно испаряются и взрываются. Взрывы сопровождаются характерным выбросом из стыка мелких капель расплавленного металла. При дальнейшем сближении заготовок образование и взрыв перемычек происходят на других участках торцов. В результате заготовки прогреваются на небольшую глубину, а на торцах возникает тонкий слой расплавленного металла, облегчающий удаление окислов из стыка. В процессе оплавления заготовки укорачиваются на заданный припуск. Оплавление должно быть устойчивым (непрерывное протекание тока при отсутствии короткого замыкания заготовок), особенно перед осадкой.

При осадке скорость сближения заготовок резко увеличивают, осуществляя при этом пластическую деформацию на заданный припуск. Переход от оплавления к осадке должен быть мгновенным, без малейшего перерыва. Осадку начинают при включенном токе и завершают при выключенном.

Стыковая сварка оплавлением с подогревом отличается от сварки непрерывным оплавлением тем, что перед началом процесса оплавления заготовки подогревают в зажимах машины периодическим смыканием и размыканием при постоянно включенном токе. При этом происходит процесс прерывистого оплавления и заготовки укорачиваются на заданный

припуск. Выдержка при замыкании составляет около  $0,5 \dots 3$  с, а при размыкании  $2 \dots 6$  с. Количество замыканий может быть от одного до нескольких десятков в зависимости от размеров сечения заготовок.

Применение стыковой сварки оплавлением с подогревом позволяет предупредить резкую закалку и, следовательно, получить более пластичные стыки при сварке закаливаемых сталей; снизить требуемую мощность машины или на машине данной мощности сварить заготовки с большими площадями сечения; осуществить осадку при меньшем усилии; сократить общий припуск на сварку.

Стыковую контактную сварку в судостроении используют при изготовлении якорных цепей, змеевиков холодильников рефрижераторных судов, штуцерно-торцевых соединений трубопроводов, стыковых соединений профильной стали, режущего инструмента и других изделий.

**Точечная сварка.** Заготовки соединяют сваркой в отдельных местах, условно называемыми точками (рис. 4.2).

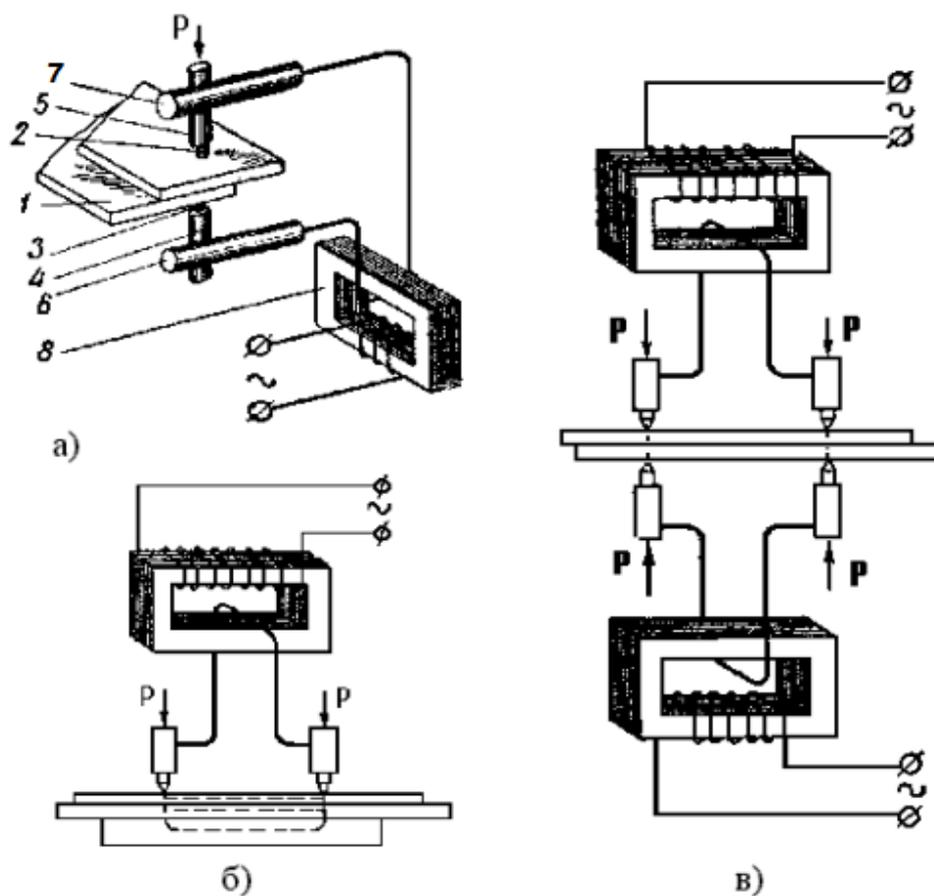


Рис. 4.2. Схемы точечной контактной сварки:  
 а — двухсторонняя односточечная; б — односторонняя двухточечная;  
 в — двухсторонняя двухточечная

Размеры и структура точки, определяющие прочность соединения, зависят от формы и размеров контактной поверхности электродов, силы сварочного тока, времени его протекания через заготовки, усилия сжатия и состояния поверхностей заготовок. Качественная сварная точка характеризуется наличием общего для обеих заготовок литого ядра определенных размеров.

Для осуществления точечной сварки, схема которой представлена на рисунке 4.2а, свариваемые детали 1 зажимаются между электродами 2 и 3, к которым через электрододержатели 4, 5 и хоботы 6 и 7 подведен ток от вторичного витка трансформатора 8. Нижний хобот 6 делается неподвижным, а верхний 7 перемещается механизмом сжатия Р, который создаёт давление при сварке. После сжатия заготовок включают ток и заготовки быстро нагреваются; особенно быстро нагреваются участки металла, прилегающие к контакту между заготовками, так как они имеют повышенное электросопротивление. Кроме того, они менее подвержены охлаждающему действию электродов. В момент образования в зоне сварки расплавленного ядра заданных размеров ток выключают. Затем заготовки кратковременно выдерживают между электродами под действием усилия сжатия, в результате чего происходит охлаждение зоны сварки, кристаллизация расплавленного металла и уменьшение усадочной раковины в ядре сварной точки. Перед сваркой место соединения очищают от окисных плёнок (наждачным кругом или травлением).

На практике иногда применяют одностороннюю одноточечную и двухточечную сварки (рис. 4.2б) либо двухточечную контактную сварку с двухсторонним подводом тока (рис. 4.2в), дающую более надёжные соединения.

Точечной сваркой можно сваривать листовые заготовки одинаковой или разной толщины, пересекающиеся стержни, листовые заготовки со стержнями или профильными заготовками (уголками, швеллерами, таврами и т. д.). Ее применяют для соединения заготовок из сталей различных марок (углеродистой, легированной, нержавеющей, жаростойкой и др.), цветных металлов и их сплавов, а также разнородных металлов. Толщина каждой из заготовок может быть от сотых долей миллиметра до 8 мм.

С помощью точечной сварки в судостроении изготавливают судовую мебель, каютные двери, кабельные кассеты, ящики под приборы и запасные части, крепят набор к переборкам, выгородкам, настилам и к стенкам надстроек.

**Роликовая (шовная) сварка.** Заготовки соединяют непрерывным прочно–плотным сварным швом, состоящим из ряда точек, в котором каждая последующая точка частично перекрывает предыдущую (рис. 4.3). В отличие от точечной сварки заготовки устанавливают между вращающимися роликами (или между роликами и оправой), на которые действует усилие механизма давления  $P$  и подведён электрический ток. Толщина свариваемых листов составляет 0,2...3 мм. Характеристика и области применения способов роликовой сварки приведены в таблице 4.5. Этим методом сваривают низкоуглеродистые, легированные конструкционные стали, легкие сплавы, некоторые медные и титановые сплавы, а также стальные листы с покрытием (оцинкованные, луженые, освинцованные).

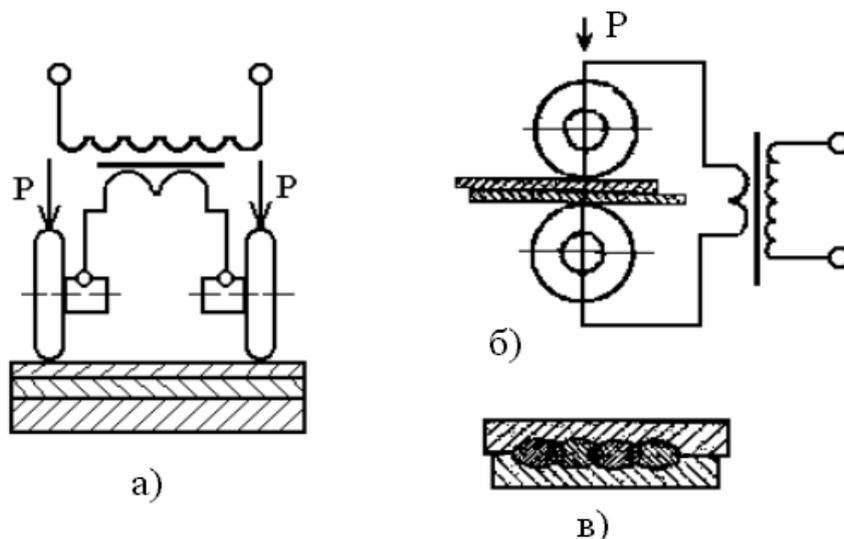


Рис. 4.3. Схема роликовой контактной сварки:  
а — односторонняя; б — двухсторонняя; в — разрез сварного шва

В судостроении с помощью роликовой сварки изготавливают емкости, трубы вентиляции, сильфонные компенсаторы, стыки легких переборок и выгородок.

### 4.3. Расчёт режимов стыковой сварки

Основные параметры стыковой сварки сопротивлением: сила сварочного тока  $I$ ; усилие осадки  $P_{ос}$ ; установочная длина  $L_H$ ; припуск на осадку  $C_{ос}$ ; время нагрева  $t_{св}$  (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Расчёт параметров стыковой сварки сопротивлением

№ п/п	Наименование параметра	Расчётная формула	Численное значение
1	Диаметр свариваемого прутка $d$ , мм	табл. 4.6	
2	Площадь сечения прутка $F$ , мм <sup>2</sup>		
3	Плотность тока $j$ , А/мм <sup>2</sup>	табл. 4.2	
4	Сила сварочного тока $I$ , А		
5	Давление осадки $p$ , кГ/мм <sup>2</sup>		
6	Усилие осадки $P_{ос}$ , кГ		
7	Установочная длина $L_H$ мм		
8	Припуск на осадку $C_{ос}$ , мм		
9	Время нагрева $t_{св}$ , с	табл. 4.2	

Силу сварочного тока  $I$  (А) подсчитывают по формуле

$$I = F \cdot j,$$

где  $F$  — площадь сечения свариваемого прутка, мм<sup>2</sup>;

$j$  — плотность тока, А/мм<sup>2</sup> (определяют по таблице 4.2 в зависимости от площади сечения прутка).

Площадь сечения свариваемого прутка  $F$  определяют по формуле

$$F = \pi \cdot d^2 / 4,$$

где  $d$  — диаметр свариваемого прутка, мм;

$\pi = 3,14$  — математическая константа.

Таблица 4.2

Плотность тока и время нагрева при стыковой сварке сопротивлением

Площадь сечения прутка, $F$ , мм <sup>2</sup>	Плотность тока, $j$ , А/мм <sup>2</sup>	Время нагрева, $t_{св}$ , с
6	300	0,2—0,3
25	200	0,6—0,8
50	160	0,8—1,0
100	140	1,0—1,5
150	120	1,2—2,0
200	100	1,4—2,5
250	80	1,6—3,0
300	60	1,8—3,5
350	40	2,0—4,0
400	20	2,2—4,5

Величину усилия осадки  $P_{ос}$  (кГ) подсчитывают как произведение давления осадки  $p$  (кГ/мм<sup>2</sup>) на площадь сечения свариваемого прутка  $F$  (мм<sup>2</sup>):

$$P_{ос} = p \cdot F.$$

При сварке малоуглеродистой стали давление осадки  $p$  принимают равным 2...5 кГ/мм<sup>2</sup>.

Установочная длина  $L_H$  (мм) — расстояние от торца заготовки до внутреннего края электрода стыковой машины, измеренное до начала сварки. Длина  $L_H$  зависит от теплофизических свойств металла, конфигурации стыка и размеров заготовки. При недостаточной установочной длине детали прогреваются в незначительной степени, так как тепло интенсивно отводится в губки. Завышение её сопровождается перегревом деталей и увеличением длины деформируемого участка. Кроме того, возможны перекосы или несоосность торцов вследствие потери устойчивости. Для углеродистых сталей установочная длина  $L_H$  равняется 0,5...0,7 от диаметра свариваемого прутка.

Припуск на осадку  $C_{ос}$  (мм) распределяется на осадку под током и осадку без тока. Если осадка недостаточна, в стыке остаются окислы и раковины, наблюдаются непроваренные участки. При завышении величины осадки качество стыков понижается вследствие искривления волокон и перегрева металла.

Для прутков припуск на осадку определяют так:

$$C_{oc} = 0,7 \cdot \sqrt[3]{d} + 0,07 \cdot d$$

Время нагрева  $t_{св}$  (с) — время прохождения тока через заготовки, зависит от плотности тока и площади сечения свариваемого прутка (табл. 4.2).

Завышенное время нагрева является одной из причин возникновения окислов в стыке и образования малопластичной перегретой структуры металла.

#### 4.4. Расчёт режимов роликовой сварки

Типы соединений для роликовой сварки выбирают с учетом толщины и материала заготовки, а также условий работы изделия.

При изготовлении сосудов предпочтительнее соединение с отбортовкой. При таком соединении деталь во время сварки не вводится в сварочный контур машины, следовательно, сохраняется постоянная величина силы сварочного тока. Введение в сварочный контур машины магнитных материалов, например заготовок из низкоуглеродистых сталей, вызывает рост индуктивного сопротивления, в результате чего уменьшается сила сварочного тока. Ширина отбортовки для стальных заготовок толщиной 1...2 мм находится в пределах 12...18 мм.

Широко применяют соединение внахлестку, которое при роликовой сварке обеспечивает высокую прочность и плотность швов. Величину нахлестки берут в пределах 10...18 мм.

Рекомендуемые параметры режима непрерывной роликовой сварки следующие (табл. 4.3).

Диаметр отдельных точек  $d_T$  (мм), зависящий от толщины свариваемых деталей,

$$d_T = 2 \cdot S + 2,$$

где  $S$  — толщина более тонкой из свариваемых деталей, мм.

Площадь контакта  $F$ , мм<sup>2</sup>

$$F = \pi \cdot d_T^2 / 4.$$

Сила сварочного тока  $I$  (А) зависит от плотности тока  $j$  (А/мм<sup>2</sup>) и площади контакта «электрод — деталь», её определяют по формуле

$$I = F \cdot j.$$

Таблица 4.3

## Расчёт параметров роликовой сварки

№ п/п	Наименование параметра	Расчетная формула	Численное значение
1	Толщина свариваемого металла $S$ , мм	табл.4.6	
2	Плотность тока $j$ , А/мм <sup>2</sup>	табл.4.6	
3	Диаметр отдельных точек $d_T$ , мм		
4	Площадь контакта $F$ , мм <sup>2</sup>		
5	Сила сварочного тока $I$ , А		
6	Шаг точек, $a$ , мм		
7	Скорость сварки $V_{св}$ , м/мин		
8	Давление осадки $p$ , кГ/мм <sup>2</sup>		
9	Усилие сжатия $P_{сж}$ , кГ		
10	Ширина рабочей контактной поверхности роликового электрода $B_э$ , мм		

Шаг точек  $a$  (расстояние между центрами точек), мм, для плотных швов равен 0,5...0,7 от диаметра сварной точки.

Скорость сварки  $V_{св}$  (м/мин) определяют по формуле

$$V_{св} = 2f \cdot 60 \cdot a / 1000,$$

где  $f = 50$  — частота тока, Гц;

$a$  — шаг точек, мм.

Усилие сжатия  $P_{сж}$  (кГ)

$$P_{сж} = p \cdot F,$$

где  $p$  — давление осадки, кГ/мм<sup>2</sup>.

При сварке малоуглеродистой стали толщиной до 3 мм давление осадки составляет от 4 до 12 кГ/мм<sup>2</sup>. Большие значения соответствуют сварке деталей большей толщины и более жёстким режимам.

Ширина рабочей контактной поверхности роликовых электродов  $B_э$  (мм) зависит от толщины свариваемого металла  $S$  (мм), её определяют по формуле

$$B_э = 5 \cdot \sqrt{S} + 2.$$

Желательный диаметр электродов 150...200 мм, так как при меньшем диаметре увеличивается их износ. При сварке металлов толщиной менее

0,5 мм применяют электроды диаметром 40...50 мм. Для изготовления электродов для точечной и роликовой сварки используют медь марки М1, кадмиевую, хромистую, бериллиевую бронзы и другие сплавы.

