

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра металлорежущих станков и инструментов

Составитель
К. П. Петренко

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические материалы

Рекомендовано учебно-методической комиссией специальности
15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2019

Рецензенты:

Коротков А. Н. – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой металлорежущих станков и инструментов

Шатько Д. Б. – кандидат технических наук, доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Петренко Константин Петрович

Технология конструкционных материалов: методические материалы [Электронный ресурс]: для обучающихся специальности 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов всех форм обучения / сост. К. П. Петренко; КузГТУ. – Электрон. издан. – Кемерово, 2019.

Методические материалы к лабораторным работам и самостоятельной работе составлены в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Технология конструкционных материалов». Содержат полный перечень лабораторных работ по указанной дисциплине, задание для самостоятельной работы, а также список литературных источников.

© КузГТУ, 2019

© К. П. Петренко,
составление, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1 «Механические свойства металлов и сплавов»	3
Лабораторная работа №2	
«Классификация и маркировка сталей»	14
Лабораторная работа №3 «Технология ручной формовки»	28
Лабораторная работа №4	
«Горячая объемная штамповка»	56
Лабораторная работа №5	
«Холодная объемная штамповка»	77
Лабораторная работа №6 «Технология листовой штамповки»	95
Лабораторная работа №7 «Выбор средств технологического оснащения для листовой штамповки»	131
Лабораторная работа №8 «Кинематические схемы кузнечно-штамповочного оборудования»	148
Лабораторная работа №9 «Технология электрической дуговой сварки плавлением»	163
Лабораторная работа №10 «Технология точечной сварки»	186
Самостоятельная работа	200

Лабораторная работа №1 «МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ»

Составитель: Драчев В. В.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение основных методов определения механических свойств металлов и сплавов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под механическими свойствами понимают характеристики, определяющие поведение металла (сплава) под действием внешних сил. К механическим свойствам относят сопротивление металла деформации (прочность, твердость) и сопротивление разрушению (пластичность, вязкость). В результате механических испытаний получают количественные значения механических свойств, т. е. значения напряжений или деформаций, при которых происходят изменения механического состояния материала.

Механические свойства металлов определяют при статических, динамических и усталостных испытаниях.

2.1. Механические свойства, определяемые при статических испытаниях

Статическими называют испытания, при которых прилагаемая к образцу нагрузка возрастает медленно и плавно. К статическим испытаниям металлов относятся испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, сдвиг и на твердость. Чаще всего применяют испытания на растяжение и на твердость.

2.1.1. Испытания на растяжение

Для испытания на растяжение (ГОСТ 1497–84) применяют стандартные образцы круглого или прямоугольного сечения (рис. 1). Машины для испытания снабжены прибором, записывающим диаграмму растяжения, которая показывает зависимость

деформации образца от растягивающей нагрузки. На рис. 2 приведена диаграмма растяжения для низкоуглеродистой стали.

Используя диаграмму растяжения, определяют характеристики прочности.

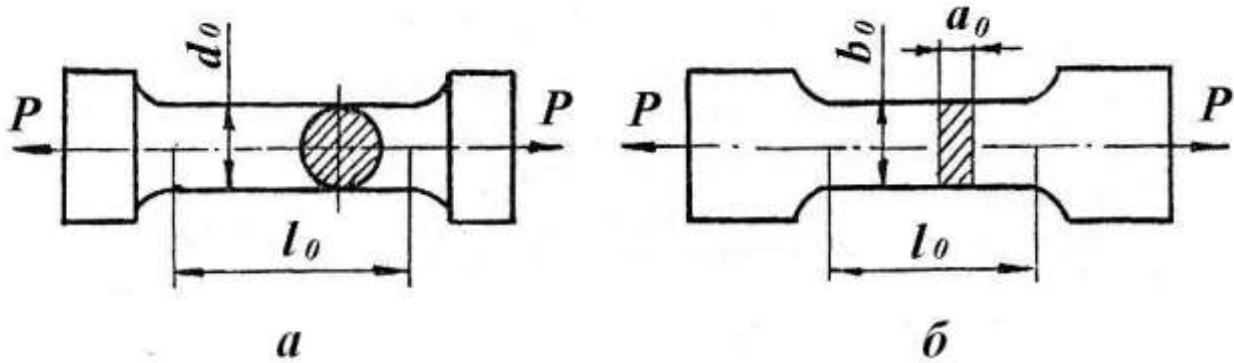


Рис. 1. Образцы для испытания на растяжение:
а – круглый; б – плоский

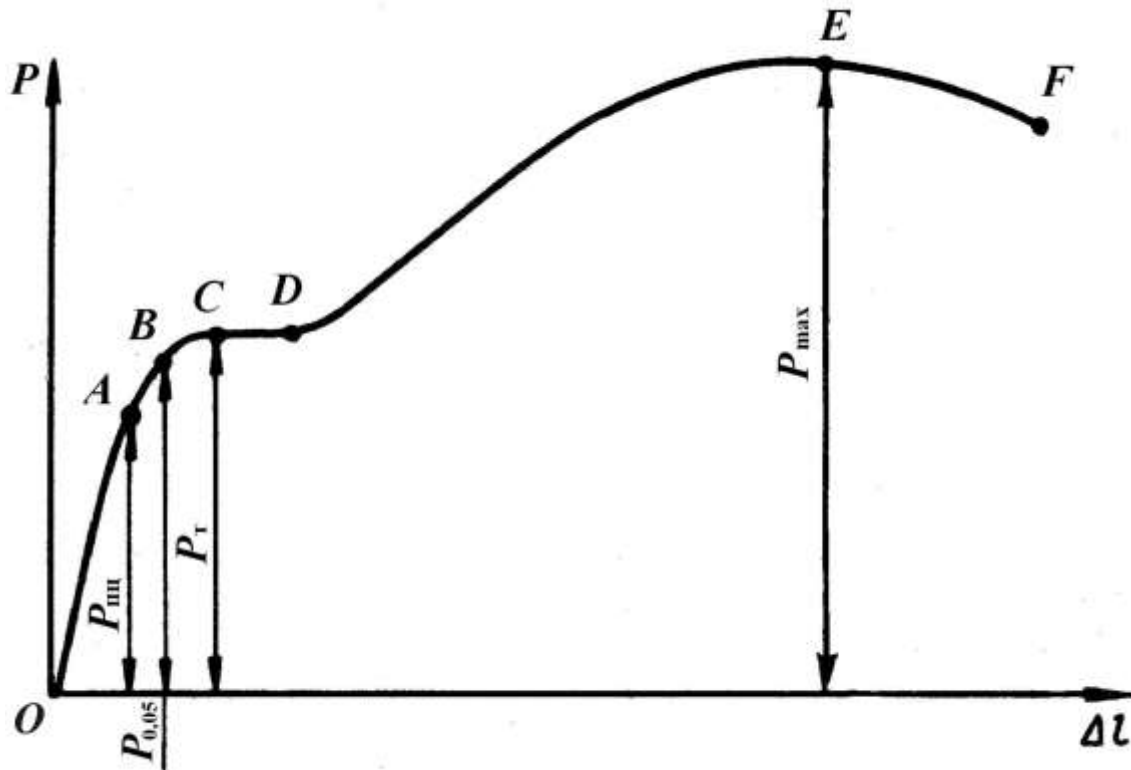


Рис. 2. Диаграмма растяжения

От начала деформации – точки O до точки A образец деформируется пропорционально приложенной нагрузке. Если нагрузку снять, то полученная образцом деформация исчезнет, и он примет первоначальные размеры. Точка A соответствует пределу пропорциональности ($\sigma_{\text{пц}}$, Па):

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_{\text{пц}}}{F_0}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пц}}$ – предельная нагрузка, до которой сохраняется пропорциональность между нагрузкой и деформацией, Н;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, м^2 .

Выше точки A располагается точка B , которая соответствует нагрузке, вызывающей определенное остаточное удлинение образца: если снять нагрузку, длина образца будет больше начальной. Напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05 % от начальной расчетной длины образца, называют пределом упругости ($\sigma_{0,05}$, Па):

$$\sigma_{0,05} = \frac{P_{0,05}}{F_0}, \quad (2)$$

где $P_{0,05}$ – нагрузка, вызывающая остаточное удлинение 0,05 %, Н.

Иногда значение остаточного удлинения принимают равным 0,05 % или 0,2 %. Тогда предел упругости обозначают $\sigma_{0,05}$ или $\sigma_{0,2}$ соответственно.

При дальнейшем увеличении нагрузки на диаграмме получается горизонтальный участок CD (площадка текучести), на котором даже незначительное увеличение нагрузки вызывает деформацию, «текучесть» образца. Напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки, называют физическим пределом текучести ($\sigma_{\text{т}}$, Па):

$$\sigma_{\text{т}} = \frac{P_{\text{т}}}{F_0}, \quad (3)$$

где P_T – нагрузка, соответствующая площадке текучести, Н.

Многие металлы и сплавы не имеют площадки текучести на диаграмме растяжения. Для них определяют условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$, Па):

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \quad (4)$$

где $P_{0,2}$ – нагрузка, вызывающая остаточное удлинение 0,2 %, Н.

Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца (точка E), называется временным сопротивлением (σ_B , Па) и вычисляется по формуле

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}, \quad (5)$$

где P_{\max} – наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н.

В точке F происходит разрушение образца.

Кроме прочностных характеристик при испытании на растяжение определяют характеристики пластичности. К ним относят относительное удлинение (δ , %) и относительное сужение (ψ , %):

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100, \quad (6)$$

где l_0 – первоначальная длина образца, м;

l_k – длина образца после разрыва, м;

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100, \quad (7)$$

где F_0 – первоначальная площадь поперечного сечения образца, м²;

F_k – площадь поперечного сечения образца после разрыва, м².

2.1.2. Испытания на твердость

Твердостью называют свойство материала оказывать сопротивление пластической деформации при внедрении в его поверхность более твердого тела. Для испытаний на твердость не требуются специальные образцы. Измерение твердости проводится быстро и просто и может осуществляться непосредственно на готовой детали без ее разрушения.

Наиболее широко применяют испытания на твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012–59), по Роквеллу (ГОСТ 9013–59) и по Виккерсу (ГОСТ 2999–75).

Измерение твердости по Бринеллю. При измерении твердости этим методом шарик из закаленной стали или твердого сплава вдавливается в испытуемый образец (изделие) под действием нагрузки, приложенной в течение определенного времени (от 10 до 15 с для черных металлов и от 10 до 180 с для цветных). Диаметры применяемых шариков 1,0; 2,0; 2,5; 5 и 10 мм. Нагрузка выбирается в пределах от 9,8 Н (1 кгс) до 29420 Н (3000 кгс) в зависимости от вида металла или сплава.

Число твердости по Бринеллю (НВ) определяется путем деления нагрузки, при которой происходило вдавливание, на площадь поверхности отпечатка, оставшегося после снятия нагрузки, по формуле

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (8)$$

где P – нагрузка, кгс;

F – площадь поверхности отпечатка, мм²;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

При измерении твердости шариком диаметром 10 мм под нагрузкой 29430 Н (3000 кгс) с выдержкой 10–15 с число твердости по Бринеллю обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами НВ при применении стального шарика или НВW при применении шарика из твердого сплава.

Например: 400 НВ.

При других условиях измерения обозначение НВ (НВW) дополняется индексом, указывающим условия измерения в следующем порядке: диаметр шарика, нагрузка и продолжительность выдержки.

Например: 200 НВ5/250/30 – число твердости по Бринеллю 200, испытание проводилось шариком диаметром 5 мм при нагрузке 2453 Н (250 кгс), приложенной в течение 30 с.

Метод Бринелля используется для испытания материалов низкой и средней твердости – цветных металлов и их сплавов, незакаленных сталей. Метод применим для определения твердости неоднородных по структуре сплавов (чугуны, антифрикционные сплавы). Так как к поверхности испытываемых изделий не предъявляется высоких требований, метод Бринелля широко используется в цеховых условиях.

Измерение твердости по Роквеллу. При измерении твердости методом Роквелла в испытуемый образец или изделие вдавливаются алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик диаметром 1,5875 мм под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок: предварительной P_0 и основной P_1 . Общая нагрузка $P = P_0 + P_1$.

Твердость определяют по глубине внедрения наконечника в испытуемый образец, измеренной после снятия основной нагрузки при сохранении предварительной. За единицу твердости по Роквеллу принята условная величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. Результаты испытания читаются прямо по шкале прибора, без дополнительных измерений.

В зависимости от материала испытуемого образца твердость измеряют по трем шкалам А, В и С (см. таблицу).

Метод Роквелла, благодаря своей скорости и простоте, нашел самое широкое применение в промышленности для контроля твердости готовых штучных деталей.

Измерение твердости по Виккерсу. Измерение твердости методом Виккерса основано на вдавливании алмазной четырехгранной пирамиды с углом при вершине 136° в образец (изделие) под действием нагрузки, приложенной в течение определенного времени (обычно 10–15 с). Нагрузка выбирается в пределах

Параметры испытания при измерении твердости по Роквеллу

Обозначение		Наконечник	Нагрузка, Н (кгс)			Пределы измерения в единицах твердости по Роквеллу	Область применения
шкалы	твердости		P ₀	P ₁	P		
В	HRB	Стальной шарик	98 (10)	883 (90)	981 (100)	25–100	Цветные сплавы, нетермообработанные стали
С	HRC	Алмазный конус	98 (10)	1373 (140)	1471 (150)	22–68	Твердые термообработанные стали
А	HRA	Алмазный конус	98 (10)	490(50)	588 (60)	70–85	Сверхтвердые сплавы, тонкие поверхностные слои, тонколистовой материал

от 9,8 Н (1 кгс) до 980,7 (100 кгс) в зависимости от толщины образца и его примерной твердости.

Твердость по Виккерсу (HV) вычисляют путем деления нагрузки на площадь поверхности отпечатка, оставшегося на образце, по формуле

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2}, \quad (9)$$

где P – нагрузка, кгс;

F – площадь поверхности отпечатка, мм²;

α – угол между противоположными гранями пирамиды при вершине, равный 136°;

d – среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

Метод используют для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость.

2.2. Механические свойства, определяемые при динамических испытаниях

Механические свойства металлов (сплавов), определенные при статических испытаниях, часто не соответствуют действительным условиям нагружения деталей при их эксплуатации, когда нагрузки возрастают очень быстро. В таких случаях металлы подвергают динамическим испытаниям, при которых нагрузка прикладывается мгновенно, резко. По виду деформации эти испытания делятся на ударный разрыв, ударное сжатие и ударный изгиб.

Наиболее распространенным видом динамических испытаний является испытание на ударный изгиб с определением ударной вязкости (ГОСТ 9454–78). Испытание заключается в разрушении образца с надрезом (концентратором) ударом маятникового копра (рис. 3).

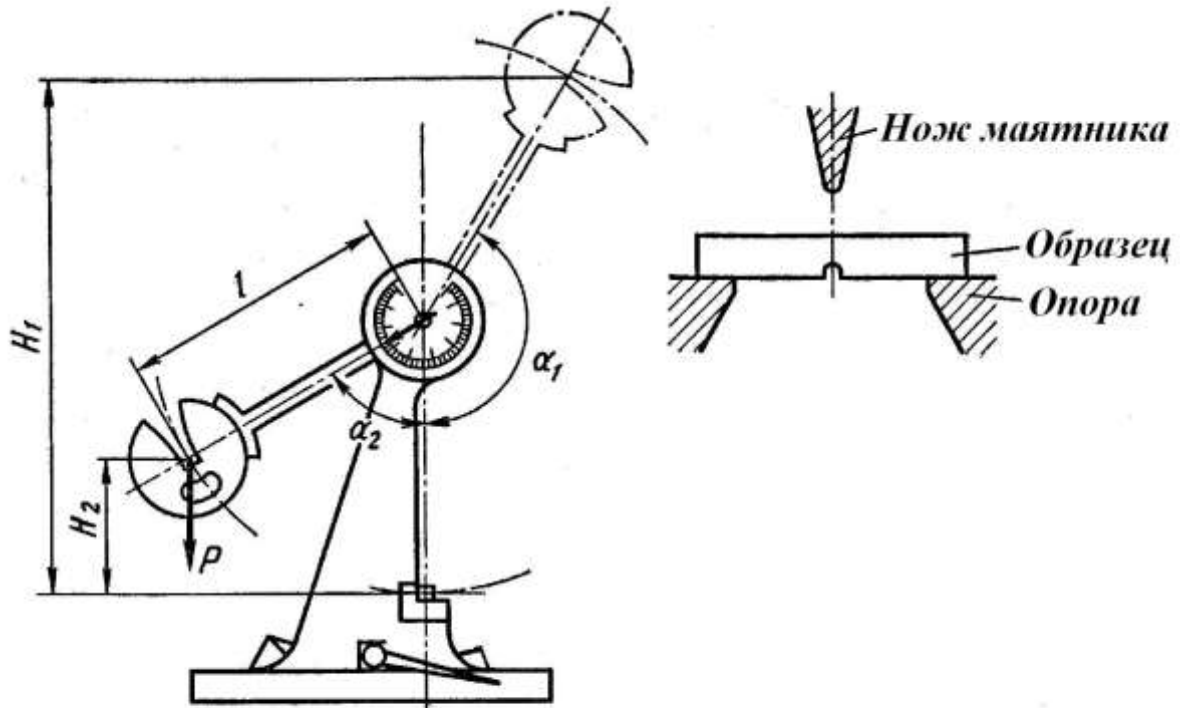


Рис. 3. Схема испытания на ударный изгиб

Ударная вязкость ($KС$, Дж/м²) определяется по формуле

$$\hat{E}\tilde{N} = \frac{\hat{E}}{S_0}, \quad (10)$$

где K – работа, затраченная на разрушение образца, Дж;

S_0 – начальная площадь поперечного сечения образца в месте надреза, м².

Работа, затраченная на разрушение образца:

$$K = MgH_1 - MgH_2 = Mg(H_1 - H_2) = MgL(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2), \quad (11)$$

где M – масса маятника, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H_1 – высота подъема маятника до удара, м;

H_2 – высота подъема маятника после удара, м;

L — длина маятника, м;

α_1 — угол подъема маятника до удара, град;

α_2 — угол подъема маятника после удара, град.

В зависимости от вида концентратора напряжений различают образцы трёх типов (рис. 4): с радиусом надреза $R=1$ мм (тип U), с $R=0,25$ мм и углом 45° (тип V), с инициированной трещиной (тип Т). Соответственно ударная вязкость обозначается KCU, KCV, KCT.

Выбор типа концентратора осуществляется в зависимости от требований к изделию: U — при обычных испытаниях металлов; V — для конструкций повышенной степени надежности; Т — для особо ответственных конструкций.

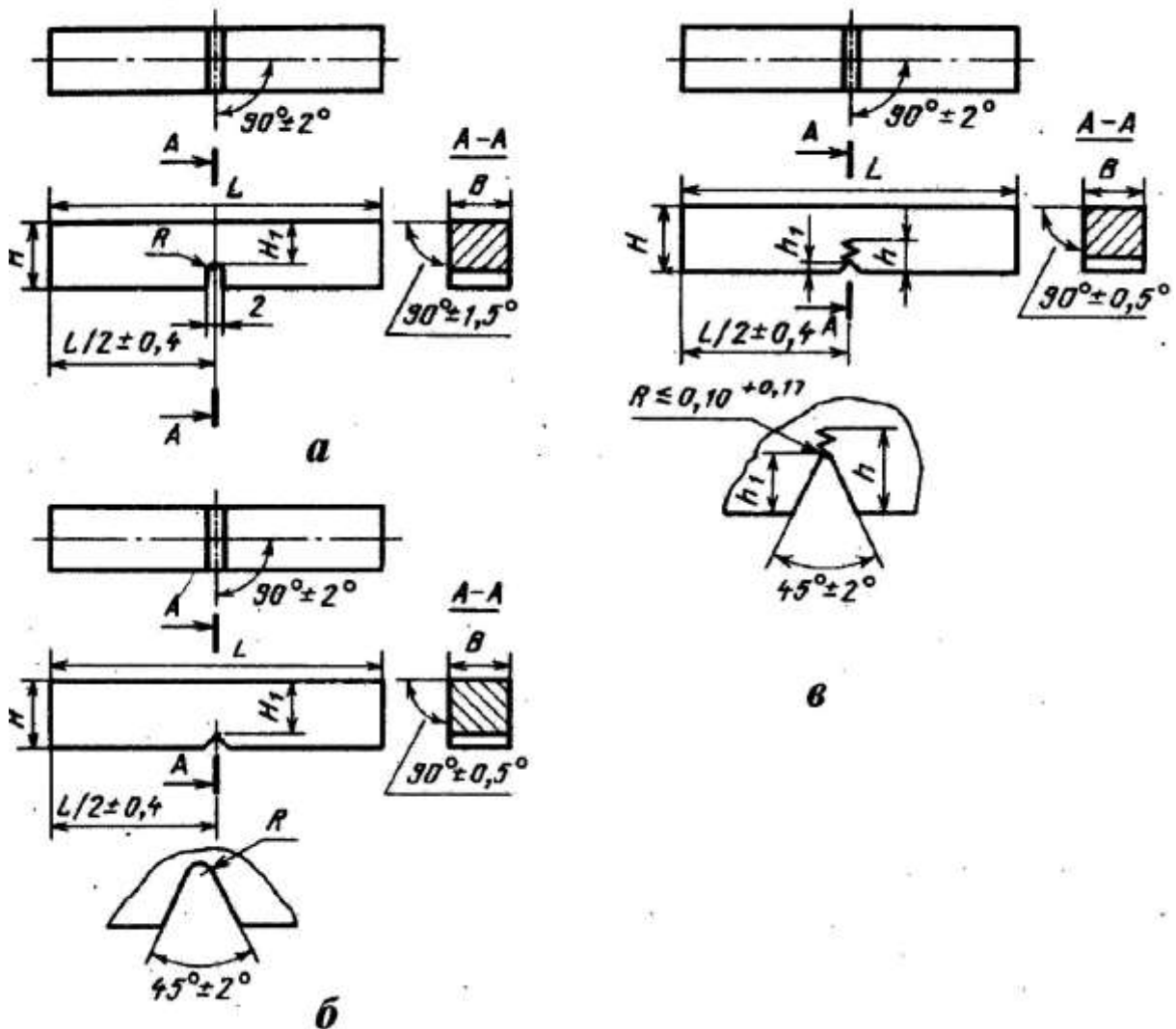


Рис. 4. Образцы для испытаний на ударную вязкость:
тип U (а), тип V (б), тип Т (в)

2.3. Механические свойства, определяемые при усталостных испытаниях

Длительное воздействие на металл повторно-переменных нагрузок может вызвать разрушение при напряжениях меньших σ_B и даже $\sigma_{0,2}$. Постепенное накопление повреждений в металле под действием циклических нагрузок, приводящих к образованию трещин и разрушению, называют усталостью, а свойство металлов сопротивляться усталости – выносливостью. Испытания на усталость регламентированы ГОСТ 25.502–79: при растяжении – сжатии, изгибе, кручении; с использованием симметричных или асимметричных циклов напряжений. Чаще всего их проводят на вращающемся образце (гладком или с надрезом) с приложением изгибающей нагрузки по симметричному циклу (рис. 5). Коэффициент асимметрии $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = -1$.

При этом определяют предел выносливости – наибольшее напряжение, которое не вызывает разрушения образца при произвольно большом числе циклов нагружения. Предел выносливости обозначают σ_R , а при симметричном цикле σ_{-1} .

Для испытания используют не менее 15 образцов, каждый из которых испытывают на определенном уровне напряжений до разрушения. По результатам испытания строят кривую усталости в координатах максимальное напряжение σ_{\max} – число циклов до разрушения N (рис. 6, а) или в логарифмических координатах $\lg \sigma_{\max} - \lg N$ (рис. 6, б).

Горизонтальный участок на кривой усталости, т. е. максимальное напряжение, не вызывающее разрушения при бесконечно большом числе циклов нагружения, соответствует пределу выносливости (рис. 6, кривая 1).

Некоторые металлы и сплавы не имеют горизонтального участка на кривой усталости (рис. 6, кривая 2). В этом случае определяют ограниченный предел выносливости – наибольшее напряжение, которое выдерживает металл (сплав) в течение заданного (базового) числа циклов нагружения N_6 . База испытания должна быть не менее $10 \cdot 10^6$ циклов для стали и $100 \cdot 10^6$ для цветных металлов и их сплавов.

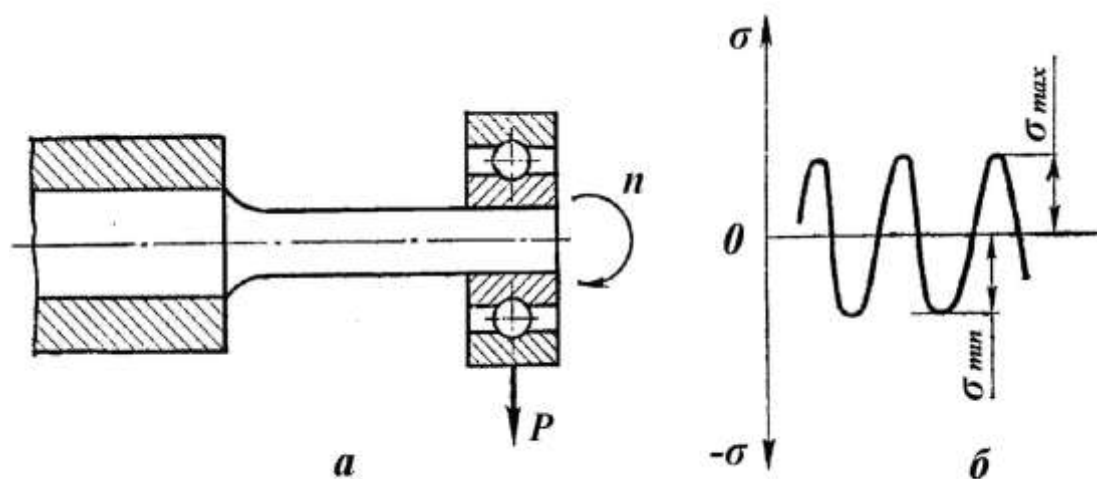


Рис. 5. Испытание на усталость: *a* – схема испытания, *б* – цикл изменения напряжений

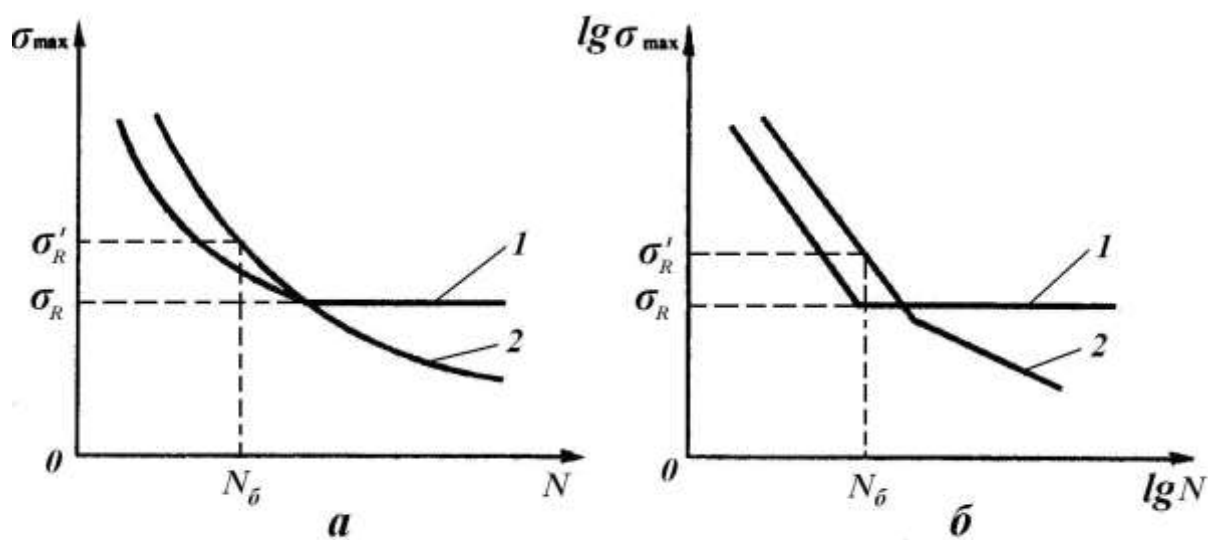


Рис. 5. Кривые усталости в координатах: *a* – $\sigma_{\max} - N$, *б* – $\lg \sigma_{\max} - \lg N$

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить основные теоретические положения.
2. Оформить отчет.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: наименование и цель лабораторной работы, перечень основных методов испытаний, схемы испытаний, расчетные формулы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие испытания называются статическими?
2. Какие механические характеристики металлов определяют при испытании на растяжение?
3. Что такое твердость?
4. Чем отличаются статические испытания металлов от динамических?
5. Какие образцы применяют при испытании на ударный изгиб?
6. С какой целью проводят испытания на усталость?
7. Что такое предел выносливости?

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материаловедение: учебник для студентов вузов / под ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 648 с.
2. Материаловедение: учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 4-е изд. – Москва: Альянс, 2009. – 528 с.
3. Металлы и сплавы: справочник / под ред. Ю. П. Солнцева. – Санкт-Петербург: АНО НПО «Профессионал», АНО НПО «Мир и Семья», 2003. – 1066 с.

Лабораторная работа №2 «КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ»

Составитель: Шатько Д. Б.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- изучение принципов классификации и маркировки конструкционных и инструментальных сталей;
- освоение студентами маркировки сталей на уровне способности ориентироваться в выборе материалов, которые применяются в общем машиностроении;
- ознакомление с видами упрочняющей термической обработки рассматриваемых сталей.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ

2.1. Общие сведения

Из всех материалов, применяемых в настоящее время и прогнозируемых в будущем, только сталь позволяет получать сочетание высоких значений различных механических характеристик и хорошую технологичность при сравнительно невысокой стоимости. Поэтому сталь является основным и наиболее распространенным конструкционным материалом.

Сталь – это сплав железа с углеродом (до 2 %) и сопутствующими примесями в виде марганца, кремния, серы, фосфора и др. Стали, применяемые в машиностроении, обычно содержат от 0,05 до 1,5 % С. Примеси, присутствующие в сталях, делят на четыре группы:

- постоянные (или обычные) – марганец, кремний, фосфор и сера, если их содержание находится в пределах: до 0,8 % – Mn; до 0,4 % – Si; до 0,05 – P и до 0,05 – S;
- скрытые – азот, кислород, водород, присутствующие в любой стали в очень малых количествах (тысячные доли процента);
- случайные – например, мышьяк, свинец, медь и др., попадающие в сталь из-за того, что они содержатся в рудах или в шихто-

вых материалах данного географического района или связаны с определенным технологическим процессом производства стали;

- специальные (легирующие элементы) – их вводят в состав стали для получения нужных по условиям службы деталей свойств стали. В этом случае сталь называют легированной.

2.2. Общая классификация

Существует несколько принципов классификации сталей:

- **по химическому составу:** углеродистые, низколегированные (легирующих элементов $\leq 3\%$), среднелегированные ($3\text{--}10\%$) и высоколегированные ($> 10\%$);
- **по качеству:** обыкновенного качества ($S, P \leq 0,04\text{--}0,05\%$ каждого), качественные ($S, P \leq 0,035\%$), высококачественные ($S, P \leq 0,025\%$), особо высококачественные ($S, P \leq 0,01\text{--}0,02\%$);
- **по способу выплавки:** стали, выплавленные кислым или основным процессом;
- **по назначению.**

Конструкционные стали общего назначения:

- строительные;
- цементируемые ($C \leq 0,25\%$);
- улучшаемые ($0,3\text{--}0,5\%$);
- азотируемые (легированные улучшаемые).

Специализированные стали:

- рессорно-пружинные;
- износостойкие (подшипниковые, стали Гатфильда);
- жаропрочные и нержавеющие;
- коррозионно-стойкие;
- с особыми физическими свойствами (электротехнические, магнитные и др.

Инструментальные стали:

- для режущего инструмента;
- для мерительного инструмента;
- для штампового инструмента.

3. КОНСТРУКЦИОННЫЕ УГЛЕРОДИСТЫЕ И ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Конструкционными называют стали, применяемые для изготовления деталей машин и механизмов, металлических конструкций. Их поставляют в виде проката различных профилей, которые выпускаются различного качества, углеродистыми и легированными.

К конструкционным сталям предъявляются требования по основным и технологическим свойствам.

Конструкционные стали характеризуются комплексом основных механических свойств, определяемых при стандартных испытаниях (σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ , KCV, HB). Этот комплекс свойств обеспечивает высокую конструктивную прочность, т. е. прочность, которая находится в наибольшем соответствии со служебными свойствами данного изделия. Конструкционная прочность оценивается надежностью материала против внезапных разрушений, температурным порогом хладноломкости, долговечностью изделия, по сопротивлению усталости, стойкости против коррозии и износа.

Конструкционная сталь должна обладать хорошими технологическими свойствами: хорошей или удовлетворительной обрабатываемостью давлением, резанием, свариваемостью и малой склонностью к деформации и трещинообразованию при термической обработке, достаточной прокаливаемостью.

3.1. Углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380–88)

Самые дешевые конструкционные стали. В процессе выплавки сохраняют повышенное количество вредных примесей.

Стали обыкновенного качества маркируются буквами Ст и цифрами: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6 (ГОСТ 380–88).

Цифра – это номер стали, которому соответствует химический состав и основные свойства. Чем выше цифра, тем больше углерода в стали (от 0,06 до 0,49 %) и тем соответственно выше прочность и ниже пластичность ($\sigma_b = 310 \div 640$ МПа; $\delta = 23 \div 17$ %

для сталей Ст0 и Ст6 соответственно). Содержание углерода в сталях обыкновенного качества можно определить по номеру стали следующим образом: $C = \text{№ стали} \times 0,07 (\%)$.

В зависимости от условий и степени раскисления стали выпускают спокойными (сп), кипящими (кп), полуспокойными (пс), что оговаривается в конце маркировки, например Ст3кп.

Эти стали не обладают высокой прочностью, поэтому из них изготавливают детали машин неответственного назначения, работающих при относительно невысоких нагрузках. Стали марок Ст0, Ст1, Ст2, Ст3 ($C \leq 0,25 \%$) применяют для строительных сварных, клепаных и болтовых конструкций (балок, ферм, подъемных кранов и т. д.) чаще всего в состоянии поставки, т. е. после нормализации. Детали машин из этих сталей изготавливают методом холодного, горячего деформирования, обработкой резанием. Если они работают в условиях интенсивного износа, то поверхности могут подвергаться цементации ($C \leq 0,25 \%$). Стали марок (Ст4, Ст5, Ст6) не используют для сварных конструкций. Детали машин из них проходят нормализацию на феррито-перлитную структуру, улучшение на сорбитную структуру и, если требуется повышенная твердость на поверхности, поверхностную закалку ТВЧ (токами высокой частоты) за счет мартенситной структуры с включениями карбидов.

3.2. Углеродистые конструкционные качественные стали (ГОСТ 1050–88)

К ним предъявляются более высокие требования по содержанию вредных примесей, а также по неметаллическим включениям. Качественные углеродистые конструкционные стали маркируют цифрами 05, 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 55, 58, 60 (ГОСТ 1050–88). Цифры указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Низкоуглеродистые стали марок 08, 10, 15, 20, 25 ($0,15\text{--}0,25 \%$ C) называют цементируемыми. Они обладают невысокой прочностью, но высокой пластичностью ($\sigma_{\text{в}} = 330\text{--}460$ МПа, $\delta = 33\text{--}23 \%$). После нормализации эти стали используют для ответственных сварных конструкций, для деталей, заготовки кото-

рых получают методом глубокой вытяжки, а также для цементуемых деталей машин.

Среднеуглеродистые стали марок 30, 35, 40, 45, 50, 55 (0,3–0,55 % С) называют улучшаемыми; они имеют повышенную прочность ($\sigma_b = 500 \div 700$ МПа) при несколько пониженной пластичности ($\delta = 21 \div 16$ %) по сравнению с малоуглеродистыми. Их используют для изготовления самых разнообразных деталей во всех отраслях машиностроения после нормализации или улучшения (полной закалки и высокого отпуска на сорбит). Если требуется повышенная износостойкость на поверхности, то для сталей марок 40, 45, 50, 55 проводится поверхностная закалка ТВЧ.

3.3. Легированные конструкционные стали общего назначения

Маркируются цифрами и буквами, например: 15Х, 12ХН3А; двузначные цифры, приводимые в начале марки, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Если цифра перед маркировкой отсутствует, то углерода в стали около 1 %. Буквы в маркировке обозначают легирующие элементы: А – азот; Н – никель; Г – марганец; Х – хром; Р – бор; Б – ниобий; М – молибден; Ц – цирконий; Д – медь; В – вольфрам; П – фосфор; С – кремний; Ю – алюминий; Ф – ванадий; Т – титан; Е – селен; К – кобальт. Цифра после буквы указывает примерное содержание легирующего элемента в целых процентах. Отсутствие цифр говорит о том, что его количество составляет от 1 до 1,5 %, а карбидообразующих элементов – в десятых долях процента, от 0,1 до 0,5 в зависимости от элемента. К особенностям маркировки конструкционных сталей относится то, что в подшипниковых конструкционных сталях – буква Ш перед маркировкой (ШХ15) среднее содержание хрома указывается в десятых долях процента; буква Л в конце маркировки означает, что заготовка из этой стали изготавливается методом литья (40 Л); буква А перед маркировкой – сталь автоматная (А20), цифры после нее – это содержание углерода в сотых долях процента и т. д.

3.3.1. Строительные низколегированные стали (ГОСТ 19281–89)

По качеству легированные стали выплавляют только качественными или высококачественными. Высокое качество плавки стали отмечают буквой А в конце марки (30ХГСА). Особо высококачественные стали встречаются гораздо реже и выделяются буквой Ш в конце марки (30ХГСШ).

Строительные низколегированные стали легируют марганцем и кремнием (20Г2, 17ГС, 10Г2С1). Для особо ответственных сварных конструкций используют стали с никелем (он понижает порог хладноломкости), хромом, медью (они улучшают коррозионную стойкость, например 15ХСНД, 25ХСНД). Типовой режим термической обработки – это улучшение на сорбит.

3.3.2. Машиностроительные конструкционные легированные стали (ГОСТ 4543–71)

Данные стали легируют с целью повышения прочности и прокаливаемости чаще всего хромом, марганцем, кремнием (по 1 % каждого). В ответственных случаях они легированы никелем (3–5 %), который повышает прочность без снижения ударной вязкости, понижает температурный порог хладноломкости. Легированные конструкционные стали более технологичны по сравнению с углеродистыми, т. е. они меньше деформируются при термической обработке из-за возможности выполнения закалики в масле. Используют для более крупных и тяжелонагруженных деталей машин сложной формы с сечением выше 20 мм.

Так же, как углеродистые, они, в зависимости от содержания углерода, делятся на цементуемые (15Х, 20Х, 12ХН3А, 18ХГТ, 20ХГР) и улучшаемые (30Х, 40Х, 40ХН, 30ХГСА). Применяют легированные стали только после упрочняющей обработки по типовым режимам: низкоуглеродистые – после закалики и низкого отпуска; среднеуглеродистые – после улучшения.

Для повышения износостойкости стали подвергают: цементации – процессу диффузионного насыщения поверхности стали углеродом (15Х, 20Х, 18ХГТ, 20ХН3ФА и другие цементуемые стали); азотированию – процессу диффузионного насыщения по-

верхности стали азотом (38ХМЮА, 38Х2МЮА, 40Х, 40ХНЗФА и другие азотируемые стали); низколегированные стали (30Х, 40Х и др.) могут подвергаться закалке ТВЧ.

4. СТАЛИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Имеют специфические свойства, химический состав, термическую обработку и более узкую область применения. В общем машиностроении из широкого многообразия этих сталей наиболее часто применяют рессорно-пружинные, подшипниковые, нержавеющие, износостойкие, автоматные и др.

4.1. Рессорно-пружинные стали

Применяют для изготовления рессор, пружин, шпинделей, станков, бандажно-колесных пар и других деталей с высокой упругостью. Их выпускают углеродистыми: стали 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г по ГОСТ 1050–88 и легированными: 55С2, 60С2А, 70С3А, 65С2ВА, 50ХГФА, 60С2Н2А и др. по ГОСТ 14959–79. Для обеспечения упругих свойств стали содержат повышенное количество углерода (0,55–0,75 %) и подвергаются полной закалке с последующим среднетемпературным отпуском. По этой же причине основными легирующими элементами пружинных сталей являются марганец и кремний. Срок службы пружин повышают: обработкой ППД, патентированием холоднотянутой проволоки.

4.2. Износостойкие стали

Это подшипниковые и высокомарганцевистые стали Гатфильда.

4.2.1. Подшипниковые стали

Марки ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ (ГОСТ 801–78) являются высокоуглеродистыми, содержат около 1 % углерода. В подшипниках качения (кольцах, шариках, роликах) должны обеспечиваться высокая прочность, износостойкость, в том числе

усталостная, и высокий предел выносливости. Детали подшипников воспринимают высокие контактные, знакопеременные нагрузки, поэтому их обрабатывают на максимальную твердость и прочность. Для этого их подвергают неполной закалке и низкому отпуску. Основные и технологические свойства этих сталей, например прокаливаемость, улучшают введением хрома в количестве 0,4–1,5 %.

4.2.2. Износостойкие стали Гатфильда

Это высокомарганцевистые аустенитные стали типа 110Г13Л, 110Г13Х2БРЛ, 130Г14ХМФАЛ, 110Г13ФТЛ, 120Г10ФЛ и др. Используют обязательно в условиях динамических нагрузок для изготовления траков гусеничных машин, щек дробилок, черпаков землечерпальных машин, крестовин железнодорожных и трамвайных путей и т. д. В условиях ударных нагрузок они упрочняются за счет наклепа аустенита.

4.3. Нержавеющие стали

Выпускают хромистыми (08Х13, 12Х13, 20Х13, 30Х13, 40Х13, 12Х17, 15Х25Т) и хромоникелевыми (04Х18Н10, 08Х18Н10, 12Х18Н10Т, 17Х18Н9, 10Х13Н2Т, 10Х14Г14Н4Т, 12Х17Т9АН4 и др. по ГОСТ 5632–72).

Отличительной особенностью этих сталей является наличие хрома более 12,5 %, что вызывает изменение электропотенциала феррита с электроотрицательного на электроположительный в хромистых сталях и получение парамагнитного аустенитного состояния в хромоникелевых сталях. Это и обеспечивает высокую коррозионную стойкость сталям.

Термическую обработку нержавеющих сталей производят для повышения коррозионной стойкости за счет стабилизации структуры феррита в сталях 08Х13, 12Х17, 15Х25Т ферритного класса или аустенита в сталях 08Х18Н10, 12Х18Н10Т и др. аустенитного класса.

Мартенситные стали 20Х13, 30Х13, 40Х13 подвергают упрочняющей обработке, тип которой определяется условиями

эксплуатации и соответствует типовым режимам обычных конструкционных сталей, а именно:

- для деталей машин – улучшение (20X13, 30X13);
- для пружин, коррозионно-стойкого инструмента, подшипников – закалка с низким отпуском (20X13, 30X13, 40X13).

Нержавеющие стали плохо обрабатываются резанием. Детали и конструкции из них изготавливают методами холодной и горячей обработки давлением, а из ферритных и аустенитных – сваркой.

4.4. Автоматные стали

Автоматные стали обрабатывают при высоких скоростях резания. При их применении снижается расход режущего инструмента и уменьшается шероховатость поверхности обрабатываемой детали.

A12, A20, A30, A35, A40Г, AC14, AC35Г2, AC45Г2, АЦ20, АЦ30, АЦ40Х (ГОСТ 1414–75) – это стали хорошей обрабатываемости резанием, созданы для обработки на автоматических линиях в массовом производстве.

Технологическое свойство – обрабатываемость резанием – улучшается за счет введения повышенного количества серы (0,08–0,3 %) и фосфора (менее 0,05 %), а также свинца (0,15–0,3 %, буква С в маркировке) или кальция (0,002–0,008 %). Маркируют автоматные стали цифрами и буквами: А – сталь автоматная; С – содержит свинец; Ц – содержит цинк; остальные легирующие элементы указываются так же, как и в легированных сталях. Цифры перед маркировкой – это содержание углерода в сотых долях процента.

Эти стали имеют пониженную из-за вредности примесей прочность и широко применяются в массовом производстве, особенно в автомобилестроении, станкостроении, тракторном машиностроении для изготовления слабо- и средненагруженных деталей машин после термообработки, аналогичной углеродистой, т. е. чаще после нормализации или улучшения, могут подвергаться цементации в зависимости от требований к деталям машин.

5. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ

Применяют для изготовления режущего, мерительного и штампового инструмента. Это высокоуглеродистые стали (0,7–1,4 % С), обладающие высокими твердостью, теплостойкостью, удовлетворительной прочностью, ударной вязкостью.

Их выпускают углеродистыми и легированными. По теплостойкости подразделяют: на нетеплостойкие (до 200 °С), полутеплостойкие (до 400 °С) и теплостойкие (600 °С и выше).

Особенностью маркировки инструментальных сталей является то, что содержание углерода указывается в десятых долях процента. У углеродистых оно следует за буквой У (У10), а в легированных ставится перед маркировкой (9ХС), если цифра перед маркировкой отсутствует, то углерода в стали около 1% (ХВГ).

В промышленности выплавляют углеродистые стали следующих марок: У7, У8, У8Г, У8ГА, У9, У10, У11, У12, У13, качественными и высококачественными: У7А и У13А (ГОСТ 1435–90). Их применяют в основном для изготовления слесарного, штампового холодного деформирования, деревообрабатывающего и металлообрабатывающего инструментов, работающих без нагрева.

Низколегированные нетеплостойкие Х, ХВГ, 9ХС, ХВСГ, 6ХС (ГОСТ 5950–73) и др. используют практически так же, как и углеродистые, только для сложного и крупного инструментов с размерами 30–50 мм, так как являются более технологичными.

Среднелегированные полутеплостойкие типа Х12 применяют для крупногабаритных до 400 мм тяжелонагруженных штампов холодного деформирования. Стали с пониженным содержанием углерода 5ХНМ, 5ХГН, 4Х5В2С, 3Х2В8Ф и др. (ГОСТ 5950–73) используют в качестве штамповых сталей горячего деформирования.

Высоколегированные теплостойкие инструментальные стали называют быстрорежущими. Выпускают быстрорежущие стали следующих марок: Р6М5, Р9, Р12, Р18, Р6М5К8 и др. (ГОСТ 19255–73). Особенность их маркировки – это буква Р. Следующая за ней цифра указывает на содержание основного легирующего элемента этих сталей – вольфрама в процентах. Они

обязательно содержат: углерод 0,8 % и более; хром около 4 %; кремний около 2 %; вольфрам не более 1,2 %.

Быстрорежущие стали являются универсальными по назначению, но основное их применение – это всевозможный металло-режущий инструмент (резцы, сверла, фрезы, протяжки), работающий с нагревом режущей кромки. Термическая обработка инструментальных сталей направлена на обеспечение максимальной твердости и теплостойкости:

- для нетеплостойких (У8, У9, Х, ХВГ, 9ХС) – это закалка с низким отпуском на структуру мартенсит или мартенсит с избыточными карбидами;

- для нетеплостойких (7ХС, 4ХС, 6ХС, 6ХВ2С, 6ХВГ) – это закалка со средним отпуском на структуру троостит либо изотермическая закалка с последующим низким отпуском;

- для полутеплостойких штампов холодного деформирования (Х12, Х12Ф1, Х12ФМ) – высокотемпературная закалка с низким отпуском на мартенситную структуру с избыточными карбидами первичным и вторичным;

- для полутеплостойких штампов горячего деформирования (5ХНМ, 5Х5НВ, 4Х5В2СВ, 4Х5МВС, 3Х2В8Ф, 3Х3М3Ф и др.) – высокотемпературная закалка со среднетемпературным отпуском на структуру троостит;

- для быстрорежущих сталей (Р6М5, Р9, Р12, Р18, Р6М5К5, Р14Ф3 и др.) – высокотемпературная закалка 1 200–1 280 °С с последующим трехкратным отпуском при 560 °С по 1 часу каждый на структуру мартенсит с первичными и вторичными карбидами.

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Студенты выполняют работу по индивидуальным заданиям и приложению. Содержание работы заключается в следующем:

- ознакомиться с методическим указанием, изучить классификацию сталей и их маркировку;
- предложенные студенту в индивидуальном задании марки сталей расшифровать по химическому составу;
- расшифровать марки сталей по назначению;
- определить область применения каждой марки и сформулировать условия эксплуатации данных сталей;

– дать рекомендации по упрочняющей термической обработке рассматриваемых сталей.

При выполнении задания можно использовать рекомендуемую литературу.

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Ознакомиться с порошковыми инструментальными материалами: порошковыми быстрорежущими сталями, металлокерамическими твердыми сплавами, керамическими материалами (керметами) (Короткова, Л. П. Инструментальные материалы: учеб. пособие / Л. П. Короткова; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2006. – 178 с.; гл. 3) (2 часа).

8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник металлиста / под ред. А. Г. Рахштадта и В. А. Брострема. – Москва : Машиностроение, 1976.

2. Основы металловедения / под ред. Ю. М. Лахтина. – Москва : Металлургия, 1988.

3. Материаловедение / под ред. Б. Н. Арзамасова. – Москва : Машиностроение, 1986.

4. Материаловедение / под ред. Ю. М. Лахтина, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990.

5. Короткова, Л. П. Конструкционные материалы : учеб. пособие / Л. П. Короткова ; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. – 156 с.

6. Короткова, Л. П. Инструментальные материалы : учеб. пособие / Л. П. Короткова ; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2006. – 178 с.

7. Металлы и сплавы. Справочник / под ред. Ю. П. Солнцева. – Санкт-Петербург : НПО «Профессионал» ; НПО «Мир и семья», 2003. – 1062 с.

8. ГОСТ 380-94. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки. – Москва : Издательство стандартов, 1994. – 5 с.

9. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. – Москва : Издательство стандартов, 1988. – 25 с.

10. ГОСТ 1435-99. Сталь нелегированная инструментальная. Технические условия. – Москва : Издательство стандартов, 1999. – 21 с.

11. ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. – Москва : Издательство стандартов, 1971. – 67 с.

12. ГОСТ 801-78. Сталь подшипниковая. Технические условия. – Москва : Издательство стандартов, 1978. – 20 с.

13. ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки. – Москва : Издательство стандартов, 1972. – 61 с.

14. ГОСТ 5950-2000. Прутки и полосы из инструментальной легированной стали. Технические условия. – Москва : Издательство стандартов, 2000. – 57 с.

14. ГОСТ 19265-73. Сталь инструментальная быстрорежущая. – Москва : Издательство стандартов, 1974. – 27 с.

15. ГОСТ 19281-89. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия. – Москва : Издательство стандартов, 1989. – 23 с.

16. ГОСТ 14959-79. Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. – Москва : Издательство стандартов, 1979. – 17 с.

17. ГОСТ 4543-71. Калиброванный прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. – Москва : Издательство стандартов, 1971. – 16 с.

Приложение

№ ва- ри- ан- та	Сплавы	№ ва- ри- ан- та	Сплавы
1	ШХ15; сталь 65; 8ХФ	16	12ХН3А; 70С2ХА; У13
2	20Г; АС35Г2	17	30Х3МФ; 30Х13; А20
3	18ХГТ; У8Г; ХГС	18	12ГС; 30ХРА; Р12
4	35ХГФ; сталь 20; ХВСГФ	19	15Н2М; 65С2ВА; У9А
5	14Г2; сталь 40; 6ХС	20	55С2ГФ; сталь 5; 20Х13
6	33ХС; сталь 70; Р9Ф5	21	ШХ4; Ст 3; В2Ф
7	40ХФА; У7; 12Х18Н9Т	22	18Х2Н4МА; сталь 35; Р9
8	40ХН; Х12МФ; сталь 45	23	10Г2С1Д; сталь 85; 7Х3
9	30ХН; сталь 10; ХВСГФ	24	20ХНР; 12Х13; 5ХНВ
10	5ХГР; сталь 58; 9ХС	25	16Г2АФ; 60С2А; 6ХВ2С
11	20ХН2М; 14ХГС; 4ХС	26	38ХМЮА; 17Х18Н9Т; У7
12	30ХМА; 55С2; Х12	27	15ХМ; 20Х23Н13; У11
13	38ХС; 15ГФ; Р18	28	08Х17Н5М3; 17Г1С; Р14Ф4
14	38Х2Ю; 15ГФД; 110Г13Л	29	08Х13; 60С2ХФА; Р9К5
15	30ХН2МА; сталь 25; 5ХНМ	30	33ХС; 15ГФД; АЦ20

Лабораторная работа №3 «ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ФОРМОВКИ»

Составитель: Петренко К. П.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобрести практические навыки изготовления разовой песчано-глинистой формы.

Ознакомиться с основными принципами конструирования литых деталей и элементов литейной формы.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Разовые песчано-глинистые формы

Изготовление отливок (заготовок, полученных литьем) основано на способности расплавленных металлов и сплавов заполнять специально подготовленную литейную форму, рабочая полость которой имеет конфигурацию будущей отливки. Расплавленный металл после затвердевания сохраняет конфигурацию той полости, в которую был залит.

Литьем изготавливают заготовки массой от нескольких граммов до сотен тонн, практически любой сложности (валы, зубчатые колеса, блоки цилиндров двигателей, станины станков). Материалами для изготовления отливок служат чугун, сталь, цветные металлы и сплавы, а также многие неметаллические материалы (резины, пластмассы и др.).

Литейные формы могут быть:

- разовыми – годны для изготовления только одной отливки, затем форма разрушается. К разовым формам относятся песчано-глинистые, оболочковые, формы для литья по выплавляемым моделям;
- многократными – выдерживают сотни и более заливок. Сюда относят металлические формы (кокили), формы для литья под давлением, формы для центробежного литья.

В нашей стране около 80 % всех отливок по массе изготавливают литьем в песчано-глинистые формы. Этот способ является

наиболее универсальным и дешевым. Им получают отливки практически любой конфигурации.

Разовая песчано-глинистая форма (рис. 1) состоит из двух полуформ, основой которых являются опоки 1 и 12. Опоки служат для удержания формовочной смеси 10, заполняющей опоку и формирующей рабочую полость формы. Соединение опок при изготовлении и сборке формы обеспечивается центрирующими штырями 13, которые вставляют в отверстие специальных приливов. Для получения внутренних отверстий и полостей в отливке служит стержень 11.

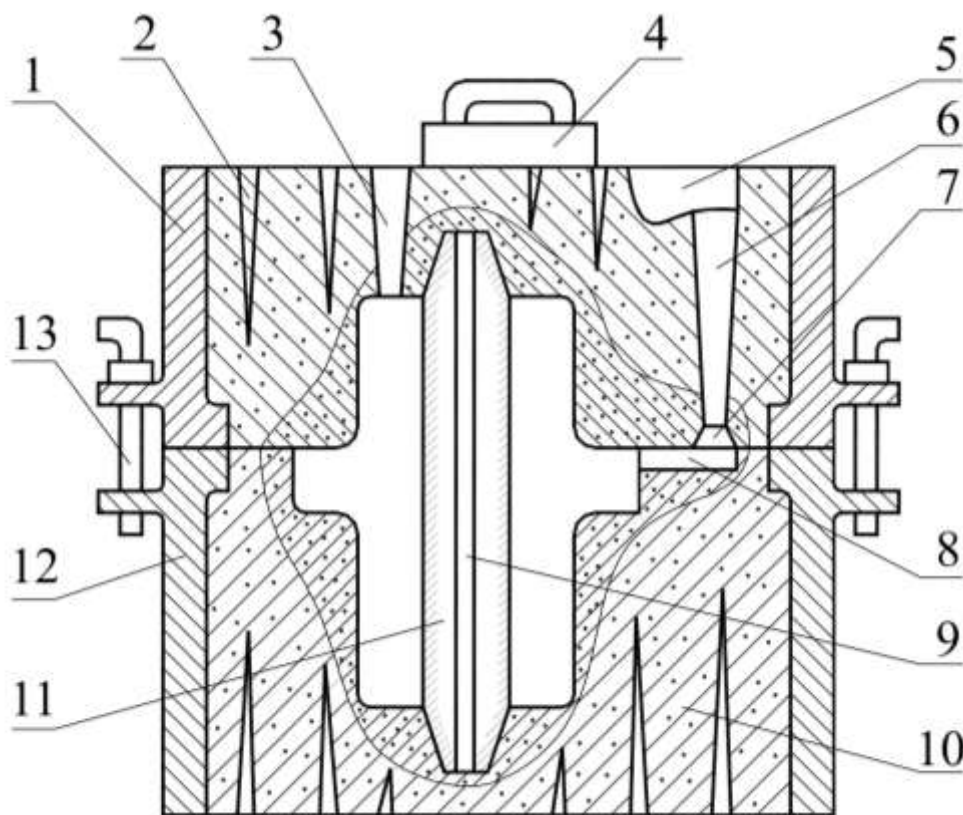


Рис. 1. Литейная форма в сборе

Расплавленный металл в форму поступает через литниковую систему, состоящей из литниковой чаши (воронки) 5, стояка 6, шлакоуловителя 7, питателя 8, выпора 3.

Литниковая чаша служит для приема расплавленного металла. При заливке следует быстро заполнить чашу и поддерживать в ней расплав на постоянном высоком уровне, чтобы шлак успел всплыть на поверхность и не попал в стояк. Стояк – вертикальный канал, соединяющий чашу со шлакоуловителем. Имеет обычно коническую форму, сужающуюся книзу. Шлакоулови-

тель – горизонтальный трапециевидный канал, связывающий сток с питателями. Служит для задержания шлака и других неметаллических включений. Располагают обычно в верхней полуформе. Питатели – каналы для подвода расплава непосредственно в полость формы. Имеют прямоугольное или трапециевидное поперечное сечение. Располагают обычно в нижней полуформе. Выпор служит для отвода паров и газов из формы, перепуска расплава, контроля заполнения формы. Располагают на самой верхней части отливки или сбоку. В состав литниковых систем для отливок из сплавов, имеющих повышенную усадку, неравномерную толщину стенок, массивные узлы входит прибыль – полость в форме, расположенная над массивной частью отливки. Расплав в прибыли предназначен для питания отливки при затвердевании с целью предупреждения образования усадочных раковин и рыхлот. Размеры прибылей и их расположение выбирают так, чтобы металл затвердевал в них в последнюю очередь, при этом раковины и рыхлоты образуются в прибыли, а отливка получается плотной. Наиболее часто прибыли применяют при изготовлении отливок из сталей и цветных сплавов.

Чтобы предотвратить вытекание металла по разьему формы при заливке, полуформы скрепляют между собой скобами или на форму устанавливают груз 4.

Вентилиция формы производится с помощью специальных вентиляционных каналов в верхней и нижней полуформах 2 и стержне 9.

2.2. Формовочные и стержневые смеси

В качестве исходных формовочных материалов используют формовочный кварцевый песок с различной зернистостью, литейные формовочные глины и вспомогательные материалы.

Песок является огнеупорной основой смеси. Состоит в основном из кремнезема SiO_2 , имеющего температуру плавления 1713°C . В состав песка входят также полевой шпат и слюда.

Глина является наиболее распространенным связующим материалом в формовочных смесях. Отличительной особенностью глины является способность набухать в воде. Основным минералом каолиновых глин является каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, име-

ющий температуру плавления 1750 °С. Bentonитовые глины в основном состоят из монтмориллонита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Вспомогательные материалы вводят для придания смеси специальных свойств. Для защиты отливок от пригара применяют противопопригарные добавки (графит, мазут, угольная пыль). В качестве добавок, повышающих податливость и газопроницаемость, применяют торфяную крошку, опилки.

По характеру использования формовочные смеси делятся на облицовочные, наполнительные и единые.

Облицовочная смесь служит для изготовления рабочего слоя формы толщиной 20–40 мм, контактирующего с моделью и расплавом. Содержит 50–90 % свежих формовочных материалов, остальное – оборотная смесь, то есть бывшая в употреблении смесь, подготовленная для повторного употребления.

Наполнительная смесь используется для заполнения оставшегося объема опоки после нанесения на модель облицовочной смеси. Содержит 95–98 % оборотной смеси и 2–5 % свежих формовочных материалов. Использование облицовочных и наполнительных смесей рационально в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Единая смесь одновременно используется в качестве облицовочной и наполнительной. Содержит 85–90 % оборотной смеси и 10–15 % свежих формовочных материалов. Применяется при машинной формовке в серийном и массовом производстве в целях упрощения организации формовки и повышения производительности.

В табл. 1 приведены типовые составы единых формовочных смесей.

Стержни в процессе заливки испытывают значительно более высокие термические и механические воздействия, чем формы, так как со всех сторон, кроме знаков, окружены расплавом. В связи с этим стержневые смеси должны обладать более высокими механическими свойствами по сравнению с формовочными.

Для повышения прочности в смеси вводят различные связующие, в качестве которых используются олифа, сульфитная барда, различные синтетические смолы (карбамидно-фурановые, фенолофурановые и др.), пульвербакелит, а также жидкое стекло.

Таблица 1

Состав формовочных смесей

Литейные сплавы	Состав, % (мас.)				
	Оборотная смесь	Кварцевый песок	Глина	Каменный уголь	Вода сверх 100 %
Серый чугун	90	8,2–9,0	0,7–1,5	0,3	4,0–5,0
Сталь углеродистая	90	8,3–9,2	0,8–1,7	–	3,0–3,5
Алюминиевые сплавы	80	10	10	–	4,0–5,0

2.3. Модельный комплект

Для изготовления литейной формы необходим модельный комплект – совокупность технологической оснастки и приспособлений, предназначенных для изготовления стержней и получения рабочих полостей в литейной форме. В модельный комплект входят:

- модель отливки;
- модели элементов литниковой системы;
- модельные (подмодельные) плиты;
- стержневые ящики.

Модель отливки (рис. 2) служит для образования отпечатка в литейной форме, соответствующего конфигурации отливки. При ручной формовке применяют деревянные, пластмассовые и гипсовые модели. Модели бывают неразъемными и разъемными. Части разъемной модели скрепляют между собой при помощи шипов (дюбелей).

Знаковые части модели необходимы для получения углублений в литейной форме, в которые вставляется стержень своими стержневыми знаками. Таким образом, длина (высота) модели и стержня больше длины (высоты) отливки на величину знаков.

Залитый в форму расплав при затвердевании и охлаждении уменьшается в объеме. Это явление называют усадкой. Следова-

тельно, размеры модели должны быть больше размеров холодной отливки на величину усадки.

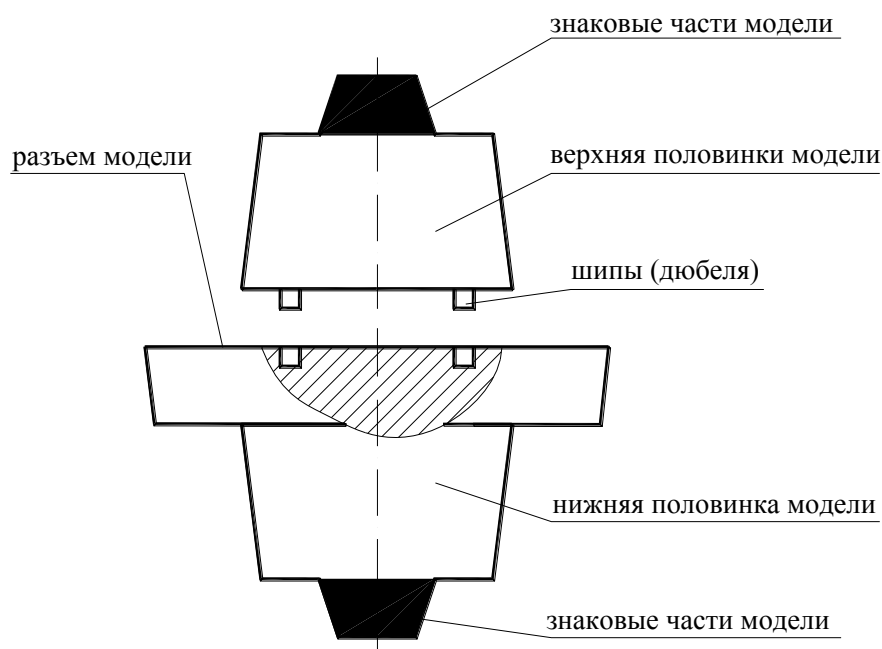


Рис. 2. Разъемная модель отливки

Величина усадки литейных сплавов зависит от их химического состава, температуры заливки, конфигурации и размеров отливки, технологии изготовления формы и выражается в процентах. В табл. 2 приведена величина литейной усадки различных сплавов.

Таблица 2

Литейная усадка сплавов

Сплав	Усадка, %
Серый чугун	0,5–1,0
Углеродистая сталь	1,4–2,2
Медные сплавы	0,75–1,8
Алюминиевые и магниевые сплавы	0,5–1,2

Модели элементов литниковой системы (питателей, шлакоуловителя, стояка и выпоров) при ручной формовке (изготовлении литейной формы вручную) устанавливают без закрепления их на подмодельные деревянные плиты.

Подмодельные плиты служат для образования в форме плоскости разъема. При ручной формовке применяют деревянные подмодельные плиты, склеиваемые из строганных досок. Подмодельные плиты небольших размеров называют щитками. При машинной формовке (изготовлении форм на формовочных машинах) применяют главным образом модельные плиты, представляющие собой металлические плиты с закрепленными на них моделями отливок и моделями элементов литниковой системы. В зависимости от типов формовочных машин конструкции модельных плит могут различаться.

Стержневые ящики служат для изготовления песчаных стержней ручной и машинной формовкой. По конструкции они подразделяются на разъемные, неразъемные и вытряхные. Наиболее распространены разъемные ящики, так как их применяют при изготовлении стержней любых размеров и конфигурации. Половинки ящика соединяются между собой с помощью шипов и отверстий. Стержневые ящики изготавливают из древесины, металла, пластмасс. На рис. 3 изображена одна из половинок разъемного стержневого ящика из древесины.

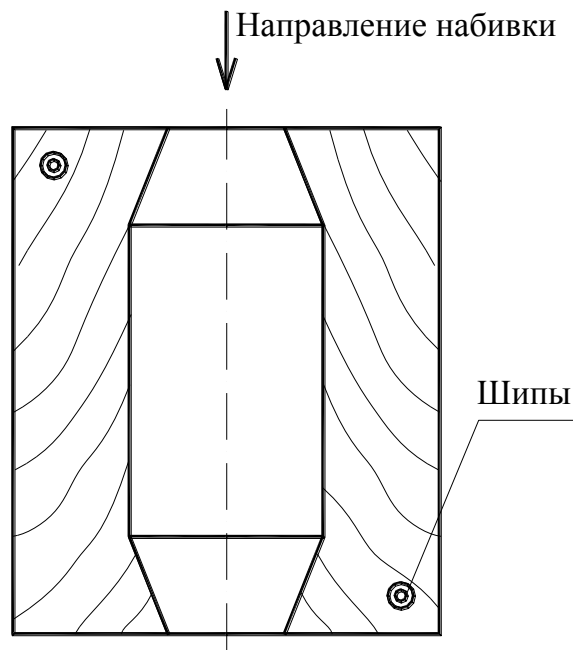


Рис. 3. Половинка стержневого ящика

2.4. Приготовление смесей

Для приготовления формовочных и стержневых смесей применяют смесители (бегуны). В единичном и мелкосерийном производстве применяют, главным образом, бегуны с вертикальными катками (рис. 4).

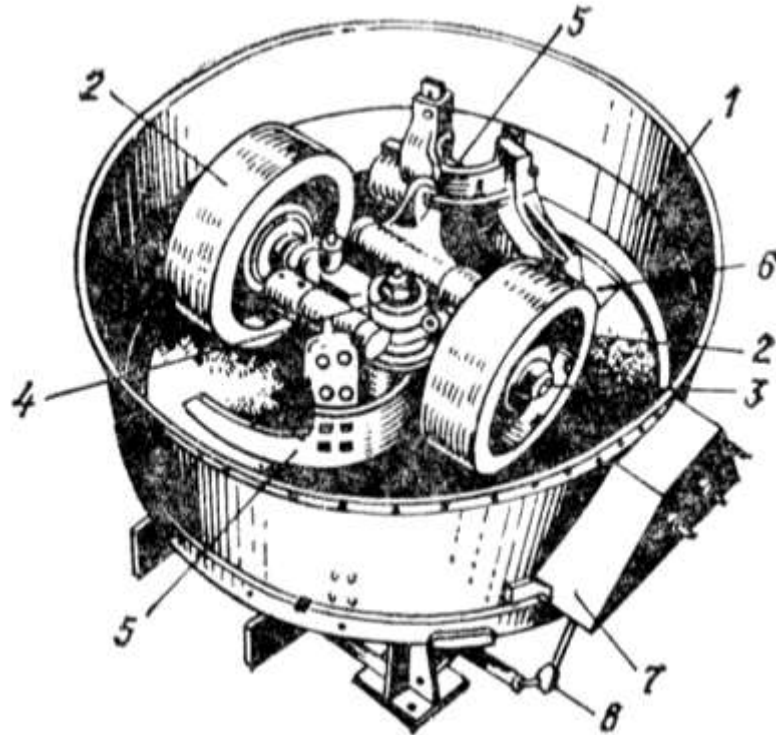


Рис. 4. Бегуны с вертикальными катками

Внутри неподвижной чаши 1 расположен вертикальный вал 4, который от электромотора через редуктор получает вращательное движение. На валу шарнирно укреплены два катка 2. Для предохранения зерен песка от раздробления катки при помощи специальных кривошипов и упорных болтов устанавливают примерно на 5–6 мм от дна чаши. При вращении вала катки движутся по окружности, а под влиянием трения о формовочные материалы катки вращаются вокруг своих осей 3. Плужки 5 непрерывно переваливают загруженные материалы и направляют их под катки. Для выгрузки из бегунов готовой смеси в дне чаши имеется люк 6, закрываемый дверцей (на рисунке не показана), которая при помощи пневматического устройства, помещаемого в коробке 7, и пята 8 открывается, и плужки выгребают смесь через люк. На некоторых моделях люк 6 открывается и закрывается вруч-

ную. Готовая смесь выдается на ленточный транспортер, либо в короб.

2.5. Изготовление литейной формы

Ручную формовку применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства, при изготовлении крупных уникальных отливок, а также для ремонтного литья. Из всех разновидностей ручной формовки наиболее распространенной для изготовления различных по конфигурации отливок является формовка по разъемной модели. Технологический процесс ручного изготовления литейной формы рассмотрим на примере заготовки типа «шестерня». Модель имеет два знака, один из которых (верхний) выполнен отъемным. Изготовление формы осуществляют в двух опоках по деревянной модели.

При формовке выполняют следующие операции, показанные на рис. 5, поз. 1–24. На модельную плиту устанавливают модели отливки и питателя (рис. 5, поз. 1). На плиту устанавливают нижнюю опоку, которую располагают приливами вниз (рис. 5, поз. 2). Поверхность модели припыливают серебристым графитом или другим материалом. Через сито на модель насеивают облицовочную смесь. Просеивание (рис. 5, поз. 3) смеси необходимо для увеличения ее однородности и удаления посторонних металлических предметов. Толщина слоя облицовочной смеси в уплотненном состоянии для малых отливок 10–20 мм, для средних – 30–40 мм. После нанесения слоя облицовочной смеси опоку заполняют наполнительной смесью (рис. 5, поз. 4).

Смесь в опоке сначала уплотняют острым концом трамбовки, чтобы увеличить равномерность уплотнения в зоне, прилегающей к плоскости разъема и модели (рис. 5, поз. 5). Острый конец трамбовки не должен доходить до поверхности модели на 20–30 мм, иначе может произойти повреждение модели и местное переуплотнение смеси, приводящее к образованию газовых раковин. После смесь утрамбовывают плоским концом трамбовки, что способствует равномерному ее уплотнению в верхних слоях формы (рис. 5, поз. 6). Заполнение и уплотнение должно производиться отдельными слоями толщиной 50–75 мм. Уплотнение смеси трамбовкой начинают вдоль стенок опоки, после чего пе-

переходят к уплотнению остального объема опоки. Излишек смеси снимают вровень с краями опоки деревянной линейкой (рис. 5, поз. 7). Затем в полуформе прокалывают вентиляционные каналы (рис. 5, поз. 8), вдавливая металлическую иглу диаметром 2–10 мм (в зависимости от размера формы) на определенную глубину, не доводя ее до поверхности модели на 10–15 мм. Расстояние между отдельными каналами 40–70 мм. Далее выполняют операции поворота нижней полуформы на 180° таким образом, чтобы модель и приливы опоки оказались вверху (рис. 5, поз. 9). Полуформу устанавливают на стол верстака, контролируют уплотнение формы твердомером. Заглаживают плоскость разъема формы гладилкой и устанавливают знак модели. Разъем формы присыпают сухим кварцевым песком (рис. 5, поз. 10); излишний песок удаляют с плоскости разъема формы (рис. 5, поз. 11). Верхнюю опоку по штырям устанавливают на нижнюю, припыливают поверхность модели графитом (рис. 5, поз. 12). На модель питателя, заформованного в нижней полуформе, устанавливают модель шлакоуловителя и стояка. Через сито насеивают слой облицовочной смеси (рис. 5, поз. 13); уплотняют вручную (обминают) смесь вокруг стояка, заполняют опоку наполнительной смесью лопатой или из бункера (рис. 5, поз. 14). Затем уплотняют смесь острым концом трамбовки (рис. 5, поз. 15), добавляют в опоку уплотнительную смесь и уплотняют плоским концом трамбовки (рис. 5, поз. 16). Плотность формовочной смеси в верхней полуформе должна быть несколько меньше, чем в нижней. Вровень с краями опоки удаляют смесь линейкой (рис. 5, поз. 17). Далее выполняют в верхней полуформе, как и в нижней, вентиляционные каналы, прорезают литниковую воронку, расталкивают и извлекают стояк (рис. 5, поз. 18). Производят разделение полуформ – верхнюю полуформу по штырям снимают с нижней (рис. 5, поз. 19), удаляют щеткой разделительный песок, извлекают шлакоуловитель и знак модели. Твердомером контролируют качество уплотнения смеси в плоскости разъема в верхней полуформе; заглаживают разъем формы гладилкой.

Для местного увеличения пластичности смеси, чтобы предупредить подрыв смеси при извлечении модели, смесь вокруг модели смачивают влажной пеньковой кистью (рис. 5, поз. 20).

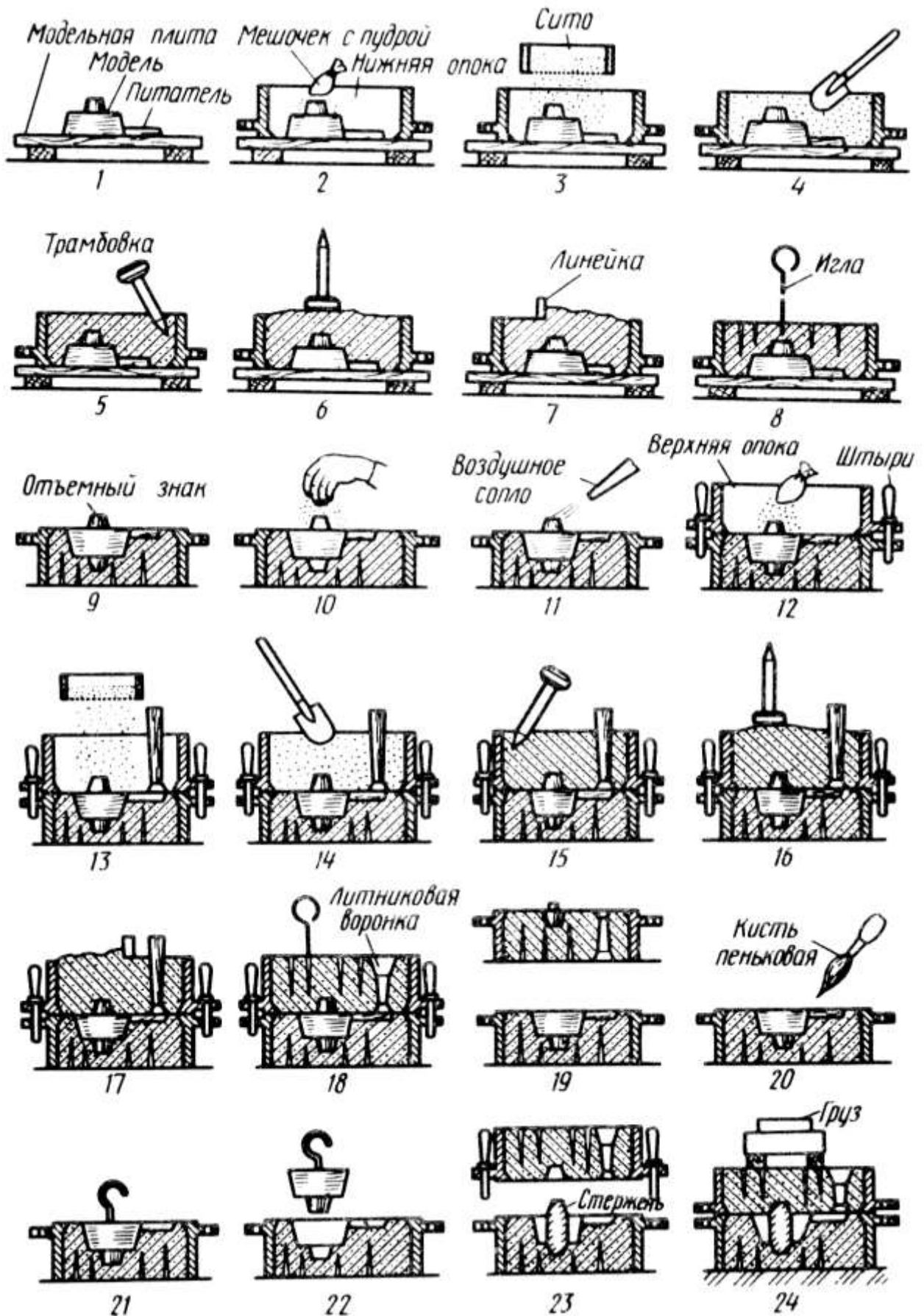


Рис. 5. Изготовление литейной формы

В модель ввинчивают подъем (рис. 5, поз. 21), расталкивают модель ударами молотка по подъему. Осторожно, без поперечных движений, извлекают из нижней полуформы модель отливки и питателя (рис. 5, поз. 22). Крупные модели извлекают краном и подъемными приспособлениями. После извлечения моделей осматривают готовые полуформы, отделяют поврежденные места и устанавливают стержень в нижнюю полуформу (рис. 5, поз. 23).

Сборку полуформ производят по штырям, после чего форму ставят на постель из формовочной смеси, нагружая ее грузом (рис. 5, поз. 24). Форма готова к заливке.

2.6. Ручное изготовление стержней

Порядок изготовления стержня в разъемном ящике следующий (рис. 6).

Осматривают ящик, очищают его рабочие поверхности и протирают их разделительным составом (рис. 6, а), скрепляют половины 1 ящика скобой 3 и устанавливают ящик на верстак в вертикальном положении, насыпают порцию стержневой смеси примерно на одну треть высоты ящика и уплотняют ее трамбовкой, устанавливают вентиляционную иглу 2 в середину уплотненной части ящика, насыпают в ящик следующую порцию стержневой смеси примерно до середины ящика и уплотняют ее, устанавливают каркас 5 в стержень (рис. 6, б).

Насыпают смесь на 6–8 мм выше торца ящика и уплотняют ее, срезают излишек стержневой смеси и заглаживают торец стержня гладилкой. Извлекают из заформованного стержня вентиляционную иглу 2 (рис. 6, в) и снимают скобу. Ставят ящик горизонтально на плиту 7 и обстукивают (расталкивают) его деревянным молотком, снимают верхнюю половину ящика, опрокидывают нижнюю половину ящика на плиту, придерживая стержень 6 рукой (рис. 6, г).

Снимают нижнюю половину ящика со стержня (рис. 6, д) и подвигают его к краю плиты (рис. 6, е) или к ранее уложенному на плиту стержню, плиту со стержнем направляют в сушильную печь.

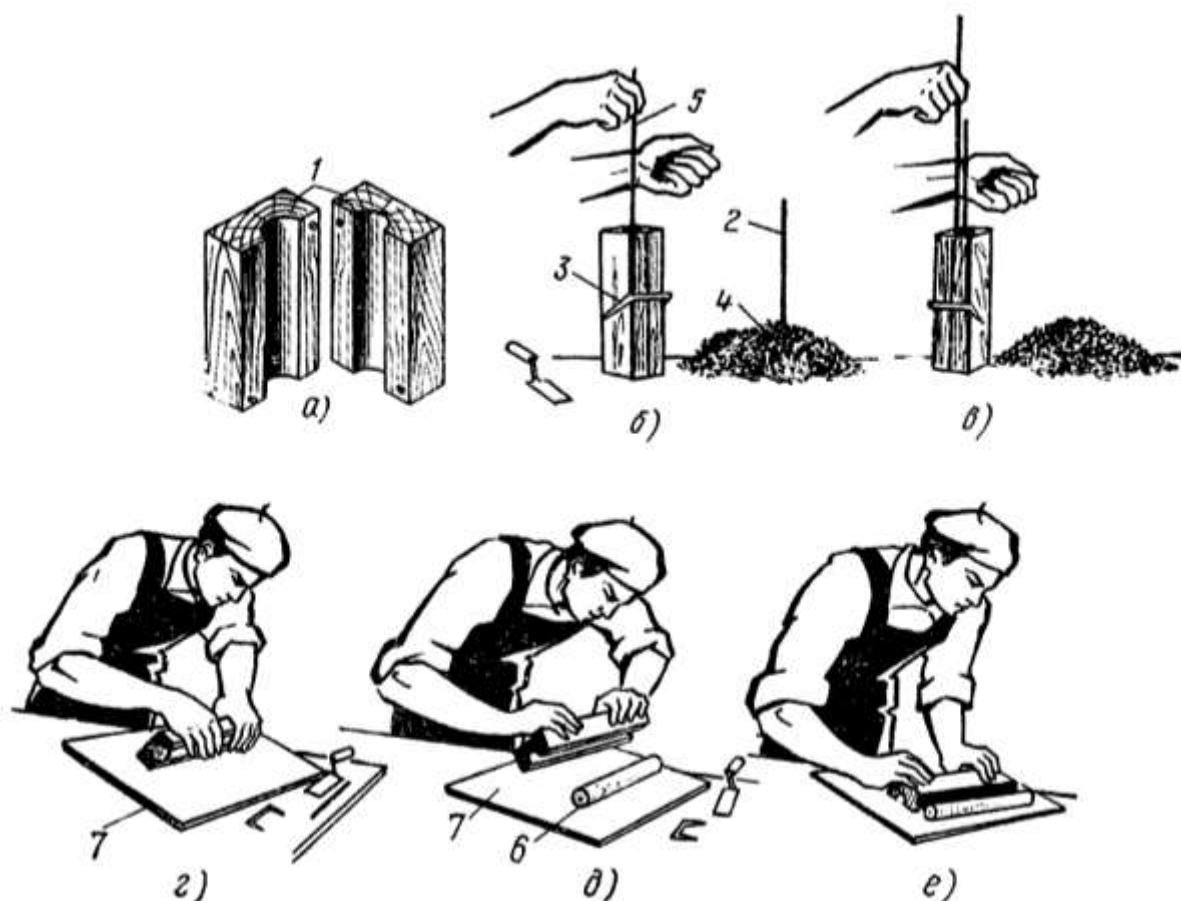


Рис. 6. Изготовление стержня в разъемном стержневом ящике

2.7. Разработка чертежей отливки и элементов литейной формы

При разработке чертежа отливки и элементов литейной формы определяют:

- положение отливки в форме при заливке;
- поверхность разъема модели и формы;
- припуски на механическую обработку и допуски на размеры отливки;
- технологические припуски (формовочные уклоны, радиусы закруглений);
- конструкцию и размеры стержневых знаков;
- место подвода металла и конструкцию литниковой системы.

2.7.1. Выбор положения отливки в форме

Положение отливки при заливке определяют исходя из следующего:

- наиболее ответственные части отливок следует располагать внизу, так как в этих местах металл получается наиболее плотный;
- обрабатываемые части отливки при заливке и затвердевании металла должны быть расположены внизу, вертикально или наклонно. Вверху концентрируются шлаковые, песочные, газовые раковины, пористость и другие дефекты;
- отливка должна быть расположена в форме так, чтобы обеспечивалось ее направленное затвердевание и питание. При этом кристаллизация металла происходит снизу вверх от тонких сечений к более толстым;
- отливки в форме тел вращения, у которых обрабатываются и наружные, и внутренние поверхности (шпиндели, шкивы, барабаны) желательно заливать в вертикальном положении. При этом посторонние включения поднимаются вверх и могут быть легко удалены.

2.7.2. Выбор поверхности разъема

При выборе поверхности разъема руководствуются следующими правилами:

- по возможности форма и модель должны иметь только одну (желательно плоскую) поверхность разъема. В противном случае значительно повышается трудоемкость изготовления формы;
- обрабатываемые поверхности и части ответственного назначения должны располагаться внизу для получения качественной поверхности;
- по возможности отливку следует располагать в одной (желательно нижней) полуформе для повышения размерной точности и предотвращения возможности возникновения брака по перекосам и смещениям;

- использовать минимально допустимое число стержней или не применять их для повышения точности отливки и снижения трудоемкости изготовления;
- по возможности располагать стержни в нижней полуформе для снижения вероятности брака и повышения размерной точности отливки;
- поверхность разъема должна обеспечивать свободное извлечение модели из формы. Применение отъемных частей, подрезы и других приемов усложняют процесс формовки.

Одновременное выполнение указанных условий часто является невозможным. В этих случаях выполняют основные условия, обеспечивающие получение отливки заданного качества, и подчиняют им все остальные.

2.7.3. Определение припусков и допусков

Припуск – слой металла (на сторону), удаляемый в процессе механической обработки отливки для обеспечения требуемой точности размеров и качества поверхности. Припуски назначают на обрабатываемые поверхности отливки. Величина припуска зависит от размеров детали, качества поверхности, материала отливки. Припуски и допуски определяются по ГОСТ 26645–85. Величина припуска устанавливается в зависимости от вида окончательной механической обработки поверхности, который определяется отношением допуска размера детали к допуску соответствующего размера отливки или отношением допуска формы и расположения поверхности детали к допуску формы и расположения поверхности отливки [3. табл. 7, 8]. В случае если на чертеже детали допуски размеров (формы и расположения поверхностей) не указаны, ориентировочно вид окончательной механической обработки можно определить по табл. 3.

Расчет размеров отливки производится на основе размеров детали, припусков на механическую обработку и общих допусков. На основе способа литья, габаритных размеров отливки, литейного сплава определяются класс размерной точности, степень коробления и степень точности поверхностей отливки.

Таблица 3

Параметры шероховатости поверхности
при различных видах обработки деталей

Вид обработки	Ra, мкм
Фрезерование:	
черновое	50–12,5
чистовое	6,3–3,2
тонкое	1,6–0,8
Точение:	
черновое	100–25
получистовое	12,5–6,3
чистовое	3,2–1,6
тонкое	0,8–0,4
Растачивание:	
черновое	100–50
получистовое	25–12,5
чистовое	3,2–1,6
тонкое	0,8–0,4
Шлифование:	
получистовое	6,3–3,2
чистовое	1,6–0,8
тонкое	0,4–0,2

Далее на основе этих параметров устанавливаются допуски размеров отливки, допуски формы и расположения элементов отливки, ряды припусков на механическую обработку и, наконец, общие допуски элементов отливки и общие припуски на механическую обработку.

Алгоритм определения этих параметров удобно представить в виде схемы (рис. 7). Номера приложений и таблиц указаны для [3].

При расчете размеров отливки рекомендуется все размеры, допуски и припуски заносить в таблицу (табл. 4). При простановке размеров отливки общий допуск обычно принимается симметричным (верхнее предельное отклонение равняется нижнему предельному отклонению).

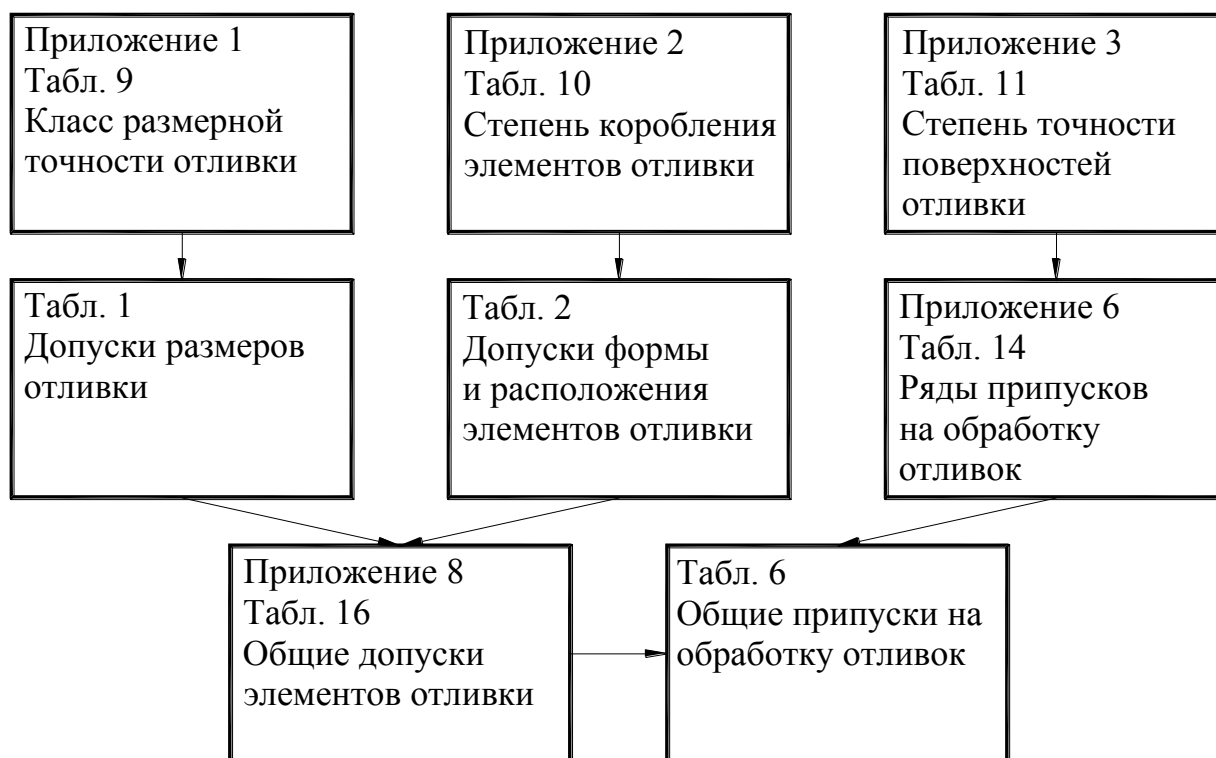


Рис. 7. Алгоритм определения допусков и припусков

Таблица 4

Расчет размеров отливки

Номиналь- ный размер детали	Допуски			Общий припуск на обра- ботку	Размер отлив- ки
	разме- ра	формы и расположе- ния	об- щий		

2.7.4. Определение технологических припусков

Технологические припуски упрощают и облегчают изготовление отливки. Формовочные уклоны предназначены для облегчения извлечения модели из формы. Их назначают на поверхности, перпендикулярные поверхности разъема, не имеющие конструктивных уклонов. Величина уклонов регламентирована ГОСТ 3212–92 (табл. 1, 2) и зависит от высоты поверхности, на которую назначается уклон и материала модели.

Радиусы закруглений обеспечивают спокойное заполнение формы расплавом, исключают осыпание формовочной смеси при

извлечении модели из формы, снижают напряжения в местах переходов от одних сечений к другим. В то же время излишне большие радиусы способствуют появлению усадочной пористости и рыхлости.

Сопряжения внутренних углов отливки выполняют внутренними радиусами (галтелями), величина которых зависит от угла между сопрягаемыми элементами (чем больше угол, тем больше радиус) и толщины стенок сопрягаемых элементов (рис. 8). При сопряжении под прямым углом ($\alpha=90^\circ$) величина внутренних радиусов может быть определена из графика (рис. 9). Величины галтелей в одной отливке по возможности следует унифицировать.

Радиусы закруглений наружных углов отливки при сопряжении поверхностей принимаются в зависимости от габаритных размеров сопрягаемых поверхностей и величин углов между ними (рис. 10). Минимальные значения радиусов при сопряжении под прямым углом приведены в табл. 5. Они также по возможности подлежат унификации.

Определенные величины наружных и внутренних радиусов округляют до ближайшего значения из нормального ряда чисел 1, 2, 3, 5, 8, 10, 16, 20, 25 ...

Отверстия диаметром менее 30 мм в отливках, как правило, не выполняются, так как стержень такого диаметра обладает низкой прочностью и может разрушиться струей расплавленного металла при заливке. Такие отверстия получают механической обработкой.

2.7.5. Определение конструкции и размеров стержневых знаков

Стержневые знаки служат для фиксации стержня в форме. В зависимости от положения стержня в форме знаки подразделяются на горизонтальные и вертикальные. Размеры стержневых знаков зависят от длины (высоты) стержня, его толщины (диаметра) и вида смеси (для горизонтальных знаков). Конструкция и размеры стержневых знаков определяются по [4, табл. 4–8].

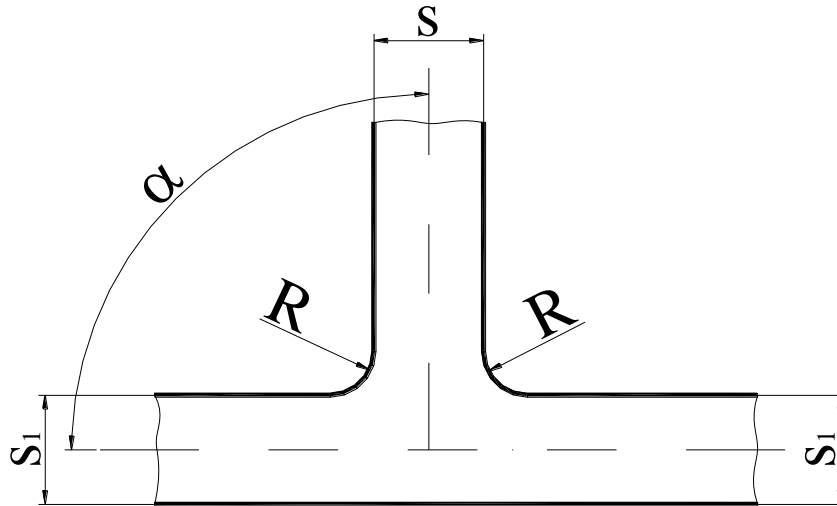


Рис. 8. Сопряжение стенок отливки галтелями

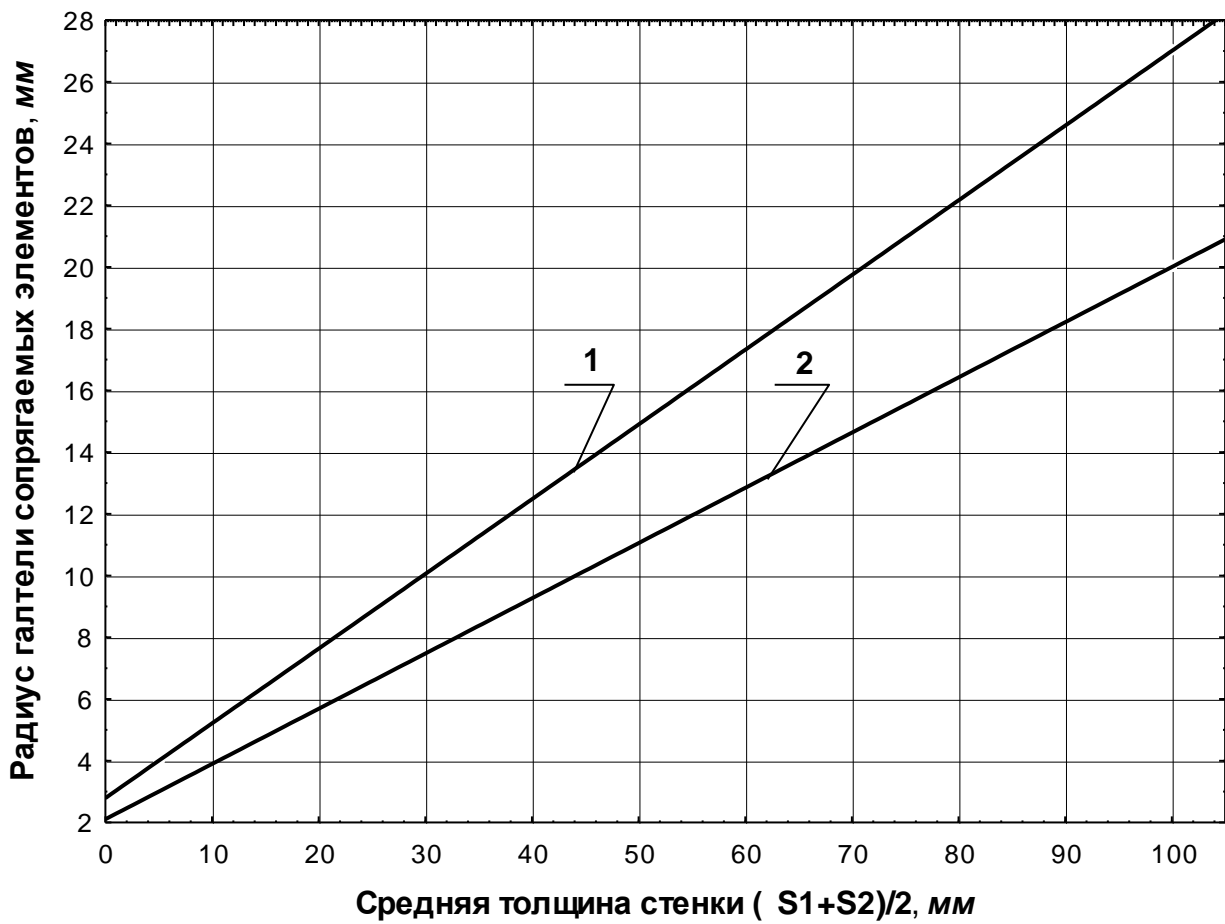


Рис. 9. Внутренние радиусы закруглений отливок из стали и медных сплавов (1) и чугуна, алюминиевых и магниевых сплавов (2)

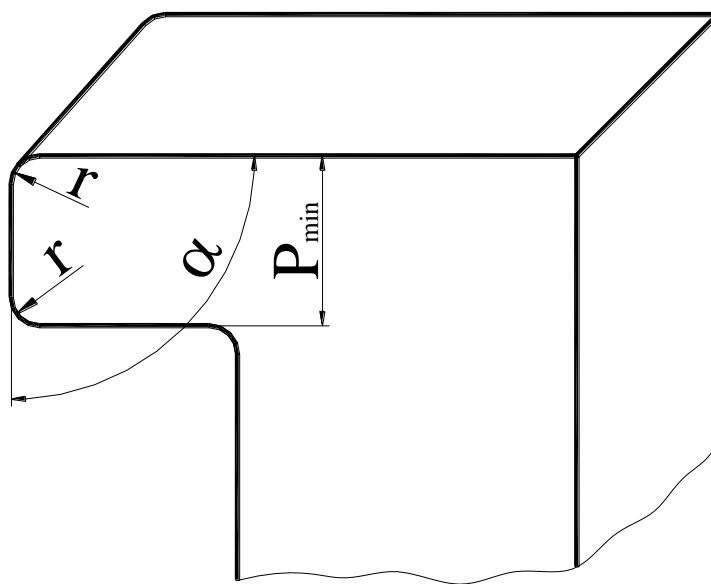


Рис. 10. Сопряжение наружных углов отливки

Таблица 5

Минимальные значения радиусов закруглений

P_{\min} , мм	До 25	25– 50	50– 150	150– 200	250– 400	400– 600	600– 1000	1000– 1600
r , мм	2	4	6	8	10	12	16	20

P_{\min} – меньший габаритный размер плоскости детали, перпендикулярный к образующей цилиндрической поверхности закругления.

