

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

Н.М. Романченко

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Часть II. Технология конструкционных материалов

Рекомендовано учебно-методическим советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» для внутривузовского использования в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 35.03.06 – Агроинженерия, 15.03.02 – Технологические машины и оборудование, 21.03.02 – Землеустройство и кадастры

Электронное издание

Красноярск 2021

ББК 34.1

Р 53

Рецензенты:

Ф.М. Носков, д-р техн. наук, профессор кафедры материаловедения и технологии обработки материалов Политехнического института Сибирского федерального университета

Н.В. Петровский, канд. техн. наук, доцент, мастер производственного обучения КГБ ПОУ «Красноярский аграрный техникум»

Р 53 **Романченко, Н. М.**

Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Часть II. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.М. Романченко; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2021. – 267 с.

Учебное пособие содержит основные теоретические сведения и методические указания по выполнению лабораторных работ и индивидуального расчетного задания по разделу «Технология конструкционных материалов» дисциплины «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». Для проверки полученных знаний предложены контрольные тестовые задания.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 35.03.06 – Агроинженерия, 15.03.02 – Технологические машины и оборудование и 21.03.02 – Землеустройство и кадастры.

ББК 34.1

© Романченко Н.М., 2021

© ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2021

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие предназначено для изучения второй части дисциплины «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» (а именно «Технология конструкционных материалов», раздел «Горячая обработка металлов») студентами, обучающимися по направлению 35.03.06 – Агроинженерия (профили «Технические системы в агробизнесе», «Электрооборудование и электротехнологии в АПК») Института инженерных систем и энергетики Красноярского государственного аграрного университета. Материал пособия может быть использован также студентами направлений 21.03.02 – Землеустройство и кадастры Института землеустройства, кадастров и природообустройства и 15.03.02 – Технологические машины и оборудование Института пищевых производств.

Дисциплина «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» относится к обязательной части блока 1 подготовки студентов по направлению подготовки 35.03.06.

Материаловедение и технология конструкционных материалов является наукой о строении, свойствах и технологии создания материалов. Эта область знаний относится к числу основополагающих инженерных дисциплин, поскольку изготовление традиционных и разработка новых материалов, изучение их свойств и способы их обработки являются основой современного производства.

Достаточный уровень знаний в области материаловедения и технологии материалов является важным показателем образованности специалистов в области агроинженерии.

Дисциплина нацелена на формирование общепрофессиональных компетенций выпускника:

- ОПК-1 – способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических и естественных наук с применением информационно-коммуникационных технологий;

- ОПК-4 – способен реализовывать современные технологии и обосновывать их применение в профессиональной деятельности.

В результате изучения второй части курса «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» студент должен

- знать: технологии формообразования и обработки заготовок для изготовления деталей заданной формы и качества, их технологические особенности;

- уметь: выбирать рациональные технологии получения заготовок исходя из заданных эксплуатационных свойств;
- владеть: методикой выбора технологий изготовления элементов машин и механизмов, используемых в сельскохозяйственном машиностроении.

В предлагаемом учебном пособии представлен основной теоретический материал, расчетная и лабораторные работы по дисциплине «Технология конструкционных материалов».

При изучении раздела «Горячая обработка металлов» предусмотрено знакомство с оборудованием и материалами, применяемыми в металлургии, литейном, сварочном производствах, обработке металлов давлением, а также приобретение студентами навыков обработки и оформления полученных данных.

Отдельная глава посвящена металлургическому производству. В ней описаны методы получения черных и цветных металлов и сплавов, наиболее широко применяемых в сельскохозяйственном машиностроении.

В пособии приведены методические указания по выполнению индивидуального расчетного задания по проектированию технологического процесса ручной дуговой сварки.

Для проверки полученных знаний по каждой из глав предложены контрольные вопросы и образцы тестовых заданий для текущего контроля по всем разделам дисциплины.

ГЛАВА I. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ТЕМА 1. ПОЛУЧЕНИЕ ЧУГУНА

Металлургическое производство (МП) возникло на заре развития человеческого общества. Такие металлы, как железо, медь, серебро, золото, свинец, олово, находили широкое применение еще до нашей эры.

Современное производство черных металлов представляет собой комплекс следующих промышленных предприятий:

- шахты по добыче руд и каменных углей;
- горно-обогатительные комбинаты;
- коксохимические заводы;
- энергетические цехи для получения кислорода, сжатого воздуха (дутья) и очистки газов;
- доменные цехи для выплавки чугуна; заводы ферросплавов;
- сталеплавильные цехи (конвертерные, мартеновские, электросталеплавильные);
- прокатные цехи.

Современное металлургическое производство основано на глубоких теоретических исследованиях, на крупных открытиях, сделанных в разных странах мира, и на богатом практическом опыте.

Всемирную известность в области металлургии получили такие российские ученые, как П.П. Аносов, Д.К. Чернов, А.А. Байков, И.П. Бардин, А.А. Бочвар, Н.С. Курнаков и др.

Среди зарубежных ученых необходимо отметить Ф. Осмонда, А. Ле Шателье (Франция), У. Робертса-Остена (Англия), Э.К. Баррета (США), Э. Мартенса (Германия) и др.

К исходным продуктам металлургического производства относятся так называемые сырые материалы, являющиеся полезными ископаемыми (добываются в шахтах).

К сырым материалам МП прежде всего относятся: руды, топливо и флюсы.

Руда – это горная порода или минеральное вещество, из которого при данном уровне развития техники экономически целесообразно извлекать металлы или их соединения. Целесообразность определяется прежде всего концентрацией металлов в минералах (рудах).

Браковочный предел (%) различен даже для одного и того же металла: Fe = 20...60; Cu = 1...3; Ni = 0,3...1,0; Mo = 0,005...0,020, то

есть железную руду целесообразно перерабатывать с содержанием железа не менее 20 %, а молибден целесообразно извлекать из руды с содержанием металла всего лишь 0,005 %.

1.1. Подготовка руды к доменной плавке

В доменную печь загружают не сырые исходные материалы (руды и уголь), а шихту, состоящую из двух компонентов: офлюсованного железорудного концентрата и кокса.

Подготовка железной руды заключается в сортировке, дроблении, обогащении, окусковании и усреднении. Эти подготовительные операции проводятся на горно-обогатительных комбинатах с использованием специальной технологии и сложного оборудования.

Крупность отдельных кусков руды достигает 1000...1200 мм. Для доменной плавки размер кусков должен находиться в пределах 40...100 мм, для агломерации 6...10 мм, а для обогащения и того меньше (до 0,1 мм).

Дробление руды может быть выполнено следующими способами, схематически показанными на рисунке 1.

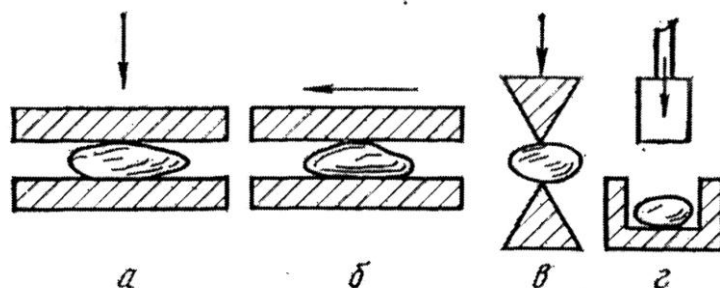


Рисунок 1 – Схематическое изображение основных способов дробления:
а – раздавливание; б – истирание; в – раскалывание; г – удар

На основе этих способов сконструированы сложные механизмы: щековая дробилка, конусная дробилка, шаровая мельница, стержневая мельница и др.

Дробление может быть основной операцией или подготовительной (для обогащаемых руд).

Под *обогащением* руд понимают процесс обработки с целью повышения содержания полезного компонента и снижения содержания вредных примесей путем отделения рудного минерала от пустой породы.

Все применяемые на практике способы обогащения руд в большинстве случаев являются по существу механической обработкой. Наиболее распространенными способами являются: промывка, флотация, гравитационное обогащение, магнитное обогащение.

Пустая порода в железных рудах состоит в основном из окислов SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , которые находятся в различных соединениях.

Для доменной плавки желательно, чтобы соотношение

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} \approx 1. \quad (1)$$

Такая руда называется самоплавкой и не требует добавления флюсов, что бывает очень редко. Чаще всего это соотношение меньше 1, то есть пустая порода является кислой и требует добавки флюсов.

Флюсы – это вещества, которые вводят в доменную печь для перевода пустой породы рудного концентрата и золы кокса в *шлак* требуемого химического состава и обладающего определенными свойствами (низкая температура плавления и жидкотекучесть). Температура плавления шлака находится в пределах 1450...1600 °С.

В качестве флюса в основном используется известняк CaCO_3 или доломитизированный известняк ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$).

Кроме таких операций, как дробление и обогащение, подготовка к доменной плавке включает в себя усреднение и окускование.

Усреднение имеет важное значение. Неоднородность химического и гранулометрического состава шихты крайне отрицательно влияет на показатели работы доменных печей.

Особо важное значение имеет постоянство содержания железа. При подготовке шихты рекомендуется следить, чтобы отклонения по содержанию железа в загружаемых порциях не превышало + 0,5 % от среднего его содержания.

Окускование – это процесс превращения мелких железорудных материалов в кусковые материалы необходимых размеров.

Для подготовки руды к доменной плавке широко применяют два способа окускования: агломерацию и окатывание.

Агломерация – процесс окускования измельченной руды, обогащенного концентрата и колошниковой пыли *спеканием* в результате сжигания топлива в слое спекаемого материала или подвода высокотемпературного тепла извне. В спекаемый материал добавляется флюс, в процессе агломерации выгорает сера, удаляется мышьяк (но

не фосфор), и в результате агломерации получается пористый офлюсованный концентрат.

Процесс получения *окатышей* состоит из трех стадий:

- получение сырых окатышей;
- упрочнение полученных окатышей (подсушка при 300...600 °С);
- обжиг при температуре 1200...1350 °С.

1.2. Устройство и работа доменной печи

Внутреннее очертание вертикального разреза доменной печи называют ее *профилем*. Доменная печь представляет собой шахтную печь круглого сечения (рис. 2).

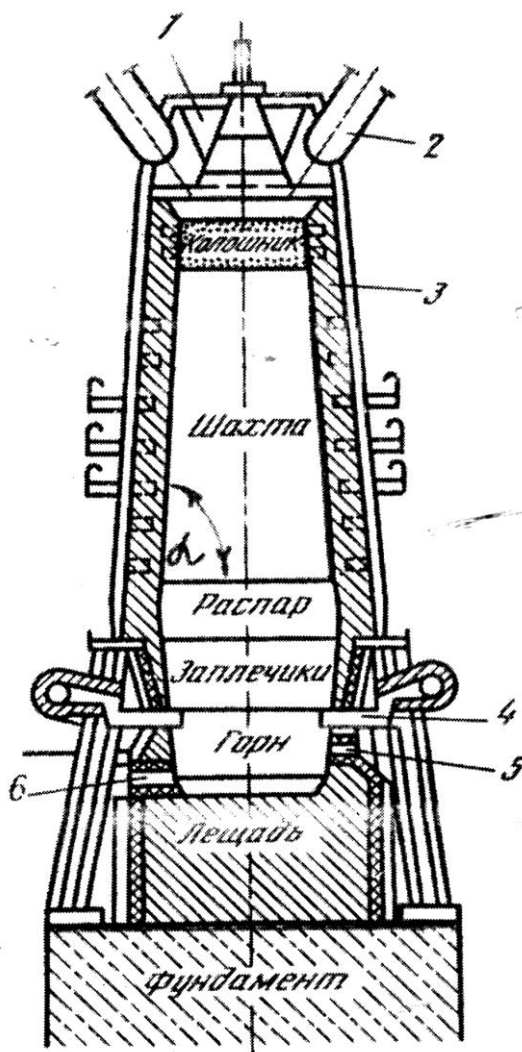


Рисунок 2 – Схема доменной печи шахтного типа:

- 1 – засыпной аппарат; 2 – газотводы; 3 – огнеупорный материал; 4 – фурмы;
5 – шлаковая летка; 6 – чугунная летка

Доменная печь снаружи заключена в металлический кожух толщиной 20...25 мм в верхней части и 35...40 мм в нижней, состоящей из ряда цилиндрических и конических поясов. Кожух выполняют цельносварным. С внутренней стороны кожуха находится огнеупорная футеровка, охлаждаемая специальным устройством. Толщина кладки до 2-х метров.

Колошник цилиндрической формы служит для загрузки печи шихтой, доменный (колошниковый) газ удаляется через газоотводы 2. Офлюсованный железорудный агломерат и кокс (шихта) подаются на колошник через засыпной аппарат 1.

Шахта печи представляет собой расширяющийся книзу конус, что обеспечивает свободное перемещение шихты сверху вниз по мере ее расплавления. В распаре шихта плавится, и объем ее уменьшается, в заплечиках образуется губчатое железо. Заплечики, имеющие форму усеченного конуса, сужаются книзу. Это необходимо для удержания шихты в распаре и шахте. Губчатое железо каплями стекает в горн, в процессе перемещения оно насыщается углеродом.

Цилиндрический горн состоит из двух зон: верхней (фурменной) и нижней (металлоприемник).

В верхней части горна расположены фурмы 4, в которые подается нагретый воздух (1200 °С), обогащенный кислородом (30 %). В фурмы может подаваться газообразное, жидкое или пылевидное топливо для экономии кокса.

Днище горна называется *лещадью*. На уровне лещади расположены чугунная летка 6, выше – шлаковая летка 5.

Лещадь опирается на фундамент, который состоит из двух частей – нижней подземной, называемой подошвой, и верхней, называемой пнем.

Подошву выполняют из бетона, а пень из жароупорного бетона. Фундамент делают в виде восьмиугольной плиты, толщиной около 4 метров. Угол наклона шахты в современных печах составляет 83...85°, а угол наклона заплечиков составляет 79...81°. Высота заплечиков составляет 3...3,5 м.

В нашей стране построены и работают три типа доменных печей с полным объемом 2000, 3000, 5000 м³.

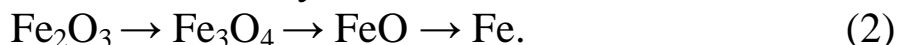
Полная высота этих печей (расстояние от оси чугунной летки до верха колошникового фланца) составляет соответственно 32, 34, 37 м.

В верхней части печи над колошником расположено загрузочное устройство 1. Шихту загружают в печь отдельными порциями – ко-

лошами. Обычно загрузка шихты производится послойно: слой агломерата, слой кокса и т.д.

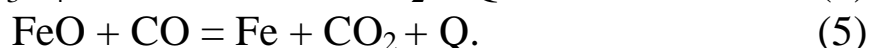
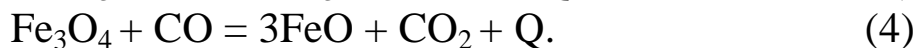
В доменной печи происходит встречное движение и взаимодействие двух потоков: сверху движется шихта, а снизу поток газов, образующихся в результате сгорания топлива в зоне фурм. Доменный процесс является восстановительным процессом. Его сущность заключается в восстановлении железа из окислов с последующим его науглероживанием.

Восстановление окислов идет ступенчато по схеме



Главную роль в восстановлении железа из окислов играет окись углерода (CO).

Восстановление окислов железа окисью углерода протекает при температуре 570 °С по следующим реакциям:



Основными технико-экономическими показателями доменной плавки являются: коэффициент использования полезного объема печи (КИПО) и удельный расход кокса (К):

$$\text{КИПО} = \frac{V}{P}, \quad (6)$$

где V – полезный объем печи, м³;

P – суточная производительность печи, т.

Чем лучше работает печь, тем меньше показатель КИПО.

Удельный расход кокса определяется из соотношения

$$K = \frac{A}{P}, \quad (7)$$

где A – расход кокса за сутки.

Удельный расход кокса является важным показателем работы доменной печи, так как стоимость кокса составляет около 50 % стоимости чугуна.

Улучшение технико-экономических показателей работы доменных печей достигается путем усовершенствования их конструкции, увеличения полезного объема, лучшей подготовки шихтовых материалов.

Главной продукцией доменного производства являются чугуны. Чугуны разделяются на передельные, литейные и специальные.

Передельные чугуны предназначены в основном для сталеплавильного производства. Содержание углерода в этих чугунах составляет 4,0...4,4 %.

Литейные чугуны используют на машиностроительных заводах при производстве фасонных отливок. Это обычные чугуны (маркировка Л) и рафинированные магнием (ЛР), они содержат кремний в пределах 2,75...3,25 %.

Специальные чугуны, или ферросплавы, применяются для раскисления и легирования сталей. К ним относятся сплавы железа с кремнием, марганцем и хромом.

Побочными продуктами доменной плавки являются *шлак и колошниковый газ*. Из шлака изготавливают шлаковату, цемент, кирпичи. Колошниковый газ после очистки используют как топливо для воздухонагревателей доменных печей.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение доменной печи?
2. Что такое шихта?
3. Какие химические процессы происходят в доменной печи?
4. Что такое кокс?
5. Как получают кокс?
6. Что такое обогащение руды?
7. В чем заключается агломерация и окатывание руды?
8. Каково назначение передельного чугуна?
9. Каково назначение литейного чугуна?
10. Что такое ферросплавы?
11. Для чего предназначены ферросплавы?

ТЕМА 2. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ

Исходными материалами для получения стали служит передельный чугун, стальной лом и ферросплавы.

Сталь отличается от чугуна меньшим содержанием углерода, кремния, марганца, примесей серы и фосфора.

Поэтому основная задача передела чугуна в сталь состоит в снижении содержания углерода и других элементов с помощью окислительных процессов, протекающих в сталеплавильных агрегатах.

В настоящее время сталь получают в *кислородных конвертерах, мартеновских и электрических печах*.

В основе конвертерных процессов лежит обработка жидкого чугуна газообразными окислителями без подвода извне дополнительного тепла. Процесс выплавки стали осуществляется только за счет химической теплоты экзотермической реакции окисления примесей с учетом физической теплоты жидкого чугуна. Продувка чугуна кислородом производится сверху или через днище в специальных агрегатах-конвертерах. В настоящее время объем выплавляемой кислородно-конвертерной стали составляет 35 % от общего объема ее производства.

Мартеновская печь является пламенной регенеративной печью. В рабочем пространстве печи сжигается газообразное или жидкое топливо. Необходимая высокая температура для получения стали в жидком состоянии обеспечивается за счет регенерации тепла отходящих газов.

После расплавления шихты начинается кипение ванны, в процессе которого интенсивно окисляется углерод. В момент, когда содержание углерода достигает заданного значения, а количество серы и фосфора уменьшается до минимума, кипение прекращают и начинают раскисление стали ферромарганцем, ферросилицием и алюминием.

В отечественной металлургии происходит постепенное вытеснение мартеновского процесса кислородно-конвертерным и электросталеплавильным.

Электросталеплавильный процесс является более совершенным, чем кислородно-конвертерный и мартеновский, поэтому он находит все большее применение. Этот способ производства стали был изобретен на Красноярском заводе «Сибэлектросталь».

По сравнению с другими плавильными агрегатами электропечи обладают рядом преимуществ: способностью быстрого нагрева и поддержания заданной температуры в пределах до 2000 °С, возможностью создания окислительной, восстановительной или нейтральной атмосферы, а также вакуума. В электрических печах выплавляют высококачественные конструкционные, инструментальные, коррозионноустойчивые, жаростойкие и другие специальные стали и сплавы.

Для выплавки стали применяют дуговые и индукционные электрические печи. Емкость наиболее широко применяемых дуговых печей колеблется в пределах от 0,5 до 360 т. Печи средней и большей емкости обычно используют на металлургических заводах для получения слитков, а печи малой емкости – на машиностроительных предприятиях для получения стальных отливок.

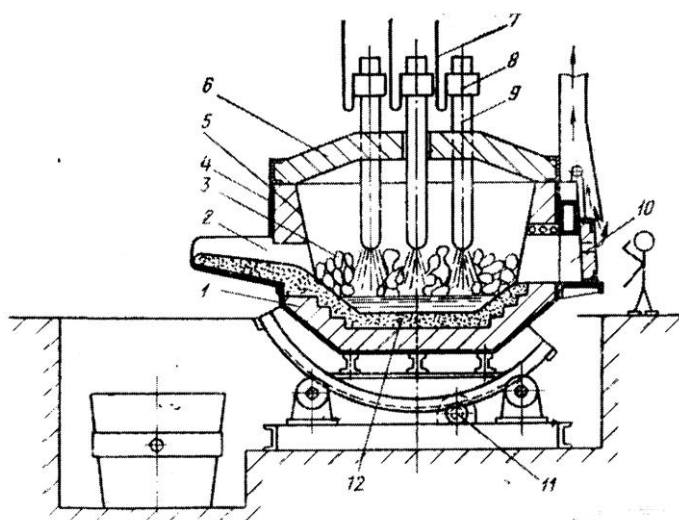


Рисунок 3 – Схема электрической дуговой плавильной печи

Дуговая плавильная электропечь (рис. 3) питается трехфазным переменным током и имеет три цилиндрических электрода 9 из графитизированной массы. Электрический ток от трансформатора онстями 7 подводится к электродвигателям, а через них – к электродам 9 и ванне металла. Между электродами и металлической шихтой 3 возникает электрическая дуга, которая является источником тепла. На электроды подается ток напряжением 200...600 В и силой тока 1...10 кА. Во время работы печи длина дуги регулируется автоматически вертикальным перемещением электродов. Стальной кожух 4 печи футерован огнеупорным кирпичом 1 (кислым или основным). Подину 12 печи набивают огнеупорной массой. Плавильное пространство ограничено стенками 5, подиной 12 и сводом 6 из огнеупорного кирпича. Для управления ходом плавки имеются рабочее окно 10 и летка для выпуска готовой стали по желобу 2 в ковш.

Печь загружают при снятом своде (есть конструкции печей с поворотным сводом). Механизмом 11 печь может наклоняться в сторону загрузочного окна и летки.

Обычно для плавки стали в дуговых электрических печах применяют шихтовые материалы в твердом состоянии. Шихта состоит из стального лома, чугуна, железной руды, флюсов, ферросплавов. В качестве флюсов в основных печах применяют известь, в кислых печах – кварцевый песок.

В процессе плавки берут пробы металла и шлака, доводят сталь до заданного химического состава. Для полного раскисления стали в конце плавки добавляют алюминий и ферросилиций. При выплавке легированных сталей вводят легирующие добавки.

С целью интенсификации процесса плавки в электродуговых печах сталь продувают кислородом для окисления примесей, что позволяет повысить производительность печей на 20...30 %. Основными технико-экономическими показателями работы дуговых электропечей являются производительность и себестоимость слитков.

Контрольные вопросы

1. Каков принцип работы кислородного конвертера?
2. Поясните назначение фурмы в кислородном конвертере.
3. Каковы основные преимущества конвертерного производства по сравнению с мартеновским?
4. Перечислите исходные материалы, применяемые для выплавки стали в мартеновских печах.
5. Какой минерал используется в качестве флюса в мартеновском производстве?
6. Какая операция производится для ускорения процесса плавления в мартеновской печи?
7. Каково преимущество выплавки стали в электропечах?
8. Назовите основные виды электропечей.
9. Что является источником тепла в дуговых электропечах?
10. Что является источником тепла в электроиндукционных печах?

ТЕМА 3. ПОЛУЧЕНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

В сельскохозяйственном машиностроении и ремонтном производстве наибольшее применение среди цветных сплавов находят сплавы на основе меди и алюминия. Поэтому рассмотрим общие понятия технологии получения этих металлов.

3.1. Получение меди

Для получения меди применяют медные руды, а также отходы меди и ее сплавов (лом).

В рудах медь обычно находится в виде сернистых соединений, окислов или гидрокарбонатов.

Наибольшее промышленное применение имеют сульфидные руды (CuFeS_2 ; Cu_2S ; CuS), которые содержат 1...6 % меди. Горную породу, содержащую меньше 0,5 % Cu , не перерабатывают, так как при современном уровне техники и технологии извлечение из нее меди

нерентабельно. В небольших количествах встречаются так называемые самородные руды, в которых медь находится в свободном состоянии.

Большинство медных руд обогащают способом флотации. *Флотация* основана на всплывании в растворе медьсодержащих частиц руды. Флотирующиеся минералы под влиянием химических реагентов приобретают способность не смачиваться водой и, прилипая к проходящим пузырькам воздуха, поднимаются с ними вверх в виде пены. В дальнейшем всплывшие частицы собирают, сушат и получают концентрат, содержащий 20...30 % меди.

Известны два способа извлечения меди из руд и концентратов: пирометаллургический и гидрометаллургический, который не нашел широкого применения. Пирометаллургический способ пригоден для переработки всех руд и особенно эффективен в том случае, когда руды подвергают обогащению.

Производство меди состоит из следующих основных стадий:

- обжиг руд и концентратов;
- получение медного штейна;
- получение черновой меди;
- рафинирование меди.

Цель обжига заключается в максимальном снижении содержания серы в руде.

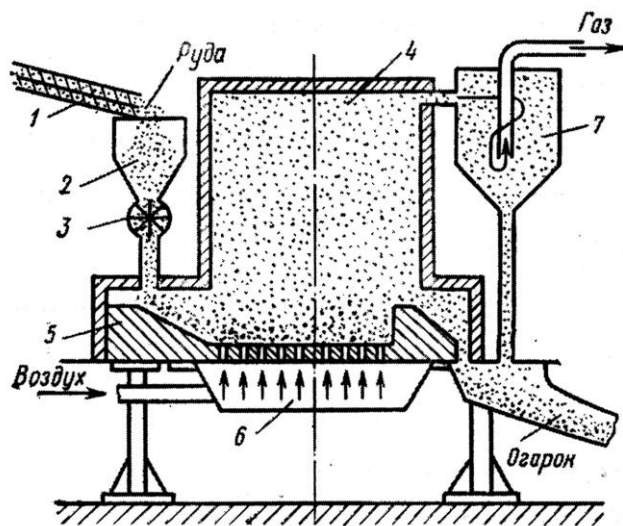


Рисунок 4 – Схема печи для обжига руды в «кипящем слое»

При обжиге в «кипящем слое» (рис. 4) измельченную руду или концентрат подают транспортером 1 в бункер 2, откуда через дозатор 3 материал поступает в камеру 4, имеющую в дне 5 отверстия (фур-

мы), через которые вдувается воздух, поступающий из пробки 6. Температура в печи поддерживается в интервале 750...800 °С.

При подаче воздуха порошкообразный концентрат интенсивно перемешивается – «кипит», при этом зерна удерживаются во взвешенном состоянии. Это способствует более интенсивному процессу окисления (горения) серы. Образовавшиеся сернистые газы из констры 4 поступают в пылеулавливатель 7 и оттуда после очистки направляются для получения серной кислоты.

При обжиге медных руд и концентратов удаляется до 50 % серы.

Обожженные концентраты или руды, называемые огарком, поступают на плавку для получения медного штейна. Для плавки применяются отражательные печи (рис. 5).

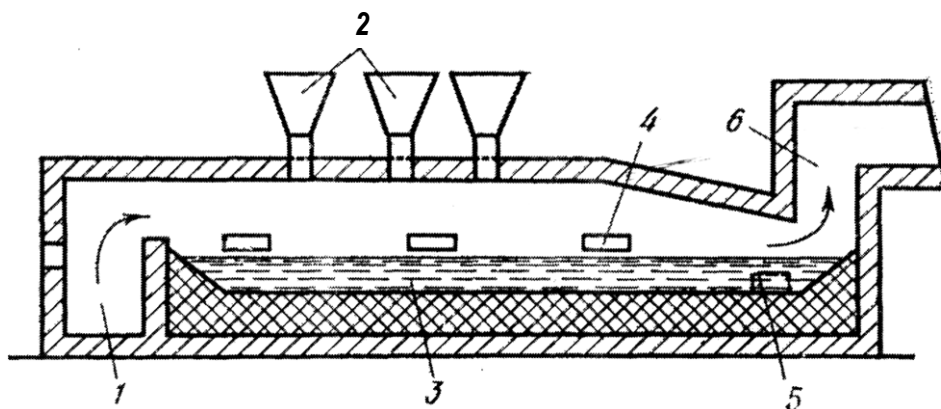


Рисунок 5 – Схема отражательной печи

Печи изготавливают длиной 30...35 м, шириной 8...11 м, высотой от пода до свода 3,5...4,5 м. Стены выкладывают из динасового кирпича, а свод – из динаса или магнезитового кирпича.

Мелкий шихтовый материал загружается в рабочее пространство через воронки 2 в своде. Печи отапливаются каменноугольной пылью, мазутом и природным газом. Камера сгорания топлива 1 расположена с одного конца печи, а дымовые газы удаляются с другого конца, через дымоход 6.

Температура газов в наиболее горячей зоне у передней стенки достигает 1500...1600 °С, а на выходе в хвостовой части печи снижается до 1220...1280 °С.

Температура в рабочей части печи достаточно высокая, чтобы обеспечить расплавление шихты и поддерживать шлак и штейн в жидком состоянии. Расплавленная масса разделяется в ванне 3 по

удельному весу на два слоя: внизу располагается сплав сульфидов, называемый штейном, а сверху сплав окислов – шлак. Шлак и штейн периодически выпускают из печи по мере их накопления через специальные отверстия – летки 4 и 5.

Благородные металлы (золото и серебро) почти полностью переходят в штейн.

Основная масса (80...90 %) полученного штейна состоит из сульфидов меди и железа. Остальная часть представляет собой окислы различных металлов.

Производительность отражательных печей исчисляется в тоннах проплавленной шихты в сутки, или в тоннах, отнесенных к одному квадратному метру площади пода. В этом случае применяется термин «удельный проплав», который в современных отражательных печах составляет от 2 до 6 т / м².

В расплавленном состоянии штейн, имеющий температуру плавления 900...1150 °С, поступает в конвертер (рис. 6) для переработки в черновую медь.

Конвертер имеет горизонтальный цилиндрический сварной кожух, футерованный изнутри магнезитовым кирпичом.

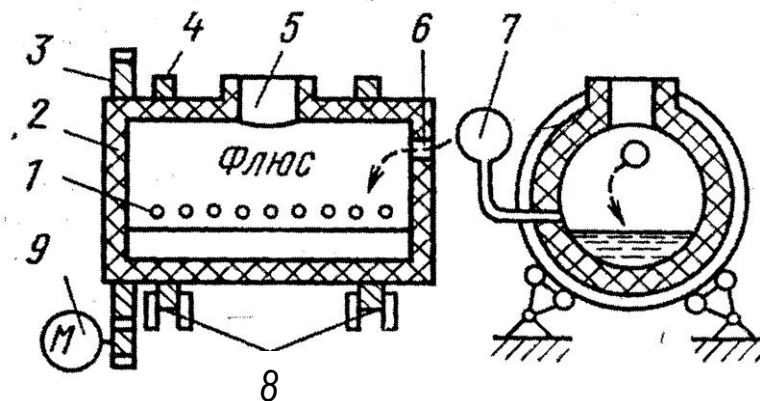


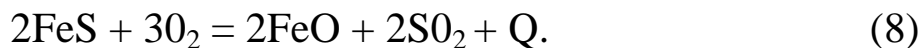
Рисунок 6 – Медеплавильный конвертер:

1 – фурмы воздушного дутья; 2 – футерованный кожух; 3 – зубчатая передача; 4 – обод; 5 – горловина для заливки штейна; 6 – отверстие для загрузки флюса; 7 – воздухопровод; 8 – опорные ролики; 9 – электродвигатель с редуктором

Расплавленный штейн заливают в конвертер через горловину. Конвертер установлен на опорных роликах и с помощью зубчатого венца может поворачиваться в заданное положение. Через 40-50 фурм, расположенных в огнеупорной кладке по образующей конвертера, под давлением подается воздух. На поверхность штейна загру-

жают кварцевый песок для шлакования образующихся при продувке оксидов железа. Процесс продувки воздухом, длящийся в общей сложности 30 часов, делится на два периода.

Первый период состоит в окислении сульфидов железа кислородом воздушного дутья:



Образующаяся закись железа взаимодействует с кремнеземом флюса и переходит в шлак:



Сернистый газ направляется на производство серной кислоты. Конвертерный шлак в конце первого периода сливают в ковш и направляют на повторную переработку в отражательные печи для извлечения меди. Оставшийся штейн приобретает белый цвет и состоит в основном из сульфидов меди Cu_2S . Содержание меди в белом штейне составляет около 80 %.

Обе реакции проходят с выделением тепла, и ванна разогревается до 1250...1300 °С. После скачивания шлака наступает второй период, во время которого расплавленный белый штейн продувают воздухом и получают черновую медь:

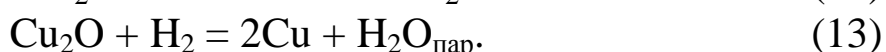
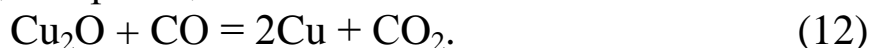


Черновая медь содержит до 2 % примесей железа, серы, цинка, никеля, свинца и др. Ее разливают в слитки и отправляют на рафинирование.

Рафинирование черновой меди проводят огневым и электрическими способами.

При огневом рафинировании черновую медь загружают в пламенные печи и после расплавления продувают воздухом через футерованные стальные трубы для окисления растворенных примесей (при этом окисляется и часть меди).

Период окисления примесей длится около 3 ч, после чего продувку прекращают и производят так называемое «дрознение» на плотность. Для этого после удаления шлака в металл погружают сырые березовые или сосновые жерди, в результате чего происходит бурное выделение паров и газов, металл хорошо перемешивается, а образующиеся при этом водяной пар и продукты сухой перегонки раскисляют закись меди по реакции:



В результате «дразнения» содержание в меди Cu_2O снижается с 1...12 % до 0,3...5 %. Готовую медь с содержанием 99,5...99,7 % Cu выпускают из печи и разливают на анодные плиты (для электролиза) или на слитки (для производства сплавов).

Электролитическое рафинирование применяют для получения меди чистотой до 99,95...99,98 %. Электролиз проводят в специальных ваннах, футерованных кислотостойкими материалами. Анодами служат пластины из черновой меди, прошедшей огневое рафинирование, катодами – листы толщиной 0,5 мм из чистой меди, электролитом – 15 %-й раствор медного купороса и серной кислоты.

При прохождении тока напряжением 2-3 В и плотностью 100...400 A/m^2 анод растворяется, медь переходит в раствор в виде катионов, которые затем разряжаются на катодах и откладываются слоем чистой меди. При этом примеси осаждаются на дно ванны в виде шлама. Иногда в шламе содержится до 35 % серебра, 6 % селена, 1 % золота и другие ценные элементы. Поэтому шламы обычно перерабатывают с целью извлечения благородных металлов.

За 10-12 дней на катоде отлагается до 200 кг меди. Катодную массу выгружают из ванны, промывают, переплавляют в плавильных печах, разливают в слитки и отправляют для проката на лист, трубы и проволоку, а также для выплавки сплавов меди – латуней и бронз.

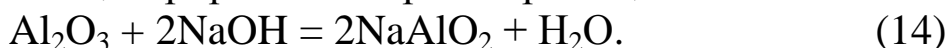
3.2. Получение алюминия

Алюминиевыми рудами являются бокситы, нефелины, алуниты, каолины. Алюминий в рудах содержится в виде минералов – глинозема Al_2O_3 или гидроксидов $\text{Al}_2(\text{OH})_3$ и $\text{Al}(\text{OH})$. Наиболее распространенной рудой в алюминиевом производстве являются бокситы.

Технологический процесс получения алюминия состоит из трех основных стадий:

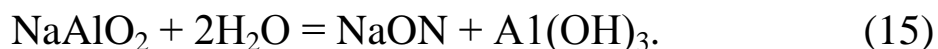
1. Получение глинозема Al_2O_3 из руд.
2. Получение алюминия из глинозема.
3. Рафинирование алюминия.

Глинозем получают из бокситов путем их обработки щелочью. Для этого измельченную руду подвергают выщелачиванию – химическому разложению концентрированным раствором щелочи NaOH :



Выщелачивание производится в специальных автоклавах при температуре 150...200 °С и давлении около 12 атмосфер.

При этом хорошо растворяющийся алюминат натрия NaAlO_2 переходит в раствор, а примеси (оксиды железа, титана и др.) выпадают в осадок. Полученный алюминат натрия NaAlO_2 подвергают гидролизу:



В результате в осадок выпадают кристаллы гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$, который обезвоживают во вращающихся печах при температуре $1150 \dots 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ и получают обезвоженный глинозем Al_2O_3 .

Глинозем растворяют в криолите – фториде алюминия и натрия Na_3AlF_6 и подвергают электролизу в специальных ваннах (электролизерах). Кроме криолита и глинозема в электролит для понижения температуры плавления добавляют MgF_2 , CaF_2 и NaCl . Содержание этих добавок в электролиты не превышает 10 %.

В современном производстве применяются электролизеры (рис. 7) с самообжигающимся анодом.

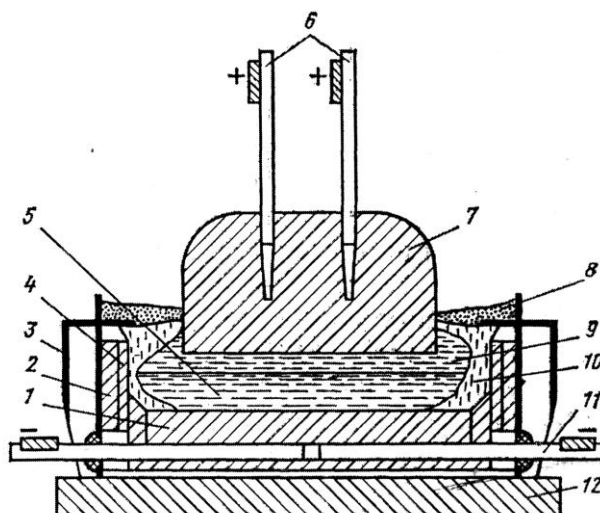


Рисунок 7 – Схема электролизера для производства алюминия:

1 – катодные угольные блоки; 2 – огнеупорная футеровка; 3 – стальной кожух; 4 – угольные плиты; 5 – жидкий алюминий; 6 – металлические стержни с шинами; 7 – угольный анод; 8 – глинозем; 9 – жидкий электролит; 10 – корка затвердевшего электролита; 11 – катодная теплоотводящая шина; 12 – фундамент

Электролиз осуществляют в алюминиевой ванне, которая имеет стальной кожух прямоугольной формы, а ее стены и подину изготавливают из угольных блоков, теплоизолированных шамотным кирпичом. В футеровку вмонтированы стальные катодные шины, благодаря чему угольный корпус ванны является катодом электролизера.

Анодами служат самообжигающиеся вертикально расположенные угольные электроды, погруженные в расплав. При электролизе аноды постепенно сгорают и перемещаются вниз. По мере сгорания они наращиваются сверху жидкой анодной массой, из которой при нагреве удаляются летучие вещества, и происходит ее коксование. При прохождении тока (4,0...4,5 В; 75...150 кА) электролит нагревается до рабочей температуры 930...950 °С. Глинозем, расходуемый в процессе электролиза, периодически загружается в ванну сверху. Благодаря охлаждению воздухом на поверхности образуется затвердевший слой электролита (гарнисаж), предохраняющий футеровку и теплоизолирующий ванну.

При высокой температуре глинозем Al_2O_3 , растворенный в электролите, диссоциирует на ионы алюминия и кислорода. На поверхности угольной подины, являющейся катодом, ионы алюминия восстанавливаются до металла. По мере уменьшения содержания глинозема в электролите его периодически загружают в ванну электролизера. Жидкий алюминий скапливается на подине электролизера и периодически выбирается с помощью вакуумных ковшей.

Кислородные ионы разряжаются на угольном аноде, окисляют анод, образуя CO и CO_2 , которые удаляются вентиляционными устройствами. Электролизные ванны соединяют последовательно в серии из 100-200 ванн.

На получение 1 т алюминия электролизом расходуется примерно 16000 кВт·ч электроэнергии и до 0,6 т угольных электродов.

Полученный алюминий содержит примеси железа, кремния, меди, глинозема и растворенный водород. Поэтому его подвергают рафинированию.

Рафинирование заключается в продувке жидкого металла хлором в течение 10...15 минут. Образующийся при этом парообразный хлористый алюминий $AlCl_3$ адсорбируется на поверхности оксидных примесей, и они всплывают в виде шлака. Хлор также удаляет растворенные газы.

После рафинирования и отстаивания в течение 30...45 мин чистота алюминия достигает 99,5...99,85 %. Если к алюминию предъявляются более высокие требования по чистоте, его подвергают электролитическому рафинированию. Такой алюминий обладает чистотой до 99,996 %.

Контрольные вопросы

1. Назовите максимальную концентрацию меди в медных рудах.
2. Какие рудные минералы используются для получения меди?
3. Как называется основной способ извлечения меди из руд и концентратов?
4. Что является основой пирометаллургического способа производства меди?
5. Что такое медный штейн?
6. Каким способом получают черновую медь из медного штейна?
7. Назовите способы рафинирования меди.
8. Назовите основные руды для производства алюминия.
9. Какие основные производственные процессы применяются при получении алюминия из руд?
10. Какова сущность рафинирования алюминия?
11. Какова чистота алюминия после электролитического очистки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРОДУКТЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Цель работы: по имеющимся в лаборатории наборам минералов, других образцов и сведениям о них ознакомиться с основными материалами и продуктами металлургического и литейного производств.

ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Изучить литературу по исходным материалам и продуктам металлургического и литейного производств.
2. Получить у преподавателя образцы минералов и материалов.
3. По сведениям, имеющимся в методических указаниях к лабораторной работе и в таблицах 2-11, изучить химический состав, свойства и назначение полученных материалов в производстве чугуна, стали, меди, алюминия, магния и титана. Сведения по химическому составу, свойствам и применению занести в графы 2, 4, 5 таблицы 1.

Таблица 1 – Результаты исследований

Наименование минерала или материала	Химический состав	Внешняя характеристика	Свойства	Применение
1	2	3	4	5

4. Изучить образцы по внешнему виду и описать их в графе 3 таблицы 1 (указать цвет материала, вид излома, пористость, плотность). При изучении обратить внимание на наиболее характерные отличительные признаки образцов.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Металлургия – наука о промышленных способах получения металлов и металлических сплавов.

Для производства черных и цветных металлов используют различные сырые материалы, являющиеся полезными ископаемыми, или специально приготовленные материалы, а также отходы металлургического производства.