Область применения контактной сварки указана в таблицах 4.4. и 4.5.

## Лабораторная работа

**Цель работы:** изучить технологию контактной сварки и области её применения, научиться рассчитывать параметры режима сварки.

**Задание и указания к выполнению работы:** привести схемы процессов контактной сварки с их кратким описанием; в соответствии с вариантом задания рассчитать параметры режима стыковой сварки сопротивлением для прутков от 3 до 20 мм из углеродистой стали и непрерывной роликовой сварки заготовок из низколегированной листовой стали толщиной от 0,2 до 3мм.

### Содержание отчета:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схемы процессов контактной сварки с кратким их описанием.
4. Результаты расчётов параметров стыковой и роликовой контактной сварки (табл. 4.1 и 4.3).
5. Краткие выводы.

Таблица 4.4

Области применения различных способов стыковой сварки

Свариваемые заготовки			Способ стыковой сварки
Металл	Форма сечения	Размеры сечения	
Сталь, нихром, медь, алюминий, сплавы меди и алюминия	Компактное (круглое, квадратное)	Проволока диаметром до 6–8 мм, звенья цепей диаметром до 20 мм, трубы диаметром до 40 мм при специальной подготовке кромок	Сопротивлением

Сталь, медь, алюминий и их сплавы; заготовки из разнородных материалов	Стержни, трубы, листы, уголки и другой профильный прокат; поковки, штамповки	Стальные стержни и толстостенные трубы до 3000 мм <sup>2</sup> , стальные листы и тонкостенные трубы до 6000 мм <sup>2</sup> и выше, рельсы	Непрерывным оплавлением
Сталь	Рельсы, трубы, прокат	Большое поперечное сечение (40000—60000 мм <sup>2</sup> и выше)	Непрерывным оплавлением
Сталь незакаливающаяся	Прутки, трубы	В мелкосерийном производстве более 300 мм <sup>2</sup> , в массовом более 1000 мм <sup>2</sup>	Оплавлением с подогревом
Сталь закаливающаяся	Прутки, трубы, прокат	От 20 мм <sup>2</sup> и выше	Оплавлением с подогревом

Таблица 4.5

Способы роликовой (шовной) сварки и их применение

Способ и его сущность	Толщина листа, мм, не более	Характеристика и применение
Непрерывная — непрерывное включение тока при непрерывном вращении роликов	1,0	Сварка неответственных изделий из малоуглеродистых сталей. Перегрев роликов и заготовок, невысокое качество сварки, относительно низкая стойкость электродов
Прерывистая — прерывистое включение тока при непрерывном вращении роликов	3,0	Сварка различных сталей. Прерывистое включение тока снижает перегрев роликов и заготовок, повышает качество сварки и стойкости роликов, наиболее распространенный способ
Шаговая — включение тока при неподвижных роликах, вращение роликов при выключенном токе	3,0	Сварка алюминиевых сплавов и плакированных металлов, осуществляемая при больших силах тока. Наименьший перегрев роликов и заготовок

Варианты задания и исходные данные для выполнения работы  
по контактной сварке

№ варианта	Стыковая сварка	Непрерывная роликовая сварка	
	Диаметр свариваемого прутка $d$ , мм	Толщина свариваемого металла $S$ , мм	Плотность тока $j$ , А / мм <sup>2</sup>
1	3,0	0,2	400
2	3,5	0,3	390
3	4,0	0,4	380
4	4,5	0,5	370
5	5,0	0,6	360
6	5,5	0,7	350
7	6,0	0,8	340
8	6,5	0,9	330
9	7,0	1,0	320
10	7,5	1,1	310
11	8,0	1,2	300
12	8,5	1,3	290
13	9,0	1,4	280
14	9,5	1,5	270
15	10,0	1,6	260
16	10,5	1,7	250
17	11,0	1,8	240
18	11,5	1,9	230
19	12,0	2,0	220
20	12,5	2,1	210
21	13,0	2,2	205
22	13,5	2,3	200
23	14,0	2,4	195
24	14,5	2,5	190
25	15,0	2,6	185
26	16,0	2,7	180
27	17,0	2,8	170
28	18,0	2,9	165
29	19,0	3,0	160
30	20,0	3,1	150

## Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность контактной сварки?
2. Как определить полное сопротивление сварочного контура?
3. Почему сопротивление сварочного контакта является наибольшим?
4. Перечислите основные виды контактной сварки.
5. В чем заключается сущность стыковой контактной сварки?
6. Какими способами осуществляют стыковую контактную сварку?
7. Чем отличается стыковая сварка оплавлением с подогревом от сварки непрерывным оплавлением?
8. Где используют стыковую контактную сварку?
9. В чем заключается сущность точечной контактной сварки?
10. Какие детали сваривают точечной сваркой?
11. Сущность роликовой (шовной) контактной сварки.
12. Какие детали и материалы соединяют роликовой сваркой?
13. Перечислите основные параметры стыковой контактной сварки.
14. От чего зависит сила сварочного тока при контактной сварке?
15. Какие факторы влияют на скорость роликовой сварки?

## 5. Измерение геометрических параметров токарных резцов

### 5.1. Геометрические параметры режущего инструмента

Обработка металлов резанием — это процесс снятия режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла для получения необходимой геометрической формы, точности размеров и шероховатости поверхности детали.

В процессе обработки на заготовке различают:

- обрабатываемую поверхность, с которой срезается слой металла;
- обработанную поверхность, с которой слой металла срезан и превращён в стружку;
- поверхность резания, образованную главным режущим лезвием инструмента и являющуюся переходной между обрабатываемой и обработанной поверхностями (рис. 5.1).

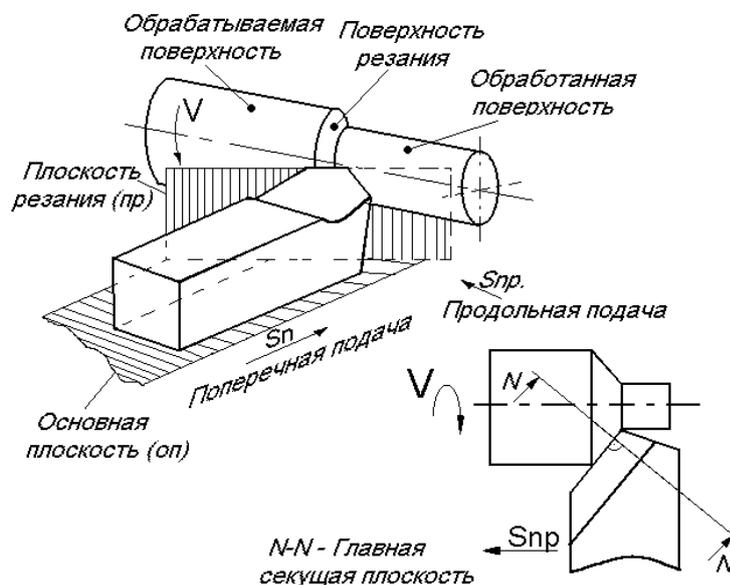


Рис. 5.1. Поверхности и координатные плоскости

При работе на токарных станках наиболее часто используют проходные прямые, проходные отогнутые, проходные упорные и отрезные резцы (рис. 5.2).

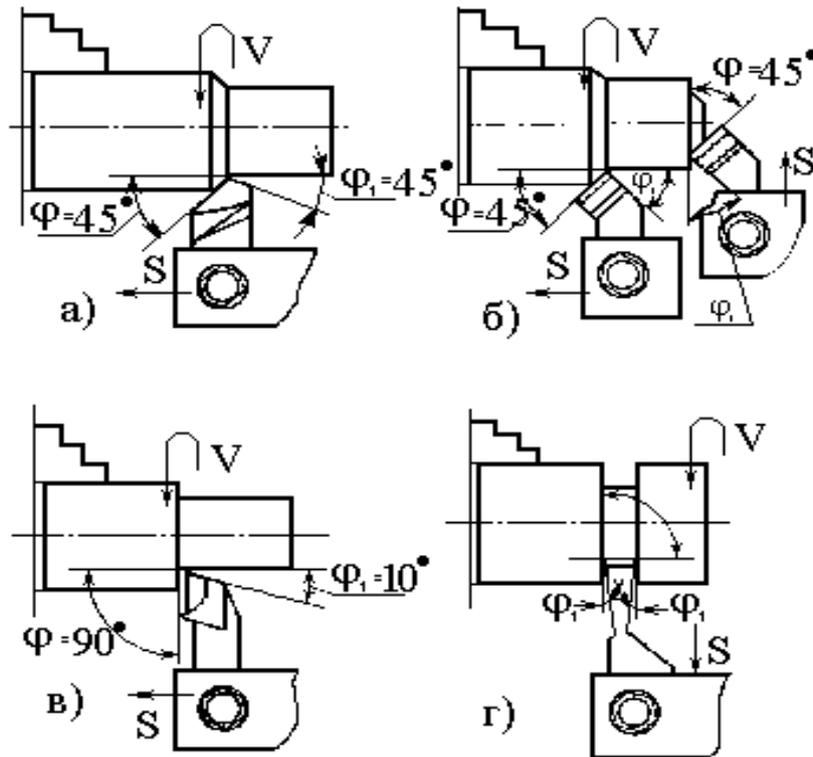


Рис. 5.2. Основные типы токарных резцов:  
 а — проходной прямой; б — проходной отогнутый;  
 в — проходной упорный; г — отрезной

Проходные резцы предназначены для обработки наружных поверхностей с продольной подачей (рис. 5.2а). Проходной отогнутый резец наряду с обтачиванием с продольной подачей может применяться для подрезания торцов с поперечной подачей (рис. 5.2б). Проходной упорный резец применяется для наружного обтачивания с подрезкой уступа под углом  $90^\circ$  к оси (рис. 5.2в). Отрезной резец предназначен для отрезания частей заготовок и протачивания кольцевых канавок (рис. 5.2г).

Токарный резец состоит из стержня, служащего для закрепления его в резцедержателе станка, и головки резца (рис. 5.3).

Элементами режущей части резца являются:

- передняя поверхность, по которой сходит стружка;
- главная задняя поверхность, обращённая к поверхности резания заготовки;
- вспомогательная задняя поверхность, обращённая к обработанной поверхности заготовки;
- главная режущая кромка — линия пересечения передней и главной задней поверхности;

- вспомогательная режущая кромка — линия пересечения передней и вспомогательной задней поверхностей;
- вершина резца — точка пересечения главной и вспомогательной режущих кромок. Для увеличения износостойкости резца и повышения чистоты обработанной поверхности, вершину иногда закругляют или срезают прямолинейной переходной кромкой.



Рис. 5.3. Элементы токарного резца

Для выполнения работы резания рабочей части резца необходимо придать форму клина. С этой целью резец затачивают по передней и задней поверхностям. Для определения углов, под которыми располагаются относительно друг друга поверхности рабочей части инструмента, вводят координатные плоскости (рис. 5.1).

Основная плоскость (ОП) — плоскость, параллельная направлениям продольной и поперечной подачи. У токарных резцов за основную плоскость принимают нижнюю опорную поверхность резца.

Плоскость резания (ПР) — плоскость, проходящая через главную режущую кромку резца касательно к поверхности резания заготовки.

Главная секущая плоскость (N – N) — плоскость, перпендикулярная к проекции главной режущей кромки на основную плоскость.

Все три плоскости взаимно перпендикулярны.

В главной секущей плоскости измеряют главный передний угол  $\gamma$ , главный задний угол  $\alpha$ , угол заострения  $\beta$  и угол резания  $\delta$  (рис. 5.4). Главный передний угол  $\gamma$  образован плоскостью, перпендикулярной плоскости резания, и передней поверхностью. Главный задний угол  $\alpha$  — плоскостью резания

и главной задней поверхностью. Угол заострения  $\beta$  — передней и главной задней поверхностями ( $\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma)$ ). Угол резания  $\delta$  образован плоскостью резания и передней поверхностью ( $\delta = 90^\circ - \gamma$ ).

В основной плоскости измеряют главный угол в плане  $\varphi$ , вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$  и угол при вершине  $\varepsilon$  (рис. 5.4). Главный угол в плане  $\varphi$  образован проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$  — проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением, обратным подаче. Угол при вершине  $\varepsilon$  — угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость

$$\varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1).$$

В плоскости резания измеряют угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  — угол между главной режущей кромкой и плоскостью, параллельной основной (рис. 5.4).

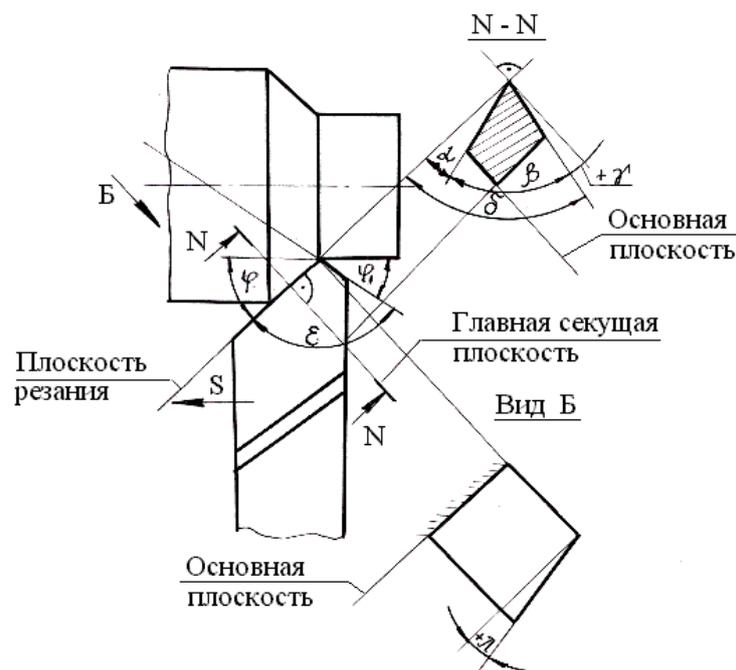


Рис. 5.4. Углы проходного резца

Углы резца имеют следующее основное назначение.

1. Главный передний угол  $\gamma$  оказывает большое влияние на процесс резания материала. С увеличением угла  $\gamma$  уменьшается деформация срезаемого слоя, так как инструмент легче врезается в материал, понижается сила резания

и расход мощности при одновременном улучшении условия схода стружки и повышения качества обработанной поверхности заготовки. Однако чрезмерное увеличение угла  $\gamma$  ведёт к понижению прочности режущего инструмента. На практике величину угла  $\gamma$  берут в зависимости от твердости и прочности обрабатываемого и инструментального материалов. При обработке хрупких и твёрдых материалов для повышения прочности и увеличения стойкости (времени работы инструмента до переточки) следует назначать отрицательные углы  $\gamma = -(5 - 10)^\circ$ , при обработке мягких и вязких материалов положительные передние углы  $\gamma = +(10 - 25)^\circ$ .

2. Угол  $\alpha$  способствует уменьшению трения между обрабатываемой поверхностью заготовки и главной задней поверхностью резца. Величина его назначается в пределах от  $6^\circ$  до  $12^\circ$ .

3. Угол  $\phi$  влияет на шероховатость обработанной поверхности заготовки: с уменьшением угла  $\phi$  шероховатость уменьшается, однако при малых значениях угла  $\phi$  возможно возникновение вибраций в процессе резания, что снижает качество обработки.

4. С уменьшением угла  $\phi_1$  шероховатость обработанной поверхности уменьшается, одновременно увеличивается прочность и снижается износ вершины резца.

5. Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  может быть положительным, отрицательным и равным нулю (рис. 5.5), что влияет на направление схода стружки. Если вершина резца является высшей точкой главной режущей кромки, то  $\lambda$  отрицателен, и стружка сходит в направлении подачи.

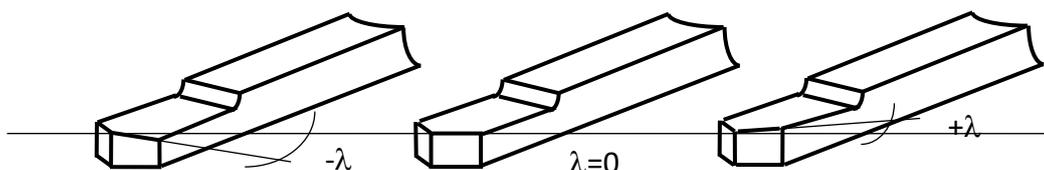


Рис. 5.5. Углы наклона главной режущей кромки

Если главная режущая кромка параллельна основной плоскости, то  $\lambda = 0$ , и стружка сходит по оси резца. Если вершина резца является нижней точкой главной режущей кромки, то  $\lambda$  положителен, и стружка сходит в направлении, обратном подаче. При обработке заготовок на токарных автоматах стружку необходимо отводить так, чтобы она не мешала работе инструментов на соседних позициях.