2.7.6. Проектирование литниковой системы

Конструкции и типы литниковых систем весьма разнообразны и зависят от свойств литейного сплава, конфигурации и размеров отливки, расположения ее в форме и других факторов. В данной лабораторной работе ограничимся определением места подвода расплавленного металла и местом установки выпоров и прибылей (если они требуются).

Наибольшее распространение при изготовлении мелких и средних отливок из различных сплавов получили боковые литниковые системы с подводом расплава по разъему формы. Глубина полости нижней полуформы от линии разъема не должна превы-

шать 200 мм, в противном случае возможно разрушение формы струей расплава.

2.8. Оформление на чертежах элементов литейных форм и отливок [5]

Разъем модели и формы показывают отрезком или ломаной штрихпунктирной линией, заканчивающейся знаком \times — — \times , над которой указывается буквенное обозначение разъема – $M\Phi$. Направление разъема показывают сплошной основной линией, ограниченной стрелками и перпендикулярной к линии разъема. Положение отливки в форме обозначают буквами B (верх) и H (низ). Буквы проставляют у стрелок, показывающих направление разъема формы (рис. 11). При применении неразъемных моделей указывают только разъем формы Φ .

Припуски на механическую обработку изображают сплошной тонкой линией, которую допускается выполнять красным цветом. Величину припуска указывают цифрой перед знаком шероховатости поверхности детали или величиной уклона и линейными размерами.

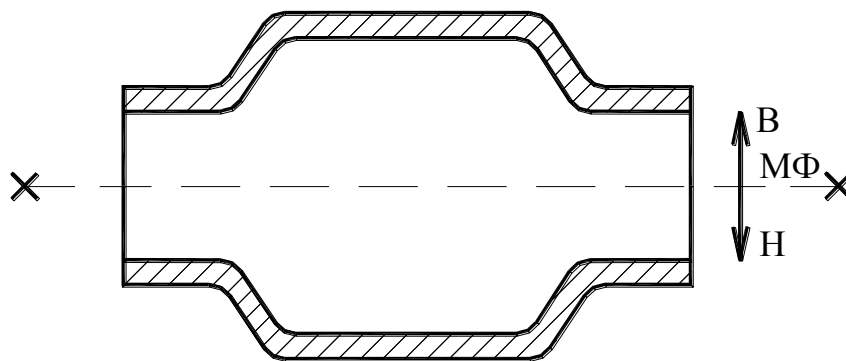


Рис. 11. Обозначение поверхности разъема

Отверстия, впадины, не выполняемые при отливке детали, зачеркивают сплошной тонкой линией, которую допускается выполнять красным цветом.

Стержни, их знаки изображают в масштабе чертежа сплошной тонкой линией, которую допускается выполнять синим цветом.

Стержни в разрезе следует штриховать только у контурных линий. Длина линии 3–30 мм.

Стержни обозначают буквами *ст* и порядковыми номерами, например *ст 3*. Обозначение направления набивки стержня и разъема стержневого ящика приведены на рис. 12.

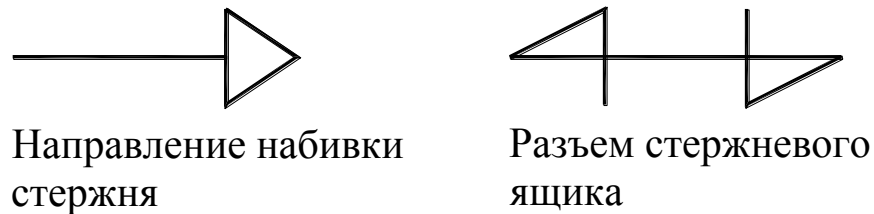


Рис. 12. Изображение направления набивки стержня и разъема стержневого ящика

Литниковую систему выполняют в масштабе изображения детали сплошной тонкой линией, которую допускается выполнять красным цветом. Сечения элементов литниковой системы не штрихуют.

Прибыль обозначают порядковым номером на полке линии-выноски, перед которым ставят слово «*Прибыль*». Прибыль изображают сплошной тонкой линией, которую допускается выполнять красным цветом.

Отливку на главном виде (разрезе) чертежа размещают в положении, какое она будет занимать в литейной форме. Внутренний контур обрабатываемых поверхностей, а также отверстий, впадин и выточек, не выполняемых в литье, изображают сплошной тонкой линией. Допускается при несложных отливках перечисленные элементы не изображать. Построение чертежа отливки осуществляется в следующем порядке:

- тонкими линиями вычерчивают контур детали;
- тонкими линиями изображают припуски на обработку, формовочные уклоны, радиусы закруглений;
- полученные контуры отливки обводят основными линиями;
- проставляют размеры отливки в соответствии с системой размеров детали. Кроме размеров отливки указывают основные размеры детали.

3. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ И ОТЛИВКИ

На рис. 13 представлен чертеж детали – задание, по которому выполняется вся технологическая разработка.

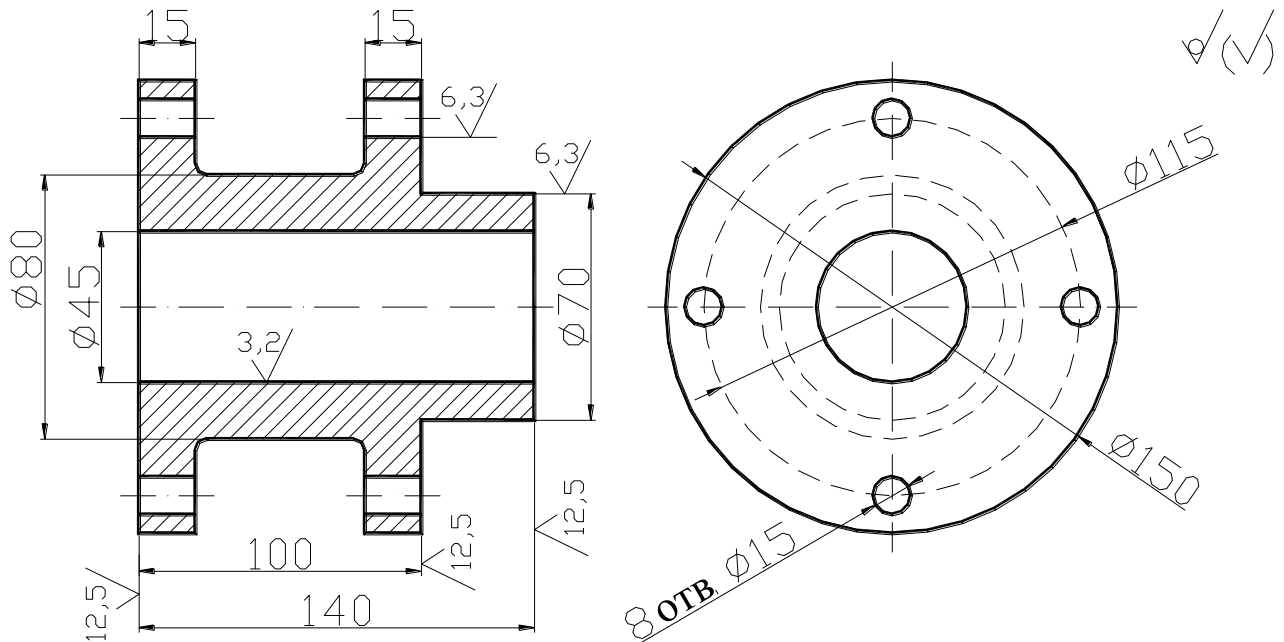


Рис. 13. Фланец. СЧ 20 ГОСТ 1412-85

Принимается, что изготовление отливки для данной детали осуществляется литьем в песчано-глинистые сырые формы из низковлажных высокопрочных смесей. Тип производства – серийный. После изготовления отливки подвергаются термической обработке.

Учитывая конфигурацию отливки, располагаем ее в форме так, чтобы ось была горизонтальной. При этом обеспечивается минимальная высота формы, что удобно для формовки и у модели отсутствуют отъемные части. Плоскость разъема модели и формы располагается по оси. Центральное отверстие $\varnothing 45$ мм выполняется стержнем, 8 отверстий $\varnothing 15$ мм в отливке не выполняются. Подвод металла осуществляется по разъему формы через два питателя. Располагаем два выпора в наиболее высоком и удаленном от точек подвода расплава месте.

Расчет размеров отливки

Руководствуемся [3] и рис. 7 настоящих указаний.

При наибольшем габаритном размере 150 мм для термообрабатываемых чугуновых отливок класс размерной точности 7–12. Учитывая сложность отливки (средней сложности) и тип производства, примем класс размерной точности – 10.

Степень коробления при отношении наименьшего элемента отливки к наибольшему $12,5/150 = 0,083$ 6-9. Учитывая сложность и материал отливки, примем степень коробления – 7.

Степень точности поверхности отливки 10–17. Учитывая сложность отливки и тип производства, примем степень точности поверхности – 14. Ряды припусков при степени точности поверхности 14 составят 5–8. Учитывая материал отливки и последующую термическую обработку, примем ряд припуска – 6.

Расчет допусков, припусков и размеров отливки сводим в табл. 6.

Таблица 6

Расчет размеров отливки

Размер детали	Допуски			Припуск на обработку	Размер отливки
	размера	формы и расположения	общий		
Ø150	3,2	0,64	3,2	–	Ø150±1,6
Ø115	–	–	–	–	–
Ø80	2,8	0,5	3,2	–	Ø80±1,6
Ø70	2,8	0,5	3,2	3,4	Ø76,8±1,6
Ø45	2,4	0,5	2,4	3,3	Ø38,4±1,2
Ø15	–	–	–	–	–
140	3,2	0,64	3,2	3,4	146,8±1,6
100	2,8	0,5	3,2	3,4	106,8±1,6
15	1,8	0,5	2,2	(3,4)	18,4±1,1

Размеры Ø150 и Ø15 в отливке отсутствуют.

На размеры 15 непосредственно припуски не назначаем. Они получаются при назначении припусков на размеры 140 и 100.

Формовочные уклоны на все поверхности, перпендикулярные поверхности разреза, определяем по [4, табл. 1].

Длину стержневых знаков принимаем 35 мм [4, табл. 4], уклоны на знаковых поверхностях: для низа – 10° , для верха – 15° [4, табл. 8].

Внутренние радиусы закруглений принимаем 5 мм, наружные – 2 мм.

После определения припусков, технологических припусков, размера и конструкции стержневых знаков заново выполняют чертеж детали и наносят на него все принятые технологические указания (рис. 14).

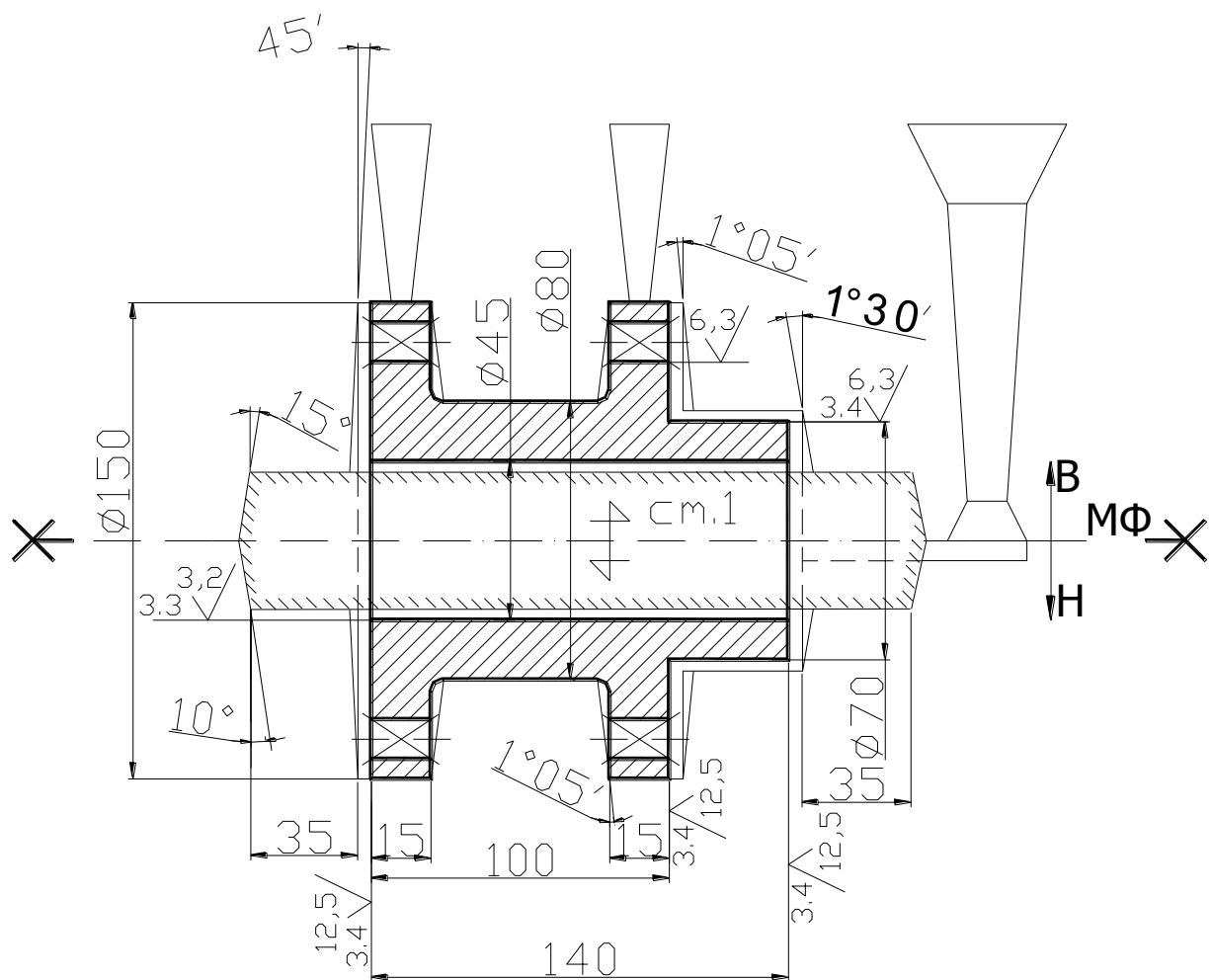


Рис. 14. Фланец. Технологические указания и элементы литейной формы

На основе рассчитанных размеров отливки выполняется чертеж отливки (рис. 15).

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- чертеж детали (выдается преподавателем);
- чертеж детали с элементами литейной формы и технологическими указаниями;
- чертеж отливки (по указанию преподавателя);
- эскиз собранной литейной формы в разрезе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких основных элементов состоит разовая песчано-глинистая литейная форма?
2. Какие элементы входят в состав литниковой системы?
3. Что входит в состав формовочных и стержневых смесей?
4. Что такое модельный комплект?

5. Что представляет собой модель отливки?
6. Из каких основных операций состоит изготовление разовой песчано-глинистой формы?
7. Из каких операций состоит ручное изготовление стержня в стержневом ящике?
8. Какова последовательность проектирования отливки, изготавливаемой в песчано-глинистой форме?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология конструкционных материалов: учебник для машиностроит. вузов / под общ. ред. А. М. Дальского. – Москва: Машиностроение, 2005. – 592 с.: ил.
2. Технология литейного производства. Литье в песчаные формы: учебник для студентов вузов / под ред. А. П. Трухова. – Москва : Академия, 2005. – 528 с.
3. ГОСТ 26645–85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. – Москва : Изд-во стандартов, 1986. – 56 с.
4. ГОСТ 3212–92. Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров. – Москва: Изд-во стандартов, 1992. – 23 с.
5. ГОСТ 3.1125–88. Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок. – Москва: Изд-во стандартов, 1988. – 20 с.

Лабораторная работа №4 «ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА»

Составитель: Петренко К. П.

1. ЦЕЛИ РАБОТЫ

- знакомство с технологическим процессом горячей объемной штамповки;
- приобретение навыков проектирования и разработки чертежа поковки;
- расчет размеров исходной заготовки;
- определение температурного интервала горячей объемной штамповки;
- выбор штамповочного оборудования;
- расчет коэффициента использования металла.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Горячая объемная штамповка (ГОШ) – вид обработки металлов давлением, при котором формообразование нагретой заготовки происходит с помощью специального инструмента – штампа. Течение металла ограничивается поверхностями полостей и выступов, изготовленных в отдельных частях штампа, так что в конечный момент штамповки они образуют единую замкнутую полость (ручей), соответствующий конфигурации поковки (заготовки, полученной ковкой или штамповкой). На рис. 1 приведена схема технологического процесса ГОШ.

Штамп – это инструмент, состоящий из двух половинок (подвижной и неподвижной), которые соприкасаются по поверхности, называемой поверхностью разъема штампа.

По сравнению с ковкой штамповка во много раз производительнее и позволяет получать качественные поковки с уменьшенными в 3-4 раза припусками и допусками. Однако из-за дороговизны штампа, который изготавливается отдельно для каждой поковки, штамповка экономически целесообразна лишь в серийном и массовом производствах.

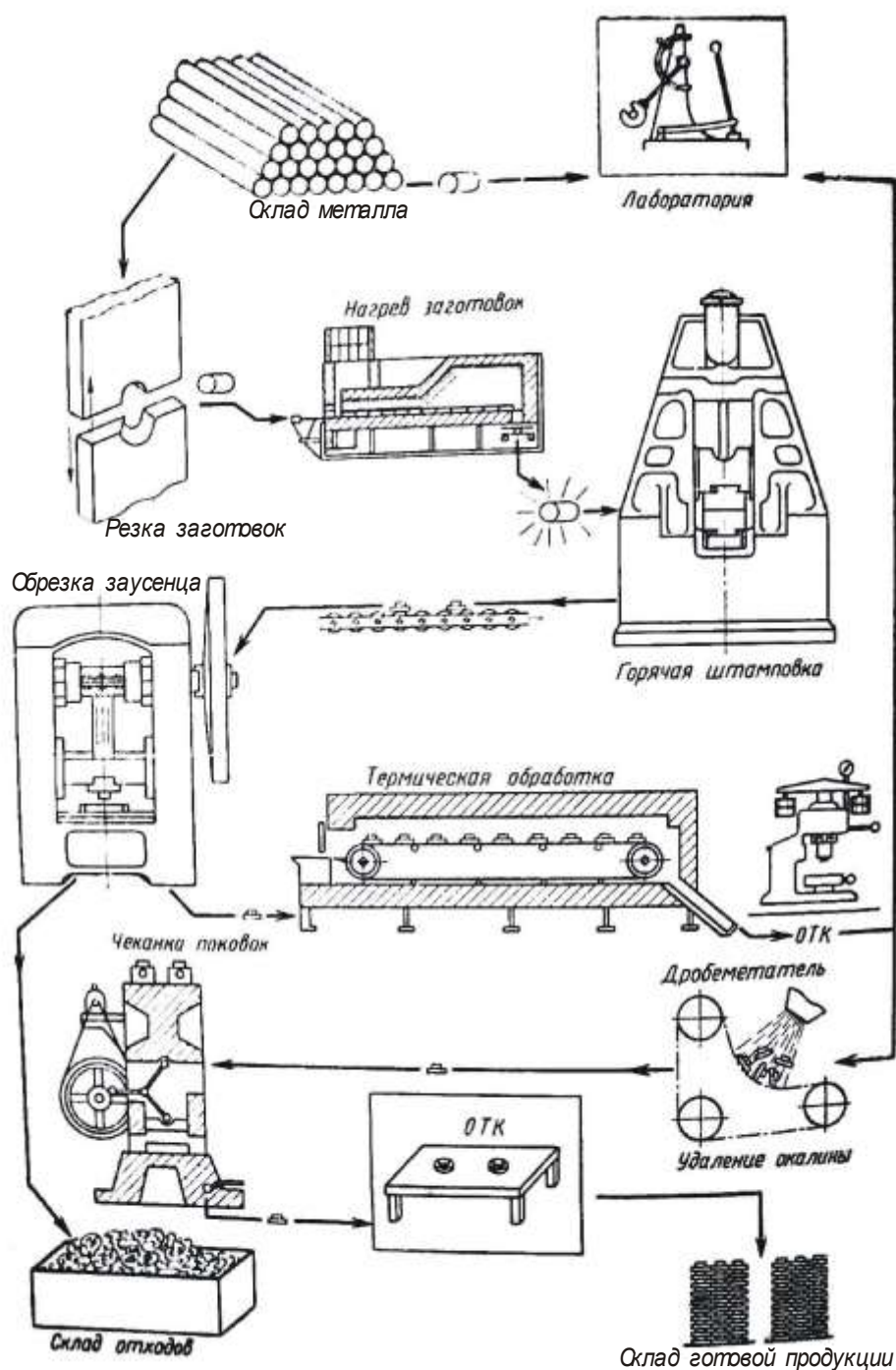


Рис. 1. Общая схема технологического процесса горячей объемной штамповки поковок

В основном штампуют поковки массой 20–30 кг, хотя в отдельных случаях изготавливают поковки массой в несколько сот килограмм. В качестве исходных заготовок для ГОШ, как прави-

ло, используется сортовой прокат различного сечения, а также периодический.

ГОШ изготавливают заготовки для деталей автомобилей, тракторов, самолетов, станков и т. д.

Существует две разновидности ГОШ:

- штамповка в открытых штампах;
- штамповка в закрытых штампах.

Открытая штамповка (рис. 2, а) характеризуется образованием по поверхности разъема штампа заусенца (облоя), представляющего собой избыток металла исходной заготовки. Кроме того, заусенец создает подпор истечению металла в разъем штампа, обеспечивая полное заполнение ручья. Заусенец, расположенный по периметру поковки, затем обрезается, в результате чего волокна металла в этом месте оказываются перерезанными. Штамповка этим способом наиболее универсальна и применяется для разнообразных по форме поковок.

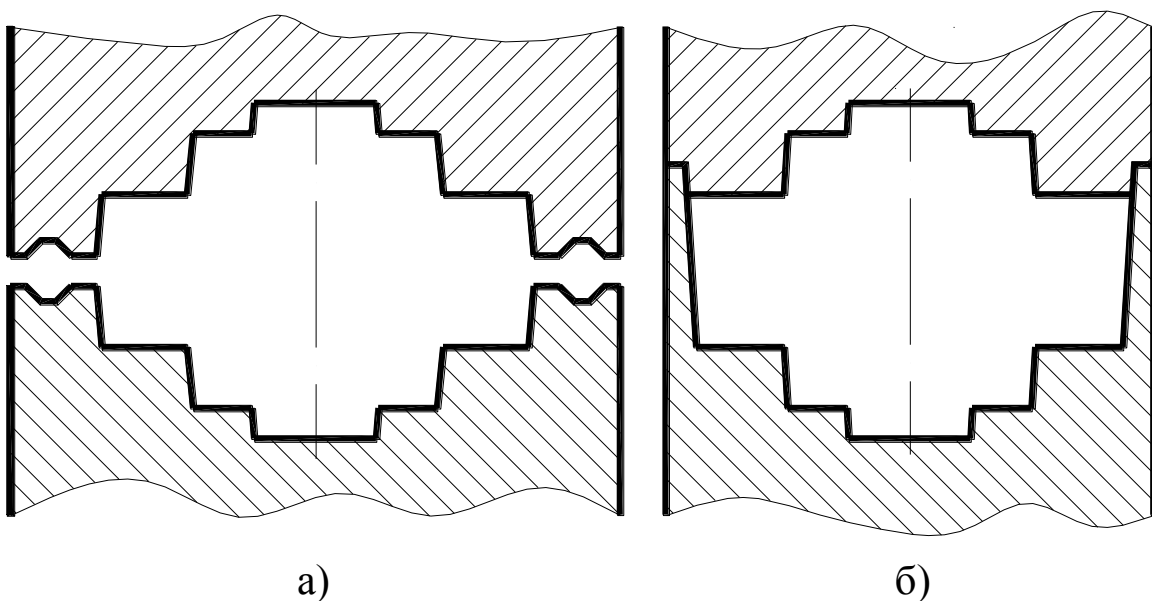


Рис. 2. Виды штамповки

При штамповке в закрытых штампах (рис. 2, б) полость штампа в процессе деформирования остается закрытой и образование заусенца не предусматривается. В связи с этим необходимо строго соблюдать равенство объемов поковки и исходной заготовки, что усложняет отрезку последней. Макроструктура поковки, полученных в закрытых штампах, более благоприятна, так как волокна металла не перерезаются, а плавно обтекают контур

поковки. Преимуществом является также меньший расход металла за счет отсутствия заусенца. Основной недостаток этого способа состоит в его неуниверсальности и ограниченности форм штампуемых поковок.

Штамповку осуществляют на штамповочных молотах, кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП), горизонтально-ковочных машинах (ГКМ), гидравлических и фрикционных прессах, ковочных вальцах и т. д. При массовом производстве поковок сравнительно небольшого размера применяют горячештамповочные автоматы.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОКОВКИ

3.1. Выбор положения заготовки в штампе

Удлиненные поковки типа валов штампуются поперек оси. Технологические припуски от штамповочных уклонов в этом случае будут только у торцов. Поковки типа тел вращения с центральным отверстием по возможности следует штамповать вдоль оси, так как в этом случае удастся сделать наметку отверстия, что дает значительную экономию металла и упрощает последующую механическую обработку. Для поковок типа шестерен предпочтительнее торцовая штамповка. В этом случае макроструктура поковки получится одинаковой у всех зубьев шестерни и обеспечит их высокую прочность.

3.2. Выбор поверхности разъема штампа

При выборе поверхности разъема штампа руководствуются следующими правилами:

- поверхность разъема должна обеспечивать свободное извлечение поковки из штампа;
- поверхность разъема должна быть плоской или максимально к ней приближаться
- поверхность разъема должна обеспечивать легкий контроль сдвига половинок штампа относительно друг друга;

- поднутрения и углубления на боковых поверхностях поковок можно выполнить при штамповке на ГKM. При штамповке на других видах оборудования подобные элементы выполнены быть не могут;
- поверхность разъема должна располагаться так, чтобы ручки штампа имели наименьшую глубину (в плоскости одного или двух наибольших размеров поковки);
- рекомендуется симметричное расположение поковки относительно поверхности разъема.

3.3. Назначение припусков, допусков, технологических припусков

Все эти величины назначают по [6].

Предварительно определяют исходный индекс по таблице 2 [6, с. 10], который зависит от оборудования, на котором осуществляется штамповка, материала поковки и ее конфигурации, определяемых, в свою очередь, по таблице 1 [6, с. 7].

При расчете степени сложности поковки целесообразно воспользоваться формулой

$$C = \frac{M_{n.p}}{M_{\phi}} = \frac{M_{\partial} K_p}{V_{\phi} \rho}, \quad (1)$$

где $M_{n.p}$ – расчетная масса поковки, кг;

M_{ϕ} – масса фигуры, в которую вписывается форма поковки, кг [6, с. 29];

M_{∂} – масса детали, кг (из исходных данных);

K_p – расчетный коэффициент. Определяется по таблице 20 [6, с. 30];

V_{ϕ} – объем фигуры, в которую вписывается форма поковки, мм³ (см. приложение);

ρ – плотность металла поковки, кг/мм³ (приближенно для всех марок сталей $\rho = 7,8 \cdot 10^{-6}$ кг/мм³).

Величины припусков на механическую обработку и допускаемых отклонений размеров назначают соответственно по таблицам 3 [6, с. 12-13] и 8 [6, с. 17-19].

Припуски назначают на обрабатываемые поверхности детали в зависимости от размеров, качества поверхности и исходного индекса. Допускается округлять линейные размеры поковки с точностью до 0,5 мм.

Допуск на размер поковки назначают в зависимости от величины этого размера и исходного индекса. Допускаемые отклонения внутренних размеров поволоков должны устанавливаться с обратными знаками.

Расчет размеров поковки целесообразно представлять в виде (табл. 1).

Таблица 1

Расчет размеров поковки

Размер детали	Припуск	Размер с припуском	Допуск	Размер поковки

К технологическим припускам при ГОШ относят:

- штамповочные уклоны;
- радиусы закруглений в местах пересечения поверхностей поковки;
- перемычки в отверстиях.

Штамповочные уклоны служат для облегчения извлечения поковки из штампа. Их назначают на поверхности, параллельные направлению движения инструмента. Уклоны на внутренних поверхностях вследствие температурной усадки назначают больше. Величину наружных и внутренних уклонов в зависимости от вида оборудования определяют по таблице 18 [6, с. 26].

При изготовлении поволоков на ГКМ штамповочные уклоны могут быть уменьшены и составляют:

- для поверхностей (отверстий), параллельных перемещению ползуна – 0–2°;
- для поверхностей, перпендикулярных перемещению ползуна и оформляемых в матрице – 1–7°.

Радиусы закруглений служат для более плавного заполнения металлом ручья штампа, предотвращения появления складок и

ужимин в теле поковки, повышения стойкости и срока службы штампа. Радиусы закруглений бывают наружными и внутренними. Наружные радиусы в зависимости от глубины полости ручья штампа и массы поковки назначают по таблице 7 [6, с. 15] и округляют до ближайшего большего значения из следующего ряда чисел: 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30 мм. Величина внутренних радиусов принимается в 2-3 раза больше величины наружных.

При штамповке поковок на молотах и прессах нельзя получить сквозные отверстия, поэтому выполняют одно- или двустороннюю наметку с перемычкой, которую затем удаляют на обрезном штампе (часто совместно с заусенцем). Слишком толстые перемычки сложно пробивать, а чрезмерно тонкие перемычки требуют больших затрат энергии при штамповке и снижают стойкость выступающих частей штампа (знаков). По этой же причине полости менее 30 мм не выполняют.

Наиболее часто оформляют плоскую перемычку, толщина которой определяется по формуле

$$s = 0,45\sqrt{d - 0,25h - 5} + 0,6\sqrt{h}, \text{ мм} \quad (2)$$

где d – диаметр отверстия в поковке, мм;

h – расстояние от края отверстия до перемычки, мм. Принимается равным половине высоты поковки (рис. 3).

3.4 Оформление чертежа поковки

Чертеж поковки оформляют на основании чертежа детали, как правило, в масштабе 1:1. При этом следует руководствоваться ГОСТ 3.1126–88, а также ГОСТ 7505–89. На чертеже поковки допускается наносить контур детали, выполняя его тонкой штрихпунктирной линией с двумя точками. На чертеже поковки допускается наносить под размерами поковки размеры детали в круглых скобках.

Поверхность разъема штампа изображается тонкой штрихпунктирной линией, обозначенной на концах знаком $\times\text{---}\text{---}\times$.

На чертеже поковки должен быть указан исходный индекс.

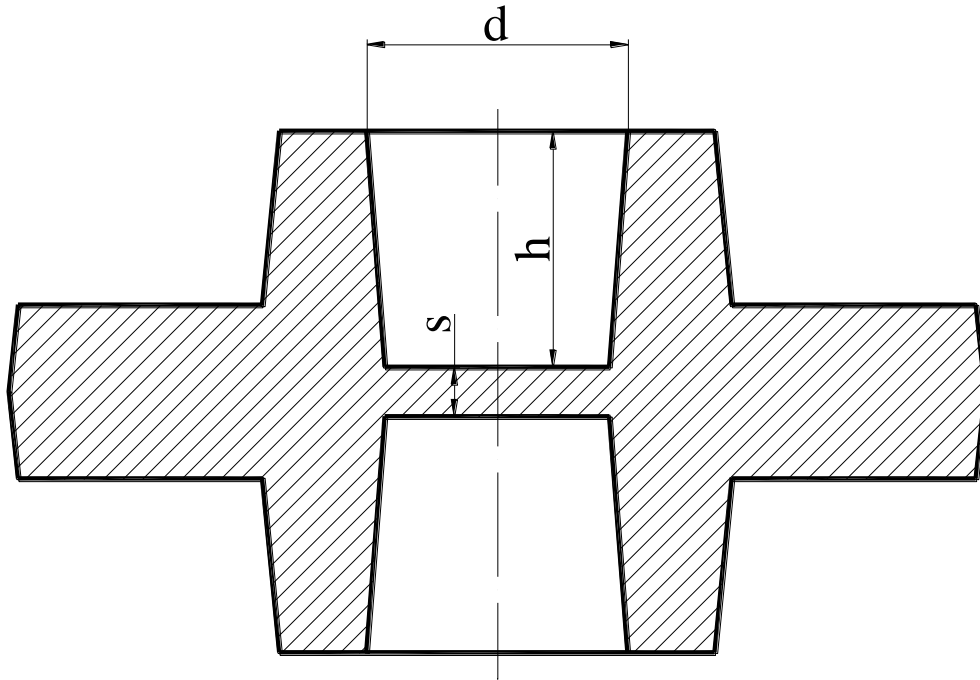


Рис. 3. Оформление перемычки

4. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ

Объем исходной заготовки определяют по формуле

$$V_{и.заг} = V_{пок} + V_{пер} + V_3 + V_{уг}, \text{ мм}^3 \quad (3)$$

где $V_{и.заг}$ – объем исходной заготовки;

$V_{пок}$ – объем поковки;

$V_{пер}$ – объем перемычки;

V_3 – объем заусенца;

$V_{уг}$ – объем угара.

$V_{пок}$ определяют путем ее разбиения на простые геометрические фигуры и последующего суммирования объемов этих фигур. В приложении приведены формулы для расчета объемов простых фигур.

Пример: определить объем поковки, изображенной на рис. 4.

Разбиваем поковку на усеченные конуса, объемы которых будут

$$V_1 = \frac{1}{3} h_1 (r_4^2 + r_4 r_1 + r_1^2);$$

$$V_2 = \frac{1}{3}h_2(r_2^2 + r_2r_5 + r_5^2);$$

$$V_3 = \frac{1}{3}h_3(r_3^2 + r_3r_6 + r_6^2).$$

С учетом симметричности поковки ее объем составит

$$V_{пок} = 2(V_1 + V_2 - V_3).$$

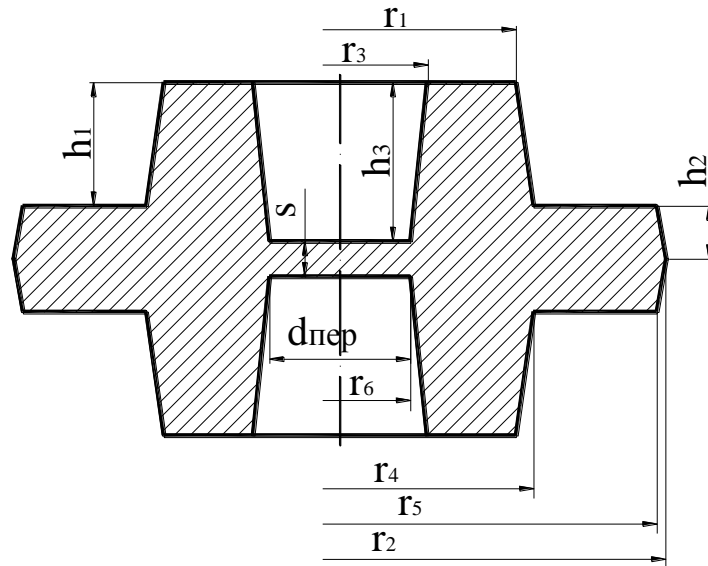


Рис. 4. Пример расчета объема поковки

$V_{пер}$ определяют по ее геометрическим размерам по формуле

$$V_{пер} = \frac{\pi d_{пер}^2}{4} s \quad (4)$$

где $d_{пер}$ – диаметр перемычки, мм (определяется из чертежа поковки, см. рис. 3).

V_3 при штамповке на молоте определяется по формуле

$$V_3 = kF_3L, \text{ мм}^3 \quad (5)$$

где k – коэффициент, учитывающий степень заполнения заусенечной канавки, принимается равным от 0,3 до 0,8;

F_3 – площадь сечения заусенечной канавки, мм^2 ;

L – периметр поковки по линии разъема, мм.

F_3 зависит от толщины заусенца h_3 , которая определяется по формуле

$$h_3 = 0,015\sqrt{F_n}, \text{ мм} \quad (6)$$

где F_n – площадь проекции поковки на плоскость разъема штампа, мм² (определяется из чертежа поковки).

F_3 определяется по табл. 2.

Таблица 2

Определение площади сечения заусенечной канавки

h_3 , мм	0,8	1,0	1,6	2	3	4	5	6	8	10
F_3 , мм ²	69	80	102	136	201	268	343	435	601	768

Эскиз наиболее распространенной заусенечной канавки молотового штампа представлен на рис. 5.

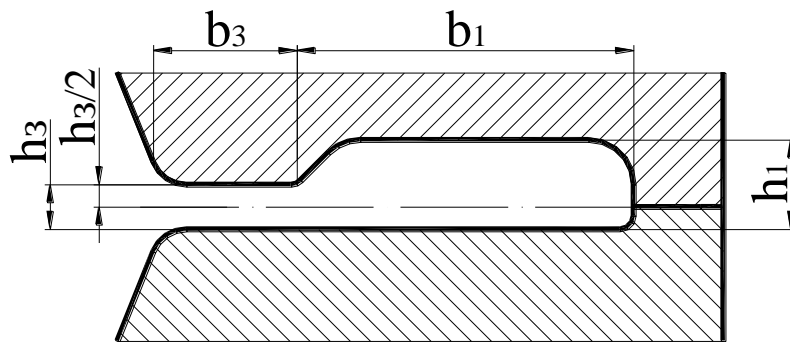


Рис. 5. Заусенечная канавка молотового штампа

При штамповке на КГПП объем заусенца определяется по формуле

$$V_3 = V_{мост} + V_{маг} = L(bh_3 + h_{маг}B) \quad (7)$$

где $V_{мост}$ – объем мостика заусенца;

$V_{маг}$ – объем магазина заусенца;

L – периметр поковки по линии разъема, мм;

b – ширина мостика, мм;

h_3 – толщина заусенца в мостике, мм. Определяется по формуле (6);

$h_{маг}$ – средняя толщина заусенца по магазину, мм. $h_{маг} = 2h_3$;

B – ширина заусенца в магазине, мм. Зависит от массы поковки и принимается по табл. 3.

Таблица 3

Определение ширины заусенца в магазине

Масса поковки, кг	До 0,5	0,5 – 2	Более 2
B , мм	10	15	20

Ширина мостика b зависит от h_3 и определяются по табл. 4

Таблица 4

Определение ширины мостика

h_3 , мм	1-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,5-4,0	4,5-5,0
b , мм	4-5	4-6	5-6	6	6-8	8-120

Эскиз наиболее распространенной заусенечной канавки прессового штампа представлен на рис. 6.

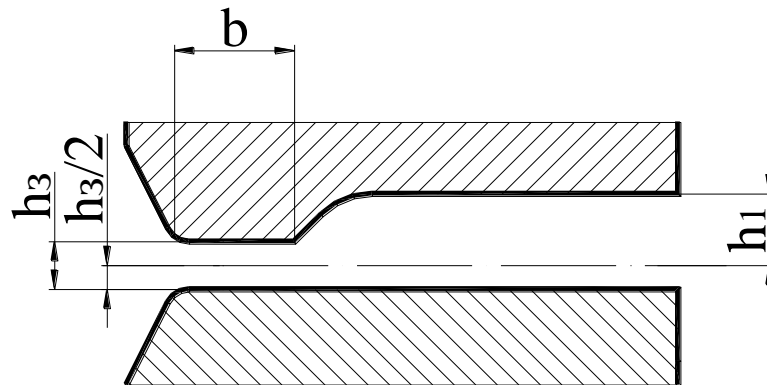


Рис. 6. Заусенечная канавка прессового штампа

Если штамповка осуществляется в закрытом штампе, то $V_3 = 0$.

V_{y2} (объем угара) зависит от способа нагрева исходной заготовки и определяется в процентах от ее объема. V_{y2} составляет

при электронагреве 0,3–1 % и при нагреве в пламенных печах 2–3 % от объема исходной заготовки.

Объем исходной заготовки можно представить в виде

$$V_{u.заг} = \frac{\pi d_{u.заг}^2}{4} l_{u.заг}, \text{ мм}^3 \quad (8)$$

где $d_{u.заг}$ – диаметр исходной заготовки, мм;

$l_{u.заг}$ – длина исходной заготовки, мм.

Для поковок, штампуемых осадкой в торец (продольная штамповка) во избежание потери устойчивости исходной заготовки (продольного изгиба) необходимо соблюдать условие

$$\frac{l_{u.заг}}{d_{u.заг}} \leq 2,5. \quad (9)$$

Подставляя это условие в формулу (8), получим

$$V_{u.заг} = \frac{\pi d_{u.заг}^2}{4} 2,5 l_{u.заг}, \text{ мм}^3. \quad (10)$$

Откуда получаем

$$d_{u.заг} = \sqrt[3]{\frac{4V_{u.заг}}{2,5\pi}}, \text{ мм}. \quad (11)$$

Для поковок, выполняемых поперечной штамповкой (плашмя):

- при применении протяжки диаметр исходной заготовки принимается равным диаметру непротягиваемой части поковки;
- во всех остальных случаях площадь поперечного сечения исходной заготовки:

$$F_{u.заг} = \frac{\pi d_{u.заг}^2}{4} = (1,02 - 1,3) \frac{V_{u.заг}}{l_n}, \text{ мм}^2 \quad (12)$$

где l_n – длина поковки, мм.

Откуда:

$$d_{u.заг} = \sqrt{\frac{(4,08...5,2)V_{u.заг}}{\pi l_n}}, \text{ мм}. \quad (13)$$

Полученное значение округляют до ближайшего большего по ГОСТ 2590–88 и производят уточнение длины исходной заготовки по формуле

$$l_{u.заг} = \frac{4V_{u.заг}}{\pi d_c^2}, \text{ мм} \quad (14)$$

где d_c – диаметр выбранного по ГОСТ 2590–88 сортамента проката, мм.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ИНТЕРВАЛА ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Температурный интервал ГОШ зависит от химического состава стали (марки стали) и определяется по [4, с. 219-223].

6. ВЫБОР ШТАМПОВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Для приближенного расчета массы падающих частей молота $G_{n.ч}$ пользуются формулой

$$G_{n.ч} = \frac{nF_n}{100}, \text{ кг} \quad (15)$$

где n – коэффициент, зависящий от степени сложности поковки. Определяется по табл. 5.

Таблица 5

Определение коэффициента
для расчета массы падающих частей

Степень сложности	C1	C2	C3	C4
n	3,5	4	4,5	5

F_n – площадь проекции поковки на плоскость разъема штампа, мм².

На основе расчетной величины $G_{n.ч}$ по каталогу кузнечно-штамповочного оборудования [4, с. 287-313] выбирают штамповочный молот с ближайшим большим значением массы падающих частей.

Для приближенного расчета усилия КГШП или ГKM используют формулу

$$P = \frac{nF_n\sigma_{\sigma(t)}}{1000}, \text{ МН} \quad (16)$$

где n – коэффициент, учитывающий геометрическую форму поковки и зависящий от степени сложности поковки. Определяется по табл. 6.

Таблица 6

Определение коэффициента для расчета усилия

Степень сложности	C1	C2	C3	C4
n	1,8	3	4,5	6

F_n – площадь проекции поковки на плоскость разъема штампа, мм²

$\sigma_{\sigma(t)}$ – предел прочности обрабатываемого металла при температуре окончания штамповки, МПа. Определяется в зависимости от марки стали по [4, с. 132-142].

На основе расчетной величины P по каталогу кузнечно-штамповочного оборудования [4, с. 287-313] выбирают КГШП или ГKM с ближайшим большим значением усилия.

7. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛА

Коэффициент использования металла ($K_{и.м.}$) – важнейшая характеристика экономичности технологического процесса ГОШ.

На четвертом (механообрабатывающем) переделе определяется по формуле

$$K_{и.м.4} = \frac{V_{\partial}}{V_n} 100\% = \frac{M_{\partial}}{M_n} 100\%, \quad (17)$$

где V_{∂}, V_n – соответственно объем детали и объем поковки;

M_{∂}, M_n – соответственно масса детали и масса поковки.

На третьем (заготовительном) переделе определяется по формуле

$$K_{и.м.3} = \frac{V_n}{V_{и.заг}} 100\% = \frac{M_n}{M_{и.заг}} 100\%, \quad (18)$$

где $V_{и.заг}, M_{и.заг}$ – соответственно объем и масса исходной заготовки

Сквозной коэффициент использования металла вычисляется по формуле

$$K_{и.м.34} = K_{и.м.3} K_{и.м.4}. \quad (19)$$

8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология конструкционных материалов / под ред. проф. А. М. Дальского. – Москва : Машиностроение, 2004. – 512 с.: ил.

2. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1976.-560 с.: ил.

3. Бойцов В. В. Трофимов И. Д. Горячая объемная штамповка: учебник для СПТУ. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 1988. – 264 с.: ил.

4. Ковка и штамповка: справочник: в 4 т. / под ред. Е. И. Семенова. – Москва : Машиностроение, 1985. Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. – 568 с.: ил.

5. Ковка и штамповка: справочник: в 4 т. / под ред. Е. И. Семенова. – Москва : Машиностроение, 1985. Т. 2. Горячая объемная штамповка. – 592 с.: ил.

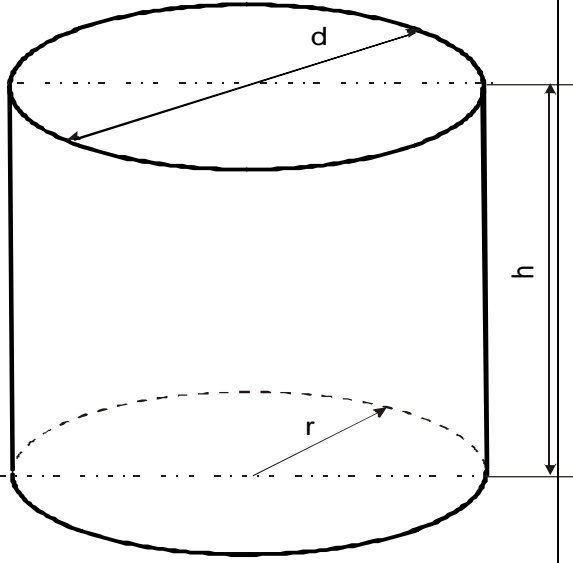
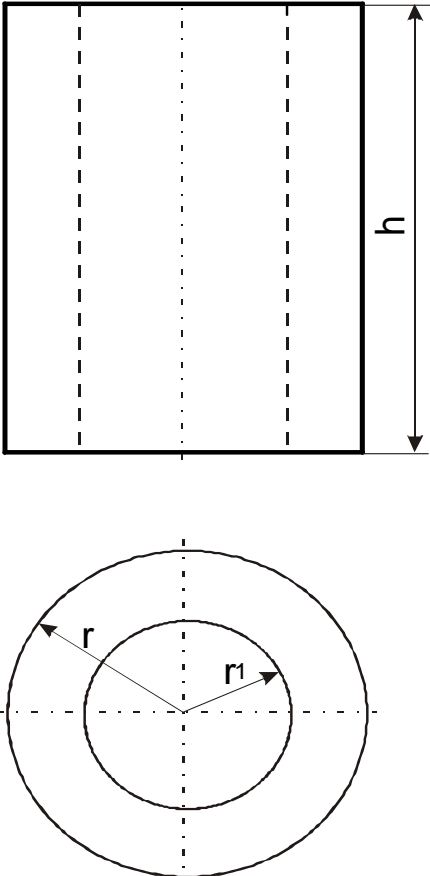
6. ГОСТ 7505–89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски.

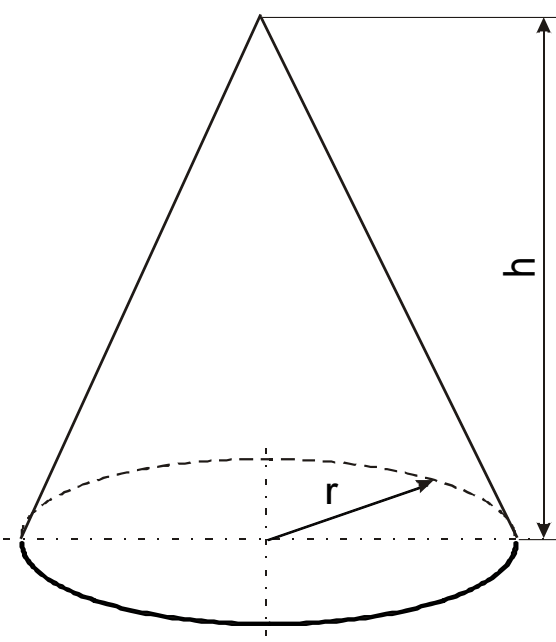
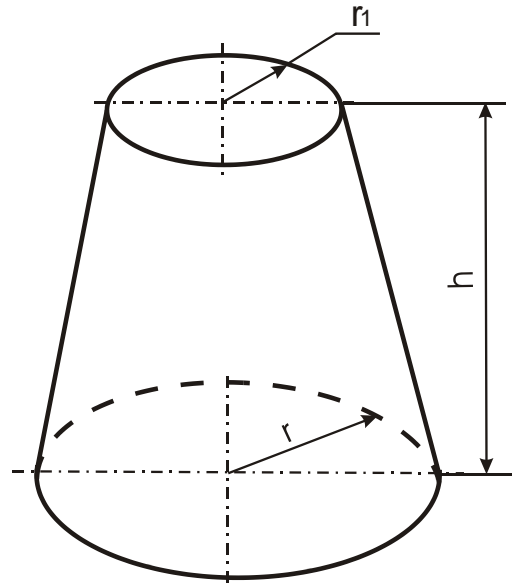
7. ГОСТ 3.1126–88. Правила выполнения графических документов на поковки.