К сырым материалам металлургического производства прежде всего относят *руды, топливо и флюсы*.

Так как металлы и их сплавы получают в большинстве случаев при высоких температурах, большое значение имеет знание состава и свойств *огнеупорных материалов*.

РУДЫ

Термодинамически все материалы в природных условиях неустойчивы и находятся в виде оксидов, сернистых, углекислых и других химических соединениях, входящих в состав различных минералов (горных пород). Исключение составляют термодинамически устойчивые золото, платина, серебро, иногда медь, встречающиеся в виде самородных металлов.

Руда представляет собой полезное ископаемое, добываемое из недр земли. Это горная порода или минеральное вещество, из которого при данном уровне развития техники экономически целесообразно извлекать металлы или их соединения. Руда состоит из рудного минерала, содержащего металл, и пустой породы. Пустая порода обычно включает в себя кремнезем (SiO_2), глинозем (Al_2O_3), окись кальция (CaO) и окись магния в различных соотношениях.

В современном металлургическом производстве практически вся добываемая руда до плавки подвергается предварительной подготовке – дроблению и обогащению. Целью обогащения является повышение содержания полезного компонента и снижение содержания вредных примесей путем отделения рудного минерала от пустой породы или отделения одного ценного минерала от другого. В результате обогащения получают готовый продукт – концентрат, более богатый по содержанию определенного металла, чем исходная руда, и остаточный продукт – хвосты, более бедный, чем исходная руда.

Железные руды

Железо обладает сравнительно большим сродством к кислороду и в силу этого в земной коре не обнаруживается в чистом виде, а находится главным образом в соединениях с кислородом и двуокисью углерода.

На практике приходится иметь дело с магнитной окисью железа Fe_3O_4 , безводной окисью железа Fe_2O_3 и водной окисью железа $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ с различным количеством адсорбированной воды. Реже встречаются соединения железа с двуокисью углерода – карбонат железа $FeCO_3$.

Пустая порода железных руд обычно состоит из кварца и песчаников с примесью глины. Кроме того, в рудах всегда присутствуют различные примеси, которые в зависимости от вида плавки могут быть полезными и вредными – сера, фосфор, цинк, мышьяк, никель, хром, медь, ванадий и титан.

До 80 % всей перерабатываемой железной руды в настоящее время обогащают методом магнитной сепарации. Это позволяет повысить содержание железа в концентрате до 69 %. Обязательными операциями подготовки руды к плавке являются агломерация и окатывание.

Разнообразие видов руд, отличающихся по содержанию железа, минералогическому составу окислов железа и пустой породы, плотности, температурам превращения, определяет отличие физико-химических и теплофизических свойств руд (таблица 2).

Россия обладает огромными ресурсами железорудного сырья. Из месторождений нашего и соседних регионов можно выделить Ангаро-Питское (Красноярский край), Хакасское (город Абаза), Горно-Шорийское (Алтайский край), Коршуновское (Иркутская область).

Таблица 2 – Характеристики важнейших рудных минералов железа

Наименование руд	Рудный минерал	Формула	Содержание Fe, % (по массе)	Плотность · 10 ³ , кг/м ³	Удельная теплоемкость, Дж/ г · К	Теплопроводность, Вт / м · К	Т _{пл.} , °С
Магнетитовые	Магнетит	Fe ₃ O ₄	55...65	5,2	0,6	4,7...5,28	1538
Гематитовые	Гематит	Fe ₂ O ₃	50...60	5,3	0,6	11,2...13,9	1565
Бурые железняки	Лимонит	Fe ₂ O ₃ · H ₂ O	30...50	4,0...4,6	-	-	-
Шпатовые	Сидерит	FeCO ₃	30...40	3,9	0,7...0,8	3,0	1550
Прочие	Пирит	FeS ₂	47,7	5,1	0,5	23...38	1550

Марганцевые руды

Марганцевые руды служат добавкой, которую вводят в чугун для увеличения его твердости, вязкости и уменьшения вредного влияния серы. Кроме того, марганец в виде ферросплавов вводят в сталь в качестве раскислителя и легирующей добавки. В рудах преобладают кислородные соединения марганца: закись (MnO), закись-окись (Mn₃O₄), окись Mn₂O₃, двуокись (или перекись) (MnO₂).

Основные марганцевые минералы и величины их плотности приводятся ниже (кг/м³):

Манганозит (MnO)	5300
Пиролюзит (MnO ₂)	4800
Браунит (Mn ₂ O ₃)	4800
Гаусманит (Mn ₃ O ₄)	4800
Манганит (Mn ₂ O ₃ · H ₂ O)	4300
Гауерит (MnS ₂)	3500
Родохрозит (MnCO ₃)	3500
Родонит (MnSiO ₃)	3550

Содержание марганца в марганцевых рудах составляет от 20 до 40 %. Пустая порода в основном состоит из кремнезема и глинозема. Добываемые марганцевые руды обычно подвергают промывке или гравитационно-магнитному обогащению с получением концентратов, содержащих 40...56 % Mn. В Красноярском крае марганцевые руды добывают на Мазульском месторождении.

Медные руды

Обычное содержание меди в рудах от 0,5 до 2,0 %, более богатые встречаются редко. Важнейшие минералы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Важнейшие медные минералы

Минерал	Формула	Плотность, кг/м ³	Твердость по Моосу
Борнит	Cu_5FeS_4	4900...5200	3
Медный блеск	Cu_2S	5500...5800	2,5...3
Ковеллин	CuS	4600	1,5...2
Халькопирит	CuFeS_2	4100...4300	3,5...4
Малахит	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$	3700...4100	3,5...4
Хризаколла	$\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2000...2200	2,4
Самородная медь	Cu	8900	-

Руды разделяют на сульфидные, окисленные и смешанные. Последние два вида в недрах встречаются редко. Сульфидные руды обогащают в основном способом флотации. Химический состав концентратов дан в таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав медных руд

Исходная руда	Содержание в концентрате, %						
	Cu	Zn	S	Fe	SiO_2	Al_2O_3	CaO
Медистые колчеданы	11...20	4...7	35...43	32...37	3...5	3...7	0,5...2
Медно-цинковые	11...15	2...7	30...35	25...30	3...5	3...7	0,5...2
Вкрапленники	20...25	-	30	25...27	5...10	5...8	0,5...2

Алюминиевые руды

По содержанию в земной коре алюминий занимает первое место среди металлов (7,45 %). Он входит в состав около 250 минералов, 40 % которых относится к алюмосиликатам.

Алюминиевой рудой называют горную породу с высоким содержанием оксида алюминия. Наибольшее значение для производства глинозема (Al_2O_3) имеют бокситы, нефелины, алуниты. Примерный состав этих руд приведен в таблице 5.

Наибольшее значение имеют бокситы. Алюминий в них находится в виде гидроксидов алюминия (гиббсита, бемита и др.), корунда и каолинита. Химический состав бокситов довольно сложен. Они часто содержат более 40 химических элементов. Важной характери-

стикой бокситов является отношение содержания в них Al_2O_3 к SiO_2 по массе – так называемый кремневый модуль. Минимальное значение модуля промышленных бокситов составляет 2,6.

Таблица 5 – Состав сырья для производства глинозема, % (по массе)

Виды сырья	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	(Na_2O+K_2O)	CaO	SO_3
Боксит	55,0	4,0	23,0	-	3,0	-
Боксит	60,0	1,6	11,0	-	4,0	-
Боксит	44,5	13,0	16,7	-	4,0	-
Нефелин	27,3	40,3	5,2	11,9	7,6	-
Нефелиновый концентрат	29,3	43,6	5,0	17,9	1,3	-
Алунит	21,2	40,5	5,1	3,8	-	20,1

Физические свойства бокситов очень разнообразны и непостоянны. Встречаются бокситы всевозможных цветов и оттенков – от белого до темно-коричневого. Плотность их колеблется от 1,2 до 3,5 г/см³, твердость бокситов варьируется от 2 до 7 (по Моосу).

Из учтенных мировых запасов бокситов – 64 млрд тонн – на Россию приходится только два процента, хотя наша страна сохраняет второе место после США по выплавке алюминия.

В Красноярском крае бокситы не добываются. Перспективной является Чадобецкая группа месторождений с разведанным запасом бокситов около 300 млн тонн, правда, невысокого качества. После внедрения новых технологий обогащения эти бокситы могут быть использованы в производстве огнеупоров, абразивов, цемента, химкоагулянта и т.д.

Нефелины – химическая формула $(Na,K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ – являются частью горной породы, называемой уртитом.

В нефелинах Al_2O_3 содержится сравнительно немного. Однако при их комплексной переработке на глинозем с извлечением щелочей и использованием отходов для получения цемента, соды и поташа нефелины экономически целесообразны.

Работающий в крае Ачинский глиноземный комбинат сейчас использует Кия-Шалтырское месторождение нефелиновых руд, которые перерабатываются без обогащения. В ближайшем будущем, после истощения Кия-Шалтырского месторождения, планируется

переход на нефелины Горячегогорского месторождения близ Шарыпова.

Сырье для получения магния

В настоящее время для получения магния используют следующие его соединения: магнезит, доломит, карналлит и бишофит.

Магнезит – углекислый магний $MgCO_3$. В магнезите содержатся примеси CaO и SiO_2 в виде кварца и талька, а также Al_2O_3 и Fe_2O_3 .

Доломит – горная порода, представляющая собой двойной карбонат кальция и магния $(Ca, Mg) CO_3$.

Доломиты обычно содержат примеси кварца, кальцита, гипса и т. д. Требования, предъявляемые к доломиту: отношение CaO к MgO должно быть не более 1,54; содержание щелочных металлов не более 0,3 %.

Карналлит – $(MgCl_2 \cdot 6H_2O \cdot KCl)$ – природный хлорид магния и калия – кристаллическое вещество, обычно окрашенное примесями в розовый цвет.

Бишофит $(MgCl_2 \cdot 6H_2O)$ получают при переработке естественного карналлита. Кроме того, неисчерпаемые запасы его находятся в морской воде, которая содержит в среднем в 1 кг воды 3,8 г $MgCl_2$, 1,7 г $MgSO_4$ и 0,1 г $MgBr_2$.

Сырье для получения титана

Известно более 80 минералов, содержащих титан. Больше всего его содержится в редко встречаемом рутиле TiO_2 и еще реже в бруктите и анатазе.

Первостепенное для металлургии значение имеет природный ильменит $FeTiO_3$. Плотность минерала колеблется в пределах 4000...5250 $кг/м^3$, а содержание титана в рудах 6...35 %. Месторождения бывают коренного типа и россыпи (пески).

Все больший интерес проявляют к титаногематитовым и титаномагнетитовым рудам с высоким содержанием Fe_2O_3 и Fe_3O_4 .

Руды и пески часто комплексны: помимо рутила и циркона $ZrSiO_4$ в них встречаются примеси V, Ta и Nb.

Пустая порода состоит из сложных силикатов железа и алюминия.

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО

Высокие температуры, необходимые для многих пирометаллургических процессов, достигаются сжиганием топлива. Топливо может быть твердым (уголь, торф, дрова, кокс), жидким (нефть, мазут, керосин, бензин), газообразным (природный газ, доменный газ, генераторный газ и другие горючие газы). В состав любого топлива входят горючие составляющие – углерод, водород, углеводороды (метан CH_4 и другие, описываемые в общем виде формулой C_nH_m), а также негорючие – минеральные вещества и влага.

Важнейшее свойство всех топлив – выделять тепло при горении. Это свойство называется *теплотворной способностью*. Она относится к единице массы или объема топлива и часто называется калорийностью. В таблице 6 приведены округленные данные, характеризующие отдельные виды топлива.

Каменный уголь

Каменный уголь имеет много разновидностей, различающихся содержанием свободного углерода, углеводородов, смолоподобных веществ – битумов и золы. Если нужны высокие температуры, каменный уголь сжигают в пылевидном состоянии. Для этого его дробят, размалывают, а затем сушат и вдувают в печь сжатым воздухом через особые горелки. Частицы угля быстро сгорают на лету, образуя факел.

Кокс

Кокс делают из особых сортов каменного угля, содержащих битумы. Уголь измельчают до крупности около 5 мм, увлажняют и загружают в камеры коксовых печей. Герметично закрытые камеры нагревают снаружи до $900 \dots 1000$ °С. В процессе коксования угольная масса размягчается, и из нее начинают выделяться газообразные продукты, а затем она спекается в пористую массу. При выделении газов в процессе коксования эта масса растрескивается и распадается на куски. Летучие вещества отводят в холодильники, где они конденсируются и образуют ценные химические продукты (смолы, бензин и др.). После этого остается горючий газ (коксовый). Процесс

коксования длится 14...16 часов. Затем кокс выталкивают из печи и тушат водой или инертными газами. Важными для доменной плавки показателями качества кокса являются зольность и содержание серы, которые должны быть минимальными. Сера – вредная примесь. В процессе плавки она может переходить в металл и ухудшать его свойства.

Теплотворная способность кокса около 27000 кДж/кг.

Коксовый газ, состоящий из водорода (50 %), метана (27 %) и других углеводородов, может служить хорошим топливом, теплотворная способность его около 18000 кДж/кг.

Мазут

Мазут – остаток от перегонки нефти, содержащий около 87 % углерода и 12 % водорода, прекрасное жидкое топливо с теплотворной способностью 40000...45000 кДж/кг.

Мазут, подогретый до 100 °С для снижения вязкости, разбрызгивают сжатым воздухом и вдувают в печь распылителем – форсункой. Мелкие капли его сгорают на лету, образуя факел.

Горючие газы

При доменной плавке часть кокса заменяют природным или доменным газом.

Природный газ. Сжигание природного газа производится с предварительной обработкой. Степень черноты газового факела небольшая, всего 0,2...0,4; поэтому излучение тепла к стенкам печи и нагреваемому металлу небольшое. Чтобы увеличить излучение, газовый факел подсвечивают, подавая в него некоторое количество мазута или угольной пыли.

Доменный или колошниковый газ. Образуется в горне доменной печи. При влажности дутья около 1 % он состоит примерно из 35 % CO; 64 % N₂ и 0,8 % H₂. По мере продвижения к колошнику состав газа меняется: CO становится меньше, а CO₂ – больше. Окись углерода расходуется на восстановление окислов железа.

Таблица 6 – Данные по топливу

Топливо	Марка	Химический состав, %	Выход летучих веществ, %	Зольность, %	Влажность, %	Низшая теплотворная способность, кДж/кг
1	2	3	4	5	6	7
Уголь бурый	БЗК	65...75 % С; 5...6 % Н ₂ ; до 5 % S; 17...20 % (O ₂ + N ₂)	До 43	До 20	20...30	10760...10800
Уголь каменный	К14	до 80 % С	18...27	10	8	21160
Уголь антрацит	А	до 98 % С	8	20	8	24240
Кокс каменноугольный литейный	КЛ 1 КЛ 2 КЛ 3	80...85 % С 0,4...0,7 % S	До 2,5	10...15	2...6	27300...29400
Мазут топочный мартеновский	40 В 100 В МП МПС	87 % С 12 % Н ₂ 1% (Н ₂ + N ₂)	-	0,2...0,3	-	40000...45000

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7
Природный газ	Осредненный	93 % CH ₄ 2 % CO ₂ 1 % N ₂ 1 % H ₂ 3 % CH _{2n}	-	-	-	27000...38000
Коксовый газ	Осредненный	46...63 % H ₂ 21...27 % CH ₄ 2...7 % CO 4...18 % N ₂	-	-	-	18800
Доменный газ	Осредненный	12 % CO ₂ 28 % CO 0,5 % CH ₄ 2,5 % H ₂ 57 % N ₂	-	-	-	3300...3700

ФЛЮСЫ

Флюсы служат для связывания пустой породы при выплавке металлов. Вместе с окисленной пустой породой и золой топлива флюсы образуют шлак, который затем удаляется. Температура плавления окислов, входящих в состав пустой породы, а также в золу кокса ($\text{SiO}_2 - 1728$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 2040$, $\text{CaO} - 2570$, $\text{MgO} - 2800$ °С), значительно выше температуры плавления шлака в печи (1450...1600 °С). При добавке флюсов образуются легкоплавкие составы, которые имеют температуру плавления ниже 1300 °С и характеризуются хорошей текучестью при 1450...1600 °С.

В качестве флюсов в металлургии применяют чаще всего известняк (CaCO_3), доломитизированный известняк ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$), плавиковый шпат (CaF_2), боксит и кварцевый песок. По химическому составу флюсы разделяются на кислые ($\text{CaO} : \text{SiO}_2 < 1$), основные ($\text{CaO} : \text{SiO}_2 > 1$) и нейтральные ($\text{CaO} : \text{SiO}_2 \approx 1$). В железных рудах пустая порода обычно кислая, с избытком SiO_2 , поэтому по технологическим причинам при выплавке чугуна и стали обычно применяют известняки и доломиты, а их количество рассчитывают, чтобы основность шихты была ($\text{CaO} : \text{SiO}_2 \approx 1$).

По плотности известняки делят на тяжелые, плотные, средней плотности и легкие. Плотность известняков, кг/м^3 : тяжелого > 2700 ; плотного 2400...2700, средней плотности 2000...2400; легкого < 2000 .

Известняки и доломиты применяют для основных печей.

Химический состав известняков и доломитов некоторых месторождений представлен в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 – Химический состав известняков

Месторождение	Содержание компонентов, % (по массе)						
	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn	P	S
Амурское	54,86	-	-	-	-	0,015	-
КМА	82,5	4,5	4,5	-	-	-	0,2
Комсомольское	54,75	0,35	0,72	0,38	0,02	-	0,032
Липецкое	52,64	1,06	1,59	0,87	-	0,007	0,094
Новотроицкое	41,67	11,06	-	-	-	-	-

Таблица 8 – Химический состав доломитов

Месторождение	ρ , кг/м ³	Содержание компонентов, % (по массе)					
		CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄
Елецкое	2820	32,77	17,82	0,94	0,52	0,32	0,01
Докучаевское	2850	43,76	9,90	1,26	0,49	0,04	-
Сухореченское	2830	31,14	20,18	0,68	-	0,74	-
Череповецкое	2960	39	30,5	3,4	0,7	1,8	-
КМА	-	35,94	16,75	0,97	-	0,44	-

Плавиновый шпат имеет плотность в пределах 3000...3800 кг/м³. Температура плавления 1691 °С.

Применяется плавиновый шпат для основных электродуговых и мартеновских печей. Химический состав шпатов различных месторождений представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Химический состав плавиновых шпатов, %

Месторождение	Марка	CaF ₂	SiO ₂	P	S
Баох (МНР)	-	78,0	18,0	-	0,02
Голотульское	3-й сорт	75,0	-	-	1,5
Узбекское	-	96,2	1,5	0,047	0,33
Ярославское	-	92,3	2,4	0,038	0,04
Колончуйский концентрат	ФКС-92	94,2	3,8	0,019	0,07

Кварцевый песок применяется для кислых печей и состоит на 93 % из кремнезема SiO₂, а остальное составляют окислы Al₂O₃, Fe₂O₃.

ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Материалы, стойкие при температуре выше 1580 °С, промышленность выпускает в виде кирпича, фасонных изделий разных размеров и формы, иногда в порошке. Они служат для кладки стен, устройства сводов и пода металлургических и других промышленных печей.

Высокоогнеупорными условно считают вещества, остающиеся твердыми до 2000 °С, а преодолевающие и этот предел – материалами высшей огнеупорности.

Сырьем для производства огнеупоров служат силикаты, карбиды и иные соединения, которые не плавятся и не разлагаются до

температур, °C: Al_2O_3 – 2050, SiO_2 – 1713, CaO – 2580, Cr_2O_3 – 2800, ZnO_2 – 2275, SiC – 2700, ZrO_2 – 2600, ZrC – 3500, HfC – 3900, TiB_2 – 2980, и многие другие, в том числе нитриды и силициды металлов, а также кокс и графит.

При выборе огнеупоров необходимо учитывать их механическую прочность в рабочем состоянии – при нагревании и под нагрузкой, термическую стойкость – способность не растрескиваться от резких изменений температуры, коэффициент объемного расширения, пористость, химическую инертность к кислороду, углекислоте, действию жидких шлаков или солевых расплавов, а иногда также – плотность, теплопроводность и электропроводность. В большинстве случаев последние должны быть низкими (табл. 10).

Наиболее ходовые огнеупорные материалы, состоят из дешевых и доступных окислов, которые при высоких температурах могут быть кислыми (SiO_2), основными (CaO , MgO) либо амфотерными (Al_2O_3 , Cr_2O_3), последние в зависимости от среды проявляют свойства кислот или оснований.

Шамотные огнеупоры

Изделия из шамота стойки до 1750 °C. Их делают из огнеупорной глины, содержащей каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO} \cdot \text{H}_2\text{O}$. Глину обжигают при 1400 °C, от этого она теряет влагу и превращается в шамот $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Последний при смачивании уже не становится пластичным. Его измельчают, смешивают с водой и свежей глиной, служащей связующим. Полученную при этом полусухую массу прессуют в формах, затем сушат и обжигают.

Шамот сравнительно дешев и универсален: он термостоек и медленно разрушается как кислыми, так и основными шлаками.

Динасовые огнеупоры

Их делают в виде кирпичей, в основе которых – кварциты, содержащие не менее 95 % SiO_2 . Кварциты измельчают, смешивают с известковым молоком $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и при влажности 5...9 % прессуют. Обжиг производят после сушки, медленно повышая и снижая температуру в течение нескольких суток; максимум ее около 1450 °C.

Динас стоек до 1700 °C и прочен в рабочем состоянии. Для повышения термической стойкости в шихту вводят до 30 % мелкого хромита, получая динасохромит, или добавляют карборунд (SiC) для получения динасокарборунда.

Таблица 10 – Сведения об огнеупорных материалах

Наименование	Химический состав	Прочность на сжатие, кН/см ²	Температура начала деформации, °С	Огнеупорность, °С	Применение
1	2	3	4	5	6
Динасовый кирпич	95...98 % SiO ₂	2,45...2,94	1630	1730	Для кладки стен, подин и сводов мартеновских и электропечей
Шамотные изделия	55...60 % SiO ₂ 34...38 % Al ₂ O ₃ 1...5 % H ₂ O	0,98...6,88	1350	1730	Для футеровки ковшей, газо- и воздухонагревателей
Хромомагнезиты	42...55 % MgO 15...17 % Al ₂ O ₃ 25...29 % Cr ₂ O ₃	2...5	1500...1630	2000	Для стен и сводов основных мартеновских печей
Магнезитовые изделия и порошки	80...85 % MgO	2,94...4,5	1500	2000	Для основных печей

Окончание табл. 10

1	2	3	4	5	6
Кварцевый песок	93...100% SiO ₂	-	-	1730	Для наварки пода кислых мартеновских печей
Доломитовые изделия и порошки	52...58 % CaO 35...38 % MgO	-	-	1800-1950	Кладка и наварка подин основных печей

Магнезитовые огнеупоры

Они состоят из периклаза (80...85 % MgO). Сырьем служит природный магнезит $MgCO_3$, обжигаемый для получения окиси при температуре 1600 °С, которая делает его химически инертным.

Наиболее чистая окись идет на изготовление кирпича, а худшая – для набойки и наварки подин печей. Магнезитовый кирпич стоек против основных шлаков. Он высокоогнеупорен (2000 °С), прочен, плотен, но малотермостоек и дорог.

Доломитовые огнеупоры

Они изготавливаются в виде изделий и порошков из минерала доломита $(Ca, Mg)CO_3$. Доломит обжигают для удаления CO_2 при температуре 1600...1700 °С. Добавка кварцита или трепела связывает окись кальция в силикаты Ca_2SiO_4 и Ca_3SiO_5 . Доломит дешевле магнезита, но менее огнеупорен. Применение доломита подобно магнезиту.

Хромомагнезитовые огнеупоры

Эти огнеупоры после формовки и обжига при 1650 °С содержат MgO 42...55 %, а Cr_2O_3 15...17 %. Шихту для них составляют из природного хромита $FeCrO_3$ и обожженного магнезита, смешивая их в разных соотношениях. По огнеупорности эти изделия не уступают магнезиту, но сравнительно нейтральны

ЧУГУНЫ И ФЕРРОСПЛАВЫ

Чугуны являются продуктами плавки железных руд в доменных печах. По назначению чугуны делятся на три вида:

8. . Передельные: М1, М2, М3 и Б1, Б2, передельные фосфористые МФ1, МФ2, МФ3 и передельные высококачественные ПВК1, ПВК2, ПВК3, предназначенные для передела на сталь.
- 2) Литейные чушковые: ЛК00, ЛК0, ЛК1, ЛК2 и далее до ЛК7, предназначенные для изготовления различных отливок.
8. . Ферросплавы: ферромарганец Мн5, Мн6, Мн7 и зеркальный чугун ЗЧ1, ЗЧ2, ЗЧ3, ферросилиций ФС75, ФС45, ФС20.

Таблица 11 – Химический состав некоторых чугунов, %

Марка	C	Si	Mn	P	S
ЛКОО	3,6	4,0	1,0	0,15	0,03
ЛКО	3,64	3,5	0,8	0,20	0,03
ЛК1	3,6	3,0	0,8	0,20	0,03
ЛК2	3,95	2,45	0,23	0,09	0,04
МЗ	4,41	0,46	0,23	0,10	0,03

Ферросплавы – это сплавы железа с кремнием, марганцем, хромом, вольфрамом и другими элементами, применяемые при производстве стали для ее *раскисления* и *легирования*. В доменном процессе получают ферромарганец, содержащий 70...75 % Mn, ферросилиций (9...13 % Si).

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Порядок проведения работы.
3. Ответы на контрольные вопросы.
4. Таблица 1.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое руда?
2. Назовите железные руды и напишите их химические формулы.
3. Основные руды, служащие для получения меди, алюминия, титана, их формулы.
4. Какие виды обогащения руд вы знаете?
5. Какие виды топлива применяются в металлургии?
6. Важнейшие характеристики топлива.
7. Из чего изготавливают огнеупоры?
8. Основные виды огнеупоров.
9. Какими свойствами обладают огнеупоры?
10. Для каких целей применяют флюсы?
11. Назовите основные минералы, применяемые в качестве флюсов.
12. Что такое раскисление стали, для чего оно проводится?
13. Какие степени раскисления стали вы знаете?
14. Что такое легирование стали?

15. Назовите материалы, применяемые для раскисления и легирования стали.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ I

1. Минерал, который используется для производства онсганца:

- а) магнетит;
- б) малахит;
- в) нефелин;
- г) пиролюзит.

2. Минерал, который используется для производства титана:

- а) гематит;
- б) доломит;
- в) пиролюзит;
- г) рутил.

3. Температура (°C), выше которой огнеупорные вещества должны сохранять твердость:

- а) 911;
- б) 1540;
- в) 1580;
- г) 1800.

4. Температура (°C), выше которой сохраняют твердость материалы высшей огнеупорности:

- а) 1580;
- б) 1700;
- в) 1900;
- г) 2000.

5. Огнеупорный материал, огнеупорность которого достигает 2000 °C:

- а) дианас;
- б) доломит;
- в) хромомагнезит;
- г) шамот.

6. Марка передельного чугуна:

- а) М1;
- б) СЧ 15;
- в) ВЧ 60-2;
- г) КЧ 30-6.

7. Процесс, в котором используют передельные чугуны:

- а) получение стали;
- б) производство фасонных отливок;
- в) производство ферросплавов;
- г) раскисление стали.

8. Материал, который используют для производства фасонных отливок:

- а) литейный чугун;
- б) передельный чугун;
- в) ферросплав;
- г) шлак.

9. Марка литейного чугуна:

- а) М1;
- б) Мн5;
- в) ЛК1;
- г) СЧ15.

10. Марка ферросплава:

- а) М2;
- б) ФС45;
- в) ЛК7;
- г) СЧ15.

11. Твердая губчатая масса железа (с низким содержанием углерода, серы, фосфора и кремния) со шлаковыми включениями:

- а) крица;
- б) ферросплав;
- в) шихта;
- г) шлак.

12. Горная порода, из которой целесообразно извлекать металлы:

- а) хвосты;
- б) руда;
- в) пустая порода;
- г) флюс.

13. Печь, в которой выплавляют высококачественную сталь:

- а) шахтная печь;
- б) электропечь;
- в) мартеновская печь;
- г) доменная печь.

14. Печь, в которой выплавляют чугуны:

- а) шахтная печь;
- б) электропечь;
- в) мартеновская печь;
- г) доменная печь.

15. Минерал, который используется для производства алюминия:

- а) боксит;
- б) куприт;
- в) железняк;
- г) известняк.

16. Минерал, который используется для производства железа:

- а) боксит;
- б) магнезит;
- в) магнетит;
- г) малахит.

17. Минерал, который используется для производства меди:

- а) боксит;
- б) гематит;
- в) доломит;
- г) халькопирит.

18. Важнейшее свойство металлургического топлива:

- а) влажность;
- б) зольность;

- в) теплотворная способность;
- г) химический состав.

19. Основное назначения флюса при выплавке чугуна:

- а) связывание пустой породы и перевод ее и золы кокса в шлак;
- б) повышение жидкотекучести чугуна;
- в) повышение температуры шихты в зоне распара;
- г) раскисление чугуна.

20. Процесс, протекающий при доменном производстве чугуна, является:

- а) восстановительным;
- б) окислительным;
- в) периодическим;
- г) равновесным.

21. Процесс обработки руды с целью повышения содержания полезного компонента и снижения содержания вредных примесей:

- а) дробление;
- б) обогащение;
- в) офлюсовывание;
- г) рафинирование.

22. Способ обогащения железных руд:

- а) гравитационное обогащение;
- б) магнитная сепарация;
- в) промывка;
- г) флотация.

23. Способ обогащения медных руд:

- а) гравитационное обогащение;
- б) магнитная сепарация;
- в) промывка;
- г) флотация.

24. Процесс окускования измельченной руды, обогащенного концентрата и колошниковой пыли спеканием:

- а) агломерация;
- б) обогащение;
- в) науглероживание;

г) флотация.

25. Metallургическое топливо, обладающее наибольшей теплотворной способностью:

- а) каменный уголь;
- б) кокс;
- в) мазут;
- г) природный газ.

26. Минерал, применяемый в качестве флюса в металлургическом производстве:

- а) глинозем;
- б) известняк;
- в) кварцевый песок;
- г) халькопирит.

27. Материал, который используют для легирования и раскисления стали:

- а) литейный чугун;
- б) передельный чугун;
- в) ферросплав;
- г) шлак.

28. Процесс, протекающий при выплавке стали, является:

- а) восстановительным;
- б) окислительным;
- в) периодическим;
- г) равновесным.

29. Процесс получения стали методом продувки воздухом или кислородом жидкого передельного чугуна:

- а) мартеновское производство;
- б) конвертерное производство;
- в) производство стали в электропечах;
- г) доменное производство.

30. Пламенная регенеративная печь для выплавки стали:

- а) вагранка;
- б) мартеновская печь;

- в) конвертер;
- г) электрическая дуговая печь.

31. Печь, в которой получают алюминий:

- а) мартеновская печь;
- б) конвертер;
- в) электрическая дуговая печь;
- г) электролизер.

32. Один из основных методов получения порошка меди:

- а) размол в шаровых мельницах;
- б) метод межкристаллитной коррозии;
- в) центробежное распыление;
- г) электролиз раствора CuSO_4 .

33. Установите соответствие группы исходных материалов металлургического производства названию материала:

Группа исходных материалов металлургического производства:

- 1) руда;
- 2) топливо;

Название материала:

- а) известняк;
- б) боксит;
- в) кокс.

34. Установите соответствие группы исходных материалов металлургического производства названию материала:

Группа исходных материалов металлургического производства:

- 1) флюс;
- 2) огнеупорный кирпич;

Название материала:

- а) известняк;
- б) железняк;
- в) шамот.

35. Установите соответствие названия металлургической печи названию выплавляемого в ней металла или сплава:

Название печи:

- 1) домна;

Название металла или сплава:

- а) сталь;

2) конвертер;

б) алюминий;

в) чугун.

36. Дополните:

Горная порода, из которой целесообразно извлекать металлы, называется _____.

37. Установите правильную последовательность изготовления деталей из металлических порошков:

а) прессование заготовок;

б) получение порошков;

в) спекание заготовок;

г) калибрование заготовок.

ГЛАВА II. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Литейное производство – это отрасль машиностроения, производящая фасонное и заготовительное литье из различных металлов и сплавов.

Конечную продукцию литейного производства, которую получают путем заливки расплавленного металла или сплава в специальную форму, полость которой имеет конфигурацию требуемой детали или заготовки, называют *отливкой*. При охлаждении залитый металл затвердевает и сохраняет конфигурацию той формы, в которую был залит.

В процессе кристаллизации расплавленного металла и последующего охлаждения формируются механические и эксплуатационные свойства отливок.

Литье является важным и экономически выгодным способом производства. Во многих случаях литье является единственно возможным способом изготовления нужных деталей. Особенно это проявляется в тех случаях, когда требуется изготовить детали больших размеров и массы, а также сложной конфигурации. Литьем получают разнообразные конструкции отливок массой от нескольких граммов до 300 тонн, длиной от нескольких сантиметров до 20 метров с толщиной стенок от 0,5 до 500 мм.

Для изготовления отливок применяют следующие способы литья:

- в песчано-глинистые формы;
- в оболочковые формы;
- по выплавляемым моделям;
- кокильное литье;
- центробежное литье;
- под давлением и др.

ТЕМА 4. ЛИТЬЕ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ФОРМЫ

Наиболее широкое применение имеет литье в песчано-глинистые формы.

Литьем в песчано-глинистые формы (рис. 8) изготавливают 80 % общего количества отливок. Однако чистота поверхности и точность этих отливок в большинстве случаев не удовлетворяет требованиям современного машиностроения. Поэтому с каждым годом получают все большее применение специальные способы литья, позволяющие получить отливки повышенной точности, с минимальным объемом механической обработки.



Рисунок 8 – Схема технологического процесса получения отливок в песчано-глинистые формы

Литейная форма предназначена для того, чтобы обеспечить:

- 1) необходимую конфигурацию и размеры отливки;
- 2) заданную точность и качество поверхности отливки;
- 3) определенную скорость охлаждения залитого металла для формирования требуемой структуры сплава и получения соответствующих механических свойств и качества отливки.

Для изготовления песчано-глинистой литейной формы необходимо иметь модельный комплект и другую литейную оснастку.

Процесс изготовления литейной формы называется *формовкой*. Формовка бывает ручная и машинная. Машинная формовка осуществляется в заводских условиях при серийном или массовом производстве.

Для индивидуального или мелкосерийного производства (например, в ремонтных мастерских) применяется ручная формовка с использованием *модельного комплекта*. В модельный комплект входят: подмодельная плита, нижняя и верхняя опоки, модель отливки, модели литниковой системы, стержневой ящик. Кроме перечисленных основных деталей модельного комплекта в литейную оснастку

входят различные инструменты, лопатки, трамбовки, подъемы, крючки, щетки и др.

Модель отливки – это приспособление, при помощи которого в литейной форме воспроизводят внешний контур будущей отливки.

При машинной формовке металлическая подмодельная плита используется для крепления моделей отливки и элементов литниковой системы.

При массовом производстве модели изготавливают из металлов или сплавов, при мелкосерийном – из дерева (сосна, береза, липа) с влажностью не более 10 %. Модели могут быть разъемными и неразъемными.

Модели изготавливают с учетом припусков на механическую обработку и литейную усадку. Модели отливки с внутренними полостями имеют на концах выступы (стержневые знаки). Знаки необходимы для образования в форме углублений, в которые укладываются стержни.

Стержни предназначены для получения (воспроизводства) внутренних полостей, отверстий, каналов и т. п.

Стержневые ящики служат для изготовления песчаных стержней. Как и модели, их изготавливают с учетом литейной усадки и припусков на механическую обработку. На рисунке 9 показаны: чугунная втулка после механической обработки отливки (позиция *а*), модель отливки (*б*), стержневой ящик (*в*) и отливка с затвердевшими элементами литниковой системы (*г*), где 1 – отливка; 2 – выпор; 3 – чаша; 4 – стояк; 5 – шлакоуловитель; 6 – питатель.

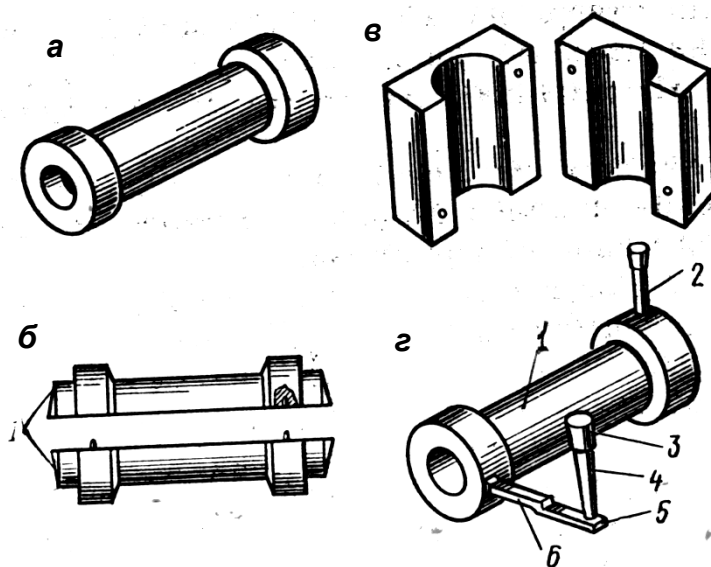


Рисунок 9 – Готовая деталь и элементы модельного комплекта

Модели литниковой системы служат для образования в форме каналов, по которым жидкий металл подходит к полости формы и питает отливку в процессе ее кристаллизации.

Для производства отливок в песчано-глинистых формах чаще всего применяют литниковую систему, состоящую из чаши, стояка, шлакоуловителя, питателей и выпора (рис. 10).

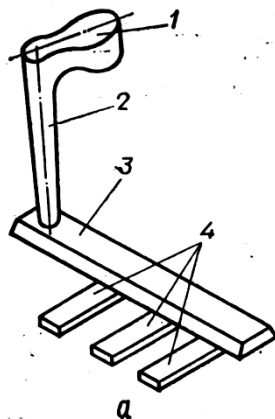


Рисунок 10 – Элементы литниковой системы в сборе:
1 – чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатели

Чаша служит приемником расплавленного металла. Сечение чаши значительно больше сечения стояка, поэтому металл в ней какое-то время задерживается, и часть шлака всплывает на поверхность. Стояк служит продолжением чаши. Шлакоуловитель служит для окончательного отделения шлака от металла и передает металл к питателям. Питатели служат для подвода металла из шлакоуловителя в полость формы и чаще всего выполняются по разьему нижней полуформы. Расчет литниковой системы сводится к определению сечения питателей:

$$\Sigma F_n = \frac{Q}{\tau k L}, \quad (16)$$

где ΣF_n – суммарная площадь поперечного сечения питателей;

Q – масса жидкого металла, кг;

τ – продолжительность заливки, с;

k – удельная скорость заливки, кг / см² · с;

L – коэффициент жидкотекучести, $L = 1$ для чугуна и стали, для других металлов и сплавов $L = 0,8$.

Необходимо выдерживать следующее соотношение:

$$\Sigma F_{ст} > \Sigma F_{шл} > \Sigma F_{пит}, \quad (17)$$

где $\Sigma F_{ст}$ – суммарная площадь поперечного сечения стояков;

$\Sigma F_{шл}$ – суммарная площадь поперечного сечения шлакоуловителей;

$\Sigma F_{пит}$ – суммарная площадь поперечного сечения питателей.

Возможность получения качественных отливок определяется *литейными свойствами* сплавов.

Наиболее важными литейными свойствами сплавов являются: жидкотекучесть, усадка (линейная и объемная), склонность к образованию трещин, склонность к поглощению газов и образованию газовых раковин, пористости и др.

Жидкотекучесть – это способность металлов и сплавов течь в расплавленном состоянии по каналам литниковой системы, заполнять полости литейной формы и четко воспроизводить контуры отливки. Жидкотекучесть зависит от следующих факторов:

- химический состав сплава и температура его нагрева;
- теплофизические свойства формы;
- технологические условия литья.

Наибольшая жидкотекучесть характерна для чистых металлов и эвтектических сплавов, а наименьшая – для сплавов на основе твердых растворов.

В железоуглеродистых сплавах с повышением содержания углерода, кремния, марганца, никеля, фосфора жидкотекучесть увеличивается, а с повышением содержания хрома и серы – понижается.

Усадкой называется уменьшение линейных и объемных размеров сплавов при затвердевании и охлаждении. В результате усадки в отливке могут образоваться коробления, трещины и раковины. Различают линейную и объемную усадку.

Линейная усадка – уменьшение линейных размеров отливки при ее охлаждении от температуры образования прочной корки (скелета), способной противостоять давлению жидкого металла, до температуры окружающей среды:

$$E = \frac{L_{\phi} - L_{отл}}{L_{отл}} \cdot 100 \%, \quad (18)$$

где L_{ϕ} – линейные размеры формы;

$L_{отл}$ – линейные размеры отливки;

E – линейная усадка.

Линейная усадка зависит от химического состава сплава, температуры заливки, скорости охлаждения, конструкции отливки.

Например, усадка серого чугуна уменьшается с увеличением содержания углерода и кремния. Снижение температуры заливки уменьшает усадку отливки из любого сплава. При охлаждении отливки происходит механическое и термическое торможение усадки.

Механическое торможение возникает вследствие трения между отливкой и формой. Термическое торможение обусловлено различными скоростями охлаждения отдельных частей отливки.

Сложные по конфигурации отливки подвергаются совместному воздействию механического и термического торможения.

Большинство сплавов имеют литейную усадку, не превышающую 3 %, например:

- серый чугун – 1,1...1,3 %;
- углеродистая сталь – 1,2...2,4 %;
- легированная сталь – 2,5...3,0 %;
- безоловянистые бронзы – 1,6...2,2 %;
- латунь – 1,5...1,9 %;
- оловянистые бронзы – 1,0...1,5 %.

Объемная усадка – уменьшение объема сплава при его охлаждении в литейной форме в процессе формирования отливки:

$$E_{об} = \frac{V_{ф} - V_{отл}}{V_{отл}} \cdot 100 \%, \quad (19)$$

где $V_{ф}$ – объем полости формы при 20 °С;

$V_{отл}$ – объем отливки при 20 °С;

$E_{об}$ – объемная усадка.

Объемная усадка приблизительно равна утроенной линейной усадке.

Усадка в отливках проявляется в виде усадочных раковин, пористости, трещин и короблений.