Геометрические параметры токарных резцов зависят от свойств обрабатываемого материала, марки материала режущего инструмента и условий резания.

В качестве материала для режущего инструмента наиболее часто используют спечённые твёрдые сплавы, состоящие из карбидов вольфрама ( $WC$ ), титана ( $TiC$ ) и тантала ( $TaC$ ), связанных кобальтом, и которые подразделяются на вольфрамовые (BK3, BK6, BK8, BK20), титановольфрамовые (Т30К4, Т15К6, Т5К10), титанотанталовольфрамовые (ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9). В марках первые буквы обозначают группу, к которой относится сплав; цифры в вольфрамовой группе — количество кобальта в процентах, а остальное — карбид вольфрама; первые цифры в титановольфрамовой группе — количество карбида титана в процентах, вторые — количество кобальта, а остальное — карбид вольфрама. Первые цифры в титанотанталовольфрамовой группе — суммарное процентное количество карбидов титана и тантала, вторые — количество кобальта, а остальное — карбид вольфрама.

Твёрдые сплавы используют в виде пластинок определённой формы и размеров, которые получают путём прессования порошков карбидов и кобальта в изделия необходимой формы и последующего спекания при 1400—1550 °С в атмосфере водорода или в вакууме. Твёрдосплавные пластинки припаивают к державкам инструментов медными или латунными припоями или крепят механическим способом. Марку материала твердосплавной пластинки вместе с товарным знаком завода-изготовителя клеймят на боковой поверхности стержня.

Теплостойкость твёрдых сплавов 800...1000 °С.

Карбиды вольфрама и титана обеспечивают высокую твёрдость, теплостойкость и износостойкость сплавов, а добавка тантала увеличивает усталостную прочность, снижает склонность к трещинообразованию при циклических изменениях температуры; кобальт обеспечивает сплавам необходимую прочность и связывает порошки карбидов.

Инструментами из сплавов группы BK обрабатывают чугуны, цветные металлы, пластмассы, а также весьма прочные закалённые стали.

Сплавы ТК имеют высокую износостойкость и теплостойкость, поэтому их применяют для обработки сталей, дающих сливную стружку.

Трёхкарбидные сплавы применяют при тяжёлых условиях резания, например строгании сталей с большими сечениями срезаемого слоя металла, а также при чистовой и получистовой обработке жаропрочных сталей.

## 5.2. Методика измерения углов

Углы резца измеряют с помощью универсального настольного угольника, состоящего из основания, в котором закреплена вертикальная стойка с измерительным устройством. При настройке угольника измерительное устройство перемещают по вертикальной стойке и в нужном положении фиксируют стопорным винтом.

Для измерения главного переднего угла  $\gamma$  планку угольника  $b$  поворачивают до соприкосновения с передней поверхностью резца. При этом риска на указателе покажет значение угла (рис. 5.6).

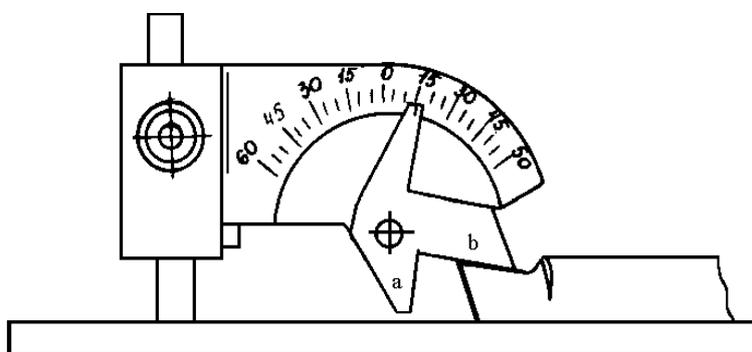


Рис. 5.6. Схема измерения углов в главной секущей плоскости

При измерении главного заднего угла  $\alpha$  пользуются вертикальной планкой угольника  $a$ , которой касаются главной задней поверхности резца.

Таблица 5.1

Значения углов резцов

Наименование резцов	Углы в градусах									
	Главный передний угол	Главный задний угол	Угол заострения	Угол резания	Главный угол в плане	Вспомогательный угол в плане	Угол при вершине	Угол наклона режущей кромки	Размер резца	Материал твёрдосплавной пластины
	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	$\phi$	$\phi_1$	$\epsilon$	$\lambda$	$b \times h$	—
Проходной отогнутый										
Проходной упорный										
Отрезной										

Необходимо помнить, что главные углы резца  $\alpha$  и  $\gamma$  измеряют в плоскости, нормальной к проекции главной режущей кромки на основную плоскость. Полученные значения заносят в таблицу 5.1.

Перед измерением углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$  измерительное устройство поворачивают на  $180^\circ$  и снова фиксируют (рис. 5.7). При измерении главного угла в плане  $\varphi$  резец прижимают к упору стола, а поворотную планку разворачивают до соприкосновения с главной режущей кромкой. Тогда указатель покажет значение угла  $\varphi$ .

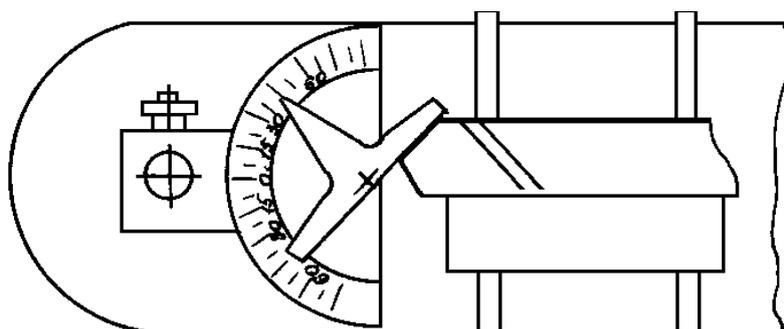


Рис. 5.7. Схема измерения углов в основной плоскости

Аналогично измеряют вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$ , только в этом случае поворотную планку разворачивают до соприкосновения со вспомогательной режущей кромкой.

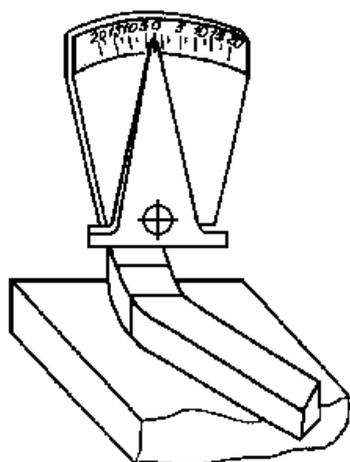


Рис. 5.8. Схема измерения угла  $\lambda$

Для определения величины угла  $\lambda$ , регулируя положение измерительного устройства по высоте, горизонтальную планку приводят в соприкосновение с главной режущей кромкой без зазора (рис. 5.8).

Практическое выполнение работы завершают расчётом по соответствующим зависимостям углов при вершине  $\epsilon$ , заострения  $\beta$  и резания  $\delta$ .

## Лабораторная работа

**Цель работы:** ознакомиться с основными типами, назначением и элементами токарных резцов, научиться пользоваться приборами для измерения геометрических параметров резцов.

**Задание и указания к выполнению:** произвести измерение геометрических параметров, предоставленных резцов; расшифровать марки материалов режущих пластин; определить области применения данных резцов. Подготовить отчет о работе.

### Содержание отчёта:

1. Краткое описание координатных плоскостей, частей и элементов токарного резца.
2. Рисунки 5.1, 5.3, 5.4.
3. Результаты измерения геометрических параметров резцов (табл. 5.1).
4. Выводы по результатам измерений.

### Контрольные вопросы

1. Что такое обработка металлов резанием?
2. Какие поверхности различают на обрабатываемой заготовке?
3. Назовите основные типы токарных резцов.
4. Перечислите поверхности на режущей части резца.
5. Для чего вводят координатные плоскости? Как они располагаются?
6. Какие углы измеряют в основной плоскости?
7. Какой угол измеряют в плоскости резания?
8. Какие углы измеряют в главной секущей плоскости?
9. На что влияет и от чего зависит величина угла в главной секущей плоскости?
10. На что влияет правильный подбор геометрических параметров резца?
11. Как маркируют спечённые твёрдые сплавы?

## **6. Исследование кинематической цепи металлорежущего станка**

### **6.1. Классификация металлорежущих станков**

В основу классификации металлорежущих станков, принятой у нас в стране, положен технологический принцип обработки — назначение станка, характер обрабатываемых поверхностей, схема обработки и др. Эта классификация построена по десятичной системе. Все станки (за исключением специальных) подразделяются на десять групп, каждая группа — на десять типов и каждый тип — на десять типоразмеров. В группы объединяются станки по общности технологического метода обработки или близкие по назначению.

Основные признаки деления станков на типы: вид обработки, применяемый инструмент, степень автоматизации, число важнейших рабочих органов станка и их расположение, технологические, конструктивные, эксплуатационные характеристики и прочее.

Все группы и типы станков можно представить в виде таблицы 6.1 (классификатор станков).

Система нумерации (условного обозначения) станков отечественного производства основана на присвоении каждой модели станка определённого номера. Обозначение модели станка состоит из трёх (или четырёх) цифр иногда с добавлением прописных букв, обозначающих дополнительную характеристику станка. Первая цифра индекса определяет группу станка (см. табл. 6.1); вторая указывает на тип станка в пределах данной группы, третья (а при четырёхцифровом обозначении — третья и четвёртая) условно характеризует основную техническую характеристику станка (например, высоту центров для токарно-винторезных станков, наибольший диаметр сверления для сверлильных станков, условный размер стола для фрезерных и строгальных станков и т. д.).

Таблица 6.1

## Классификация металлорежущих станков

Группа станков	Шифр группы	Шифр типа												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Резервные	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Токарные	1	Специализированные	Автоматы и полуавтоматы	Многошпиндельные	Револьверные	Сверлильноотрезные	Карусельные	Винтовые	Много-резцовые	Специализированные	Разные токарные			
		Специализированные	Многошпиндельные											
Сверлильные и расточные	2	-	Вертикально-носерлильные	Полуавтоматы	Многошпиндельные	Координатно-точные	Радиально-носерлильные	Горизонтально-расточные	Алмазонарасточные	Горизонтально-сверлильные	Разные			
		Сверлильные	Одношпиндельные											
Шлифовальные и доводочные	3	-	Кругло-шлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочно-шлифовальные	Специализированные	-	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные и полировальные	Разные, работающие абразивом			
		Шлифовальные	Внутришлифовальные											
Комбинированные	4	-	Универсальные	Полуавтоматы	Автоматы	Электромические	Электроискровые	-	Электроэрозионные	Анодно-механические	-			
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	Резьбонарезные	Зубодолбежные для цилиндрических колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные для цилиндрических колес	Зубофрезерные для нарезания червячных пар	Для обработки торцов зубьев	Резьбофрезерные	Зубоотделочные и проверочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбо- обрабатывающие			
		Фрезерные	Вертикальные конические	Непрерывного действия	-	Копировальные и гравировальные	Вертикальные бесконечные	Продольные	Консольные широко-универсальные	Горизонтальные консольные	Разные фрезерные			
Строгальные, долбежные и протяжные	7	-	Продольные	Двух-стоечные	Поперечно-строгальные	Долбежные	Протяжные горизонтальные	-	Протяжные вертикальные	-	Разные строгальные			
		Одно-стоечные	Разрезные, работающие											
Разрезные	8	-	Разрезные	Абразивным кругом	Гладким диском	Правильно-отрезные	Ленточные	Дисковые	Ножовочные	-	-			
		Разрезные	Разрезные											
Разные	9	-	Опловочные	Пилон-секательные	Правильно-обдирочные	Балансировочные	Для испытания сверел	Делительные	-	-	-			

Например, индекс 162 означает токарно–винторезный станок с высотой оси шпинделя над станиной 200 мм, что позволяет обрабатывать детали максимальным диаметром 400 мм.

1336 — токарно-револьверный станок с максимальным диаметром обрабатываемого прутка 36 мм.

612 — фрезерный, вертикально–консольный, стол номер 2 (размер стола 320×1250 мм).

2135 — вертикально–сверлильный станок с наибольшим диаметром сверления 35 мм.

Для отличия новой модели станка от выпускавшейся ранее к цифровому индексу добавляют букву. Буква за первой или второй цифрами указывает на изменение технической характеристики (модернизацию), например, токарный станок модели 1А62 имеет максимальную частоту вращения шпинделя 1200 об/мин и электродвигатель мощностью 7 кВт, а станок модели 1К62 соответственно 2000 об/мин и 10 кВт.

Буква в конце цифрового индекса определяет модификацию (видоизменение основной модели) и точность станка.

Различают станки нормальной точности — класс Н (в большинстве случаев не указывается), повышенной точности — класс П, высокой точности (прецизионные) — класс В, особо высокой точности — класс А, и особо точные (мастер станки) — класс С. Для обеспечения надёжной работы станков классов А, В, С их необходимо устанавливать в помещении с постоянной температурой окружающего воздуха.

По степени универсальности и специализации станки делят на универсальные, широкого назначения, специализированные и специальные.

Универсальные станки предназначены для выполнения самых различных работ при обработке деталей многих наименований (токарно-винторезные, сверлильные, фрезерные, шлифовальные и т. д.).

Станки широкого назначения — для выполнения определённых видов работ на заготовках многих наименований (сверлильно–отрезные, фрезерно–центровочные, центровочные и т. д.).

Специализированные станки предназначены для обработки деталей одного наименования или немногих наименований, сходных по конфигурации, но имеющих различные размеры, например, ступенчатых валиков, колец подшипников качения, коленчатых валов и т. п.

Специальные станки служат для обработки одной определённой детали (или деталей одного типоразмера), например, лопаток газовых турбин.

По массе станки разделяют на лёгкие (до 1 т), средние (до 10 т), тяжёлые (до 100 т) и уникальные (свыше 100 т).

По степени автоматизации станки подразделяются на станки с ручным управлением, полуавтоматы, автоматы и станки с программным управлением.

## 6.2. Кинематика станков

Для анализа движений различных органов станков применяют упрощённые, условные графические схемы механизмов, дающие наглядное представление о кинематике станков и в некоторой степени представление об их конструкции. Такие схемы называются кинематическими, для их вычерчивания применяют условные обозначения согласно ГОСТ 2.770—68.

Кинематическая схема станка состоит из отдельных кинематических цепей. Под кинематической цепью станка понимается совокупность ряда передач, обеспечивающих передачу движений от начального звена к конечному, например от электродвигателя к шпинделю. Кинематические цепи состоят из отдельных элементов — звеньев. Два взаимодействующих между собой звена составляют кинематическую пару, или передачу. Передачи передают движение от одного звена к другому или преобразуют одно движение в другое, например, вращательное в поступательное.

В передаче элемент, передающий движение, называется ведущим, а получающий движение — ведомым. Основным параметром передачи является передаточное отношение  $i$ , которое показывает во сколько раз частота вращения ведомого элемента  $n_2$  больше или меньше частоты вращения ведущего элемента  $n_1$ :

$$i = n_2/n_1.$$

Передаточное отношение кинематической цепи равно произведению передаточных отношений всех последовательно соединённых передач, составляющих данную цепь:

$$i_{ц} = i_1 \times i_2 \times i_3 \times \dots \times i_n.$$

Наиболее часто применяются шесть типов передач, комбинации которых позволяют создать самые разнообразные машины и механизмы — ремённые, цепные, зубчатые с цилиндрическими (оси параллельны) и коническими (оси перпендикулярны) колёсами, червячные, реечные и винтовые (рис. 6.1).

Ременная передача (рис. 6.1а) осуществляется клиновидными, плоскими или круглыми ремнями. Передаточное отношение ременной передачи:

$$i = d_1 \times \eta / d_2 = n_2 \times \eta / n_1,$$

где  $\eta = 0,98$  — коэффициент, учитывающий проскальзывание ремня;

$d_1$  — диаметр ведущего шкива, мм;

$d_2$  — диаметр ведомого шкива, мм;

$n_1, n_2$  — частоты вращения ведущего и ведомого валов.