8. ГОСТ 2590–88. Прокат стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

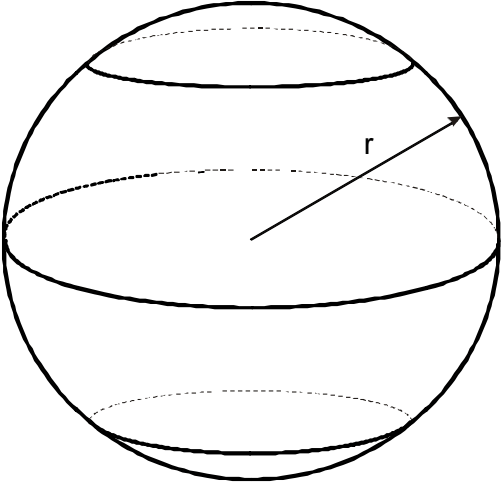
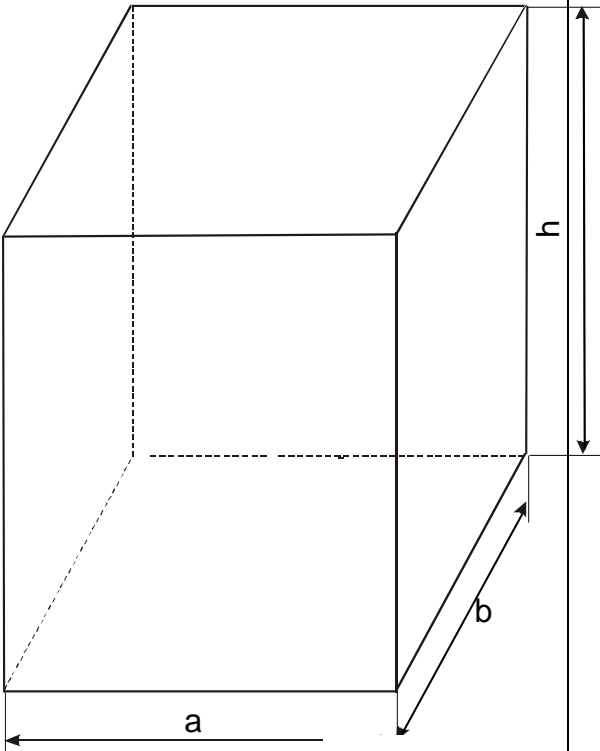
Приложение

Объемы некоторых простых геометрических фигур

Название фигуры	Эскиз фигуры	Объем
Цилиндр	 <p>A 3D perspective drawing of a cylinder. The top circular face has a horizontal dashed line through its center. A line segment labeled 'd' connects two points on the top edge, passing through the center. Another line segment labeled 'r' connects the center of the top face to its edge. The height of the cylinder is indicated by a vertical double-headed arrow on the right side, labeled 'h'.</p>	$V = \frac{\pi d^2}{4} h = \pi r^2 h$
Полый цилиндр	 <p>A 3D perspective drawing of a hollow cylinder. The top face is shown as two concentric circles. The outer radius is labeled 'r' and the inner radius is labeled 'r1'. The height of the cylinder is indicated by a vertical double-headed arrow on the right side, labeled 'h'.</p>	$V = \pi h (r^2 - r_1^2)$

Конус	 <p>A diagram of a cone. A vertical dashed line represents the axis of symmetry. A horizontal dashed line at the base represents the radius r. A vertical double-headed arrow on the right indicates the height h from the base to the apex.</p>	$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$
Усе- ченный конус	 <p>A diagram of a truncated cone (frustum). A vertical dashed line represents the axis of symmetry. The bottom base has a radius r indicated by a horizontal dashed line. The top base has a radius r_1 indicated by a horizontal dashed line. A vertical double-headed arrow on the right indicates the height h between the two bases.</p>	$V = \frac{1}{3} \pi h (r^2 + r r_1 + r_1^2)$

Продолжение приложения

Шар	 A diagram of a sphere. A horizontal line segment from the center to the right surface is labeled 'r', representing the radius. The sphere is drawn with perspective, showing the front and back halves with dashed lines for the hidden part.	$V = \frac{4}{3}\pi r^3$
Парал- лелепи- пед	 A diagram of a rectangular prism (parallelepiped). The front face is a rectangle with width 'a' and height 'h'. The depth of the prism is labeled 'b'. Dashed lines are used to show the hidden edges of the prism.	$V = abh$

Лабораторная работа №5 «ХОЛОДНАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА»

Составитель: Петренко К. П.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение особенностей холодной пластической деформации металлов.

2. Знакомство с основными операциями холодной объемной штамповки и применяемым оборудованием.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Холодная пластическая деформация металлов

Пластическая деформация заключается в перемещении атомов относительно друг друга на расстояния больше межатомных из одних равновесных положений в новые. При перемещении атомов по определенным плоскостям кристаллической решетки происходит скольжение (сдвиг) одной части кристалла относительно другой. Холодная деформация, осуществляемая без нагрева заготовки, характеризуется изменением формы зерен, которые вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металла. Образуется так называемая текстура деформации (рис. 1). В таком состоянии металл имеет резко выраженную анизотропию свойств: вдоль вытянутых волокон (зерен) металл прочнее, чем в поперечном направлении.

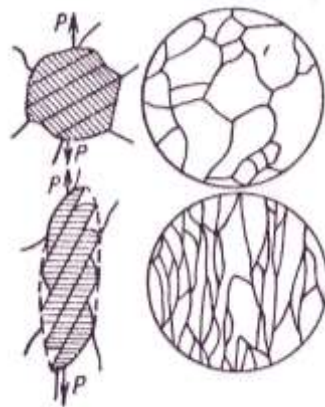


Рис. 1. Схема пластической деформации зерна и изменение микроструктуры металла

Формоизменение при холодной деформации сопровождается изменением механических и физико-химических свойств металла. Это явление называется упрочнением (наклепом). Сущность указанного явления состоит в том, что по мере увеличения холодной пластической деформации возрастают характеристики прочности и снижаются характеристики пластичности металла (рис. 2).

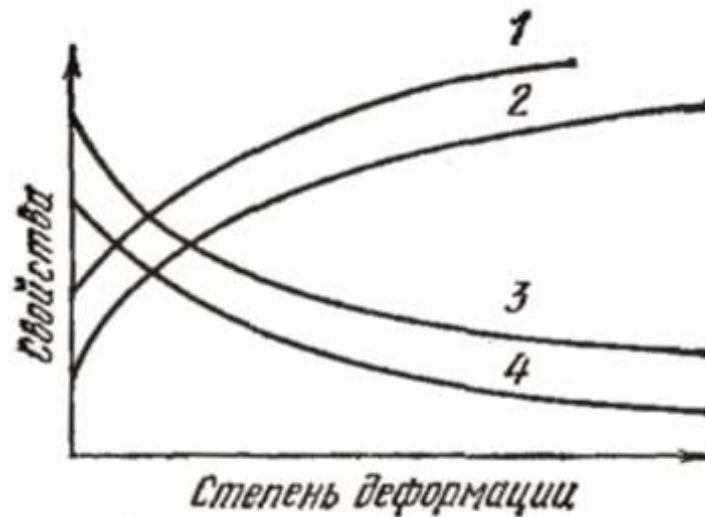


Рис. 2. Схема изменения свойств металла в зависимости от степени пластической деформации: 1 — твердость, 2 — прочность, 3 — пластичность, 4 — вязкость

Упрочнение возникает вследствие поворота плоскостей скольжения, увеличения искажений кристаллической решетки (накопления дислокаций у границ зерен). При пластической деформации в отличие от упругой нет линейной зависимости между напряжениями и деформациями.

Изменения, внесенные холодной деформацией в структуру и свойства металла, не являются необратимыми. Они могут быть устранены, в частности, термической обработкой (отжигом). В этом случае происходит внутренняя перестройка, при которой за счет дополнительной тепловой энергии, увеличивающей подвижность атомов, из множества центров растут новые зерна, заменяющие собой деформированные. Эти новые зерна имеют примерно одинаковые размеры по всем направлениям, при этом свойства металла возвращаются к их исходным значениям до деформации.

Явление зарождения и роста новых равноосных зерен взамен деформированных, вытянутых, происходящее при опреде-

ленных температурах, называется *рекристаллизацией*. Для чистых металлов рекристаллизация начинается при абсолютной температуре, равной 0,4 абсолютной температуре плавления металла. Рекристаллизация протекает с определенной скоростью, время, требуемое для рекристаллизации, тем меньше, чем выше температура нагрева деформированной заготовки.

При температурах ниже температуры начала рекристаллизации наблюдается явление, называемое *возвратом*. При возврате (отдыхе) форма и размеры деформированных зерен не изменяются, но частично снимаются остаточные напряжения, возникшие в изделии в процессе изготовления.

При обработке металлов давлением различают так называемую логарифмическую и относительную степени деформации. Первая выражается формулой

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{f_0}{f}, \quad (1)$$

где l и l_0 – конечная и начальная длины деформируемого участка заготовки;

f_0 и f – начальная и конечная площади поперечного сечения деформируемого участка заготовки.

Относительная степень деформации определяется как

$$e = \frac{X - X_0}{X_0} = \frac{\Delta X}{X_0}, \quad (2)$$

где X и X_0 – конечное и начальное значение параметра (диаметр, длина, площадь).

Величины ε и e связаны между собой:

$$\varepsilon = \ln(1 + e) \quad (3)$$

При степенях деформации меньше 0,1 разница между ε и e меньше 5 %, поэтому для малых деформаций можно считать $\varepsilon = e$.

2.2. Общая характеристика процессов холодной штамповки

Под холодной штамповкой понимают штамповку без предварительного нагрева заготовок. Для металлов и сплавов, применяемых при штамповке, такой процесс формоизменения соответ-

ствуется условиям холодной деформации. Холодная штамповка подразделяется на холодную объемную и холодную листовую штамповку.

Холодная объемная штамповка находит все более широкое применение благодаря высокой производительности и экономичности. Заготовки, полученные этим методом, имеют низкую шероховатость до $Ra\ 0,1$, благоприятное расположение волокон металла, более высокие по сравнению с исходными механические свойства, что в целом повышает надежность и долговечность изделий. При холодной объемной штамповке достигается повышение коэффициента использования металла по сравнению с литьем и горячей штамповкой – на 10–30%, по сравнению с обработкой резанием – в 2–3 раза. Коэффициент использования металла составляет в среднем 0,90–0,93. Процессы холодной штамповки характеризуются высоким уровнем механизации и автоматизации, что существенно повышает производительность.

К недостаткам холодной объемной штамповки относят возможность разрушений металла, изменение его физических свойств (увеличение магнитной проницаемости, коэрцитивной силы), а также повышенную энергоемкость процессов, зависящую от химического состава, механических свойств металла, степени деформации и др.

Метод холодной объемной штамповки применяется для изготовления заготовок как мелких деталей (гайки, втулки, заглушки, пальцы), так и достаточно крупных: поршневые пальцы дизелей, шаровые пальцы, корпуса шарниров, свечей зажигания, кольца роликовых подшипников, валы диаметром 50–100 мм и длиной стержня 20–300 мм, шаровые опоры и др. (рис. 3).

Основными разновидностями холодной объемной штамповки являются холодное выдавливание, холодная высадка и холодная объемная формовка.

2.3. Холодное выдавливание

При холодном выдавливании заготовку помещают в полость, из которой металл выдавливают в отверстия, имеющиеся в рабочем инструменте. Выдавливание обычно выполняют на кривошипных или гидравлических прессах в штампах, рабочими ча-

стями которых являются пуансон и матрица. Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание.

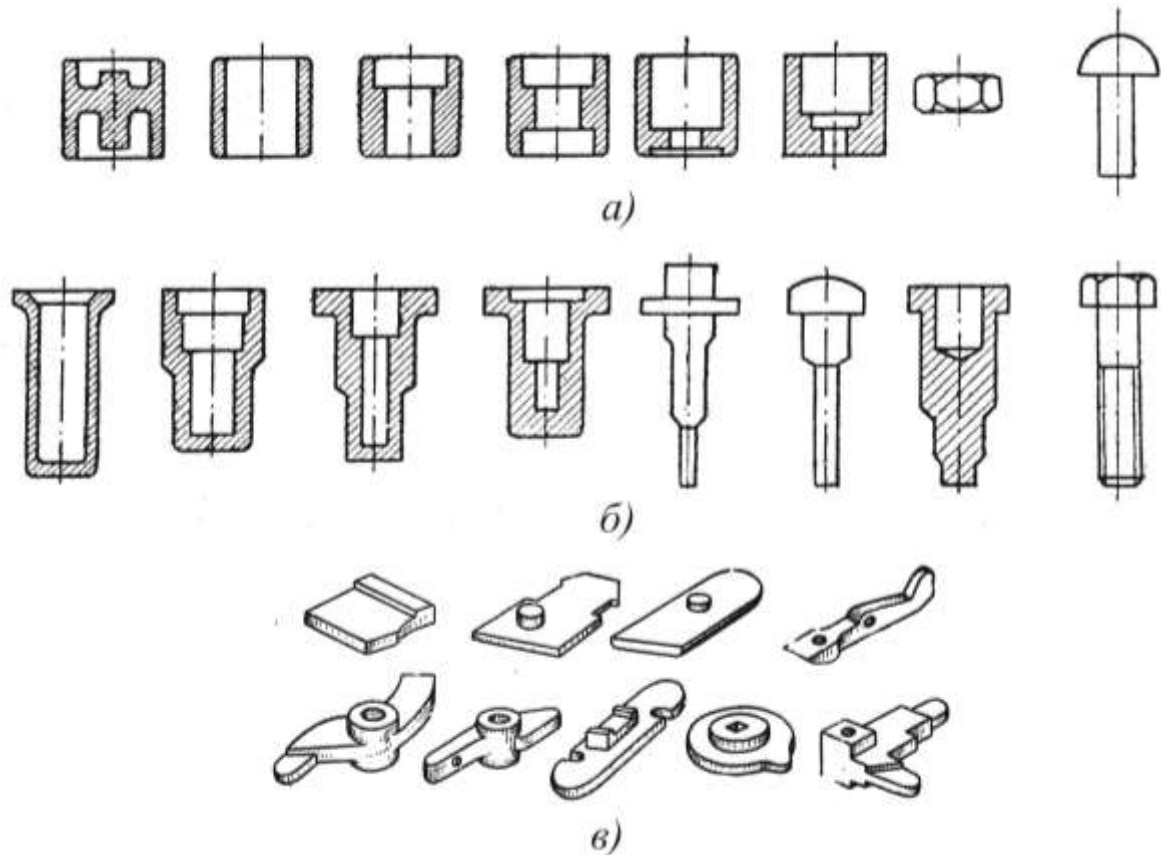


Рис. 3. Типовые полуфабрикаты и детали, получаемые холодной объемной штамповкой: *а* – высадкой, *б* – выдавливанием, *в* – объемной формовкой

При *прямом выдавливании* (рис. 4, *а*) металл вытекает в отверстие, расположенное в донной части матрицы в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона относительно матрицы. Таким образом получают детали типа стержня с утолщением (болты, тарельчатые клапаны и т. п.). При этом зазор между пуансоном и цилиндрической частью матрицы, в которой размещается исходная заготовка, должен быть небольшой, чтобы металл не вытекал в зазор.

При *обратном выдавливании* (рис. 4, *б*) направление течения металла противоположно направлению движения пуансона относительно матрицы. Наиболее чаще встречающейся схемой обратного выдавливания является схема, при которой металл может вытекать в кольцевой зазор между пуансоном и матрицей. По

такой схеме изготавливают полые детали типа труб (корпуса тьюбков), экранов радиоламп и т. д.

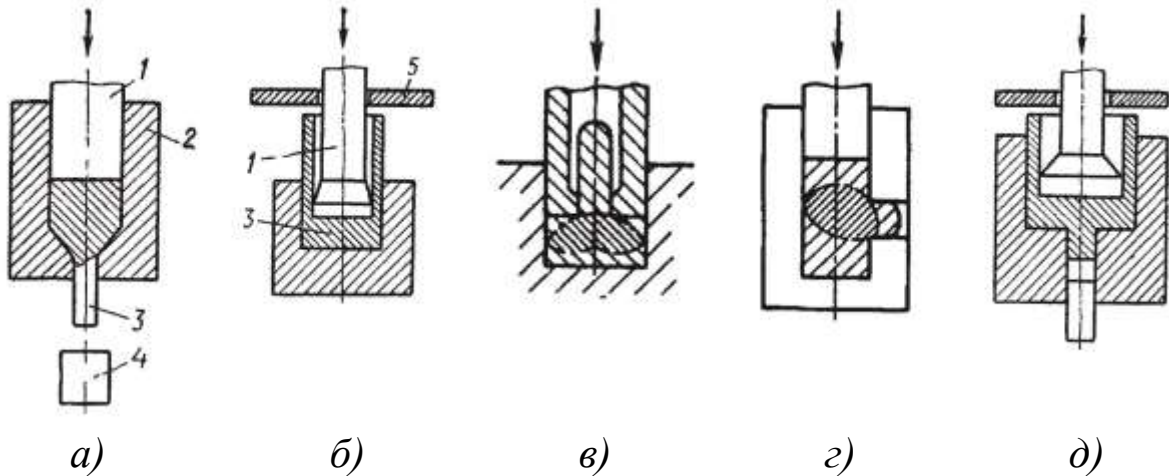


Рис. 4. Схемы выдавливания: 1 – пуансон, 2 – матрица, 3 – деталь, 4 – выталкиватель, 5 – съемник

Реже применяют схему обратного выдавливания, при которой металл выдавливается в отверстие в пуансоне, для получения деталей типа стержня с фланцем (рис. 4, в).

При *боковом выдавливании* (рис. 4, г) металл вытекает в отверстие в боковой части матрицы в направлении, не совпадающем с направлением движения пуансона. Таким образом можно получить детали типа тройников, крестовин и т. п. В этом случае, чтобы обеспечить удаление заготовки после штамповки, матрицу выполняют состоящей из двух половинок с плоскостью разъема, совпадающей с плоскостью, в которой расположены осевые линии заготовки и получаемого отростка.

Комбинированное выдавливание характеризуется одновременным течением металла по нескольким направлениям и осуществляется по нескольким из рассмотренных ранее схем холодного выдавливания. На рис. 4, д представлена схема комбинированного выдавливания для изготовления обратным выдавливанием полый, чашеобразной части детали, а прямым выдавливанием – стержня, отходящего от его донной части.

Основной положительной особенностью выдавливания является возможность получения без разрушения заготовки весьма больших степеней деформации, которые характеризуются показателем $k = F_0 / F_1$ (F_0 и F_1 – площади поперечного сечения соот-

ветственно исходной заготовки и выдавленной части детали). Для весьма мягких, пластичных металлов $k > 100$ (алюминиевые трубы с толщиной стенки 0,1...0,2 мм, при диаметре трубы 20...40 мм). Возможность получения столь больших степеней деформации обеспечивается тем, что пластическое деформирование при выдавливании происходит в условиях всестороннего неравномерного сжатия.

Однако указанная особенность всестороннего сжатия приводит и к отрицательным явлениям. Чем больше степень деформации, тем больше сила деформирования, и удельные силы, действующие на пуансон и матрицу, могут достичь значений, больших в несколько раз предела текучести деформируемого металла и превышающих значения, допустимые для инструмента по условиям его прочности или стойкости.

Высокие удельные силы выдавливания (1800–2200 МПа, в отдельных местах до 3000 МПа) определяют достижимые степени деформации и сдерживают широкое применение этого процесса в производстве. Удельные силы выдавливания изменяются в процессе деформирования и зависят от высоты подвергающейся деформированию части заготовки. При выдавливании пластическая деформация охватывает лишь часть объема заготовки – очаг деформации. До тех пор, пока высота очага деформации меньше, чем высота деформируемой заготовки, удельные силы по ходу пуансона изменяются незначительно. Когда высота деформируемой части заготовки становится меньше высоты естественного очага деформации, удельные силы начинают интенсивно возрастать. Указанное явление ограничивает допустимую (по условиям стойкости инструмента) толщину фланца или доньшка штампуемой детали.

Усилия прямого и обратного выдавливания определяются соответственно по формулам:

$$P_{\text{п}} = q_{\text{п}} F, \text{ Н} \quad (4)$$

$$P_{\text{о}} = q_{\text{о}} (F_{\text{о}} - F), \text{ Н} \quad (5)$$

где $q_{\text{п}}$ и $q_{\text{о}}$ – удельные усилия при выдавливании, МПа;

F и $F_{\text{о}}$ – площади поперечного сечения соответственно пуансона и матрицы, мм².

Для уменьшения удельной силы выдавливания при проектировании детали необходимо стремиться к такой ее конфигурации, при которой отсутствовали бы застойные зоны под торцом пуансона или у рабочей поверхности матрицы.

Основное технологическое мероприятие, направленное на снижение удельных сил выдавливания – применение различных смазывающих материалов (мыло, масла, жирные кислоты, дисульфид молибдена) или покрытий заготовок (фосфатирование, оксалатирование) для уменьшения сил трения. В обычных условиях силы трения препятствуют пластическому течению металла и существенно увеличивают силу деформирования.

Если деталь имеет простую геометрическую форму, то она может быть изготовлена за один переход. Заготовки сложной формы, особенно из материалов с пониженной пластичностью, штампуются за несколько переходов (рис. 5), между которыми часто проводят рекристаллизационный отжиг. Отжиг снижает удельные силы при штамповке на последующих переходах и повышает пластичность металла, что уменьшает опасность разрушения заготовки в процессе деформирования и увеличивает допустимую степень деформации.

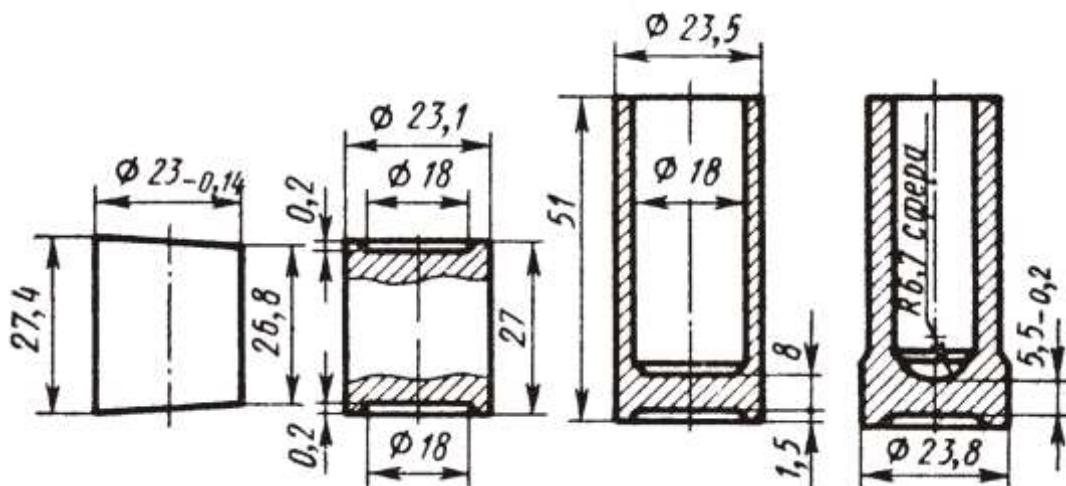


Рис. 5. Переходы при штамповке корпуса толкателя из стали 15Х

2.4. Холодная высадка

Применяется при изготовлении широкого ассортимента деталей в массовом производстве: болтов, гаек, шпилек, винтов, шурупов, заклепок, гвоздей, спиц и др. Исходной заготовкой

служат проволока или прутки из черных и цветных металлов диаметром 0,5...38 мм. Холодная высадка осуществляется с помощью специальных холодновысадочных автоматов, на которых за один или несколько переходов (ударов) в зависимости от формы высаживаемой части и ее размеров изготавливается изделие. Название автоматов связано с тем, что основной выполняемой на них операциях является высадка (уменьшение длины части заготовки при местном увеличении поперечных размеров).

В то же время при штамповке на холодновысадочных автоматах все шире используют другие операции штамповки (в частности, выдавливание), что расширяет номенклатуру изготавливаемых деталей. На рис. 6 показана схема трехударной высадки винта.

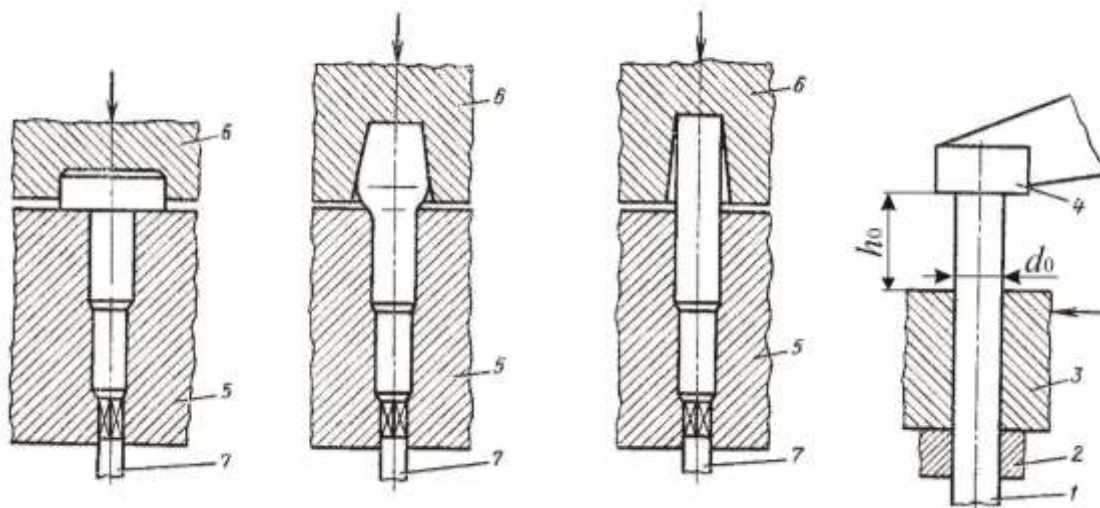


Рис. 6. Схема высадки винта на однопозиционном трехударном автомате

Автомат имеет механизмы подачи, отрезки, переноса заготовки с линии подачи на позицию высадки, а также механизмы высадки и выталкивания.

Пруток или проволока 1 через отрезную матрицу 2 подается до упора 4, с помощью ножа 3 отрезается заготовка нужной длины. Далее заготовка переносится к высадочной матрице 5 и последовательно с помощью пуансонов 6 осуществляется высадка головки винта. Деталь удаляется из матрицы с помощью выталкивателя 7.

Отношение длины высаживаемой части заготовки к ее диаметру d_0 / h_0 во избежание потери устойчивости (продольного из-

гиба) не должно превышать 2,5 при высадке за один удар, 4,5 – за два удара, 8 – за три удара.

Правила высадки, расчет и выбор переходов по существу являются такими же, как при горячей объемной штамповке на горизонтально-ковочных машинах. Однако ограниченный запас пластичности металла в холодном состоянии значительно снижает допустимые степени деформации даже у сплавов с высокой пластичностью и полностью исключает возможность холодной высадки сплавов с низкой пластичностью. На рис. 7 – 8 показаны примеры переходов при штамповке на холодновысадочных автоматах.

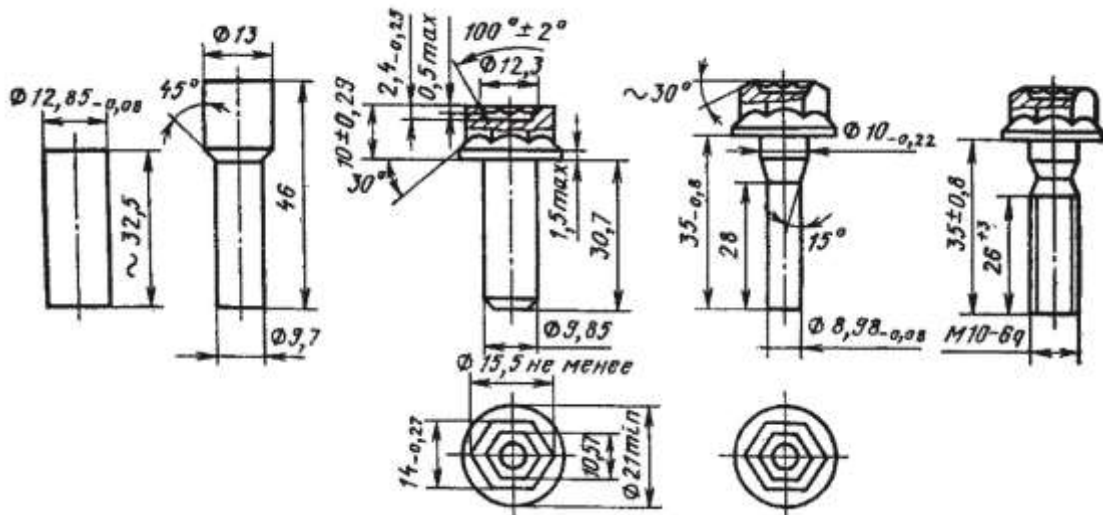


Рис. 7. Переходы при штамповке и накатке резьбы болта с фланцем из стали 20кп

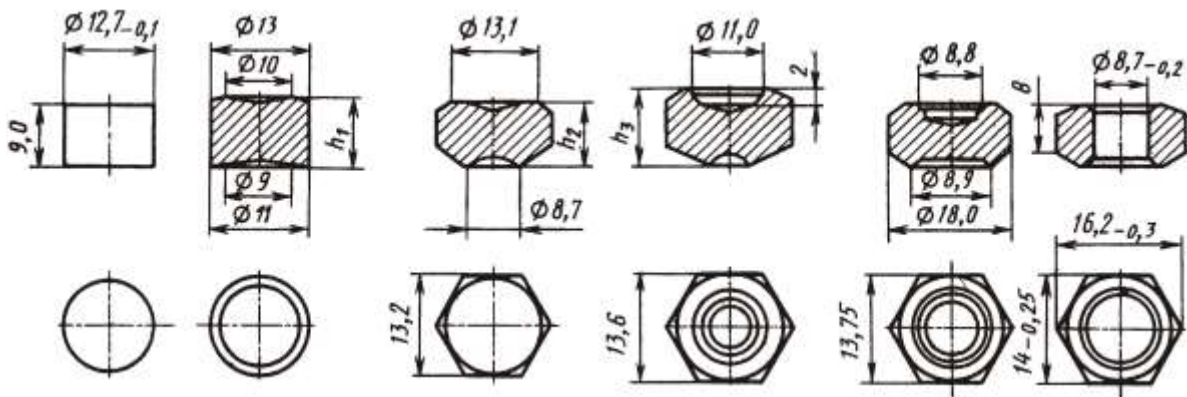


Рис. 8. Переходы при штамповке гайки из стали 10кп

Усилие разрезки заготовки на автоматах определяют по формуле:

$$P_p = k\tau F_0, \text{ Н} \quad (6)$$

где $k = 1,25 \dots 1,35$ – коэффициент, учитывающий конструкцию и состояние режущих кромок;

$\tau \approx 0,6\sigma_B$ – максимальное касательное напряжение сдвига, МПа;

F_0 – площадь поперечного сечения заготовки, мм².

Начальное усилие высадки определяется как:

$$P_{HB} = \sigma'_s F_0 \left(1 + \frac{\mu d_0}{3h_0} \right), \text{ Н} \quad (7)$$

где σ'_s – напряжение текучести материала с учетом деформационного упрочнения (определяется по справочникам), МПа;

μ – коэффициент трения, принимаемый 0,15 для высадки со смазкой;

d_0, h_0 – соответственно диаметр и длина высаживаемой части заготовки.

Конечное усилие высадки рассчитывается по формуле:

$$P_{KB} = \sigma'_s f v F \left(1 + \frac{\mu D}{3h} \right), \text{ Н} \quad (8)$$

где f – коэффициент, учитывающий сложность формы высаживаемой детали ($f = 1,1 \dots 1,2$ для деталей типа стержня с шестигранной или прямоугольной головкой, $f = 1,3$ для несимметричных головок);

$v = 1 \dots 1,75$ – коэффициент, учитывающий влияние механической схемы деформации ($v = 1$ при свободной осадке);

F – площадь поперечного сечения высаженной головки, мм²;

D – диаметр проекции высаженной головки на плоскость, перпендикулярную оси высадки, мм;

h – высота высаженной цилиндрической головки, мм.

Штамповкой на холодновысадочных автоматах обеспечиваются достаточно высокая точность размеров и хорошее качество поверхности, вследствие чего некоторые детали не требуют последующей обработки резанием. Таким образом, например, изготавливают метизные изделия (болты, винты, шпильки), резьбу на которых получают на автоматах обработкой давлением – накаткой.

Производительность холодновысадочных автоматов составляет 20–400 деталей в минуту (чем меньше размер детали, тем больше производительность). Средний коэффициент использования металла составляет 95 % (только 5 % металла идет в отход).

2.5. Холодная объемная формовка

Она заключается в придании заготовке формы детали путем заполнения металлом полости штампа. Применяется для изготовления сложных по форме деталей (сплошных и с отверстиями) с площадью горизонтальной проекции до 5000 мм² и высотой до 25 мм. Исходной заготовкой является штучная заготовка из сортового или листового проката, полученная горячей штамповкой либо точным литьем. Обычно используются следующие основные операции: осадка плоскопараллельными бойками (рис. 9, а), открытая осадка с выдавливанием в одну или две стороны для образования бобышек, выступов (рис. 9, б), закрытая осадка с истечением металла в одну или две полости штампа для образования частичных утолщений с одновременным формированием требуемого контура (рис. 9, в).

Холодная объемная формовка требует значительных удельных усилий вследствие высокого сопротивления металла в условиях холодной деформации и упрочнения металла в процессе деформирования. Для уменьшения вредного влияния упрочнения и облегчения процесса деформирования оформление детали обычно расчленяют на переходы, между которыми заготовку подвергают рекристаллизационному отжигу.

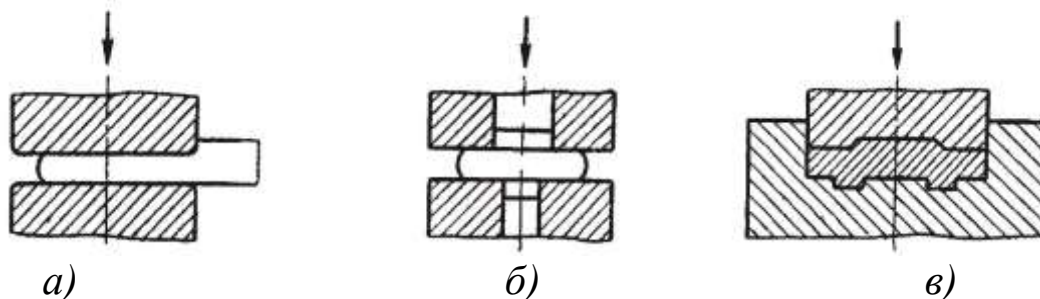


Рис. 9. Основные операции холодной объемной формовки

Каждый последующий переход осуществляется в специальном штампе, хотя иногда несколько переходов выполняют в од-

ном штампе. В последнем случае между переходами обрезают облой для снижения силы деформирования и повышения размерной точности деталей. Холодную объемную формовку обычно осуществляют в открытых штампах, так как при этом удельные силы меньше (возможность вытекания металла в зазор между половинками штампа облегчает процесс деформирования). В закрытых штампах штампуют главным образом изделия из цветных металлов и сплавов.

Усилие холодной объемной формовки определяют по формуле:

$$P_{\phi} = q_{\phi} F, \text{ Н} \quad (9)$$

где q_{ϕ} – среднее удельное усилие, МПа;

F – площадь проекции поковки на горизонтальную плоскость, мм².

Данный вид обработки металлов обеспечивает получение деталей со сравнительно высокой точностью размеров и качеством поверхности, что уменьшает объем обработки резанием и в отдельных случаях даже устраняет ее. Штамповка осуществляется обычно за один ход ползуна прессы, что обеспечивает (даже при использовании нескольких переходов со своими штампами) высокую производительность по сравнению с обработкой резанием. В то же время изготовление штампов трудоемко и дороже изготовления режущего инструмента, поэтому холодная объемная формовка в основном применяется в крупносерийном и массовом производстве.

Рекомендации по конструированию деталей по существу такие же, как при горячей объемной штамповке. Допустимые уклоны и радиусы закруглений обычно меньше по сравнению с горячей штамповкой.

2.6. Оборудование для холодной объемной штамповки

Холодное выдавливание выполняется на кривошипных или гидравлических прессах, холодная объемная формовка обычно осуществляется на кривошипно-коленных прессах. Холодная высадка производится на холодновысадочных автоматах.

На рис. 10 изображена схема исполнительного механизма кривошипно-коленного пресса.

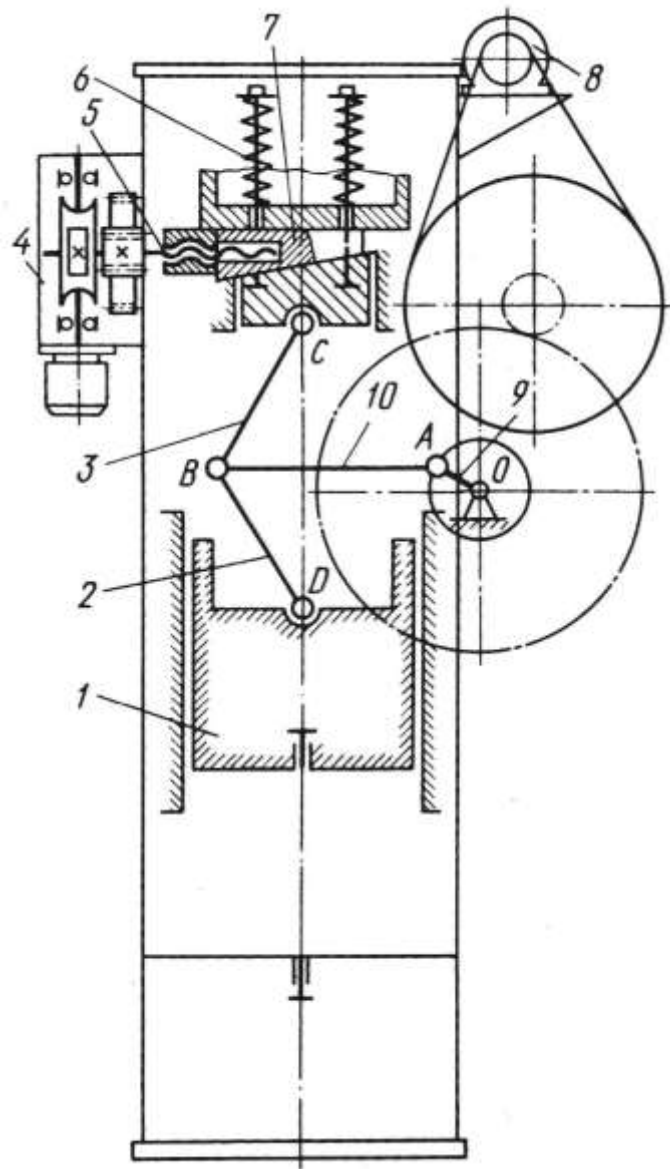


Рис. 10. Исполнительный механизм кривошипно-коленного пресса

Кривошип 9, вращаясь вокруг оси O , передает движение шатуну 10 и звеньям 2 (нижнее колено) и 3 (верхнее колено). Поворачиваясь около точки C , звено 3 смещает звено 2, в результате чего ползун 1 совершает вертикальное перемещение в направляющих станины. В нижнем положении ползуна шарниры B , C и D установятся на одной прямой линии, при этом достигается наибольшее усилие. Особенность кривошипно-коленного механизма заключается в том, что на небольшом рабочем ходу (45-200

мм) около нижнего крайнего положения ползуна возникающие в рабочей зоне пресса большие усилия уравниваются значительно меньшими усилиями в приводе. Так, при усилии на прессе равном 10 МН, на кривошипном валу будет создаваться усилие 2 МН. В кривошипно-коленных прессах шатун работает на растяжение.

Привод осуществляется от электродвигателя 8, который через клиноременную и зубчатую передачи передает движение к кривошипно-коленному механизму.

Верхнее звено механизма в точке *С* шарнирно соединено с опорной подушкой, которая подвешивается на станине с помощью пружин 6. Такая схема подвески дает возможность регулировать высоту штампового пространства, используя клиновую пару. Клиновое звено 7 во время регулирования перемещается с помощью винта 5, который вращается от редуктора 4, имеющего индивидуальный электропривод. Чеканочные прессы изготавливают номинальным усилием от 1000 до 40000 кН.

Прессы для холодного выдавливания отличаются от чеканочных тем, что процесс штамповки в них происходит на большем рабочем ходу. При этом усилие на коленчатом валу и затраты мощности будут больше, чем в чеканочных прессах таким же номинальным усилием. Стандартные прессы для холодного выдавливания изготавливают номинальным усилием от 1000 до 10000 кН.

Холодновысадочные автоматы бывают однопозиционные и многопозиционные. По количеству переходов, необходимых для изготовления одного изделия, однопозиционные автоматы бывают одно-, двух- и трехударные. В свою очередь, двух- и трехударные автоматы могут быть как с цельной матрицей, так и с разъемной.

На *одноударных* автоматах проводится высадка изделий типа шурупов, винтов заклепок, у которых длина высаживаемой части h_0 равна 2–2,5 диаметра стержня d_0 . Их также широко применяют при изготовлении шариков и роликов. Однопозиционные *двухударные* автоматы применяют чаще, так как они позволяют изготавливать изделия с увеличенной головкой. На рис. 11 показана кинематическая схема двухударного автомата с цельной матрицей.

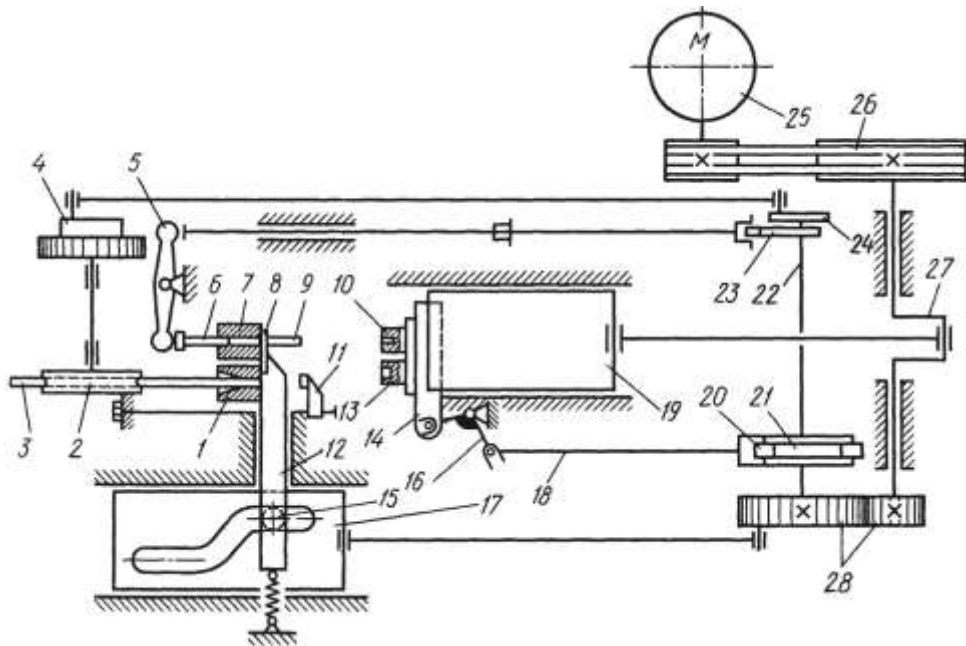


Рис. 11. Кинематическая схема двухударного
однопозиционного автомата

Заготовка-проволока 3 прерывисто вращающимися роликами 2 подается через отрезную матрицу 1 до упора 11. Нож 8, отрезав заготовку 9, переносит ее с помощью специальной пружины к высадочной матрице и удерживает до того времени, пока пуансон 10 не воткнет ее в матрицу 7, после чего нож возвращается в исходное положение, а пуансон 10 проводит предварительную высадку головки изделия. При втором ударе пуансон 13 проводит окончательную высадку головки. Движение пуансонов вдоль оси изделия осуществляется главным ползуном 19, соединенным шатуном с коленчатым валом 27.

Поперечное перемещение пуансонов осуществляется при помощи салазок 14, которые связаны двуплечим рычагом 16, шатуном 18 и роликами 20 с кулачковым механизмом 21. Кулачковый механизм смонтирован на распределительном валу 22, получающем вращательное движение через зубчатую передачу 28.

Механизм подачи пруткового материала имеет храповое устройство 4, с помощью которого осуществляется прерывистое вращение роликов подачи 2. Подача регулируется изменением эксцентриситета диска 24 посредством сухаря и винта. Привод выталкивателя 6 рычага 5 осуществляется от кулачка привода выталкивателя 23, посаженного на распределительном валу.

Коленчатый вал 27 получает крутящий момент от электродвигателя 25 через клиноременную передачу 26. Ножевой шток 12 отрезает заготовку в матрице 1 и переносит ее к высадочной матрице 7. Боковой ползун 17 снабжен копирной дорожкой, в которую вставлен ролик 15, связанный с ножевым штоком. В автомате нет муфты включения, он начинает работать сразу после включения электродвигателя.

Для точной настройки взаимодействия основных узлов автомата используют цикловую диаграмму, в которой за основной параметр принят угол поворота коленчатого вала. Затем путем установки кулачков на определенный угол задают последовательность работы всех механизмов. В некоторых моделях автоматов пуансонная головка совершает не прямолинейное, а качательное движение.

Двухударные автоматы с цельной матрицей выпускаются для изготовления изделий диаметром 1,6–20 мм и с длиной стержня изделия 4–200 мм. Номинальное усилие составляет 63–2000 кН.

Двухударные автоматы с *разъемной матрицей* применяются для деталей с удлиненным стержнем (более 10 диаметров). На этих автоматах отрезанная мерная заготовка с помощью подающих роликов проталкивается через открытые полуматрицы до специального упора, затем при перемещении полуматрицы отрезается мерная заготовка и переносится на ось высадки. При ходе ползуна вперед пуансон формирует головку изделия за два удара. Применение разъемных матриц, раскрывающихся при выталкивании высаженной заготовки, позволяет снизить усилие выталкивания. Недостатком штамповки в разъемных матрицах по сравнению с высадкой в цельных матрицах относятся пониженные точность размеров и качество поверхности

Многопозиционные холодноштамповочные автоматы, изготавливаемые главным образом с цельными матрицами, применяются для изготовления болтов, винтов, гаек и других изделий стержневого типа из калиброванного и пруткового материала. Изделие изготавливается за несколько переходов при одном ходе ползуна. Они имеют механизм межоперационной транспортировки. Автоматы, оснащенные механизмами для снятия фаски и резбонакатными устройствами, называются автоматами-

комбайнами и полностью изготавливают изделие без какой-либо дополнительной обработки. Многопозиционные автоматы для стержневых деталей работают с проволокой или прутком диаметров 6–24 мм, усилие составляет 320–4000 кН.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключаются особенности холодной пластической деформации металлов?
2. Укажите общую характеристику процессов холодной объемной штамповки.
3. Назовите основные схемы холодного выдавливания.
4. Укажите особенности и область применения холодной высадки.
5. В чем состоит сущность холодной объемной формовки?
6. Назовите оборудование, применяемое для холодной объемной штамповки.

4. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология конструкционных материалов: учеб. для студентов машиностроительных специальностей вузов / А. М. Дальский, Т. М. Барсукова, Л. Н. Бухаркин и др.; под ред. А. М. Дальского. – 5-е изд., испр. – Москва: Машиностроение, 2004. – 512 с.: ил.
2. Ковка и штамповка: Справочник: в 4 т. / ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – Москва: Машиностроение, 1987. Т. 3. Холодная объемная штамповка / под ред. Г. А. Навроцкого. – 384 с.: ил.
3. Бочаров, Ю. А. Кузнечно-штамповочное оборудование: учеб. для высш. учеб. заведений / Ю. А. Бочаров. – Москва: Издательский центр «Академия», 2008. – 480 с.: ил.
4. ГОСТ 18970. Обработка металлов давлением. Операцииковки и штамповки. Термины и определения. – Введ. 1985–01–01. – Москва: Изд-во стандартов, 1986. – 33 с.

Лабораторная работа №6 «ТЕХНОЛОГИЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ»

Составитель: Драчев В. В.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка технологии изготовления листоштампованной детали, которая заключается в решении следующих задач:

- определение состава и последовательности операций листовой штамповки для получения заданной детали;
- определение размеров заготовки;
- расчёт усилий каждой операции;
- определение способа раскроя листового материала с расчётом коэффициента использования материала;
- выбор оборудования для выполнения каждой операции.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Классификация операций листовой штамповки

Листовой штамповкой называется штамповка изделий или заготовок из листового или фасонного проката без обусловленного значительного перераспределения металла в поперечном сечении исходной заготовки.

Все операции листовой штамповки делятся на разделительные и формоизменяющие. Разделительными называются операции, в результате которых происходит полное или частичное отделение одной части заготовки от другой. К основным разделительным операциям относятся:

- отрезка – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем сдвига;
- вырубка – полное отделение заготовки или изделия от исходной заготовки по замкнутому контуру путем сдвига;
- пробивка – образование в заготовке отверстия или паза путем сдвига с удалением части металла в отход;
- обрезка – удаление излишков металла путем сдвига.

Формоизменяющими называются операции, в результате которых изменяется форма заготовки путем пластического деформирования. К основным формоизменяющим операциям относятся:

- гибка – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы;
- вытяжка – образование полый заготовки или изделия из плоской или полый исходной листовой заготовки;
- отбортовка – образование борта по внутреннему или наружному контуру заготовки;
- обжим – уменьшение размеров поперечного сечения части полый заготовки путем одновременного воздействия инструмента по всему её периметру;
- раздача – увеличение размеров поперечного сечения части полый заготовки путем одновременного воздействия инструмента по всему её периметру.

2.2. Отрезка

Отрезку применяют для разделения листа на полосы заданной ширины и выполняют чаще всего на гильотинах или дисковых ножницах.

Усилие отрезки материала (P , Н) на гильотинных ножницах (рис. 1, а):

$$P = \frac{K 0,5 S^2 \sigma_{\text{ср}}}{\text{tg} \varphi}, \quad (1)$$

где K – коэффициент, учитывающий затупление режущих кромок, неравномерность толщины и механических свойств материала, $K=1,1-1,3$;

S – толщина материала, мм;

$\sigma_{\text{ср}}$ – предел прочности материала при срезе, МПа, определяемый по прил. 1;

φ – угол наклона верхнего ножа, град., $\varphi = 2-6^\circ$.

Усилие отрезки (P , Н) на дисковых ножницах (рис. 1, б):

$$P = \frac{K0,5Sh_n\sigma_{cp}}{tg\alpha}, \quad (2)$$

где h_n – глубина вдавливания ножей к моменту скалывания, мм,
 $h_n = (0,2-0,5)S$;

α – угол захвата ножниц, град., $\alpha = 6-14^\circ$.