Исходными материалами для изготовления *формовочных смесей* служат формовочные пески и глины.

Формовочные пески добывают в специальных карьерах и онстсифицируют по ГОСТу на следующие *классы*:

К – кварцевые (до 2 % глины);

Т – тощие (2...10 % глины);

П – полужирные (10...20 % глины);

Ж – жирные (20...30 % глины);

ОЖ – очень жирные (30...50 % глины).

Пески по величине зерен разделяются: на грубый (0,4...1,0 мм), очень крупный, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и пылевидный (0,05...0,06 мм). Кроме песка и глины в формовочные смеси вводят связующие вещества и различные добавки.

В качестве связующей добавки чаще всего используется жидкое стекло. Другие добавки придают определенные свойства: противопригарные, снижающие прилипаемость к модели, повышающие газопроницаемость. В качестве таких добавок используются каменноугольная пыль, графит, мазут, торф, опилки и др.

Формовочные смеси разделяются на облицовочные, наполнительные и единые.

Облицовочная смесь непосредственно соприкасается с металлом, состоит в основном из свежих материалов. Толщина облицовочного слоя зависит от размеров деталей и колеблется от 20 до 50 мм.

Наполнительные смеси служат для набивки остальной части формы. Они в первую очередь должны быть прочными и газопроницаемыми. Состоят в основном из отработанных материалов.

Единая смесь применяется при машинной формовке при массовом производстве.

Основными свойствами формовочных смесей являются:

- газопроницаемость;
- прочность;
- пластичность;
- податливость;
- огнеупорность;
- долговечность.

Газопроницаемость – способность смеси хорошо пропускать пары воды и газы, образующиеся при соприкосновении горячего металла с формой. Если газопроницаемость недостаточна, то образуются газовые раковины. Песок улучшает газопроницаемость, глина – ухудшает.

Прочность – способность сохранять форму при воздействии внешних сил (прежде всего ударное действие заливаемого металла).

Пластичность – способность хорошо формоваться, воспринимать и хорошо сохранять форму.

Податливость – способность не препятствовать усадке при охлаждении отливки.

Огнеупорность – способность смеси противостоять местному перегреву от заливаемого в форму металла.

Долговечность – способность смеси сохранять рабочие свойства при повторном использовании.

Контрольные вопросы

1. Что является продукцией заготовительного литья?
2. Что является продукцией фасонного литья?
3. Какие добавки включают в себя формовочные смеси, кроме песка и глины?
4. Что такое газопроницаемость формовочной смеси?
5. Что такое прочность формовочной смеси?
6. Что такое пластичность формовочной смеси?
7. Что такое податливость формовочной смеси?
8. Каково основное назначение модели отливки?
9. Что называется литейной усадкой?
10. Что такое жидкотекучесть сплавов, и от каких факторов она зависит?
11. Какие бывают формовочные смеси?
12. Перечислите основные недостатки литья в песчано-глинистые смеси.

ТЕМА 5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЛИТЬЯ

КОКИЛЬНОЕ ЛИТЬЕ

Сущность метода заключается в том, что вместо разовой песчано-глинистой формы используют металлическую форму, называемую кокилем.

Преимущества кокильного литья:

1. Обладая по сравнению с песчано-глинистыми формами в 60 раз большей теплопроводностью, кокили обеспечивают мелкозернистую структуру отливок, что повышает их прочность.

2. При кокильном литье отпадает необходимость в модельно-опочной оснастке, в формовочных смесях, повышается точность и чистота поверхности отливок.

3. Технологический процесс кокильного литья можно легко механизировать.

4. Металлические формы используются многократно.

Наряду с преимуществами у кокильного литья есть и недостатки:

1) высокая стоимость кокилей позволяет использовать их только в серийном и массовом производствах;

2) существует опасность образования трещин из-за неподатливости металлической формы;

3) чугунные отливки в кокилях получают отбеленными и требуют длительного отжига, что повышает стоимость их производства.

По конструкции кокили различают неразъемные и разъемные (рис. 11).

Разъемные кокили бывают с горизонтальным и вертикальным разрезами.

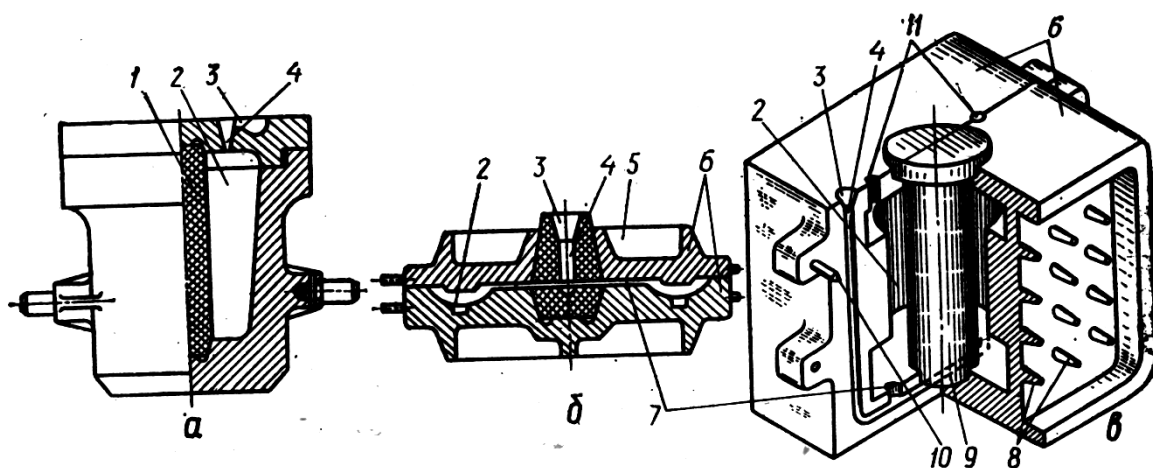


Рисунок 11 – Металлические литейные формы (кокили):
а – неразъемные; б – разъемные

Разъемные кокили состоят из двух половин б, которые центрируются штырями 10. Чтобы избежать коробления, кокили имеют ребра жесткости 5, или их делают коробчатой формы. Для ускорения охлаждения на наружной поверхности отливают пальцы 8. Внутреннюю полость отливки при кокильном литье получают с помощью песчаного 1 или металлического 9 стержней.

Металл заливают в литниковую чашу 3, и по стояку 4 и питателям 7 он заполняет полость формы 2. Металлические стержни

онструируют из формы до начала усадки металла, чтобы избежать трещин в отливке. Литниковая система размещается в полости разъема кокиля. Для выхода воздуха из формы во время заливки металла в разъеме формы имеются выпоры 11. Изготавливают кокили из серого чугуна, стали, цветных металлов и сплавов.

Стойкость кокилей составляет:

- для алюминиевых отливок до 50000;
- для медных отливок до 10000;
- для отливок из стали и чугуна до 5000.

ЛИТЬЕ В ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ

Литьем в оболочковые формы называется такой метод литья, при котором отливки получают в форме, состоящей из двух песчано-смоляных оболочек.

Изготовление оболочковых форм и стержней производится из мелкозернистого кварцевого песка с добавкой в качестве связующего вещества искусственной терморезистивной смолы. Характерной особенностью таких смол является их способность при определенной температуре необратимо затвердевать. При нагревании до 200...250 °С эти смолы расплавляются, превращаясь в клейкую массу, и обволакивают зерна кварцевого песка, а затем при повышении температуры до 300...350 °С уже через несколько секунд затвердевают. В качестве связующего обычно используется фенолформальдегидная смола марки ПК-104, которой в формовочных смесях содержится 6...8 %, а в стержневых 4...5 %.

Для изготовления оболочек обычно применяют чугунные под модельные плиты, на которых укрепляют половинки моделей, модели литниковой системы, толкатели и фиксаторы.

Нанесение сухой песчано-смоляной смеси на модельную оснастку может производиться с помощью поворотного бункера (более распространенный метод) или пескодувным способом. Сущность метода поворотного бункера заключается в следующих последовательно выполняемых операциях (рис. 12). Нагретую в электрической печи (250 °С), предварительно обработанную разделительным составом плиту с моделью устанавливают на верхнюю открытую часть бункера (позиции *a* и *б*). В бункер предварительно засыпают песчано-смоляную смесь. Затем бункер поворачивают на 180°. Песчано-смоляная смесь падает и покрывает нагретую модельную оснастку. При выдержке 20...30 секунд смола плавится и, обволакивая тонкой пленкой мелкие зерна песка, образует оболочку толщиной 6...8 мм (позиция *в*). Бункер возвращается в исходное положение, и формовочная смесь падает на его дно (позиция *г*). Снятую с бункера модельную плиту с непрочной оболочкой помещают в печь с температурой 300...350 °С (позиция *д*). При выдержке 2...3 мин смола полимеризуется и необратимо твердеет, образуя прочную оболочковую полуформу. По такой же технологии изготавливают другую полуформу. Оболочковые полуформы собирают, склеивая быстротвердеющим терморезистивным клеем. Перед сборкой в полуформы устанавливают стержни. Точность сборки обеспечивается устройством

типа выступ-впадина. Для этого на одной плите изготавливают оболочки с выступами, а на другой – с впадинами.

Готовые оболочковые формы устанавливают в металлические ящики, засыпают крупным песком или чугунной дробью, заливают жидким металлом и получают отливку. К моменту полной кристаллизации металла смола выгорает, форма и стержни разупрочняются и легко разрушаются, освобождая отливку.

Преимущества литья в оболочковые формы:

1. Отливки получают с более точными размерами (класс 7-8), с более высокой чистотой поверхности и меньшими припусками на механическую обработку.

2. Уменьшается трудоемкость изготовления отливок, отпадает необходимость в опоках.

3. Сокращается расход формовочных материалов и количество металла, благодаря меньшим размерам литниковых каналов.

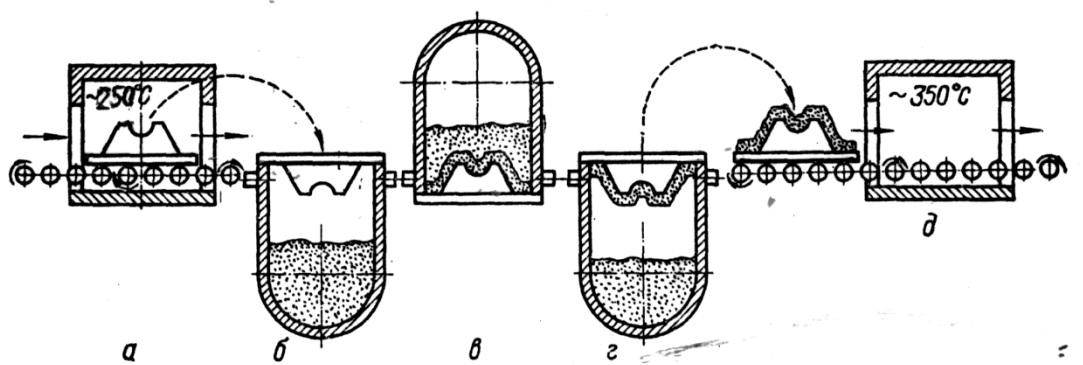


Рисунок 12 – Схема изготовления оболочковых форм

Недостатки метода:

1. Оболочковая форма служит один раз.

2. Высокая стоимость формовочной смеси, модельной оснастки и оборудования.

3. Выделение вредных газов при нагревании оболочек и заливки металла, что вызывает необходимость принудительной вентиляции.

Метод литья в оболочковые формы применяется для изготовления сравнительно небольших отливок при серийном и массовом производстве, в тех случаях, когда повышенные затраты на формовочную смесь, оснастку и оборудование компенсируются снижением объема механической обработки, повышением производительности труда и получением отливок с более точными размерами и высокой чистотой поверхности.

ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Сущность метода состоит в том, что жидким металлом принудительно заполняют металлическую пресс-форму под давлением, которое поддерживают до полной кристаллизации отливки.

Давление обеспечивает быстрое заполнение формы, высокую точность и чистоту поверхности отливки, исключает возможность образования усадочных раковин и пористости.

Отливки, полученные этим методом, не имеют припусков на механическую обработку, и после удаления из формы являются готовыми деталями.

Литьем под давлением получают отливки с толщиной стенки до 0,5 мм, сложной конфигурации, с мелкозернистой структурой. Недостатки метода: высокая стоимость пресс-форм, имеющих сложную конфигурацию и требующих высокой точности изготовления, обуславливает целесообразность применения литья под давлением только в крупносерийном и массовом производстве при изготовлении отливок сложной конфигурации из цветных металлов и сплавов массой до 50 кг.

Литье под давлением осуществляют в основном на поршневых машинах высокой производительности, дающих 200...400 отливок в час. Поршневые машины выпускают с горячей или холодной камерой сжатия, с горизонтальным или вертикальным расположением.

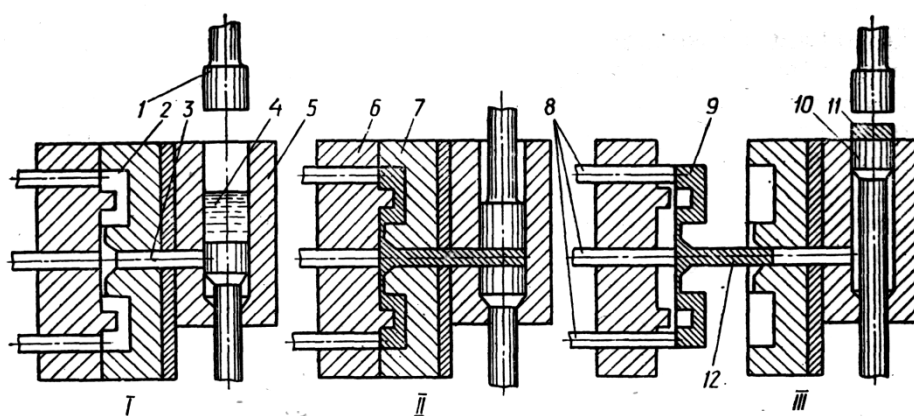


Рисунок 13 – Схема поршневой машины с вертикальной холодной камерой сжатия

На машинах с вертикальной холодной камерой сжатия (рис. 13) расплав 4 заливают в камеру сжатия 5. Верхний поршень 1, опускаясь, давит на расплав и нижний поршень 10, который при движении вниз открывает литниковый канал 3. Металл заполняет полость 2

пресс-формы, состоящей из двух половин 6 и 7 (положение II). Объем жидкого металла должен быть больше объема полости формы, чтобы между верхним и нижним поршнем оставался избыток металла. Давление верхнего поршня поддерживают до полной кристаллизации отливки, после чего пресс-форму раскрывают и отливку 9 вместе с литником 12 выталкивают из формы толкателями 8. Нижний поршень выталкивает наружу избыток металла 11, который отправляют в переплав (положение III).

ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ (ЭШЛ)

Сущность процесса заключается в постепенном электрошлаковом переплаве расходуемого электрода в водоохлаждаемой онстрческой форме с последующей кристаллизацией расплавленного металла. При этом способе литья получают металл самого высокого качества.

При электрошлаковом литье литейная форма выполняет две функции:

- 1) служит плавильным агрегатом;
- 2) формирует отливку.

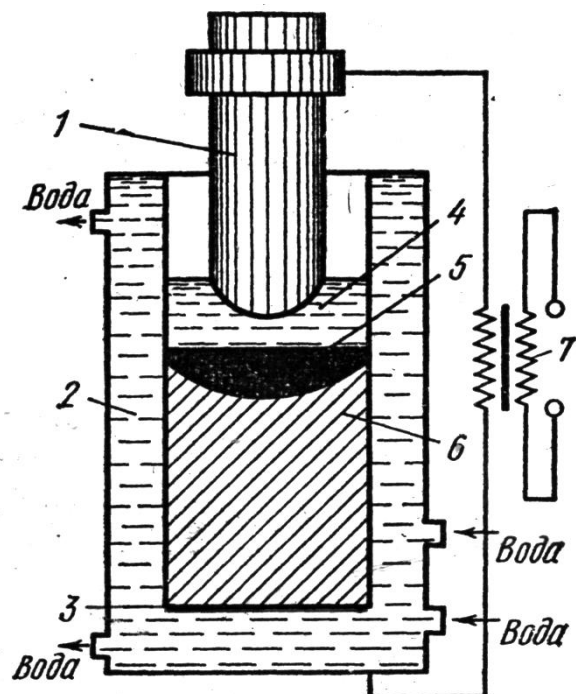
Процесс происходит под слоем жидкого шлака, который служит источником тепла, очищает металл от серы и фосфора, защищает его от кислорода и азота воздуха. Кристаллизация отливки происходит снизу вверх с участием малых объемов жидкого металла, что онстрчает дендритную ликвацию и образование усадочных раковин.

ЭШЛ находит применение в энергетическом машиностроении, этим способом изготавливают корпуса атомных реакторов, парогенераторов сверхвысоких давлений, коленчатые валы мощных дизелей (судостроение), прокатные валки, штампы и др.

Принципиальная схема электрошлакового литья показана на рисунке 14.

Процесс получения отливок при ЭШЛ происходит в следующей последовательности. Из стали, предназначенной для переплава, сначала изготавливают электроды. Затем на медный поддон 3 кладут шайбу (затравку) из той же, что и электроды, стали. На шайбу насыпают электроприводной флюс, электрод опускают до соприкосновения с флюсом, затем в зазор между стенкой кристаллизатора 2 и электродом 1 засыпают рабочий флюс, состоящий из смеси Al_2O_3 , CaO ,

CaF_2 , и подают напряжение. Вначале горит электрическая дуга, рабочий флюс плавится, и образуется шлак с температурой около $2500\text{ }^\circ\text{C}$. Затем дуга гаснет, и рабочий процесс продолжается за счет тепла, выделяющегося в слое расплавленного шлака.



*Рисунок 14 – Схема получения отливок способом электрошлакового литья:
1 – расходный электрод; 2 – кристаллизатор; 3 – поддон; 4 – расплавленный шлак; 5 – жидкий металл; 6 – полученный слиток;
7 – трансформатор*

Вследствие высокого электрического сопротивления шлака, при прохождении через него электрического тока происходит выделение тепла. Благодаря этому теплу электрод расплавляется, на конце его образуется слой жидкого металла, который в виде капель пронизывает расплав шлака, очищается от вредных примесей (серы), окислительных включений и растворенных газов. Жидкий металл скапливается под шлаком, образуя ванну 5.

Слой жидкого металла, расположенный вблизи кристаллизатора, затвердевает и постепенно формируется отливка 6. Интенсивный отвод тепла обеспечивает направленную снизу вверх кристаллизацию металла в слитке. В полученных слитках отсутствует пористость, неметаллические и газовые включения, образуется однородная по химическому составу структура.

ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

Сущность метода состоит в том, что жидкий металл заливают во вращающуюся с определенной скоростью литейную форму, которая вращается в течение всего времени кристаллизации металла. Залитый металл центробежной силой прижимается к стенкам формы, что обеспечивает получение плотных, с повышенной прочностью отливок, так как газы и шлак, обладающие меньшей плотностью, вытесняются во внутренние полости отливки и удаляются последующей механической обработкой.

Металлические формы при центробежном литье называются изложницами, которые изготавливают из стали или чугуна.

Когда наружные поверхности отливок имеют сложную форму (выточки, пояски и т.п.), применяют металлические формы, футерованные изнутри песчано-глинистой или песчано-смольной смесью. Нанесение футеровки осуществляется формовкой по модели или накаткой роликом.

Ось вращения формы может быть горизонтальной, вертикальной или наклонной. Если диаметр отливки значительно меньше ее длины (трубы, гильзы, втулки), то ось вращения формы устанавливают горизонтально. Если диаметр отливки больше, чем ее высота (колеса, шкивы, шестерни), то ось вращения располагают вертикально. В обоих случаях ось отливки совпадает с осью вращения формы, и внутренняя полость получается без стержней, а толщина стенки отливки определяется количеством заливаемого металла. Этот способ используют при изготовлении отливок, имеющих форму тела вращения.

Для регулировки теплового режима и увеличения стойкости металлических форм, на рабочие поверхности после предварительного подогрева (до 200 °С) наносят слой защитного покрытия из мелкого кварцевого песка, измельченного песка, измельченного ферросилиция, алюминиевой пудры, пылевидного графита и др.

Последовательность изготовления отливок на центробежных машинах с горизонтальной и вертикальной осями вращения показана на рисунке 15.

После подготовки изложницу 1 закрывают крышкой 2 и заливают расплавом через желоб 4 из ковша 3.

Позиция I соответствует этапу заливки расплавом вращающейся формы, II – формирования и затвердевания отливки, III – извлечения готовой отливки из формы с помощью захватов или толкателей.

Центробежным способом отливают трубы диаметром от 50 до 1500 мм и длиной 4-5 м, железнодорожные колеса и бандажы, гильзы автотракторных двигателей, заготовки для поршневых колец, шестерни, шкивы, орудийные стволы и др.

Центробежное литье является высокопроизводительным способом, хорошо поддающимся механизации и автоматизации.

Этот вид литья позволяет изготовить отливки массой от нескольких граммов до десятков тонн.

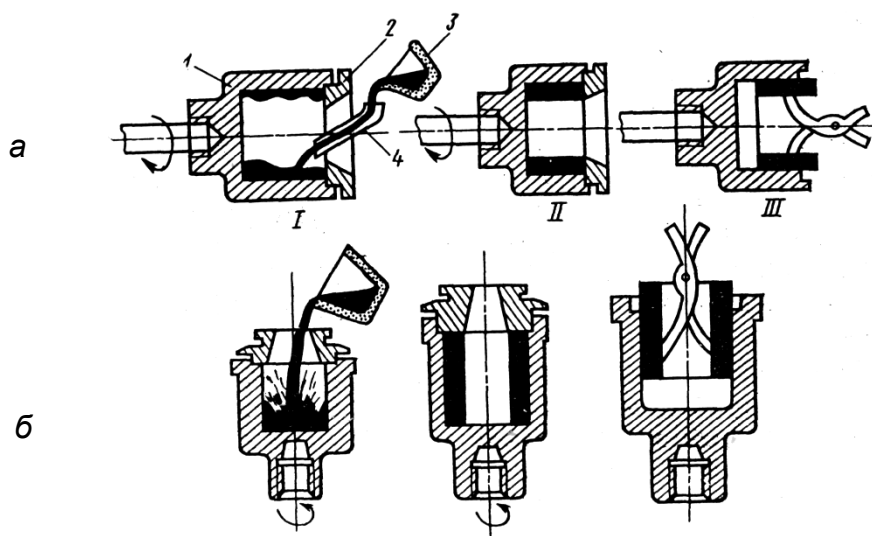


Рисунок 15 – Схема получения отливок центробежным литьем:
 а – на машинах с горизонтальной осью вращения;
 б – с вертикальной осью вращения

Преимущества центробежного литья заключаются в отсутствии литниковой системы; повышенной плотности отливок за счет уменьшения пор, раковин и других дефектов; в высоких механических свойствах отливок. Этот способ литья дает возможность получения отливок из двух и более металлов, располагающихся слоями (вкладыши коренных и шатунных подшипников двигателей).

Недостатками метода являются: большие припуски на механическую обработку вследствие неровностей и загрязнения внутренней поверхности отливки неметаллическими включениями; трудность получения отливок с отверстием точного размера, так как диаметр отверстия зависит от количества заливаемого металла; увеличение степени ликвации сплава по сечению отливки.

ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Процесс изготовления отливок по выплавляемым моделям осуществляется в последовательности нескольких технологических операций.

Из легкоплавкого модельного состава (50 % парафина и 50 % стеарина) в металлической пресс-форме 1 (рис. 16) изготавливают модели отливок и литниковой системы.

Модельный состав 2 заливают или запрессовывают под давлением 20...30 Мпа в собранную пресс-форму. После затвердевания модель извлекают из пресс-формы. Полученные модели собирают в блоки, для чего их присоединяют к литниковой системе 4 с помощью паяльника 5.

На полученный блок наносят путем окунания суспензию, то есть жидкое облицовочное покрытие 6, состоящее из 30 % гидролизованного этилсиликата и 70 % пылевидного кварца. После этого блок обсыпают мелким сухим кварцевым песком 7 и сушат при комнатной температуре 5-6 часов. Окунание, обсыпку и сушку повторяют несколько раз, пока на моделях не образуется огнеупорная оболочка нужной толщины (2,5...3,0 мм). Затем модель выплавляют из оболочки. Блоки помещают (литниковой воронкой вниз) в термошкаф с температурой 110...120 °С или погружают в горячую воду 8 с температурой 90...95 °С. После выплавления моделей и литниковой системы пустотелую огнеупорную оболочковую форму 9 помещают в металлический ящик 10. В ящик вокруг оболочки до самой воронки засыпают сухой кварцевый песок 11. Подготовленные таким способом формы загружают в нагретую до 850...900 °С электропечь 12 и выдерживают 4-4,5 часа. При этом выгорает парафино-стеариновая смесь, огнеупорная оболочка твердеет, а ее рабочая поверхность становится гладкой. После прокаливания форму заливают расплавленным металлом 13.

После затвердевания и охлаждения металла отливки 14 вынимают из опок и отбивают с них керамическую оболочку.

Этот метод литья имеет свои достоинства и недостатки. Керамическая суспензия позволяет точно воспроизвести контуры модели, а образование плотной неразъемной литейной формы способствует получению отливок с высокой точностью геометрических размеров и малой шероховатостью поверхности, что снижает объем механической обработки. Заливка расплавленного металла в горячие формы позволяет получить тонкостенные и весьма сложные по конфигура-

ции отливки из жаропрочных труднообрабатываемых сплавов и коррозионностойких сталей с массой от нескольких граммов до 100 кг.

Однако, из-за длительности технологического процесса (более двух суток), высокой стоимости отливок и одноразового использования формы, применение этого метода ограничивается главным образом изготовлением мелких и сложных отливок в серийном и массовом производстве.

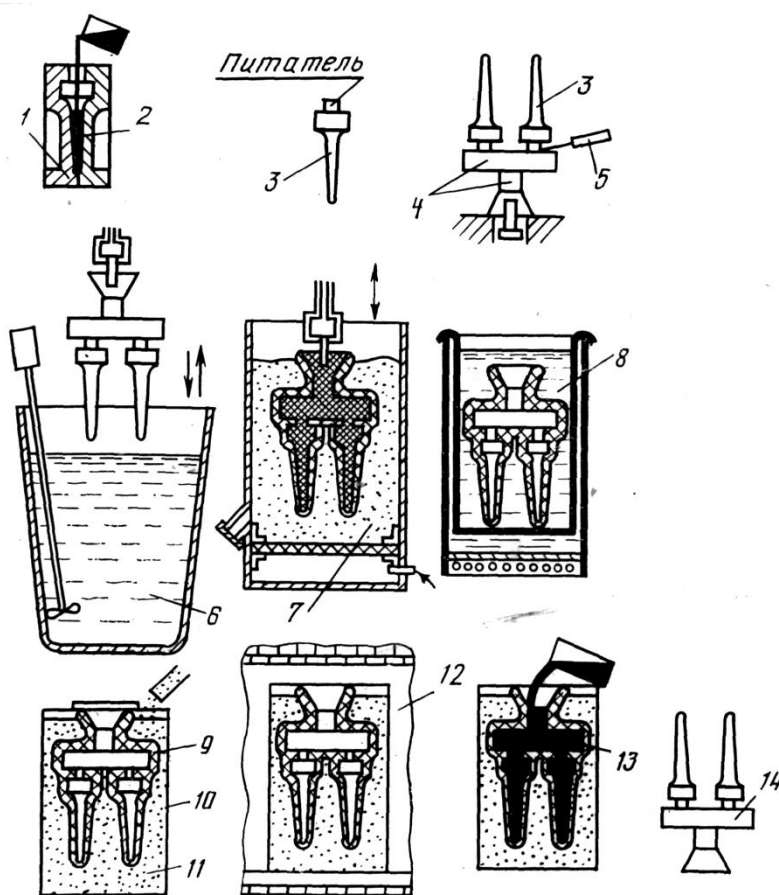


Рисунок 16 – Схема изготовления отливок по выплавляемым моделям:
 1 – пресс-форма; 2 – модельный состав; 3 – модель; 4 – литниковая система;
 5 – паяльник; 6 – облицовочное покрытие; 7, 11 – кварцевый песок; 8 – горячая вода;
 9 – пустотелая оболочковая форма; 10 – металлический ящик;
 12 – электропечь; 13 – расплавленный металл; 14 – отливка

Кроме выплавляемых моделей в литейном производстве используют выжигаемые модели при изготовлении ответственных отливок массой до 3,5 т из чугуна, стали и цветных сплавов в индивидуальном производстве. Для изготовления выжигаемых моделей используют пенополистирол, который в 50...100 раз легче древесины, легко режется горячей проволокой и легко склеивается. Склеиванием можно получить полистироловые выжигаемые модели самой сложной кон-

фигурации. Этот метод отличается большей точностью и экономией металла из-за отсутствия формовочных уклонов. Модели с литниковой системой заформовывают в металлические ящики, и в процессе заливки жидкий металл выжигает их и одновременно заполняет полость формы.

НЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЕ

При получении заготовок в металлургии и при изготовлении фасонных отливок различных профилей в литейном производстве широкое применение получило непрерывное литье. Непрерывная разливка стали является одним из высокоэффективных материало- и трудосберегающих процессов в металлургической промышленности на специальных установках для непрерывной разливки стали (УНРС).

В настоящее время разработаны машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), на которых получают различные отливки из железоуглеродистых, медных, алюминиевых и других сплавов. МНЛЗ в зависимости от характера движения формирующейся заготовки делятся: на радиальные и криволинейные (в условиях высокопроизводительных цехов); горизонтальные (отливка заготовок малых сечений, но широкого сортамента); вертикальные (для разливки качественных сталей).

Сущность непрерывного способа (рис. 17) состоит в том, что жидкий металл непрерывно заливают в кристаллизатор, представляющий собой водоохлаждаемую изложницу без дна. Сталь из ковша поступает в разливочное дозирующее (промежуточное) устройство, а из последнего – в кристаллизатор. Вначале в нижнюю часть онструклизатора вводят затравку, например, металлическую штангу, нижний конец которой находится в тянущих роликах, а верхний образует временное дно кристаллизатора. Затем в водоохлаждаемый онструклизатор заливается металл и включается механизм вытягивания. Последний при помощи тянущих роликов опускает затравку и образовавшийся слиток вниз.

Заливка металла в кристаллизатор и опускание слитка производятся с предельной скоростью (1,0...2,5 м / мин). Выходя из онструклизатора, слиток с еще жидкой сердцевиной подвергается вторичному охлаждению с помощью распыленной форсунками воды. Окончательно затвердевший слиток в нижней части установки разрезается передвигающимися синхронно с ним газокислородным резаком на мерные заготовки. После отрезки куска слитка нужной длины,

газорезка поднимается в исходное положение, а отрезанная заготовка транспортируется в прокатный цех или на склад.

Благодаря непрерывному питанию и направленной кристаллизации, в слитках, полученных непрерывным литьем, отсутствуют усадочные раковины. Поэтому выход годных заготовок может достигать 96...98 % от массы заливаемого сплава. Поверхность получаемых слитков отличается хорошим качеством, а металл – плотным и однородным строением.

Непрерывным литьем получают слитки прямоугольного сечения размером от 150×50 до 300×200 мм, квадратного со стороной от 150 до 400 мм, а также круглого в виде толстостенных труб.

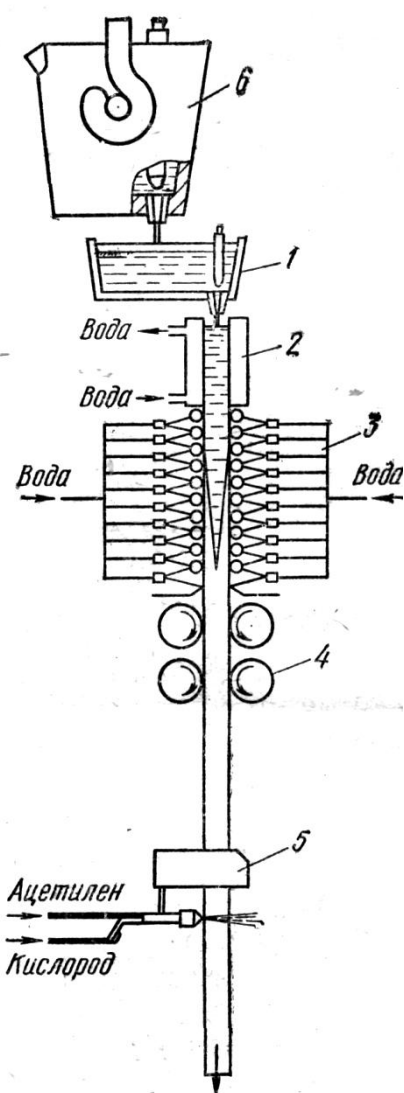


Рисунок 17 – Схема установки для непрерывной разливки стали:
1 – разливочное дозирующее устройство; 2 – медный охлаждаемый проточной водой кристаллизатор; 3 – форсунки для охлаждения слитка распыленной водой; 4 – ролики, тянущие слиток вниз; 5 – газорезка; 6 – стопорный ковш

Контрольные вопросы

1. Назовите основные преимущества кокильного литья.
2. Почему при кокильном литье возникает опасность возникновения трещин?
3. Какова стойкость кокилей при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов?
4. Из каких материалов изготавливают оболочковые формы?
5. Перечислите основные недостатки литья в оболочковые формы.
6. Поясните сущность литья под давлением.
7. Каковы основные преимущества литья под давлением?
8. Какие функции выполняет водоохлаждаемая форма при электрошлаковом литье?
9. Какие функции выполняет жидкий шлак при электрошлаковом литье?
10. В каком направлении идет кристаллизация слитка при электрошлаковом литье?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМАХ

Цель работы: ознакомиться с основами разработки технической документации на отливку детали в песчано-глинистых формах.

Приборы, материалы и инструменты:

8. . Макеты элементов модельного комплекта.

ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Выполнить эскиз заданной детали, показать на нем все размеры.
2. Назначить припуски на механическую обработку и разработать чертеж отливки.
3. Назначить припуски на усадку металла и разработать чертеж деревянной модели.
4. Оформить чертеж литейной формы в сборе (с элементами литниковой системы).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Разработка технологического процесса изготовления отливки начинается с рассмотрения возможных вариантов ее расположения в форме. Наибольшая размерная точность отливки достигается в тех случаях, когда она вся расположена в одной опоке.

Однако на практике чаще формовку производят в двух опоках по разъемной модели.

При определении наиболее оптимальной для данной детали поверхности разъема следует руководствоваться следующими правилами:

1. Разрез формы модели лучше делать по плоскости.
2. При выборе разъема формы стремиться к тому, чтобы в процессе ее изготовления модель могла беспрепятственно извлекаться из формы.
3. Оптимальный вариант разъема формы должен обеспечивать ее изготовление с минимальным количеством стержней.

На чертеже разъем литейной формы обозначается буквой МФ (рис. 19), а положение отливки в форме обозначают буквами В (верх) и Н (низ).

После определения поверхности разъема литейной формы определяются контуры модели. Перед составлением чертежа модели разрабатывается чертеж отливки (рис. 19). Отливка отличается от готовой детали (рис. 18) как размерами, так и формой.

Размеры отливки отличаются от размеров детали на величину припусков на механическую обработку. Наружные размеры увеличиваются, внутренние – уменьшаются. Припуск на механическую обработку изображают сплошной тонкой линией.

У литых деталей механической обработке подвергаются поверхности, которые оказывают влияние на работу машины. К ним относятся поверхности, образующие с поверхностями других деталей кинематические пары (например, вал и подшипник, цилиндр и поршень и т.д.) или непосредственно участвующие в работе машин (лопатки турбин).

По чистоте обрабатываемой поверхности отливки делятся на три класса. Отливки I класса точности (для наиболее ответственных деталей) получают в основном при использовании специальных видов литья. В разовых песчано-глинистых формах получают отливки II и III классов точности.

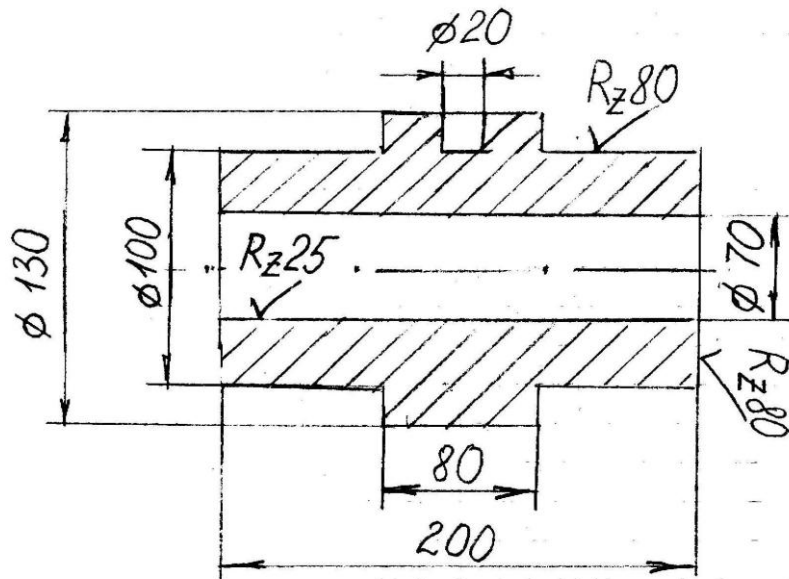


Рисунок 18 – Чертеж детали

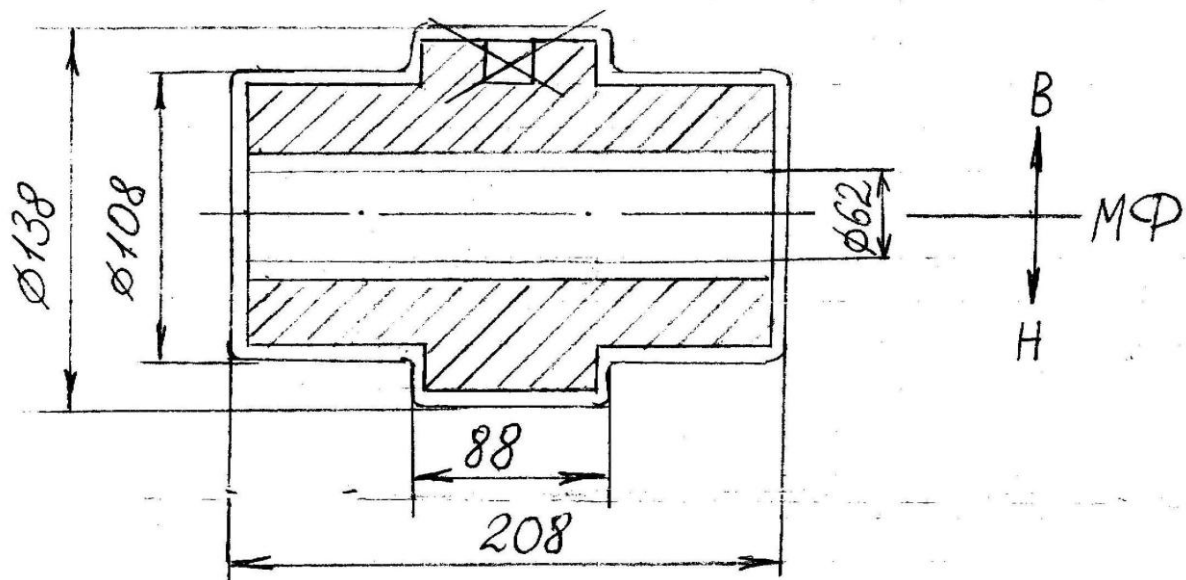


Рисунок 19 – Чертеж отливки

Установление оптимальных величин припусков на механическую обработку является одним из важных условий экономического использования металлов. Величина припуска определяется габаритами деталей, способом изготовления отливки, а также положением детали в форме (на частях, расположенных при заливке формы наверху, назначаются большие припуски) (табл. 12–14).

Таблица 12 – Припуски на обработку резанием отливок из серого чугуна I, II, III классов точности, мм

Наибольший габаритный размер отливки, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм							
		До 50		Св. 50 до 120			Св. 120 до 200		
		I	II	I	II	III	I	II	III
До 120	Верх	2,5	3,5	2,5	4,0	4,5	-	-	-
	Низ, бок	2,0	2,5	2,0	3,0	3,5	-	-	-
Св. 120 до 260	Верх	2,5	4,0	3,0	4,5	5,0	3,0	5,0	5,5
	Низ, бок	2,0	3,0	2,5	3,5	4,0	2,5	4,0	4,5
Св. 260 до 500	Верх	3,5	4,0	3,5	5,0	6,0	4,0	6,0	6,0
	Низ, бок	2,5	3,5	3,0	4,0	4,5	3,5	4,5	5,0
Св. 500 до 800	Верх	4,5	5,0	4,5	6,0	7,0	5,0	6,5	7,0
	Низ, бок	3,5	4,0	3,5	4,5	5,0	4,0	4,5	5,0

Примечание: под номинальным размером понимается наибольшее расстояние между противоположными обрабатываемыми поверхностями или расстояния от базисной поверхности или оси отливки до обрабатываемой поверхности.

Таблица 13 – Припуски на обработку резанием стальных отливок 1 класса точности, мм

Наибольший габаритный размер отливки, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм			
		До 50	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800
До 120	Верх	3,5	-	-	-
	Низ, бок	3,0	-	-	-
Св. 120 до 260	Верх	4,0	5,0	-	-
	Низ, бок	3,0	3,5	-	-
Св. 260 до 500	Верх	5,0	5,0	6,0	-
	Низ, бок	3,0	4,0	4,0	-
Св. 500 до 800	Верх	5,0	6,0	7,0	7,0
	Низ, бок	4,0	4,5	5,0	5,0

Таблица 14 – Наибольшие припуски на обработку резанием отливок из цветных сплавов, мм

Наибольший габаритный размер отливки, мм	Производство					
	Массовое		Серийное		Единичное	
	простые	сложные	простые	сложные	простые	сложные
До 100	1,5	2,0	2,0	3,0	2,0	3,0
Св. 100 до 200	1,58	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0
Св. 200 до 300	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0	5,0
Св. 300 до 500	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0	6,0
Св. 500 до 800	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0	7,0

По форме отливка отличается от детали наличием следующих элементов:

- *формовочных уклонов*, выполняемых на плоскостях модели, перпендикулярных разъему форм для того, чтобы модель легко вынималась из формы, не вызывая ее повреждений. Величина формовочных уклонов зависит от высоты и материала модели (табл. 15);

- *галтелей* (округления углов в литых деталях), предусматриваемых для избежания трещин в отливках и образования в углах форм и стержней участков с недостаточным уплотнением смеси и низкой прочностью;

- *напусков* – частей металла у отливки, заполняющего канавки, отверстия, впадины, которые не могут быть получены по условиям литейной технологии. При литье в песчано-глинистые формы минимальный диаметр отверстий, выполняемых в отливках, равен 8 мм. Части детали, не выполняемые литьем, зачеркивают на чертеже детали сплошной тонкой линией.