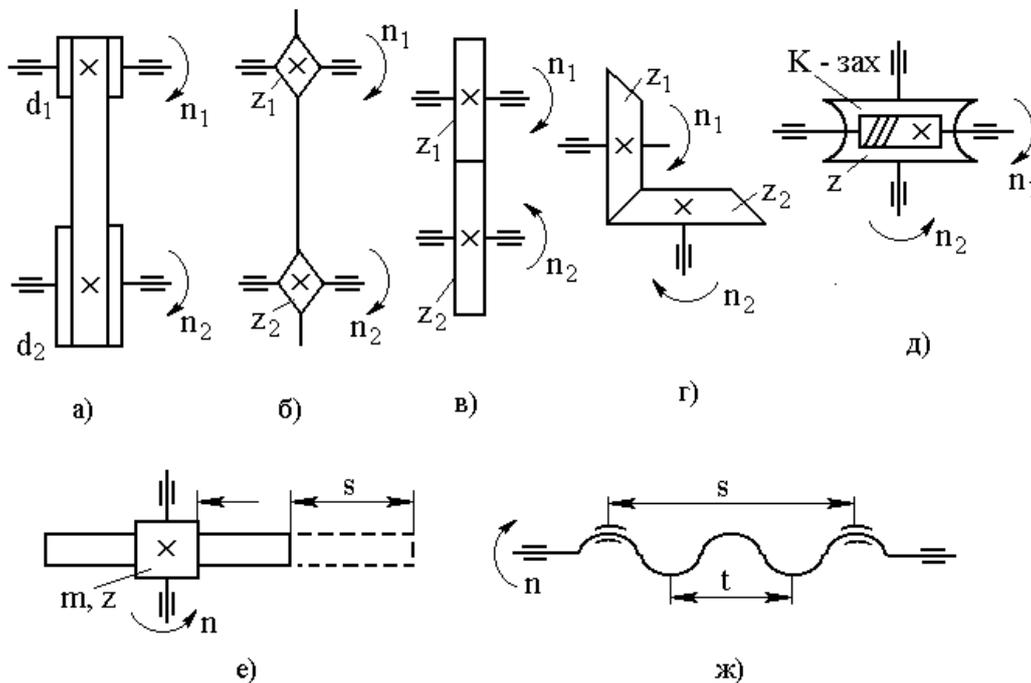


Рис. 6.1. Основные типы передач металлорежущих станков:  
 а — ременная; б — цепная; в, г — зубчатые; д — червячная;  
 е — реечная; ж — винтовая

Цепная передача (рис. 6.1б) осуществляется двумя звёздочками и соединяющей их роликовой цепью. Передаточное отношение цепной передачи

$$i = z_1 / z_2 = n_2 / n_1,$$

где  $z_1, z_2$  — количество зубьев ведущей и ведомой звёздочек;

$n_1, n_2$  — частоты вращения ведущего и ведомого валов.

Зубчатая передача (рис. 6.1в, г) состоит из пары цилиндрических или конических зубчатых колёс. Передаточное отношение зубчатой передачи

$$i = z_1 / z_2 = n_2 / n_1,$$

где  $z_1, z_2$  — количество зубьев ведомого и ведущего зубчатых колёс;

$n_1, n_2$  — частоты вращения ведущего и ведомого валов.

Червячная передача (рис. 6.1*д*) состоит из червячного колеса и червяка и применяется для резкого снижения частоты вращения. Червяк всегда является ведущим, а червячное колесо ведомым элементом.

Если число заходов червяка равно  $K$ , а червячное колесо имеет  $z$  зубьев, то передаточное отношение

$$i = K / z.$$

Реечная передача (рис. 6.1*е*) состоит из рейки и зубчатого колеса и служит для преобразования вращательного движения зубчатого колеса в поступательное движение рейки. Если число зубьев на колесе равно  $z$ , а модуль (величина зуба) и шаг (расстояние между вершинами соседних зубьев) рейки соответственно  $m$  и  $t$ , то при  $n$  оборотах шестерни рейка пройдёт путь

$$S = t \times z \times n = \pi \times m \times z \times n.$$

Винтовая передача (рис. 6.1*ж*) состоит из винта и гайки. Она преобразует вращательное движение винта в поступательное движение гайки. Если шаг винта (расстояние между вершинами соседних витков)  $t$ , то путь гайки  $S$  (в мм) за  $n$  оборотов винта равен

$$S = t \times n.$$

Для обеспечения регулирования частоты вращения шпинделя в кинематических цепях металлорежущих станков используются следующие механизмы (рис. 6.2):

1. Паросменные колёса (рис. 6.2*а*), устанавливающиеся с помощью шпоночных или шлицевых соединений на ведущем 1 и ведомом 2 валах. Для изменения частоты вращения ведомого вала колёса снимают с валов и меняют местами или устанавливают другую пару колёс.

2. Блоки подвижных колёс (рис. 6.2*б*) обеспечивают быстрое переключение скоростей. Колёса  $z_1, z_3, z_5$  жёстко насажены на вал 1. Блок, объединяющий колёса  $z_2, z_4, z_6$ , перемещаясь по валу 2, обеспечивает три передаточных отношения:

$$i_1 = z_1 / z_2; i_2 = z_3 / z_4; i_3 = z_5 / z_6.$$

Используются подвижные блоки с двумя, тремя и, реже, с четырьмя колёсами.

3. Механизм перебора (рис. 6.2*в*) обеспечивает передачу вращения от ведущего шкива прямо на шпиндель 1 (муфта М включена  $i_1 = 1$ ) либо через шестерни перебора и вал 2 (муфта М выключена):

$$i_2 = (z_1 / z_2) \times (z_4 / z_3).$$

Перебор позволяет резко снизить частоту вращения шпинделя, например, при нарезании резьбы.

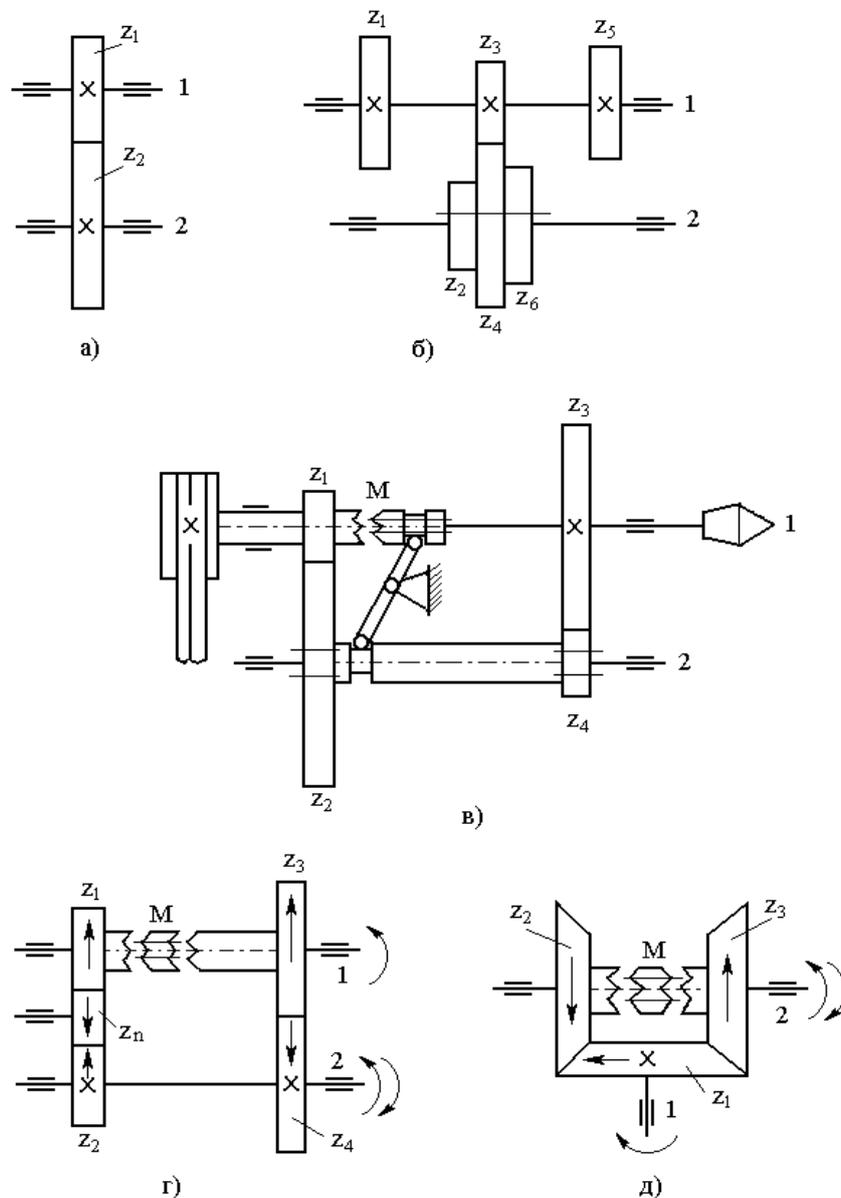


Рис. 6.2. Механизмы металлорежущих станков:  
 а — паросменные колёса; б — блок подвижных колёс;  
 в — механизм перебора; г, д — реверсивные механизмы

4. Реверсивный механизм из цилиндрических зубчатых колёс (рис. 6.2г) обеспечивает вращение ведомого вала 2 в прямом и обратном направлении. С помощью кулачковой муфты  $M$  вращение от вала 1 к валу 2 передаётся либо через колёса  $z_1, z_n, z_2$ , тогда направление вращения вала 2 совпадает с направлением вращения вала 1, либо через колёса  $z_3$  и  $z_4$ , тогда направление вращения вала 2 не совпадает с направлением вращения вала 1.

5. Реверсивный механизм с коническими зубчатыми колёсами (рис. 6.2д) применяется в тех случаях, когда ведомый и ведущий валы перпендикулярны друг другу. Вращение от ведущего вала 1 через коническое колесо  $z_1$  передаётся на ведомые колёса  $z_3$  и  $z_2$ , которые свободно вращаются на ведомом валу 2 навстречу друг другу. Муфта М, входя в зацепление с коническими колёсами  $z_2$  или  $z_3$ , обеспечивает вращение вала 2 в прямом или обратном направлении.

В металлорежущих станках (со ступенчатым регулированием) частоты вращения шпинделя назначают по закону геометрического ряда, т. е.

$$n_{\min} = n_1; n_2 = n_1 \times \varphi; n_3 = n_2 \times \varphi = n_1 \times \varphi^2; \dots; n_i = n_1 \times \varphi^{i-1},$$

где  $\varphi$  — знаменатель геометрической прогрессии.

Отношение наибольшей частоты вращения шпинделя станка к наименьшей называется диапазоном регулирования станка  $R$ :

$$R = n_{\max} / n_{\min}.$$

Величина  $R$  показывает универсальность станка. Если число частот вращения шпинделя равно  $Z$ , то  $n_{\max} = n_{\min} \times \varphi^{Z-1}$ , а величина знаменателя геометрического ряда

$$\varphi = \sqrt[Z]{n_{\max} / n_{\min}} = \sqrt[Z]{R}.$$

Относительное изменение частот вращения  $\Delta n$  между двумя соседними частотами вращения  $n_1$  и  $n_2$ , выраженное в процентах, представляет собой перепад скоростей  $A$ :

$$A = 100 \times (n_2 - n_1) / n_2 = 100 \times (\varphi - 1) / \varphi = \text{const.}$$

Значения знаменателей геометрического ряда частот вращения и перепады скоростей металлорежущих станков стандартизированы и приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2

Стандартные значения знаменателей геометрического ряда и перепадов скоростей металлорежущих станков

$\varphi$	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2
$A, \%$	5	10	20	30	40	45	50

В современных металлорежущих станках частота вращения шпинделя регулируется при помощи коробок скоростей. Их конструируют встроенными в станину или переднюю бабку станка.

### 6.3. Расчет уравнения кинематической цепи станка

На рисунке 6.3 представлена схема двенадцатиступенчатой коробки скоростей. Для передачи вращения от электродвигателя валу 1 служит клиноременная передача; от вала 1 валу 2 — механизм с тройным блоком, обеспечивающий передаточное отношение 27/55, 21/61 или 34/48; от вала 2 валу 3 — механизм с двойным блоком, обеспечивающий передаточное отношение 22/60 или 41/41; от вала 3 валу 4 — цилиндрическая зубчатая передача (52/38), а далее либо прямо на шпиндель ( $i = 1$ ), если муфта включена, либо через механизм перебора ( $i = 20/56 \times 20/56$ ), если муфта выключена.

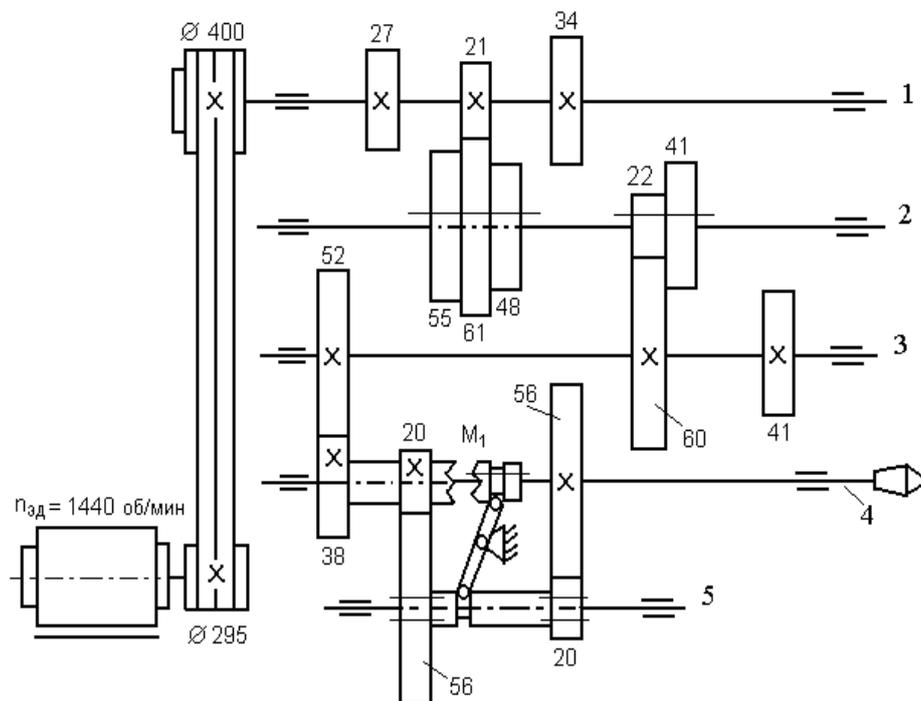


Рис. 6.3. Двенадцатиступенчатая коробка скоростей

Для расчёта всех частот вращения шпинделя ( $n_{ш}$ ) составляют уравнение кинематической цепи, представляющее собой произведение частоты вращения приводного электродвигателя ( $n_{эд}$ ) на передаточное отношение всех последовательных передач от электродвигателя к шпинделю:

$$n_{ш} = 1440 \times \frac{295}{400} \times 0,98 \times \frac{27/55}{34/48} \times \frac{41/41}{22/60} \times \frac{52}{38} \times \frac{1}{\frac{20}{56} \times \frac{20}{56}};$$

$$n_{ш} = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times \frac{0,49}{0,71} \times \frac{1}{0,37} \times 1,37 \times \frac{1}{0,127}.$$

Таким образом, данная кинематическая цепь благодаря одному механизму с тройным блоком, одному механизму с двойным блоком и механизму перебора обеспечивает ( $3 \times 2 \times 2 = 12$ ) частот вращения шпинделя:

$$n_1 = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times 0,49 \times 1 \times 1,37 \times 1 = 701;$$

$$n_2 = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times 0,71 \times 1 \times 1,37 \times 1 = 1015;$$

$$n_3 = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times 0,34 \times 1 \times 1,37 \times 1 = 486;$$

$$n_4 = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times 0,49 \times 0,37 \times 1,37 \times 1 = 259;$$

$$n_5 = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times 0,71 \times 0,37 \times 1,37 \times 1 = 376;$$

$$n_6 = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times 0,34 \times 0,37 \times 1,37 \times 1 = 180;$$

$$n_7 = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times 0,49 \times 1 \times 1,37 \times 0,127 = 89;$$

$$n_8 = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times 0,71 \times 1 \times 1,37 \times 0,127 = 129;$$

$$n_9 = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times 0,34 \times 1 \times 1,37 \times 0,127 = 62;$$

$$n_{10} = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times 0,49 \times 0,37 \times 1,37 \times 0,127 = 33;$$

$$n_{11} = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times 0,71 \times 0,37 \times 1,37 \times 0,127 = 48;$$

$$n_{12} = 1440 \times 0,74 \times 0,98 \times 0,34 \times 0,37 \times 1,37 \times 0,127 = 23.$$

Полученные частоты вращения шпинделя переписывают в порядке возрастания:

$$n_{\min} = n_1 = 23; n_2 = 33; n_3 = 48; n_4 = 62; n_5 = 89; n_6 = 129; n_7 = 180;$$

$$n_8 = 259; n_9 = 376; n_{10} = 486; n_{11} = 701; n_{12} = n_{\max} = 1015.$$

После этого определяют диапазон регулирования  $R$ , величину знаменателя геометрического ряда  $\varphi$  и перепад скоростей  $A$ :

$$R = n_{\max} / n_{\min} = 1015 / 23 = 44,1;$$

$$\varphi = n_2 / n_1 = n_5 / n_4 = n_{12} / n_{11}, \text{ или } \varphi = \sqrt[11]{\frac{1015}{23}} = 1,41;$$

$$A = (\varphi - 1) \times 100\% / \varphi = (1,41 - 1) \times 100\% / 1,41 = 29\%.$$

## Лабораторная работа

**Цель работы:** ознакомиться с кинематическими схемами металлорежущих станков, их классификацией и маркировкой.

**Задание и указания к выполнению:** изучить отдельные элементы, составить общее уравнение и рассчитать основные параметры кинематической цепи станка; расшифровать цифровой индекс заданной модели станка. Подготовить отчет о выполнении работы.