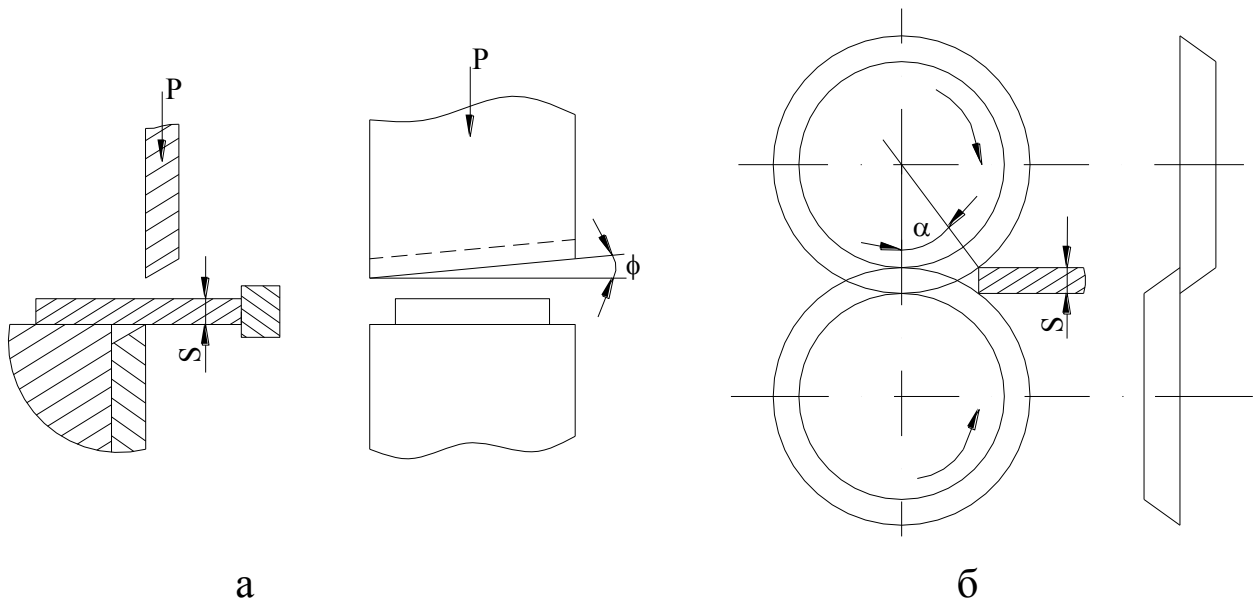


Рис. 1. Схема отрезки на гильотинных (а)
и дисковых (б) ножницах

2.3. Вырубка, пробивка, обрезка

Вырубка, пробивка, обрезка могут производиться в штампах с параллельными режущими кромками пуансонов и матриц или, в случае штамповки деталей больших размеров и при использовании толстого материала, со скошенными режущими кромками.

Полное усилие прессы (P , Н) при вырубке, пробивке, обрезке:

$$P = P_c + Q, \quad (3)$$

где P_c – усилие прессы сдвига при вырубке, пробивке, обрезке, Н;
 Q – усилие сжатия буфера, прижима, съёмника, Н,

$$Q = (0,2-0,3)P_c.$$

Усилие процесса сдвига при вырубке, пробивке и обрезке в штампах с параллельными режущими кромками (рис. 2, а):

$$P_c = KLS\sigma_{cp}, \quad (4)$$

где K – коэффициент, учитывающий затупление режущих кромок, неравномерность толщины и механических свойств материала, $K = 1,1-1,3$;

L – периметр контура вырубki, пробивки или обрезки, мм;

S – толщина материала, мм;

σ_{cp} – предел прочности материала при срезе, МПа (см. прил. 1).

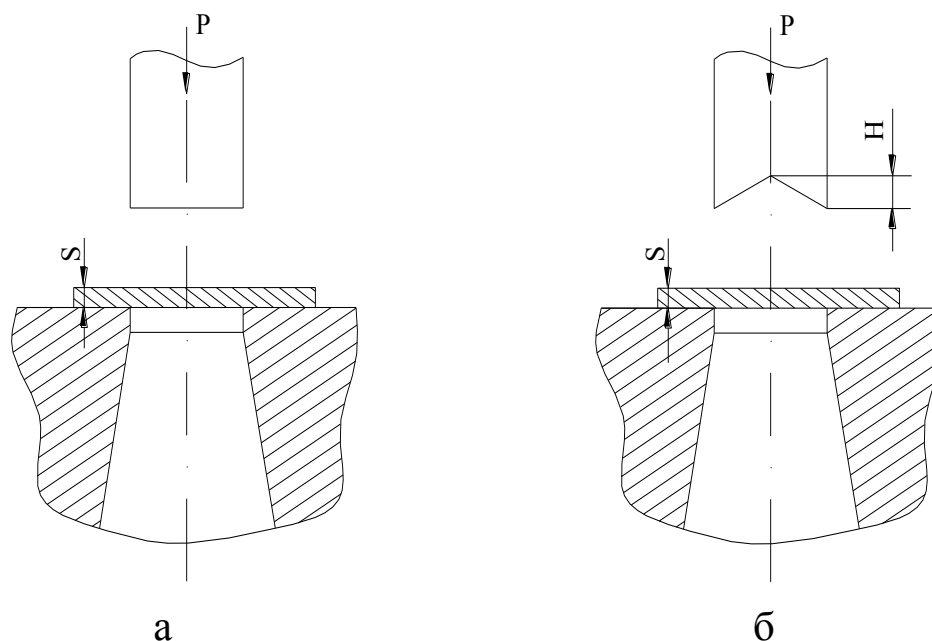


Рис. 2. Схема вырубki (пробивки, обрезки) в штампе с параллельными (а) и скошенными (б) режущими кромками

Усилие процесса сдвига при вырубке, пробивке, обрезке в штампах со скошенными режущими кромками (рис. 2, б):

$$P_c = KLS\sigma_{cp}K', \quad (5)$$

где K' – коэффициент, зависящий от величины скоса.

При толщине материала S до 3 мм величина скоса $H = 2S$ и $K' = 0,4-0,6$.

При $S = 3-10$ мм $H = S$ и $K' = 0,2-0,4$.

2.4. Гибка

2.4.1. Определение размеров заготовки при гибке

При гибке слои металла внутри угла изгиба укорачиваются, а наружные слои удлиняются. Между удлиненными и укороченными слоями находится нейтральный слой, длина которого равна первоначальной длине заготовки. Поэтому определение размеров плоских заготовок, подлежащих гибке, сводится к определению положения и длины нейтрального слоя.

Длина нейтрального слоя (l_H , мм) в изогнутом участке определяется по формуле

$$l_H = \frac{\pi\varphi}{180}(R + xS), \quad (6)$$

где φ – угол изгиба, град.;

R – внутренний радиус изгиба, мм;

x – коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя, выбирается по табл. 1;

S – толщина материала, мм.

Таблица 1

Значения коэффициентов X и K_2

R/S	0,5	1	1,5	2	3	4	5
X	0,38	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48
K_2	0,18	0,15	0,14	0,125	0,10	0,09	0,08

Полная длина заготовки (L , мм) определяется по формуле

$$L = \sum l + \sum l_H, \quad (7)$$

где Σl – суммарная длина прямых участков, мм;

Σl_H – суммарная длина изогнутых участков, мм.

Пример. Определить длину (L , мм) заготовки для детали, изображенной на рис. 3.

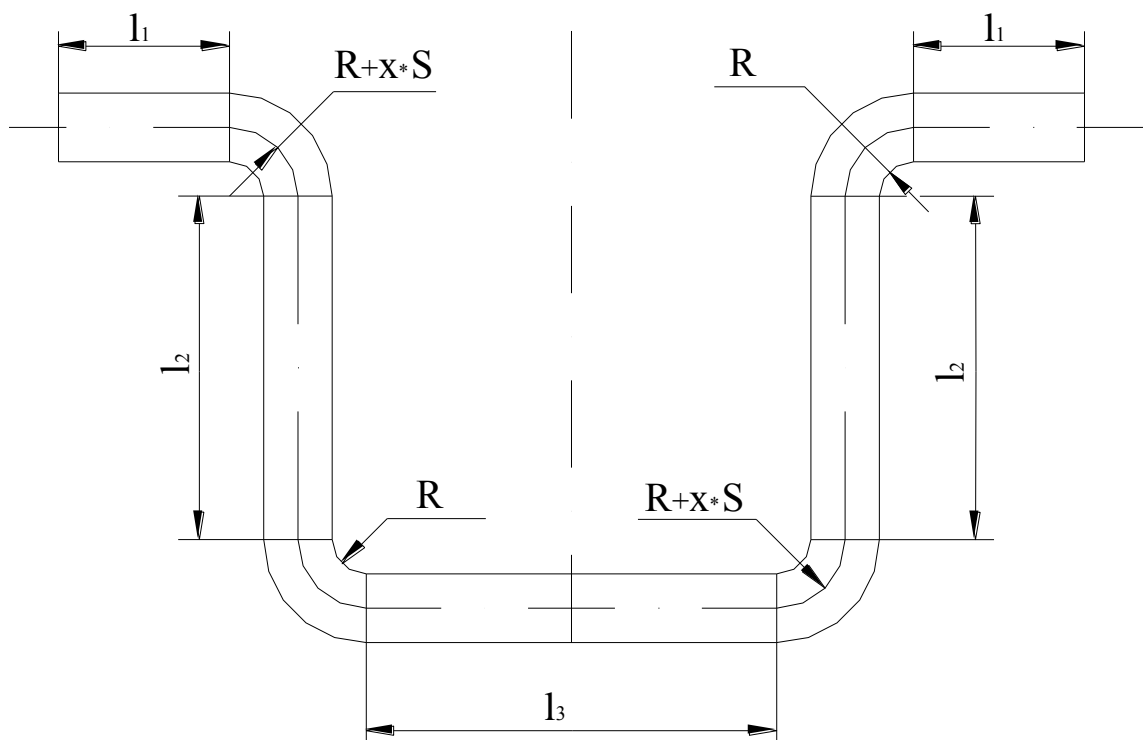


Рис. 3. Схема определения длины заготовки при гибке

$$L = \Sigma l + \Sigma l_H = 2l_1 + 2l_2 + l_3 + 4 \frac{\pi 90}{180} (R + xS) =$$

$$= 2l_1 + 2l_2 + l_3 + 2\pi(R + xS).$$

2.4.2. Расчет усилий гибки

Гибка может быть одноугловой и двухугловой. При наличии у детали большего числа углов гибку осуществляют за несколько операций. Гибка может производиться с прижимом или без прижима. Гибка без прижима применяется лишь для деталей невысо-

кой точности, так как допускает смещение заготовки при гибке. Двухугловая гибка всегда производится с прижимом.

Усилие одноугловой гибки без прижима (P , Н):

$$P = BS\sigma_{\epsilon}K_1, \quad (8)$$

где B – ширина полосы (длина линии изгиба), мм;

S – толщина материала, мм;

σ_{ϵ} – временное сопротивление материала при растяжении, МПа (см. прил. 1);

K_1 – коэффициент для гибки без прижима, $K_1 = 0,09\text{--}0,12$.

Усилие одноугловой гибки с прижимом (P , Н):

$$P = 1,25BS\sigma_{\epsilon}K_2, \quad (9)$$

где K_2 – коэффициент для гибки с прижимом, определяется по табл. 1.

Усилие двухугловой гибки с прижимом (P , Н):

$$P = 2,5BS\sigma_{\epsilon}K_2. \quad (10)$$

2.5. Вытяжка

2.5.1. Определение размеров заготовки при вытяжке

Размеры заготовок для вытяжки круглых (являющихся телами вращения) деталей простой формы определяют исходя из равенства площадей поверхности заготовки и готовой детали с учетом припуска на обрезку неровного края детали, получающегося при вытяжке из-за неравномерности толщины, механических свойств материала и ряда других причин. В данном случае заготовка будет иметь форму круга, диаметр которого (D_3 , мм) определяется по формуле

$$D_3 = 1,13\sqrt{F} = 1,13\sqrt{\sum f}, \quad (11)$$

где F – площадь поверхности готовой детали, мм²;

$\sum f$ – сумма площадей простых геометрических элементов, составляющих поверхность детали, мм².

Площади поверхности некоторых простых геометрических форм приведены в прил. 2.

Расчеты ведутся по средней линии. Расчетный диаметр вытягиваемой детали (d_c , мм):

$$d_c = d_n - S, \quad (12)$$

или

$$d_c = d_b + S, \quad (13)$$

где d_n – наружный диаметр детали, мм;

d_b – внутренний диаметр детали, мм;

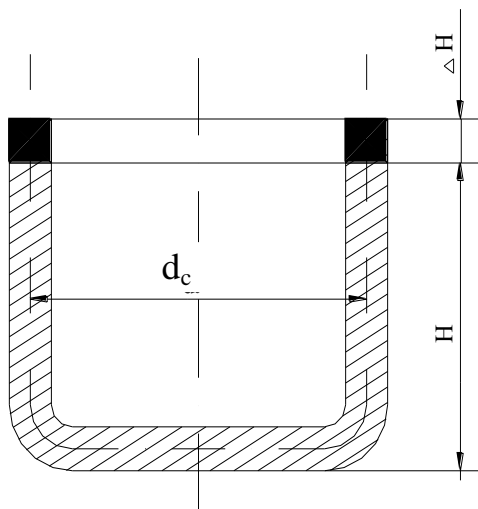
S – толщина материала, мм.

Расчетный радиус закруглений (r_c , мм):

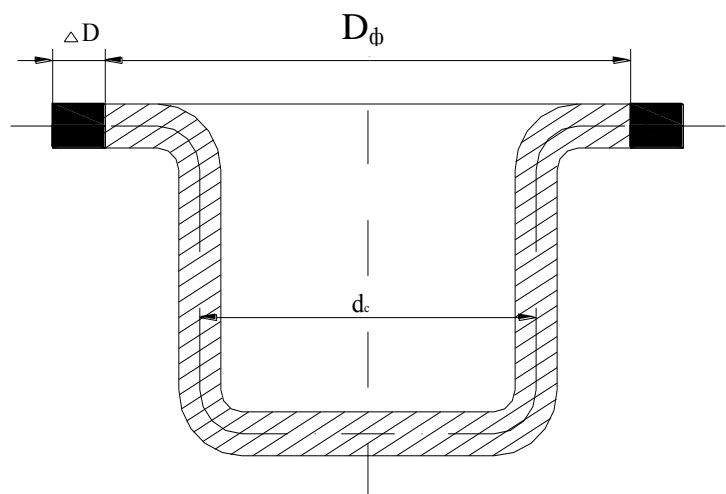
$$r_c = r + 0,5S, \quad (14)$$

где r – внутренний радиус закругления, мм.

Припуск на обрезку деталей без фланца (рис. 4, а) принимается по табл. 2, деталей с фланцем (рис. 4, б) по табл. 3.



а)



б)

Рис. 4. Припуски на обрезку деталей без фланца (а)
и деталей с фланцем (б)

Таблица 2

Припуски на обрезку деталей без фланца ΔH , мм

Высота детали H , мм	Припуск при относительной высоте детали H/d_c			
	0,5–0,8	0,8–1,6	1,6–2,5	2,5–4,0
10	1,0	1,2	1,5	2,0
20	1,2	1,6	2,0	2,5
50	2,0	2,5	3,0	4,0
100	3,0	3,8	5,0	6,0
150	4,0	5,0	6,5	8,0
200	5,0	6,3	8,0	10,0
250	6,0	7,5	9,0	11,0
300	7,0	8,5	10,0	12,0

Таблица 3

Припуски на обрезку деталей с фланцем ΔD , мм

Диаметр фланца D_{ϕ} , мм	Припуск на сторону при относительном диаметре фланца D_{ϕ}/d_c			
	До 1,5	1,5–2,0	2,0–2,5	2,5–2,8
25	1,6	1,4	1,2	1,0
50	2,5	2,0	1,8	1,6
100	3,5	3,0	2,5	2,2
150	4,3	3,6	3,0	2,5
200	5,0	4,2	3,5	2,7
250	5,5	4,6	3,8	2,8

300	6,0	5,0	4,0	3,0
-----	-----	-----	-----	-----

Пример. Определить площадь поверхности детали (F , мм²), изображенной на рис. 5.

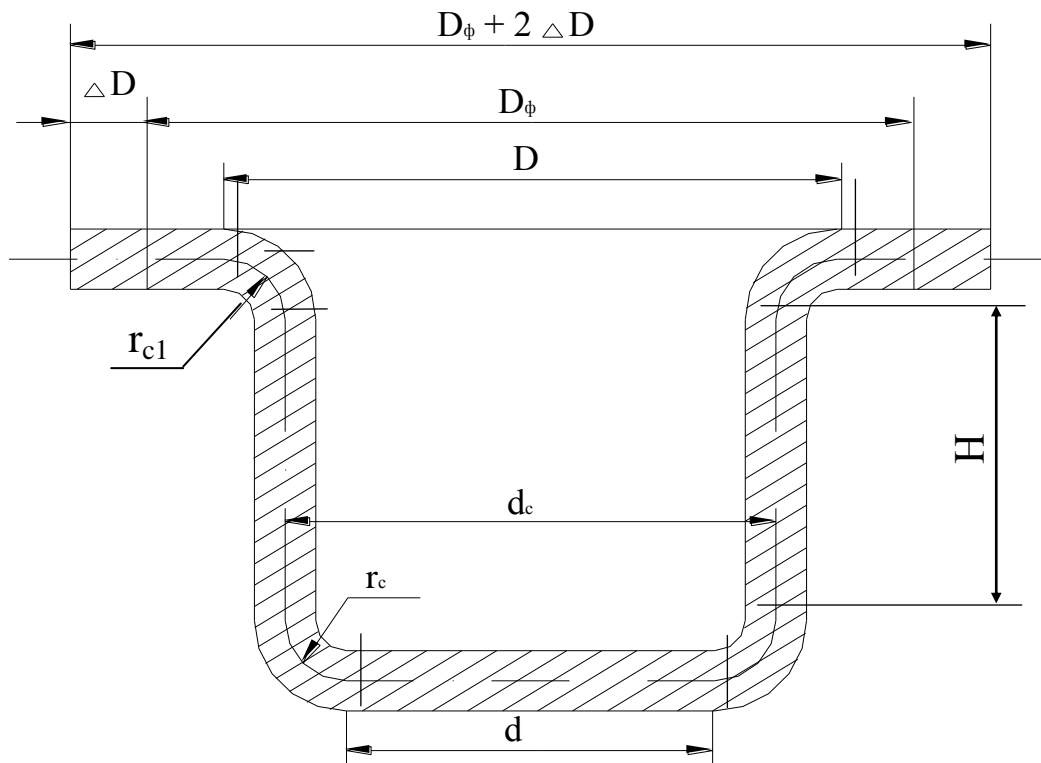


Рис. 5. Схема разбивки поверхности детали на простые геометрические элементы

$$F = \sum f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5$$

где f_1 – площадь круга;

f_2 – площадь четверти тора (выпуклой);

f_3 – площадь цилиндра;

f_4 – площадь четверти тора (вогнутой);

f_5 – площадь кольца.

Площади элементов детали находятся по формулам (см. прил. 2)

$$f_1 = \frac{\pi d^2}{4}; \quad f_2 = \frac{\pi}{4}(2\pi d r_c + 8r_c^2); \quad f_3 = \pi d_c H;$$

$$f_4 = \frac{\pi}{4}(2\pi d r_{cl} - 8r_{cl}^2); \quad f_5 = \frac{\pi}{4}[(D_\phi + 2\Delta D)^2 - D^2]$$

2.5.2 Расчет усилий вытяжки

Вытяжка может осуществляться за одну или несколько операций. Число операций, необходимых для вытяжки, определяется путем последовательного подсчета диаметров детали после каждой операции вытяжки до получения диаметра, равного (или меньшего) данному диаметру детали.

Диаметр детали после первой вытяжки (d_1 , мм) определяется по формуле

$$d_1 = m_1 D_3, \quad (15)$$

где m_1 – допускаемый коэффициент вытяжки на первой операции, определяемый по табл. 4;

D_3 – диаметр заготовки, мм.

Диаметр после последующих вытяжек (d_n , мм):

$$d_n = m_n d_{n-1}, \quad (16)$$

где n – номер операции вытяжки;

m_n – допускаемый коэффициент вытяжки на n -й операции (см. табл. 4);

d_{n-1} – диаметр детали, полученный на предыдущей операции вытяжки, мм.

Коэффициент вытяжки на последней операции (m_k), как правило, больше предельного допускаемого и должен быть уточнен по формуле

$$m_k = \frac{d}{d_{k-1}}, \quad (17)$$

где k – номер последней операции вытяжки;

d – диаметр готовой детали, мм;

d_{k-1} – диаметр детали перед последней вытяжкой, мм.

Таблица 4

Допускаемые коэффициенты вытяжки

Коэффициент вытяжки	Значения коэффициентов при относительной толщине заготовки $100S/D_3$					
	0,1–0,3	0,3–0,6	0,6–1,0	1,0–1,5	1,5–2,0	Свыше 2,0
m_1	0,58–0,60	0,56–0,58	0,54–0,56	0,52–0,54	0,50–0,52	0,48–0,50
m_2	0,81–0,82	0,80–0,81	0,79–0,80	0,78–0,79	0,77–0,78	0,76–0,77
m_3	0,82–0,83	0,81–0,82	0,80–0,81	0,79–0,80	0,78–0,79	0,77–0,78
m_4	0,84–0,85	0,83–0,84	0,82–0,83	0,81–0,82	0,80–0,81	0,79–0,80
m_5, m_6	0,86–0,87	0,85–0,86	0,84–0,85	0,83–0,84	0,82–0,83	0,81–0,82

В качестве расчетных диаметров принимают диаметры по средней линии, определяемые для деталей различной формы согласно рис. 6.

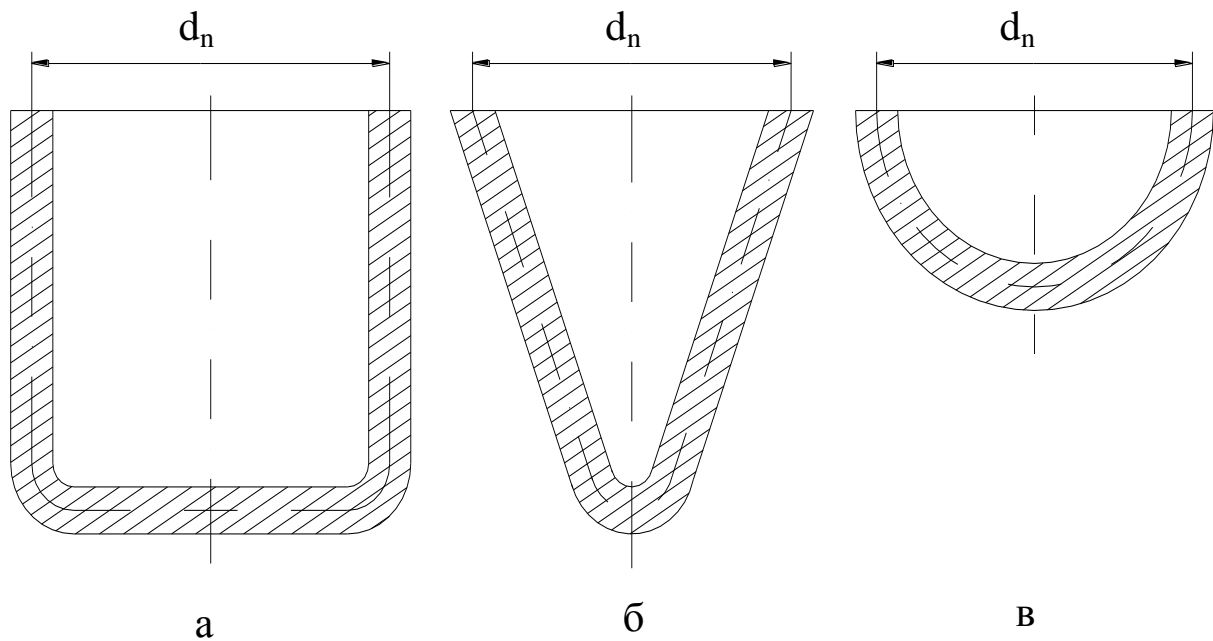


Рис. 6. Расчетные диаметры для деталей цилиндрической (а), конической (б) и сферической (в) форм

Полное усилие прессы на n -й операции вытяжки (P_n , Н) определяется по формуле

$$P_n = P_{\text{вн}} + Q_n, \quad (18)$$

где $P_{\text{вн}}$ – усилие n -й операции вытяжки, Н;

Q_n – усилие прижима n -й операции вытяжки, Н.

Усилие n -й операции вытяжки:

$$P_{\text{вн}} = \pi d_n S \sigma_s K_n, \quad (19)$$

где d_n – диаметр детали после n -й вытяжки, мм;

S – толщина материала, мм;

σ_s – временное сопротивление материала при растяжении, МПа (см. прил. I);

K_n – коэффициент, зависящий от коэффициента вытяжки и определяемый по табл. 5 (K_1 – для первой вытяжки, K_2 – для второй и последующих).

Таблица 5

Значения коэффициентов K_1 и K_2

m	0,50	0,52	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,78	0,80	0,82	0,85	0,88	0,90
K_1	1,10	1,00	0,90	0,75	0,60	0,50	0,40	-	-	-	-	-	-
K_2	-	-	-	-	-	-	1,00	0,82	0,70	0,57	0,46	0,35	0,27

Для предотвращения образования складок на детали при вытяжке применяют прижим заготовки. Однако вытяжка может осуществляться без прижима, если при первой вытяжке:

$$\delta_1 = \frac{S}{D_3} 100 > 2,$$

при последующих:

$$\delta_n = \frac{S}{d_{n-1}} 100 > 1,5.$$

Усилие прижима n -й операций вытяжки (Q_n , Н):

$$Q_n = F_n q, \quad (20)$$

где F_n – площадь заготовки под прижим на n -й операции вытяжки, мм²;

q – удельное усилие прижима, МПа. Для стали при $S < 0,5$ мм $q = 2-3$ МПа, при $S > 0,5$ мм $q = 1,5-2,5$ МПа.

Площадь заготовки под прижим на первой операции вытяжки (F_1 , мм²):

$$F_1 = \frac{\pi}{4}(D_3^2 - d_1^2). \quad (21)$$

На последующих (F_n , мм²):

$$F_n = \frac{\pi}{4}(d_{n-1}^2 - d_n^2), \quad (22)$$

где D_3 – диаметр заготовки, мм;

$d_1 \dots d_n$ – диаметры деталей после первой и n -й операции вытяжки, мм

2.6. Отбортовка

Диаметр (d , мм) пробиваемого под отбортовку отверстия (рис. 7) определяется по формуле

$$d = D_c - 2(H - 0,43r - 0,72S), \quad (23)$$

где D_c – средний диаметр борта, мм;

H – высота борта, мм;

r – внутренний радиус закругления борта, мм;

S – толщина материала, мм.

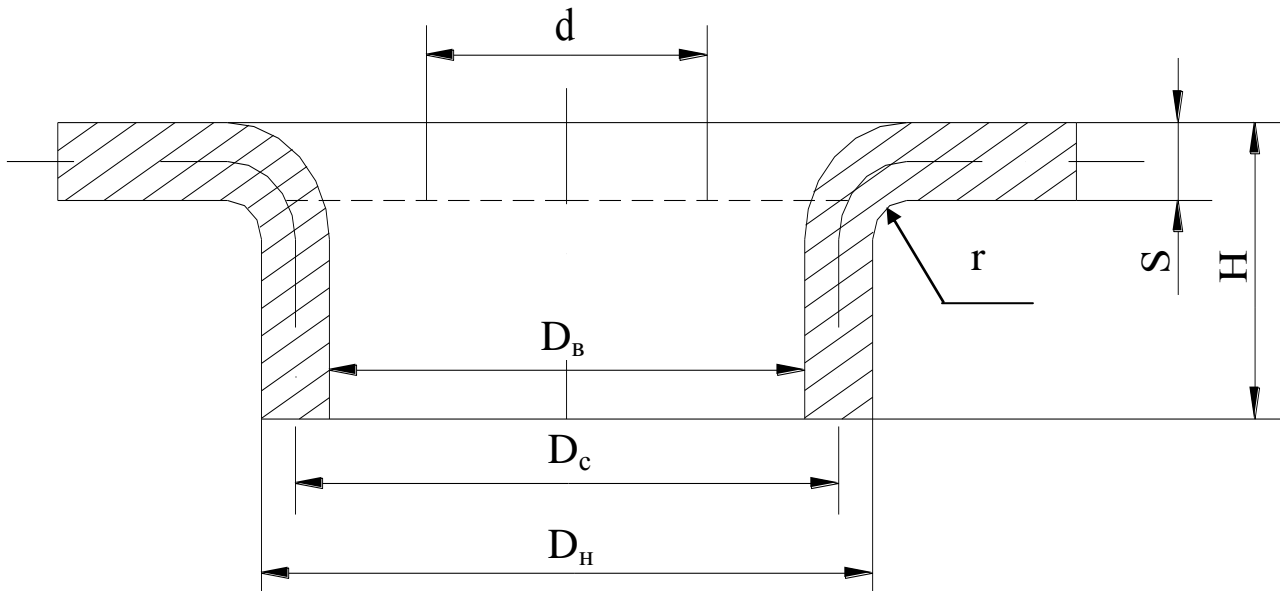


Рис. 7. Схема отбортовки

Средний диаметр борта:

$$D_c = D_B + S, \quad (24)$$

или

$$D_c = D_H - S, \quad (25)$$

где D_B – внутренний диаметр борта, мм;

D_H – наружный диаметр борта, мм.

Отбортовка производится за одну операцию, если коэффициент отбортовки (K_o), определяемый по формуле

$$K_o = \frac{d}{D_c}, \quad (26)$$

не меньше допускаемых значений, приведенных в табл. 6.

Таблица 6

Допускаемые коэффициенты отбортовки

d/S	100	50	35	20	15	10	8	6,5	5	3
K _o	0,75	0,65	0,57	0,52	0,48	0,45	0,44	0,43	0,42	0,42

В противном случае применяют многократную отбортовку до получения среднего диаметра борта, равного (или большего) заданному диаметру.

Средний диаметр борта после n -й операции отбортовки (D_{cn} , мм):

$$D_{cn} = \frac{D_{cn-1}}{K_0}, \quad (27)$$

где D_{cn-1} – средний диаметр борта после предыдущей операции отбортовки, мм;

K_0 – допускаемый коэффициент отбортовки (см. табл.6).

Усилие отбортовки (P , Н):

$$P = 1,1\pi S\sigma_s(D_c - d), \quad (28)$$

где σ_s – временное сопротивление материала при растяжении, МПа (см. прил. 1).

2.7. Обжим

Степень деформации при обжиге (рис. 8, а) характеризуется коэффициентом обжима ($K_{об}$):

$$K_{об} = \frac{d}{D}, \quad (29)$$

где d – диаметр, обжатой части детали, мм;
 D – исходный диаметр детали, мм.

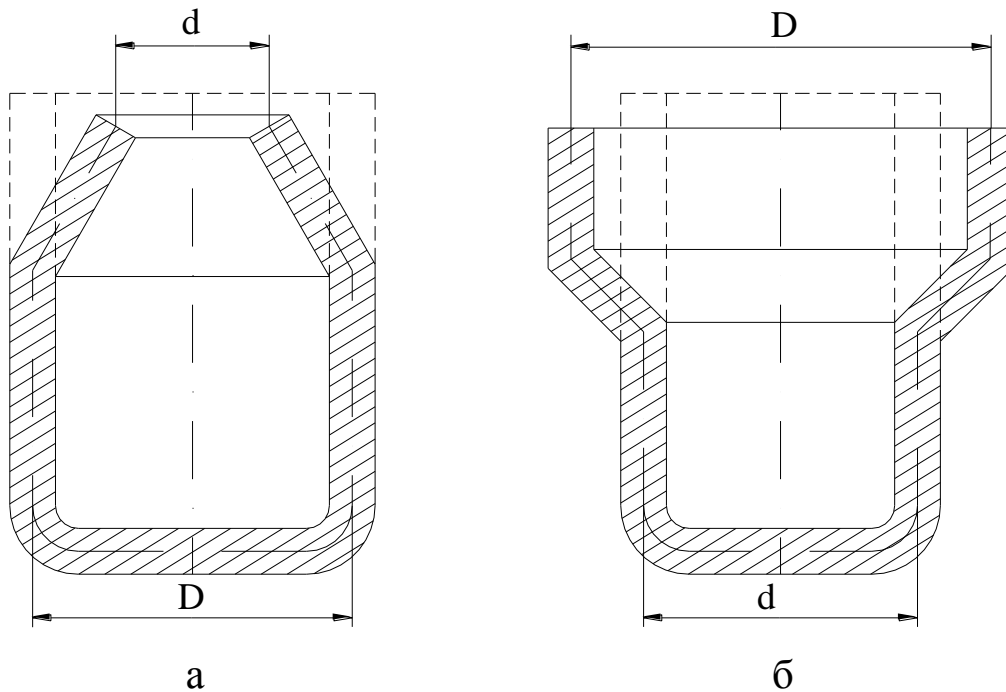


Рис. 8. Схема обжима (а) и раздачи (б)

Обжим выполняется за одну операцию, если коэффициент обжима не меньше предельно допустимого значения, равного для стальных деталей 0,70–0,75. При невыполнении этого условия обжим делается несколько раз до получения диаметра обжатой части, равного (или меньшего) заданному диаметру.

Диаметр обжатой части после n -й операции обжима (d_n , мм):

$$d_n = K_{об} d_{n-1}, \quad (30)$$

где $K_{об}$ – допускаемый коэффициент обжима, $K_{об} = 0,70–0,75$;

d_{n-1} – диаметр обжатой части детали после предыдущей операции обжима, мм.

Все расчеты ведутся по средним диаметрам.
Усилие обжима (P , Н):

$$P = \pi D S \sigma_{\sigma} K, \quad (31)$$

где D – исходный диаметр детали, мм;

S – толщина материала, мм;

σ_{σ} – временное сопротивление материала при растяжении, МПа (см. прил. 1);

K – коэффициент, зависящий от коэффициента обжима и определяемый по табл. 7.

Таблица 7

Значения коэффициента K

$K_{об}, K_p$	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
K	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1

2.8. Раздача

Степень деформации при раздаче (рис. 8, б) выражается коэффициентом раздачи (K_p):

$$K_p = \frac{d}{D}, \quad (32)$$

где d – исходный диаметр детали, мм;

D – диаметр детали после раздачи, мм.

Если коэффициент раздачи не меньше предельно допускаемого значения, равного для стальных деталей 0,7–0,8, раздача выполняется за одну операцию. В противном случае раздача делается несколько раз до получения диаметра детали после раздачи, равного (или большего) заданному диаметру.

Диаметр детали после n -й операции раздачи (D_n , мм):

$$D_n = \frac{D_{n-1}}{K_p}, \quad (33)$$

где D_{n-1} – диаметр детали, полученный на предыдущей операции раздачи, мм;

K_p – допускаемый коэффициент раздачи, $K_p = 0,7-0,8$.

Все расчеты ведутся по средним диаметрам.

Усилие раздачи (P , мм):

$$P = \pi D S \sigma_s K, \quad (34)$$

где D – диаметр детали после раздачи, мм;

S – толщина материала, мм;

σ_s – временное сопротивление материала при растяжении, МПа (см. прил. 1);

K – коэффициент, зависящий от коэффициента раздачи и определяемый по табл. 7.

2.9. Раскрой исходного материала

В качестве исходного материала используют ленту или лист, который предварительно раскраивают на полосы. Ширина полосы или ленты определяется в зависимости от способа раскладки деталей на полосе (ленте).

Ширина полосы или ленты (B , мм) при однорядной раскладке (рис. 9, а):

$$B = D + 2b. \quad (35)$$

При многорядной параллельной раскладке (рис. 9, б):

$$B = nD + (n - 1)a + 2b. \quad (36)$$

При многорядной шахматной раскладке (рис. 9, в):

$$B = D + 2b + 0,866(n - 1)(D + a), \quad (37)$$

где D – размер детали поперек полосы, мм;

n – число рядов деталей по ширине полосы;

a – величина перемычки между вырубаемыми деталями, мм;

b – величина перемычки между краем листа и деталью, мм.

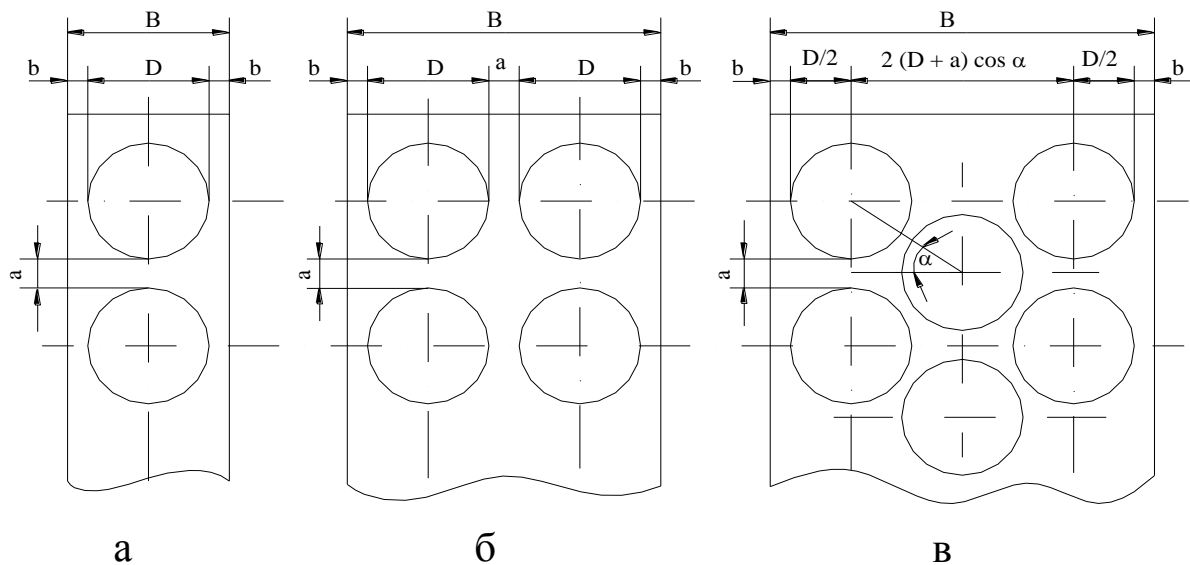


Рис. 9. Схемы расположения деталей на полосе (ленте) при однорядной (а), многорядной параллельной (б), многорядной шахматной (в) раскладке

Минимальные величины перемычек для небольших деталей простой формы приведены в табл. 8.

Таблица 8

Минимальные величины перемычек

Толщина материала	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10
a	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
b	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

Способ раскроя листа на полосы и раскладки деталей на полосе или ленте выбирают из условия получения максимального коэффициента использования материала (K_u , %), который определяется по формуле

$$K_u = \frac{fN}{F} 100, \quad (38)$$

где f – площадь детали, включая отверстия, мм^2 ;

N – общее число деталей, получаемых из листа или ленты, шт.;

F – площадь листа (ленты), мм^2 .

Размеры листов и лент определяются по ГОСТам.

Число деталей (N , шт.) получаемых из полосы или ленты (оно должно быть целым) при однорядной раскладке:

$$N = \frac{(L - b)}{D + a}, \quad (39)$$

где L – длина полосы (ленты), мм.

При многорядной параллельной раскладке:

$$N = \frac{(L - b)n}{D + a}. \quad (40)$$

При многорядной шахматной раскладке:

$$N = \frac{(L - b - 0,5D)n}{D + a}. \quad (41)$$

2.10. Выбор оборудования

При выборе листоштамповочного пресса нужно учитывать следующее:

- тип пресса и величина хода ползуна должны соответствовать технологической операции;
- номинальное усилие пресса должно быть больше усилия, требуемого для штамповки;

- закрытая высота пресса должна соответствовать или быть больше закрытой высоты штампа;
- габаритные размеры стола и ползуна пресса должны давать возможность установки и закрепления штампов и подачу заготовок, а отверстие в столе пресса – позволять свободное проваливание штампуемых деталей (при штамповке «на провал»);
- число ходов пресса должно обеспечивать необходимую производительность штамповки;
- в зависимости от рода работы должно быть предусмотрено наличие специальных устройств и приспособлений (буфера, выталкиватели, механизмы подачи и т. п.).

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Выполнить эскиз листоштампованной детали с указанием размеров и марки материала согласно варианту задания, выданному по прил. 3.
2. Определить состав и последовательность технологических операций для получения заданной детали.
3. Рассчитать размеры заготовки.
4. Рассчитать усилие каждой операции.
5. Определить способ раскроя листа на полосы и раскладки деталей на полосе (ленте), рассчитать коэффициент использования материала.
6. По каталогам и другим справочным материалам выбрать оборудование для выполнения каждой операции.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

1. Наименование и цель лабораторной работы.
2. Эскиз заданной детали.
3. Перечень технологических операций, необходимых для получения детали.
4. Необходимые расчеты для каждой операции.

5. Схемы раскроя листа на полосы и расположения деталей на полосе (ленте) с расчетом коэффициента использования материала.

6. Тип выбранного для каждой операции оборудования с указанием основных параметров.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение листовой штамповки.
2. Какие операции листовой штамповки называются формоизменяющими?
3. Дайте определение отрезки, вырубки, пробивки, обрезки.
4. Какие операции листовой штамповки называются разделительными?
5. Дайте определение гибки, вытяжки, отбортовки, обжима, раздачи.

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология конструкционных материалов / под ред. А. М. Дальского. – Москва: Машиностроение, 2004. – 512 с.
2. Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – Ленинград: Машиностроение, 1979. – 520 с.
3. Семенов, Е. И. Ковка и штамповка: Справочник. Т. 4 / под ред. А. Д. Матвеева. – Москва: Машиностроение, 1987. – 544 с.
4. ГОСТ 18970–84. Обработка металлов давлением. Операции ковки и штамповки. Термины и определения. – Москва: Изд-во стандартов, 1986. – 35 с.
5. ГОСТ 19904–90. Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент. – Москва: Изд-во стандартов, 1990. – 6 с.
6. ГОСТ 2284–79. Лента холоднокатаная из углеродистой конструкционной стали. Технические условия. – Москва: Изд-во стандартов, 1990. – 10 с.

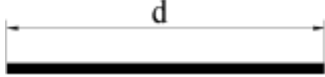
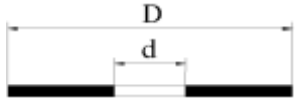
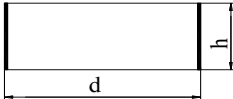
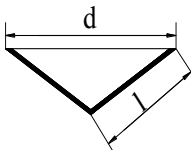
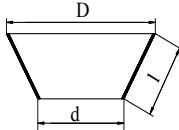
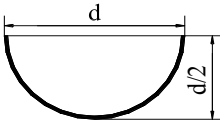

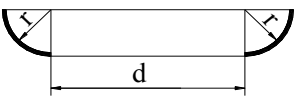
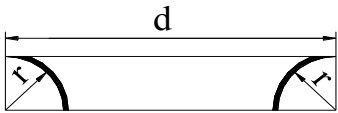
Приложение 1

Предел прочности при срезе $\sigma_{\text{ср}}$ и временное сопротивление
при растяжении $\sigma_{\text{в}}$ некоторых сталей, МПа

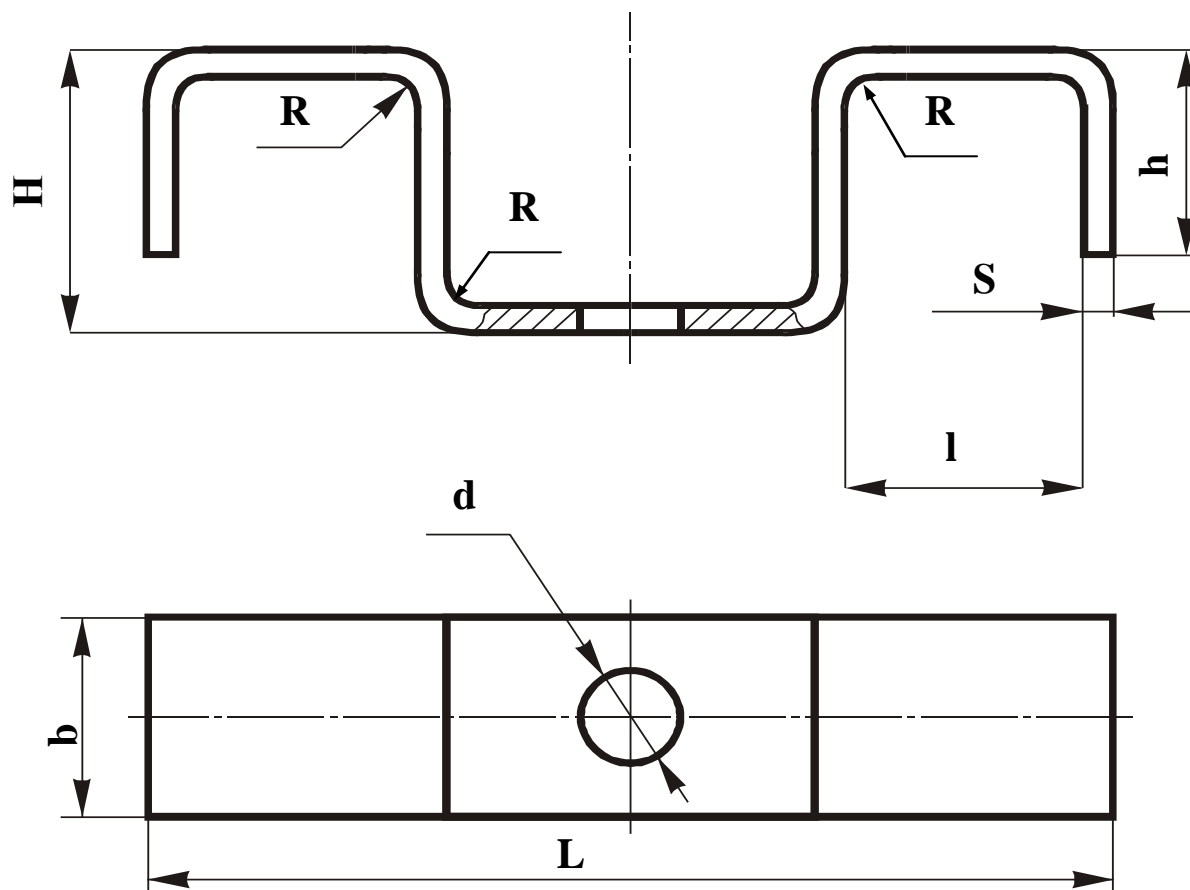
Наименование стали	Марка стали	$\sigma_{\text{ср}}$	$\sigma_{\text{в}}$
Сталь углеродистая обыкновенного качества (ГОСТ 380–2005)	Ст I	280–340	320–400
	Ст 2	290–360	340–420
	Ст 3	330–400	380–470
	Ст 4	360–450	420–520
	Ст 5	430–530	500–620
	Ст 6	520–620	600–720
Сталь, углеродистая качественная конструкционная (ГОСТ 1050–88)	08	280	330
	10	290	340
	15	320	380
	20	360	420
	25	390	460
	30	430	500
	35	460	540
	40	490	580
	45	520	610
Сталь легированная конструкционная (ГОСТ 4543–71)	40X	600	700
	50Г	630	740
	10Г2	490	580
	18ХГ	440	520
	20ХГСА	570	670
	25ХГСА	600	700
	30 ХГСА	530	740
Сталь высоколегированная коррозионностойкая и жаростойкая (ГОСТ 5632–72)	12X13	340	400
	40X13	480	560
	12X17	430	500
	15X25T	460	540
	08X18H9	460	540
	12XI8H10T	460	540
	08XI8HI2Б	460	540
	20X25H20C2	470	550
	20X13H4Г9	560	650

Приложение 2

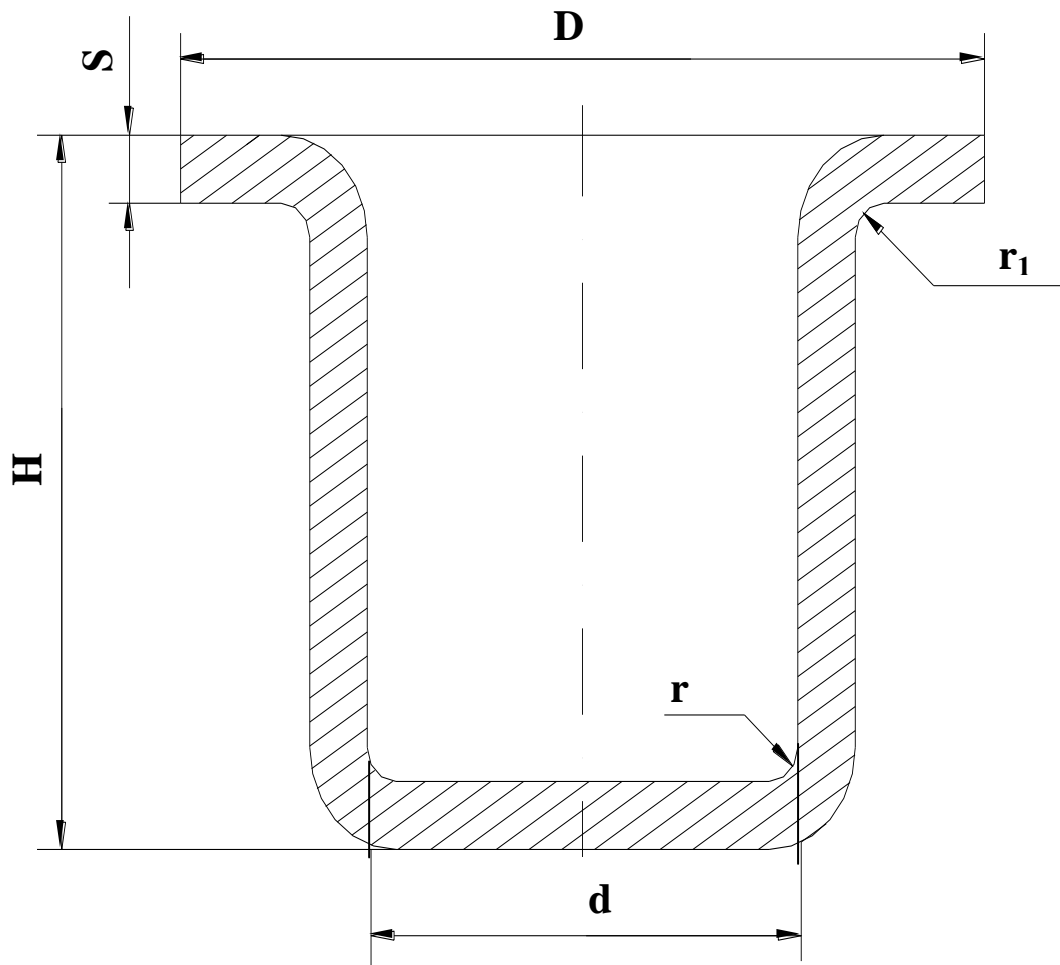
Площади поверхности некоторых простых геометрических форм