При составлении чертежа модели (рис. 20) следует учитывать отличие последней от отливки (см. рис. 19). Модель воспроизводит только наружные очертания отливки. Внутренние полости, отверстия воспроизводятся с помощью стержней. Поэтому модели для отливок деталей с внутренними полостями имеют на концах выступы (знаки). Знаки необходимы для образования в форме углублений, которые служат для укладывания стержня. Форма стержневых знаков соответствует форме стержней, а длина знаков зависит от длины стержней (табл. 16).

Таблица 15 – Величина формовочных уклонов для отливок, получаемых в песчаных формах

Высота модели, мм	Формовочные уклоны			
	Металлическая модель		Деревянная модель	
	град.	мм	град.	мм
До 20	1,5	0,5...1,0	0,5	1,0
20...50	1,0	0,8...1,2	1,5	1,0...2,0
50...100	0,8	1,0...1,5	1,0	1,5...2,5
100...300	0,5	2,0...3,0	0,5	2,5...4,0

Таблица 16 – Размеры стержневых знаков

Диаметр стержня, мм	Длина знака при длине стержня между опорами, мм			
	90...100	101...200	201...400	401...700
До 100	10...25	15...30	30	30
101...160	30	30	35	60
161...250	35	40	40	80
151...400	40	50	50	110

В зависимости от применяемых для литья сплавов все размеры модели делают больше, чем у отливки, на величину *литейной усадки*. Под литейной усадкой понимают относительную разницу в размерах модели и изготовленной по ней отливки:

$$\varepsilon_l = \frac{l_m - l_o}{l_m} \cdot 100, \quad (20)$$

где ε_l – литейная усадка, %;

l_m – длина модели,

l_o – длина отливки.

Примерная литейная свободная усадка для разных сплавов (%): серый чугун – 1...1,3, сталь – 2...2,5, медные сплавы – 1,5...2,5, алюминиевые сплавы – 1...1,5.

Важным элементом технологии литья является заливка формы расплавленным металлом. Подвод металла в форму осуществляется с помощью *литниковых систем* различных конструкций – верхних, нижних или сифонных; боковых, когда питатели подводят по разьему формы; ярусных (этажных), при которых питатели подводятся на разных уровнях; дождевых (табл. 17).

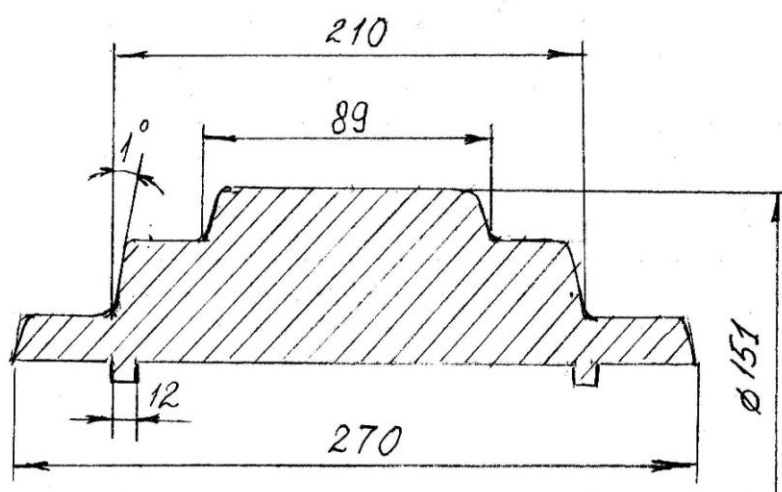


Рисунок 20 – Чертеж модели (в разрезе показана половина модели)

Таблица 17 – Основные разновидности литниковых систем

Литниковая система	Характеристика литниковой системы
Горизонтальная	Расположение питателей в горизонтальной плоскости разъема формы
Вертикальная	Расположение питателей в вертикальной плоскости разъема формы на нескольких уровнях (или вертикально)
Верхняя	Подача расплава в полость формы сверху
Дождевая	Вертикальная, верхняя, с подводом расплава сверху через ряд питателей (отверстий малого диаметра)
Ярусная	Вертикальная, с подачей расплава на нескольких уровнях
Сифонная	Горизонтальная или вертикальная, с подачей металла снизу
По разъему	Подвод расплава по плоскости разъема формы

В литниковую систему (рис. 21) входит литниковая воронка (чаша) 1, предназначенная для приема расплава и задержания попадающего вместе с ним шлака. Вертикальный канал – стояк 2 – передает расплавленный металл от воронки к другим элементам системы. Шлакоуловитель 3 служит для дальнейшей передачи металла и очистки его от шлака и неметаллических включений. Его обычно размещают по разъему в верхней полуформе. Питатели 4 служат для подвода металла из шлакоуловителя в полость формы.

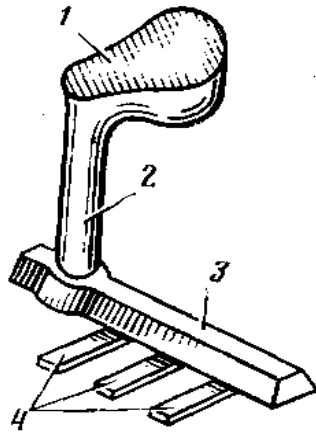


Рисунок 21 – Литниковая система:
1 – воронка; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатели

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Порядок проведения работы.
3. Эскиз готовой детали.
4. Эскиз отливки.
5. Эскиз деревянной модели.
6. Эскиз литейной формы в сборе (продольный и поперечный разрезы).

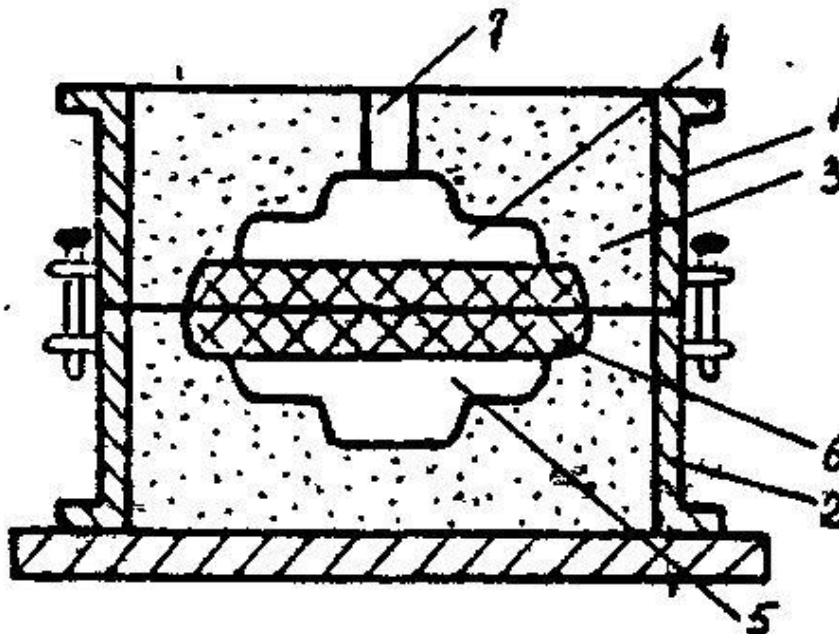
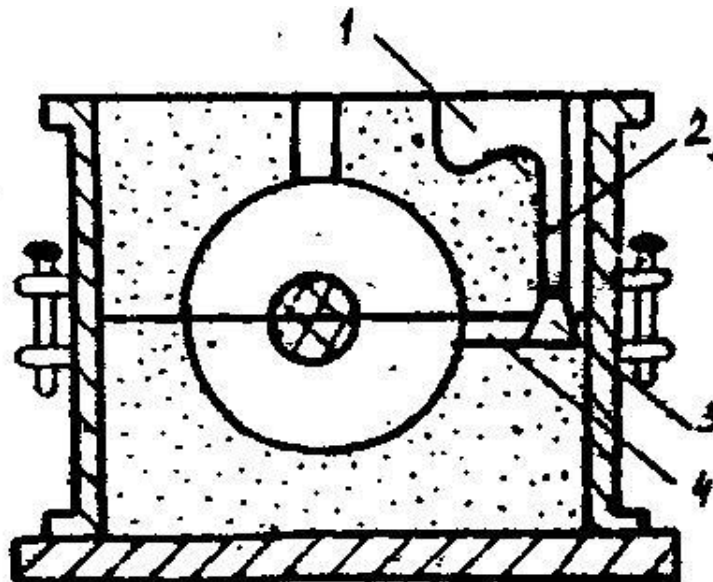


Рисунок 22 – Литейная форма в сборе. Продольный разрез:
1, 2 – верхняя и нижняя опоки; 3 – формовочная смесь;
4, 5 – верхняя и нижняя полуформы; 6 – стержень; 7 – выпор



*Рисунок 23 – Литейная форма в сборе.
 Поперечный разрез с элементами литниковой системы:
 1 – воронка; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатель*

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличается отливка от готовой детали?
2. Почему припуски на механическую обработку различны у верхней и нижней частей отливки?
3. Что такое галтель?
4. Чем отличается модель от отливки?
5. Каково назначение стержневых знаков?
6. От чего зависит величина формовочных уклонов?
7. Что называется литейной усадкой?
8. Для чего предназначен выпор?
9. Как может осуществляться подвод жидкого металла в форму?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ ПО РАЗЪЕМНОЙ МОДЕЛИ

Цель работы: закрепить теоретические знания по технологии изготовления песчаных форм ручной формовкой в опоках по разъемной модели и изготовлению отливки.

Приборы, материалы и инструменты:

1. Формовочные и стержневые смеси.
2. Модельный комплект.
3. Сухой разделительный песок.
4. Посуда для воды.
5. Сито для просеивания облицовочной смеси.
6. Формовочный инструмент (совок, ручная трамбовка, вентиляционная игла, деревянный молоток, линейка, подъем для удаления модели из формы).
7. Электрическая печь.
8. Сушильный шкаф.
9. Литейный сплав.

ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Приготовить формовочную и стержневую смеси.
2. Изготовить стержень и высушить его.
3. Приготовить опочно-модельную оснастку.
4. Приготовить в электропечи сплав.
5. Изготовить полуформы верха и низа заданной отливки.
6. Собрать литейную форму.
7. Залить сплав в форму.
8. После остывания сплава в форме произвести разбивку литейной формы и очистку отливки.
9. Определить качество отливки и произвести анализ имеющихся дефектов в отливке, выявить их причины.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В настоящее время большинство всех литых деталей в машиностроении изготавливаются в песчаных формах. Процесс изготовления форм называется *формовкой*. Она бывает машинная и ручная. Машинная формовка применяется в заводских условиях при серийном

или массовом производстве. Ручная формовка применяется при индивидуальном производстве в ремонтных мастерских.

Известны такие методы ручной формовки, как формовка в кессонах, формовка в почве, формовка в опоках, формовка по шаблону, формовка по скелетной модели и др.

Для мелкого и среднего литья в индивидуальном производстве чаще всего используется ручная формовка в опоках с подмодельной плитой по разъемной деревянной модели. Для изготовления разовой литейной формы предназначен *модельный комплект*. В его состав входят: подмодельная плита, нижняя и верхняя опоки, модель отливки, модель литниковой системы, стержневой ящик.

Изготовление стержня

Установить вертикально на подмодельную плиту 1 (рис. 24, а) собранный и скрепленный струбциной стержневой ящик 2. Засыпать в него порцию стержневой смеси 3, уплотнить ее ручной трамбовкой 4. Последующей засыпкой смеси порциями и ее трамбовкой заполнить полость стержневого ящика до верха.

Установить ящик горизонтально на подмодельной плите (рис. 24, б) и снять верхнюю половину 5. Нижняя половина 7 вместе со стержнем 6 останется на подмодельной плите.

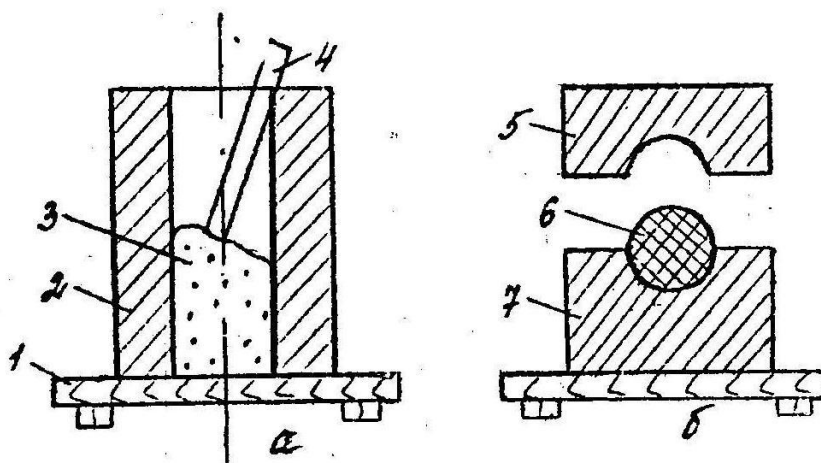


Рисунок 24 – Схема стержневого ящика:

- 1 – подмодельная плита; 2 – стержневой ящик; 3 – стержневая смесь;
4 – трамбовка; 5 – верхняя половина стержневого ящика; 6 – стержень;
7 – нижняя половина стержневого ящика

Изготовленный стержень осторожно извлечь из стержневого ящика и уложить на сушильную плиту. Сушильную плиту вместе со стержнем поместить в сушильный шкаф.

Изготовление литейной формы

Формовка по разъемной модели проводится в такой последовательности:

1. Нижнюю половину модели (без центрирующих шипов) положить плоскостью разъема вниз на подмодельную плиту и накрыть нижней опокой (рис. 25, а).

2. Через сито просеять облицовочную смесь, покрывая модель слоем толщиной 15...20 мм (рис. 25, б). Остальную часть опоки засыпать с избытком наполнительной смесью (рис. 25, в).

3. Уплотнить смесь ручной трамбовкой (сначала острым, а затем плоским ее концом).

4. Линейкой срезать излишки формовочной смеси заподлицо с опокой.

5. Иглой наколоть вентиляционные каналы (рис. 25, г).

6. Набитую опоку повернуть на 180°.

7. На нижнюю полумоделю установить верхнюю полумоделю и припылить ее.

8. Плоскость разъема формы посыпать разделительным сухим песком.

9. На нижнюю опоку по штырям наложить верхнюю опоку (рис. 25, д).

10. Установить модели элементов литниковой системы и выпора.

11. Просеять облицовочную смесь, уплотняя ее руками вокруг модели, элементов литниковой системы и выпора.

12. Засыпать верхнюю опоку с избытком наполнительной смесью, уплотнить ее, линейкой срезать излишки смеси заподлицо с верхней опокой.

13. Иглой наколоть вентиляционные каналы в верхней полуформе (рис. 25, е).

14. Удалить из формы модели стояка и выпора.

15. Снять верхнюю опоку и повернуть ее на 180°.

16. Растолкнуть подъемником полумоделю в стороны и осторожно удалить из форм.

17. Установить в нижнюю полуформу готовый стержень, накрыть верхней полуформой (рис. 25, ж).

18. Произвести заливку литейным сплавом.

19. После застывания сплава произвести разборку формы (рис. 25, з).

20. Готовую отливку очистить и проанализировать на качество.

В соответствии с последовательностью технологического процесса изготовления литейной формы и по результатам анализа качества отливки заполнить таблицы 18 и 19.

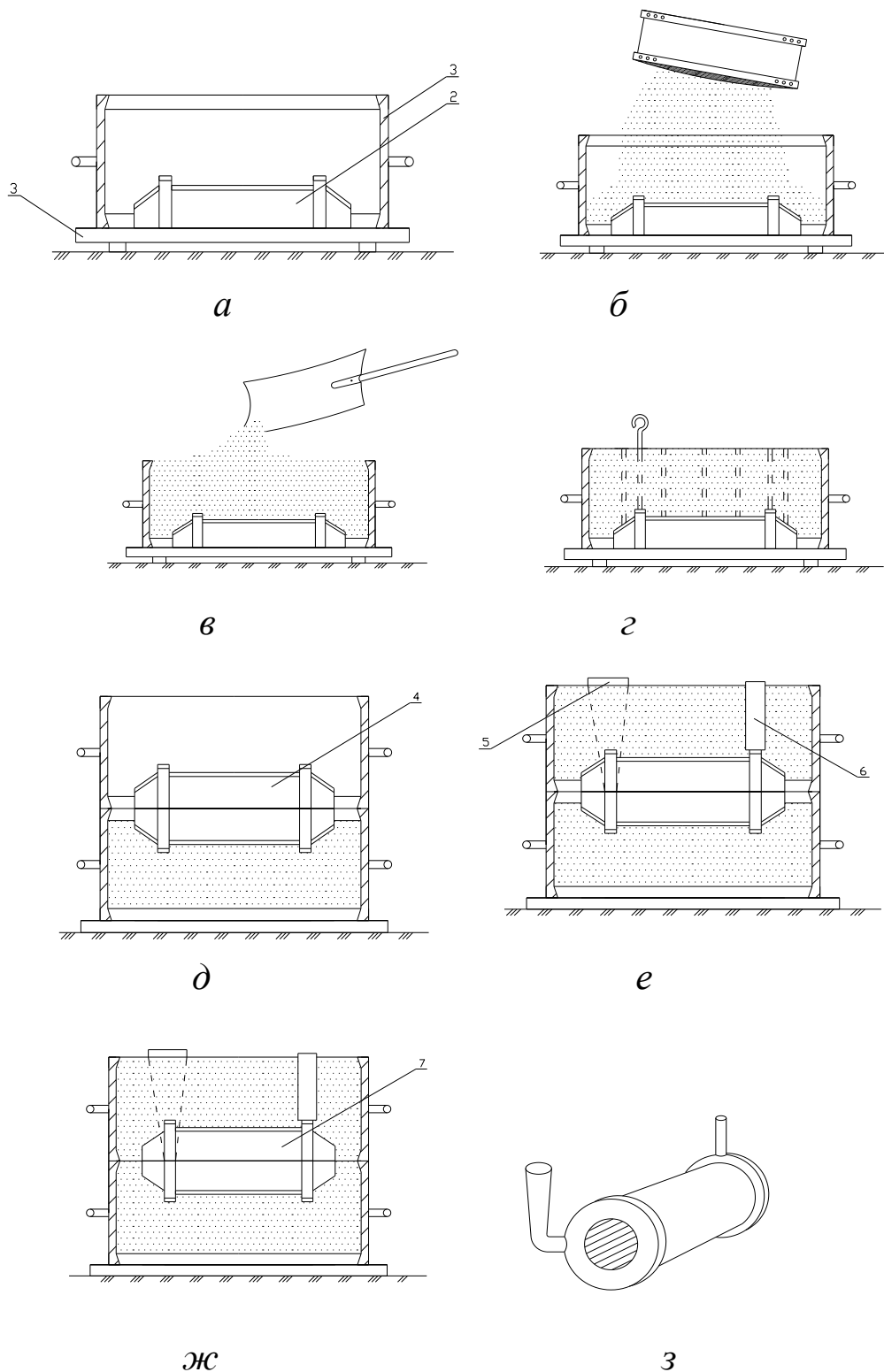


Рисунок 25 – Схема изготовления литейной формы:
 1 – подмодельная плита; 2 – нижняя полумodelь; 3 – опока; 4 – верхняя полумodelь; 5 – элементы литниковой системы; 6 – выпор; 7 – стержень

Таблица 18 – Последовательность формовки по разъемной модели

Номер	Наименование операции	Эскиз

Таблица 19 – Результаты анализа дефектов отливки

Номер	Наименование дефекта	Причины	Меры предупреждения и устранения

Причины и виды литейного брака

Литейный брак возникает при нарушении технологии изготовления формы в результате неправильной конструкции литой детали или при несоблюдении технологии плавки металла. В зависимости от характера дефектов литейный брак может быть допустимым, исправимым и окончательным.

Отливки, имеющие допустимые по техническим условиям дефекты, передаются в механический цех для дальнейшей обработки.

Отливки с исправимыми дефектами направляются в специальное отделение литейного цеха для устранения этого дефекта.

При наличии недопустимых дефектов отливки считаются окончательным браком и отправляются на переплавку.

Выделяют следующие виды литейного брака:

Раковины – образуются по различным причинам: высокая газотворная способность и низкая газопроницаемость формовочной смеси (газовые раковины); резкие переходы от тонких частей отливки к толстым (усабочные раковины); плохая набивка опок (земляные раковины); применение загрязненной шихты и шлакоуловителей неправильной конструкции (шлаковые раковины).

Трещины – возникают вследствие недостаточной податливости форм и стержней при высоких температурах (горячие трещины) и неравномерного охлаждения отливки (холодные трещины).

Несоответствие размеров и конфигурации отливки чертежу вызывается рядом причин: слабым креплением или недостаточным загрузением формы; заливкой формы холодным металлом (недоливы); неправильной сборкой форм и установкой стержней (перекос); возникновением напряжений при резкой разностенности отливки (коробление).

Некоторые способы устранения литейного брака представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Способы устранения дефектов литья

Характеристика	Назначение
1	2
<i>Дуговая сварка</i>	
<p>- При горячей сварке дефектное место тщательно разделяется до полного удаления пораженного слоя металла. Отливку нагревают до 350...700 °С. Объем раковины заполняют наплавленным металлом (должен быть близким по химическому составу материалу отливки). Наплавляемый металл поддерживают некоторое время в жидком состоянии, чтобы выровнять химический состав и удалить неметаллические включения. После сварки отливку или дефектное место вновь нагревают до первоначальной температуры и затем медленно охлаждают.</p> <p>- Холодную сварку выполняют без нагрева с предварительной тщательной подготовкой и разделкой пораженного места отливки. Наплавка металла – однослойная валиками или многослойная валиками, по необходимости с подчеканкой</p>	<p>- Исправляют до механической обработки сквозные дефекты стенок отливок, неплотности стенок, дефекты обрабатываемых поверхностей, работающих на трение и износ. После механической обработки (шабровки, шлифовки) исправляют дефекты любых поверхностей.</p> <p>- Исправляют дефекты поверхности (трещины несквозные) ответственных мест отливки</p>
<i>Газопламенная наплавка</i>	
<p>- В качестве горючего газа используют ацетилен, природный газ, пропан, бутан. Присадочный материал должен быть близок по составу к основному металлу отливки. По необходимости отливку или часть ее нагревают в печи, горне. Местный нагрев выполняют пламенем сварочной горелки</p>	<p>- Исправляют сквозные дефекты стенок отливок, испытывающих динамические нагрузки, любые дефекты на поверхностях отливки, неплотности стенок резервуаров</p>
<i>Сварка-пайка</i>	
<p>- Сварку-пайку выполняют с предварительным местным нагревом поверхности до 300...400 °С или без нагрева. Нагрев производится пламенем сварочной горелки или индукционными токами высокой частоты. Дефектное место отливки тщательно разделяют до полного удаления пораженного слоя металла. Заваренное место засыпают сухой землей или накрывают асбестом, чтобы снизить скорость охлаждения. При необходимости исправленную отливку вторично нагревают до 350...450 °С с последующим охлаждением</p>	<p>- Исправляют отдельные раковины небольших размеров на механически обработанных поверхностях отливки, а также раковины средних размеров отливок несложной конфигурации</p>

1	2
<i>Заделка раковин пробками</i>	
- Раковины рассверливают до минимально допустимого размера, нарезают в отверстие резьбу и ввертывают металлическую вставку, которую заваривают или чеканят. Затем обрабатывают вставку заподлицо с телом отливки	- Исправляют отдельно расположенные раковины мелких размеров
<i>Заделка замазками, мастиками, пастами</i>	
- Дефектное место вырубает или высверливают. Обработанную поверхность обезжиривают и сушат. Замазку, мастику, пасту наносят шпателем. После затвердевания нанесенного материала исправленное место зачищают и грунтуют. Широко применяют замазки на основе эпоксидной смолы	- Заделывают ужимины, несквозные раковины на нерабочих поверхностях и поры глубиной не более 1/3 толщины стенки

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Таблицы 18 и 19.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими свойствами должны обладать формовочные и стержневые смеси?
2. Каков состав этих смесей?
3. Из чего состоит модельный комплект?
4. Как готовится стержень?
5. Каковы основные причины и виды литейного брака?
6. Какие дефекты литья могут быть исправлены и каким образом?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ II

1. Обозначение разъема литейной формы на чертежах:

- а) В;
- б) МФ;
- в) Н;
- г) РФ.

2. Литейная усадка серых чугунов составляет (%):

- а) 1,0...1,3;
- б) 1,5...2,5;
- в) 2,0...2,5;
- г) 2,5...3,0.

3. Литейная усадка медных сплавов составляет (%):

- а) 1,5...2,5;
- б) 1,0...1,3;
- в) 2,1...2,5;
- г) 2,5...3,0.

4. Литейная форма, из которой при заливке происходит выделение вредных газов:

- а) водоохлаждаемая;
- б) металлическая;
- в) оболочковая;
- г) песчано-глинистая.

5. Метод литья, при использовании которого чугунные отливки получают отбеленными и требуют длительного отжига:

- а) кокильное литье;
- б) литье в оболочковые формы;
- в) центробежное литье;
- г) литье в песчано-глинистые формы.

6. Метод литья, в котором отсутствует литниковая система:

- а) кокильное литье;
- б) литье в оболочковые формы;
- в) центробежное литье;
- г) электрошлаковое литье.

7. Материал отливок, получаемый литьем под давлением:

- а) легированная сталь;
- б) углеродистые сталь;
- в) цветные металлы и сплавы на их основе;
- г) чугун.

8. Технологический процесс получения фасонных деталей путем заполнения жидким металлом заранее приготовленных форм:

- а) литье;
- б) кристаллизация;
- в) плавление;
- г) формовка.

9. Процесс изготовления литейной формы:

- а) литье;
- б) кристаллизация;
- в) плавление;
- г) формовка.

10. Приспособление, при помощи которого в литейной форме воспроизводят внешний контур будущей отливки:

- а) модель;
- б) стержень;
- в) стояк;
- г) опока.

11. Приспособление, при помощи которого в литейной форме воспроизводят внутренние полости:

- а) модель;
- б) стержень;
- в) подмодельная плита;
- г) опока.

12. Приспособление, которое служит для изготовления песчаных стержней:

- а) модель;
- б) опока;
- в) подмодельная плита;
- г) стержневой ящик.

13. Каналы в форме, по которым жидкий металл подходит к полости формы и питает отливку в процессе ее кристаллизации:

- а) литниковая система;
- б) опока;
- в) стержень;
- г) модель.

14. Способ литейного производства, при котором металл отливки получается самого высокого качества:

- а) кокильное литье;
- б) литье в оболочковых формах;
- в) центробежное литье;
- г) электрошлаковое литье.

15. Самый распространенный способ литейного производства:

- а) в песчано-глинистые формы;
- б) кокиль;
- в) оболочковые формы;
- г) по выплавляемым моделям.

16. Металлические рамки, в которых производится формовка в песчано-глинистых смесях:

- а) модель;
- б) кокиль;
- в) опоки;
- г) стержневой ящик.

17. Способность металлов и сплавов в расплавленном состоянии воспроизводить рельеф полости формы:

- а) жидкотекучесть;
- б) кристаллизация;
- в) ликвация;
- г) усадка.

18. Уменьшение линейных и объемных размеров сплавов при затвердевании и охлаждении:

- а) жидкотекучесть;
- б) кристаллизация;
- в) ликвация;
- г) усадка.

19. Свойство формовочных и стержневых смесей пропускать пары воды и газы, образующиеся при соприкосновении горячего металла с формой:

- а) газопроницаемость;
- б) пластичность;
- в) податливость;
- г) прочность.

20. Способность формовочных и стержневых смесей сохранять форму при воздействии внешних сил:

- а) газопроницаемость;
- б) пластичность;
- в) податливость;
- г) прочность.

21. Свойство формовочной смеси не препятствовать усадке:

- а) газопроницаемость;
- б) пластичность;
- в) податливость;
- г) прочность.

22. Металлическая форма, многократно используемая для получения отливок:

- а) изложница;
- б) кокиль;
- в) опока;
- г) шаблон.

23. Метод литья, при котором отливки получают в форме, состоящей из двух песчано-смоляных оболочек:

- а) литье в кокиль;
- б) литье в оболочковые формы;
- в) литье под давлением;
- г) центробежное литье.

24. Метод литья, при котором жидким металлом принудительно заполняют металлическую пресс-форму под давлением:

- а) литье в кокиль;
- б) литье в оболочковые формы;

- в) литье под давлением;
- г) центробежное литье.

25. Метод литья, при котором отливки не имеют припусков на механическую обработку:

- а) литье в оболочковые формы;
- б) литье под давлением;
- в) кокильное литье;
- г) центробежное литье.

26. Метод литья, при котором литейная форма выполняет функции плавильного агрегата:

- а) кокильное литье;
- б) литье под давлением;
- в) центробежное литье;
- г) электрошлаковое литье.

27. Метод литья, при котором расплавленный металл заливают во вращающиеся формы:

- а) литье в оболочковые формы;
- б) литье под давлением;
- в) кокильное литье;
- г) центробежное литье.

28. Свойство формовочной смеси не сплавляться и не спекаться под действием расплавленного металла:

- а) газопроницаемость;
- б) огнеупорность;
- в) податливость;
- г) прочность.

29. Свойство литейных сплавов, заключающееся в неоднородности химического состава между отдельными участками отливки и в зернах:

- а) жидкотекучесть;
- б) кристаллизация;
- в) ликвация;
- г) усадка.

30. Дополните:

Металлические рамки, в которых производится формовка в песчано-глинистых смесях, называются _____.

31. Дополните:

Приспособление, при помощи которого в литейной форме воспроизводят внешний контур будущей отливки, называется _____.

32. Дополните:

Приспособление, при помощи которого в литейной форме воспроизводят внутренние полости, называется _____.

33. Дополните:

Каналы в форме, по которым жидкий металл подходит к полости формы и питает отливку в процессе ее кристаллизации, называются _____.

ГЛАВА III. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

ТЕМА 6. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

6.1. Пластическая и упругая деформация

Процесс обработки металлов давлением – это придание заготовке требуемой формы, размеров и физико-механических свойств без нарушения ее сплошности путем пластической деформации.

Деформацией называют изменение размеров и формы тела под действием приложенных сил.

Различают *упругую* (исчезающую) и *пластическую* (остаточную) деформации.

Упругой называют деформацию, которая полностью исчезает после прекращения действия внешних сил. Под действием приложенных сил происходит незначительное, полностью обратимое смещение атомов, при котором нарушается баланс сил электростатического притяжения и отталкивания. После снятия нагрузки силы притяжения и отталкивания возвращают смещенные атомы в исходное равновесное состояние, и кристаллы приобретают первоначальную форму и размеры. При упругой деформации смещение атомов с места устойчивого равновесия не превышает расстояния между соседними атомами кристаллической решетки. После снятия нагрузки атомы возвращаются в исходное положение, и форма тела полностью восстанавливается.

Пластической называют деформацию, которая при достижении касательными напряжениями определенного предела (порог упругости) становится необратимой. При снятии нагрузки исчезает лишь упругая составляющая деформации, а пластическая остается. При пластической деформации смещение атомов значительно превышает межатомные расстояния, и они становятся в новые места устойчивого равновесия. После снятия нагрузки форма тела не восстанавливается. Под действием внешних сил в кристалле происходит сдвиг по плоскости, расположенной в зоне максимальных касательных напряжений. Обычно это плоскости с более плотной упаковкой атомов, их называют плоскостями сдвига или скольжения.

Схема упругой и пластической деформации металла, подвергнутого напряжению сдвига, показана на рисунке 26.

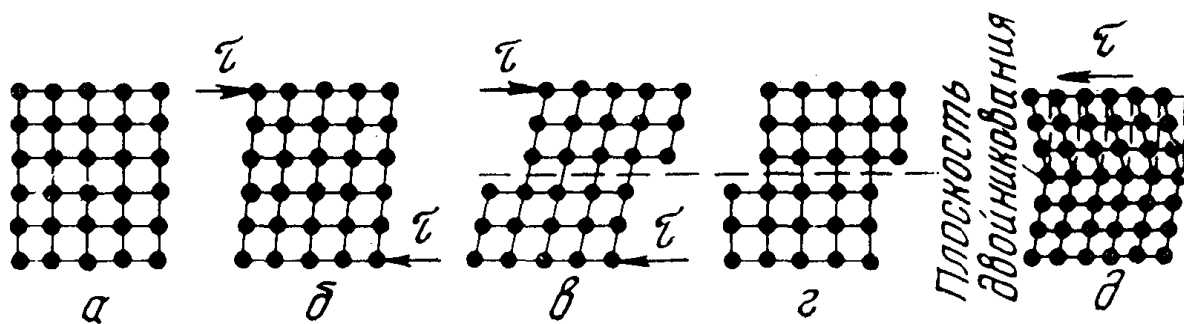


Рисунок 26 – Упругая и пластическая

деформация металла под действием напряжения сдвига:

а – до деформации; б – после упругой деформации; в – после упругой и пластической деформации, превышающей предел упругости; г – после сдвига сохранилась остаточная деформация; д – образование двойника

Кроме скольжения (сдвига) пластическое деформирование может происходить путем двойникования. Двойникование заключается в симметричном смещении одной части кристалла относительно другой под действием касательных напряжений. Двойникование чаще всего встречается в металлах и сплавах, имеющих гексагональную или объемноцентрированную кубическую решетку. В отличие от обычного сдвига двойниковый сдвиг совершается только раз и не приводит к значительным пластическим деформациям. Однако вместе с ним появляются дополнительные очаги сдвиговой деформации по механизму обычного скольжения.

Именно возможностью сочетания двойникования и сдвига объясняется высокая пластичность меди, аустенита, серебра, цинка, магния и др.

Получение заготовок или деталей требуемых размеров и формы при обработке давлением достигается пластическим перемещением (сдвигом) части металла. В этом заключается основное отличие и преимущество обработки давлением по сравнению с обработкой резанием, при которой форма изделия получается удалением части металла заготовки.

Поэтому обработка давлением характеризуется малыми отходами металла, она является высокопроизводительным процессом, так как изменение размеров и формы заготовки достигается однократным приложением внешней нагрузки.

6.2. Холодная и горячая обработка давлением

Металлы промышленного производства имеют поликристаллическое строение, состоят из большого числа сросшихся кристаллов неправильной формы, называемых кристаллитами или зёрнами. Отличие соседних зёрен заключается в различной пространственной ориентации кристаллических решёток.

При обработке давлением литых заготовок происходит пластическая деформация отдельных зёрен и их относительное смещение. Эта деформация сопровождается дроблением зёрен и их удлинением, металл приобретает мелкозернистую, строчечную, волокнистую структуру. Различают деформацию внутрикристаллическую (осуществляющуюся внутри зёрен) и межкристаллическую (протекающую по границам зёрен). При обработке металлов давлением наблюдаются оба вида деформации одновременно. Однако при комнатной температуре преобладает внутрикристаллическая деформация, а при высокой температуре – межкристаллическая, так как при нагреве связи между зёрнами ослабевают.

В зависимости от температурных условий деформирования различают *холодную и горячую обработку металлов давлением*.

Волокнистая структура, образовавшаяся при холодной обработке, обладает явно выраженными анизотропными свойствами. Установлено, что прочность и ударная вязкость металла, имеющего волокнистое строение выше вдоль волокон, чем поперек волокон, что используется при изготовлении деталей.

Металлы и сплавы при холодном деформировании помимо упрочнения изменяют электропроводность, коррозионную стойкость и другие свойства.

Упрочнение металлов при пластической деформации называется *наклепом*.

С увеличением степени деформации прочность и твердость увеличиваются, а пластичность и вязкость снижаются (рис. 27).

Степень деформации выражается в % по формуле

$$\varepsilon = \frac{F_n - F_k}{F_n} \cdot 100, \quad (21)$$

где ε – степень деформации;

F_n – площадь поперечного сечения заготовки до деформации, м²;

F_k – площадь поперечного сечения поковки после деформации, м².

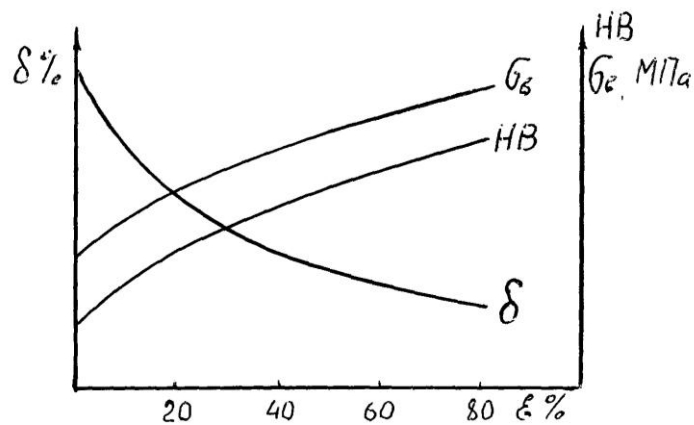


Рисунок 27 – Влияние степени деформации на механические свойства при холодной обработке

При наклепе металл переходит в термодинамически неустойчивое состояние с повышенным запасом внутренней энергии (закон термодинамики), поэтому при нагревании он самопроизвольно стремится перейти в более устойчивое состояние.

Переход к этому состоянию связан с уменьшением искажения кристаллической решетки и снятию внутренних напряжений, что возможно при перемещении атомов. При низких температурах подвижность атомов мала. С повышением температуры развиваются процессы, приводящие металл к равновесному состоянию. При сравнительно невысокой температуре (до 400 °С) происходит частичное снятие внутренних напряжений и незначительное изменение деформации металла. Эти явления называют *отдыхом* или *возвратом*. При возврате заметных изменений в микроструктуре не наблюдается, металл сохраняет волокнистое строение. Однако твердость и прочность несколько понижаются, а пластичность возрастает.

Дальнейшее повышение температуры металла увеличивает амплитуду тепловых колебаний его атомов и скорость диффузионных процессов. В результате происходит перегруппировка атомов, образуются новые равноосные зерна, и свойства металла возвращаются к их исходным значениям, какие были до деформации. Процесс образования новых центров кристаллизации и рост новых равноосных зерен в деформированном металле при нагреве, сопровождающийся уменьшением прочности и увеличением пластичности, называется *рекристаллизацией*. Наименьшая температура, при которой начинается процесс рекристаллизации и разупрочнения металла, называется температурой рекристаллизации. По данным А.А. Бочвара, темпера-

тура рекристаллизации $T_{рек}$ чистых металлов может быть определена для практических целей по формуле

$$T_{рек} = 0,4T_{пл}, \quad (22)$$

где $T_{пл}$ – абсолютная температура плавления металла.

Обработка металлов давлением, выполняемая при температуре ниже $T_{рек}$, называется *холодной*, обработка при температуре выше $T_{рек}$ называется *горячей* обработкой давлением. При горячей обработке в металле протекают одновременно процессы упрочнения и разупрочнения.

Скорость процесса разупрочнения, вызванного рекристаллизацией, обычно превышает скорость процесса упрочнения.

При горячей обработке образуется структура с анизотропными свойствами. Механические свойства при горячей обработке металлов давлением изменяются незначительно.

При горячей обработке происходит дробление зерен, образуется мелкозернистая структура с равноосными зёрнами, плотность металла при этом увеличивается, так как завариваются внутренние поры, раковины, микротрещины, газовые пузыри (рис. 28).

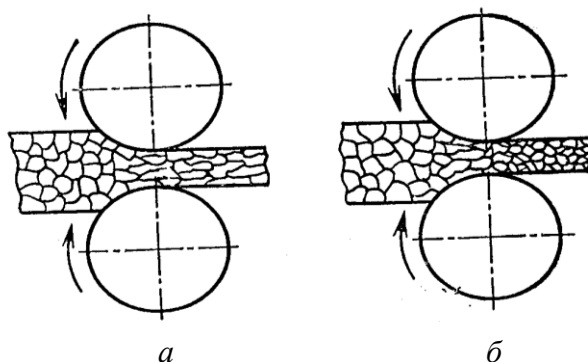


Рисунок 28 – Схемы изменения микроструктуры металла при обработке давлением:
а – холодной; б – горячей

6.3. Нагрев металла перед обработкой давлением

Для повышения пластичности и уменьшения сопротивления деформации металлы и сплавы перед обработкой давлением нагревают до определенной температуры. Например, при нагреве выше $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ сопротивление деформированию уменьшается в десятки раз, пластичность увеличивается на десятки процентов, и почти полностью исчезают упругие свойства. Однако для каждого металла существует такой температурный интервал (диапазон температур начала и окончания обработки), в котором обеспечиваются оптимальные условия горячей обработки давлением.

При нагреве металла происходят следующие явления, которые необходимо учитывать при выборе температуры и режима нагрева:

8. . *Окисление металла.* При нагревании > 700 °С происходит интенсивное окисление поверхностного слоя с образованием окалина, состоящей из оксидов Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO .

При достижении температуры 1300...1350 °С окалина плавится, и заготовка горит с образованием снопа ярко-голубых искр.

Потери металла на окалину (угар) при однократном нагреве в пламенной печи составляют 1,5...2,5 %, а при электронагреве – 0,4...0,7 %.

В пламенных печах тепло образуется при сгорании жидкого (озута) или газообразного топлива.

Кроме безвозвратных потерь металла образование окалина в 1,5-2 раза повышает интенсивность изнашивания деформирующего инструмента, так как твердость окалина выше твердости деформируемого металла.

2. При высоких температурах наряду с окислением металла происходит *обезуглероживание* поверхностного слоя стали вследствие выгорания углерода. Толщина обезуглероженного слоя составляет обычно 0,2...0,5 мм, достигая иногда 1,5...2,0 мм.

Для уменьшения указанных процессов нагрев заготовок желательно проводить в защитной среде.

Для каждого металла или сплава существует свой оптимальный температурный интервал горячей обработки давлением. Например, при высоких температурах нагрева стали интенсивно растет зерно аустенита, пластичность снижается на 25 %, значительно снижаются механические свойства. Это явление называется *перегревом*. Структуру перегретой стали можно исправить последующим отжигом.