### Содержание отчёта:

1. Эскиз кинематической схемы станка.
2. Расшифровка индекса данного станка.
3. Уравнение кинематической цепи станка.
4. Расчёт уравнения кинематической цепи.

### Контрольные вопросы

1. Как классифицируют металлорежущие станки?
2. Что определяет индекс металлорежущего станка?
3. Что называется кинематической схемой станка?
4. Какие передачи наиболее часто встречаются в металлорежущих станках?
5. Что называется передаточным отношением?
6. Чему равно передаточное отношение кинематической цепи?
7. Какие механизмы используют для регулирования частоты вращения?
8. Какие механизмы применяют для изменения направления вращения валов?
9. Для чего служит механизм перебора?

## 7. Нарезание цилиндрических зубчатых колёс

### 7.1. Элементы зубчатого колеса

Одной из важнейших функций делительной головки является нарезание с её помощью прямозубых, винтовых и червячных зубчатых колёс. Приступая к работе, необходимо ознакомиться с элементами зубчатого колеса (рис. 7.1).

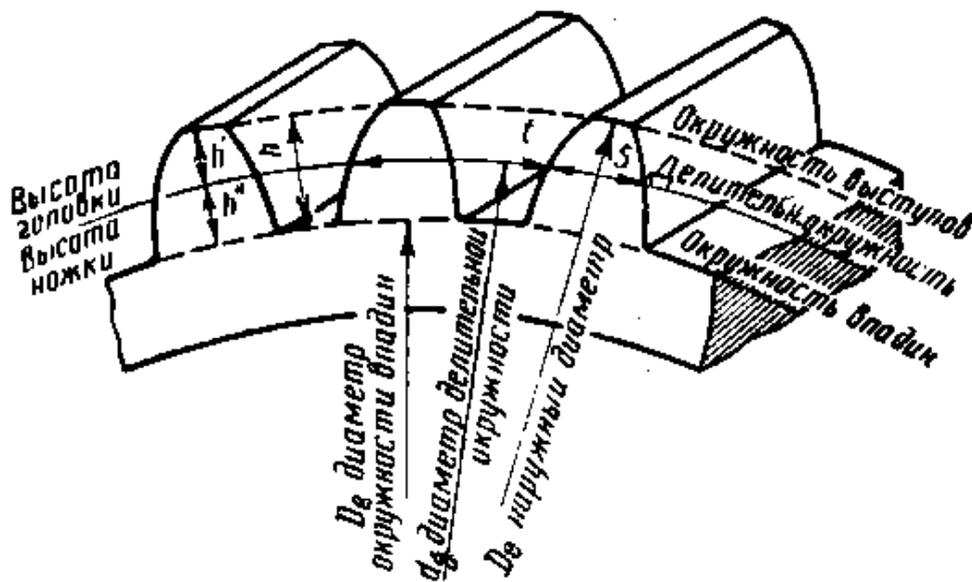


Рис. 7.1. Элементы цилиндрического зубчатого колеса

Делительная (начальная) окружность  $d_d$  (в мм), по которой происходит качение зубчатой пары без скольжения, для нормального зуба и угла профиля

$$\square\square\square \square\square^\circ\square$$

Шаг зацепления  $t$ , мм — расстояние между одноимёнными сторонами двух соседних зубьев, измеренное по дуге делительной окружности. Шаг зацепления равен сумме толщины зуба  $S$  (мм) и ширины впадины  $S_e$  (мм):

$$t = S + S_e.$$

Толщина зуба  $S$  и ширина впадины  $S_e$  по дуге делительной окружности нормального колеса теоретически равны.

Из определения шага следует, что длина делительной окружности зубчатого колеса равняется

$$\pi \cdot d_d = t \cdot Z,$$

где  $Z$  — число зубьев.

Следовательно,

$$d_o = t \cdot Z / \pi$$

Шаг зацепления  $t$  так же, как длина окружности  $d_o$ , включает в себя трансцендентное (не удовлетворяющее никакому алгебраическому уравнению с целыми коэффициентами) число  $\pi$ , а поэтому шаг — число также трансцендентное.

Для удобства расчётов и измерения зубчатых колёс в качестве основного расчётного параметра принято рациональное число  $t/\pi$ , которое называется модулем зацепления  $m$ , мм:

$$m = t / \pi,$$

тогда

$$d_o = m \cdot Z, \text{ или } m = d_o / Z.$$

Следовательно, модулем зацепления  $m$  называется часть диаметра делительной окружности, приходящаяся на один зуб. Модуль является основной характеристикой размеров зубьев и его значения регламентированы ГОСТом.

**Высота головки и ножки зуба.** Делительная (начальная) окружность рассекает зуб по высоте на головку  $h'$  и ножку  $h''$ .

Для создания радиального зазора  $C$

$$h'' = h' + C, \text{ мм.}$$

Для нормального (некорригированного) зацепления

$$h' = m, \text{ мм; } \quad h'' = 1,2 \cdot m, \text{ мм.}$$

Высота зуба  $h = h' + h'' = 2,2 \cdot m$ , мм.

Наружный диаметр зубчатого колеса  $D_e$  измеряют по окружности выступов и определяют

$$D_e = d_d + 2 \cdot h' = m \cdot Z + 2 \cdot m = m \cdot (Z + 2).$$

## 7.2. Сущность метода копирования

Метод копирования заключается в образовании зубьев фасонным инструментом (модульными фрезами), профиль режущей части которого в осевой плоскости соответствует профилю впадины зуба (рис. 7.2в).

Основные схемы обработки зубьев методом копирования модульными дисковыми и пальцевыми (применяются реже) фрезами показаны на рисунках 7.2б и 7.2а.

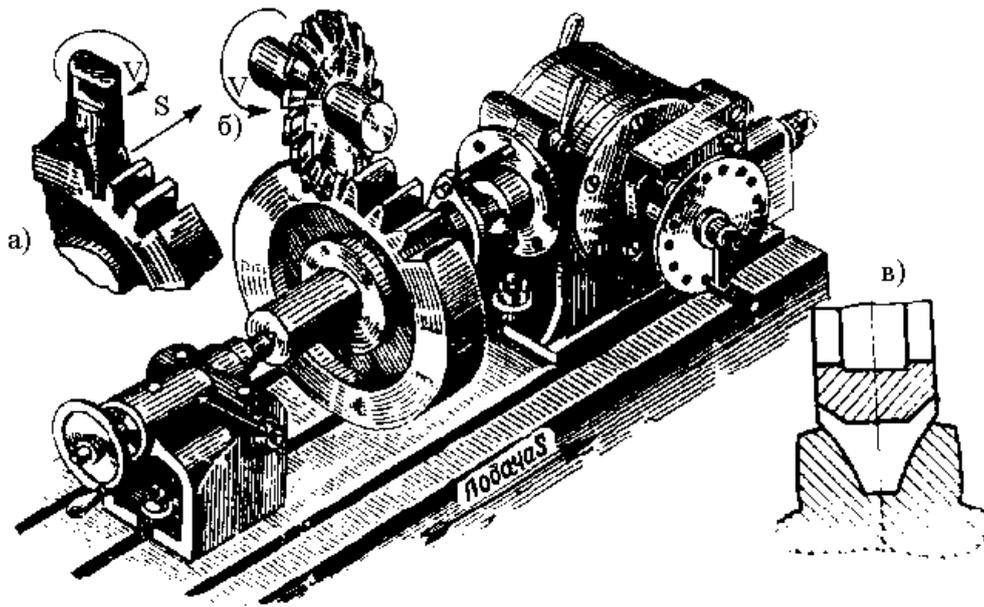


Рис. 7.2. Обработка впадины зуба методом копирования

Заготовку устанавливают на оправке делительной головки. Для нарезания зубьев на заготовке колеса необходимы три движения (рис. 7.2):

- главное движение — вращение фрезы;
- движение подачи — относительное перемещение инструмента вдоль образующей зуба;
- движение деления — периодический поворот заготовки на один зуб после обработки очередной впадины.

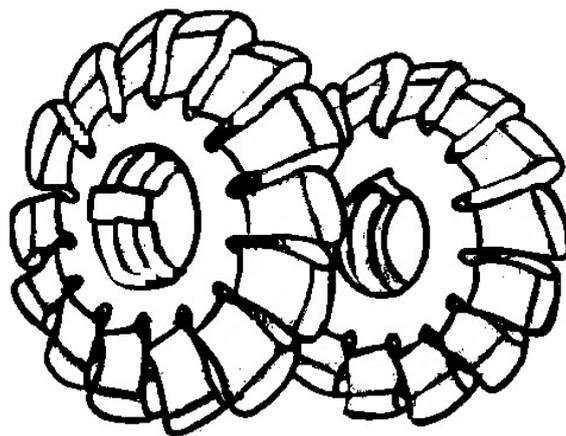


Рис. 7.3. Дисковые модульные фрезы

Обычно нарезание зубьев производят дисковыми модульными фрезами (рис. 7.3), имеющими затылованные зубья, обеспечивающими сохранение профиля зуба при переточке по передней поверхности.

Так как профиль зуба колеса зависит от модуля и числа зубьев, то для каждого модуля надо было бы иметь специальную фрезу для каждого числа зубьев. На практике обычно пользуются наборами фрез различного профиля (набор из 8, 15 или 27 фрез) для каждого модуля. Каждая фреза набора имеет свой номер и предназначена для нарезания ряда значений числа зубьев. Для набора из 8 фрез (наиболее распространённого) предусмотрено следующее распределение фрез между числами зубьев изготавливаемых колёс (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Набор из восьми дисковых модульных фрез

№ фрезы	1	2	3	4	5	6	7	8
Интервал чисел зубьев нарезаемых колёс	12–13	14–16	17–20	21–25	26–34	35–54	55–134	135 и более

Профиль каждой фрезы набора изготовлен по наименьшему числу зубьев интервала (например, у фрезы № 2 по  $Z = 14$ ), следовательно, наибольшая погрешность получается при изготовлении колёс с наибольшим числом зубьев каждого интервала. Кроме погрешности, связанной с неточностью инструмента, всегда имеет место погрешность в работе делительной головки.

Метод копирования применяется только в индивидуальном и иногда в мелкосерийном производстве.

### 7.3. Наладка станка

Заготовку зубчатого колеса закрепляют на оправке гайкой. Оправку зажимают в трёхкулачковом патроне, который навинчивают на шпиндель делительной головки. Второй конец оправки поддерживают задней бабкой (рис. 7.2).

Соответствующую дисковую модульную фрезу крепят на оправке шпинделя станка и устанавливают ее по центру заготовки. Для этого стол поднимают до тех пор, пока центр оправки заготовки не окажется на одном уровне с нижней частью фрезы. Затем стол передвигают в поперечном направлении до тех пор, пока центр оправки заготовки не совпадёт с вершиной зуба фрезы. После этого стол опускают и подводят заготовку под фрезу (продольной подачей) так, чтобы лист тонкой бумаги, помещённый между

ними, закусывался. После этого заготовку отводят от фрезы, сообщая столу продольную подачу, и поднимают стол на глубину фрезерования, производя отсчёт по лимбу.

Прежде чем приступить к нарезанию зубьев, необходимо проверить наладку и настройку станка. Режимы резания — скорость резания и подачу находят по таблицам для обработки данного материала.

Глубина резания равна высоте зуба,  $t = h$ .

## 7.4. Универсальные делительные головки

Делительные головки являются важными принадлежностями консольно-фрезерных станков, особенно универсальных, и применяются при необходимости фрезерования граней, пазов, шлицев, зубьев колёс и инструментов, расположенных под определённым углом друг относительно друга. Их можно использовать для простого и дифференциального деления.

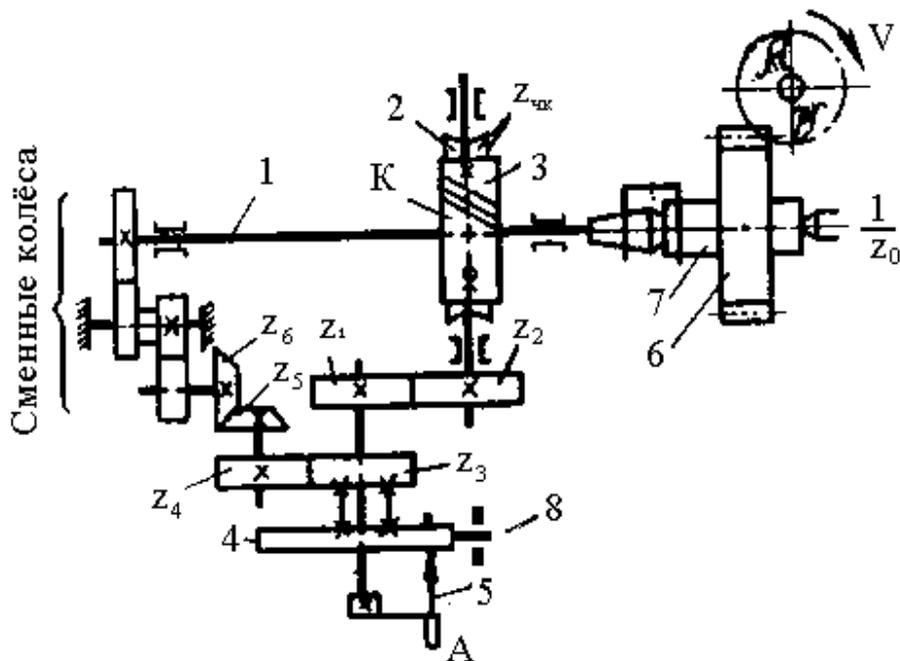


Рис. 7.4. Кинематическая схема универсальной делительной головки

Для подсчёта требуемого угла поворота шпинделя 1 делительной головки (рис. 7.4), а следовательно, и оправки 7 с закреплённой на ней обрабатываемой деталью 6, служит делительный диск (лимб) 4, имеющий с обеих сторон несколько рядов отверстий, расположенных на концентрических окружностях. Отверстия на диске предназначены для фиксации рукоятки А в определённых положениях при помощи стержня фиксатора 5.

Передача от рукоятки к шпинделю делительной головки осуществляется по двум кинематическим цепям.

При дифференциальном делении освобождается стопор 8, крепящий лимб к корпусу делительной головки, отключается червячная пара 2, 3 и при вращении рукоятки с лимбом передача к шпинделю осуществляется по цепи

$$Z_3 / Z_4 \cdot Z_5 / Z_6 \cdot i_{см},$$

где  $i_{см}$  — передаточное отношение сменных зубчатых колёс.

При простом делении сменные зубчатые колёса отключены, лимб неподвижен, стержень фиксатора утоплен в рукоятке, при вращении которой движение к шпинделю передаётся по цепи

$$Z_1 / Z_2 \cdot K / Z_{чк}.$$

Характеристикой делительной головки  $N$  называется величина, обратная передаточному отношению червячной пары (обычно  $N = 40$ ).

**Настройка делительной головки на простое деление.** При настройке делительной головки на простое деление сменные зубчатые колёса удаляются и уравнение кинематической цепи настройки имеет вид

$$b / a \cdot Z_1 / Z_2 \cdot K / Z_{чк} = 1 / Z_0,$$

где  $Z_0$  — число делений, которые необходимо выполнить;

$a$  — число отверстий на соответствующей расчёту концентрической окружности делительного диска 4;

$b$  — число отверстий, на которые перемещается рукоятка А;

$Z_{чк}$  — число зубьев червячного колеса;

$K$  — число заходов червяка.

Из уравнения следует

$$b / a = Z_{чк} / Z_0 \cdot K \cdot Z_2 / Z_1,$$

где  $Z_{чк} = 40$ ;

$K = 1$ ;

$Z_1 = Z_2$ ,

отсюда

$$b / a = 40 / Z_0.$$

К делительной головке (УДГД-160) прилагается делительный диск, имеющий по семь концентрических окружностей с отверстиями на каждой стороне. Число отверстий делительного диска: на одной стороне — 16, 19, 23, 30, 33, 39 и 49; на другой стороне — 17, 21, 29, 31, 37, 41 и 54.

Максимальный диаметр обрабатываемой детали 160 мм.