Форма поверхности	Эскиз	Площадь поверхности
Круг		$\frac{\pi d^2}{4}$
Кольцо		$\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$
Цилиндр		$\pi d h$
Конус		$\frac{\pi d l}{2}$
Усеченный конус		$\frac{\pi l}{2}(D + d)$
Полушарие		$\frac{\pi d^2}{2}$
Шаровой сегмент		$\pi d h$
Четверть тора (выпуклая)		$\frac{\pi}{4}(2\pi d r + 8r^2)$
Четверть тора (вогнутая)		$\frac{\pi}{4}(2\pi d r - 8r^2)$

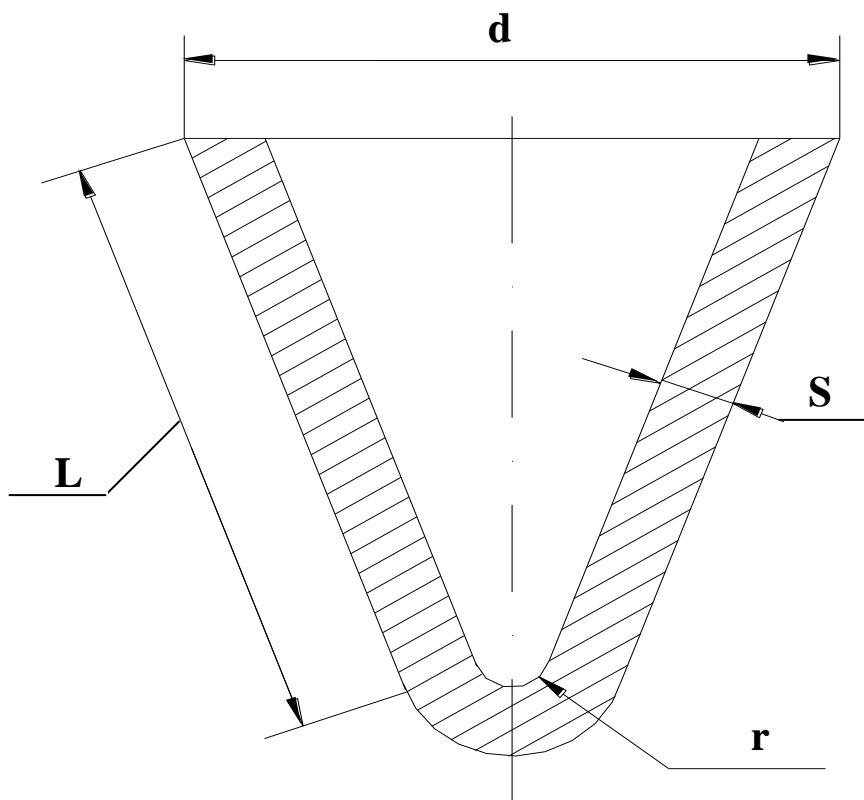
Задания к лабораторной работе



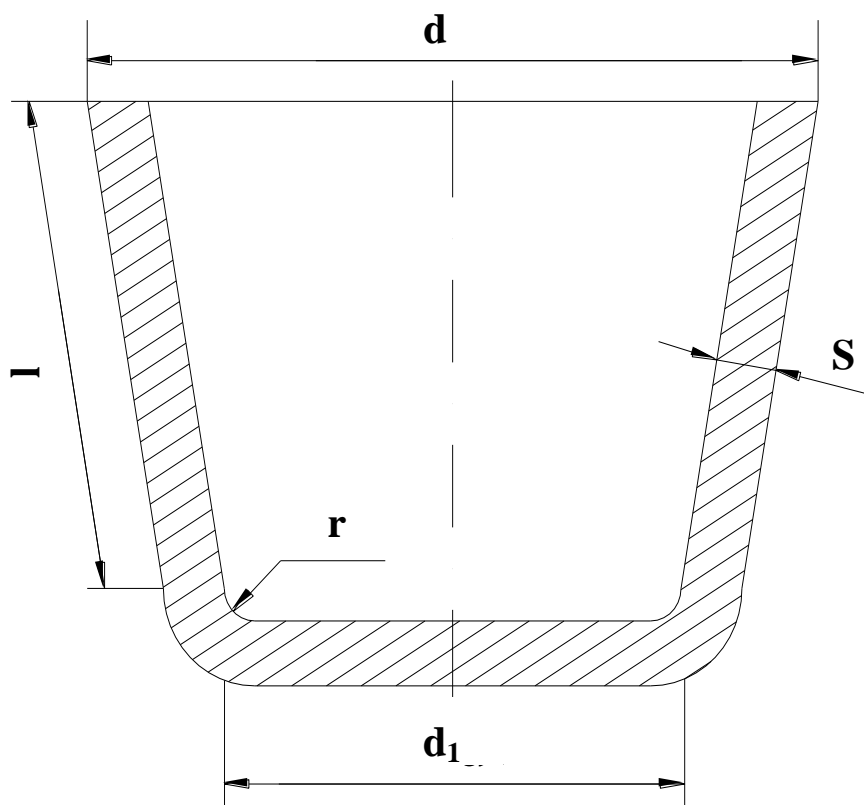
№ варианта	L	l	H	h	d	S	b	R	Марка стали
1	150	50	30	15	15	2	40	5	35
2	200	50	25	10	20	1	50	5	25
3	200	60	30	10	20	3	60	6	Ст 3
4	160	40	35	15	10	2,5	40	7	20
5	120	40	30	10	10	1,5	30	6	40



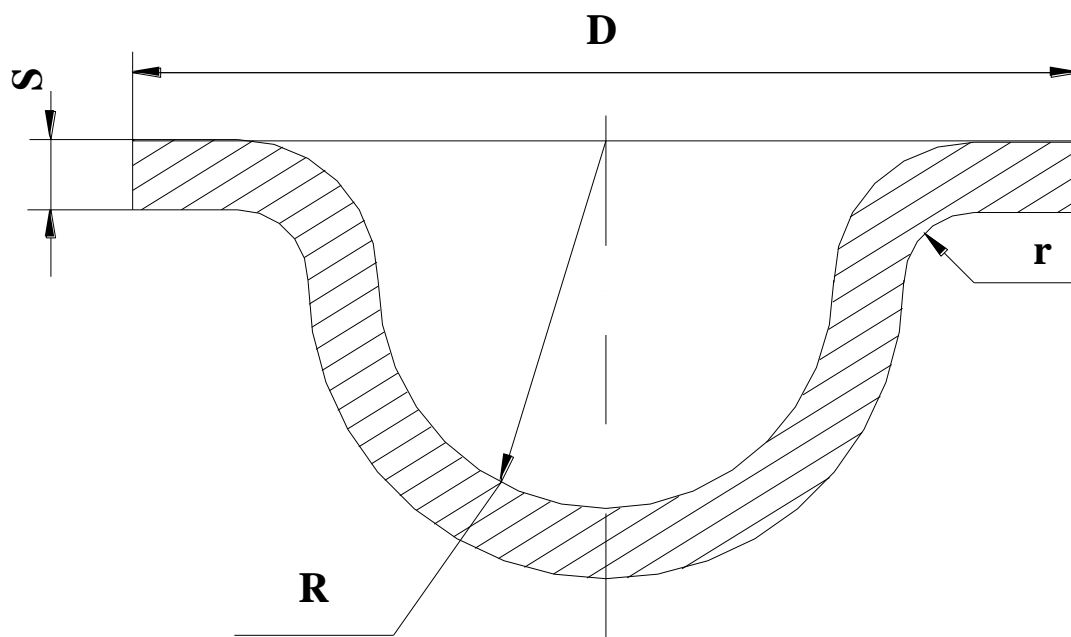
№ варианта	D	d	H	r	r_1	S	Марка стали
6	100	40	60	3	8	1	25
7	90	60	30	5	12	2	15
8	70	50	60	4	9	1	20
9	150	80	100	3	8	1,2	08
10	55	50	120	5	-	2,5	10



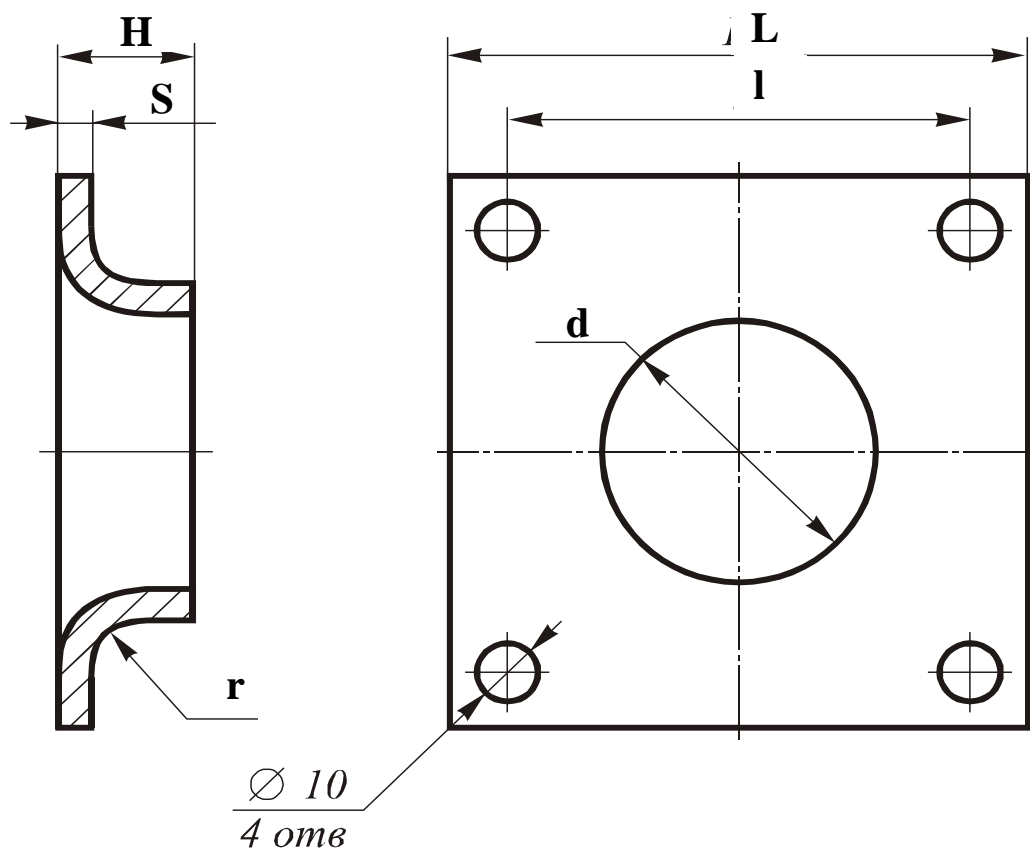
№ варианта	<i>L</i>	<i>d</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	Марка стали
11	100	100	3	10	10
12	80	60	1,2	6	20X13H4Г9
13	60	100	2	8	15
14	90	120	1,5	8	08
15	110	120	1	5	20X25H20C2



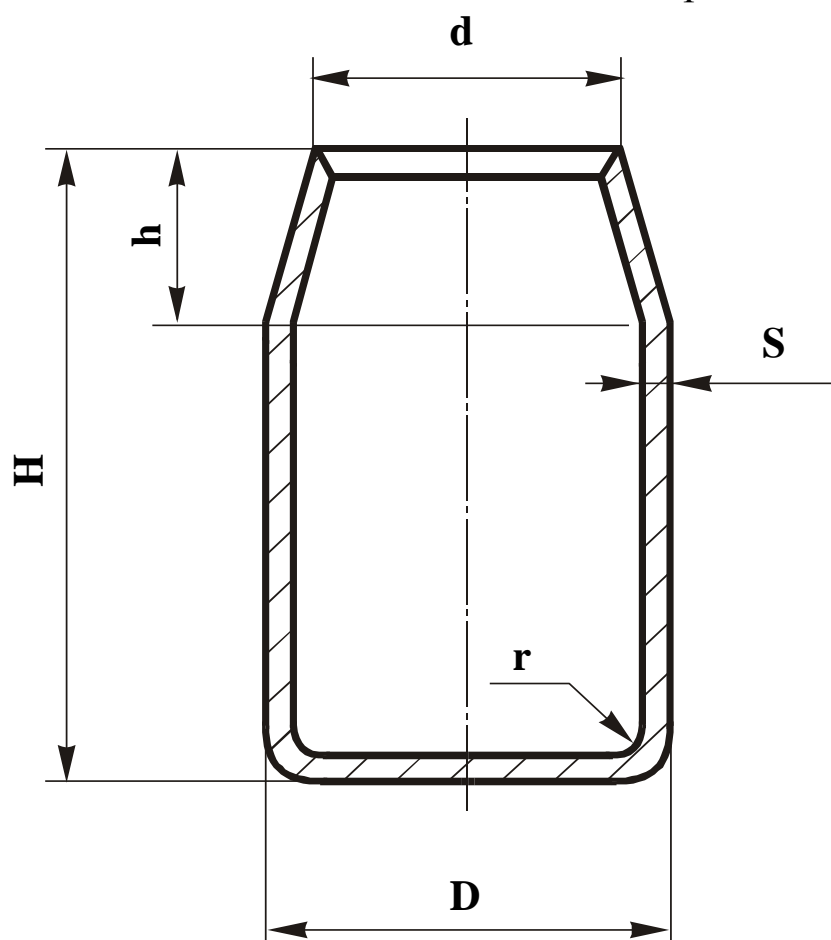
№ варианта	d	d_1	l	r	S	Марка стали
16	60	40	80	3	0,8	08
17	70	60	40	6	2	Ст 2
18	80	65	80	5	1,5	08
19	90	60	60	7	2	10
20	100	85	75	5	1,2	15



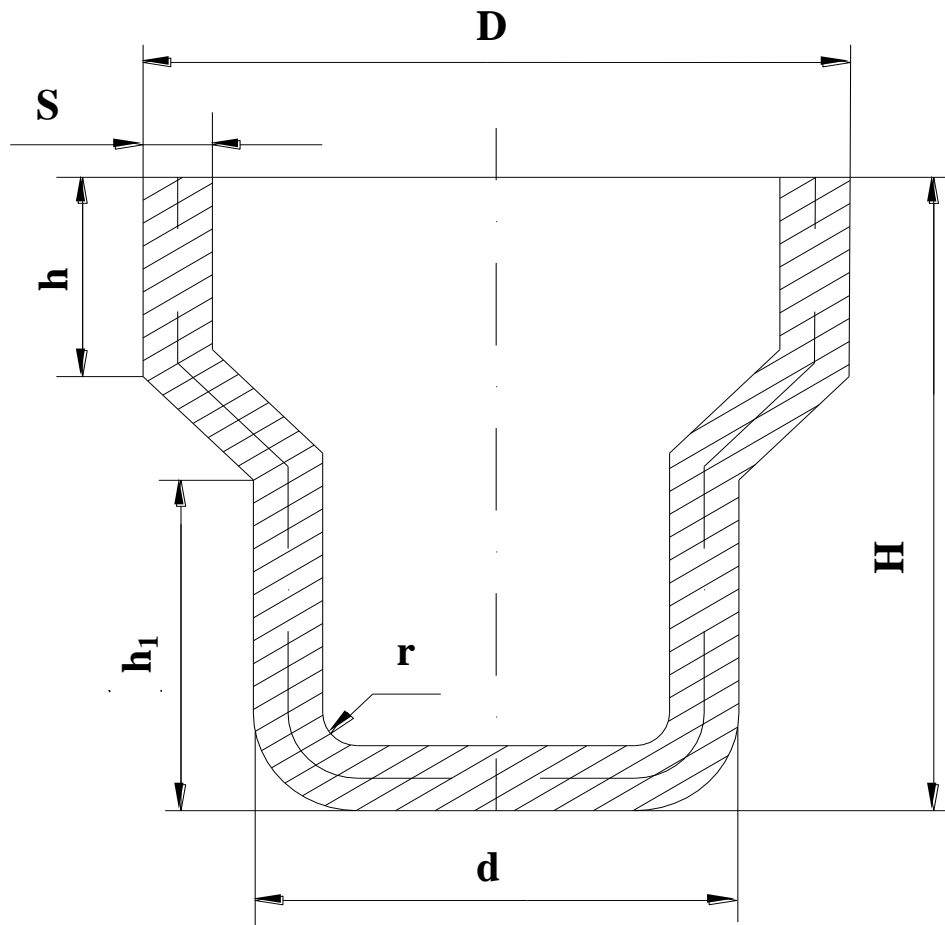
№ варианта	<i>D</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	<i>S</i>	Марка стали
21	150	50	9	1,5	10
22	150	60	10	2	12X13
23	140	60	8	1,2	15
24	120	45	9	2	08X18H12Б
25	130	45	12	2,5	Ст 3



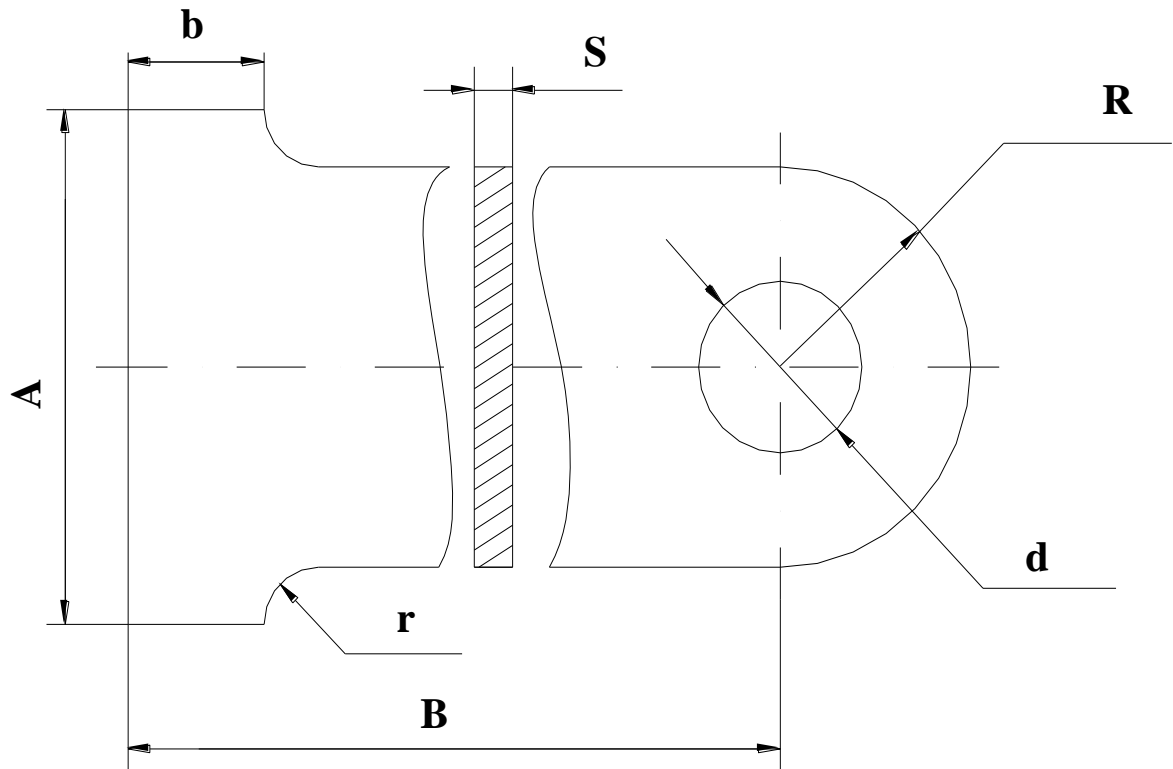
№ варианта	L	l	H	d	r	S	Марка стали
26	90	60	12	40	9	1,5	25
27	110	70	14	50	12	2	20
28	150	120	15	90	10	1,5	Ст 3
29	130	100	10	60	12	3	12X18H10T
30	140	110	12	80	16	4	10



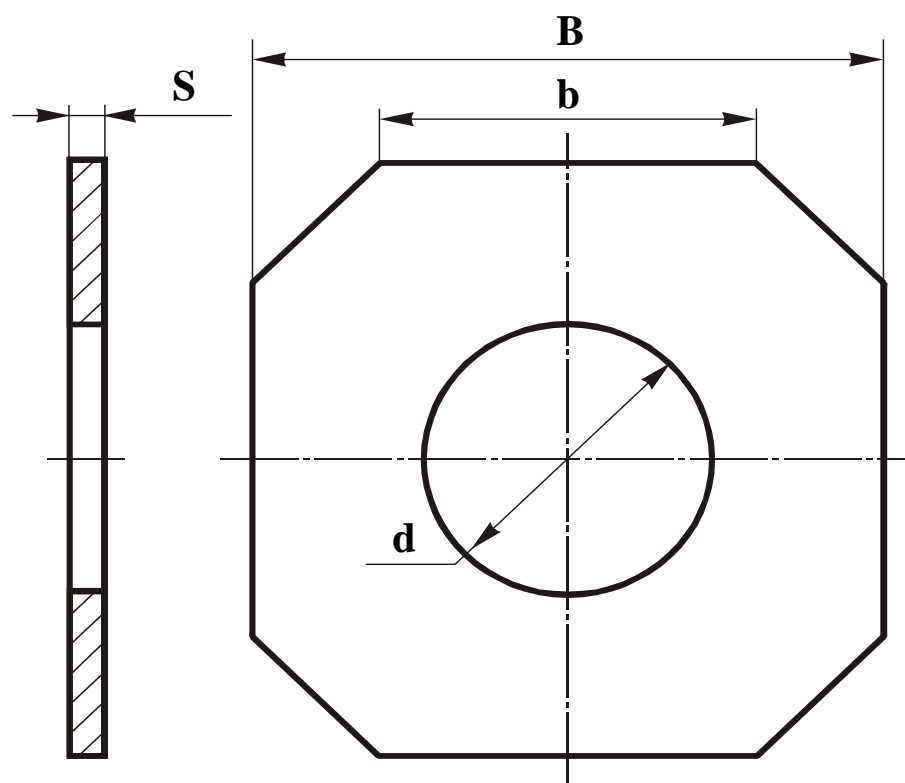
№ варианта	D	d	H	h	r	S	Марка стали
31	60	45	100	30	5	2	40X
32	100	70	120	40	8	3	50Г
33	70	60	100	20	4	1,5	10Г2
34	80	60	120	30	3	1	18ХГ
35	90	75	130	50	5	2,5	30ХГСА



№ варианта	D	d	H	h	h_1	S	r	Марка стали
36	100	90	115	25	35	2	5	40X
37	120	80	120	30	30	1,5	4	15
38	110	85	100	35	40	1,2	6	18ХГ
39	120	90	150	30	60	2	5	10
40	105	65	120	20	60	3	3	30ХГСА



№ варианта	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>S</i>	Марка стали
41	60	70	20	20	5	20	4	20ХГСА
42	80	70	20	25	10	30	3	40Х
43	90	80	25	30	5	30	4	25
44	40	80	20	15	3	5	1,5	30ХГСА
45	65	80	25	20	6	15	2	08Х18Н9



№ варианта	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>S</i>	Марка стали
46	60	30	20	5	08X18H9
47	80	30	25	4	30ХГСА
48	90	40	30	3	40Х
49	85	40	35	4	25
50	95	45	0	2,5	20ХГСА

Лабораторная работа №7 «ВЫБОР СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ»

Составители: Дубинкин Д. М., Петренко К. П.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение конструкций и принципов выбора средств технологического оснащения для листовой штамповки.

В связи с этим в работе ставятся следующие задачи:

- изучение принципов выбора оборудования и инструмента для листовой штамповки;
- изучение конструкции и принципа работы кривошипного прессы;
- изучение конструкции штампов для листовой штамповки;
- настройка кривошипного прессы и получение листоштампованной заготовки;
- контроль качества полученной заготовки.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для холодной штамповки используются различные типы листоштамповочных прессов (рис. 1).

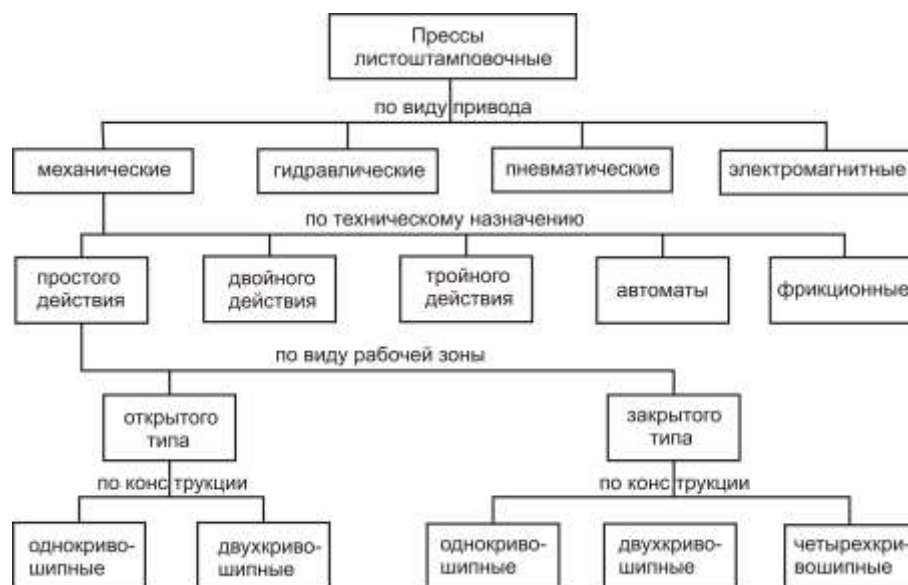


Рис. 1. Классификация листоштамповочных прессов

Наибольшее распространение получили кривошипные прессы ввиду сравнительной простоты конструкции, возможности достижения больших усилий (до 3000 тс и более) и применения для выполнения различных операций.

Кривошипные прессы открытого типа имеют рабочую зону, открытую с трех сторон, закрытого – с одной стороны. Прессы простого действия имеют один движущийся ползун и применяются для выполнения операций холодной штамповки.

Прессы двойного действия имеют два независимо движущихся ползуна и применяются для глубокой вытяжки листового материала (рис. 2). Рабочее усилие создается внутренним ползуном 1. Наружный ползун 2 начинает движение вниз первым и, достигнув крайнего нижнего положения, останавливается, зажимая края заготовки прижимом-складкодержателем 3. Затем опускается внутренний ползун 1 с пуансоном 4, выполняет вытяжку изделия 5 в матрице 6 и первым начинает подниматься вверх. В течение всего процесса вытяжки наружный ползун остается неподвижным, обеспечивая съем детали с пуансона при обратном ходе внутреннего ползуна.

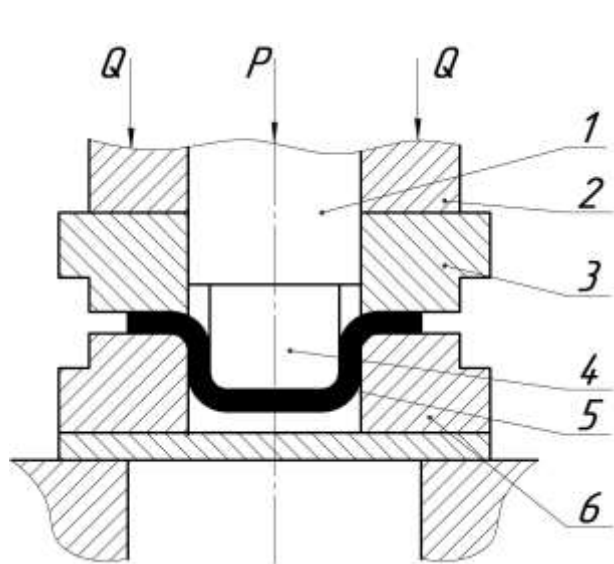


Рис. 2. Схема прессы двойного действия

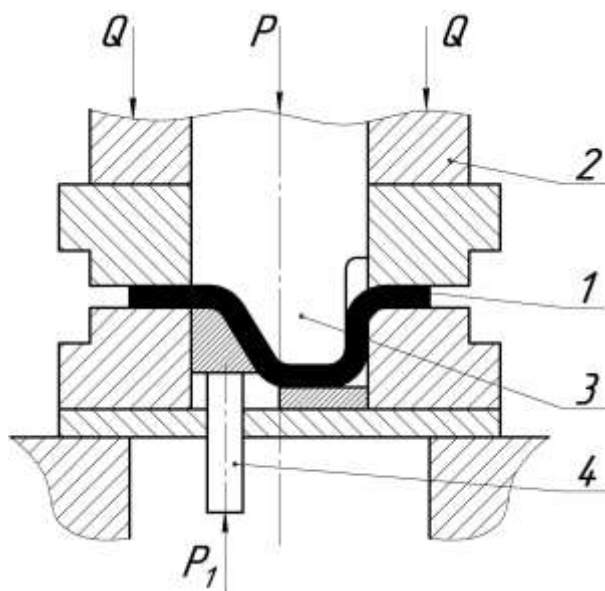


Рис. 3. Схема прессы тройного действия

У прессов тройного действия, например, для глубокой вытяжки деталей типа автомобильных кузовов, имеются два верхних и один нижний ползун, производящий вытяжку в обратном направлении (рис. 3). В данном случае производится зажим заго-

товки 1 верхним наружным ползуном 2 с усилием Q , затем – вытяжка верхним внутренним ползуном 3 с усилием P , далее производится вытяжка нижним ползуном 4 с усилием P_1 . В итоге получается деталь достаточно сложной формы.

Прессы могут быть одно-, двух- и четырехкривошипными. Четырехточечная подвеска ползуна устраняет его перекосы при внецентренной нагрузке, что, в свою очередь, позволяет штамповать асимметричные детали.

Гидравлические прессы применяются, как правило, для штамповки заготовок из толстолистого материала и крупных деталей. Они обладают наилучшей характеристикой для выполнения глубокой вытяжки, так как осуществляют деформирование металла с постоянной скоростью. Кроме того, для гидравлических прессов не опасна перегрузка, недопустимая для кривошипных прессов. Для холодной штамповки и глубокой вытяжки листового металла применяют гидравлические прессы усилием до 100000 кН (10000 тс).

Фрикционные прессы применяют для штамповки тонколистового металла, электромагнитные – для штамповки с малыми усилиями.

При выборе листоштамповочного пресса руководствуются следующими соображениями:

- тип пресса и величина хода ползуна должны соответствовать технологической операции;
- номинальное усилие пресса должно быть больше усилия, требуемого для штамповки;
- мощность пресса должна быть достаточной для выполнения работы, необходимой для данной операции;
- закрытая высота пресса должна соответствовать или быть больше закрытой высоты штампа;
- габаритные размеры стола и ползуна пресса должны давать возможность установки и закрепления штампов и подачи заготовок, а отверстие в столе пресса – позволять свободное проваливание штампуемых деталей (при штамповке «на провал»);
- число ходов пресса должно обеспечивать необходимую производительность штамповки;
- в зависимости от рода работы должно быть предусмотрено наличие специальных устройств и приспособлений (буфера, вы-

талкиватели, механизмы подачи и т. п.).

Таким образом, основными параметрами для выбора пресса являются усилие, величина хода, закрытая высота и размеры стола пресса.

Усилие определяют по формулам, приведенным в методических указаниях [1]. Обычно расчетное усилие не соответствует номинальному усилию пресса, поэтому пресс берут заведомо большего усилия, чем требуется по расчету. Применение более сильного пресса обеспечивает большую стойкость штампов и предохраняет их от поломки при случайном попадании более толстой заготовки.

2. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ И МАТЕРИАЛЫ

- кривошипный открытый пресс простого действия К2118Б;
- штампы для вырубки, пробивки, гибки и вытяжки;
- листовые металлические заготовки;
- измерительный инструмент для контроля геометрических параметров листоштампованной заготовки.

2.1. Устройство и принцип работы кривошипного открытого пресса простого действия К2118Б

Однокривошипный открытый ненаклоняемый пресс К2118Б (см. рис. 4) усилием 63 кН (6,3 тс) предназначен для вырубки, гибки, неглубокой вытяжки и других холодноштамповочных операций. В состав пресса входят: станина, ползун, муфта, привод, тормоз, органы управления. Пресс устанавливается на тумбе коробчатой формы.

От электродвигателя 1 через шкив 2, установленный на его валу, крутящий момент передается маховику 3. Для передачи вращения используется клиноременная передача 4. Маховик установлен на правой шейке коленчатого вала 5. Соединение маховика с коленчатым валом осуществляется с помощью муфты с поворотной шпонкой 6. На шатунной шейке установлена эксцентриковая втулка 7, служащая для регулировки хода ползуна пресса. Ее стопорение производится с помощью разрезной гайки 8. На эксцентриковую втулку надет шатун 9, служащий для преобразования

вращательного движения коленчатого вала в поступательное движение ползуна *10*. Винт *11* используется для регулировки величины штампового пространства. Ленточный тормоз *12* необходим для гашения инерции вращающихся деталей при выключении муфты и остановке ползуна в верхнем положении.

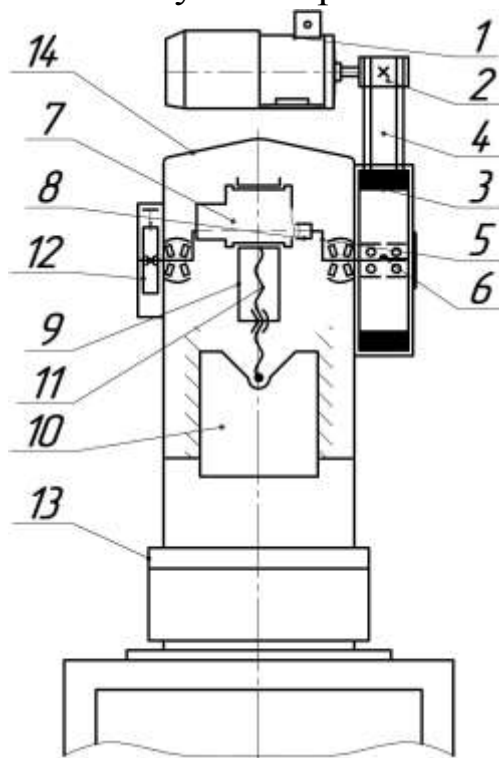


Рис. 4. Кинематическая схема пресса К2118Б

Крепление деформирующего инструмента – штампа – производится к ползуну *10* (верхняя часть) и к подштамповой плите *13* (нижняя часть).

Все указанные элементы пресса крепятся на чугунной станине *14*. На правой стенке станины установлен автомат выключения, предназначенный для настройки пресса на режим одиночных и автоматических ходов; управление автоматом выключения осуществляется электромагнитом.

Величина усилия, создаваемого кривошипным прессом, переменна на протяжении хода пресса, достигая наибольшего (номинального) значения в конце рабочего хода. За один оборот коленчатого вала ползун совершает одно возвратно-поступательное движение (движение вниз – рабочий ход, вверх – холостой ход). Для вывода ползуна из положения верхней и нижней «мертвых точек» служит массивный маховик, обладающий значительной инерцией.

Для проектирования и установки штампов весьма важной ха-

рактической характеристикой является закрытая высота пресса. Закрытой высотой прессы называется расстояние от штамповой плиты до ползуна при наибольшей величине хода и наименьшей длине шатуна.

Регулировка закрытой высоты пресса производится за счет укорочения или удлинения шатуна, осуществляемого ввинчиванием или вывинчиванием резьбового стержня 11, соединяющего головку шатуна с ползуном.

Основные характеристики кривошипного пресса К2118Б приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики пресса

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное усилие, кН (тс)	63 (6,3)
Ход ползуна, мм: наибольший наименьший	45 5
Число ходов ползуна в минуту	150; 200; 250
Размеры стола, мм	300×200
Закрытая высота перса, мм: наибольшая наименьшая	190 170
Наибольшая толщина вырубki листа ($\sigma_B=50$ кгс/мм ²) при одиночных ходах, мм	1,6
Масса маховика, кг	52
Масса пресса, кг	570
Габаритные размеры пресса, мм	590×915×795

Рядом с прессом установлен шкаф с электрооборудованием, на котором находится панель режимных переключателей и плафонов световой сигнализации режимов работы. Внешний вид панели и обозначения переключателей, плафонов и символов приведены на рис. 5: 1 – плафон «автоматическая работа»; 2 – плафон «одиночный ход»; 3 – пакетный переключатель режимов «автоматическая работа» и «одиночный ход»; 4 – плафон «двухрукое включение»; 5 – плафон «ножное управление»; 6 – пакетный переключатель режимов «кнопки» и «педаль»; 7 – плафон «цепь управления под напряжением»; 8 – пакетный переключатель цепи управления.

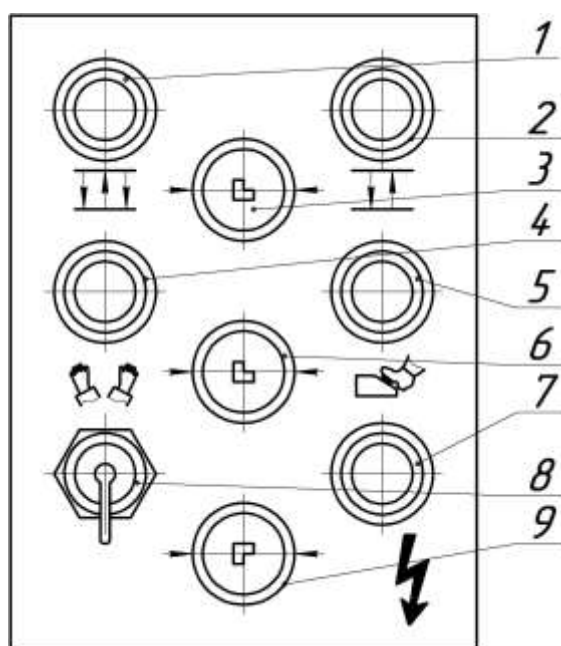


Рис. 5. Внешний вид панели режимных переключателей и плафонов световой индикации

Пульт управления расположен на передней панели стола прессы. Расположение кнопок и символов указано на рис. 6. Цифрами обозначены: 1 и 2 – кнопки черного цвета двурукое включения; 3 и 4 – таблички с символами «двурукое включение»; 5 – табличка с символом «пуск электродвигателя»; 6 – кнопка черного цвета «пуск электродвигателя»; 7 – кнопка красного цвета «общий стоп»; 8 – табличка с символом «общий стоп»; 9 – табличка с символом «стоп автоматической работы»; 10 – кнопка красного цвета «стоп автоматической работы».

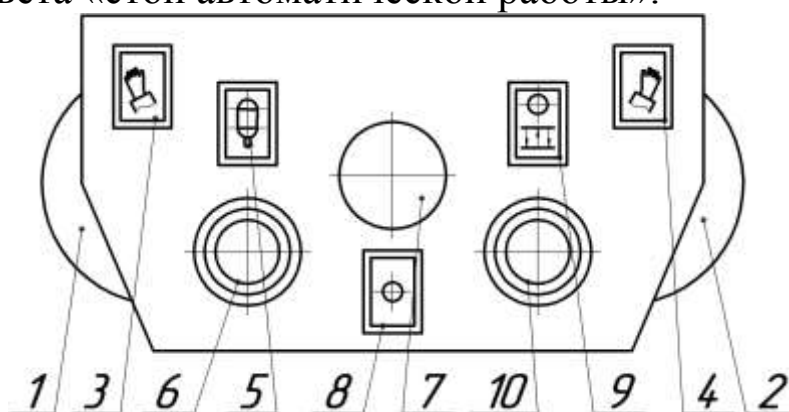


Рис. 6. Пульт управления

Электрическая схема прессы предусматривает возможность работы на одиночных ходах при управлении кнопками или деталью и автоматическую работу с управлением кнопками.

2.2. Штампы для листовой штамповки

Штамп – приспособление, посредством которого заготовка приобретает форму и размеры, соответствующие поверхности или контуру рабочих элементов штампа. Штампы классифицируют по технологическому, конструктивному и эксплуатационному признакам [2].

По технологическому признаку выделяют:

- штампы простого действия, выполняющие одну или несколько одноименных технологических операций на одной позиции за один ход подвижной части штампа;
- штампы совмещенного действия, выполняющие разноименные технологические операции на одной позиции за один ход подвижной части штампа;
- штампы последовательного действия, выполняющие несколько технологических операций на нескольких позициях за соответствующее число ходов подвижной части штампа.

Штампы простого действия применяют для изготовления изделий небольшими партиями.

По конструктивному признаку различают штампы без направляющих узлов и с направляющими узлами. При этом под направляющим узлом штампа понимают узел штампа для совмещения частей штампа при их перемещении относительно друг друга.

Штампы без направляющих узлов более просты в изготовлении и имеют малую массу и габаритные размеры, но неудобны при установке, небезопасны в эксплуатации и обладают невысокой стойкостью. Они применяются только для изготовления деталей в небольших количествах.

Штампы с направляющими узлами просты и надежны в эксплуатации, удобны при установке, обладают повышенной стойкостью, но более сложны в изготовлении.

По эксплуатационному признаку штампы различаются по способу подачи и установки заготовок, которые могут быть ручными и автоматическими, и по способу удаления деталей:

- с провалом через отверстие в матрице;
- с обратной вставкой в ленту и удалением вместе с ней;
- с обратным выталкиванием на поверхность штампа руч-

ным или автоматическим удалением.

На рис. 7 представлена операционный эскиз и схема раскроя, а на рис. 8 штамп последовательного действия для пробивки отверстия и отрезки детали.

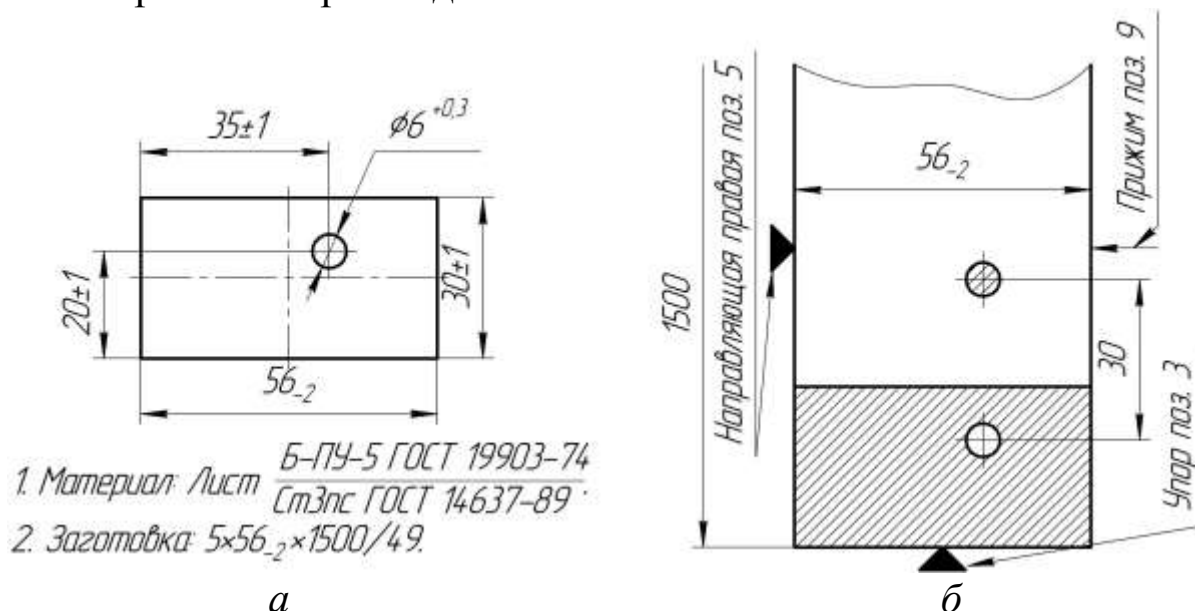


Рис. 7. Операционный эскиз (а) и схема раскроя (б)

Штамп (см. рис. 8) состоит из следующих основных элементов: 1 – нижняя плита; 2 – матрица; 3 – упор; 4 – направляющая левая; 5 – направляющая правая; 6 – съемник; 7 – планка опорная; 8 – штифт матрицы; 9 – прижим; 10 – винт специальный; 11 – пружина сжатия; 12 – съемник; 13 – пуансон пробивной; 14 – пуансон отрезной; 15 – пуансонодержатель; 16 – плита подкладная; 17 – ловитель; 18 – верхняя плита; 19 – штифт пуансонодержателя; 20 – щиток; 21 – планка предохранительная; 24÷27 – болт; 28 – винт; 29 – втулка направляющая гладкая; 30 – колонка направляющая ступенчатая; 31 – штырь транспортировочный; 32 – хвостовик.

Направляющая колонка в комплекте с направляющей втулкой называется направляющим узлом штампа. Узел штампа, содержащий верхнюю и нижнюю плиты и направляющий узел, называется блоком штампа. Узел для фиксации и крепления рабочих элементов называется пакетом. В данном случае совокупность элементов 15 и 16 служит для крепления пуансонов 13, 14 и является пакетом штампа. Пуансон 13 и 14, а также матрица 2 являются рабочими элементами штампа, непосредственно участвующими в пластическом деформировании заготовки. Плита подкладная 16 служит для предохранения верхней плиты от деформации.

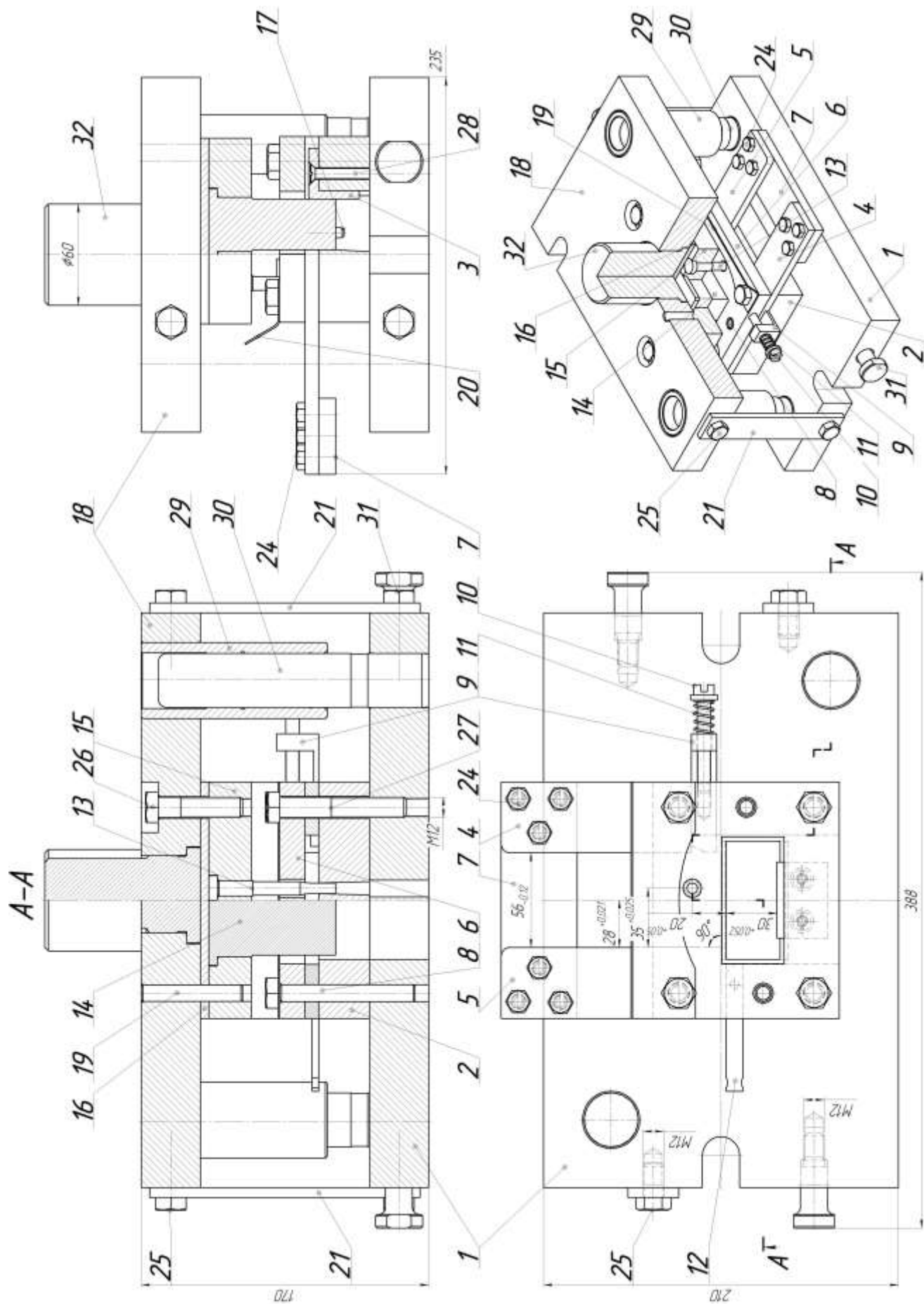


Рис. 8. Штмп последовательный для пробивки отверстия и отрезки детали

Помимо названных элементов используемых в различных конструкциях штампов применяют планки для направления заготовок, фиксаторы для центрирования заготовок, съемники для съема заготовок или отходов с пуансонов, ограничители для ограничения хода подвижной части штампа и другие.

Подвижная часть штампа, состоящая из верхней плиты, направляющих втулок, пуансона и хвостовика, крепится к ползуну пресса. Неподвижная часть, включающая нижнюю плиту, направляющие колонки и матрицу, устанавливается и крепится к подштамповой плите.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Работа выполняется в следующем порядке:

1. Изучение конструкции и принципа работы кривошипного пресса.

2. Изучение конструкции штампов простого действия для гибки, вырубки и пробивки.

3. Изучение положений техники безопасности при работе на прессе (см. раздел 4).