При нагреве стали до температуры, близкой к температуре плавления (солидус), происходит интенсивная диффузия в нее кислорода, образование оксидов по границам зерен и расплавление легкоплавких межзеренных прослоек, что приводит к появлению трещин и потере пластичности. Это явление называется *пережогом*. Температура пережога для углеродистых сталей в зависимости от содержания углерода находится в пределах 1490...1180 °С (соответственно для сталей с 0,1 до 1,1 % углерода).

Пережог не устраняется термической обработкой, и металл идет на переплавку.

Температурный интервал горячей обработки давлением углеродистых сталей можно изобразить графически (рис. 29).

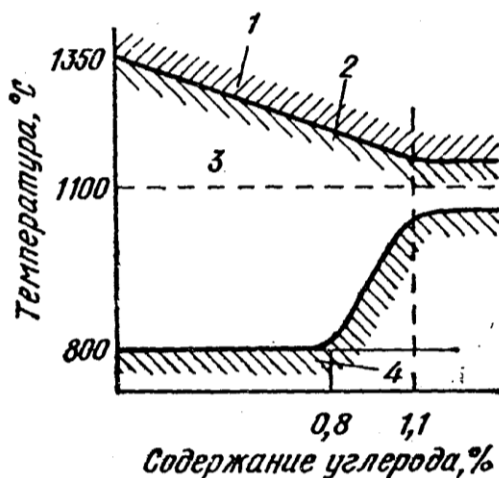


Рисунок 29 – Оптимальные температуры начала и конца горячей обработки давлением:

1 – зона пережога; 2 – зона перегрева; 3 – зона горячей обработки давлением; 4 – зона наклепа

Температурные интервалы обработки давлением главным образом зависят от химического состава сплава. Ориентировочно начальную температуру обработки определяют по формулам:

$$t_n = at_{пл} \text{ или } t_n = t_c - (150 \dots 200 \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (23)$$

где a – коэффициент понижения температуры $a = 0,8-0,9$;

t_n – начальная температура обработки давлением, $^\circ\text{C}$;

$t_{пл}$ – температура плавления (определяется по диаграмме состояния);

t_c – температура линии солидус, определяемая по диаграмме Fe-C.

Конечную температуру t_k обработки давлением углеродистых сталей, также зависящую от содержания углерода, определяют по температуре рекристаллизации $t_{рек}$ заданного сплава:

$$t_{рек} = 100 \cdot (9,1 - 1,1C), \quad t_k = t_{рек} + 100, \quad (24)$$

где t_k – конечная температура обработки давлением, $^\circ\text{C}$;

C – содержание углерода, %.

Температура окончания термической обработки определяется по температуре рекристаллизации заданного сплава.

Контрольные вопросы

1. Что такое упругая деформация?
2. Что такое пластическая деформация?
3. Каков механизм пластического деформирования?

4. Как влияет наличие дислокаций на сопротивление пластическому деформированию?
5. При какой схеме нагружения можно получить максимальную величину пластической деформации?
6. Какие из химических элементов в железоуглеродистых сплавах наиболее сильно снижают пластические свойства?
7. Что такое скорость деформации?
8. Как влияет скорость деформации на пластичность металлов?
9. Назовите основные факторы, влияющие на пластичность металлов.
10. Как изменяются свойства при наклепе металлов?
11. При каких температурах необходимо проводить обработку давлением?
12. Перечислите дефекты нагрева при обработке давлением.
13. Перечислите основные нагревательные печи при обработке давлением.
14. Какие электронагревательные устройства применяются при обработке давлением?

ТЕМА 7. ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

В современном производстве применяют следующие виды обработки металлов давлением: прокатку, прессование, волочение, ковку и штамповку (рис. 30).

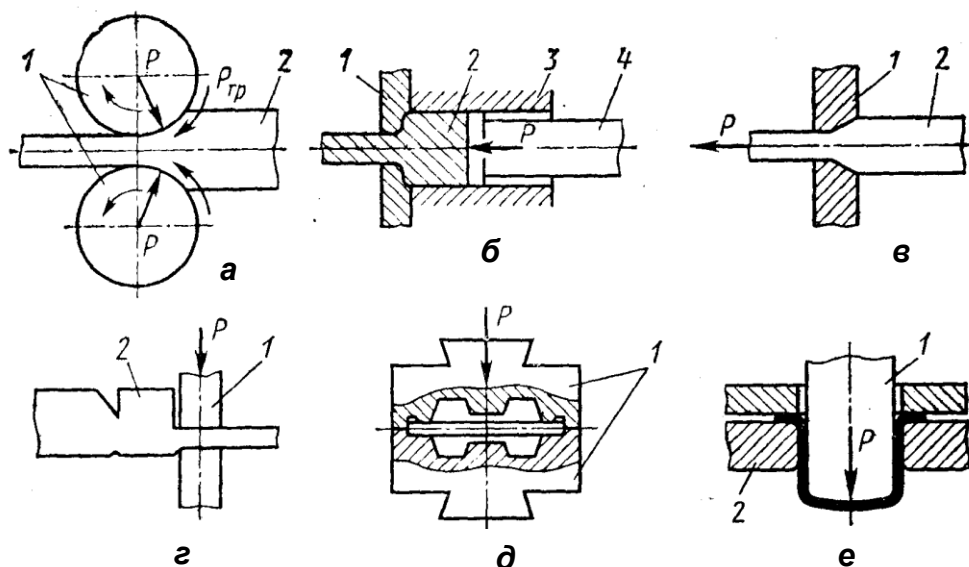


Рисунок 30 – Схемы основных видов обработки металлов давлением

Прокатка (рис. 30, а) заключается в обжатии заготовки 2 между вращающимися валками. Силами трения $R_{тр}$ заготовка втягивается между валками, а силы P , нормальные к поверхности валков, уменьшают поперечные размеры заготовки.

Прессование (рис. 30, б) заключается в продавливании заготовки 2, находящейся в замкнутой форме 3 через отверстие матрицы 1. Причем форма и размеры поперечного сечения выдавленной части заготовки соответствуют форме и размерам отверстия матрицы, а длина ее пропорциональна перемещению давящего инструмента 4.

Волочение (рис. 30, в) заключается в протягивании заготовки 2 через сужающуюся полость матрицы 1. Площадь поперечного сечения заготовки уменьшается и получает форму конечного сечения матрицы.

Ковкой (рис. 30, г) изменяют форму и размеры заготовки 2 путем последовательного воздействия специальным инструментом 1 на отдельные участки заготовки.

Штамповкой изменяют форму и размеры заготовки с помощью специального инструмента *штампа* (для каждой детали изготавливают свой штамп). Различают *объемную* (рис. 30, д) и *листовую* (рис. 30, е) штамповку. При объемной штамповке на заготовку воздействуют специальным инструментом – штампом 1, при этом металл заполняет полость штампа, приобретая ее форму и размеры. При листовой штамповке получают плоские и пространственные полые детали из заготовок, у которых толщина значительно меньше размеров в плане (лист, лента, полоса). Обычно заготовка деформируется с помощью пуансона 1 матрицы 2.

Рассмотрим подробнее перечисленные выше виды обработки металлов давлением.

7.1. Прокатка

Прокатка является одним из наиболее распространенных видов обработки металлов движением. Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. При прокатке металл пластически деформируется вращающимися валками. Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными. Различают три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую (рис. 31).

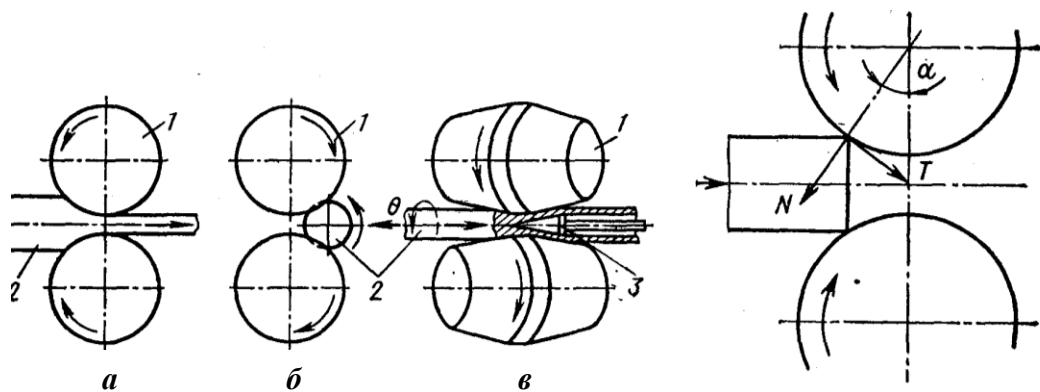


Рисунок 31 – Виды прокатки и схема действия сил в момент захвата заготовки валками

При *продольной прокатке* металл деформируется между валками, вращающимися навстречу друг другу, то есть в разном направлении (рис. 31, а). При продольной прокатке заготовка перемещается в направлении, перпендикулярном осям валков. В настоящее время этим способом производится почти 80 % прокатной продукции, в том числе весь листовой и профильный прокат. Крупный профиль и толстый лист производят методом горячей продольной прокатки. Тонкий лист, ленту, мелкий профиль точных размеров производят методом холодной продольной прокатки.

Горячая прокатка более производительна и экономична, но холодная прокатка обеспечивает более высокую точность и часто онстется чистовым (последним) этапом производства листов, труб и профилей.

При *поперечной прокатке* валки 1, вращаясь в одном направлении, передают вращение заготовке 2; которая перемещается вдоль оси валков и деформируется. Поперечная прокатка используется для производства специальных профилей периодического сечения (рис. 31, б).

При *поперечно-винтовой прокатке* валки расположены под углом и сообщают заготовке 2 вращательное и поступательное движение. При поступательном движении заготовка втягивается в зазор между вращающимися валками и деформируется (рис. 31, в).

Поперечно-винтовая прокатка применяется в основном для производства *бесшовных онструкции* труб, для чего используется оправка 3.

Производство бесшовных труб состоит из трех операций: прошивка отверстий в заготовке и получение толстостенной гильзы; про-

катка трубы из гильзы; обкатка для улучшения наружной и внутренней поверхностей для исключения овальности и разностенности трубы.

После прошивки толстостенная гильза нагревается и поступает на автоматические периодические прокатные станы.

Классификация прокатных станов

В зависимости от числа валков и расположения их в рабочих клетях прокатные станы бывают двухвалковые, трехвалковые (трио), четырехвалковые (кварто), многовалковые и специальные.

Прокатные станы могут быть одноклетьевыми (с одной рабочей клетью) и многоклетьевыми. Они имеют привод, включающий электродвигатель, и передаточный механизм.

Наиболее совершенные многоклетьевые станы – непрерывные, у которых рабочие клетки располагают последовательно одну за другой. Прокатываемая полоса через каждую клетку проходит только один раз, то есть число рабочих клеток этих станов равно требуемому числу проходов полосы. Расстояние между клетями обычно меньше длины прокатываемой полосы, следовательно, она прокатывается одновременно в нескольких клетях. На непрерывных станах достигается высокая производительность при полном исключении ручного труда. Максимальная скорость прокатки на современных станках составляет 50-69 м / с.

По назначению прокатные станы распределяются на три группы:

- для производства полупродукта;
- станы готовой продукции;
- станы специального назначения.

Первая группа включает *обжимные станы* (блюминги и слябинги) для получения полупродуктов (полуфабрикатов) крупного сечения. Стальные слитки квадратного или прямоугольного сечения массой до 15 т прокатываются на обжимных станах – блюмингах. Получаемые блюмы имеют сечение от 450х450 мм до 150х150 мм.

При производстве листового проката полуфабрикатами являются слябы, имеющие толщину до 350 мм и ширину до 2300 мм.

При продольной прокатке зазор между валками устанавливают меньше толщины исходной заготовки. Процесс прокатки происходит за счет трения, возникающего между валками и заготовкой. Металл заготовки подвергается деформации только на небольшом участке, определяемом углом захвата.

В результате пластической деформации толщина заготовки уменьшается, а длина и ширина увеличиваются.

Сортамент проката

Форму поперечного сечения прокатанного изделия называют *профилем*. Совокупность форм и размеров профилей называют *сортаментом*. Сортамент прокатываемых профилей стандартом разделяется на четыре группы: сортовой, листовой, трубный и специальные виды проката.

Сортовой прокат разделяют на простой геометрической формы (круг, квадрат, шестигранник, прямоугольник) и сложной фасонной формы (уголок, швеллер, тавровая балка, рельс, двутавр и др.) (рис. 32).

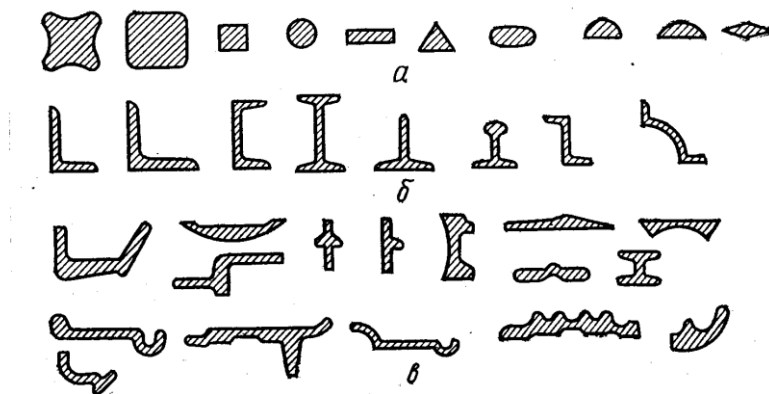


Рисунок 32 – Сортамент проката:
а – простого профиля; б – фасонный общего назначения;
в – специального назначения

Листовой прокат делят на толстолистовой (с толщиной листа > 4 мм) и тонколистовой (с толщиной листа < 4 мм).

Трубный прокат – это бесшовные и сварные трубы. Бесшовные трубы прокатывают диаметром 30...650 мм с толщиной стенки 2...160 мм (из углеродистых и легированных сталей). Сварные – трубы диаметром 50...2500 мм с толщиной стенки 0,5...16 мм из углеродистых и низколегированных сталей. Сварные трубы большого диаметра изготавливают с применением автоматической дуговой сварки под флюсом.

Специальный прокат – законченной формы (бандажи железнодорожных колес, шарики для шарикоподшипников, башмаки (траки) гусеничных тракторов и др.).

7.2. Прессование

Прессованием называется процесс обработки металлов онструкем путем выдавливания его пуансоном через отверстие в матрице. При этом металл принимает форму, соответствующую сечению отверстия в матрице.

Чаще прессование применяют для получения изделий из цветных металлов и сплавов. Прессованные изделия отличаются более точными размерами, чем катанные (после прокатки).

Величину *степени обжатия* заготовки ψ при прессовании определяют по формуле

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%, \quad (25)$$

где F_0 – сечение заготовки;

F_1 – сечение полученного профиля.

Для получения прессуемых изделий хорошего качества степень обжатия должна составлять 80...95 %.

Прессование является высокопроизводительным и экономичным способом обработки металлов и сплавов, при котором можно получать сплошные и полые профили (рис. 33, а).

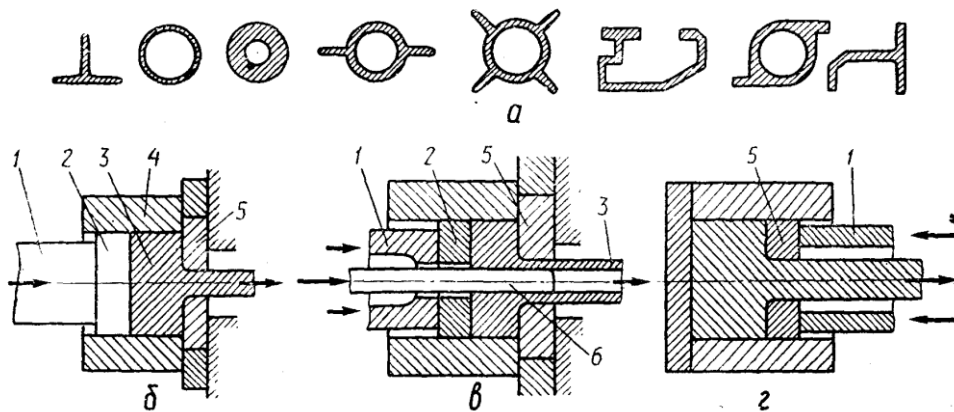


Рисунок 33 – Примеры прессованных изделий и схемы прессования

Прессование металла происходит в условиях неравномерного всестороннего сжатия. При этой схеме деформированный металл наиболее пластичен. Поэтому прессованием можно обрабатывать как пластичные, так и малопластичные сплавы: медные, алюминиевые, магниевые, титановые, углеродистые и легированные стали и др. К недостаткам процесса можно отнести значительные (иногда до 40 %

от массы заготовки) отходы металла и интенсивный износ инструмента, особенно при прессовании сталей и других труднодеформируемых сплавов.

Прессованием получают прутки диаметром 5...250 мм, проволоку диаметром 5...10 мм, трубы с наружным диаметром 20...400 мм и толщиной стенки 1,5...12 мм и другие изделия. Благодаря гибкости, легкости переналадки на изготовление другого профиля конструкции, по сравнению с прокатыванием, выгоднее изготавливать малые серии профилей.

Методы прессования

Исходной заготовкой для прессования является слиток или круглый прокат. Различают прямое и обратное прессование.

При *прямом прессовании* (рис. 33, б) направление выхода металла через отверстие матрицы 5 совпадает с направлением движения пуансона 1, давление которого на заготовку 3 передается через пресс-шайбу 2. Часть заготовки, которая остается в контейнере 4, называют пресс-остатком. Масса его составляет обычно 8...12 % от массы слитка.

При *прессовании труб* заготовка сначала прошивается иглой 6 (рис. 34, в), проходящей через полый пуансон 1. При дальнейшем перемещении пуансона и пресс-шайбы 2 металл выдавливается в виде трубы 3 через кольцевой зазор между стенками отверстия в матрице 5 и иглой.

При *обратном прессовании* (рис. 34, г) матрица 5 устанавливается в конце полого пуансона 1, и металл вытекает в направлении, обратном перемещению пуансона. Этот метод характеризуется меньшими отходами (масса пресс-остатка составляет 6...10 % от массы заготовки) и меньшим усилием прессования, но из-за сложности оборудования он находит ограниченное применение.

Оборудованием для прессования служат горизонтальные и вертикальные гидравлические прессы с усилием 3...250 МН с рабочим давлением жидкости до 40 Мпа. В последнее время все большее применение (особенно при производстве изделий из труднодеформируемых сплавов) находит гидропрессование – прессование металлов под непосредственным воздействием давления жидкости до 2000 Мпа и выше.

7.3. Волочение

Сущность процесса волочения состоит в деформации металла путем протягивания его через сужающийся по длине канал круглого, квадратного или более сложного профиля. Волочительный инструмент называется *волоком (матрица фильера)*, изготавливается из инструментальной стали, твердых сплавов или алмаза. Алмаз используется в виде кольцевой вставки.

Степень деформации металла характеризуется *коэффициентом обжатия ψ* .

Коэффициент обжатия за один проход для стали составляет 10-19 %, для цветных металлов и сплавов до 36 %.

Чтобы металл не разрушался, при волочении нужно выдерживать коэффициент утончения k :

$$k = \frac{d}{D}, \quad (26)$$

где D – диаметр заготовки до волочения;

d – диаметр заготовки после волочения.

Коэффициент утончения должен находиться в пределах 0,8...0,95.

Чтобы не было обрывов, усиление на волочение не должно превышать 0,6 предела прочности металла заготовки. Количественно деформацию, так же, как и при прокатке, можно характеризовать отношением полученной длины к исходной, то есть вытяжкой $M = \frac{L}{L_1}$.

Вытяжка за один проход не должна превышать 1,25...1,45.

Волочение чаще всего относится к холодной обработке металлов давлением, поэтому после каждого прохода или нескольких проходов проводится термическая обработка для снятия наклепа. Поскольку тянущее усилие при волочении затрачивается не только на деформирование металла, но и на преодоление силы трения металла о волоку, то эти силы трения уменьшают с применением смазки: касторового масла, олифы, минеральных масел с добавлением талька, порошка графита, мыла и др.

Сортамент изделий, изготавливаемых волочением, очень разнообразен (рис. 34, а) это проволока диаметром 0,002...5 мм, различные фасонные профили. Волочением калибруют стальные трубы диаметром от капиллярных до 200 мм, стальные прутки диаметром 3...150 мм. При необходимости, благодаря наклепу, волочением можно повысить прочность и твердость металла.

Инструментом для волочения служит волочильная матрица (волока). Волоки могут быть цельными, составными и роликовыми. Цельная волока имеет отверстие (очко), состоящее из четырех зон: смазочной воронки 1 (рис. 34, б) рабочего конуса 2, калибрующего пояска 3 и выходного конуса 4. Угол рабочего конуса зависит от деформируемого материала и составляет $6...12^\circ$. Ширина конструкции пояска обычно $2...10$ мм. Рабочая часть матрицы изготавливается из инструментальных сталей, твердых сплавов и технических алмазов. В последнее время успешно используют безвольфрамовые твердые сплавы на основе карбида хрома.

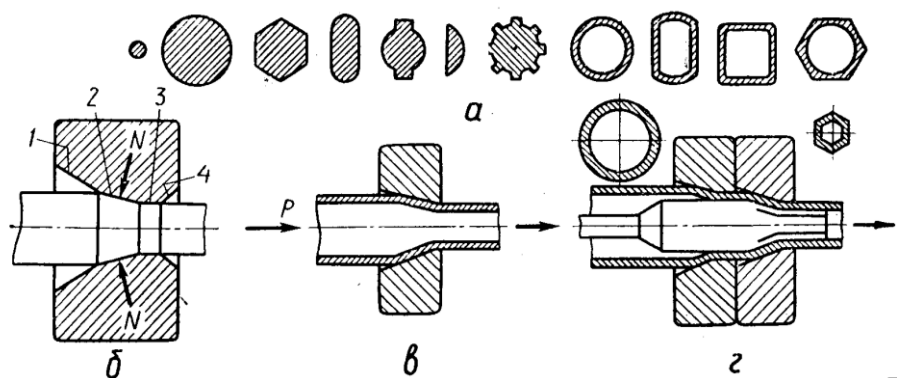


Рисунок 34 – Схемы различных способов волочения

Волочение производят на волочильных станах, в которых заготовки с помощью тянущего устройства протягиваются через отверстие матрицы. Различают волочильные станы периодического действия с прямолинейным движением тянущего устройства (чаще всего цепные) и станы непрерывного действия (барабанные).

Волочение труб производят двумя способами:

1. Без оправки для уменьшения только диаметра трубы (рис. 34, в).
2. С применением оправки для одновременного уменьшения диаметра и стенки трубы, а также для получения фасонных труб (рис. 34, г).

Для получения некоторых изделий, от которых требуется высокая точность и качество поверхности, применяют калибрование при малой степени обжатия.

7.4. Свободная ковка

Процесс свободного течения металла под воздействием периодических ударов или статических воздействий инструмента называется свободной ковкой. Металл свободно течет в направлениях, не ограничиваемых рабочими поверхностями инструмента.

Кованые заготовки называют поковками. Они подлежат последующей механической обработке.

Ковкой получают поковки массой от 0,1 кг до 300 т. Крупные поковки (массой выше 1,5 т) получают из слитков только ковкой. Меньшие заготовки можно получить штамповкой, но из-за сложности инструмента штамповка применяется только в массовом и крупносерийном производстве. Ковка применяется в индивидуальном и мелкосерийном производстве.

Свободная ковка разделяется на ручную и машинную.

Ручная ковка, как древнейший способ обработки металлов давлением, сохранилась в настоящее время в мелких ремонтных мастерских.

Инструмент для свободнойковки делят на три группы: для обработки, удержания и измерения поволоков. К инструменту для обработки поволоков относят бойки прессов или молотов, кувалды, молотки (ручники), гладилки, прошивки, зубила, обжимки и др. Удерживающий инструмент – это наковальни, скобы, струбцины, различные клещи и др. Для измерения поволоков используют линейки, угольники, кронциркули, шаблоны и др.

Свободная машинная ковка осуществляется на молотах и онстсах. Молотами называются машины ударного действия, в которых энергия привода перед ударом преобразуется в кинематическую энергию линейного движения рабочих масс с закрепленным на них инструментом, а во время удара – в полезную работу деформирования поволоков. Для привода молотов используют пар, сжатый воздух или газ, жидкость под давлением, горючую смесь, взрывчатые вещества, магнитное и гравитационные поле. Существуют молоты с онсой падающих частей от 160 кг до 16 т.

По конструкции и типам привода молоты подразделяются на паровоздушные, пневматические, электромеханические, газовые и высокоскоростные.

Паровоздушные молоты приводятся в действие соответственно паром или сжатым воздухом, подающимся от котлов или компрессоров. Поступая в рабочий цилиндр, энергоноситель разгоняет поршень и связанные с ним подвижные части молота до скорости 6-7 м / с.

Пневматические молоты также используют сжатый воздух, но воздух здесь является пружиной, связывающей два поршня: рабочий и компрессорный. Компрессор фактически встроен в поршень.

В электромеханических молотах подвижные части через преобразующие механизмы связаны с приводом, в качестве которых используются электродвигатели.

В газовых молотах на поршень действует давление газов, возникающее в результате вспышки горючего.

В высокоскоростных молотах высокое давление создается с помощью специальных гидравлических устройств. Энергоносителями являются сжиженный газ, порох и др. В этих молотах чаще используют метод встречного движения бойков. Такие молоты называются бесшаботными. Преимущество данной конструкции состоит в отсутствии громоздких фундаментов или амортизационных систем.

При использовании обычного молота в момент удара бойка по заготовке часть энергии расходуется на ее деформацию, остальная часть поглощается нижним бойком и его основанием (шаботом). Обычно масса шабота примерно в 15 раз больше массы падающих частей. Это необходимо для того, чтобы коэффициент полезного действия удара был не менее 0,8-0,9. Коэффициент полезного действия η молота определяется как отношение полезной работы деформации ко всей энергии удара:

$$\eta = \frac{A_q}{A}, \quad (27)$$

где A_q – полезная работа деформации;
 A – энергия удара.

Чем больше масса шабота, тем выше η .

Гидравлические прессы отличаются от молотов тем, что они оказывают статическое воздействие на заготовку. Продолжительность деформации доходит до десятков секунд, а скорость деформации составляет 2...3 м / мин.

Гидравлические прессы изготавливают с максимальным усилием 5...150 МН. Они чаще используются для получения крупных поковок, а также при ковке малопластичных высоколегированных сталей и сплавов цветных металлов.

При изготовлении поковок из слитков масса отходов составляет 25...35 % от массы слитка. Угар составляет 2...3 % от массы слитка или заготовки при каждом нагреве и 1,5...2 % при каждом последующем подогреве. Массу обсечек принимают для простых поковок 5...8 %.

Технологические операцииковки

Самую сложную поковку можно получить, выполняя в определенной последовательности основные технологические операцииковки (рис. 35).

Осадка (рис. 35, *а*) – это увеличение поперечного сечения заготовки за счет уменьшения ее высоты. Для правильной осадки высота исходной цилиндрической заготовки не должна превышать трех диаметров, а торцы должны быть ровными и параллельными.

Осадка осуществляется с полным перекрытием инструментом (бойками 1, 2) всей заготовки 3. Осадка – основная операция при получении поволоков дисков, зубчатых колес и т. п.

Высадку (рис. 35, *б*) используют для получения поковки 4 с утолщением на конце или в середине. В последнем случае ограничивают деформацию заготовки на некоторой ее части подкладкой кольцевых плит 3, закрепляемых на бойках 1, 2. Таким образом создаются поковки болтов, деталей с буртами, фланцами и т.п.

Прошивка (рис. 36, *в*) предназначена для оформления полостей в поковке 4, установленной на бойке 2, прошивном 3, закрепленном на бойке 1. Прошивка часто используется для удаления некачественной сердцевины слитка. Прошивки могут быть сплошными или пустотелыми.

Гибка (рис. 35, *г*) заготовки 1 совершается на подкладных опорах 2. Гибкой изготавливаются угольники, скобы, крюки, коленвалы и т.п.

Протяжкой (вытяжкой) (рис. 35, *д*) добиваются увеличения длины заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения. Протяжка – наиболее распространенная операция свободнойковки, совершается она последовательными ударами или нажатиями на отдельные смежные участки заготовки. Ковку с круга на круг производят в вырезных бойках 1, 2 (рис. 35, *е*). Протяжка круглых заготовок в вырезных бойках способствует повышенной пластичности металла вследствие приближения к схеме напряженного состояния всестороннего сжатия. Протяжкой получают поковки с удлиненной осью, из которых будут изготовлены валы, рычаги, шатуны, тяги и т. п.

Разгонка (рис. 35, *ж*) направлена на увеличение ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины, является разновидностью протяжки.

При протяжке на оправке (рис. 35, *з*) прошита заготовка увеличивается по длине и уменьшается в диаметре. Обжатие происходит между бойками 1, 2 и оправкой 3. Эта операция применяется при изготовлении пустотелых поволоков; котельных барабанов, роторов турбин и др.

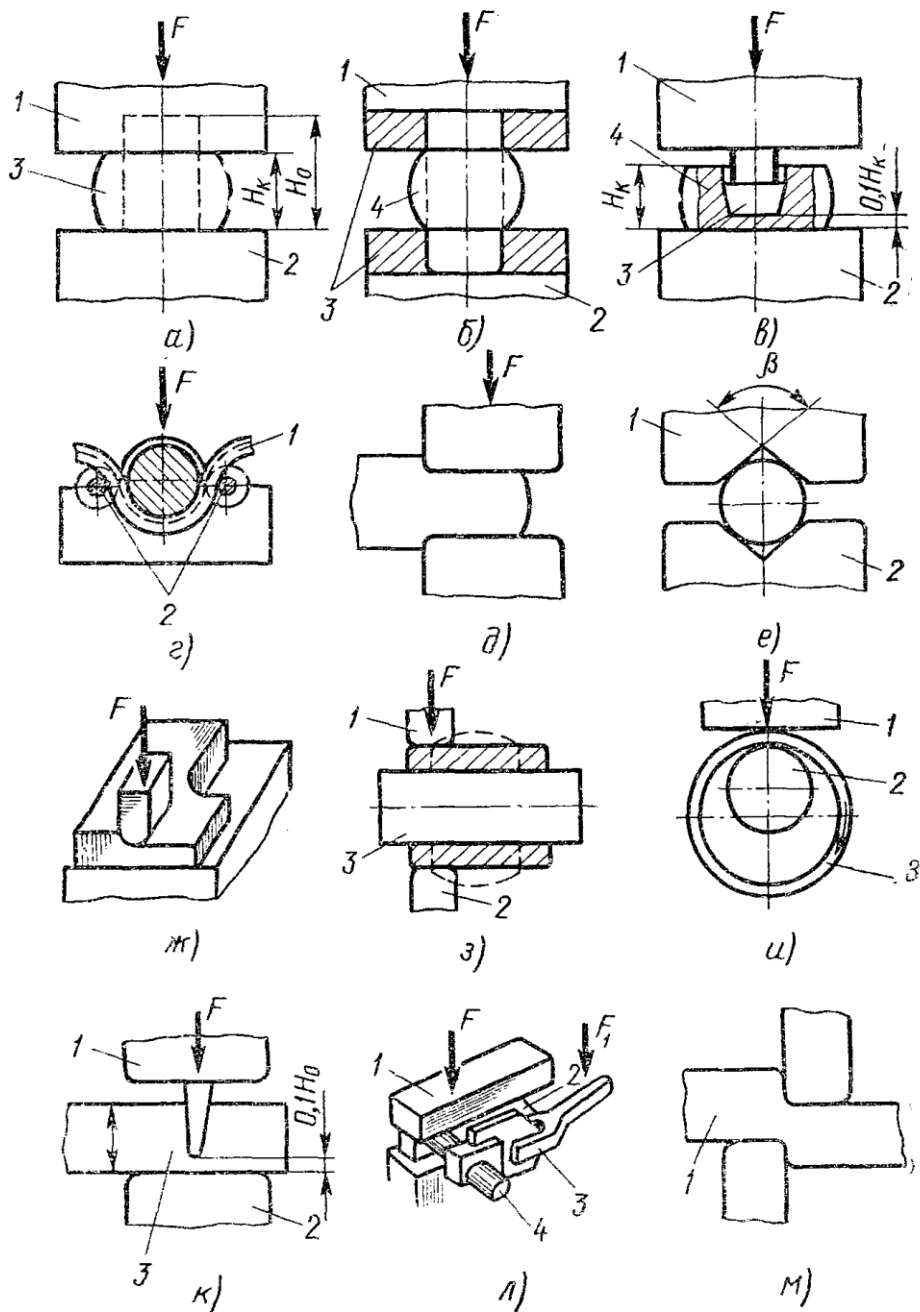


Рисунок 35 – Схемы основных операций свободнойковки

Увеличение наружного и внутреннего диаметров заготовки при уменьшении толщины ее стенок получают раскаткой на оправке (рис. 35, и). Заранее прошенная заготовка 3 подвергается протяжке между длинным бойком 1 и цилиндрической оправкой 2. Метод используется в производстве поковок колец, бандажей, барабанов и т. п.

Рубка (рис. 35, к) – это операция отделения одной части заготовки от другой. Рубка заготовки 3 проводится топором 1, после чего заготовка на бойке 2 кантуется на 180° и разделяется окончательно.

Для поворота части заготовки вокруг продольной оси существует операция скручивания (рис. 35, л). Одна часть заготовки 4 зажимается в бойках 1 и 2, другая – поворачивается при помощи ключей 3, воротков и других приспособлений. Скручивание применяют для разворота колен коленчатых валов, при изготовлении сверл и т. п.

Операция передачи металла (рис. 35, м) состоит в смещении одной части заготовки 1 относительно другой. Передача применяется для изготовления коленчатых валов и других изделий.

К основным преимуществам свободнойковки относятся:

1. Получение металла высокого качества и свойств по сравнению с отливками.

2. Возможность получать крупные поковки по массе и габаритам, что другими способами либо недостижимо или экономически нецелесообразно.

3. Для изготовления крупных поковок требуются сравнительно небольшие усилия, так как обработка осуществляется деформированием небольших участков.

4. Применение универсального оборудования и инструмента значительно снижает затраты на изготовление поковок, особенно в условиях индивидуального и мелкосерийного производства.

Однако свободнаяковка имеет ряд существенных недостатков:

1. Низкая производительность по сравнению с горячей штамповкой.

2. Большие допуски и припуски (особенно на крупных поковках), что требует большого объема последующей обработки и вызывает повышенные отходы металлов в стружку.

Поэтому в настоящее время область применения свободнойковки все более сокращается по сравнению с объемной штамповкой. Но в ряде случаев, особенно при единичном и мелкосерийном производстве, а также при изготовлении уникальных по габаритам заготовок (например, в тяжелом машиностроении) свободнаяковка оказывается более экономически целесообразным способом получения деформированных заготовок.

7.5. Горячая объемная штамповка

Объемная штамповка – процесс изготовления поковок в онстапах, при котором течение металла в стороны во время деформирования ограничено поверхностями отдельных частей штампа.

По сравнению со свободной ковкой объемная штамповка имеет следующие преимущества:

1. Высокая производительность (десятки сотни поковок в час), превышающая в 50...60 раз производительностьковки.

2. Высокая точность изделий (припуски и допуски в 3-4 раза меньше, чем при ковке), благодаря чему значительно уменьшается расход металла в стружку.

3. Возможность получения поковок сложной формы и с высоким качеством поверхности.

На одном штампе в зависимости от сложности, материала и онссы заготовки, а также от способа штамповки можно получить от 10 до 25 тысяч поковок.

К недостаткам объемной штамповки относятся: сложность и дороговизна инструмента – штампа; ограниченность массы поковок, так как усилия деформации при штамповке значительно выше, чем при ковке в крупносерийном и массовом производствах.

Объемную штамповку выполняют в штампах, состоящих обычно из двух половин, которые в собранном виде создают одну или несколько внутренних полостей, называемых ручьями. В отличие от свободнойковки, течение металла при деформации ограничено внутренними стенками штампа. Изделия, получаемые штамповкой, отличаются высокой точностью размеров, хорошим качеством поверхности и небольшими припусками и допусками.

Штампы изготавливают из сталей марок 5ХНВ, 5ХНМ, 5ХГМ, 3Х2В8Ф и др. Каждый штамп предназначен для получения поковок определенной конфигурации, размера и массы.

Открытыми штампами называют такие, у которых вокруг всего внешнего контура штамповочного ручья есть специальная облойная канавка 4, соединенная тонкой щелью с полостью 3, образующей поковку (рис. 36, а). В процессе штамповки через щель в канавку вытесняется избыточная часть металла, образуя по контуру поковки облой. Это приводит к некоторому увеличению отходов металла, но зато упрощает процесс штамповки. Облой с поковки обрезают особыми штампами.

Закрытыми штампами называют такие, в которых металл деформируется в замкнутом пространстве 3 без образования облоя (рис. 36, б). Расход металла на изготовление поковки сокращается, а процесс получения годной поковки усложняется. Закрытые штампы более перспективны, но из-за сложности их применяют пока редко.

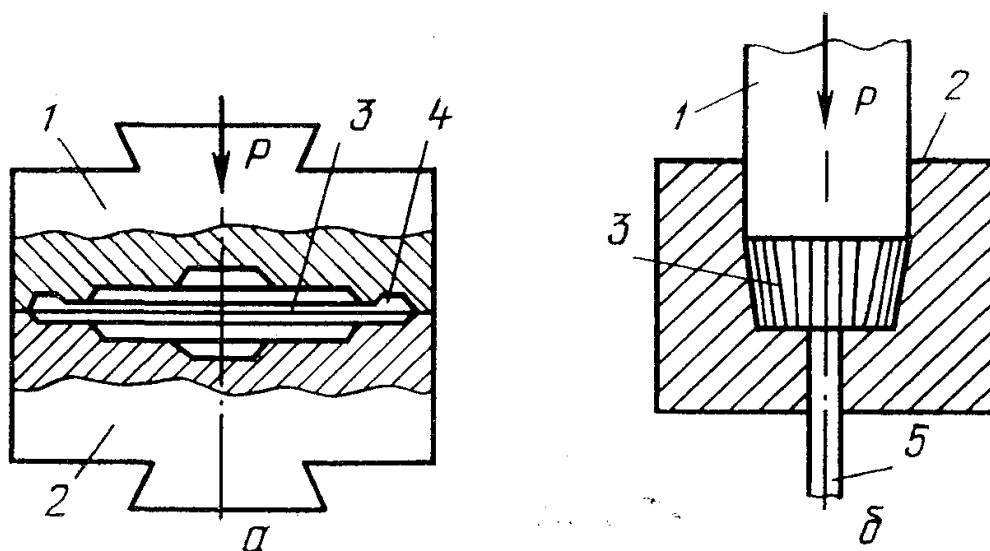


Рисунок 36 – Схемы открытого (а) и закрытого (б) штампов:
 1 – верхняя часть штампа; 2 – нижняя часть штампа; 3 – полость штампа;
 4 – облойная канавка; 5 – выталкиватель

В штампах с одним ручьем изготавливают поковки простой формы, а поковки сложной конфигурации получают в многоручьевых штампах.

Горячей объемной штамповкой получают крупные поковки массой 450...500 кг, а холодной – более мелкие. При горячей объемной штамповке основным исходным материалом служит сортовой прокат из стали, цветных металлов и их сплавов. Технологический процесс горячей объемной штамповки в общем случае состоит из следующих операций: разделка проката на заготовки определенной массы и размеров; загрузка заготовок в печь и нагревание до определенной температуры (900...1200 °С для стали); укладка заготовки на нижнюю половину штампа и штамповка; удаление поковки из штампа; термическая обработка поволоков; обрубка облоев и отделка.

Горячую объемную штамповку выполняют на штамповочных молотах, ковочно-штамповочных прессах, горизонтально-ковочных машинах и другом оборудовании. Получают разнообразные изделия: коленчатые валы, колеса, шатуны, рычаги, шестерни, болты, гайки, втулки и др. В связи со значительной стоимостью штампов штамповку рентабельно применять только в условиях крупносерийного и онсового производства.

Холодную объемную штамповку подразделяют на плоскую и объемную калибровку, холодное выдавливание, холодную высадку и чеканку.

Плоскую калибровку применяют для получения точных размеров между отдельными плоскостями, а объемную – для отделки поверхности поковки при одновременном повышении точности всех ее размеров. Калибровку выполняют на шарнирно-рычажных чеканочных прессах. Холодное выдавливание (прямое и обратное) подобно прессованию. Применяют в основном при обработке цветных металлов и сплавов. Холодную высадку широко используют для получения мелких деталей в массовом производстве (гайки, болты, шурупы, заклепки, гвозди и т. п.). Чеканка – получение на поверхности готовой детали выпукло-вогнутого рельефа. Примером может служить чеканка монет, знаков, медалей и т. д.

7.6. Листовая штамповка

Листовая штамповка является одним из прогрессивных методов формообразования на прессах при помощи штампов и широко применяется во всех отраслях машиностроения, приборостроительной, электротехнической и металлообрабатывающей промышленности.

Листовой штамповкой изготавливают самые разнообразные плоские и пространственные детали массой от долей грамма и размерами, исчисляемыми долями миллиметра (например, секундная стрелка ручных часов), и детали массой в десятки килограммов и размерами, составляющими несколько метров (облицовка автомобиля, самолета, ракеты).

Листовой штамповкой изготавливают изделия для автомобилей, тракторов, комбайнов, самолетов, сельскохозяйственных машин, холодильников. Особенно велик объем применения листовой штамповки в судостроении (корпусное производство, двери, настилы, переборки). Удельный вес листовой штамповки по расходу материалов в основных отраслях машиностроения и производства товаров народного потребления составляет свыше 60 %. Широкое развитие листовой штамповки объясняется целым рядом ее достоинств, а именно:

1. Высокая производительность процесса и вследствие этого низкая себестоимость штампуемых деталей.
2. Сравнительно с другими способами обработки – резанием – незначительные отходы металла.
3. Взаимозаменяемость деталей ввиду их точности.
4. Возможность получения достаточно простых и жестких, но легких деталей.
5. Широкие возможности механизации и автоматизации процесса.

В зависимости от толщины листа-заготовки штамповку можно условно разделить на тонколистовую (толщиной листа до 4 мм) и толстолистовую (толщина более 4 мм). Листовой металл толщиной свыше 15 мм, как правило, штампуют в горячем виде. Диапазон размеров штампуемых листовых деталей очень широк: от нескольких миллиметров до 6...7 м при толщинах от десятых долей миллиметров до 100 мм и выше.