**Пример настройки.** Настроить делительную головку для обработки зубчатого колеса  $Z_o = 34$ :

$$b/a = 40/34 = 20/17 = 1(3/17).$$

Следовательно, для осуществления данного деления необходимо произвести один полный оборот рукоятки и на окружности с числом отверстий 17 повернуть рукоятку на угол, соответствующий  $3 + 1$  отверстиям, и зафиксировать её в этом положении.

Для установки рукоятки с фиксатором на требуемую окружность делительного диска (рис. 7.5) нужно отпустить зажимную гайку, повернуть рукоятку так, чтобы стержень фиксатора попал в отверстие окружности, и вновь закрепить гайку.

Для отсчётов делений пользуются раздвижным сектором, состоящим из двух линеек 1 и 5, зажимного винта 3 для крепления их под требуемым углом и пружинной шайбы, удерживающей сектор от произвольного поворота.

После определения необходимой окружности на делительном диске и расчётного числа отверстий, на которое следует переставить фиксатор, сектор устанавливают так, чтобы число отверстий между линейками было на единицу больше числа, полученного при подсчёте (позиции 2 и 4), и поворачивают его сразу после перестановки фиксатора. Сектор должен находиться в данном положении до следующего деления, причём подводить его к отверстию следует плавно и осторожно, чтобы фиксатор, снятый с предохранителя, вошёл в отверстие под действием пружины.

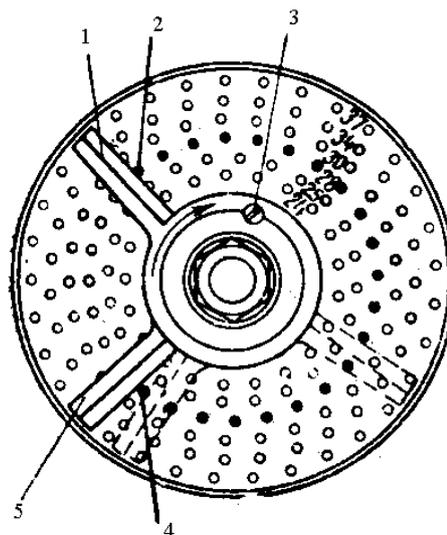


Рис. 7.5. Делительный диск (лимб)

Если рукоятка переведена дальше требуемого отверстия, её отводят назад на четверть или пол оборота и вновь доводят до соответствующего отверстия. Для точности деления рукоятку с фиксатором следует вращать всегда в одном направлении.

Число оборотов рукоятки при простом делении на любое число частей от 2 до 43 приведено в таблице 7.2, при дифференциальном делении на число частей от 43 до 400 — в таблице 7.3.

Таблица 7.2

## Число оборотов рукоятки делительного диска при простом делении

Число частей, на которое требуется разделить деталь	Число полных оборотов рукоятки	Число отверстий, отсчитываемых сектором на окружности делительного диска	Число отверстий, на выбранной окружности делительного диска	Число частей, на которое требуется разделить деталь	Число полных оборотов рукоятки	Число отверстий, отсчитываемых сектором на окружности делительного диска	Число отверстий на выбранной окружности делительного диска
2	20	—	—	23	1	17	23
3	13	11	33	24	1	22	33
4	10	10	30	25	1	20	30
5	8	13	39	26	1	26	39
6	6	—	—	27	1	18	30
7	5	22	33	28	1	21	39
8	5	20	30	29	1	26	54
9	4	26	39	30	1	21	49
10	4	35	49	31	1	9	21
11	3	15	21	32	1	11	29
12	3	—	—	33	1	11	33
13	3	—	—	34	1	10	30
14	2	24	54	35	1	13	39
15	2	—	—	36	1	9	31
	2	21	33	37	1	4	16
	2	13	39	38	1	7	33
	2	10	30		1	3	17
	2	3	9		1	7	49
	2	42	49		1	3	21
	2	18	21		1	6	54
	2	22	33		1	3	37
	2	20	30		1	1	19

	2	26	39	39	1	1	1	39	1	39
16	2	8	16	40	1	1	1	40	—	—
17	2	15	30	41	—	—	—	40	41	41
18	2	27	54	42	—	—	—	20	21	21
19	2	6	17							
20	2	12	54							
21	2	2	19							
22	1	—	—							
	1	19	2							
	1	27	33							

Таблица 7.3

Число оборотов рукоятки делительного диска при дифференциальном делении

Число частей, на которое требуется разделить деталь	Число отверстий, на которое требуется повернуть рукоятку	Число отверстий на выбранной окружности делительного диска	Число зубьев сменных шестерён				Число паразитных шестерён
			на шпинделе	1-й промежуточный	на валу привода делительного диска	на валу привода делительного диска	
43х	40	43	—	—	—	—	—
43	48	54	80	30	40	60	—
44	30	33	—	—	—	—	—
45	48	54	—	—	—	—	—
46	20	23	—	—	—	—	—
47х	40	47	—	—	—	—	—
47	25	30	50	—	—	60	1
48	25	30	—	—	—	—	—
49	40	49	—	—	—	—	—
50	24	30	—	—	—	—	—
51	24	30	40	—	—	50	2
52	30	39	—	—	—	—	—
53	24	30	60	—	—	25	2



## 7.5. Контроль размеров зуба

Нарезав первый зуб, необходимо измерить его толщину штангенциркулем или штангензубомером и высоту зуба — глубомером.

Толщина зуба

$$S = m \cdot a,$$

где  $m$  — модуль зубчатого колеса в мм;

$a$  — поправочный коэффициент (табл. 7.4).

Таблица 7.4

Зависимость величины поправочного коэффициента от числа зубьев

Число зубьев	$a$	Число зубьев	$a$
12...13	1,0514	26...34	1,0237
14...16	1,0440	35...54	1,0176
17.20	1,0362	55...134	1,0112
21...25	1,0292	135 и более	1,0047

## Лабораторная работа

**Цель работы:** ознакомиться с устройством и работой универсальной делительной головки. Освоить сущность способа простого деления, применяемого при обработке зубчатых колёс методом копирования.

**Задание и указания к выполнению работы:** настроить универсально-фрезерный станок 6Н80 на требуемый режим обработки; рассчитать настройку универсальной делительной головки УДГД 160 на нарезание прямозубого цилиндрического колеса и настроить её на работу; установить на станок и выверить заготовку и инструмент, обработать деталь. Проверить результаты обработки и составить отчёт.

### Содержание отчёта:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Эскиз детали (с приведением расчёта параметров зубчатого колеса) и кинематическая схема делительной головки.
4. Расчёт настройки делительной головки на простое деление
5. Расчёт элементов режима резания (глубины резания  $t$ , мм; подачи  $S$ , мм/об; скорости резания  $V$ , м/мин).
6. Краткие выводы по выполненной работе.

## Контрольные вопросы

1. Каковы основные элементы зубчатого колеса?
2. В чём заключается сущность метода копирования при нарезании цилиндрических зубчатых колёс?
3. Какие движения участвуют в образовании зуба при нарезании?
4. Как выбирают дисковые модульные фрезы для обработки заданного числа зубьев
5. Как настроить станок на заданные режимы резания?
6. Назначение, устройство и кинематическая схема универсальной делительной головки.
7. Какая величина является характеристикой делительной головки?
8. В чём заключается сущность метода простого деления и расчёта деления окружности на заданное количество частей?
9. Каков порядок наладки станка и делительной головки на обработку цилиндрических зубчатых колёс с прямым зубом?
10. Как проверить наладку станка, делительной головки, обрабатываемой детали и инструмента перед нарезанием зубьев?
11. В чём заключается контроль качества выполненной работы по нарезанию зубчатого колеса?

## 8. Тарировка токарного динамометра

### 8.1. Сила резания

Деформирование и срезание с заготовки слоя металла происходит под действием внешней силы  $P$ , приложенной со стороны инструмента к обрабатываемой заготовке, направление которой совпадает с направлением скорости резания  $V$ . Произведение  $P \times V$  представляет собой работу, затрачиваемую на деформацию и разрушение материала заготовки:

$$A = A_y + A_{\text{п}} + A_{\text{т}},$$

где  $A_y$  — работа, затраченная на упругое деформирование металла;

$A_{\text{п}}$  — работа, затраченная на пластическое деформирование металла и его разрушение;

$A_{\text{т}}$  — работа, затраченная на преодоление сил трения задней поверхности инструмента о заготовку и стружки о переднюю поверхность инструмента.

В результате сопротивления металла деформированию возникают реактивные силы нормального давления и трения, действующие на резец. Реактивные силы — это силы упругого  $P_{y1}$  и пластического  $P_{\text{п}1}$  деформирования, действующие перпендикулярно передней поверхности резца, и силы  $P_{y2}$  и  $P_{\text{п}2}$ , действующие перпендикулярно главной задней поверхности резца (рис. 8.1а). Наличие нормально действующих сил обуславливает возникновение: действующей вдоль передней поверхности резца силы трения

$$T_1 = f_1 \times (P_{y1} + P_{\text{п}1});$$

действующей вдоль главной задней поверхности резца силы трения

$$T_2 = f_2 \times (P_{y2} + P_{\text{п}2}),$$

где  $f_1$  и  $f_2$  — коэффициенты трения стружки о резец и резца о заготовку.

Указанную систему сил приводят к одной силе  $R$  — равнодействующей силе резания. Условно считают, что точка приложения силы  $R$  находится на рабочей части главной режущей кромки резца (рис. 8.2б).

Абсолютная величина, точка приложения и направление в пространстве равнодействующей силы резания  $R$  в процессе обработки являются переменными. Это объясняется неоднородностью структуры и переменной

поверхностной твердостью материала заготовки, непостоянством сечения срезаемого слоя (наличие штамповочных и литейных уклонов, галтелей и т. д.), изменением углов  $\gamma$  и  $\alpha$  в процессе резания и т. д.

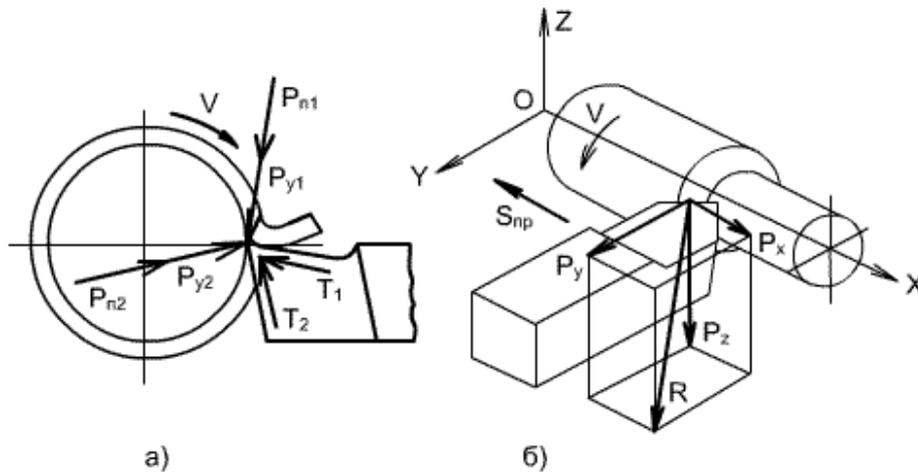


Рис. 8.1. Составляющие силы резания:  
а — схема сил, действующих на резец;  
б — разложение силы резания на составляющие

Для практических расчётов используют не равнодействующую силу резания, а ее составляющие, действующие по трём взаимно перпендикулярным направлениям — координатным осям металлорежущего станка. Такими осями для токарного станка являются: ось  $x$  — линия центров станка; ось  $y$  — линия, перпендикулярная к оси центров станка; ось  $z$  — линия, перпендикулярная к плоскости  $x — y$  (рис. 8.1б).

Вертикальная составляющая силы резания  $P_z$  действует в плоскости резания в направлении главного движения (по оси  $z$ ). По силе  $P_z$  определяют крутящий момент на шпинделе станка (заготовке), эффективную мощность резания, деформацию изгиба заготовки в плоскости  $x — z$ , изгибающий момент  $M_z$ , действующий на стержень резца; по силе  $P_z$  ведут динамический расчет механизмов коробки скоростей станка.

Радиальная составляющая силы резания  $P_y$  действует в плоскости  $x — y$  перпендикулярно оси заготовки. По силе  $P_y$  определяют упругое отжатие резца от заготовки и деформацию изгиба заготовки в плоскости  $x — y$ . Она способствует вибрации и влияет на точность и качество обработанной поверхности.

Осевая составляющая силы резания  $P_x$  действует в плоскости  $x — y$  вдоль оси заготовки. По силе  $P_x$  рассчитывают механизмы коробки подачи и фартука станка, изгибающий момент  $M_x$ , действующий на стержень резца.

По величине деформации заготовки от сил  $P_z$  и  $P_y$  рассчитывают ожидаемую точность размерной обработки заготовки и погрешность ее геометрической формы. По величине суммарного изгибающего момента от сил  $P_z$  и  $P_x$  рассчитывают стержень резца на прочность.

Величину и направление равнодействующей силы резания определяют как диагональ параллелепипеда, построенного на составляющих силах:

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}.$$

Соотношение между силами  $P_z : P_y : P_x$  не остается постоянным и зависит от геометрии режущей части резца, режима резания, износа резца физико-механических свойств обрабатываемого материала и условий обработки.

На практике обычно определяют лишь силу  $P_z$ , а значение сил  $P_y$  и  $P_x$  берут в частях от  $P_z$ . При обработке стали резцом с  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$  без охлаждения отношение соответствующих сил можно принять равным

$$P_z : P_y : P_x = 1 : 0,45 : 0,35.$$

Отношения  $P_y : P_z : P_x$  возрастают с увеличением износа резца; с уменьшением угла  $\varphi$  увеличивается отношение  $P_y : P_z$ ; с увеличением подачи возрастает отношение  $P_x : P_z$  и т. д.

Крутящий момент на шпинделе станка  $M_k$  (Н × м):

$$M_k = P_z \times D_{\text{заг.}} / 2 \times 1000,$$

где  $D_{\text{заг.}}$  — диаметр обрабатываемой заготовки, мм;

1000 — коэффициент перевода миллиметров в метры.

Эффективная мощность резания  $N_e$  — мощность, расходуемая на процесс деформирования и срезание с заготовки слоя материала.

При точении цилиндрической поверхности на токарно-винторезном станке эффективная мощность резания  $N_e$  (кВт)

$$N_e = P_z \times V / 60 \times 10^3 + P_x \times n \times S_{\text{пр.}} / 60 \times 10^6,$$

где  $V$  — скорость резания, м/мин;

$n$  — частота вращения заготовки, мин<sup>-1</sup>;

$S_{\text{пр.}}$  — продольная подача, мм/об.

Мощность электродвигателя станка  $N_э$  (кВт)

$$N_э = N_e / \eta,$$

где  $\eta$  — КПД механизмов станка.

Значение вертикальной составляющей силы резания  $P_z$  можно измерить однокомпонентным инерционным динамометром ДК-1.

## 8.2. Токарный динамометр ДК-1

Принцип действия динамометра основан на измерении упругой деформации торсионных элементов, величина которой, согласно закону Гука, пропорциональна приложенной нагрузке.

Динамометр ДК-1 (рис. 8.2) устанавливают на суппорте токарного станка вместо предварительно снятого резцедержателя и закрепляют болтом, проходящим через отверстие 4. Корпус динамометра 3 выполнен таким образом, что державка 7, в которой закрепляется резец 1, оказывается соединенной с остальной частью динамометра посредством торсионных брусков 2. Под действием вертикальной составляющей силы резания  $P_z$  резец слегка поворачивается вокруг горизонтальной оси, закручивая торсионные бруски. При этом свободный конец длинной планки 6, прикрепленной к державке 7, поднимается и нажимает на ножку индикатора 5. Ножка индикатора перемещается пропорционально деформации торсионных брусков и, следовательно, вертикальной составляющей силы резания  $P_z$ .

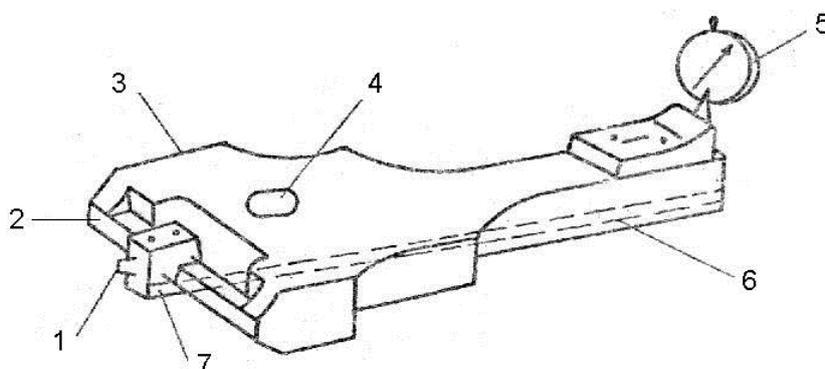


Рис. 8.2. Токарный динамометр ДК-1

**Тарировка динамометра.** Для определения цены деления индикатора динамометр тарируют, т. е. устанавливают зависимость между силой  $P_z$ , действующей на резец динамометра, и показанием индикатора  $\delta$ . Для этого вместо резца в оправке динамометра закрепляют штангу с подвеской для грузов (рис. 8.3), стрелку индикатора устанавливают в нулевое положение, а на подвеску поочередно навешивают грузы, занося в таблицу 8.1 показания индикатора и массу грузов. По окончании нагрузки штангу постепенно разгружают, показания индикатора и массу грузов также заносят в таблицу 8.1.