4. Выполнение расчета исходных заготовок и усилий пресса по формулам, представленным в методических указаниях [1]. Расчет выполняется для конкретных конструкций деталей и штампов.

5. Выполнение наладки пресса:

- установить требуемую величину хода ползуна;
- спустить ползун пресса в крайнее нижнее положение;
- убедиться, что в штамповое пространство может вестись штамп с учетом заготовки штампуемого изделия;
- установить штамп на стол так, чтобы хвостовик штампа вошел в отверстие ползуна;
- вращением регулировочного винта отрегулировать глубину опускания пуансона в матрицу, при этом обеспечить проталкивание изделий через матрицу в вырубных штампах или нормальную величину вертикального зазора в других типах штампов;
- закрепить верхнюю половину штампа и проверить прилегание ее к ползуну;
- отрегулировать зазор между матрицей и пуансоном по пе-

риметру штампа: зазор должен быть равномерным и выбран в зависимости от марки и толщины материала;

- проверить правильность установки нижней половины штампа и закрепить ее винтами в Т-образных пазах.

После окончания всех регулировок и крепления штампа необходимо вручную провернуть коленчатый вал не менее чем на два оборота для проверки правильности наладки пресса.

6. Включение пресса:

- включить питание пресса автоматическим выключателем, установленным в нижней части шкафа управления;

- на панели управления (рис. 5) включить цепь управления;

- переключатель 3 установить в положение «одиночный ход», при этом должна загореться лампочка 2;

- переключатель 6 установить в положение «двухрукое включение», при этом должна загореться лампочка 4;

- включить двигатель кнопкой 6 на пульте управления (рис. 6) и после того как маховик разовьет полное число оборотов в минуту, проверить вращение маховика в течение 5÷10 минут;

- включить муфту пресса кнопками 1 и 2 (рис. 6), сделать рабочий ход;

- по аналогии проверить работу пресса на режиме «педаль – одиночный ход».

7. Установка листовой заготовки в рабочее пространство штампа.

8. Получение листоштампованной заготовки, для оценки качества необходимо получить 3÷4 заготовки.

9. Проведение контроля качества:

- измерить габаритные размеры и углы;

- внешним осмотром установить возможные дефекты;

- пользуясь сведениями, представленными в прил. 1, оценить дефекты, выявить причины и наметить пути их устранения.

10. Отключение пресса, уборка рабочего места, смазка обработанных и неокрашенных частей пресса.

Примечания

1. В режиме одиночных ходов каждый следующий ход ползуна возможен только после освобождения и повторного нажатия на кнопки или педаль.

2. Независимо от режима работы защитная решетка ограж-

дения рабочей зоны должна быть опущена.

3. Для экстренной остановки пресса служит грибовидная кнопка «общий стоп» на пульту управления.

4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

К работе на прессе допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

Безопасность работы на прессе обеспечивается:

- установкой ограничения рабочей зоны, сблокированного с электросхемой пресса;
- установкой ограждения вращающихся частей привода, тормоза и неподвижных частей кривошипно-шатунного механизма;
- двуруким включением, требующим применения обеих рук при пуске пресса и исключающим травмирование рук в рабочей зоне штампа;
- наличием устройства предохранения от механических перегрузок в цепи управления.

Приступая к работе необходимо:

- принять меры по обеспечению личной безопасности (надеть спецодежду, головной убор);
- проверить крепление штампа и наличие ограждения;
- включить муфту только после того, как маховик разовьет полное число оборотов в минуту;
- сделать несколько холостых ходов и убедиться, что пресс работает нормально.

Во время работы запрещается:

- производить технологические операции, условия выполнения которых превышают возможности пресса;
- производить установку и наладку штампов;
- исправлять положение заготовки после нажатия педали или кнопок двуручного управления;
- работать на неисправном штампе;
- производить очистку и протирку пресса.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- цель и краткое изложение основных теоретических положений;
- схему и описание работы кривошипного пресса;
- схему и перечень основных элементов штампа;
- схему и результаты расчетов исходной заготовки и усилия пресса;
- порядок наладки кривошипного пресса;
- результаты контроля качества полученной листоштампованной заготовки (эскиз детали с фактическими размерами).

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные элементы штампа для вырубки (пробивки, гибки, вытяжки).
2. Опишите работу кривошипного пресса.
3. Какие факторы учитываются при выборе оборудования и инструмента для листовой штамповки?
4. Опишите порядок подготовки пресса к работе и получения заготовки.
5. Сформулируйте выводы по качеству заготовки (точность размеров, наличие дефектов и т. д.).

7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – Ленинград: Машиностроение, 1979. – 520 с.: ил.
2. Технология конструкционных материалов: учеб. для вузов / А. М. Дальский, И. А. Арутюнова, Т. М. Барсукова [и др.]; под ред. А. М. Дальского. 5-е изд. – Москва: Машиностроение, 2004.

Приложение 1

Виды дефектов листоштампованных заготовок

Вид операции	Вид дефекта	Причина появления дефекта
1. Вырубка, пробивка	Заусенец по всей поверхности среза (распределен равномерно)	<p>Режущие кромки пуансона или матрицы затупились.</p> <p>Рабочие кромки матрицы с цилиндрическим пояском имеют конус со стороны входа пуансона в матрицу.</p> <p>Зазор между пуансоном и матрицей больше или меньше оптимального для данной марки и толщины штампуемого материала.</p>
	Заусенец по поверхности среза (распределен неравномерно)	<p>Неверное распределение зазора между пуансоном и матрицей в результате:</p> <ul style="list-style-type: none"> – смещения пуансона относительно режущих кромок матрицы; – непараллельности стола пресса нижней поверхности ползуна; – непараллельности матрицы верхней части штампа; – смещения оси хвостовика штампа относительно центра давления.
	Отклонение формы и размеров заготовки	<p>Причинами отклонения формы и размеров являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> – косообрезанные концы исходной заготовки; – некрatная длина полосы шагу подачи; – недоведение полосы до упора при ручной подаче; – износ направляющих планок штампа; – использование узкой или широкой полосы; – затягивание перемычки при проталкивании вырубленной заготовки через матрицу;

Продолжение прил. 1

Вид операции	Вид дефекта	Причина появления дефекта
		<ul style="list-style-type: none"> – изгиб исходной заготовки; – закругленный торец пуансона; – выкрошившаяся режущая кромка пуансона или матрицы; – близкое расположение отверстия к краю заготовки.
2. Гибка	Отклонение формы	Причинами дефекта являются: <ul style="list-style-type: none"> – пружинение; – разброс в свойствах материалов и размерах исходных заготовок; – неверный радиус закругления матрицы.
	Вмятины	Причинами дефекта являются: <ul style="list-style-type: none"> – износ штампа; – малый радиус схода на матрице.
	Трещины	Причинами дефекта являются: <ul style="list-style-type: none"> – неверный радиус закругления пуансона; – дефекты металла.
3. Вытяжка	Косина (косой крой заготовки) и разностенность	Причинами дефекта являются: <ul style="list-style-type: none"> – несовпадение оси пуансона и матрицы; – перекося матрицы относительно пуансона; – неправильная установка фиксатора относительно матрицы; – неравномерное распределение давления прижима.
	Трещины и разрывы	Причинами дефекта являются: <ul style="list-style-type: none"> – чрезмерная твердость металла; – коррозия поверхности; – неправильно подобранная смазка; – малый зазор между матрицей и пуансоном; – неравномерность зазора.
	Гофры (морщины)	Причинами дефекта являются: <ul style="list-style-type: none"> – малые давления пружины; – малая толщина заготовки; – большой зазор между матрицей и пуансоном; – неравномерность зазора; – неравномерность толщины заготовки.

Лабораторная работа № 8 «КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ».

Составитель: К. П. Петренко

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить устройство и принцип действия кузнечно-ковачного и штамповочного оборудования, получить навыки чтения и составления кинематических схем.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Согласно ГОСТ 18323–86 под *кузнечно-прессовым оборудованием* понимается оборудование, состоящее из кузнечно-прессовых машин и средств механизации и автоматизации. Под *кузнечно-прессовой машиной* понимается технологическая машина для изготовления изделий посредством обработки материалов давлением.

Кузнечно-прессовые машины по назначению подразделяются на ковочно-штамповочные прессы, ковочно-штамповочные молоты, ротационные кузнечно-прессовые машины и т. д.

Схемы в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия (установки), подразделяют на следующие виды: электрические, гидравлические, пневматические, кинематические, оптические и др.

Элемент схемы – составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное назначение (муфта, трансформатор, насос и т. п.).

Устройство – совокупность элементов, представляющих единую конструкцию (блок, механизм, плата и т. п.).

Функциональная группа – совокупность элементов, выполняющих в изделии определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию.

Функциональная часть – элемент, устройство, функциональная группа.

Линия взаимосвязи – отрезок линии, указывающей на наличие связи между функциональными частями изделия.

В зависимости от основного назначения различают следующие кинематические схемы: принципиальные, структурные, функциональные.

На *принципиальной схеме* изделия должна быть представлена вся совокупность кинематических элементов и их соединений, предназначенных для осуществления, регулирования, управления и контроля заданных движений исполнительных органов; должны быть отражены кинематические связи (механические и немеханические), предусмотренные внутри исполнительных органов, между отдельными парами, цепями и группами, а также связи с источником движения.

Принципиальную схему изделия вычерчивают, как правило, в виде развертки.

Структурная схема определяет основные функциональные части изделия, их назначения и взаимосвязи.

Функциональная схема разъясняет определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия или в изделии в целом.

Правила выполнения кинематических схем устанавливает ГОСТ 2.703-68.

Выбранный формат должен обеспечивать компактное выполнение схемы, не нарушая ее наглядности и удобства пользования ею.

Все элементы на схеме изображают условными графическими обозначениями или упрощенно в виде контурных очертаний.

Взаимное расположение элементов на кинематической схеме должно соответствовать исходному, среднему или рабочему положению исполнительных органов изделия (механизма).

Схемы выполняют без соблюдения масштаба, однако соотношение размеров условных графических изображений взаимодействующих элементов на схеме должно примерно соответствовать действительному соотношению размеров этих элементов в изделии.




Графические изображения элементов (устройств, функциональных групп) и соединяющие их линии связи следует располагать на схеме таким образом, чтобы обеспечить наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии его составных частей.

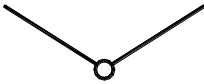



Линии связи выполняют толщиной 0,2–1,0 мм в зависимости от форматов схемы и размеров графических обозначений. Рекомендуемая толщина линий 0,3–0,4 мм. Линии связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее число изломов и взаимных пересечений.

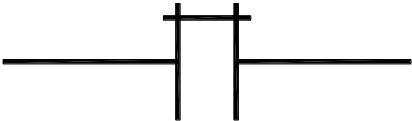


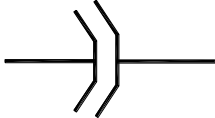
Условные графические изображения элементов кинематических схем и обозначения движений регламентированы ГОСТ 2.770–68.

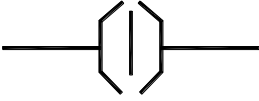
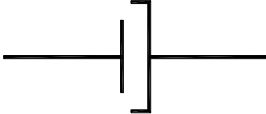
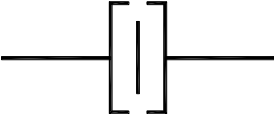
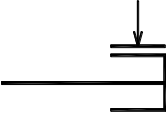
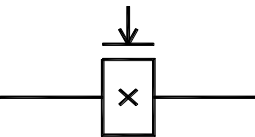
В таблице 1 приведены условные графические изображения наиболее распространенных элементов, встречающихся в кузнечном ковочном и штамповочном оборудовании.

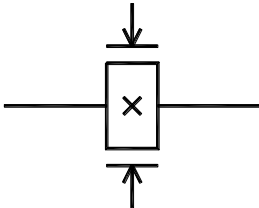
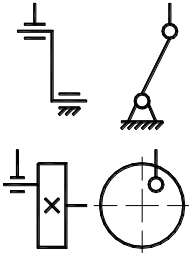

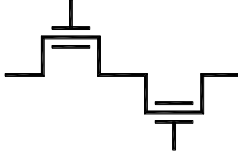
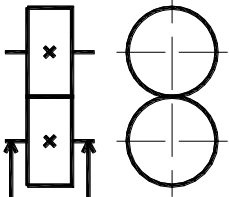
Таблица 1

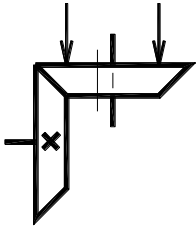
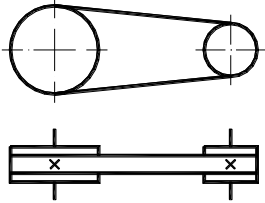
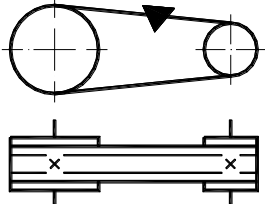
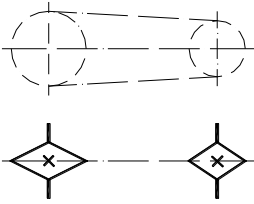
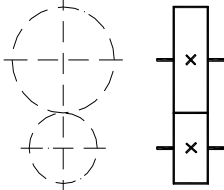
Наименование	Обозначение
1. Вал, валик, ось, стержень, шатун и т. п.	
2. Неподвижное закрепление оси, стержня, пальца и т. п. Для указания неподвижности любого звена часть его контура покрывают штриховкой	
3. Шарнирное соединение стержня с неподвижной опорой	

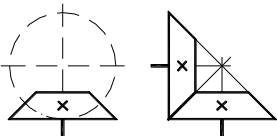
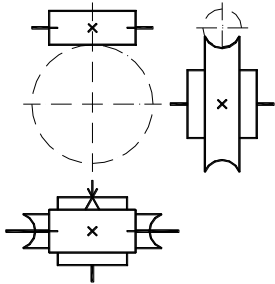
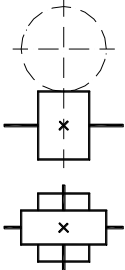
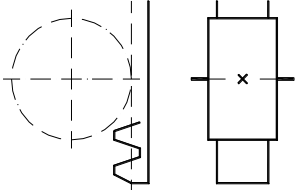

Наименование	Обозначение
4. Шарнирное соединение стержней	
5. Подшипники скольжения и качения на валу (без уточнения типа)	
6. Подшипники скольжения	
7. Подшипники качения	


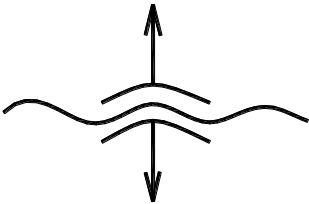



Наименование	Обозначение
8. Глухое соединение двух валов	
9. Эластичное соединение двух валов	
10. Муфты сцепления фрикционные: общее обозначение (без уточнения типа)	
11. Муфты сцепления фрикционные: конусные односторонние	

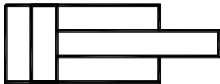
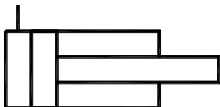
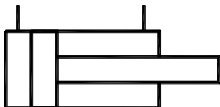
Наименование	Обозначение
12. Муфты сцепления фрикционные: конусные двусторонние	
13. Муфты сцепления фрикционные: дисковые односторонние	
14. Муфты сцепления фрикционные: дисковые двусторонние	
15. Тормоза: общее обозначение (без уточнения типа)	
16. Тормоза: колодочные	

Наименование	Обозначение
17. Тормоза: ленточные	
18. Соединение кривошипа с шатуном (с постоянным радиусом)	
19. Соединение коленчатого вала с шатуном: с одним коленом	
20. Соединение коленчатого вала с шатуном: с несколькими коленами	
21. Передачи фрикционные: с цилиндрическими роликами	

Наименование	Обозначение
22. Передачи фрикционные: с коническими роликами	
23. Передачи плоским ремнем	
24. Передачи клиновидным ремнем	
25. Передача цепью	
26. Передачи зубчатые цилиндрические внешнего зацепления (общее обозначение без уточнения типа зубьев)	

Наименование	Обозначение
27. Передачи зубчатые конические (общее обозначение без уточнения типа зубьев)	
28. Передачи червячные	
29. Передачи винтовые	
30. Передачи зубчатые реечные (общее обозначение без уточнения типа зубьев)	
31. Винт, передающий движение	

Наименование	Обозначение
32. Гайка на винте, передающем движение : неразъемная	
33. Гайка на винте, передающем движение: разъемная	
34. Пружины цилиндрические : сжатия	
35. Пружины цилиндрические: растяжения	
36. Электродвигатель	

Наименование	Обозначение
37. Цилиндр. Общее обозначение	
38. Цилиндр одностороннего действия	
39. Цилиндр двухстороннего действия	

3. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

– по варианту задания из Приложения 1 на листе формата А3 вычертить принципиальную схему кузнечного оборудования и обозначить ее основные детали и узлы. По возможности следует придерживаться условных обозначений элементов, указанных в таблице 1;

– по [1, с. 287-313] привести основные параметры заданного оборудования и внести их в таблицу, выбрать технологические характеристики оборудования и вписать их на поле чертежа над основной надписью;

– на листах формата А4 дать описание работы оборудования.

При оформлении работы рекомендуется руководствоваться примером оформления задания в Приложении 2.

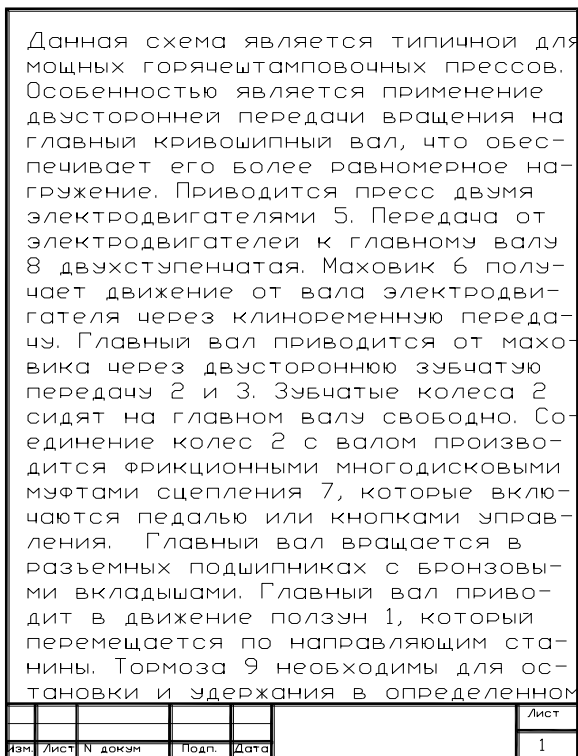
4. ЛИТЕРАТУРА

1. Ковка и штамповка: справочник. – Т. 1-4 / под ред. Е. И. Семенова. – Москва: Машиностроение, 1985. Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. – 568 с.: ил;
2. Технология конструкционных материалов / под ред. проф. А. М. Дальского. – Москва: Машиностроение, 1985. – 448 с.: ил;
3. Бойцов В. В. Горячая объемная штамповка: учебник для СПТУ / В. В. Бойцов, И. Д. Трофимов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 1988. – 264 с.: ил;
4. Качесов П. А. Обработка металлов давлением: учебное пособие / П. А. Качесов, Л. П. Гугалова. – Кемерово, 1966. – 130 с.: ил;
5. Щеглов В. Ф. Кузнечно-прессовые машины: учебник для техникумов / В. Ф. Щеглов, Л. Ю. Максимов, В. П. Линц. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1979. – 304 с., ил;
6. Головнева М. А. Оборудование и технология горячей штамповки / М. А. Головнева, А. П. Атрошенко. – Москва: Машгиз, 1962. – 368 с., ил;
7. ГОСТ 18323–86. Оборудование кузнечно-прессовое. Термины и определения;
8. ГОСТ 2.703–68. Правила выполнения кинематических схем;
9. ГОСТ 2.770–68. Обозначение условное графическое в схемах. Элементы кинематики.

Варианты заданий

№ варианта	Наименование оборудования	Основная характеристика	Параметр
1	Молоты ковочные паровоздушные двойного действия (арочные и мостовые) [3, с. 70]	Масса падающих частей, кг	1000
2			2000
3			3150
4			5000
5			8000
6	Молоты ковочные пневматические [4, с. 88] [5, с. 57]	Масса падающих частей, кг	50
7			80
8			160
9			250
10			400
11			630
12			1000
13	Штамповочные фрикционные молоты с доской [3, с. 74]	Масса падающих частей, кг	500
14			750
15			1000
16			1600
17	Паровоздушные штамповочные молоты [4, с. 106] [6, с. 100]	Масса падающих частей, т	0,63
18			1
19			2
20			3,15
21			5
22			10
23			16
24			25
25	Ковочные гидравлические прессы [3, с. 85] [4, с. 92]	Номинальное усилие, МН	2
26			3,15
27			3
28			8
29			12,5
30			20
31			31,5
32			50
33	Кривошипные горячештамповочные прессы [2, с. 88]	Номинальное усилие, кН	6300
34			10000
35			16000

№ ва-риан-та	Наименование оборудования		Основная характеристика	Параметр
36	[4, с. 109]			25000
37				40000
38				63000
39				125000
40	Винтовые фрикционные горячештамповочные прессы [3, с. 79] [4, с. 113]		Номинальное усилие, МН	0,4
41				0,63
42				1
43				1,6
44				2,5
45	Штамповочные бесшаботные молоты с ленточной связью баб [3, с. 76]		Энергия удара, кДж	160
46				250
47				300
48				400
49	Горизонтально-ковочные машины [2, с. 90] [4, с. 111]		Номинальное усилие высадочного ползуна, кН	1000
50				2500
51				6300
52				10000
53				16000
54				25000
55	Холодноштамповочные кри-вошипно-коленные прессы [2, с. 96] [4, с. 116]	Чеканочные	Номинальное усилие, кН	1000
56				2500
57				6300
58				10000
59				16000
60				25000
61		Для холодного выдавливания	Номинальное усилие, кН	1000
62				4000
63				6300
64				10000

[illegible]

Лабораторная работа №9 «ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ»

Составители: Драчев В. В., Петренко К. П.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение способов дуговой сварки.
2. Расчёт основных технологических параметров сварки.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Сущность и способы дуговой сварки

Сваркой называется процесс получения неразъёмных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, или пластическом деформировании, или совместным действием того и другого. При дуговой сварке для нагрева и плавления металла используют электрическую дугу, горящую между электродом и свариваемым металлом. Среди способов дуговой сварки наибольшее распространение получили ручная дуговая сварка, автоматическая дуговая сварка под флюсом и дуговая сварка в защитном газе.

2.2. Ручная дуговая сварка

Ручная сварка осуществляется рабочим с помощью инструмента, получающего энергию от специального источника тока. Ручную дуговую сварку выполняют покрытым электродом, который вручную подают в дугу и перемещают вдоль заготовки. Схема процесса показана на рис. 1.

Дуга 1 горит между стержнем электрода 2 и основным металлом 3. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в металлическую ванну 4. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 5, образуя газовую защитную атмосферу 6 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну 7 на поверхности расплавленного металла. Металлическая и шлаковая ванны вместе образуют сварочную ванну. По мере движения дуги происхо-

дят затвердевание сварочной ванны и переход её в сварной шов 8. Жидкий шлак после остывания образует твёрдую шлаковую корку 9.

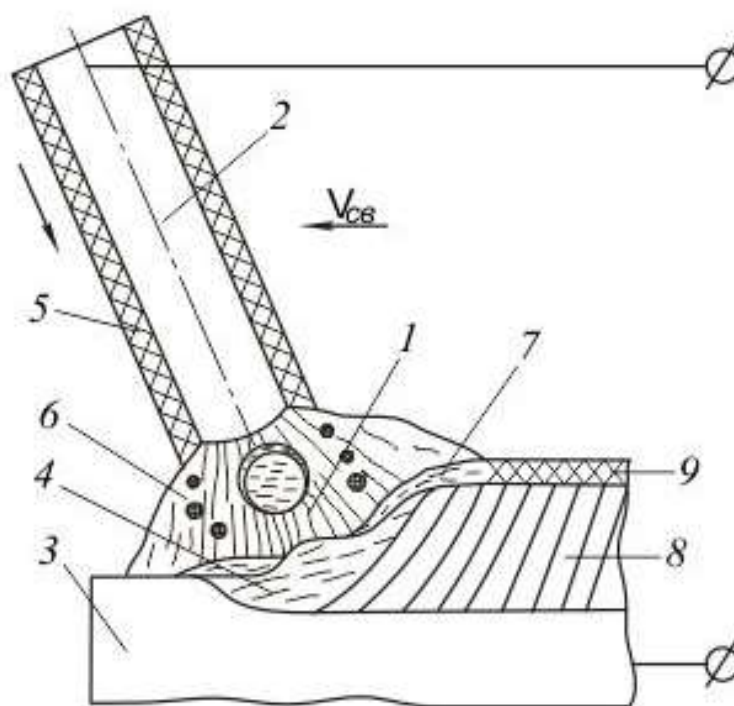


Рис. 1. Схема процесса ручной дуговой сварки

Основными преимуществами ручной сварки являются универсальность и простота оборудования. Недостатками являются невысокая производительность и применение ручного труда.

Стержни плавящихся электродов изготавливают из стали, чугуна, алюминия меди, медных сплавов и др. Для сварки сталей применяют холодноотянутую гладкую стальную проволоку диаметром 0,8...6,0 мм. Электродное покрытие (обмазка) необходимо для обеспечения стабильного горения дуги и получения шва с заданными свойствами. Оно наносится на стержень окунанием или опрессовкой и включает в себя ряд компонентов.

Стабильное горение дуги обеспечивает присутствие соединений щелочных металлов с низким потенциалом ионизации (калий, натрий). К газообразующим относятся органические вещества (крахмал, целлюлоза, декстрин). При нагреве они сгорают, создавая собственную газовую атмосферу. К шлакообразующим компонентам относятся марганцевая руда, рутил, плавиковый шпат и др. Имея меньшую плотность, чем расплавленный металл,

шлак всплывает на поверхность, обеспечивая защиту металлической ванны от кислорода и замедляя ее охлаждение.

Раскисление металла сварочной ванны осуществляется введением в покрытие химических элементов, более активных по отношению к кислороду, чем основной металл заготовок (ферро-марганец, ферросилиций, ферроалюминий). Связующие вещества (натриевое жидкое стекло, желатин) связывают компоненты покрытия друг с другом и электродной проволокой.

Технологический процесс сварки состоит из четырех этапов: подготовка заготовок под сварку, выбор режима процесса, собственно сварка и контроль ее качества.

Подготовка заготовок включает в себя резку, правку, очистку и разметку материала, а затем сборку заготовок под сварку. Перед сваркой основной и присадочный материал тщательно очищают от ржавчины, окалины, влаги, масел. Сборку заготовок под сварку с помощью универсальных зажимов и прихватов или с использованием специальных сборочных приспособлений. Качество сборки определяют шаблонами, а наличие зазоров – щупами.

Зажигание дуги осуществляется двумя способами: прикосновением электрода в точке или чирканьем торца электрода о поверхность металла. Первый способ чаще всего применяют при выполнении швов на неудобных участках.

В зависимости от пространственного положения шва, толщины и материала заготовок выбирают направление сварки и угол наклона электрода. Независимо от направления движения электрод наклоняют таким образом, чтобы обеспечить проплавление основного металла на максимальную глубину (в нижнем положении угол наклона составляет $15\text{--}30^\circ$).

В процессе сварки электроду сообщается движение в трех направлениях:

1. Первое движение – поступательное по направлению оси электрода. Этим движением поддерживается постоянная длина дуги в зависимости от скорости плавления электрода. Ориентировочно нормальная длина дуги должна быть $0,5\text{--}1,1$ диаметра электрода;
2. Второе движение – перемещение электрода вдоль оси ва-

лика для образования шва. При отсутствии поперечных движений электрода ширина валика шва составляет $0,8 - 1,5$ диаметра электрода;

3. Третье движение – перемещение электрода поперек шва для получения уширенного валика. Ширина шва при этом составляет $1,5-5$ диаметра электрода. Поперечные колебательные движения (рис. 2) определяются формой разделки кромок, ориентацией шва, свойствами материала, навыком сварщика.

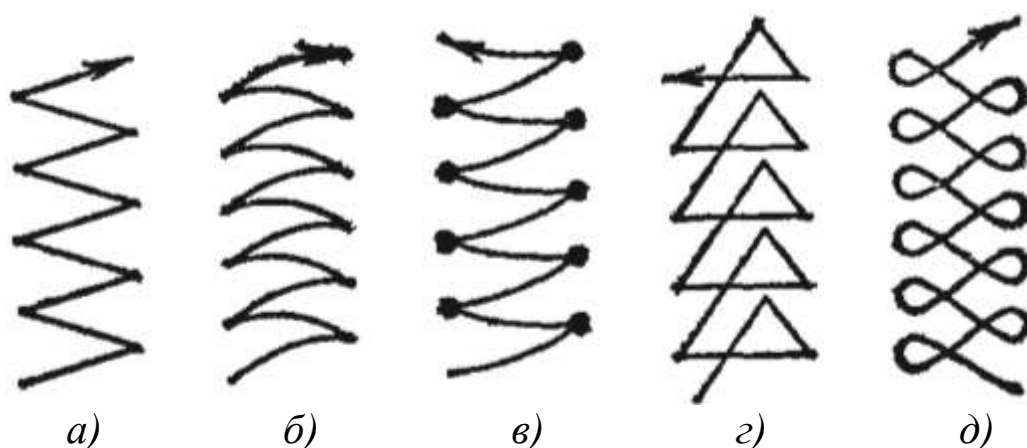


Рис. 2. Траектории движения конца электрода: а, б – для равномерного прогрева сварочной ванны; в, д – для усиленного прогрева кромок; г – для усиленного прогрева корня шва

По протяженности швы условно делят на три группы:

1. короткие – до 300 мм;
2. средние – 300–1000 мм;
3. длинные – свыше 1000 мм.

В зависимости от протяженности шва, материала, требований к точности и качеству сварка таких швов выполняется различно (рис. 3). Короткие швы сваривают на проход – от начала шва до его конца, швы средней длины сваривают от середины к концам, швы большой длины – обратноступенчатым способом или вразброс. Это позволяет уменьшить деформации и остаточные напряжения.

При обратноступенчатом способе шов разбивается на небольшие участки длиной 150–200 мм, на каждом участке сварку ведут в направлении, обратном общему направлению сварки.

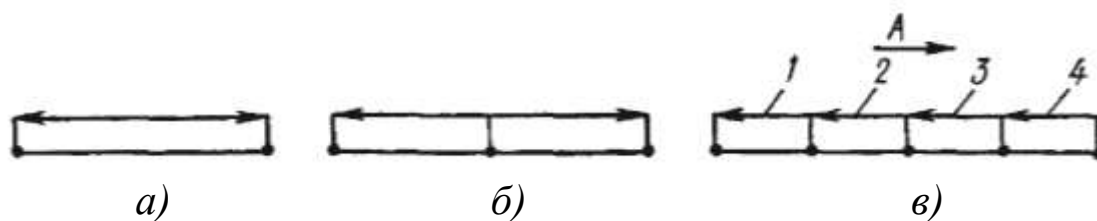


Рис. 3. Схемы сварки: *а* – на проход; *б* – от середины к краям; *в* – обратноступенчатым способом; *A* – общее направление сварки; *1–4* – последовательность сварки участков

В зависимости от количества проходов (слоев), необходимых для выполнения сечения шва, различают однопроходный (однослойный) и многопроходный (многослойный) швы (рис. 4).

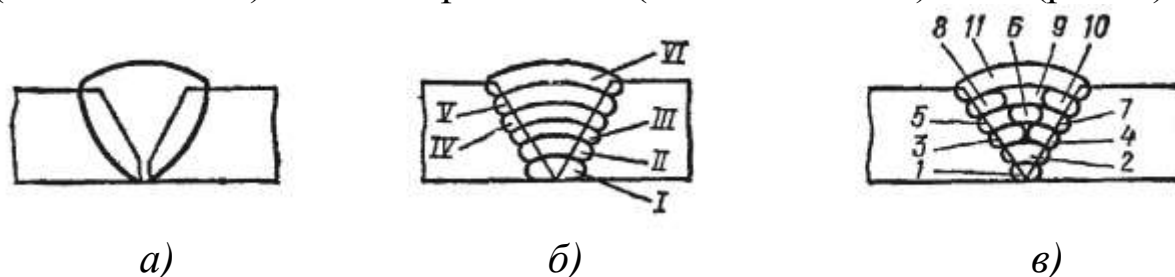


Рис. 4. Поперечные сечения стыковых швов: *а* – однопроходный (однослойный); *б* – многослойный; *в* – многопроходный; *I–VI* – слои; *1–11* – проходы

Однопроходная сварка экономична и высокопроизводительна, однако металл шва имеет пониженную пластичность, что связано с увеличением зоны перегрева и грубой столбчатой структурой металла. Данный способ применяется при сварке металла небольшой толщины (8–10 мм) с предварительной разделкой кромок. При многослойной и многопроходной сварке каждый нижележащий слой претерпевает термическую обработку при выполнении последующего слоя, следствием чего является мелкозернистая структура металла шва. Многослойные швы применяют при сварке стыковых соединений, многопроходные – угловых и тавровых.

Заканчивают выполнение швов заваркой кратера. Для этого или держат неподвижно электрод до естественного обрыва дуги, или сильно укорачивают дугу вплоть до частых коротких замыканий, после чего ее резко обрывают.

Ручную дуговую сварку применяют при выполнении различных швов произвольной формы в любых пространственных положениях и в труднодоступных местах.

2.3. Расчёт технологических параметров ручной дуговой сварки

К основным технологическим параметрам ручной дуговой сварки относят: диаметр электрода, сварочный ток и напряжение на дуге, скорость и время сварки, расход электродов и электроэнергии.

Последовательность расчёта:

1. Используя ГОСТ 5264-80, с учётом типа соединения, выполнить эскиз сечения шва с указанием его размеров.
2. В зависимости от толщины свариваемого металла S , мм, выбрать диаметр электрода $d_э$, мм, по табл. 1.

Таблица 1

Значения диаметра электрода $d_э$

S , мм	1–2	3–5	6–10	11–24	25–60
$d_э$, мм	2–3	3–4	4–5	5–6	6–8

3. Определить величину сварочного тока:

$$I_{св} = K \cdot d_э, \text{ А} \quad (1)$$

где K – коэффициент, А/мм, определяемый по табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициента K

$d_э$, мм	1–2	3–4	5–6
K , А/мм	25–30	30–45	45–60

4. Определить скорость сварки:

$$V_{св} = \frac{\alpha_n I_{св}}{\rho F_n}, \text{ м/ч} \quad (2)$$

где α_n – коэффициент наплавки, г/А·ч.

При ручной дуговой сварке в зависимости от марки электрода $\alpha_n = 9..11$ г/А·ч;

ρ – плотность наплавленного металла, г/см³.

Для стали $\rho = 7,8$ г/см³;

F_n – площадь поперечного сечения наплавленного металла шва, мм² (рассчитывается как сумма площадей элементарных геометрических фигур, составляющих сечение шва).

Пример. Рассчитать площадь поперечного сечения наплавленного металла шва, изображённого на рис. 5 (все размеры – по ГОСТ 5264–80).

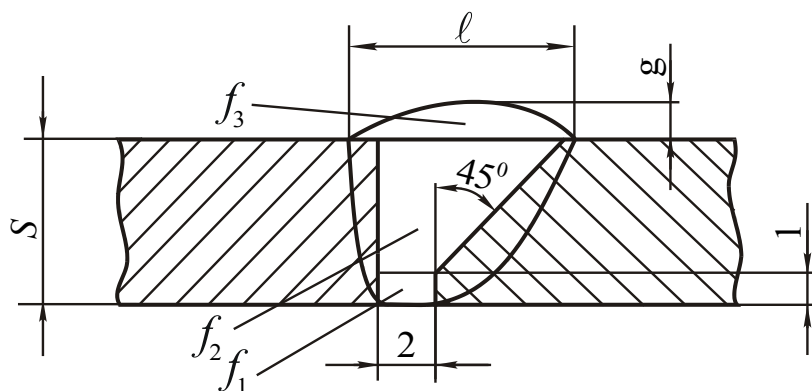


Рис. 5. Схема расчета площади поперечного сечения наплавленного металла шва

$$F_n = f_1 + f_2 + f_3$$

где f_1 – площадь прямоугольника;

f_2 – площадь трапеции;

f_3 – площадь сегмента.

При $S = 10$ мм; $\ell = 16$ мм и $g = 0,5$ мм; тогда

$$f_1 = 2 \cdot 1 = 2 \text{ мм}^2;$$

$$f_2 = \frac{2 + ((10 - 1) \operatorname{tg} 45^\circ + 2)}{2} \cdot (10 - 1) = 58,5 \text{ мм}^2.$$

Площадь сегмента можно приближенно посчитать по формуле

$$f_3 \approx 0,75 \ell g = 0,75 \cdot 16 \cdot 0,5 = 6 \text{ мм}^2;$$

$$F_n = 2 + 58,5 + 6 = 66,5 \text{ мм}^2.$$

5. Рассчитать массу наплавленного металла:

$$G_n = F_n \cdot L \cdot \rho \cdot 10^{-3}, \text{ г} \quad (3)$$

где L – общая длина швов, мм.

6. Определить расход электродов:

$$G_{\Sigma} = K_p \cdot G_n, \text{ г} \quad (4)$$

где K_p – коэффициент расхода электродов, учитывающий потери на угар, разбрызгивание, огарки. $K_p = 1,35 \dots 1,45$.

7. Определить основное время сварки (время горения дуги):

$$t_0 = \frac{G_n}{I_{св} \alpha_n}, \text{ ч.} \quad (5)$$

8. Определить расход электроэнергии:

$$W = \frac{I_{св} U_d t_0}{1000}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (6)$$

где U_d – напряжение на дуге, В.

Для наиболее широко применяемых электродов $U_d = 25 \dots 28$ В.

2.4. Автоматическая дуговая сварка под флюсом

Для автоматической дуговой сварки под флюсом (рис. 6) используют непокрытую электродную проволоку и флюс для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха. Подача и перемещение электродной проволоки механизированы. Автоматизированы процессы зажигания дуги и заварки кратера в конце шва.

Дуга 1 горит между проволокой 2 и основным металлом 3. Дуга и ванна жидкого металла 4 со всех сторон закрыты слоем флюса 5 толщиной 30 ... 50 мм. Часть флюса расплавляется, образуя ванну жидкого шлака 6. По мере поступательного движения электрода происходит затвердевание металлической и шлаковой ванн с образованием сварного шва 7, покрытого твёрдой шлаковой коркой 8. Проволоку подают в дугу и перемещают вдоль шва с помощью механизмов подачи 9 и перемещения. Ток к электроду поступает через токопровод 10.

По *назначению* различают флюсы для сварки низкоуглеродистых, низколегированных, легированных и высоколегированных сталей, цветных металлов и их сплавов. По *способу изготовления* флюсы делят на плавленные и неплавные (керамические). Плавные флюсы изготавливают сплавлением флюсовой шихты определенного состава в электрических печах с последующей ее грануляцией до получения крупинки требуемого размера. Керамические флюсы получают скреплением частиц флюсовой шихты без их расплавления. Они представляют собой механическую смесь природных минералов, ферросплавов и силикатов, сцементированных жидким стеклом. Например, керамический флюс марки К-2 содержит 46–55 % титанового концентрата, 8–10 % ферромарганца, 8 % ферросилиция, 8–13 % полевого шпата, 8–10 % плавикового шпата и 13 % жидкого стекла.

Подготовка кромок осуществляется так же, как для ручной дуговой сварки. Сборка деталей выполняется более тщательно. Глубокий провар, жидкотекучесть расплавленного металла и постоянная скорость сварки приводят к необходимости выдерживать при сборке одинаковые зазоры, углы разделки и притупления кромок, так как в противном случае возможно образование непроваров или прожогов.

При сварке вначале шва, когда основной металл еще недостаточно прогрет, возможно образование непроваров. В конце шва в кратере могут образовываться поры и усадочные трещины. Поэтому сварку следует начинать на входных, а заканчивать на выходных технологических планках, которые после остывания шва удаляют.

По характеру выполнения стыковые швы могут быть односторонними и двусторонними. При сварке односторонним стыковым швом существует опасность протекания жидкого металла и шлака в зазор и образования сквозных прожогов. Во избежание этого применяют следующие технологические приемы (рис. 7): сварка на флюсовой подушке, на медной подкладке, на остающейся стальной подкладке и др.

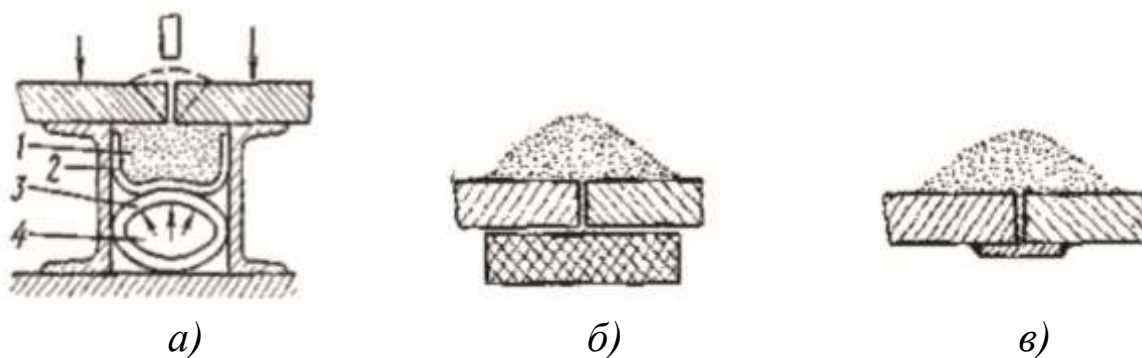


Рис. 7. Технологические приемы сварки под флюсом: *а* – на флюсовой подушке; *б* – на медной подкладке; *в* – на остающейся стальной подкладке; 1 – флюс, 2 – брезентовый желоб, 3 – резиновый шланг, 4 – сжатый воздух

Флюсовая подушка представляет собой уплотненный слой мелкого флюса, который прижимается к нижней стороне сварного соединения. Сварка на флюсовой подушке не требует точной сборки заготовок и обеспечивает хорошее проплавление всей толщины листа. Сварка на медной подкладке требует достаточно точной сборки и надежного прижатия кромок к подкладке, применяется преимущественно при соединении тонких листов. Сварка на остающейся стальной подкладке также применяются при соединении относительно тонких листов, но допускает увеличение зазора между свариваемыми деталями. Она менее производительна, но и менее чувствительна к колебаниям режима и не требует специальных приспособлений для формирования обратной стороны шва.

Кольцевые швы применяют при сварке стыков труб и обечеек, приварке днищ, фланцев и других деталей. Для предотвращения протекания жидкого металла и шлака в зазор первый слой стыкового кольцевого шва большого диаметра (более 800 мм) выполняют на флюсоремленной подушке (рис. 8).

Флюсоремленная подушка представляет собой бесконечный прорезиненный ремень, имеющий форму лотка, в который в процессе сварки непрерывно подается мелкий флюс. Сварка первым слоем производится изнутри сосуда, а последующими – снаружи.

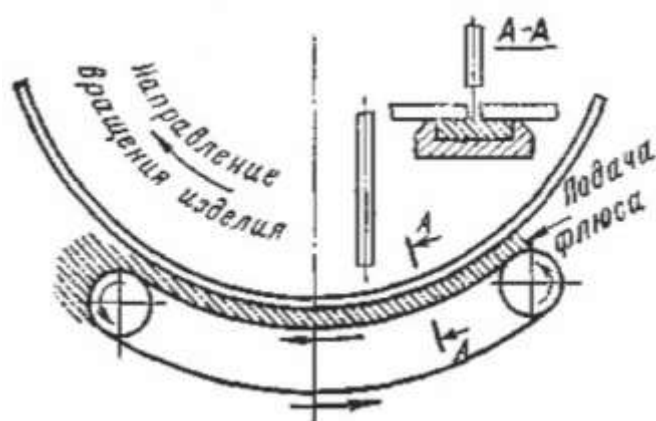


Рис. 8. Флюсоремная подушка для выполнения кольцевых швов с внутренней стороны

При сварке изделий диаметром до 800 мм часто применяют флюсомедные подкладки, которые бывают неподвижными и перекатывающимися (рис. 9).

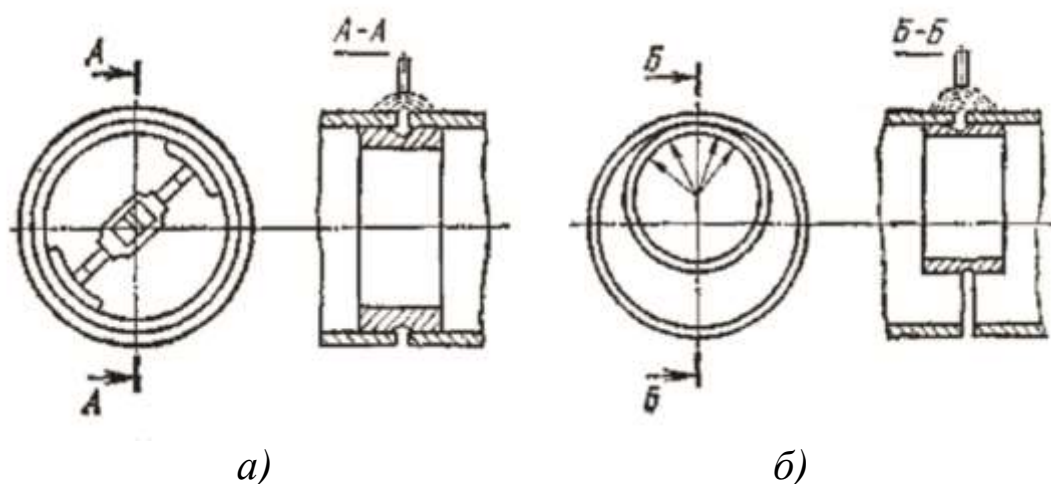


Рис. 9. Неподвижные (а) и перекатывающиеся (б) флюсомедные подкладки при выполнении кольцевых соединений

Дуговую сварку под флюсом выполняют сварочными автоматами: сварочными головками или сварочными тракторами, перемещающимися непосредственно по изделию. Основным назначением сварочных автоматов является подача электродной проволоки в дугу и поддержание постоянного режима сварки в течение всего процесса. Последнее необходимо для обеспечения одинаковых размеров и стабильного качества всего сварного шва.

Автоматическую дуговую сварку под флюсом применяют в серийном и массовом производствах для выполнения длинных прямолинейных и кольцевых швов в нижнем положении.

2.5. Расчёт технологических параметров автоматической дуговой сварки под флюсом

К основным технологическим параметрам автоматической дуговой сварки под флюсом относят: диаметр электродной проволоки, сварочный ток, напряжение на дуге, скорость подачи электродной проволоки и скорость сварки, расход электродной проволоки и флюса, время сварки, расход электроэнергии.

Последовательность расчёта:

1. Используя ГОСТ 8713–79, с учётом типа соединения, выполнить эскиз сечения шва с указанием его размеров.

2. Определить величину сварочного тока:

$$I_{св} = (80 \div 100)h, \text{ А} \quad (7)$$

где h – расчётная глубина проплавления, мм.

При односторонней сварке без разделки кромок $h = S$, где S – толщина свариваемых деталей. При двусторонней сварке без разделки кромок $h = 0,6 \div 0,7S$. При сварке с разделкой кромок:

$$h = H - \frac{F_n}{0,73b}, \quad (8)$$

где H – толщина шва, мм;

b – ширина шва, мм;

F_n – площадь поперечного сечения наплавленного металла шва, мм.

Пример: Определить расчётную глубину проплавления шва, изображённого на рис. 10 (все размеры по ГОСТ 8713–79).

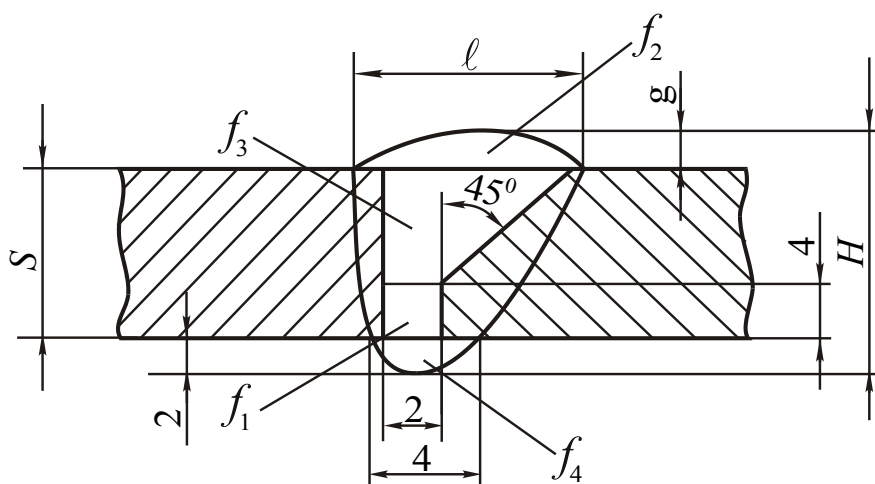


Рис. 10. Схема определения расчетной глубины проплавления шва

$$h = H - \frac{F_n}{0,73b};$$

$$H = 2 + S + g;$$

$$b = l;$$

$$F_n = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 =$$

$$= 2 \cdot 4 + 0,75 \ell g + \frac{2 + ((S - 4) \operatorname{tg} 40^\circ + 2)}{2} (S - 4) + 0,75 \cdot 4 \cdot 2.$$

При $S = 15$ мм $\ell = 24$ мм и $g = 2,5$ мм $H = 2 + 15 + 2,5 = 19,5$ мм; $b = 24$ мм;

$$F_n = 2 \cdot 4 + 0,75 \cdot 24 \cdot 2,5 + \frac{2 + ((15 - 4) \operatorname{tg} 40^\circ + 2)}{2} (15 - 4) + 0,75 \cdot 4 \cdot 2 = 131,76 \text{ мм}^2;$$

$$h = 19,5 - \frac{131,76}{0,73 \cdot 24} = 12 \text{ мм.}$$

3. В зависимости от толщины свариваемого металла S , мм, выбрать диаметр электрода $d_{\text{э}}$, мм, по табл. 3.