В листоштамповочном производстве широко применяются как черные металлы (стали, сплавы на основе железа), так и цветные металлы и сплавы на их основе.

К первой группе относятся углеродистые стали (обыкновенного качества, качественные и конструкционные), легированные конструкционные стали (10ГСА, 25ХГСА и др.), стали и сплавы высоколегированные, коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Ко второй группе относятся наиболее распространенные в промышленности медь и ее сплавы (М1, МЗ, Л62, ЛС59-1 и др.), никель, алюминий, магний, титан и сплавы на их основе. В листовой штамповке используют также биметаллический и многослойный лист.

Как правило, при листовой штамповке пластическую деформацию получает лишь часть заготовки. Операцией листовой штамповки называется процесс пластической деформации, обеспечивающей характерное изменение формы определенного участка заготовки.

Операции листовой штамповки могут быть разбиты на следующие основные группы: разъединительные, формоизменяющие, онстсовочные, комбинированные и штампосборочные. К разъединительным (разделительным) операциям, связанным с отделением одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру, следует отнести отрезку, вырубку (вырезку), пробивку отверстий, надрезку, обрезку и зачистку (рис. 37).

К формоизменяющим операциям превращения плоской заготовки в пространственную деталь требуемой формы без необходимого изменения толщины материала относят: гибку, вытяжку, правку, рельефную штамповку, отбортовку, формовку, раздачу и обжим.

К прессовочным операциям, связанным с изменением толщины заготовки, принадлежат: чеканка, разметка (кернение), клеймение (маркировка) и холодное выдавливание.

Комбинированная штамповка – это совмещение нескольких технологических операций, например отрезки и гибки; вырубки и вытяжки.

Штамповборочные операции предназначаются для соединения нескольких деталей в один узел. Такими операциями являются: запрессовка, закатка, холодная или горячая пластическая (диффузионная) сварка и др.

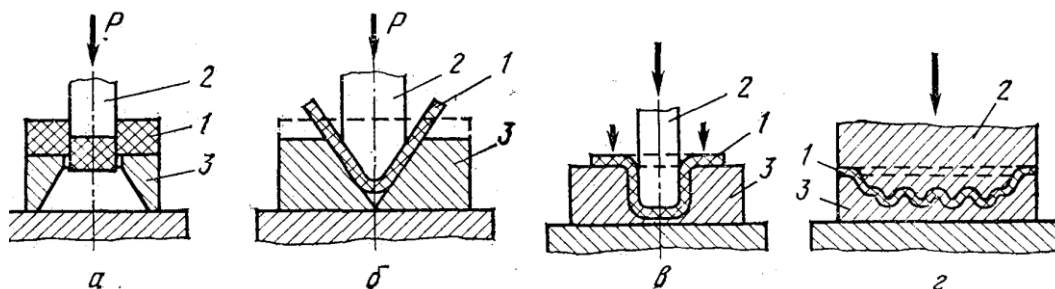


Рисунок 37 – Схемы основных операций листовой штамповки:
а – вырубка; *б* – гибка; *в* – вытяжка с отбортовкой; *г* – формовка;
 1 – заготовка и изделие; 2 – пуансон; 3 – штампы (матрица)

Процессы листовой штамповки постоянно совершенствуются и развиваются. Наряду с традиционными методами получают широкое развитие такие, как обтяжка с расщеплением по пуансону, сложная вытяжка, штамповка эластичным инструментом, групповые методы штамповки и др. Разработаны новые конструкции переналаживаемых штампов и другие устройства, позволяющие применять листовую штамповку не только в массовом и крупносерийном производстве, но и в производстве деталей средними и мелкими сериями.

7.7. Нагревательные устройства

В зависимости от источника энергии нагревательные устройства бывают пламенными и электрическими.

По распределению температуры в рабочем пространстве пламенные печи подразделяют на камерные и методические. *Камерные печи* строятся с неподвижным и подвижным подом, они бывают переносными и стационарными.

Рабочее пространство печи (нагревательная камера) (рис. 38, *а*), выложенное огнеупорным кирпичом, нагревается при сжигании топлива с помощью двух форсунок 2 (или горелок) и имеет одинаковую температуру. Заготовки 3, устанавливаемые на под печи, загружаются и выгружаются через окно 4. Продукты сгорания отводятся через дымоход 5 и используются для нагрева до 200...300 °С поступающего в печь воздуха, что повышает КПД печи.

Печи для нагрева крупных заготовок оборудуют различными устройствами, облегчающими загрузку и выгрузку. Используют печи с толкателями, карусельные, конвейерные, с выдвижным подом.

Разновидностью камерных печей являются нагревательные колодцы, которые применяют для нагрева крупных слитков при прокатке и ковке. В них заготовки располагаются вертикально и загружаются сверху краном.

Методические печи предназначены для нагрева крупных заготовок под прокатку и в крупносерийном производстве. Печи характеризуются большой протяженностью (8...22 м) и наличием трех зон с различной температурой. Заготовки 3 (рис. 38, б), постепенно перемещаясь навстречу горячим газам вдоль печи, проходят зону подогрева I (600...800 °С), максимального нагрева II (1350 °С), где происходит основное сгорание топлива с помощью форсунок или горелок 2, и зону выдержки III (1200...1300 °С), в которой выравнивается температура по сечению заготовки. Продукты сгорания с температурой 700 °С направляются в регенераторы для подогрева воздуха. Заготовки с помощью толкателя 6 проталкиваются через печь по охлаждаемым водой направляющим трубам 7 и выгружаются через окно 8.

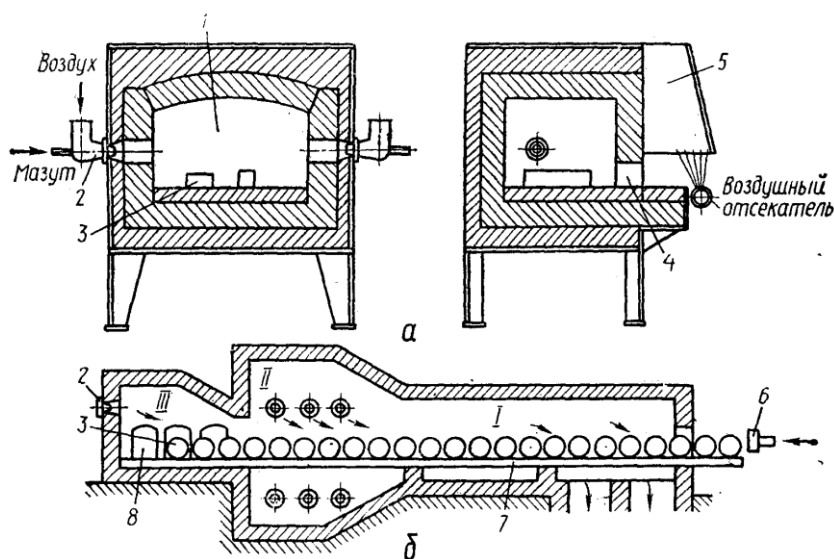


Рисунок 38 – Пламенные печи для нагрева заготовок

В нагревательных печах открытого пламени угар металла при многократном нагреве достигает 5 % и более.

Этот угар происходит главным образом за счет окалинообразования при нагреве металла. Поэтому здесь стараются обеспечить безокислительный нагрев, который достигается при неполном сгорании

топлива (газа), то есть при расходе воздуха около 50 % от количества, необходимого для полного сжигания топлива. При этом воздух применяется подогретый до 800...1000 °С. В результате указанных мероприятий в атмосфере печи появляются газы СО и Н₂, которые препятствуют окислению нагреваемых стальных заготовок.

Кроме нагрева в печах, в кузнечном производстве применяется индукционный и контактный электронагрев заготовок. При этом скорость нагрева в 10-20 раз больше, чем в нагревательных печах, а угар металла снижается до 0,5 %.

При индукционном нагреве заготовка помещается в индуктор, представляющий собой катушку из витков медной трубки, внутри которой циркулирует для охлаждения вода. Переменный ток, проходя через индуктор, возбуждает магнитное поле индукции, в результате чего в заготовке возникают вихревые токи, нагревающие ее до высокой температуры. Индукционная нагревательная установка непрерывного действия показана на рисунке 39, она состоит из индуктора 1, загрузочного устройства 2, подающего заготовки 3 к пневматическому толкателю 4, который проталкивает их через определенные промежутки времени через индуктор.

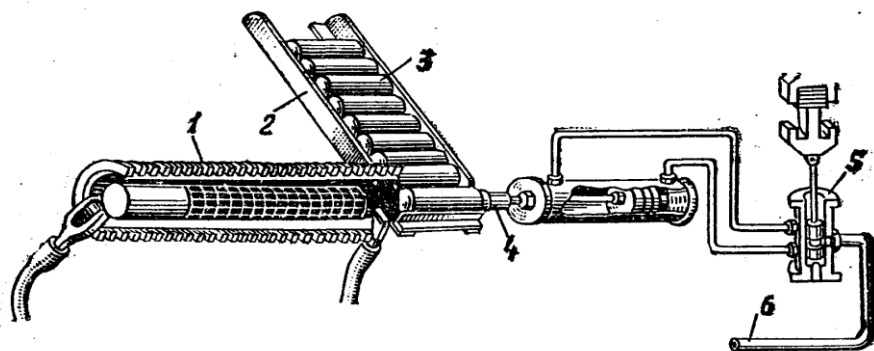


Рисунок 39 – Схема индукционной нагревательной установки непрерывного действия

Толкатель имеет электропневматический привод 5, к которому подводится сжатый воздух по трубопроводу 6.

Глубина проникновения возникающего в заготовке тока определяется по формуле

$$h = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \quad (28)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление металла;

μ – магнитная проницаемость;

f – частота тока.

Отсюда следует, что чем меньше частота тока, тем больше глубина его проникновения в нагреваемую заготовку. Значит, более толстые заготовки следует нагревать переменным током меньшей частоты и наоборот. Исходя из практики, частоту тока выбирают так, чтобы отношение диаметра нагреваемой заготовки к глубине проникновения тока находилось в пределах 2,5...5,0. Индукционные установки широко применяются для нагрева заготовок из стали, медных, никелевых и других сплавов. Расход электроэнергии составляет от 0,4 до 0,5 кВт · ч на 1 кг нагреваемых стальных заготовок.

Принципиальная схема электрического контактного способа нагрева заготовок приведена на рисунке 40. От понижающего силового трансформатора ток подается с помощью шин к пневматическим медным контактам 2, между которыми зажимаются концы нагреваемой заготовки 3. Силовой трансформатор в первичной обмотке имеет несколько ступеней регулирования, что позволяет изменять напряжение, а, следовательно, и силу тока во вторичной цепи, в которую включена заготовка. Напряжение во вторичной цепи трансформатора составляет 4...16 В, а сила тока может достигать нескольких десятков тысяч ампер. При контактном способе заготовки нагреваются очень быстро, что обеспечивает высокую производительность, небольшую потерю тепла (КПД установок 65...80 %) и незначительное окисление металла. Для равномерного нагрева металла контактным способом необходимо, чтобы заготовки (прутки, трубы и т. д.) имели одинаковое сечение по длине и небольшой диаметр (примерно до 80 мм). Этот способ нагрева применяют в кузнечно-штамповочных цехах для нагрева сравнительно мелких заготовок.

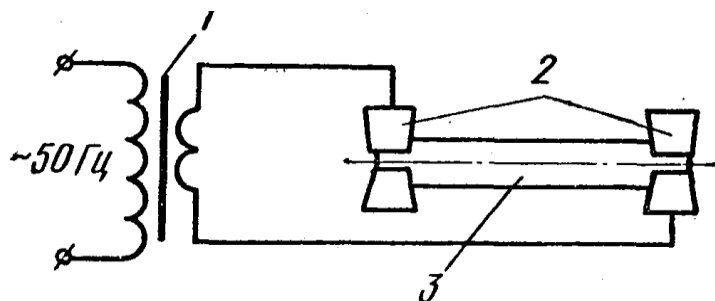


Рисунок 40 – Принципиальная схема электроконтактного способа нагрева заготовок

Контроль температуры нагреваемой заготовки осуществляется с помощью фотоэлектрического пирометра, который при достижении заданной температуры нагрева автоматически отключает установку от сети контактором. Одновременно с этим размыкаются контакты, удерживающие заготовку, и она падает для обработки давлением.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные виды прокатки.
2. Назовите основные виды прокатных станов.
3. Перечислите сортамент проката.
4. Какие детали и изделия получают волочением?
5. Из каких материалов изготавливают волокна?
6. Назовите основные виды волочильных станов.
7. Как осуществляется процесс волочения проволоки и труб? В чем отличия в оборудовании?
8. Сущность процесса прессования. Что такое прямое, обратное прессование?
9. Почему пресс-остаток при прямом прессовании больше, чем при обратном?
10. Чем отличается горячая объемная штамповка отковки?
11. В каких случаях при горячей объемной штамповке необходимо применять многоручьевые штампы?
12. Для чего в открытых штампах предусмотрены облойные канавки?
13. Почему при штамповке в закрытых штампах необходимо иметь заготовки большей точности по размерам, чем в открытых?
14. Назовите основные операции горячей объемной штамповки.
15. На каком оборудовании выполняется горячая объемная штамповка?
16. Для деталей какого вида и каких материалов применяется холодная объемная штамповка?
17. Назовите разделительные операции листовой штамповки.
18. Назовите формообразующие операции листовой штамповки.
19. Какое оборудование применяется для листовой штамповки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЯ СВОБОДНОЙ КОВКИ

Цель работы: изучить оборудование и инструменты, применяемые при свободной ковке. Ознакомиться с методикой разработки технологии и составить технологические карты на изготовление поковки.

Приборы, материалы и инструменты:

8. . Инструменты для ручной свободнойковки.

ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Ознакомиться с имеющимся на кафедре оборудованием и инструментами свободнойковки и заполнить таблицу 25.
2. Получить у преподавателя индивидуальное задание (табл. 24).
3. Составить эскиз готовой обработанной детали.
4. Составить эскиз поковки.
5. Произвести расчет размеров и массы заготовки для поковки.
6. Назначить кузнечные переходы и заполнить таблицу 26.
7. Выбрать необходимое оборудование.
8. Определить режимы нагрева и охлаждения.
9. Назначить термообработку для поковки.
10. Составить технологическую карту на изготовление поковки и заполнить таблицу 27.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Машиностроение является основой промышленности. Технический уровень машиностроения, совершенствование форм организации процессов изготовления машин во многом определяют общий промышленный потенциал государства. Среди машин, используемых в различных производственных и ремонтных процессах, одно из ведущих мест занимает кузнечно-прессовое оборудование. Оно обладает высокой производительностью и широкими технологическими возможностями, что позволяет изготавливать с его помощью разнообразные изделия и заготовки деталей. Использование полученных поковок и

штамповок создает предпосылки для экономии материалов, сокращения циклов изготовления деталей и снижения их себестоимости.

Свободной ковкой называется технологический процесс обработки металлов, находящихся в пластическом состоянии, статическим или динамическим давлением. При этом изменяется как внешняя форма, так и структура металла, а течение металла не ограничено бойками.

Изделие, полученное в результатековки, называется *поковкой*.

Ковка является универсальным технологическим процессом кузнечно-штамповочного производства, позволяющим получать поковки широкого сортамента, массой от нескольких килограммов до 300 т и более. Поковки затем обрабатывают на металлорежущих станках и из них получают готовые детали.

В настоящее время свободная ковка в основном применяется в индивидуальном и мелкосерийном производстве, в ремонтных цехах заводов, в ремонтных мастерских хозяйств агропромышленного комплекса.

Оборудование и инструменты, применяемые при свободной ковке

Свободная ковка может выполняться вручну и машинами.

Ручная ковка широко применяется в мастерских предприятий агропромышленного комплекса при ремонтных работах. При ручной ковке обрабатывают небольшие заготовки и удары наносят молотком (ручником) или кувалдой. Применяемый для свободнойковки кузнечный инструмент разделяют на три группы: для обработки, удержания и измерения поковки (рис. 41).

К инструменту для обработки поковок относят кувалды, молотки (ручники), гладилки, прошивни, зубила, обжимки и др. К удерживающему инструменту относятся наковальни и различные клещи. Для измерения поковок используют линейки, угольники, кронциркули, шаблоны и др.

Машинная ковка осуществляется молотами и прессами. Молоты действуют на заготовку динамически и характеризуются массой падающих частей. Прессы развивают статическое усилие.

Ковочные молоты подразделяются на пневматические и паровоздушные. Часть молота, которая служит опорой стальной подушке и нижнего бойка, называется шаботом. Падающая часть молота называется бабой. Нижняя часть бабы, которая соприкасается при ударе с

заготовкой, называется бойком. Поковки массой до 250 кг куют на пневматических молотах.



Рисунок 41 – Инструмент для свободнойковки: 1 – кувалды; 2 – гладилки; 3 – прошивни; 4 – зубила; 5 – обжимки; 6 – подбойки; 7 – вершник; 8 – гвоздильни; 9 – скоба; 10 – клещи

Пневматический молот (рис. 42) имеет два параллельных цилиндра – рабочий 4 и компрессионный 5. В рабочем цилиндре движется поршень 3, связанный с бабой – бойком 2. Поршень 8 приводится в движение кривошипно-шатунным механизмом 9. При перемещении поршень сжимает поочередно воздух в нижней и верхней полостях компрессионного цилиндра и нагнетает его в полость рабочего цилиндра по каналам 6, в результате чего происходит опускание (удар) и подъем бабы. Для выпуска воздуха из цилиндра и впуска используются краны 7, управляемые педалью 1. Пневматические молоты совершают 95-210 ударов в минуту, масса падающих частей составляет от 50 кг до 1 т.

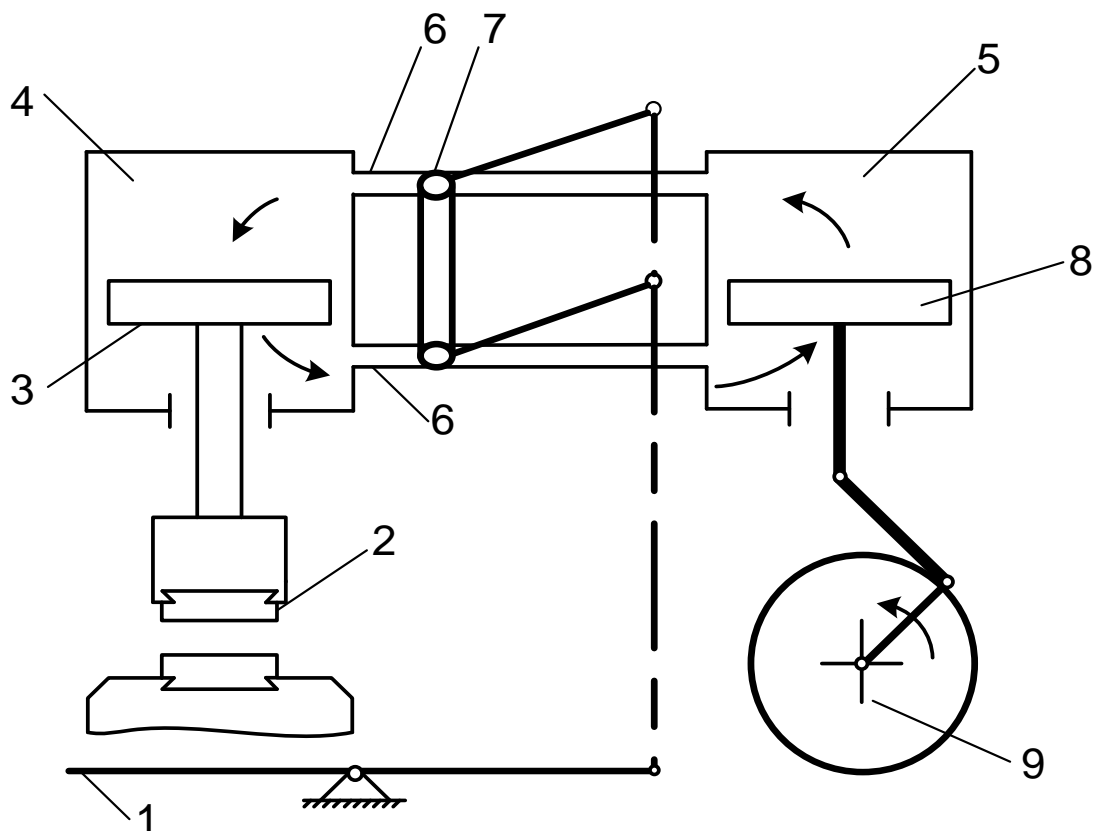


Рисунок 42 – Схема пневматического молота:

1 – педаль; 2 – боек; 3 – поршень; 4 – рабочий цилиндр; 5 – компрессионный цилиндр; 6 – воздушные каналы; 7 – кран; 8 – поршень компрессора; 9 – кривошипно-шатунный механизм

Паровоздушные молоты бывают простого и двойного действия. Они приводятся в движение паром или сжатым воздухом, поступающим под давлением 0,4...0,8 Мпа. В молотах простого действия пар используется для подъема бабы. Удар бабы по заготовке происходит под действием силы тяжести. В молотах двойного действия пар служит не только для подъема бабы, но и для увеличения силы удара.

Паровоздушные молоты применяют для обработки заготовок массой до 2...3 т. Они имеют массу падающих частей до 16 т.

Гидравлические ковочные прессы применяются для получения тяжелых поковок, масса которых достигает 250 т.

Прессы обеспечивают равномерную деформацию металла, не требуют сооружения дорогостоящих фундаментов, работают бесшумно и просты в управлении. Гидравлические прессы могут создавать усилие до 700 МН.

Инструмент дляковки на молотах и прессах несколько иной формы.

Нагрев заготовок перед ковкой производится в кузнечных горнах, пламенных и электрических печах, электронагревательных устройствах.

Кузнечные горны служат для нагрева небольших кусков металла и широко применяются в ремонтных мастерских предприятий агропромышленного комплекса. Горны бывают открытого или закрытого типа. Более совершенным является закрытый горн (рис. 43).

Он состоит из металлического каркаса 1, выложенного огнеупорным кирпичом 2, и топки 3. Через трубу 5 и коллектор 6 колошниковой решетки 4 подается воздух. Чтобы топливо сгорало полностью, по трубам 10 подается дополнительный воздух. Заготовки загружают через рабочее окно 8, топливо – через окно 7. Закрытые горны более экономичны, чем открытые, и обеспечивают лучшую вытяжку через отверстие 9 и зонт 11. Топливом для горна служат спекающиеся сорта каменного угля или кокса.

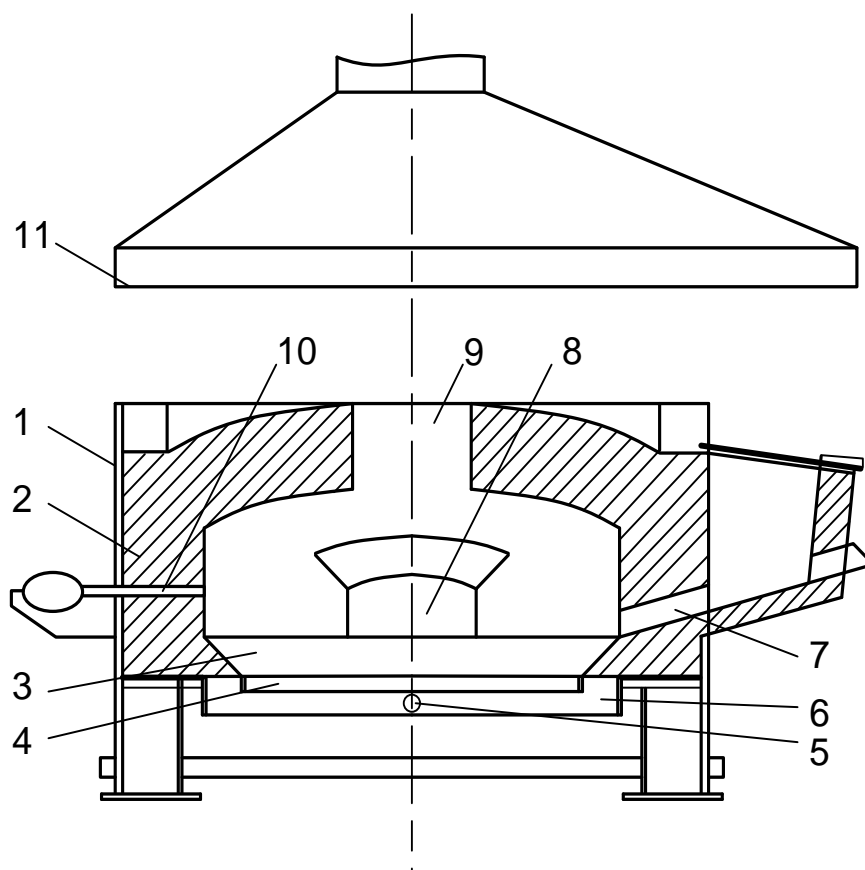


Рисунок 43 – Схема закрытого кузнечного горна:

1 – кожух; 2 – огнеупорный кирпич; 3 – топка; 4 – колошниковая решетка; 5 – труба; 6 – коллектор; 7 – окно для топлива; 8 – рабочее окно; 9 – газоотводящее отверстие; 10 – труба для подачи дополнительного воздуха; 11 – зонт

Операции свободнойковки

Наиболее характерные операции свободнойковки показаны на рисунке 44.

Вытяжка представляет собой операцию, при которой длина поковки увеличивается за счет уменьшения ее поперечного сечения. Вытяжка выполняется ковкой на квадрат, после чего (если нужно) поковке придают цилиндрическую или какую-либо иную форму. Вытяжка производится между бойками молота, причем заготовку кладут поперек бойков, передвигая ее после каждого удара. Вытяжку применяют для изготовления различных тяг, рычагов, валов и т. д.

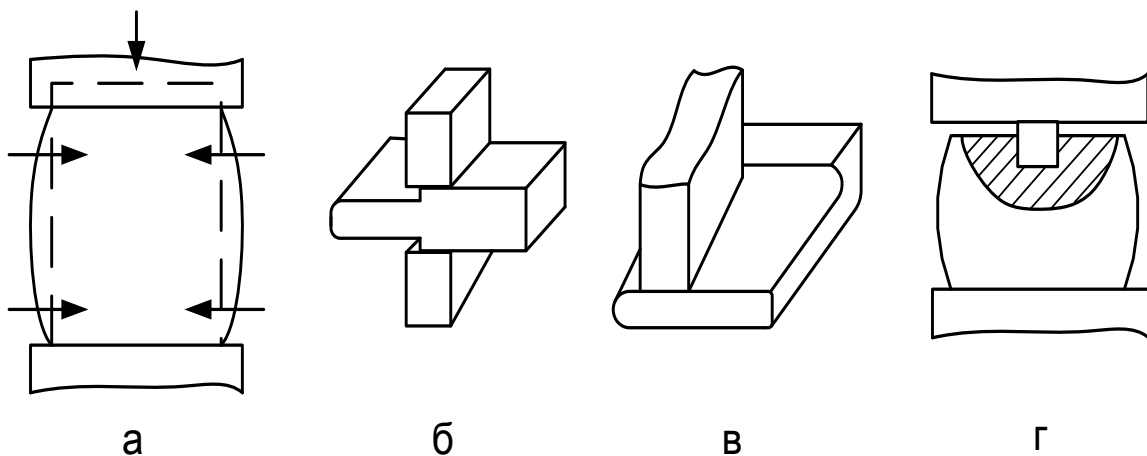


Рисунок 44 – Основные операции свободнойковки:
а – осадка; б – вытяжка; в – разгонка; г – прошивка

Осадка представляет собой операцию, обратную вытяжке. При осадке поперечное сечение поковки увеличивается за счет уменьшения ее высоты. Во избежание возможного продольного искривления заготовки при осадке отношение ее высоты к диаметру или меньшей стороне сечения должно быть не более 2,5. Осадку выполняют бойками или осадочными плитами.

Высадка – увеличение поперечного сечения части заготовки, например, высадкой получают головку болта.

Большая деформация заготовки в направлении ее ширины за счет перпендикулярного расположения оси заготовки относительно ширины бойков называется *разгонкой* (*уширением*).

Рубка – операция отделения части заготовки. Имеются два вида рубки: надрубание (наметка) и отрубание. Для рубки используют кузнечные зубила, подсечки, топоры.

Гибка – операция придания заготовке изогнутой формы по заданному контуру. Для гибки производят местный нагрев заготовки. В месте изгиба толщина заготовки уменьшается. Гибка производится кувалдами или ручниками, причем заготовка зажимается между бойками молота.

Пробивка и прошивка – операция получения отверстия в заготовке. Прошивкой получают отверстия в тонких заготовках, пробивкой – в более толстых. Эта операция складывается из двух приемов: вначале пробойник вгоняют на половину толщины заготовки, затем после кантовки на 180° окончательно пробивают отверстие. Для пробивки и прошивки используют пробойники и воротки.

Закручивание – операция поворачивания части заготовки относительно другой на определенный угол вокруг общей оси. Операция выполняется воротком или вилкой.

Кузнечная сварка – операция соединения кусков стали, нагретых до пластического состояния, с применением внешнего давления. В связи с развитием новых видов сварки эта операция применяется редко.

Разработка технологического процесса свободной ковки

Разработка технологического процесса свободной ковки состоит из следующих этапов:

1. Проектирование поковки.
2. Расчет размеров и массы заготовки для поковки.
3. Назначение кузнечных переходов.
4. Выбор оборудования.
5. Определение режимов нагрева и охлаждения.
6. Назначение термообработки для поковки.

Проектирование поковки

Чертеж поковки составляют на основании чертежа готовой детали. При этом устанавливаются припуски на обработку резанием, допуски на ковку и при необходимости напуски на поковку.

Припуском называют слой металла, имеющийся в поковке и удаляемый обработкой резанием для получения требуемых размеров по чертежу готовой детали. В слой припуска должны войти все дефекты наружного слоя: закованная окалина, обезуглероженный слой, зажимы, неровности и т.д.

Размеры готовой детали, увеличенные с каждой стороны на величину назначенных по таблицам ГОСТ припусков на обработку, называются *номинальными размерами поковки*.

Напуск – это увеличение припуска, упрощающее конфигурацию поковки из-за невозможности или нерентабельности изготовления поковки по контуру детали.

Допуском называют допустимое отклонение размеров поковки, обусловленное невозможностью изготовления ее с абсолютно точными размерами. Допуск равен разности между наибольшим и наименьшим размерами поковки. Наибольший и наименьший предельные размеры представляются на чертеже в виде отклонений (верхнего со знаком + и нижнего со знаком -) от номинального размера поковки. Например, размер 100 ± 3 означает, что:

- номинальный размер поковки 100 мм;
- верхнее отклонение +3 мм;
- нижнее отклонение -3 мм;
- наибольший предельный размер поковки 103 мм;
- наименьший предельный размер поковки 97 мм;
- допуск 6 мм.

Припуски и допуски на поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые свободной ковкой на молотах, регламентированы ГОСТ 7829-70, а на прессах – ГОСТ 7062-79.

В таблице 21 приведена выдержка из ГОСТ 7829-70 по припускам и допускам для гладких поволок круглого, квадратного и прямоугольного сечения.

Таблица 21 – Припуски (на две стороны) и допуски на гладкие поковки

Длина детали, мм	Припуски и допуски деталей при диаметре D или размере сечения В × Н, мм					
	До 50	Св. 50 до 70	Св. 70 до 90	Св. 90 до 120	Св. 120 до 200	Св. 200 до 360
До 250	5 ± 2	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 3	-	-
Св. 250 до 500	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	11 ± 3	14 ± 4
Св. 500 до 800	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	12 ± 3	15 ± 4
Св. 800 до 1200	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	13 ± 4	16 ± 4
Св. 1200 до 6000	-	-			19 ± 5	22 ± 6

Для поковок круглого и квадратного сечений с уступами предусмотрены дополнительные припуски (на несоосность) величиной 3...10 мм при разности диаметров (размеров) наибольшего и рассматриваемого сечения 40...180 мм. На общую длину поковки припуски и допуски берут по таблице 21 и увеличивают в 2,5 раза.

Пример чертежа поковки круглого сечения приведен на рисунке 45.

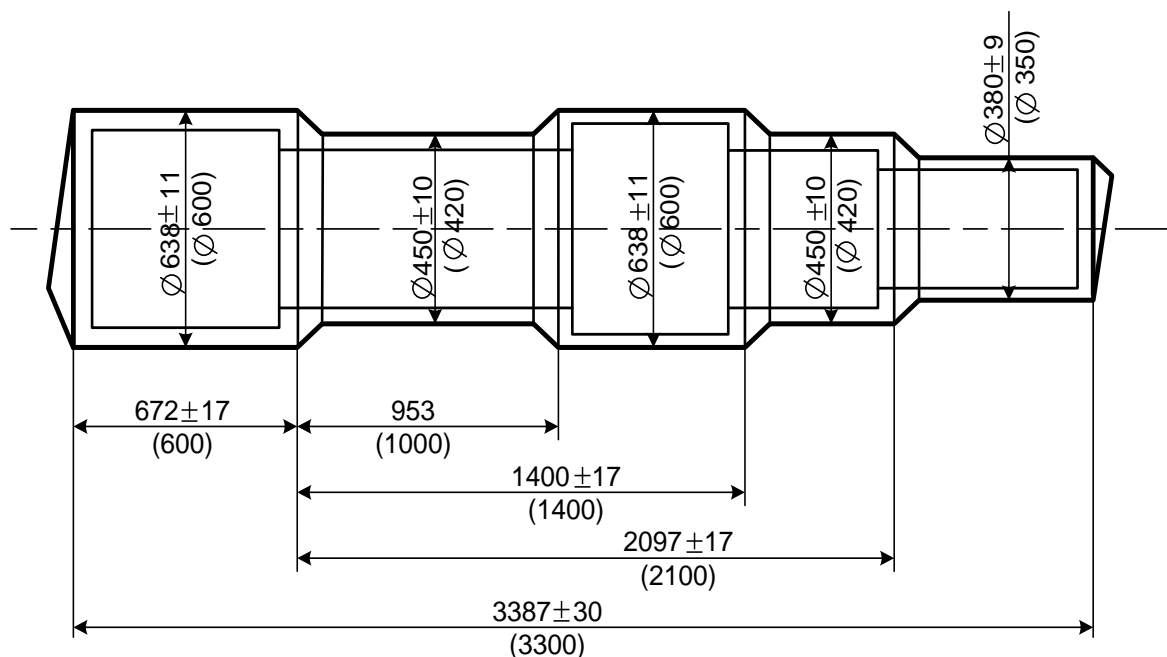


Рисунок 45 – Пример чертежа поковки круглого сечения с уступами и выемками

Тонкими линиями показан контур детали, толстыми – контур поковки. Размеры, стоящие над размерной линией, относятся к размерам поковки, а под размерной линией в скобках проставлены номинальные размеры детали.

Расчет размеров и массы заготовки

Массу исходной заготовки при ковке из проката определяют по формуле

$$G_3 = G_{\Pi} + G_O, \quad (29)$$

где G_{Π} – масса поковки, кг;

G_O – масса отходов на обсечки и угар, кг.

Если поковку обрабатывают резанием, то подсчет массы металла проводят по номинальным размерам поковки без учета допусков. Если поковка механически не обрабатывается, то подсчет массы ме-

талла проводят с учетом максимальных значений допусков, то есть по максимальным размерам поковки.

Массу поковки подсчитывают по формуле

$$G_{II} = V_{II} \cdot \rho, \quad (30)$$

где V_{II} – объем металла поковки, см³;

ρ – плотность, равная для стали 7,85 г/см³ ($7,85 \cdot 10^{-3}$ кг/м³).

Массу отходов на обсечки и угар берут обычно в процентах от массы поковки. Ее значение составляет 1,5...25 % (зубчатые колеса – 8...10 %; гладкие валы, бруски – 5...7 %; валы и вилки с уступами, болты – 7...10 %; гаечные ключи, шатуны – 15...18 % и пр.).

Площадь поперечного сечения исходной заготовки определяют исходя из площади поперечного сечения детали, характера обработки и степени уковки. Если основной операцией при ковке является вытяжка, то площадь поперечного сечения исходной заготовки F_3 находят так:

$$F_3 = F_{II} \cdot K, \quad (31)$$

где F_{II} – площадь поперечного сечения поковки, см²;

K – степень уковки, равная для проката 1,3...1,5; для слитка – 1,5...2.

Для операции осадки высота исходной заготовки должна быть не менее трех ее диаметров.

Длину исходной заготовки L_3 , см, можно определить из формулы

$$L_3 = \frac{V_{II} + V_o}{F_3} = \frac{V_3}{F_3}, \quad (32)$$

где V_o – объем отходов, см³;

V_3 – объем заготовки, см³.

Для облегчения расчетов объемы сложных деталей разбивают на объемы элементарных фигур.

Назначение кузнечных переходов

При разработке технологииковки необходимо стремиться к наименьшему числу переходов, к минимуму отходов металла и получению детали с высокими механическими свойствами. Для создания высоких механических свойств поковки важное значение имеет устранение в ней дендритной (древовидной) структуры, получаемой в

отливках, то есть раздробление ее до мелкозернистого строения. Поэтому при ковке ряда деталей (шестерни, валы, оси, инструмент и др.) для раздробления дендритной структуры применяют многократное обжатие поковки в продольном и поперечном направлениях.

Выбор оборудования

Ковочные молоты работают по принципу ударного действия, при котором мощность удара определяется главным образом массой падающих частей молота. Металл деформируется за счет энергии, накопленной падающими (подвижными) частями молота к моменту их соударения с заготовкой.

В номинальную массу падающих частей молота входят массы бабы, штока, поршня, верхнего бойка и других, сопряженных с ними деталей. Мощность молота принято выражать массой падающих частей в тоннах (т) и килограммах (кг).

Ориентировочные данные для выбора ковочных молотов в зависимости от формы и размера заготовки приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Данные для выбора массы падающих частей
КОВОЧНЫХ МОЛОТОВ

Масса падающих частей молота, кг	Максимальное сечение заготовки – сторона квадрата или диаметр исходной заготовки, мм	Примерная масса поковок, кг	
		гладких	фасонных
50	40	До 8	До 1,5
80	50	8...12	1.5...2
160	65	12...15	2...5
250	75	15...35	5...8
400	100	35...60	8...18
630	125	60...120	18...30
1000	160	120...125	30...70

Определение режима нагрева и режима охлаждения

В таблице 23 приведены температурные интервалыковки для ряда марок конструкционных углеродистых и легированных сталей.

Каждый металл и сплав имеет свой строго рекомендованный температурный интервал горячей обработки давлением, определяемый по соответствующей справочной литературе.

Для максимального повышения пластичности температура началаковки должна быть возможно более высокой, но не вызывающей пережога и перегрева.

Температурный интервалковки углеродистых сталей зависит от их химического состава и может быть определен по диаграмме состояния Fe-C.

Температуру началаковки можно определить по формулам:

$$t_n = at_{nl} \text{ или } t_n = t_c - (150...200 \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (33)$$

где a – коэффициент понижения температуры $a = 0,8-0,9$;

t_n – начальная температура обработки давлением, $^\circ\text{C}$;

t_{nl} – температура плавления (определяется по диаграмме состояния), $^\circ\text{C}$;

t_c – температура линии солидус, определяемая по диаграмме Fe-C, $^\circ\text{C}$.

Конечную температуру обработки давлением углеродистых сталей, также зависящую от содержания углерода, определяют по температуре рекристаллизации заданного сплава:

$$t_{рек} = 100 \cdot (9,1 - 1,1C), \quad (34)$$

где $t_{рек}$ – температура рекристаллизации, $^\circ\text{C}$;

C – содержание углерода в процентах.

Температура окончанияковки должна быть выше (на 50...100 $^\circ\text{C}$) температуры рекристаллизации.

Таблица 23 – Температурные интервалыковки конструкционных материалов

Марка стали	Интервал температурковки, $^\circ\text{C}$
10, 15	1280...750
20, 25, 30, 35	1250...800
40 – 60, 15Г – 60Г	1200...800
40ХС, 25ХГС, 25ХГСА	1150...830
20Х, 30Х, 50Х, 30ХА	1200...800
У10, У12, У13	1100...850
Сплавы алюминия	470...350
Сплавы меди	900...750
Сплавы титана	1100...900

Нагревать заготовку следует равномерно, во избежание резкого перепада температур в наружных и внутренних ее слоях, что может привести к образованию трещин. Нагрев до температур 800...850 $^\circ\text{C}$ ведется медленно, а затем быстрее.

Время нагрева заготовок в пламенных печах определяют по формуле Н.Н. Доброхотова:

$$\tau = \alpha k D_3 \sqrt{D_3}, \quad (35)$$

где τ – полная продолжительность нагрева, ч;

D_3 – диаметр или сторона квадрата заготовки, м;

k – коэффициент, зависящий от марки стали, для углеродистых и низколегированных сталей $k = 10$, высокоуглеродистых и высоколегированных сталей $k = 20$;

α – коэффициент, зависящий от способа укладки заготовки на поду печи (рис. 46).

Расположение заготовок	α	Расположение заготовок	α
	1		1
	1		1,4
	2		4
	1,4		2,2
	1,3		2

Рисунок 46 – Влияние способа размещения заготовок на поду печи на продолжительность нагрева (коэффициент α)

Охлаждение поковок послековки должно быть равномерным и не быстрым, иначе возможно образование трещин.

Нельзя ставить поковки на чугунные плиты, а также оставлять на сквозняке. Поковки охлаждают на воздухе, в ящиках или колодцах на воздухе или в засыпке сухим песком вместе с печью. Чем больше легирована сталь и чем больше размеры поковки, тем медленнее охлаждение.

Термообработка поковок применяется для устранения в них крупнозернистого строения, наклепа, внутренних напряжений и подготовки их к механической обработке. Для этой цели поковки в ряде случаев подвергают отжигу или нормализации.