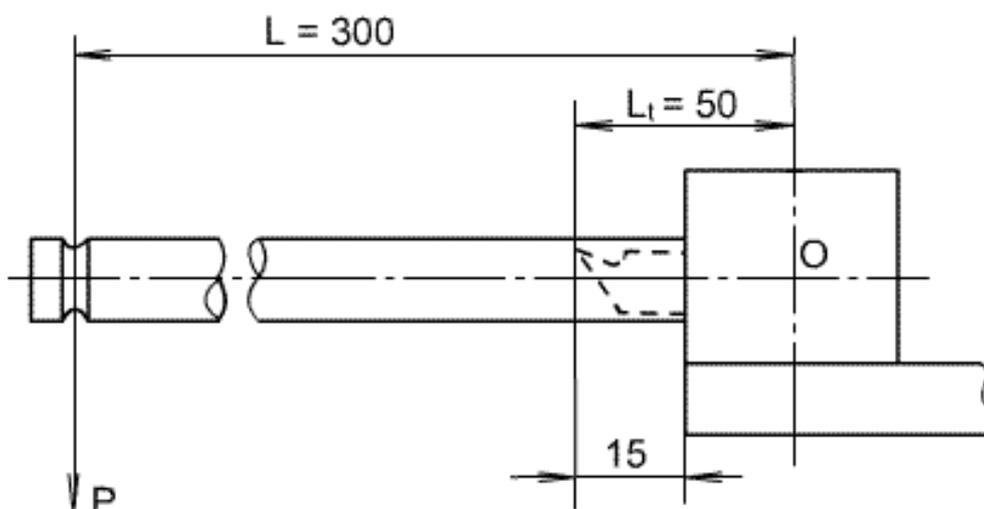


Рис. 8.3. Схема тарировки

Таблица 8.1

Тарировочные значения

№ п/п	Масса груза на штанге $Q$ , кг	Показания индикатора $\delta$ , мм		Сила резания $P_z$ , кГ
		нагрузка	разгрузка	
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Штанга имеет фиксированную длину  $L = 300$  мм, значительно большую, чем длина резца  $L_t = 50$  мм, что позволяет, используя грузы умеренной массы  $Q$  (кг), создавать достаточные моменты относительно торсионных брусков:

$$M = Q \times L.$$

Вертикальную составляющую силы резания  $P_z$  рассчитывают из условий равенства сил  $Q$  и  $P_z$  относительно оси торсионных брусков:

$$Q \times L = P_z \times L_t, \text{ следовательно, } P_z = Q \times L / L_t.$$

По данным таблицы строят тарировочный график динамометра — зависимость показаний индикатора  $\delta$  (мм) от значения вертикальной составляющей силы резания  $P_z$  (рис. 8.4) и рассчитывают значение тарировочного коэффициента  $\alpha$  из уравнения

$$P_z = \alpha \times \delta, \quad \alpha = P_z / \delta.$$

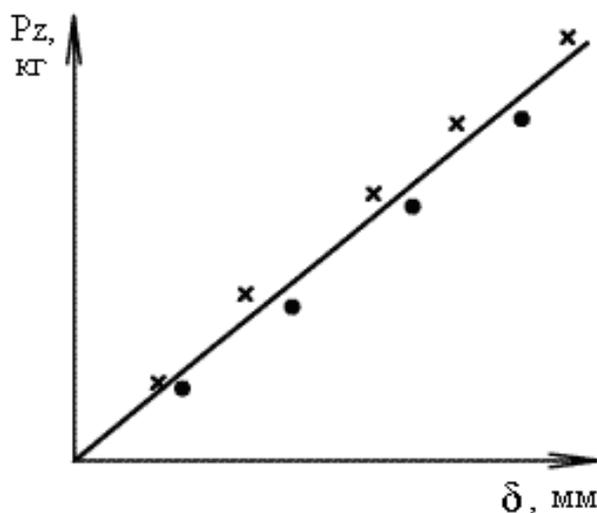


Рис. 8.4. Тарировочный график:  
 • — нагрузка; × — разгрузка

Для исследования влияния элементов режима резания при точении на величину вертикальной составляющей силы резания  $P_z$  вместо резца в оправке динамометра устанавливают резец, производят обработку, при которой снимаются показания индикатора, и определяют величину  $P_z$ , умножая показания индикатора на тарировочный коэффициент.

## Лабораторная работа

**Цель работы:** ознакомиться с устройством однокомпонентного токарного динамометра, рассмотреть зависимость между показаниями индикатора и значением вертикальной составляющей силы резания.

**Задание и указания к выполнению работы:** установить динамометр на суппорте токарного станка; произвести тарировку динамометра; построить тарировочный график. Подготовить отчет о работе.

### Содержание отчёта:

1. Краткое описание составляющих сил резания.
2. Схема составляющих сил резания (рис. 8.1б) и схема тарировки динамометра (рис. 8.3).
3. Результаты тарировки, занесённые в таблицу 8.1.
4. Тарировочный график.
5. Выводы по результатам тарировки.

## Контрольные вопросы

1. На какие составляющие раскладывается равнодействующая сила резания?
2. В какой плоскости действует вертикальная составляющая сила резания и какие показатели по ней рассчитываются?
3. На что влияет радиальная сила резания?
4. Что рассчитывают по осевой составляющей силы резания?
5. От чего зависит величина радиальной составляющей силы резания?
6. Какой принцип положен в основу работы токарного динамометра?
7. По величине какой составляющей силы резания рассчитывают крутящий момент на шпинделе и эффективную мощность резания?
8. По величине суммарного изгибающего момента от каких сил рассчитывают стержень резца на прочность?
9. Для чего производят тарировку токарного динамометра?

## **9. Электрофизические и электрохимические методы обработки**

### **9.1. Область применения электрофизических и электрохимических методов**

В современном машиностроении возникают технологические проблемы, связанные с обработкой новых материалов и деталей, форму и состояние поверхностного слоя которых трудно получить известными механическими методами. К ним относятся обработка весьма прочных, весьма вязких и хрупких материалов, тонкостенных нежестких деталей, а также пазов и отверстий, имеющих размеры в несколько микрометров; получение поверхностей деталей с малой шероховатостью, с очень малой толщиной дефектного поверхностного слоя и т. д.

Подобные проблемы в большинстве своем решаются электрофизическими и электрохимическими (ЭФЭХ) методами обработки. Для осуществления размерной обработки заготовок этими методами используют электрическую, химическую, звуковую, световую, лучевую и другие виды энергии.

ЭФЭХ методы успешно дополняют механическую обработку резанием, а в отдельных случаях имеют преимущества перед ней. При данных методах обработки механические нагрузки либо отсутствуют, либо настолько малы, что практически не влияют на суммарную погрешность обработки. Они позволяют изменять не только форму обрабатываемой поверхности заготовки, но одновременно влиять и на состояние поверхностного слоя. Так, в отдельных случаях обработанная поверхность не упрочняется, а дефектный слой незначителен, удаляются прижоги поверхности, полученные при шлифовании и т. п. При этом повышаются износостойкость и коррозионная стойкость, прочностные и другие эксплуатационные характеристики поверхностей деталей. Можно обрабатывать очень сложные наружные и внутренние поверхности заготовок.

ЭФЭХ методы обработки являются универсальными и обеспечивают непрерывность процессов при одновременном формообразовании всей обрабатываемой поверхности. На обрабатываемость заготовок этими методами (за исключением ультразвукового и некоторых других методов) твердость и вязкость обрабатываемого материала практически не влияют.

К электрофизическим способам обработки относят электроискровую, электроимпульсную, высокочастотную электроискровую и электроконтактную обработку, которая иногда называется электроэрозионной.

## 9.2. Электроэрозионные методы обработки

Эти методы основаны на явлении эрозии (разрушении) электродов из токопроводящих материалов при пропускании между ними импульсного электрического тока.

Разряд между электродами происходит в газовой среде или при заполнении межэлектродного пространства диэлектрической жидкостью (керосин, минеральное масло и т. д.).

При наличии разности потенциалов на электродах происходит ионизация межэлектродного пространства. При определенном значении разности потенциалов в среде между электродами образуется канал проводимости, по которому устремляется электрическая энергия в виде импульсного искрового или дугового разряда. Благодаря высокой концентрации энергии, реализуемой во времени за  $10^{-5} \dots 10^{-8}$  с, мгновенная плотность тока достигает  $8000 \dots 10\,000$  А/мм<sup>2</sup>, в результате чего на поверхности заготовки температура возрастает до  $10\,000 \dots 12\,000$  °С.

При этой температуре происходит мгновенное оплавление и испарение элементарного объема металла и на обрабатываемой поверхности образуется лунка. Удаленный металл застывает в диэлектрической жидкости в виде гранул диаметром  $0,01 \dots 0,005$  мм.

При непрерывном подведении к электродам импульсного тока процесс эрозии продолжается до тех пор, пока не будет удален весь металл, находящийся между электродами на расстоянии, при котором возможен электрический пробой ( $0,01 \dots 0,05$  мм) при заданном напряжении импульса. Для продолжения процесса необходимо сблизить электроды до указанного расстояния. Электроды сближаются автоматически с помощью следящих систем.

**Электроискровая обработка.** Эта обработка основана на использовании импульсного искрового разряда между двумя электродами, один из которых является обрабатываемой заготовкой (анод), а другой — инструментом (катод). Принципиальная схема электроискрового станка с генератором импульсов  $RC$  приведена на рисунке 9.1.

Конденсатор  $C$  заряжается через резистор  $R$  от источника постоянного тока напряжением  $100 \dots 200$  В. Когда напряжение на электродах 1 и 3 достигает пробойного, образуется канал сквозной проводимости, через который

осуществляется искровой разряд энергии, накопленной конденсатором. Продолжительность импульса 20...200 мкс.

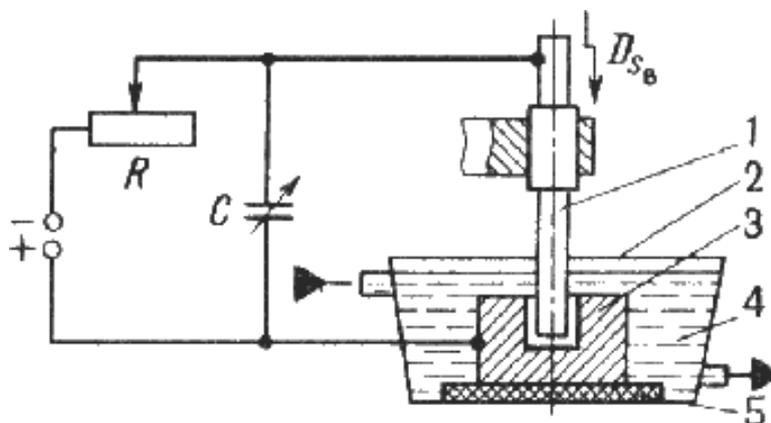


Рис. 9.1. Схема электроискрового станка:  
1 — электрод-инструмент; 2 — ванна; 3 — заготовка-электрод;  
4 — диэлектрическая жидкость; 5 — изолятор

При обработке заготовок на мягких режимах достигают размеров с точностью до 0,002 мм при шероховатости поверхности  $Rz$  0,63...0,16 мкм.

Заготовки обрабатывают в ваннах, заполненных диэлектрической жидкостью, которая исключает нагрев электродов (инструмента и заготовки), охлаждает продукты разрушения, уменьшает величину боковых разрядов между инструментом и заготовкой, что повышает точность обработки.

Электроискровым методом обрабатывают все токопроводящие материалы. Целесообразно обрабатывать твердые сплавы, труднообрабатываемые металлы и их сплавы, тантал, вольфрам, молибден и др.

Данным методом получают сквозные отверстия любой формы поперечного сечения, глухие отверстия и полости, отверстия с криволинейными осями, вырезают заготовки из листа при использовании проволочного или ленточного инструмента-электрода, выполняют плоское, круглое и внутреннее шлифование, разрезают заготовки и т. д.

Электроискровую обработку широко применяют для изготовления штампов, пресс-форм, фильер, режущего инструмента, деталей топливной аппаратуры, сеток и сит, нарезания резьбы и т. д.

Схемы электроискровой обработки представлены на рисунке 9.2.

Электроискровую обработку применяют для упрочнения поверхностного слоя металла. На поверхность изделия наносят тонкий слой металла или композиционного материала. Подобные покрытия повышают твердость, износостойкость, жаростойкость, эрозионную стойкость и так далее.

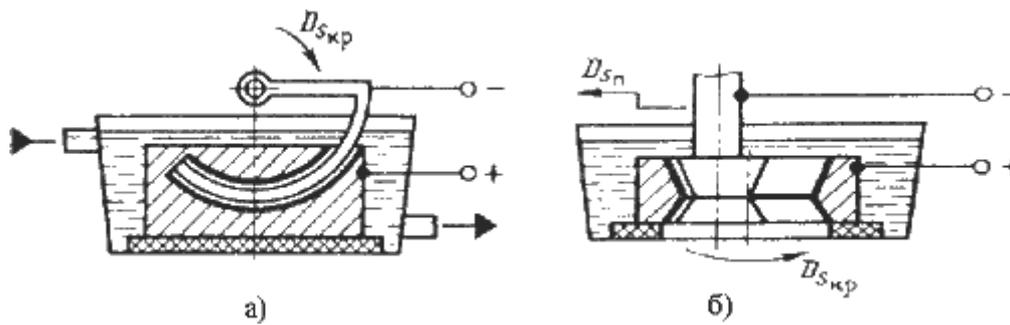


Рис. 9.2. Схемы электроискровой обработки:  
 а — прошивание отверстия с криволинейной осью;  
 б — шлифование внутренней поверхности фильеры

К достоинствам метода следует отнести простоту обработки и несложность оборудования. Однако метод имеет сравнительно низкую производительность; кроме того, быстро разрушаются инструменты–электроды.

**Электроимпульсная обработка.** Этот метод основан на том, что полярный эффект при импульсах малой и средней продолжительности приводит к повышенной эрозии анода, что используется при электроискровой обработке. При импульсах большой продолжительности (дуговой разряд) значительно быстрее разрушается катод. Поэтому при электроимпульсной обработке применяют обратную полярность включения электродов и обрабатывают при действии импульсов, создаваемых электромашинным (рис. 9.3) или электронным генератором.

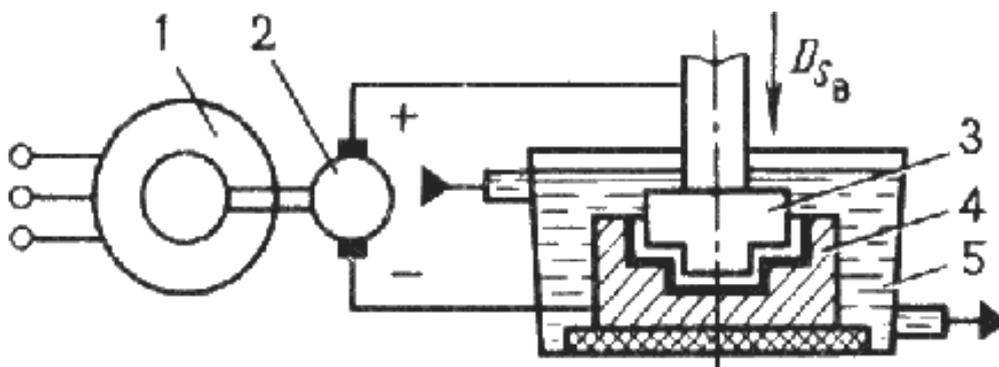


Рис. 9.3. Схема электроимпульсной обработки:  
 1 — электродвигатель; 2 — импульсный генератор постоянного тока;  
 3 — инструмент–электрод; 4 — заготовка–электрод; 5 — ванна

Продолжительность импульсов в зависимости от типа генератора составляет 500...10000 мкс. Большие мощности импульсов от электронных генераторов обеспечивают высокую производительность обработки.

При электроимпульсной обработке инструменты–электроды изнашиваются значительно меньше, чем при электроискровой обработке.

Электроимпульсную обработку целесообразно применять при предварительной обработке штампов, турбинных лопаток, фасонных отверстий в деталях из твердых, коррозионно-стойких и жаропрочных сплавов. Точность размеров и шероховатость обработанных поверхностей зависят от режима обработки.