Таблица 3

Значение диаметра электрода $d_{\text{э}}$ и напряжения на дуге $U_{\text{д}}$

S, мм	2	3	4	5	6	7	8	10	12
$d_{\text{э}}$, мм	1,6	1,6	2	2	2	4	4	5	5
$U_{\text{д}}$, В	24-28	28-30	28-30	32-34	32-34	32-34	34-36	36-38	36-38

S, мм	14	16	18	20	24	30	40	60
$d_{\text{э}}$, мм	5	5	5	5	6	6	6	6
$U_{\text{д}}$, В	38-40	38-40	38-40	38-40	38-40	40-42	40-42	40-42

4. Выбрать напряжение на дуге $U_{\text{д}}$, В (см. табл. 3).

5. Определить скорость сварки по формуле (2).

При автоматической сварке под флюсом коэффициент наплавки $\alpha_{\text{н}} = 14 \dots 16$ г/А·ч, причем большие значения принимают для малых диаметров электродной проволоки.

6. Определить массу наплавленного металла по формуле (3)

7. Определить расход электродной проволоки по формуле (4).

Коэффициент расхода для автоматической дуговой сварки под флюсом $K_p = 1,02 \dots 1,05$.

8. Определить расход флюса:

$$G_{\phi} = K_{\phi} \cdot G_{\text{э}}, \text{ г} \quad (9)$$

K_{ϕ} – коэффициент, выражающий отношение массы флюса к массе сварочной проволоки. $K_{\phi} = 1,1 \dots 1,4$.

9. Определить скорость подачи электродной проволоки:

$$V_{\text{пр}} = \frac{4K_p I_{\text{св}} \alpha_{\text{н}}}{\pi d_{\text{э}}^2 \rho}, \text{ м/ч.} \quad (10)$$

10. Определить основное время сварки по формуле (5).

11. Определить расход электроэнергии по формуле (6).

2.6. Дуговая сварка в защитном газе

При сварке в защитном газе (рис. 10) электрод, зона дуги и сварочная ванна защищены от воздействия воздуха струей специально подаваемого газа.

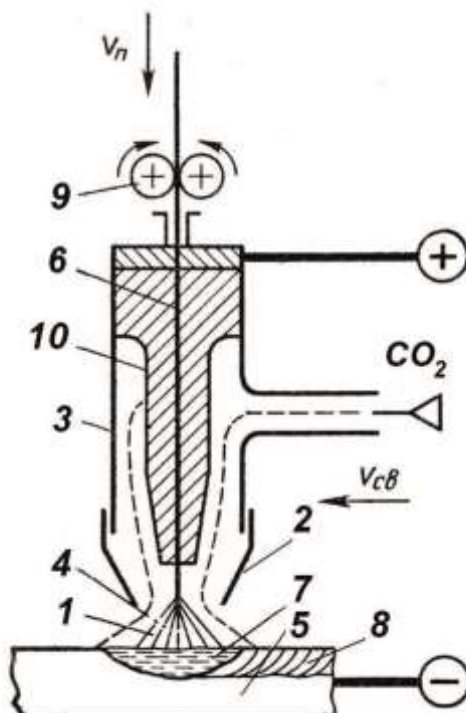


Рис. 10. Схема процесса дуговой сварки в углекислом газе

В зону дуги 1 через сопло 2 горелки 3 подается защитный газ 4. Теплотой дуги расплавляется основной металл 5 и электродная проволока 6. Расплавленный металл сварочной ванны 7, затвердевая, образует шов 8. Проволоку подают в дугу с помощью механизма подачи 9. Ток к электроду поступает через мундштук 10.

Дуговая сварка в защитных газах по сравнению с ручной и автоматической сваркой под флюсом обладает следующими преимуществами:

- высокая степень защиты расплавленного металла от воздействия воздуха;
- возможность ведения процесса во всех пространствен-

ных положениях;

- отсутствие на поверхности шва при применении аргона окислов и шлаковых включений;
- возможность визуального наблюдения за процессом формирования шва и его регулирования;
- более высокая производительность процесса, чем при ручной сварке;
- низкая стоимость сварки в углекислом газе.

Недостатками являются возможное нарушение защиты при сварке на открытых площадках и сквозняке, а также необходимость принятия защитных мер против световой и тепловой радиации дуги.

В качестве защитных газов применяют инертные газы (аргон, гелий), активные газы (углекислый газ, азот, водород) и их смеси. Наиболее распространено применение аргона и углекислого газа.

Аргон – бесцветный газ, в 1,38 раза тяжелее воздуха, нерастворим в жидких и твердых металлах. Аргон выпускают высшего и первого сортов, имеющих соответственно чистоту 99,992 и 99,987 %. Поставляют и хранят аргон в стальных баллонах серого цвета под давлением 15 МПа.

Углекислый газ бесцветный, со слабым запахом, в 1,52 раза тяжелее воздуха, нерастворим в жидких и твердых металлах. Сварочный углекислый газ, имеющий чистоту 99,5 %, поставляют и хранят в стальных баллонах черного цвета в сжиженном состоянии под давлением 7 МПа.

Сварка в защитных газах производится как плавящимся, так неплавящимся электродом. При сварке *плавящимся* электродом электродная проволока по мере ее плавления непрерывно подается в зону дуги. Расплавленные основной и электродный металлы, смешиваясь, образуют сварной шов. При сварке *неплавящимся* электродом применяют вольфрамовый или угольный электрод, при этом основной металл расплавляется, а электрод, имеющий высокую температуру плавления, медленно испаряется. Процесс сварки можно производить с присадочной проволокой или без нее.

Кроме обычных сварочных проволок, при сварке в защитных газах применяется также порошковая проволока, состоящая из металлической оболочки и порошкового сердечника (рис. 11).

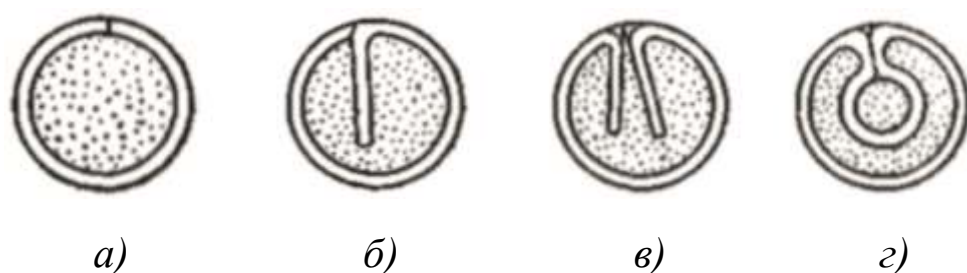


Рис. 11. Виды порошковых проволок: *а* – трубчатая, *б* – с одной загнутой кромкой, *в* – с двумя загнутыми кромками, *г* – двуслойная

Порошковый сердечник, представляющий собой смесь порошков минералов, руд, ферросплавов и различных металлических порошков, стабилизирует дуговой разряд, защищает сварочную ванну от воздуха, раскисляет и легирует металл шва. Разновидностью порошковых проволок являются самозащитные проволоки, оболочка которых изготовлена из легированной стали, а в наполнитель введены соединения редкоземельных металлов. Эти проволоки эффективны в случаях, когда газовая защита шва из-за конструкции сварного соединения недостаточно надежна или невозможна.

Сварка в защитных газах может быть ручной, механизированной и автоматической. Ручную сварку выполняют только вольфрамовым или угольным электродом. При механизированной сварке механизмуется подача электродной или присадочной проволоки и защитного газа, а горелку перемещают вручную. При автоматической сварке механизированы все операции.

Сварку в аргоне применяют для цветных (алюминия, магния, меди) и тугоплавких (титана, ниобия, ванадия, циркония) металлов и их сплавов, а также легированных и высоколегированных сталей.

В углекислом газе сваривают углеродистые и низколегированные стали. Сварку выполняют только плавящимся электродом. Нормальное протекание процесса сварки и хорошее качество шва обеспечиваются при высокой плотности тока (100 А/мм^2 и более). В связи с этим применяется сварочная про-

волока малого диаметра и большая скорость ее подачи в дугу. Сварку ведут на обратной полярности («плюс» на электрод).

При высоких температурах сварочной дуги углекислый газ CO_2 разлагается на оксид углерода CO и атомарный кислород O , который приводит к окислению свариваемого металла и легирующих элементов. Поэтому для сварки в углекислом газе углеродистых и низколегированных сталей применяют сварочную проволоку с повышенным содержанием раскислителей: марганца и кремния (Св – 08ГС, Св – 10Г2С и др.). При этом на поверхности шва образуется тонкая шлаковая пленка из оксидов раскислителей.

Дуговую сварку в защитном газе применяют для широкого круга изделий и материалов (газо- и нефтепроводы, корпуса судов, узлы летательных аппаратов, корпуса атомных установок и др.).

2.7 Расчёт технологических параметров дуговой сварки в углекислом газе

К основным технологическим параметрам дуговой сварки в углекислом газе относят: диаметр электродной проволоки, сварочный ток, напряжение на дуге, скорость сварки и скорость подачи электродной проволоки, расход электродной проволоки и углекислого газа, вылет электрода, время сварки, расход электроэнергии.

Последовательность расчёта:

1. Используя ГОСТ 14771-76, с учётом типа соединения, выполнить эскиз сечения шва с указанием его размеров.

2. В зависимости от толщины свариваемого металла S , мм, выбрать диаметр электрода d_e , мм, по табл. 4.

3. Выбрать сварочный ток $I_{св}$, А (см. табл. 4).

4. Выбрать напряжение на дуге U_d , В (см. табл. 4).

5. Определить скорость сварки по формуле (2).

Коэффициент наплавки $\alpha_n = 18 \dots 20$ г/А·ч.

6. Определить массу наплавленного металла по формуле (3).

7. Определить расход электродной проволоки по формуле (4).

8. Определить скорость подачи электродной проволоки по формуле (10).

9. Выбрать вылет электрода $L_{\text{э}}$, мм – длину электродной проволоки между ее концом и выходом из мундштука горелки (см. табл. 4).

Таблица 4

Режимы дуговой сварки в углекислом газе

S , мм	1	2	3	4	6	8	10	12	14	18	20	24
$d_{\text{э}}$, мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
$I_{\text{св}}$, А	50– 60	90– 100	170– 180	220– 240	300– 320	330– 350	360– 380	390– 410	430– 450	430– 450	430– 450	430– 450
$U_{\text{д}}$, В	17– 18	19– 20	22– 23	25– 27	28– 30	28– 30	30– 32	30– 32	32– 34	32– 34	32– 34	32– 34
$L_{\text{э}}$, мм	8–10	10– 12	12– 15	15– 18	18– 20	18– 20	18– 20	18– 20	18– 20	18– 20	18– 20	18– 20
g , м ³ /ч	0,48– 0,6	0,48– 0,6	0,48– 0,6	0,9– 0,96	0,9– 0,96	0,9– 0,96	1,08– 1,2	1,08– 1,2	1,44– 1,5	1,44– 1,5	1,44– 1,5	1,44– 1,5

10. Определить основное время сварки по формуле (5).

11. Определить расход углекислого газа:

$$G_{\text{CO}_2} = g \cdot t_o, \text{ м}^3 \quad (11)$$

где g – удельный расход газа, м³/ч (см. табл. 4).

12. Определить расход электроэнергии по формуле (6).

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с сущностью и способами дуговой сварки.
2. Используя прил. 1, 2 и 3 выполнить эскиз сварной конструкции согласно выданному варианту задания.
3. Рассчитать основные технологические параметры сварки.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА

Отчёт должен содержать:

1. Наименование и цель лабораторной работы.
2. Краткие теоретические положения.
3. Эскиз заданной сварной конструкции.
4. Эскиз сечения сварного шва.
5. Расчёты основных технологических параметров сварки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

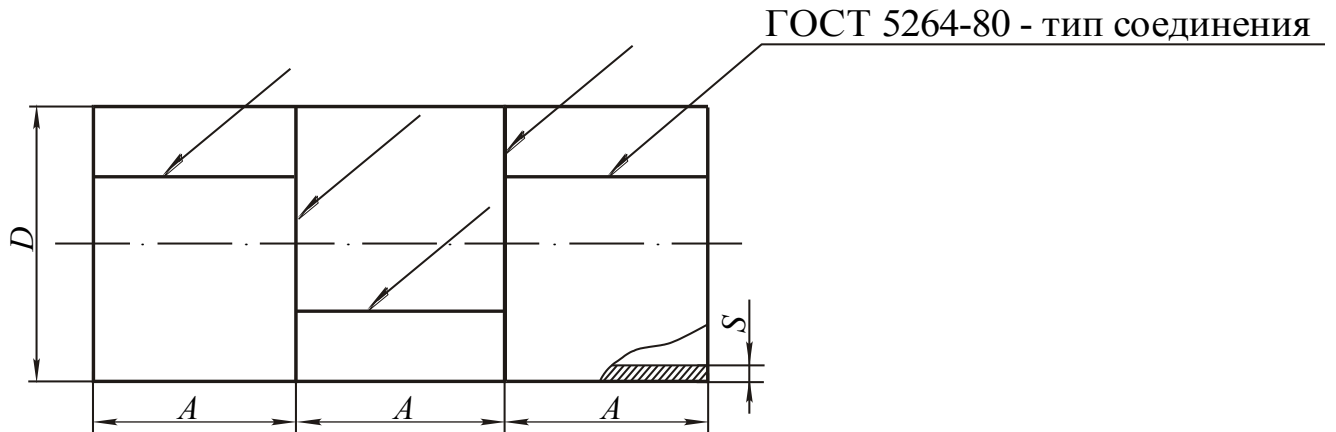
1. В чём состоит сущность процесса сварки?
2. За счёт чего расплавляется металл при дуговой сварке?
3. Назовите наиболее распространённые способы дуговой сварки.
4. Укажите область применения ручной дуговой сварки.
5. Назовите основные технологические параметры автоматической дуговой сварки под флюсом.
6. Какие газы применяют в качестве защитных при дуговой сварке?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология конструкционных материалов: учеб. для студентов машиностроительных специальностей вузов / А. М. Дальский, Т. М. Барсукова, Л. Н. Бухаркин и др.; под ред. А. М. Дальского. – 5-е изд., испр. – Москва: Машиностроение, 2004. – 512 с.
2. Основы сварочного производства: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Виноградов, А. А. Черепяхин, Н. Ф. Шпунькин. – Москва: Издательский центр «Академия», 2008. – 272 с., ил.
3. ГОСТ 2601–84. Сварка металлов. Термины и определения основных понятий. – Москва: Изд-во стандартов, 1985. – 160 с.
4. ГОСТ 5264–80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Москва: Изд-во стандартов, 1983. – 63 с.
5. ГОСТ 8713–79. Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Москва: Изд-во стандартов, 1985. – 64 с.
6. ГОСТ 14771–76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Москва: Изд-во стандартов, 1976. – 60 с.
7. ГОСТ 2246–70. Проволока стальная сварочная. – Москва: Изд-во стандартов, 1973. – 23 с.
8. ГОСТ 26271–84. Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей. – Москва: Изд-во стандартов, 1984. – 29 с.

Приложение 1

Задание для расчёта ручной дуговой сварки



№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D , мм	550	600	650	700	750	800	850	900	950
A , мм	500	600	800	1000	500	600	800	1000	500
S , мм	3	4	15	8	12	3	4	15	8
Тип соед.	C8	C12	C14	C15	C43	C17	C21	C24	C25

№ вар.	10	11	12	13	14	15	16	17
D , мм	1000	550	600	650	700	750	800	850
A , мм	600	800	1000	500	600	800	1000	500
S , мм	12	5	6	18	10	15	5	8
Тип соед.	C39	C8	C12	C14	C15	C43	C17	C21

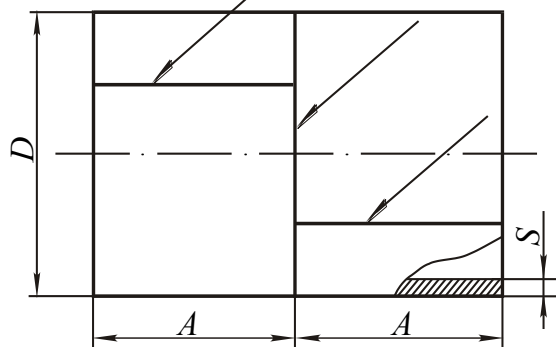
№ вар.	18	19	20	21	22	23	24	25
D , мм	900	950	1000	550	600	650	700	750
A , мм	600	800	1000	500	600	800	1000	500
S , мм	18	10	15	8	10	20	12	18
Тип соед.	C24	C25	C39	C8	C12	C14	C15	C43

№ вар.	26	27	28	29	30
D , мм	800	850	900	950	1000
A , мм	600	800	1000	500	600
S , мм	8	10	20	12	18
Тип соед.	C17	C21	C24	C25	C39

Приложение 2

Задание для расчёта автоматической дуговой сварки под флюсом

ГОСТ 8713-79 - тип. соедин. - способ сварки



№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D , мм	500	600	700	800	900	600	700	800	900
A , мм	800	900	1000	1100	1200	900	1000	1100	1200
S , мм	8	14	20	8	14	18	16	14	20
Тип соедин.	C9	C12	C15	C18	C21	C25	C32	C33	C36

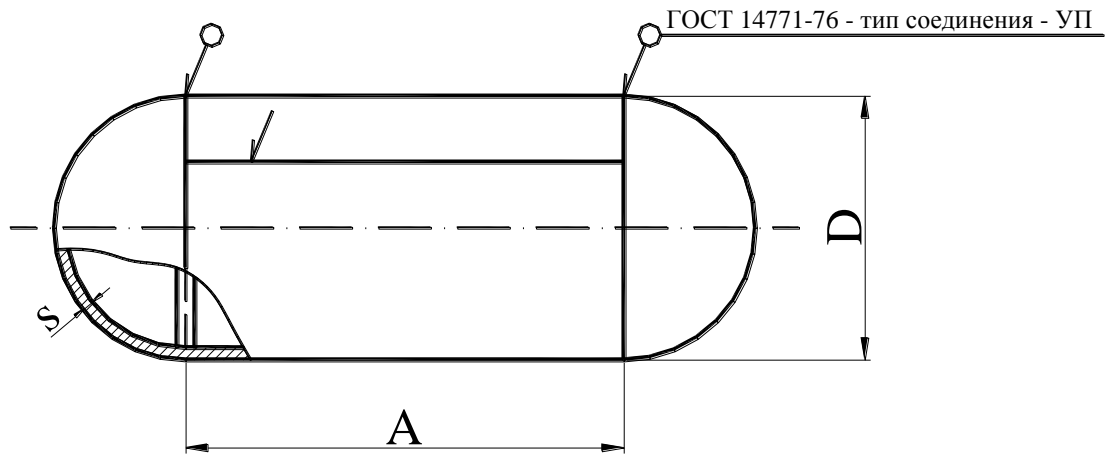
№ вар.	10	11	12	13	14	15	16	17
D , мм	1000	700	800	900	1000	1100	800	900
A , мм	1300	1000	1100	1200	1300	1400	1100	1200
S , мм	18	10	16	24	10	16	20	18
Тип соедин.	C38	C9	C12	C15	C18	C21	C25	C32

№ вар.	18	19	20	21	22	23	24	25
D , мм	1000	1100	1200	900	1000	1100	1200	1300
A , мм	1300	1400	1500	1200	1300	1400	1500	1600
S , мм	20	24	30	12	18	30	12	18
Тип соедин.	C33	C36	C38	C9	C12	C15	C18	C21

№ вар.	26	27	28	29	30
D , мм	1000	1100	1200	1300	1400
A , мм	1300	1400	1500	1600	1700
S , мм	24	30	24	30	40
Тип соедин.	C25	C32	C33	C36	C38

Приложение 3

Задание для расчета сварки в среде углекислого газа



№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D, мм	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
A, мм	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
S, мм	3	4	8	18	6	10	3	6	10
Тип соедин.	C8	C10	C12	C14	C15	C17	C18	C19	C21

№ вар	10	11	12	13	14	15	16	17	18
D, мм	1300	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
A, мм	1500	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
S, мм	18	8	6	10	20	10	14	6	10
Тип соедин.	C25	C8	C10	C12	C14	C15	C17	C18	C19

№ вар	19	20	21	22	23	24	25	26	27
D, мм	1300	1400	600	700	800	900	1000	1100	1200
A, мм	1500	1600	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
S, мм	12	20	12	10	18	24	14	18	8
Тип соедин.	C21	C25	C8	C10	C12	C14	C15	C17	C18

№ вар	28	29	30
D, мм	1300	1400	1500
A, мм	1500	1600	1700
S, мм	12	18	24
Тип соедин.	C19	C21	C25

Лабораторная работа №9 «ТЕХНОЛОГИЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ»

Составители: Драчев В. В., Петренко К. П.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- изучение технологии точечной сварки;
- получение практических навыков работы на точечной машине.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Точечная сварка является одним из видов контактной сварки, при которой детали соединяются в отдельных точках. Свариваемые детали (рис. 1, а) зажимаются усилием P_c между электродами, к которым затем подводится ток большой силы (несколько десятков кА) и небольшого напряжения (3-8 В), в результате чего в месте контакта деталей образуется сварная точка.

Точечную сварку классифицируют по ряду признаков.

По количеству одновременно свариваемых точек точечная сварка может быть одно- (рис. 1, а), двух- (рис. 1, г) и многоточечной (рис. 1, б).

По способу подвода тока – с односторонним (рис. 1, б, в), двусторонним (рис. 1, а, г) и косвенным (рис. 1, д) подводом тока.

По виду импульсов сварочного тока – переменного тока, постоянного тока и разрядного (конденсаторного) тока.

По количеству сварочных импульсов – одно-, двух- и многоимпульсной.

Процесс образования сварного соединения при точечной сварке сопровождается протеканием основных физических процессов, которые вызывают ряд сопутствующих (рис. 2).

Схема образования сварного соединения при точечной сварке показано на рис. 3.

Сопротивление участка металла, зажато между электродами, складывается из двух контактных сопротивлений контактов электрод–деталь, контактного сопротивления контакта деталь–деталь, и собственного сопротивления металла двух деталей. Контактное сопротивление электрод–деталь примерно в два раза меньше контактного сопротивления деталь–деталь.

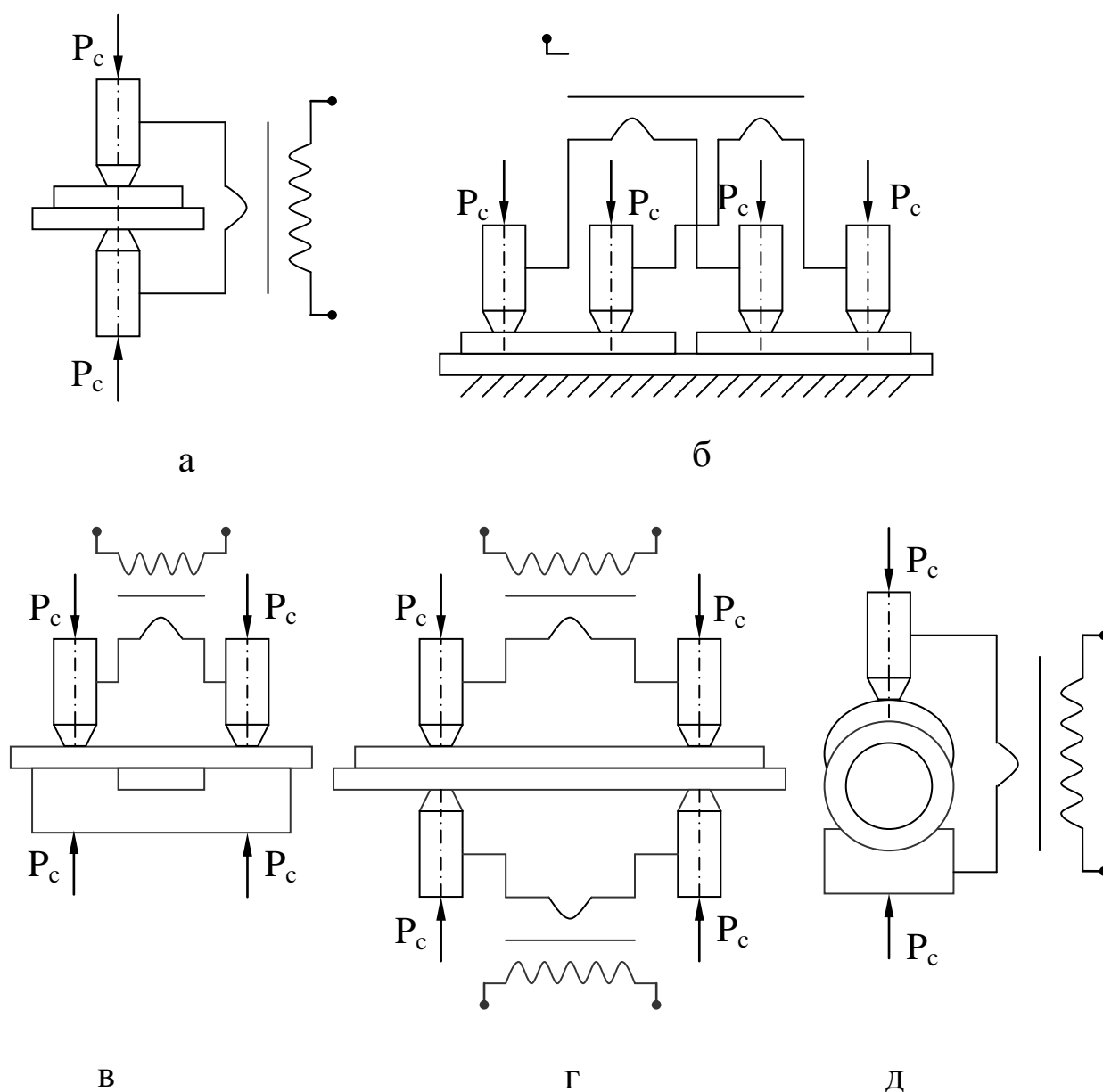


Рис. 1. Схемы точечной сварки

При включении сварочного тока в первую очередь разогреваются выступы контакта (рис. 3, а), а затем и металл, находящийся в непосредственной близости к контакту. С повышением температуры металла контактные сопротивления снижаются, и теплота выделяется в основном за счет сопротивления деталей. Ток пропускают до тех пор, пока в центральной, наиболее нагретой зоне металл свариваемых деталей не расплавится. В результате расплавления образуется зона жидкого металла, окруженная кольцом нагретого металла, в пределах которого имеет место достаточно прочное соединение в пластическом состоянии (без

расплавления). Это кольцо-поясок, сжатое при нагреве усилием электродов, является уплотнением, препятствующим вытеканию жидкого металла в зазор между свариваемыми деталями.

После получения зоны расплавления необходимых размеров сварочный ток выключают, металл охлаждается и в результате его кристаллизации формируется литое ядро сварной точки (рис. 3, б).



Рис. 2. Основные и сопутствующие процессы при образовании сварного соединения

Литое ядро точки имеет дендритную структуру, подобную структуре металла, отлитого в металлическую форму – кокиль. Литое ядро окружено металлом, структура и свойства которого изменились в результате нагрева и охлаждения в процессе свар-

ки. Зона, в пределах которой произошли эти изменения, называется зоной термического влияния.

К основным параметрам режима точечной сварки относят силу сварочного тока I_c , длительность его протекания t_c , усилие сжатия P_c и диаметр электродов d_3 .

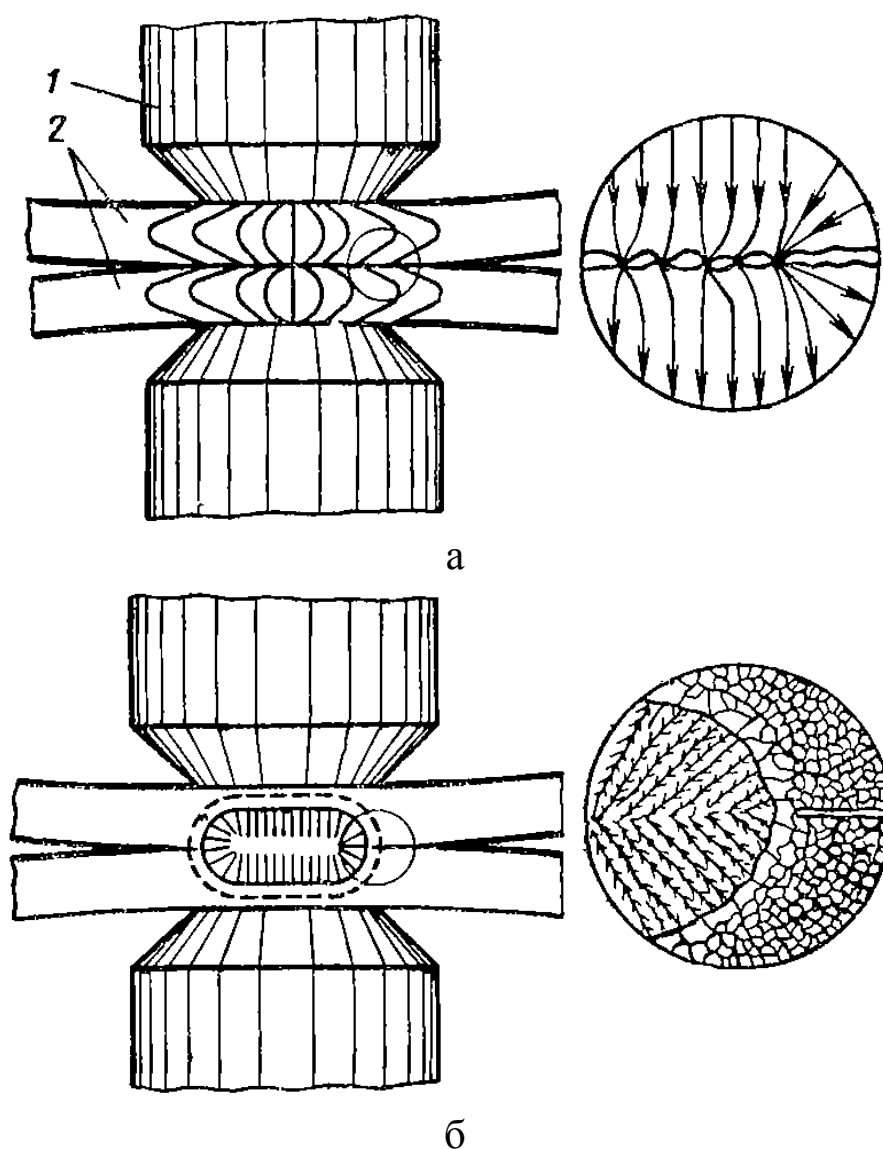


Рис. 3. Формирование сварного соединения при точечной сварке
(1 – электрод, 2 – детали)

Кроме этого, существует ряд дополнительных параметров, обусловленных особенностями применяемых циклов. Циклы (программы изменения тока и усилия), применяемые для точеч-

ной сварки, показаны на рис. 4. Их выбирают в зависимости от материала, его толщины и применяемого оборудования.

Цикл с постоянным усилием и одним импульсом тока (рис. 4, а) применяют для сварки металлов небольшой толщины (до 3 мм). Для сварки металлов толщиной 3–5 мм с целью предупреждения трещин и раковин применяют цикл с переменным усилием (проковкой) (рис. 4, б). Усилие проковки $P_k = (2 \div 3)P_c$, время запаздывания ковочного усилия $t_k = (0,01 \div 0,02)S$, где S – толщина свариваемых деталей. При сварке деталей большой толщины (5 мм и более) для снижения и стабилизации контактного сопротивления применяют цикл с предварительным обжатием и проковкой (рис. 4, в).

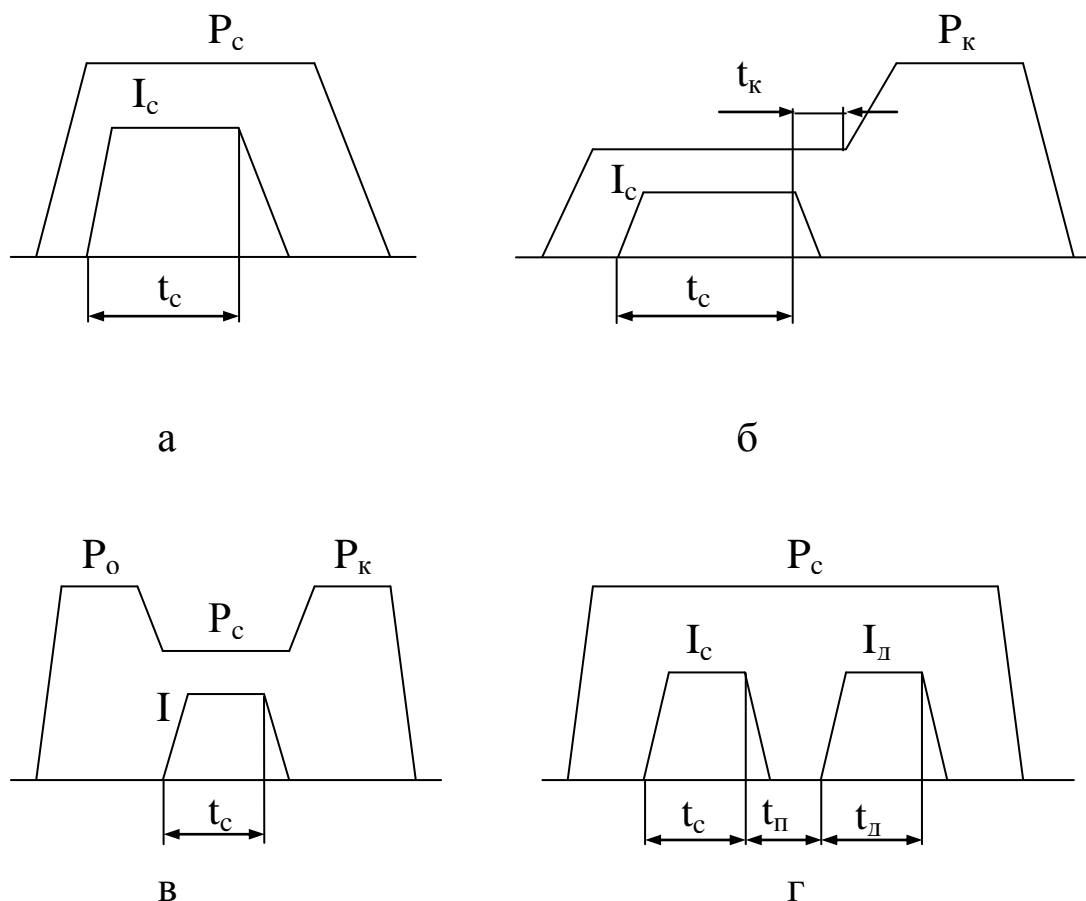


Рис. 4. Циклы точечной сварки

Для склонных к закалке среднеуглеродистых и низколегированных сталей применяют цикл с постоянным усилием со сварочным и дополнительным импульсом тока (рис. 4, г). Второй импульс производится меньшим током и замедляет скорость

охлаждения. Время паузы между импульсами тока $t_{\text{п}}=(1,1\div 1,4)t_{\text{с}}$, длительность дополнительного импульса $t_{\text{д}}=(1,5\div 1,8)t_{\text{с}}$, сила тока $I_{\text{д}}=(0,7\div 0,8)I_{\text{с}}$.

Обычно режимы точечной сварки задаются по таблицам или номограммам и уточняются при испытаниях опытных образцов. Различают жёсткие и мягкие режимы.

Жёсткие режимы характеризуются большой силой тока и малой длительностью его протекания, мягкие режимы – меньшим током и сравнительно большой длительностью его протекания. Мягкие режимы применяют преимущественно при сварке среднеуглеродистых и низколегированных сталей для уменьшения опасности возникновения раковин и трещин в результате образования закалочных структур. Жёсткие – при сварке коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, а также алюминиевых и медных сплавов. Низкоуглеродистые стали могут свариваться как на жёстких, так и на мягких режимах. На практике обычно используют жёсткие режимы.

Машины для точечной сварки должны обеспечивать сжатие деталей определённым усилием и подвод к ним сварочного тока. Они состоят из механической и электрической частей. Точечные машины классифицируют по назначению – универсальные (общего назначения) и специальные; по способу подводу тока к месту сварки – односторонние и двусторонние; по форме импульса сварочного тока – постоянного тока, переменного тока и конденсаторные; по приводу механизма сжатия – с педальным, электро-механическим, пневматическим, гидравлическим и комбинированным механизмом сжатия; по числу одновременно свариваемых точек – одноточечные и многоточечные; по способу установки – стационарные, передвижные и подвесные.

3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛЫ

Для выполнения работы требуется:

- точечная конденсаторная машина ТКМ-7;
- листовые металлические образцы.

3.1. Устройство и принцип работы точечной конденсаторной машины ТКМ-7

Конденсаторная машина ТКМ-7 служит для точечной сварки листовых однородных и разнородных цветных и чёрных металлов толщиной от $0,02 + 0,02$ мм до $0,8 + 0,8$ мм. Электрическая схема и конструкция механизма сжатия обеспечивает не менее 800 сварок в час при максимальной ёмкости конденсаторов. Средняя мощность, потребляемая от сети, не превышает 200 Вт. Габаритные размеры $1400 \times 800 \times 700$ мм, вес 150 кг.

Работа машины ТКМ-7 (рис. 5) осуществляется следующим образом.

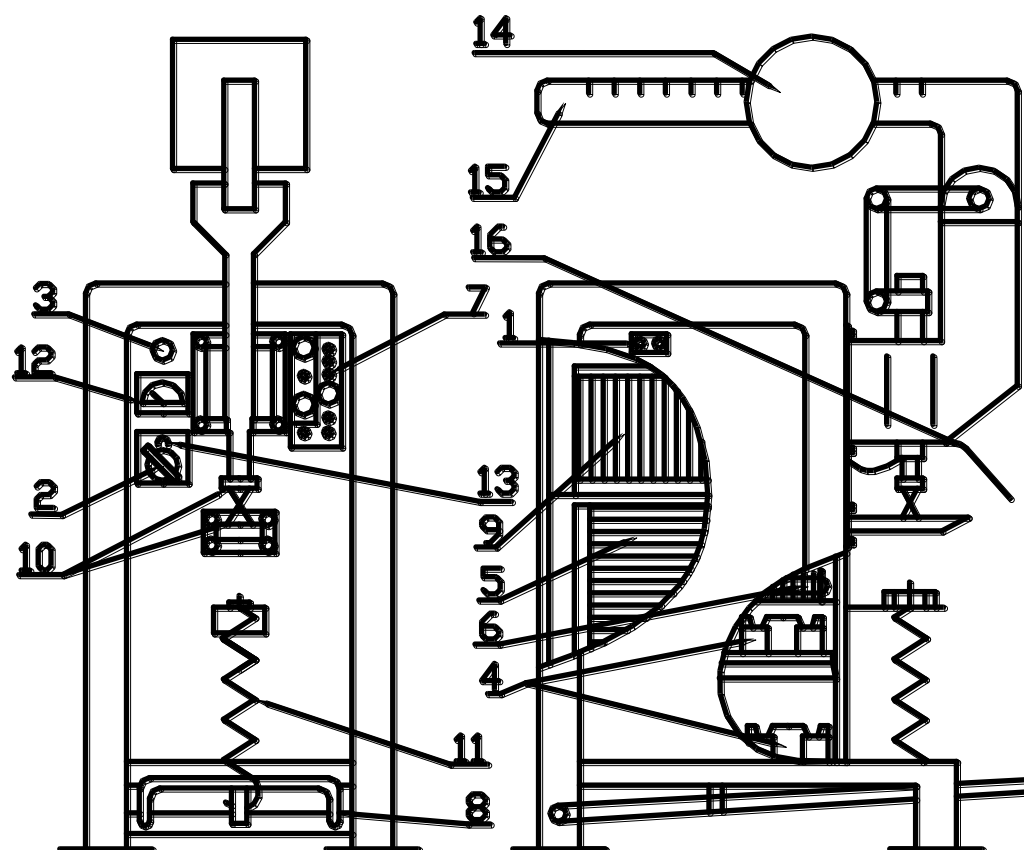


Рис. 5. Точечная конденсаторная машина ТКМ-7

При подаче напряжения на штепсельное гнездо 1 и включении выключателя 2 загорается сигнальная лампа 3 и начинается зарядка конденсаторов 4 через выпрямительный трансформатор 5 и селеновый выпрямитель 6. Количество заряжаемых конденсаторов зависит от числа штекеров, включённых в правый ряд

штепсельных гнёзд переключателя 7. После нажатия на педаль 8 до конца её рабочего хода происходит размыкание цепи зарядки конденсаторов и их разряд на первичную обмотку сварочного трансформатора 9, регулирование коэффициента трансформации которого производится перестановкой штекера в левом ряду штепсельных гнёзд переключателя 7. При этом индуктированный во вторичном витке сварочного трансформатора импульс тока обеспечивает сварку деталей, зажатых между электродами 10. Штепсельный переключатель 7 даёт возможность получать ёмкость конденсаторов от 5 мкФ до 295 мкФ через каждые 5 мкФ и коэффициенты трансформации сварочного трансформатора 120, 160, 200 и 240.

После опускания педаль с помощью пружины 11 возвращается в исходное положение и конденсаторы вновь заряжаются для сварки следующей точки. Индикатор напряжения 12 предназначен для периодического контроля напряжения на конденсаторах и для проверки их исправности. Он включается в цепь нормально отжатой кнопкой 13. Усилие сжатия электродов изменяется путём перемещения грузов 14 на рычаге 15 и заменой величины грузов. Набор грузов состоит из трёх гирь: 4, 2 и 1 кг. Этими грузами создаётся усилие сжатия от 1 до 56 кгс с интервалом регулирования 0,5 кгс. Защитный щиток 16 из плексигласа служит для защиты глаз от возможных мелких выплесков металла при сварке.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Подготовка машины к работе

4.1.1. Подобрать нужную для сварки образцов пару электродов. Ориентировочный диаметр электродов может быть выбран по табл. 1.

Таблица 1

Ориентировочные режимы сварки на машине ТКМ-7

Толщина деталей, мм	Усилие сжатия, Н (кгс)	Ёмкость конденсаторов, мкФ	Диаметр электродов, мм
0,02–0,08	До 29,43 (3)	5–20	1,0–1,25
0,08–0,15	29,43–58,86 (3–6)	20–40	1,25–1,5
0,15–0,25	58,86–88,29 (6–9)	40–80	1,5–1,75
0,25–0,35	88,29–147,15 (9–15)	80–120	1,75–2,0
0,35–0,50	147,15–245,25 (15–25)	120–160	2,0–2,25
0,50–0,80	245,25–490,5 (25–50)	160–295	2,5–3,0

При отсутствии электродов нужного диаметра допускается сварка электродами диаметром 2,0–2,5 мм для толщин 0,02–0,5 мм и 2,75–3,0 мм – для больших толщин. В этом случае для малых толщин свариваемого металла необходимо несколько увеличить усилие сжатия и ёмкость конденсаторов.

4.1.2. Закрепить электроды в машине

4.1.3. Проверить соосность электродов. Если электроды не соосны, перемещением держателя нижнего электрода (предварительно ослабив гайки) добиться соосности.

4.1.4. Проверить параллельность контактных поверхностей электродов. При необходимости добиться их параллельности с помощью напильника.

4.1.5. Установить и закрепить на рычаге грузы, необходимые для получения нужного усилия сжатия свариваемых деталей. Усилие сжатия электродов определяется произведением веса гру-

за на цену деления на рычаге в месте, где установлен указательный конец груза. Если грузов несколько, то нужно умножить вес каждого груза на соответствующую цену деления и полученные результаты сложить. Рекомендуемые усилия сжатия приведены в табл. 1.

4.1.6. Установить шток с верхним электродом в рабочее положение, т. е. в соответствии с суммарной толщиной свариваемых деталей.

Для этого:

- поместить на нижнем электроде свариваемые детали;
- нажать педаль до упора;
- освободить при помощи маховичка хомут штока, опустить его до совмещения с верхней свариваемой деталью и в таком положении зажать хомут.

4.1.7. Установить рабочую ёмкость конденсаторов (см. табл. 1) и коэффициент трансформации сварочного трансформатора (рекомендуемые значения 160–200). Большие значения ёмкости выбирают при сварке алюминиевых сплавов, меньшие – при сварке сталей, средние – при сварке медных сплавов.

4.1.8. Присоединить машину к источнику переменного тока напряжением 220 В и включить выключатель сети.

4.2. Подготовка образцов к сварке

Поверхность образцов перед сваркой очистить от краски, лака и других загрязнений, промывают и обезжиривают. Образцы не должны иметь вмятин и деформированных участков в местах, предназначенных для сварки.

4.3. Проведение сварки

Работа на машине осуществляется в следующем порядке:

- свариваемые образцы наложить на контактную поверхность нижнего электрода;
- нажать ногой на педаль и произвести сварку;

- отпустить педаль и снять сваренные образцы.

Изменяя режимы сварки в пределах, указанных в табл. 1, добиться наиболее качественного соединения. Оценку качества производить, используя приложение.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При работе на машине ТКМ-7 необходимо выполнять следующие требования:

- все крышки машины должны быть закрыты;
- работать при наличии защитного стекла или в защитных очках;
- после окончания работы отключить машину от сети, предварительно разрядив полностью конденсаторы. Для этого между электродами машины вставляется тонкая изоляционная прокладка, нажимается до упора педаль и в таком положении отключается сетевой выключатель. После этого следует убедиться в отсутствии напряжения на конденсаторах по индикатору.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА

Отчёт должен содержать:

- наименование и цель лабораторной работы;
- краткое изложение основных теоретических положений;
- режимы, на которых проводилась сварка;
- результаты контроля качества сваренных образцов;
- выводы о влиянии режимов сварки на качество сварного соединения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чём состоит сущность точечной сварки?
2. По каким признакам классифицируют точечную сварку?
3. Что относят к основным параметрам режима точечной сварки?
4. Чем различаются мягкие и жёсткие режимы сварки?
5. Какие циклы применяют для точечной сварки?
6. Как классифицируют машины для точечной сварки?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология конструкционных материалов / под ред. А. М. Дальского. – Москва: Машиностроение, 2004. – 512 с.
2. Виноградов, В. М. Основы сварочного производства / В. М. Виноградов и др. – Москва: Издательский центр «Академия», 2008. – 272 с.
3. ГОСТ 15878-79. Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры. – Москва: Изд-во стандартов, 1979. – 20 с.

Приложение

Основные дефекты точечной сварки

Вид дефекта	Наиболее вероятные причины образования дефекта	Способы устранения дефекта
Полный или частичный непровар	Сварочный ток мал, усилие сжатия велико. Большой диаметр электродов. Точка поставлена слишком близко от соседней, ранее сваренной точки. Большие зазоры между деталями.	Увеличить ёмкость конденсаторов, уменьшить усилие сжатия. Заменить электроды. Увеличить расстояние между свариваемыми точками. Устранить неровности на поверхности деталей.
Наружные трещины	Велик сварочный ток. Мало усилие сжатия. Грязная поверхность деталей или электродов	Уменьшить ёмкость конденсаторов. Увеличить усилие сжатия. Зачистить поверхность деталей или электродов.
Чрезмерные вмятины от электродов	Мал диаметр электродов. Электроды установлены неправильно. Завышены режимы сварки.	Заменить электроды. Правильно установить электроды. Уменьшить ёмкость конденсаторов и усилие сжатия.
Разрыв и наружные трещины металла у кромок нахлёстки	Точки выполнены слишком близко от края, мала нахлёстка.	Проводить сварку дальше от края.

Продолжение прил.

Вид дефекта	Наиболее вероятные причины образования дефекта	Способы устранения дефекта
Большие зазоры между деталями после сварки	Велико усилие сжатия. Неправильно выбраны электроды.	Уменьшить усилие сжатия. Увеличить диаметр электродов.
Выдавливание металла на поверхность точек	Форсированный режим сварки. Неправильно установлены электроды.	Уменьшить ёмкость конденсаторов. Уменьшить усилие сжатия. Правильно установить электроды.
Неправильная форма литой зоны в плоскости соединения	Плохая подготовка поверхности деталей. Неправильно установлены электроды.	Зачистить поверхности деталей. Правильно установить электроды.
Тёмная (окисленная) поверхность точки	Завышен сварочный ток. Занижено усилие сжатия. Грязная поверхность деталей или электродов.	Уменьшить ёмкость конденсаторов. Увеличить усилие сжатия. Зачистить поверхности деталей или электродов.
Прожег	Мало или отсутствует усилие сжатия. Большой сварочный ток. Оксидирована или сильно загрязнена поверхность деталей. Неплотное прилегание электродов к поверхности деталей. Перекос электродов.	Увеличить усилие сжатия. Уменьшить ёмкость конденсаторов. Увеличить значение коэффициента трансформации. Правильно установить электроды.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

1. Изучение раздела №1 дисциплины «Металлургическое производство».

1.1. Выполнение домашнего задания по темам:

- Классификация конструкционных материалов.
- Подготовка руд к доменной плавке.
- Производство чугуна;
- Сущность и способы производства стали;
- Основы производства цветных металлов.

1.2. Оформление, подготовка и защита отчетов по лабораторным работам № 1,2.

2. Изучение раздела №2 дисциплины «Литейное производство».

2.1. Выполнение домашнего задания по темам:

- Литейные свойства сплавов;
- Литье в песчано-глинистые формы;
- Изготовление стержней;
- Специальные способы литья;

2.2. Оформление, подготовка и защита отчетов по лабораторным работам № 3-5.

3. Изучение раздела №3 дисциплины «Обработка металлов давлением».

3.1. Выполнение домашнего задания по темам:

- Классификация методов обработки металлов давлением;
- Прокатное производство.
- Прессование. Волочение;
- Ковка. Горячая объемная штамповка;
- Инструмент и оборудование для ковки и штамповки.
- Холодная объемная штамповка;
- Листовая штамповка.

3.2. Оформление, подготовка и защита отчетов по лабораторным работам № 6, 7.

4. Изучение раздела №4 дисциплины «Сварочное производство».

Выполнение домашнего задания по темам:

- Сущность и классификация сварки;
- Виды сварных соединений и швов;
- Электрическая дуга и ее свойства;
- Дуговая сварка;
- Газовая сварка и резка;
- Контактная сварка.

4.2. Оформление, подготовка и защита отчетов по лабораторным работам № 8-10.