ЗАДАНИЯ СТУДЕНТАМ

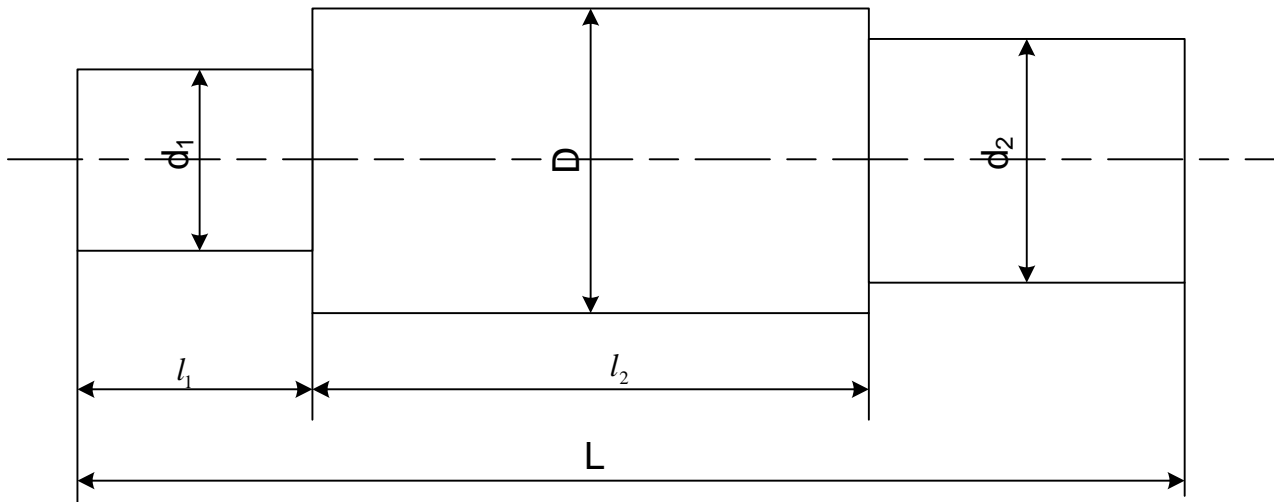


Рисунок 47 – Эскиз готовой обработанной детали

Таблица 24 – Перечень индивидуальных заданий студентам

Вариант	d_1	d_2	D	L	l_1	l_2	D_3
1	15	15	25	90	30	30	20
2	15	20	30	90	30	30	25
3	25	20	25	100	35	40	40
4	25	20	40	100	40	35	50
5	30	25	45	100	45	40	50
6	30	25	55	120	50	30	50
7	20	15	25	80	25	35	30
8	20	20	60	110	40	40	50
9	20	20	60	110	30	40	50
10	40	40	70	110	50	50	60
11	40	40	60	110	20	60	60
12	40	40	60	110	60	20	65
13	20	20	40	110	50	20	65
14	40	40	70	110	30	30	65

Таблица 25 – Оборудование и инструменты свободной ковки

№ п/п	Наименование оборудования и инструмента	Эскиз	Назначение

Таблица 26 – Кузнечные переходы, необходимые для изготовления поковки

№ п/п	Наименование операций ковки	Эскиз	Инструмент

Таблица 27 – Технологическая карта на изготовление поковки

Эскиз детали	Эскиз поковки	Эскиз заготовки	Марка стали	
			Масса поковки	
			Масса заготовки	
			Масса детали	
			Масса отходов	

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Расчет технологических параметров.
4. Таблицы 25-27.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется свободной ковкой?
2. Перечислите основные операции свободной ковки.
3. Какое оборудование и инструмент используются при свободной ручной и машинной ковке?

4. Почему при изготовлении поковок на чертежах проставляют два размера?
5. Чем определяются границы температурного интервалаковки?
6. Какие факторы, влияющие на продолжительность нагрева, учитывает формула Н. Н. Доброхотова?
7. Какая обработка металлов давлением называется холодной?
8. Какая обработка металлов давлением называется горячей?
9. Что называется пластической обработкой металлов?
10. Как изменяются структура и свойства металлов после холодной обработки металлов?
11. Как изменяются структура и свойства металлов после горячей обработки металлов?
12. Что такое наклеп?
13. Каковы факторы, влияющие на пластичность металлов?
14. Что такое перегрев стали?
15. Что такое пережог стали?
16. Как влияет температура нагрева на пластичность металлов?
17. Назовите типы нагревательных устройств, применяемых в обработке металлов давлением.
18. Что понимают под скоростью нагрева металла?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ III

1. Процесс, приводящий к повышению пластичности при горячей обработке давлением:

- а) высокая степень деформации;
- б) наклеп;
- в) переменный химический состав;
- г) рекристаллизация.

2. Процесс, при котором в деформируемом теле при температурах 100...400 °С происходит частичное снятие внутренних напряжений, и пластичность возрастает:

- а) возврат;
- б) наклеп;
- в) отпуск;
- г) рекристаллизация.

3. Нагревательная печь, имеющая одинаковую температуру по всему рабочему пространству:

- а) вагранка;
- б) домна;
- в) камерная печь;
- г) методическая печь.

4. Вид прокатки, при котором получают бесшовные трубы:

- а) поперечная прокатка;
- б) поперечно-винтовая прокатка;
- в) продольная прокатка.

5. Способы обработки металлов давлением, с помощью которых можно получить профиль постоянного сечения (труба, проволока, рельс, уголок, тавр и т.д.):

- а) ковка, листовая прокатка, листовая штамповка;
- б) горячая объемная штамповка, литье под давлением;
- в) литье в оболочковые формы, прокатка, горячая объемная штамповка;
- г) прокатка, прессование, волочение.

6. Деформация, при которой после снятия нагрузки атомы возвращаются в исходное положение, и форма тела полностью восстанавливается, – это деформация:

- а) горячая;
- б) пластическая;
- в) упругая;
- г) холодная.

7. Деформация, при которой атомы смещаются в новые состояния устойчивого равновесия, и после снятия нагрузки форма тела не восстанавливается, – это деформация:

- а) необратимая;
- б) обратимая;
- в) пластическая;
- г) упругая.

8. Методы холодной обработки давлением:

- а) ковка и прессование;
- б) волочение и выдавливание;
- в) прокатка труб и профилей;
- г) прокатка и обратное прессование.

9. Свойство, значение которого увеличивается при рекристаллизации:

- а) пластичность;
- б) прочность;
- в) твердость;
- г) ударная хрупкость.

10. Процесс, при котором происходит разупрочнение металла, освобождение его от искажений кристаллической решетки и внутренних напряжений:

- а) возврат;
- б) наклеп;
- в) отжиг;
- г) рекристаллизация.

11. Упрочнение металла при холодной деформации:

- а) возврат;
- б) закалка;
- в) наклеп;
- г) рекристаллизация.

12. Фактор, от которого зависит температурный интервал обработки давлением стали:

- а) вид печи;
- б) применяемое топливо;
- в) стоимость электроэнергии;
- г) химический состав стали.

13. Метод горячей обработки металлов давлением:

- а) волочение;
- б) выдавливание;
- в) низкотемпературная термомеханическая обработка;
- г) прокатка.

14. Инструмент, используемый при прокатке металлов и сплавов:

- а) валок;
- б) матрица;
- в) пуансон;
- г) поршень.

15. Инструмент, используемый при волочении металлов и сплавов:

- а) валок;
- б) матрица;
- в) молот;
- г) пресс.

16. Процесс протягивания металла через отверстие, размер которого меньше сечения исходной заготовки:

- а) волочение;
- б) прессование;
- в) прокатка;
- г) штамповка.

17. Структура стали, при которой происходит ее обработка давлением:

- а) аустенит;
- б) ледебурит;
- в) феррит;
- г) цементит.

18. Неисправимый брак при обработке металлов давлением, вызванный окислением границ зерен аустенита:

- а) наклеп;
- б) перегрев;
- в) пережог;
- г) рекристаллизация.

19. Исправимый брак при обработке металлов давлением, вызванный укрупнением границ зерен аустенита:

- а) наклеп;
- б) перегрев;
- в) пережог;
- г) рекристаллизация.

20. Продукция, которую получают при продольной прокатке:

- а) листовой прокат;
- б) периодический прокат;
- в) бесшовные трубы;
- г) шарики для шарикоподшипников.

21. Процесс выдавливания металла из замкнутого объема через выходное отверстие (очко матрицы):

- а) волочение;
- б) прессование;
- в) прокатка;
- г) штамповка.

22. Область температур, при которых проводят горячую обработку металлов давлением, находится:

- а) выше температуры рекристаллизации и ниже линии солидус;
- б) ниже температуры рекристаллизации;
- в) выше линии ликвидус;
- г) ниже линии A_{C1} .

23. Область температур, при которых проводят холодную обработку металлов давлением, находится:

- а) выше температуры рекристаллизации;
- б) ниже температуры рекристаллизации;
- в) выше линии ликвидус;
- г) выше линии солидус.

24. Процесс обработки металлов давлением, при котором металл течет свободно в направлениях, не ограниченных поверхностями штампа:

- а) волочение;
- б) прессование;
- в) прокатка;
- г) свободная ковка.

25. Инструмент машинной свободной ковки, который действует на заготовку динамически:

- а) валок;
- б) матрица;
- в) молот;
- г) пресс.

26. Инструмент машинной свободной ковки, который действует на заготовку статически:

- а) валок;
- б) матрица;
- в) молот;
- г) пресс.

27. Инструмент, используемый при прессовании:

- а) пресс-штемпель;
- б) пресс-папье;
- в) пресс-штамп;
- г) молот.

28. Материал, из которого изготавливают штампы для горячей штамповки:

- а) алмаз;
- б) высокопрочный чугун;

- в) инструментальная легированная сталь;
- г) инструментальная углеродистая сталь.

29. Вид обработки давлением, с помощью которого изготавливают кузова автомобилей:

- а) листовая штамповка;
- б) свободная ковка;
- в) волочение;
- г) прокатка.

30. Методы обработки металлов давлением, с помощью которых можно получить профиль постоянного сечения (труба, проволока, рельс, уголок, тавр и т.д.):

- а) ковка, листовая прокатка, листовая штамповка;
- б) горячая объемная штамповка, литье под давлением;
- в) литье в оболочковые формы, прокатка, горячая объемная штамповка;
- г) прокатка, прессование, волочение.

31. Процесс обжатия металла между вращающимися валками прокатного стана:

- а) волочение;
- б) прессование;
- в) прокатка;
- г) штамповка.

ГЛАВА IV. СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Среди большого разнообразия производственных способов горячей обработки металлов и сплавов, сварка является одним из наиболее распространенных как в машиностроении, так и сельскохозяйственном ремонтном производстве.

При изготовлении металлических предметов быта, орудий труда и оружия сварка металлов применялась на Руси еще в VIII–XI веках нашей эры. Этот способ соединения металлов называют теперь горновой или кузнечной сваркой.

Появление электросварки, без которой немыслимо машиностроение и ремонтное производство, связано с открытием русским профессором физики Василием Владимировичем Петровым в 1802 году явления электрической дуги. В.В. Петров еще в то время указал на возможность применения электрической дуги для расплавления металлов.

Спустя 80 лет, в 1882 году, талантливый русский изобретатель Николай Николаевич Бенардос применил электрическую дугу для сварки металлов с использованием угольного электрода.

Почти одновременно с Бенардосом над этой проблемой работал другой русский изобретатель инженер-металлург Николай Гаврилович Славянов, который в 1888 году разработал способ дуговой сварки металлическим электродом.

Изобретения Бенардоса и Славянова были запатентованы в России, Англии, Франции, Германии, США, Австрии и других странах. Изобретатели были награждены золотыми медалями Русским техническим обществом. Н.Г. Славянов получил золотую медаль на всемирной технической выставке в Чикаго.

Сейчас нет такой отрасли промышленности, машиностроения или строительства, в которой не применяется сварка, а в ряде отраслей она стала ведущим технологическим процессом.

Выдающийся вклад в разработку теоретических основ сварки внесли российские ученые К.В. Любавский, К.К. Хренов, Г.А. Николаев, Е.О. Патон, Н.Н. Рыкалин, Б.Е. Патон и др.

Сваркой называется процесс получения неразъемного соединения деталей машин, конструкций и сооружений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или при совместном действии того и другого.

Сварка применяется для соединения однородных и разнородных металлов и их сплавов, металлов с некоторыми неметаллическими материалами, а также пластмасс.

Сварка является экономически выгодным, высокопроизводительным и в значительной степени механизированным технологическим процессом. Физическая сущность процесса сварки заключается в образовании прочных связей между атомами и молекулами на поверхности соединяемых заготовок. Межатомные, межионные, межмолекулярные связи образуются в результате совместной кристаллизации (после расплавления) или в результате местной пластической деформации в сочетании с рекристаллизацией или в результате диффузии.

Необходимыми условиями для создания межатомных и межмолекулярных связей являются температура, время контакта и качество поверхности. Поэтому требуется введение определенной энергии для активации состояния поверхности. Эта энергия сообщается в виде теплоты, упругопластической деформации, ионного, электронного и других видов облучения. В результате поверхностные атомы металлов образуют общие для соединяемых заготовок кристаллические решетки, а на поверхности пластмасс происходит объединение частей молекулярных цепей.

Существует свыше 60 видов сварки, которые классифицируются по физическим, техническим и технологическим признакам.

В зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного соединения, различают три класса сварки: термический, термомеханический и механический.

К *термическому классу* относятся виды сварки плавлением с использованием тепловой энергии, а именно: дуговая, электрошлаковая, электронно-лучевая, плазменная, индукционная, газовая и др.

К *термомеханическому классу* относятся виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления: контактная, диффузионная, индукционно-прессовая, газопрессовая, шлакопрессовая, термитно-прессовая и др.

К *механическому классу* относятся виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления: холодная, взрывом, ультразвуковая, трением и др.

ТЕМА 8. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА ПЛАВЛЕНИЕМ

Из всех вышеперечисленных видов сварки рассмотрим подробно наиболее распространенный – это дуговая сварка.

Дуговой сваркой называется сварка плавлением, при которой нагрев свариваемых кромок осуществляется теплотой электрической дуги (рис. 48).

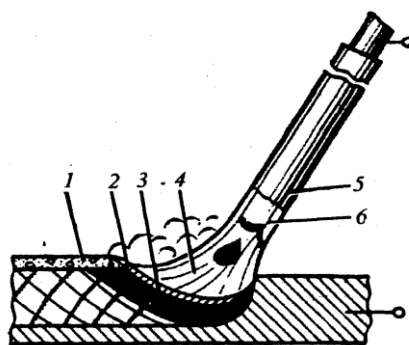


Рисунок 48 – Схема дуговой электрической сварки металлическим электродом:
1 – затвердевший шлак; 2 – расплавленный шлак; 3 – сварочная ванна; 4 – дуга;
5 – электродное покрытие; 6 – металлический стержень

Ручной дуговой сваркой можно сваривать стали, чугун, медь и медные сплавы. Естественно, что для каждого металла и его сплавов необходимо применять соответствующие электродные проволоки и покрытия.

Ручная дуговая сварка применяется главным образом в онструях, имеющих короткие и прерывистые швы, швы сложной конфигурации, то есть там, где трудно или невыгодно применять автоматические методы сварки. Положительной стороной ручной сварки является возможность производить сварку в любом пространственном положении, что особенно важно для сварки в монтажных условиях.

Сварочная дуга представляет собой устойчивый электрический разряд в сильно ионизированной смеси газов и паров материалов, используемых при сварке. Электрический разряд в газовой среде – это электрический ток, проходящий через газовую среду благодаря наличию в ней свободных электронов и ионов, способных перемещаться под действием приложенного электрического поля.

В установившейся сварочной дуге (рис. 49) различают три зоны: 1 – катодную; 2 – столб дуги; 3 – анодную.

Катодная зона длиной 10^{-4} мм расположена у раскаленного торца электрода (катода). Анодная зона расположена у положительного электрода (анода), то есть непосредственно у сварочной ванны.

Физические явления, которые протекают в этих трех зонах, по своей природе резко отличаются между собой.

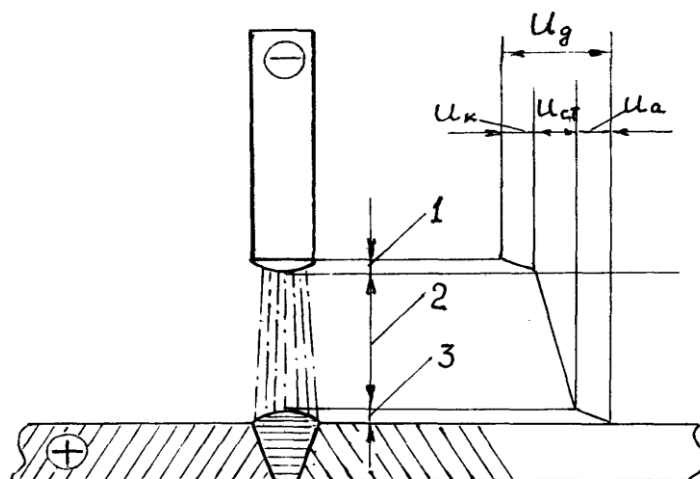


Рисунок 49 – Схема горения сварочной дуги

На поверхности катода и анода образуются активные катодные и анодные пятна, через которые проходит весь ток сварочной дуги, поэтому активные пятна наиболее нагреты. Высокая температура катодного пятна является непременным условием существования дугового разряда. Из катодного пятна вылетает поток свободных электронов, осуществляющих *ионизацию* дугового промежутка. Плотность тока на катодном пятне достигает $60...70 \text{ А / мм}^2$.

К катоду навстречу потоку электронов устремляется поток положительно заряженных ионов, которые бомбардируют его и отдают свою энергию, вызывая нагрев катода до $2500...3000 \text{ }^\circ\text{С}$. Активное катодное пятно непрерывно перемещается по торцу электрода, блуждает, вызывая пространственное изменение столба дуги.

К анодному пятну устремляются и отдают свою энергию потоки электронов, накаляя его до $3000...4000 \text{ }^\circ\text{С}$.

Столб дуги, расположенный между катодной и анодной зонами, состоит из раскаленных и ионизированных частиц. Температура столба дуги достигает $6000...7000 \text{ }^\circ\text{С}$. Столб дуги в целом не имеет заряда. Он нейтрален. В каждом данном сечении столба дуги одновременно находятся равные количества положительно и отрицательно заряженных частиц.

Напряжение дуги представляет собой сумму падений напряжений в катодной, анодной областях и в столбе дуги:

$$U_D = U_K + U_{CT} + U_A . \quad (36)$$

Для дуги с плавящимся электродом соблюдаются условия:

$$U_K > U_A; U_K + U_A > U_{CT}.$$

Для установившейся сварочной дуги напряжение может быть определено по формуле

$$U_D = \alpha + \beta \cdot l_D , \quad (37)$$

где α – коэффициент, по своей физической сущности составляющий сумму падений напряжений в катодной и анодной зонах, приблизительно равный 10...12 В;

β – коэффициент, выражающий среднее падение напряжения на единицу длины дуги, равный 2,0...3,0 В / мм;

l_D – длина дуги, мм.

При $l_D = 2...4$ мм дуга короткая, $l_D = 4...6$ мм – дуга нормальная, больше 6 мм – дуга длинная.

Длиной дуги называют расстояние между торцом электрода и поверхностью сварочной ванны.

Длина дуги и сила сварочного тока являются основными наиболее существенными параметрами, определяющими качество сварного соединения. Длина дуги ориентировочно должна находиться в пределах:

$$l_D = (0,5...1,1) d_э , \quad (38)$$

где $d_э$ – диаметр электрода, мм.

Среднее значение длины дуги можно определить из выражения

$$l_D \approx 0,5 (d_э + 2) . \quad (39)$$

Диаметр электрода зависит в основном от толщины свариваемых кромок S (мм) и вида сварного соединения. Диаметр электрода можно выбрать по табличным данным из справочников по сварке или определить по формуле

$$d_э = \frac{1}{2} S + 1 . \quad (40)$$

Если по расчету диаметр электрода получается более 6 мм, то ограничиваются $d_э = 6$ мм.

При сварке угловых и тавровых соединений диаметр электрода определяется в зависимости от катета шва.

Расчет сварочного тока при ручной дуговой сварке производят по диаметру электрода и допустимой плотности тока:

$$I_{св} = F_э \cdot i = \frac{\pi d_э^2}{4} \cdot i, \quad (41)$$

где $F_э$ – площадь поперечного сечения электрода, мм²;
 i – допустимая плотность тока, А / мм².

Допустимая плотность тока зависит от диаметра электрода и вида покрытия. Чем больше $d_э$, тем меньше допустимая плотность тока (i), так как при увеличении $d_э$ ухудшаются условия охлаждения.

Зависимость допустимой плотности тока от вида электродного покрытия и диаметра электрода приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Зависимость допустимой плотности тока от вида электродного покрытия и диаметра электрода

Вид покрытия	Допустимая плотность тока i , А / мм ² , при различных величинах диаметра электрода $d_э$, мм			
	$d_э = 3$	$d_э = 4$	$d_э = 5$	$d_э = 6$
Кислое, рутиловое	14...20	11...16	10...13	9...12
Основное	13...18	10...14	9...12	8...12

Для приближенных расчетов сварочный ток определяют по формуле

$$I_{св} = k \cdot d_э, \quad (42)$$

где k – коэффициент плотности тока, принимаемый в зависимости от $d_э$.

Таблица 29 – Зависимость коэффициента плотности тока от величины диаметра электрода

$d_э$, мм	1,6...2,0	3...4	5...6
k , А / мм	25...30	30...45	45...60

Как указывалось выше, в процессе горения дуги катод и анод нагреваются до разных температур, то есть температура анода может быть на 1000 °С выше температуры катода. Этот фактор необходимо учитывать при назначении конкретного технологического режима сварки. Например, при сварке высоколегированных сталей необходимо учитывать их низкую теплопроводность и электропроводность. Перегрев при сварке может вызвать не только коробление, но и межкристаллическую коррозию. Поэтому сварку таких сталей рекомендуется проводить на постоянном токе обратной полярности.

Полярность называется *прямой*, если электрод является катодом (-), а изделие анодом (+). При *обратной* полярности изделие соединяется с минусовой клеммой источника питания, а электрод – с плюсовой.

8.1. Сварные соединения и швы

Сварным соединением называют элемент сварной конструкции, состоящей из двух или нескольких деталей, и сварного шва, соединяющего эти детали.

В сварное соединение входят сварной шов, прилегающая к нему зона основного металла со структурными и другими изменениями в результате теплового воздействия сварки (зона термического охладнения), а также примыкающий к этой зоне участок основного металла.

Сварной шов представляет собой участок соединения, образовавшийся в результате кристаллизации сварочной ванны. Образование сварного соединения с воздействием концентрированной тепловой энергии сопровождается сложными физико-химическими процессами, определяющими структуру и механические свойства сварного шва.

По форме сопряжения свариваемых элементов сварные соединения могут быть стыковыми, нахлесточными, тавровыми и угловыми.

Стыковые соединения являются самыми распространенными и применяются в сварных конструкциях из листового металла и при стыковке уголков, швеллеров, двутавров и труб.

При стыковых соединениях торцы или кромки соединяемых деталей расположены так, что поверхность одной детали является продолжением поверхности другой детали.

Нахлесточные соединения осуществляются взаимным перекрытием кромок свариваемых изделий. Перекрытие должно быть в 3...5 раз больше толщины свариваемых элементов. При этом не требуется специальной обработки кромок, кроме отрезки. Соединения внахлестку менее прочны при переменных и ударных нагрузках, чем стыковые. Их не рекомендуется применять при толщине металла свыше 10...12 мм.

Тавровыми называют соединения, при которых торец одного элемента примыкает к поверхности другого элемента сварной конструкции под некоторым углом (чаще всего под прямым). Их конструируют для металлов толщиной 2...120 мм. Такие соединения

широко применяют при дуговой сварке балок, колонн, стоек, каркасов ферм и других конструкций.

Угловые соединения осуществляют при расположении свариваемых элементов под прямым или произвольным углом, и сварка выполняется по кромкам этих элементов с одной или с обеих сторон. Угловые соединения применяют при сварке различных коробчатых изделий, резервуаров и емкостей из металла толщиной 1...100 мм.

Сварные швы подразделяют по форме поперечного сечения на стыковые и угловые. С помощью стыковых швов образуют в основном стыковые соединения, угловые швы применяются в тавровых, угловых и нахлесточных соединениях. Разновидностью этих типов являются швы пробочные и прорезные, выполняемые в нахлесточных соединениях.

Пробочные швы в плане (вид сверху) обычно имеют круглую форму и образуются в результате полного проплавления верхнего и частичного проплавления нижнего листов. Иногда в верхнем листе предварительно просверливают отверстия, через которые производят проплавление свариваемых листов, и образуются пробочные швы, нередко называемые электрозаклепками.

Прорезные швы, обычно удлиненной формы, получают путем приварки верхнего (накрывающего) листа к нижнему угловым швом по периметру прорези. В отдельных случаях прорезь может заполняться полностью.

Кроме того, сварные швы различают по ряду других признаков:

1. По форме наружной поверхности стыковые швы могут быть *плоские* (нормальные) и *выпуклые* (усиленные), а угловые швы могут быть еще и *вогнутыми* (ослабленные).

2. По выполнению швов в пространстве различают следующие швы: *нижние*, выполняемые горизонтально на горизонтальной поверхности; *вертикальные*, выполняемые вертикально на вертикальной поверхности снизу вверх или сверху вниз; *горизонтальные*, выполняемые по горизонтали на вертикальной поверхности; *потолочные*, выполняемые при расположении сварщика под изделием, и сварке как бы по потолку.

Промежуточные положения относят к одному из вышеуказанных в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 50.

3. Для предварительного закрепления деталей при сборке конструкций применяют еще *прихватки*. По длине они могут быть от нескольких миллиметров до 3...4 см в зависимости от толщины закреп-

ляемых деталей: чем толще детали, тем длиннее должны быть прихватки.

4. По методу заполнения сечения шва различают *однослойные* и *многопроходные*.

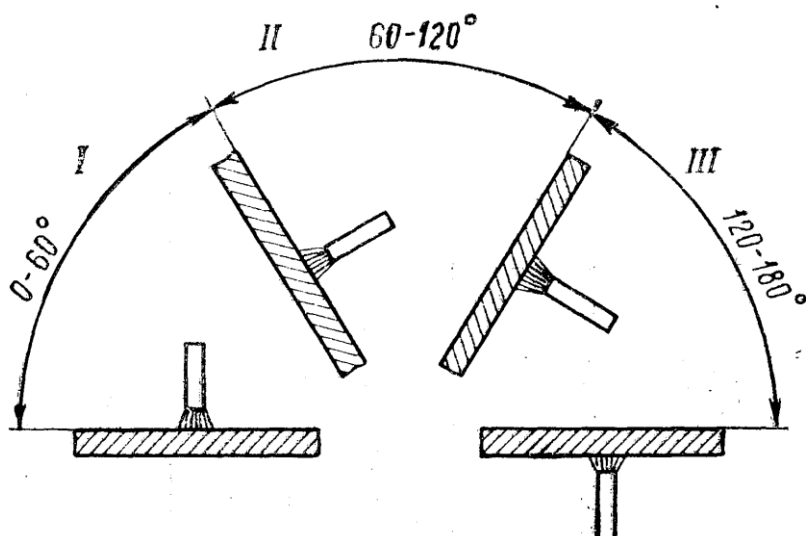


Рисунок 50 – Схема пространственного расположения швов:
I – нижнее; II – вертикальное; III – потолочное

Проход – часть сечения шва, выполняемого за однократное перемещение электрода вдоль шва. *Слой* – часть сечения шва, ограниченная двумя плоскостями и состоящая из одного или нескольких проходов. На рисунке 51 показаны многослойный (а) и многопроходный (б) швы. Многослойный шов состоит из четырех слоев, многопроходный шов имеет также четыре слоя, но слои III и IV выполнены за два и три прохода соответственно.

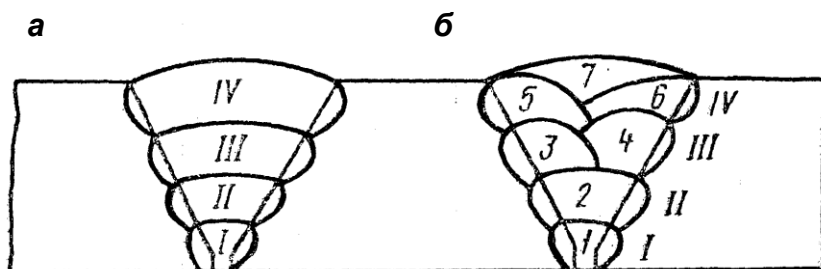


Рисунок 51 Способы заполнения швов по сечению:
а – многослойный; б – многопроходный

Существует несколько способов разделки кромок свариваемых изделий (рис. 52).

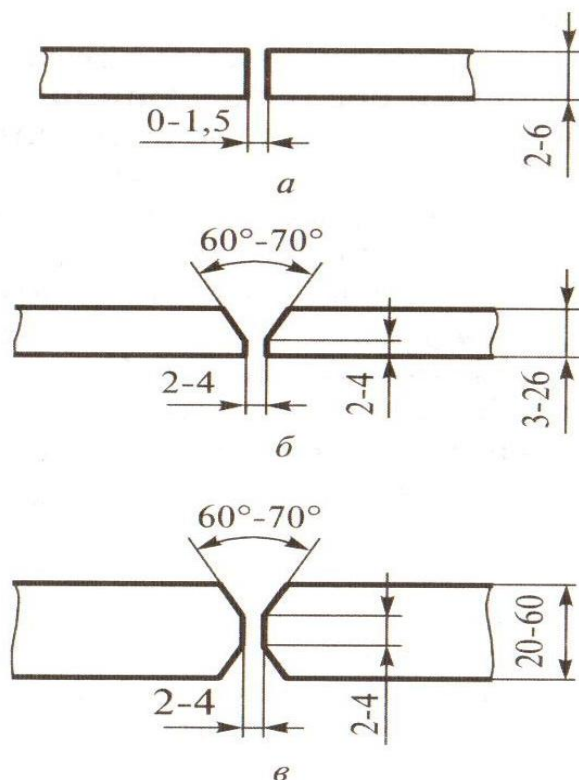


Рисунок 52 – Конструктивные элементы разделки кромок

Форму разделки кромок и их сборку под сварку характеризуют четыре основных конструктивных элемента: зазор b , притупление c , угол скоса кромки β , угол разделки кромок α , равный β или $2 \cdot \beta$.

На рисунке 53 приведены рекомендуемые величины конструктивных элементов разделки кромок при различных типах сварных соединений.

Соединение стыковое без разделки кромок (рис. 53, а) рекомендуется для толщины металла не более 3 мм. Наличие зазора обеспечивает полное проплавление. Зазор b при толщине металла $S = 1 \dots 2$ мм должен быть равен $0 \dots 1$ мм, а при $S = 3$ мм, $b = 0 \dots 1,5$ мм.

Соединения стыковые с V-образной разделкой кромок (рис. 53, б) рекомендуются для толщины $3 \dots 21$ мм. Если толщина больше (до 30 мм) или необходимо уменьшить угловые деформации и площадь сечения шва, то применяют стыковое соединение с X-образной разделкой кромок (рис. 53, в).

При этом необходимо иметь в виду, что сварка такого соединения требует доступа к нему с двух сторон.

Из угловых соединений (рис. 53, г, д, е) соединение типа г рекомендуется для толщины не более 8 мм, соединение типа д – для толщины не более 26 мм. Для больших толщин рекомендуется соединение типа е.

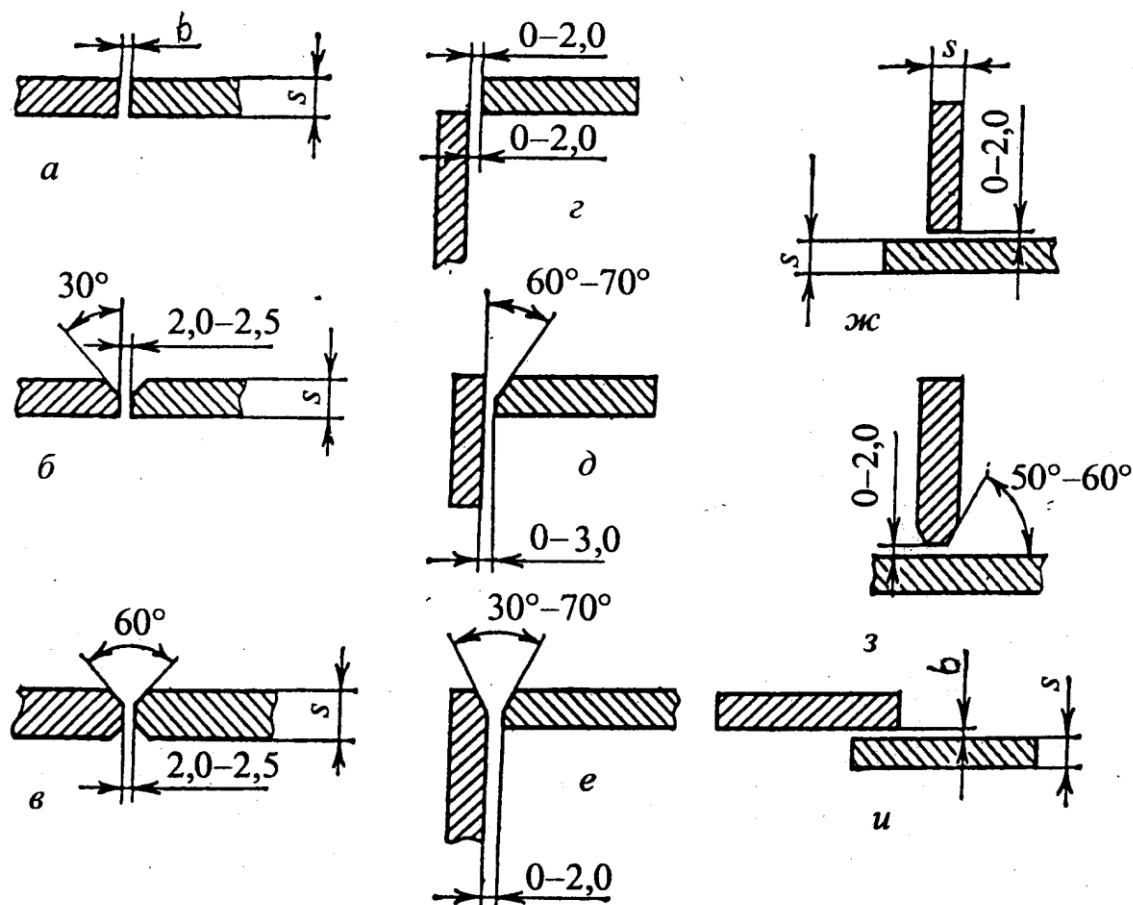


Рисунок 53 – Типы сварных соединений при ручной дуговой сварке

Тавровое соединение указанного вида (рис. 53, ж) рекомендуется для толщины не более 5...6 мм. В случае больших толщин на вертикальной стенке снимаются двусторонние фаски (рис. 53, з).

Соединение нахлесточное (рис. 53, и) применяется при $s = 2...6$ мм. Зазор b допускается от 0 до 4 мм. В отличие от стыкового соединения, нахлесточное облегчает сборку сварных узлов, однако из-за несоосности соединяемых деталей при работе в таких соединениях возникает изгибающий момент, снижающий прочность соединения, особенно из высокопрочных материалов. Нахлесточное соединение нерационально, как с точки зрения уменьшения расхода металла, так и снижения массы конструкции. При применении нахлесточного соединения, так же как таврового и углового, имеющих повышенную жесткость, больше вероятность образования трещин при сварке.

При разделке шва величина зазора и угла разделки зависит от толщины свариваемых изделий, вида сварного соединения, определяют качество шва и количество необходимого металла для заполнения разделки, а значит, производительность сварки.

Например, X-образная разделка кромок по сравнению с V-образной позволяет уменьшить объем наплавленного металла в 1,6-1,7 раза. Уменьшается время на обработку кромок. Но в этом случае возникает необходимость вести сварку с обратной стороны шва в неудобном потолочном положении или кантовать свариваемые изделия.

8.2. Metallurgical processes during welding

In liquid metal of the weld pool, processes characteristic of ordinary metallurgy occur.

При сварке происходит ряд сложных физико-химических процессов, определяющих качество сварочного соединения.

К физическим процессам относят процессы, которые, изменяя физические свойства вещества, не изменяют его строения и не приводят к изменению химических свойств. Это нагрев, плавление, кристаллизация, деформация и др.

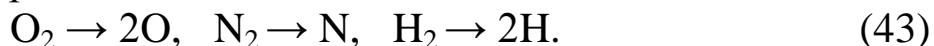
Химические процессы изменяют строение элементарных частиц, в результате образуются новые вещества с новыми физическими и химическими свойствами.

При сварке физические и химические процессы протекают одновременно.

Химические реакции взаимодействия расплавленного металла с газами и средствами защиты называются сварочными *металлургическими* реакциями (процессами). Характерными условиями протекания металлургических реакций при сварке являются: высокая температура, относительно малый объем расплавленного металла, высокая скорость нагрева и скорость охлаждения, непрерывное перемещение сварочной ванны и интенсивное перемешивание металла, кратковременность всего процесса.

Средняя температура капель электродного металла составляет 2200...2700 °С, температура сварочной ванны также значительно превышает температуру плавления свариваемого металла. Высокая температура способствует высокой скорости протекания химических реакций. Металл сварочной ванны взаимодействует с газами, шлаками и другими металлами, входящими в состав электродных покрытий. Газовая среда при дуговой сварке состоит из смеси N₂, O₂, H₂, CO₂, CO и паров металла и шлака.

В зоне высоких температур происходит распад молекул газов (диссоциация). Молекулярные кислород, азот и водород распадаются и переходят в атомарное состояние:



Активность газов в атомарном состоянии резко повышается.

Кислород растворяется в жидком металле и при достижении предела растворимости происходит химическое взаимодействие с металлом и образование окислов. Оксиды железа Fe_3O_4 , FeO снижают прочностные и пластические свойства. Кислород также вступает в химическое взаимодействие с другими металлами, входящими в состав стали, такими, как легирующие элементы.

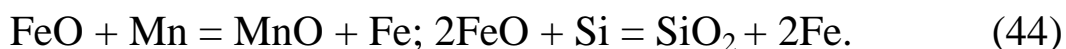
Азот также растворяется в металле и образует химические соединения – нитриды Fe_2N , Fe_4N , которые повышают хрупкость стали.

Водород не образует с железом химических соединений, но растворяется в жидком металле, что приводит к образованию пор, микротрещин как в металле шва, так и в зоне термического влияния (околошовной области).

Оксид кислорода не растворяется в металле шва, но в процессе кристаллизации выделяется и образует поры.

Основным способом борьбы с вредным влиянием газов является качественная защита сварочной ванны от воздействия воздуха и применение раскислителей, содержащихся в электродных покрытиях и флюсах. Электродные покрытия и флюсы осуществляют металлургическую обработку расплавленного металла – раскисление и легирование.

Характерными реакциями раскисления являются реакции с использованием Mn и Si :



Полученные в результате этих реакций оксиды марганца и кремния переходят в шлак.

В свариваемом металле и в материалах, используемых при сварке (электроды, покрытия), всегда находятся вредные примеси (S и P), которые являются причиной горячих трещин и высокой хрупкости сварных швов в холодном состоянии. Сера образует с железом неустойчивое соединение – сульфид железа FeS , который с железом образует, в свою очередь, легкоплавкую эвтектику ($\text{Fe} + \text{FeS}$) с температурой плавления 988°C , что вызывает горячие трещины. Сульфид железа удаляют из сварочной ванны марганцем:



Образующийся в результате реакции сульфид марганца переходит в шлак.

8.3. Вольтамперная характеристика сварочной дуги

Зависимость напряжения дуги от силы тока в сварочной цепи называется *статической вольтамперной характеристикой* (ВАХ) (рис. 54).

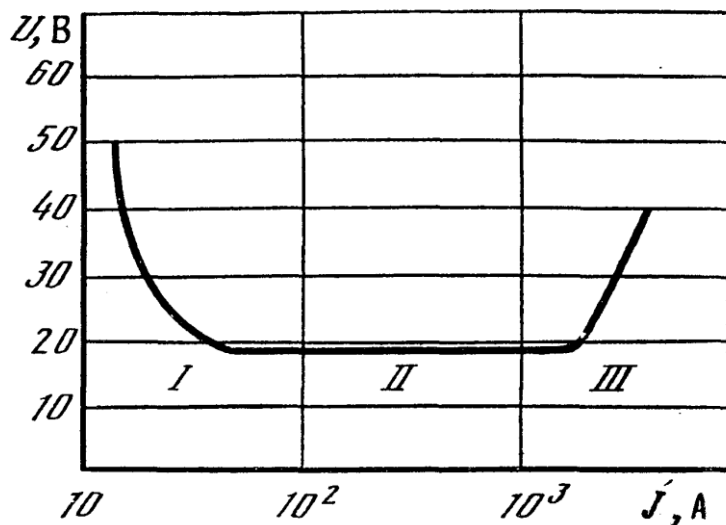


Рисунок 54 – Статическая вольтамперная характеристика дуги постоянной длины

ВАХ имеет три области: I – падающую, II – жесткую, III – возрастающую. Электрические свойства дуги в этих трех областях резко отличаются между собой.

В области I с увеличением тока напряжение уменьшается. Это объясняется тем, что при повышении тока увеличиваются площади катодного и анодного пятен, увеличивается площадь поперечного сечения столба дуги и увеличивается его электропроводность. Поэтому для большей силы тока в сварочной цепи требуется меньшее напряжение.

В области II при увеличении тока напряжение остается постоянным, так как сечение столба дуги и площади катодного и анодного пятен увеличиваются прямо пропорционально току.

В области III увеличение тока вызывает возрастание напряжения из-за ограниченного сечения электрода, то есть площадь катодного пятна сравнялась с площадью поперечного сечения электрода, и элек-

тропроводность столба дуги становится постоянной. В этом случае сила тока в сварочной цепи прямо пропорциональна напряжению дуги, что соответствует закону Ома.

На практике наибольшее применение находит дуга с жесткой и возрастающей характеристиками. Дуга с падающей характеристикой малоустойчива и находит ограниченное применение. В последнем случае для поддержания горения дуги необходимо постоянное включение в сварочную цепь осциллятора.

Ручная дуговая сварка, автоматическая под флюсом и сварка в среде защитных газов проводятся дугой с жесткой характеристикой. При этом наблюдается крупнокапельный перенос электродного металла в сварочную ванну. Автоматическая сварка под флюсом при повышенной плотности тока проводится дугой с возрастающей характеристикой, которая обеспечивает мелкокапельный или струйный перенос электродного металла. Следует отметить, что при сварке плавящимся электродом длина дуги вследствие капельного переноса металла все время меняется, поэтому ток и напряжение дуги также не являются постоянными.