При электроимпульсной обработке съем металла в единицу времени в 8...10 раз больше, чем при электроискровой обработке.

**Электроконтактная обработка.** Этот метод основан на локальном нагреве заготовки в месте контакта с электродом-инструментом и удалении размягченного или расплавленного металла из зоны обработки механическим способом за счет относительного движения заготовки и инструмента. Источником теплоты служат импульсные дуговые разряды.

Инструментом-электродом является чугунный или медный диск, имеющий вращательное движение. Обрабатывают на постоянном или переменном токе напряжением 10...40 В. В процессе обработки диск охлаждается (рис. 9.4).

Этот вид обработки рекомендуется для крупных деталей из углеродистых и легированных сталей, чугуна, цветных сплавов, тугоплавких и специальных сплавов.

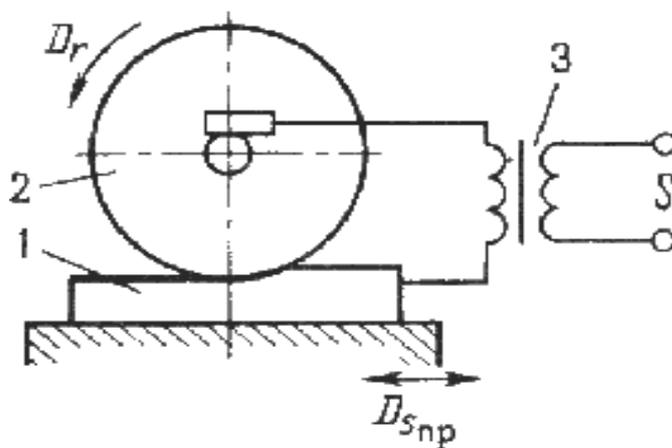


Рис. 9.4. Схема электроконтактной обработки плоской поверхности:  
1 — обрабатываемая заготовка; 2 — инструмент-электрод;  
3 — трансформатор

Электроконтактную обработку применяют при точении, сверлении и других заготовительных операциях: разрезании слитков, обдирке сложных фасонных и плоских поверхностей, очистке деталей от окалины, зачистке отливок от заливов, отрезке литниковых систем, зачистке проката, шлифовании коррозионных деталей из труднообрабатываемых сплавов.

Метод не обеспечивает высокой точности низкой шероховатости, но высокопроизводителен вследствие использования больших электрических мощностей.

### 9.3. Электрохимические методы обработки

Электрохимическая обработка основана на явлении анодного растворения металлов при электролизе. При прохождении постоянного электрического тока через электролит на поверхности заготовки, включенной в электрическую цепь и являющейся анодом, происходят химические реакции и поверхностный слой металла превращается в химическое соединение. Продукты электролиза переходят в раствор или удаляются механическим способом.

Производительность процессов зависит от электрохимических свойств электролита, обрабатываемого токопроводящего материала и плотности тока.

**Электрохимическое полирование.** Схема обработки показана на рисунке 9.5. Обработка осуществляется в ванне, заполненной электролитом (растворы кислот и щелочей).

Обрабатываемую заготовку подключают к аноду; вторым электродом—катодом служит металлическая пластинка из свинца, меди, стали и т. д. Для большей производительности электролит подогревают до температуры 40...80 °С.

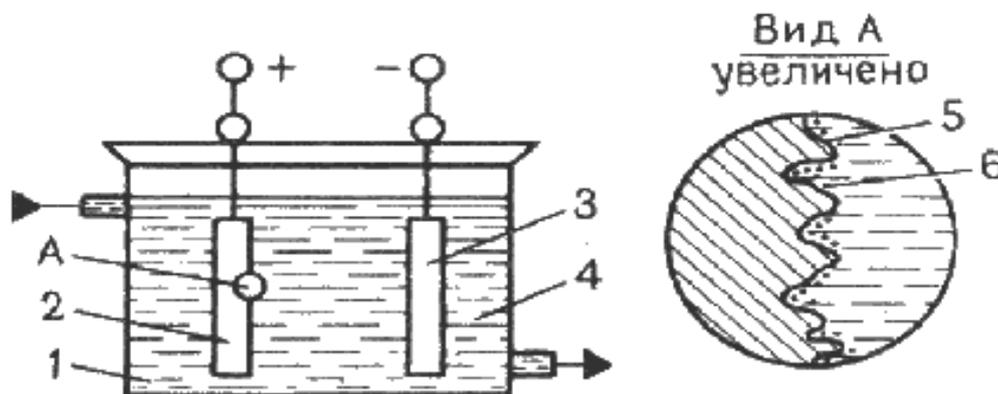


Рис. 9.5. Схема электрохимического полирования:  
1 — ванна; 2 — обрабатываемая заготовка; 3 — пластина-электрод;  
4 — электролит; 5 — микровыступ; 6 — продукты анодного растворения

При подаче напряжения на электроды начинается процесс растворения металла заготовки—анода. Растворение происходит, в основном, на выступах

микронеровностей поверхности вследствие более высокой плотности тока на вершинах. Кроме того, впадины между микровыступами заполняются продуктами растворения — окислами или солями, имеющими пониженную проводимость. В результате избирательного растворения, т. е. большей скорости растворения выступов, микронеровности сглаживаются, и обрабатываемая поверхность приобретает металлический блеск.

Улучшаются электрофизические характеристики деталей: уменьшается глубина микротрещин, поверхностный слой не деформируется, исключаются упрочнения и термические изменения структуры, повышается коррозионная стойкость.

Электрохимическое полирование позволяет одновременно обрабатывать партию заготовок по всей их поверхности. Этим методом получают поверхности деталей под гальванические покрытия, доводят рабочие поверхности режущего инструмента, изготавливают тонкие ленты и фольгу, очищают и декоративно отделывают детали.

**Электрохимическая размерная обработка.** Особенностью метода является обработка в струе электролита, прокачиваемого под давлением через межэлектродный промежуток, образуемый обрабатываемой заготовкой—анодом и инструментом—катодом.

Струя электролита, непрерывно подаваемого в межэлектродный промежуток, растворяет образующиеся на поверхности продукты анодного растворения (соли) и удаляет их из зоны обработки. Высокая производительность процесса заключается в том, что одновременно обрабатывается вся поверхность заготовки.

Участки, не требующие обработки, изолируют. Инструменту придают форму, обратную форме обрабатываемой поверхности. Формообразование происходит методом копирования (рис. 9.6).

Для размерной электрохимической обработки используют нейтральные электролиты. Наиболее широко применяют растворы солей  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , нейтральность которых обеспечивается добавлением в электролит слабого раствора соляной кислоты.

Точность обработки повышается при уменьшении рабочего зазора. Для его контроля используют высокочувствительные элементы, которые встраивают в следящую систему.

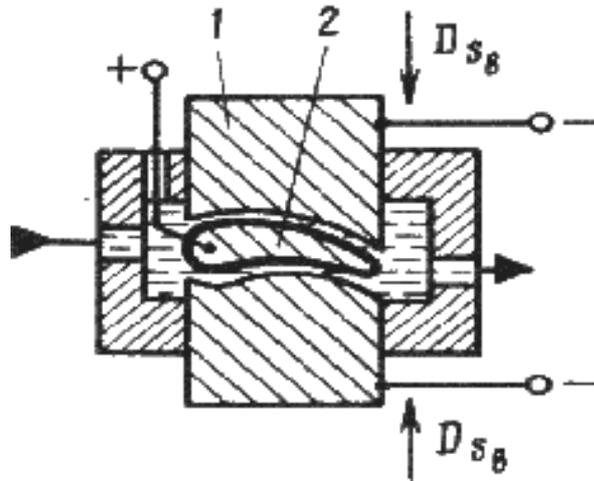


Рис. 9.6. Схема электрохимической размерной обработки:  
1 — инструмент– катод; 2 — заготовка–анод

Этот способ рекомендуют для обработки заготовок из высокопрочных сплавов, карбидных и труднообрабатываемых материалов. Также можно обрабатывать нежесткие тонкостенные детали с высокой точностью и качеством обработанной поверхности (отсутствует давление инструмента на заготовку).

#### 9.4. Комбинированные методы обработки

**Электроабразивная обработка.** Особенность данного метода обработки состоит в том, что инструментом–электродом служит шлифовальный круг из абразивного материала на электропроводящей связке (бакелитовая связка с графитовым наполнителем).

Между заготовкой–анодом и шлифовальным кругом — катодом — имеется зазор за счет зерен, выступающих из связки, куда подается электролит. Продукты анодного растворения заготовки удаляются абразивными зернами, для чего шлифовальный круг имеет вращательное движение, а заготовка — возвратно–поступательное, т. е. движения, соответствующие процессу механического шлифования (рис. 9.7).

При электроабразивной обработке около 85...90 % припуска удаляется за счет анодного растворения и лишь 10...15 % за счет механического шлифования.

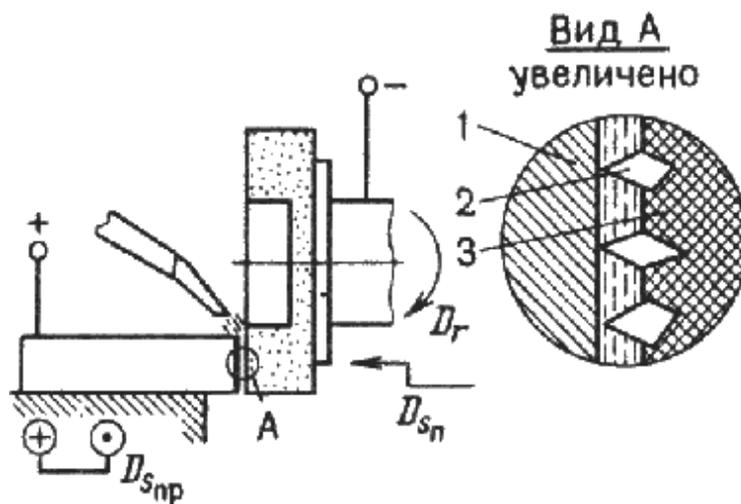


Рис. 9.7. Схема электроабразивного шлифования:  
1 – заготовка; 2 – абразивные зёрна; 3 – связка шлифовального круга

**Электроалмазная обработка.** Ее ведут по той же схеме, но с применением электропроводящих алмазных кругов. При этом методе обработки около 75 % припуска удаляется за счет анодного растворения и 25 % за счет механического воздействия алмазных зёрен. Производительность электроалмазной обработки выше, чем электроабразивной.

Введение в зону резания ультразвуковых колебаний повышает производительность в 2...2,5 раза при улучшении качества поверхности. Эти методы применяются для отделочной обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов, а также нежестких заготовок, так как силы резания незначительны. Шероховатость обработанной поверхности меньше, чем при обычном шлифовании абразивными или алмазными кругами.

## 9.5. Анодно-механическая обработка

Анодно-механическая обработка основана на сочетании электротермических и электромеханических процессов и занимает промежуточное место между электроэрозионными и электрохимическими методами.

Заготовку подключают к аноду, а инструмент — к катоду. В качестве инструмента используют металлические диски, цилиндры, ленты, проволоку (рис. 9.8). Обработку ведут в среде электролита (водный раствор жидкого натриевого стекла). Заготовке и инструменту задают движения, как при механической обработке резанием, т. е. скорость резания и подачу. Электролит в зону обработки подают через сопло.

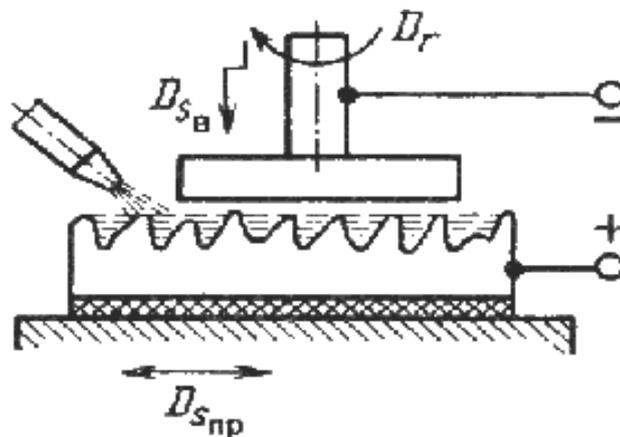


Рис. 9.8. Схема анодно-механической обработки плоской поверхности

Так как заготовка является анодом, а инструмент — катодом, то при пропускании через раствор электролита постоянного электрического тока происходит процесс анодного растворения, присущий электрохимической обработке.

При соприкосновении инструмента с микронеровностями заготовки происходит процесс электроэрозии, присущий электроискровой обработке. Металл заготовки в месте контакта с инструментом разогревается, как это имеет место при электроконтактной обработке, и обрабатываемый материал размягчается. Продукты электроэрозии и анодного растворения удаляются из зоны обработки за счет относительных движений инструмента и заготовки.

Обрабатывают на переменных электрических режимах. При предварительной обработке заготовки задают жесткий режим, при котором преобладает процесс электроэрозии, обеспечивающий высокую производительность. При окончательной обработке переходят на мягкий режим, при котором преобладает процесс анодного растворения, обеспечивающий высокую точность и качество обрабатываемой поверхности.

Этим способом обрабатывают все токопроводящие заготовки из высокопрочных и труднообрабатываемых металлов и сплавов, твердые сплавы, вязкие материалы и. д.

Анодно-механической обработкой нарезают заготовки на части, прорезают пазы и щели, обрабатывают поверхности тел вращения, шлифуют плоские поверхности и поверхности, имеющие форму тел вращения, полируют поверхности, затачивают режущий инструмент.

## Лабораторная работа

**Цель работы:** изучить физическую сущность, основные способы и область применения электрофизических и электрохимических методов обработки.

**Задание и указания к выполнению работы:** описать физико-химические принципы работы электрофизических и электрохимических станков; представить схемы электроискрового станка, электрохимического полирования и анодно–механической обработки; описать область применения данных методов обработки. Подготовить отчёт о работе.

### Содержание отчёта:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схемы обработки.
4. Краткое описание сущности и областей применения способов.

## Контрольные вопросы

1. Преимущества ЭФЭХ перед механическими способами обработки.
2. Сущность электроэрозионных методов обработки.
3. Области применения электроискровой обработки.
4. Сущность электроимпульсной обработки и её применение.
5. Электроконтактная обработка, её сущность и применение.
6. Сущность электрохимических методов обработки.
7. Как выполняется электрохимическая размерная обработка?
8. Какие методы ЭФЭХ относятся к комбинированным?
9. Сущность анодно–механической обработки и ее применение.
10. Какие материалы нельзя обрабатывать данными методами?

## Список литературы

1. Горбунов Б. И. Обработка металлов резанием, металлорежущий инструмент и станки : учебник для вузов. — Киев : Машиностроение, 1981. — 287 с.
2. Дальский А. М. Технология конструкционных материалов : учебник для вузов / А. М. Дальский, И. А. Арутюнова, Т. М. Барсукова и др. — М. : Машиностроение, 1992. — 448 с.
3. Дриц М. Е., Москалев М. А. Технология конструкционных материалов и материаловедение : учебник для вузов. — М. : Высш. шк., 1990. — 447 с.
4. Килин В. А. Технология конструкционных материалов : учеб. пособие для вузов. — Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2009. — 111 с.
5. Китаев А. М., Китаев Я. А. Справочная книга сварщика. — М. : Машиностроение, 1985. — 256 с.
6. Кнорозов Б. В. Технология металлов и материаловедение : учебник для вузов / Б. В. Кнорозов, Усова Л. Ф., Третьяков А. В. и др. — М. : Metallurgy, 1987. — 800 с.
7. Нефедов Н. А., Осипов К. А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту : учеб. пособие. — М. : Машиностроение, 1990. — 444 с.
8. Петруха П. Г. Технология обработки конструкционных материалов : учебник для вузов / П. Г. Петруха, А. И. Марков, П. Д. Беспехотный и др. — М. : Высш. шк., 1991. — 512 с.
9. Солнцев Ю. П. Металловедение и технология металлов : учебник для вузов. — М. : Metallurgy, 1988. — 512 с.
10. Фетисов Г. П. Металловедение и технология металлов : учебник для студентов вузов. — М. : Высш. шк., 2001. — 637 с.
11. Чернов Н. Н. Металлорежущие станки : учебник для вузов. — М. : Машиностроение, 1988. — 416 с.



*Учебное издание*

Тарасов Валентин Васильевич  
Мальшко Светлана Борисовна  
Горчакова Светлана Александровна

## **ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие

Редактор Е. А. Куликова  
Технический редактор О. Г. Сикорская

Печатается с готового оригинал-макета,  
подготовленного автором.

3,92 уч.-изд. л.    Формат 60 × 84 1/16  
Тираж 78 экз.    Заказ № 062

Отпечатано в МГУ им. адм. Г. И. Невельского  
690059, Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а