8.4. Источники питания сварочной дуги

Для обеспечения устойчивости горения дуги *источники питания (ИП)* для дуговой сварки должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Иметь напряжение холостого хода (напряжение на зажимах ИП при разомкнутой сварочной цепи), достаточное для легкого возбуждения дуги и устойчивого ее горения, но не превышать норм безопасности труда, то есть не более 80 В для переменного и 110 В для постоянного тока.
2. Обладать достаточной мощностью для выполнения сварочных работ.
3. Обеспечивать ток короткого замыкания, не превышающий установленных значений:

$$1,25 < \frac{I_{к.з.}}{I_0} < 2,0, \quad (46)$$

где $I_{к.з.}$ – ток короткого замыкания, А;
 I_0 – ток дуги, А.

Обычно ток короткого замыкания не должен превышать сварочный ток более чем на 50 %. Это требование необходимо для предохранения обмоток ИП от перегрева и повреждения. При этом ИП должен выдерживать продолжительные короткие замыкания сварочной цепи без перегрева и повреждения обмоток.

4. Время восстановления рабочего напряжения от 0 до 30 В после каждого короткого замыкания не должно превышать 0,05 с, то есть ИП должны обладать хорошими динамическими свойствами.

5. ИП должен иметь устройство для плавного регулирования силы сварочного тока. Наиболее распространенным способом настройки режима сварки является комбинированное регулирование. Оно заключается в том, что весь диапазон регулирования по току разбивается на ряд ступеней (грубое регулирование), а в пределах каждой ступени осуществляется плавное регулирование.

6. Обладать заданной внешней характеристикой.

Внешней характеристикой ИП называется зависимость между напряжением на выходных клеммах и током в сварочной цепи (рис. 55). Внешние характеристики могут быть следующих видов: 1 – крутопадающая, 2 – пологопадающая, 3 – жесткая, 4 – возрастающая.

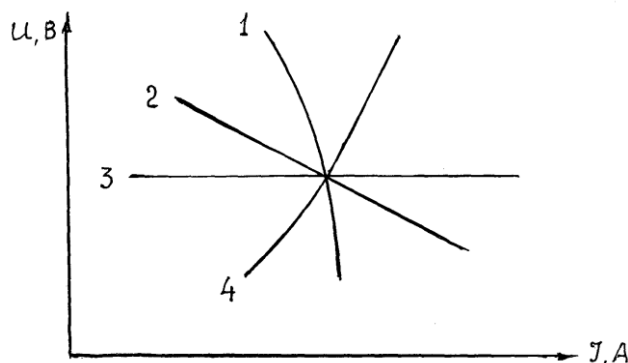


Рисунок 55 – Внешние характеристики источников питания

Источники питания с соответствующей внешней характеристикой выбирают в зависимости от ВАХ сварочной дуги. Режиму ручной дуговой сварки соответствуют участки I и II ВАХ (см. рис. 54). Поэтому внешняя характеристика должна быть крутопадающей. Чем больше крутизна падения в рабочей зоне, тем меньше колебания силы тока при изменении длины дуги. При таком соотношении напряжение холостого хода всегда будет больше напряжения дуги ($U_{хх} > U_d$), что облегчает зажигание дуги, особенно при сварке на переменном токе.

Для питания дуги с возрастающей ВАХ (сварка в защитном газе, сварка под флюсом и др.) используются ИП с возрастающей внешней характеристикой.

Источники питания классифицируются по следующим признакам:

1. По роду тока – ИП переменного и постоянного тока.
2. По внешней характеристике: крутопадающая, пологопадающая, жесткая и возрастающая.
3. По числу постов – однопостовые и многопостовые.
4. По характеру привода – ИП с электрическим приводом и независимым приводом (двигатель внутреннего сгорания ДВС).
5. По способу монтажа – стационарные и передвижные, для автономной сварки под флюсом, в среде защитных газов, электрошлаковой сварки и др.

Источниками питания переменного тока являются сварочные трансформаторы. Это специальные понижающие трансформаторы, имеющие требуемую внешнюю характеристику, обеспечивающие питание дуги и регулирование силы сварочного тока. Трансформаторы с падающей характеристикой используются для ручной дуговой сварки. Трансформаторы с жесткой и возрастающей характеристикой используют для электрошлаковой сварки.

К источникам питания постоянного тока относятся:

1. Сварочные преобразователи с электрическим приводом.
2. Сварочные генераторы с независимым приводом (ДВС).
3. Полупроводниковые сварочные выпрямители (кремниевые, селеновые).

Каждый *трансформатор* имеет сердечник-магнитопровод из листовой трансформаторной стали, на котором размещены две обмотки: первичная и вторичная (подвижная или неподвижная).

Переменный ток из сети, проходя через первичную обмотку, намагничивает сердечник, создавая в нем переменный магнитный поток, который, пересекая витки вторичной обмотки, индуцирует в ней переменный ток.

Напряжение индуцированного тока зависит от числа витков вторичной обмотки: чем меньше витков, тем меньше напряжение и наоборот.

Силу вторичного тока регулируют изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками или магнитным ономстрикцией ем при неподвижной вторичной обмотке.

ИП переменного тока благодаря своим технико-экономическим показателям имеют преимущество перед ИП постоянного тока: проще в эксплуатации, долговечнее, обладают более высоким КПД.

ИП постоянного тока предпочтительнее в техническом отношении: дуга горит более устойчиво, лучшие условия для сварки в различных пространственных положениях.

Сварочный преобразователь состоит из статора с магнитными полюсами и якоря (ротора) с обмоткой и коллектором. Якорь вращается в магнитном поле, создаваемом полюсами статора. Обмотка якоря пересекает магнитные линии полюсов статора, и в ее витках возникает переменный ток, который с помощью коллектора преобразуется в постоянный. Угольными (графитовыми) щитками ток снимается с коллектора и подводится к выходным клеммам. *Сварочный генератор* имеет аналогичное строение и отличается от преобразователя только приводом.

Сварочные выпрямители состоят из понижающего трансформатора и блока полупроводниковых выпрямителей, выполняются они по трехфазной схеме. Сварочные выпрямители имеют свои преимущества в сравнении с преобразователями и генераторами: не имеют вращающихся частей, работают бесшумно, отличаются более высокой надежностью и долговечностью.

Основными техническими характеристиками ИП являются: внешняя характеристика, напряжение холостого хода и показатель режима работы, то есть продолжительность нагрузки (ПН) за время цикла:

$$ПН, \% = \frac{t_{CB}}{t_{CB} + t_{П}} \cdot 100, \quad (47)$$

где t_{CB} – время сварки;

$t_{П}$ – время пауз;

$(t_{CB} + t_{П})$ – время цикла.

Каждый ИП рассчитан на определенную нагрузку, при которой он работает, не перегреваясь выше допустимых температур. Чем больше ПН, тем тяжелее режим работы.

Промышленностью выпускаются ИП со следующими показателями режима работы:

- ПН = 20, 35, 60, 65 % – однопостовые ИП;

- ПН = 100 % – для многопостовых ИП.

При механизированной сварке в техническом паспорте ИП вместо ПН указывается показатель режима работы ПВ – продолжительность включения.

Различие между ПН и ПВ состоит в том, что в первом случае ИП во время пауз не отключается от сети и при разомкнутой сварочной цепи работает на холостом ходу, а во втором случае (ПВ) источник питания автоматически отключается от сети.

Ниже приведены схемы, описания, краткое устройство и технические характеристики некоторых источников питания, имеющих в учебных лабораториях кафедры общепромышленных дисциплин Красноярского ГАУ.

На рисунке 56 приведен внешний вид сварочного аппарата итальянского производства модели GAMMA 3250.

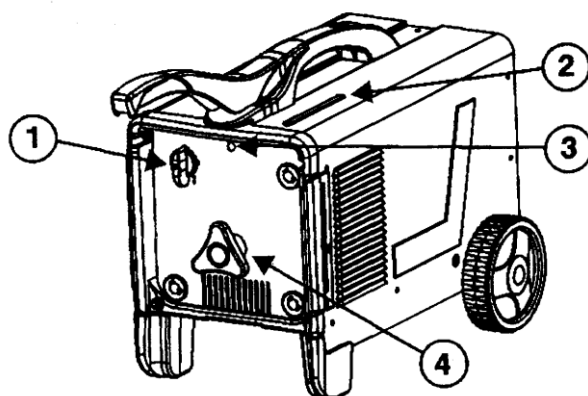


Рисунок 56 – Сварочный аппарат GAMMA 3250:

*1 – главный выключатель; 2 – градуированная шкала; 3 – лампа термостата;
4 – регулирование силы сварочного тока*

Аппараты данной модели имеют две модификации: вариант АС – состоят из однофазного трансформатора с падающей характеристикой и предназначены для сварки на переменном токе электродами с покрытиями (типа Е43R); вариант АС/DC – являются генераторами смешанного тока (постоянного и переменного), выбираемого при помощи соответствующих клемм, подходят для дуговой сварки электродами с различными видами покрытия (рутиловыми, кислыми, щелочными).

Для включения сварочного аппарата необходимо нажать на главный выключатель 1. Интенсивность вырабатываемого сварочного тока регулируется посредством магнитного шунта, управляемого вручную вращением специального винта 4. Величина заданного тока

видна на градуированной в амперах шкале 2. Сварочный аппарат защищен от термических нагрузок автоматической защитой (термостат с автоматическим восстановлением). Когда обмотка достигает предельно установленной температуры, защита отключает цепь питания и включается желтая лампа 3 на передней панели. После охлаждения в течение нескольких минут защита автоматически восстанавливается, включается цепь питания, желтая лампа гаснет. Сварочный аппарат готов к дальнейшей работе.

При сварке на аппарате варианта АС/DC клеммы переменного тока используются в основном для электродов с рутиловым покрытием (эти электроды широко распространены и универсальны).

Клеммы постоянного тока используются при сварке электродами с щелочным покрытием или электродами для нержавеющей стали, при этом кабель электрододержателя присоединяется к плюсовой клемме (обратная полярность).

При сварке на постоянном токе электродами с кислым или рутиловым покрытием используется прямая полярность.

Сила сварочного тока выбирается в зависимости от диаметра электрода (табл. 30) и пространственного положения шва.

Таблица 30 – Зависимость силы тока от диаметра электрода

Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	
	минимальный	максимальный
1,6	25	50
2,0	40	80
2,5	60	110
3,0	80	160
4,0	120	200
5,0	150	250
6,0	200	350

При сварке в нижнем положении принимается максимальное значение силы тока при сварке вертикальных и потолочных швов – минимальное.

На рисунке 57 показан внешний вид источника питания серии «Питон» (в дальнейшем полуавтомат), предназначенного для проведения сварочных работ в среде углекислого газа.

Полуавтоматы серии «ПИТОН» могут использоваться как для бытовых, так и для производственных целей, главным образом при

ремонте автомобилей для кузовных работ, а также при изготовлении, монтаже и ремонте оборудования и трубопроводов различного назначения.

Полуавтоматы позволяют сваривать конструкции из нержавеющей стали при использовании нержавеющей сварочной проволоки.

Дополнительный режим – использование полуавтомата как пусковое устройство и устройство для очистки поверхности металла от коррозии и покрытий, а также для прогрева поверхности металла перед рихтовкой.

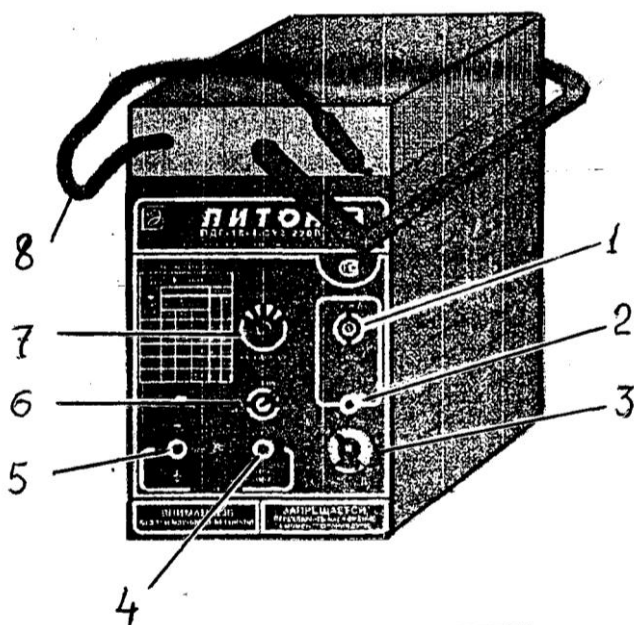


Рисунок 57 – Источник питания для полуавтоматической сварки в среде углекислого газа:

1 – тумблер включения сетевого напряжения; 2 – индикатор наличия сетевого напряжения; 3 – переключатель плавной регулировки скорости подачи сварочной проволоки; 4 – клемма «+12 В» для подключения к плюсовой клемме аккумулятора автомобиля или к держателю угольного электрода; 5 – клемма «-» для подключения к минусовой клемме аккумулятора или клеммы (земля) кабеля к свариваемому изделию; 6 – переключатель режимов: «СО₂ сварка» – сварка в среде углекислого газа и «+12 В прогрев» – прогрев и пуск двигателя; 7 – ступенчатый переключатель величины сварочного напряжения (в режиме «+12 В прогрев» – переключатель пускового и прогревающего тока); 8 – сварочный рукав с горелкой

Полуавтомат предназначен для эксплуатации в закрытых помещениях в условиях умеренного климата:

- температура окружающего воздуха от -10 °С до +40°С;
- влажность окружающего воздуха не более 98 %.

Полуавтомат не допускается использовать в среде, насыщенной пылью, во взрывоопасной среде, а также содержащей едкие пары и газы, разрушающие металл и изоляцию.

Полуавтомат имеет два режима работы:

- основной: режим «СО₂ сварка» – сварка в среде углекислого газа;

- дополнительный: режим «+12 В прогрев» – пуск двигателя и прогрев поверхности металла.

Постоянный ток для сварки образуется в результате выпрямления напряжения со вторичной обмотки силового трансформатора.

В режиме «СО₂ сварка» при нажатии на кнопку горелки подается сварочное напряжение, и включается механизм подачи сварочной проволоки, при этом скорость подачи регулируется транзисторным стабилизатором.

Скорость подачи проволоки и сварочное напряжение выбирается в соответствии с толщиной свариваемого изделия.

В режиме «+12 В прогрев» включается силовое напряжение, при этом механизм подачи сварочной горелки отключается.

Полуавтомат имеет тепловую защиту от перегрузки. При достижении предельно допустимой температуры трансформатора происходит автоматическое отключение от сети.

Полуавтоматы для сварки металла различной толщины выпускаются следующих модификаций:

- Питон 1 – ПДГ-12-1,3 УЗ, 220 В ОТ 0,5 мм до 2 мм и током до 120 А;

- Питон 2 – ПДГ-15-1,3 УЗ, 220 В от 0,5 мм до 4 мм и током до 150 А;

- Питон 3 – ПДГ-18-1,3 УЗ, 220 В от 0,5 мм до 5 мм и током до 180 А.

- Питон 4 – ПДГ-20-1,3 УЗ, 220 В от 0,5 мм до 6 мм и током до 200 А.

Технические характеристики полуавтоматов различных модификаций приведены в таблице 31.

На рисунках 58 и 59 приведены габаритные параметры и принципиальная электрическая схема сварочного трансформатора ТДМ-250У2.

Трансформатор представляет собой переносную установку с естественной вентиляцией, обеспечивающую преобразование напряжения силовой сети в напряжение, необходимое для процесса дуговой сварки.

Таблица 31 – Технические характеристики полуавтоматов

Параметр	Величина			
	Питон 1	Питон 2	Питон 3	Питон 4
Напряжение питающей сети, В	220			
Режим «СО ₂ сварка»				
Максимальная потребляемая мощность, кВт, не более	4	4,5	5	5,5
Продолжительность нагрузки: при максимальном токе, % токе ≤ 100 А, %	30	30	20	20
	40	60	80	100
Пределы регулирования сварочного тока, А	50...120	50...150	50...180	50...200
Напряжение холостого хода, В	20...30	20...30	22...32	22...32
Скорость подачи проволоки, м/мин	0...10	0...10	0...12	0...12
Применяемая сварочная проволока, мм	0,8; 1,0	0,8; 1,0	0,8; 1,0; 1,2	0,8; 1,0; 1,2
Емкость катушки для сварочной проволоки, кг, не менее	5	5	5	5
Режим «+12 В прогрев»				
Максимальный ток: при пуске, А при прогреве, А	200	250	300	320
	100	100	100	100
Пределы регулирования тока при прогреве, А	50...120	50...150	50...180	50...200
Напряжение холостого хода, В	9...14	9...14	9...15	9...15
Габариты, мм, не более	40x260x375			
Масса, кг, не более	28	30	32	33

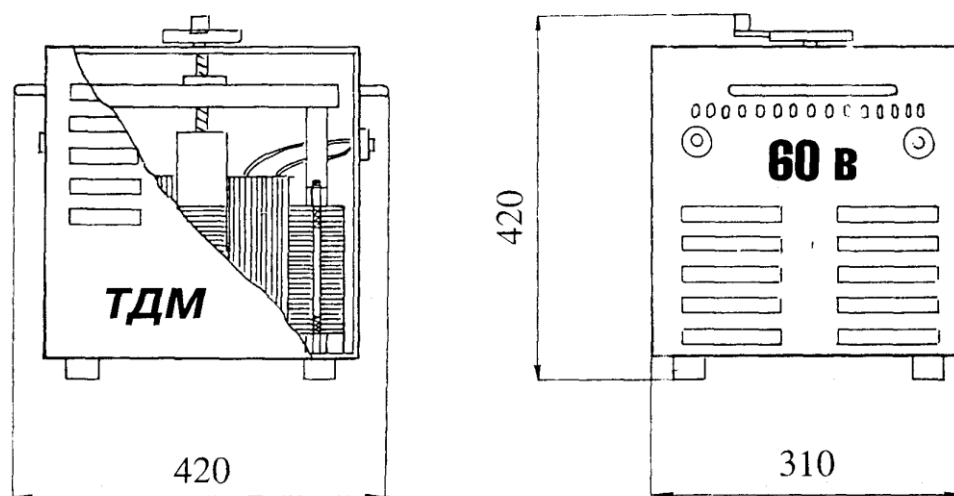


Рисунок 58 – Габаритные параметры трансформатора ТДМ-250 У2

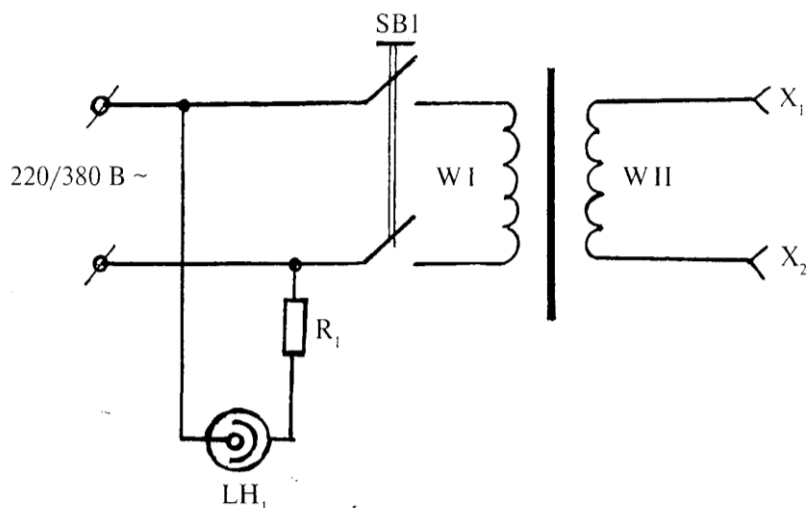


Рисунок 59 – Принципиальная электрическая схема ТДМ-250У2

В методических указаниях к лабораторной работе приведена принципиальная схема трансформатора ТДМ-317 с подвижной вторичной обмоткой. Регулировка сварочного тока при такой схеме производится изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками.

Регулировка тока в трансформаторе ТДМ-250У2 производится посредством магнитного шунтирования при неподвижных медных обмотках, что обеспечивает его высокую надежность и долговечность.

Данный трансформатор предусматривает два варианта подключения напряжения сети: 220 В или 380 В.

Трансформатор состоит из магнитопровода, сердечника, трансформаторных обмоток (первичной и вторичной), магнитного шунта, регулировочного винта и кожуха.

Обмотки трансформатора имеют по две катушки, расположенных попарно на общих стержнях магнитопровода. Катушки обмоток выполнены из изолированного медного провода марки ПСДТ и неподвижно закреплены на магнитопроводе. Обмотки от сердечника магнитопровода изолированы стеклопластиком и пропитаны электротехническим лаком.

Сердечник трансформатора собран из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм и выполнен в виде бесшпильной конструкции.

Ток сварки регулируется путем вращения рукоятки, расположенной на верхней крышке трансформатора. Стрелка указателя величины сварочного тока расположена на лицевой стенке трансформатора.

Для удобства перемещения трансформатор снабжен двумя ручками, расположенными на боковых панелях.

В таблице 32 представлена техническая характеристика трансформатора ТДМ-250У2.

Таблица 32 – Техническая характеристика трансформатора ТДМ-250 У2

№ п/п	Параметр	Норма
1	Номинальное напряжение питающей сети, В	220 / 380
2	Номинальный сварочный ток, А	250
3	Пределы регулирования сварочного тока, А	40...250
4	Номинальная продолжительность нагрузки (ПН), при цикле сварки 5 мин, не менее, %: при токе 250 А при токе 200 А при токе 100 А	40 60 100
5	Номинальное вторичное напряжение под нагрузкой, В	32
6	Напряжение холостого хода, В не более	65
7	Способ регулирования сварочного тока	Плавный
8	Потребляемая мощность, кВт, не более	9
9	Габаритные размеры, мм, не менее	420x310x420
10	Масса, кг	49

Контрольные вопросы

1. Какова классификация видов сварки?
2. Какова сущность процесса сварки по Н.Н. Бенардосу?
3. Какова сущность процесса сварки по Н.Г. Славянову?
4. Назовите типы сварных соединений.
5. Перечислите виды сварных швов.
6. Охарактеризуйте вольтамперную характеристику сварочной дуги.
7. Перечислите требования, предъявляемые к источникам питания сварочной дуги.
8. Каковы основные принципы регулирования силы сварочного тока?
9. Перечислите источники питания сварочного тока.
10. Охарактеризуйте внешнюю характеристику источников питания.

ТЕМА 9. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

Сварка под флюсом – это дуговая сварка, при которой электрическая дуга горит под слоем сварочного флюса, обеспечивающего защиту сварочной ванны от воздуха.

Основное применение находит сварка под флюсом одной вертикально расположенной электродной проволокой сплошного сечения (рис. 60).

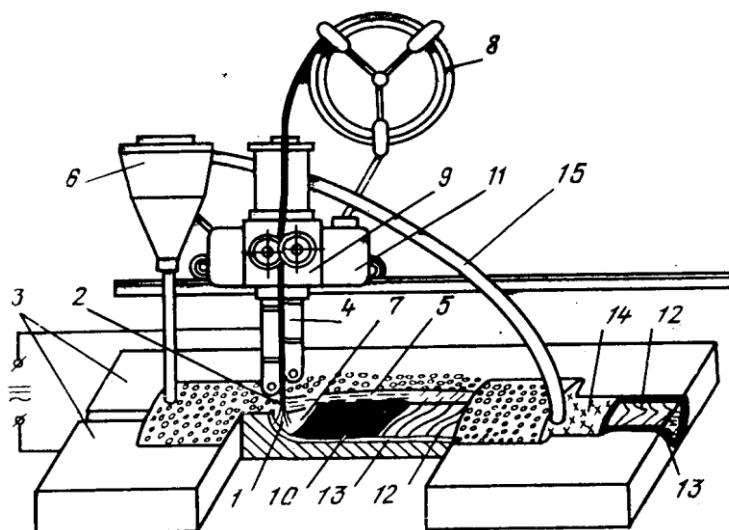


Рисунок 60 – Схема автоматической сварки под слоем флюса:

1 – электрическая дуга; 2 – электродная проволока; 3 – основной металл; 4 – мундштук; 5 – слой флюса; 6 – флюсоаппарат; 7 – прослойка жидкого шлака; 8 – бухта электродной проволоки; 9 – сварочная головка; 10 – сварочная ванна; 11 – тележка для перемещения сварочной головки; 12 – сварной шов; 13 – зона термического влияния; 14 – шлаковая корка; 15 – шланг для возврата флюса в флюсоаппарат

Электрическая дуга 1 возбуждается и горит между концом голой электродной проволоки 2 и свариваемым изделием 3 под слоем флюса, подаваемого из бункера флюсоаппарата 6. Под действием теплоты дуги плавится основной металл и электродная проволока, а также часть флюса, находящегося в зоне горения дуги. Расплавленный флюс, вследствие значительно меньшей плотности, всплывает на поверхность жидкого металла и покрывает его плотным слоем 5. Сварочная дуга горит в изолированном пространстве, сводом которого является прослойка 7 из жидкого шлака.

Расплавленный флюс 5, имеющий более низкую температуру плавления, чем металл, затвердевает позже, замедляя охлаждение металла шва 12.

Медленное охлаждение и кристаллизация на поверхность шва под флюсом способствует выходу на поверхность металла всех онсталлических включений и растворенных газов, что дает возможность получить чистый, плотный и однородный по химическому составу шов.

Режим автоматической сварки под флюсом определяется силой тока, направлением и длиной дуги. Сила сварочного тока находится в пределах 1000...1200 А, что невозможно при открытой дуге. Сварку ведут короткой дугой. Современные аппараты поддерживают отклонение длины дуги в пределах $\pm 0,2...0,3$ мм. Напряжение колеблется в пределах 18...55 В.

Подвод тока к электрической проволоке и ориентацию ее конца по отношению к свариваемым кромкам осуществляют мундштуком 4.

Основными компонентами, входящими в состав флюса, являются марганцевая руда, кварцевый песок, мел, плавиковый шпат (CaF_2), глинозем, ферросплавы.

Для автоматической сварки применяют плавленные и неплавленные флюсы. Плавленные флюсы получают плавлением компонентов. Неплавленные флюсы представляют собой механические смеси измельченных компонентов. Величина гранул флюса находится в пределах 0,3...3,0 мм. Более чем на 70 % флюсы состоят из SiO_2 и MnO .

По характеру образующегося шлака 14 различают кислые и основные флюсы, а по назначению – для сварки углеродистых сталей, легированных сталей, цветных металлов, для наплавки поверхностных слоев. Наибольшее применение нашли флюсы марок АН-348А, ОСЦ-45, АВ-5 и другие, в которых основой служат окислы марганца и кремния. Дополнительно в флюсы добавляют компоненты для повышения жидкотекучести шлаков (CaF_2), стабилизации горения дуги (CaO , MgO) и легирующие элементы. Наплавленный и неиспользованный в процессе сварки слой флюса пневматическим шлангом 15 подается в бункер флюсоаппарата 6.

Расплавленный флюс не только защищает сварочную ванну 10 от воздействия азота и кислорода воздуха, но и осуществляет металлургическую обработку металла, то есть раскисляет и легирует металл шва. Например, марганец не только восстанавливает оксиды железа, но и образует сульфид MnS , удаляет серу из металла шва в шлак.

При сварке под слоем флюса используют источники питания переменного и постоянного тока с падающей характеристикой:

трансформаторы ТДФ-1001, ТДФ-1601, ТШС – 1000-3; преобразователи ПСО-300, ПСГ-50 и выпрямители ВДУ-1001, ВДУ-504 и др.

Сварка под флюсом имеет следующие преимущества:

1. Высокая производительность сварки, превышающая в 5-10 раз ручную дуговую сварку. Это достигается использованием большей силы сварочного тока (1000...1200А), что невозможно при открытой дуге.

2. Высокое качество сварного шва, вследствие хорошей защиты сварочной ванны от воздуха, раскисления и легирования металла шва, а также медленного охлаждения.

3. Экономия электродного металла. Потери металла на угар, разбрызгивание и огарки при ручной сварке составляют 20...30 %, при сварке под флюсом эти потери не превышают 2...5 %.

4. Экономия электроэнергии за счет полного использования теплоты дуги. Затраты на электроэнергию уменьшаются на 30...40 %.

5. Улучшение условий труда, так как дуга закрыта слоем шлака и флюса, горит в изолированном пространстве, выделение газов значительно снижено. Отпадает необходимость в использовании защитных щитков и принудительной вентиляции.

К недостаткам сварки под флюсом относятся ограниченная оневренность и невозможность сварки в других пространственных положениях, кроме нижнего.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность сварки под флюсом?
2. Из каких узлов состоит автомат для сварки под флюсом?
3. Какие флюсы используют при сварке?
4. Каково основное назначение флюса при сварке?
5. Назовите основные компоненты, входящие в состав флюса.
6. В чем заключается металлургическая обработка флюсом сварочной ванны?
7. Назовите основные преимущества сварки под флюсом по сравнению с ручной дуговой сваркой.
8. Почему производительность сварки под флюсом в несколько раз превышает производительность ручной дуговой сварки?
9. Перечислите недостатки автоматической сварки под флюсом.
10. Назовите принципы автоматизации процесса сварки.

ТЕМА 10. ПЛАЗМЕННАЯ СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

При плазменной сварке источником энергии для нагрева металла служит плазма, которая представляет собой значительно ионизированный и нагретый газ.

Плазма – это смесь электрически нейтральных молекул газа и электрически заряженных частиц, отрицательных электронов и положительных ионов.

Наличие электрически заряженных частиц делает плазму чувствительной к воздействию электрических полей.

Плазма отличается от обычного газа рядом свойств и особенностей, которые в свою очередь позволяют ее считать четвертым (после твердого, жидкого и газообразного) агрегатным состоянием вещества.

В частности, для плазмы характерно активное взаимодействие с электрическими и магнитными полями, обусловленное ее высокой электрической проводимостью. Плазма является наиболее распространенным состоянием вещества в космосе. Солнце, звезды и некоторые межзвездные облака, имеющие высокую температуру, состоят из плазмы.

Технологически струя плазмы близка к газосварочному пламени, но имеет более высокую температуру.

Плазменной струей или факелом можно осуществлять различные виды обработки: сварку, резку, напыление, пайку, термообработку металлов и др. Плазмой можно обрабатывать как металлы, так и неметаллические материалы – стекла, керамику и другие полимеры.

Плазма может быть получена различными способами, самый простой и распространенный – это нагрев газа в дуговом разряде. Для получения плазмы соосно столбу дуги (рис. 61), горячей между катодом и анодом в узком канале водоохлаждаемого медного сопла 3 специальной плазменной горелки, пропускают поток газа (чистый аргон, смесь аргона (20 %) и гелия (80 %); смесь аргона (50 %) и водорода (50 %); смесь аргона (50 %) и азота (50 %)).

Канал электрически изолирован от сопла и электрода. При увеличении силы тока столб дуги в ограниченном пространстве сопла расширяться не может. Газ, проходя через сопло, сжимает столб дуги, ионизируется и выходит из сопла в виде яркосветящейся струи, то есть плазмы с температурой до 30000 °С.

Практически весь газ, проходящий сквозь столб сжатой дуги, ионизируется и превращается в плазму.

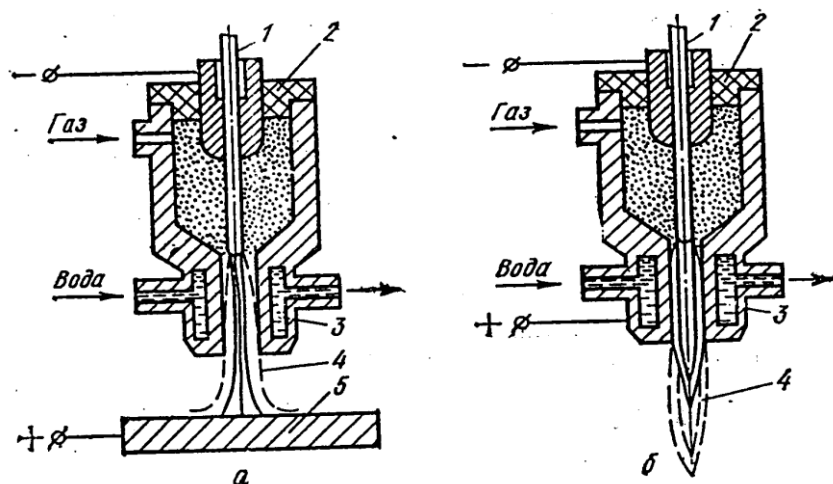


Рисунок 61 – Схемы дуговых плазменных горелок:
а – прямого действия; *б* – косвенного действия; 1 – вольфрамовый электрод;
 2 – втулка изоляционная; 3 – сопло; 4 – плазменная струя; 5 – изделие

Различают плазменную дугу *прямого* и *косвенного действия*. Дуга *прямого действия* (рис. 61, *а*) горит между вольфрамовым электродом 1 (катодом) и изделием 5 (анодом). Дуга *косвенного действия* (рис. 61, *б*) горит между вольфрамовым электродом 1 и медным соплом 3 горелки. Ионизированный газовый поток выдувается из сопла горелки в виде яркого концентрированного пламени 4. Плазменной дугой сваривают углеродистые и легированные стали, нержавеющие стали, тугоплавкие и цветные металлы, а также неметаллические материалы.

Другим способом получения плазмы является пропускание потока газа через индуктор, питаемый токами высокой частоты. Газ нагревается до высоких температур вихревыми токами, возникающими в потоке газа, который переходит в состояние плазмы.

ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ И РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПЛАЗМОТРОНОМ «МУЛЬТИПЛАЗ 2500»

Плазмотрон предназначен для резки различных конструкционных материалов (металлических и неметаллических), для сварки и пайки черных и цветных металлов и сплавов, а также для наплавки поверхностных слоев. В технологическом и функциональном отношении применение плазмотрона совмещает два вида сварки – электрическую дуговую и газокислородную.

Технология проведения сварочных работ с использованием плазмотрона в режиме «*плазменной сварки*» аналогична с технологи-

ей обычной газовой сварки. Отличие состоит в том, что для получения высокотемпературного факела необходимы электричество и вода, а не газовые баллоны или ацетиленовый генератор. При плазменной сварке или пайке применяются те же присадки, флюсы и припои, что и при обычной газовой сварке.

Техническая характеристика плазмотрона

- Напряжение питающей сети (однофазная) – 220 В
- Частота тока – 50 Гц
- Потребляемая мощность (не более) – 2500 Вт
- Габаритные размеры блока питания – 325x170x115, мм
- Масса блока питания – 5,5 кг
- Масса плазменной горелки – 0,7 кг
- Температура пламени – 8000 °С
- Расход рабочей жидкости (вода или вода-спирт) – 0,25 л/ч
- Напряжение холостого хода – 48 В

Плазменная горелка выполнена в форме пистолета (рис. 62). Горелка присоединяется к блоку питания с помощью электрического кабеля. Блок питания подключается к однофазной сети через заземленную розетку.

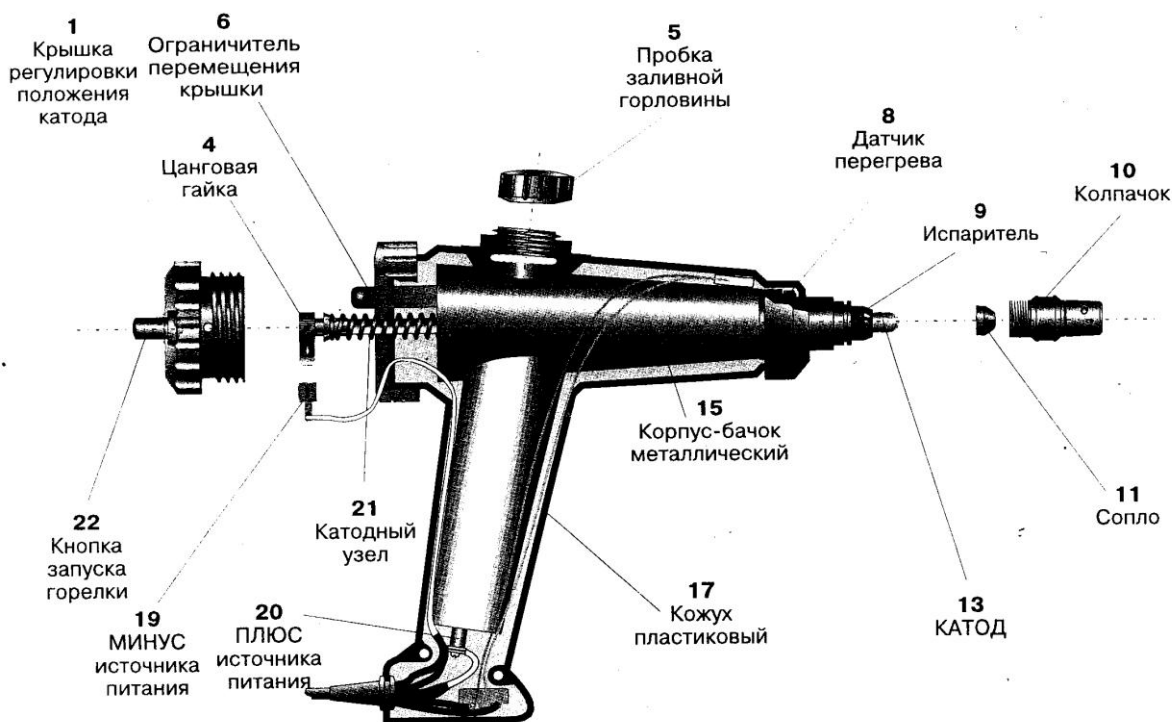


Рисунок 62 – Общее устройство плазмотрона «Мультиплаз 2500»

Все узлы плазменной горелки располагаются в пластмассовом корпусе, состоящем из двух боковин 17.

Металлический корпус-бочок 15 заполнен влаговпитывающим материалом. Подвижный катодный узел 21, на который через контакт 19 подается отрицательное напряжение, состоит из катододержателя, в переднюю часть которого ввинчивается сменный катод 13.

Сопло-анод 11 и катод 13 образуют разрядную камеру, внутри которой за счет энергии электрической дуги пары рабочей жидкости нагреваются до температуры образования плазмы.

Запуск плазменной горелки, предварительно заправленной рабочей жидкостью, осуществляется в такой последовательности:

1. Установить переключатель MODE I в положение 5.
2. Вращая крышку механизма управления катодом, установить свободный ход пусковой кнопки около 3 мм.
3. Нажать кнопку ON на панели блока питания, после чего должен загореться светодиод над кнопкой ON, а показания индикатора должны находиться в пределах от 200 до 350 В.
4. В течение 5 секунд после нажатия кнопки ON нажать до упора пусковую кнопку горелки и сразу отпустить ее. Показания индикатора должны установиться в пределах от 30 до 70 В. Через несколько секунд после нажатия пусковой кнопки из сопла горелки появляется факел, а напряжение увеличивается до 120...140 В. После прогрева горелки факел становится короче (20...30 мм) и приобретает оранжевый или фиолетовый оттенок, что показывает, что горелка готова к работе. При нажатии на кнопку подвижный катодный узел перемещается вперед и упирается *наконечником-катодом* в *сопло-анод*, то есть происходит короткое замыкание. При отпускании кнопки катодный узел под действием возвратной пружины отходит от сопла-анода, и в разрыве возникает электрическая дуга.

Под действием тепловой энергии дуги рабочая жидкость превращается в пар, который под давлением устремляется к выходному отверстию в сопле-аноде.

В узком сечении выходного отверстия пар обжимает электрическую дугу со всех сторон и центрирует ее, не давая замкнуться на боковые стенки. При взаимодействии с электрической дугой часть водяных паров превращается в плазму, температура которой достигает 8000 °С.

В плазмотроне реализовано два вида работ:

1. Режим «косвенной» дуги, в котором дуга горит между катодом и соплом-анодом. Такой режим называется «плазменным».

2. Режим «прямой» дуги, в котором дуга горит между катодом и изделием. Такой режим называется «плазменно-дуговым».

Включение «плазменно-дугового» режима осуществляется потенциометром «MODE II», которым и регулируется сила тока в этом режиме.

Сила тока в плазменном режиме регулируется переключателем «MODE I».

Работа в режиме резки

В качестве рабочей жидкости при резке используется вода. Для резки применяется сопло с диаметром отверстия от 1,0 до 1,1 мм. В «плазменном» режиме обеспечивается резка как металлических, так и неметаллических материалов. В «плазменно-дуговом» режиме осуществляется резка только металлов (электропроводных материалов).

Работа в режиме сварки

В качестве рабочей жидкости при сварке и пайке используется 45 %-я смесь воды со спиртом. При сварке применяется сопло с диаметром отверстия от 2,0 до 2,3 мм. Можно использовать выработавшие свой ресурс сопла для резки. Для этого нужно просверлить и сделать фаску диаметром 3,0 мм.

Сварку проводят как в «плазменном», так и в «плазменно-дуговом» режимах. При сварке в «плазменном» режиме потенциометр «MODE II» устанавливается в крайнее левое положение.

При сварке в обоих режимах используется сварочная проволока Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-10ГС, Св-12ГС и др.

При сварке алюминия используются флюсы Ф-34А, ФА-40, АФ-4А и соответствующие присадочные материалы.

В таблицах 33 и 34 приведены технологические параметры при различных режимах сварки.

Пределы напряжения устанавливаются с помощью управления катодом.

Таблица 33 – Сварка в «плазменно-дуговом» режиме

Толщина листа, мм	Положение выключателя		Пределы напряжения, В
	MODE I	MODE II	
2,0...3,0	3	4	140...160
3,0...4,0	3	5	140...160
4,0...5,0	3	6	140...160
5,0...10,0	4	Max	140...160

Таблица 34 – Сварка в «плазменном» режиме

Толщина листа, мм	MODE I	Пределы напряжения, В
До 0,8	1	160...180
0,8...1,2	2	160...180
1,2...2,0	3	160...180
2,0...3,0	4	160...180
3,0...4,0	5	160...180
4,0...6,0	6	160...180

**ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ
ПРИ РАБОТЕ НА ПОРТАТИВНОМ ПЛАЗМОТРОНЕ
«МУЛЬТИПЛАЗ 2500»**

1. При работе в «плазменном» режиме в обязательном порядке применяют защитные очки с темными стеклами, а при работе в «плазменно-дуговом» режиме – маску сварщика.

2. Запрещается использовать аппарат без заземления сетевой розетки.

3. Не включать горелку вблизи легковоспламеняющихся предметов и жидкостей.

4. Не проводить сварку, резку, пайку или нагрев открытым пламенем сосудов и трубопроводов, заполненных горючими или ядовитыми веществами.

5. Не разбирать горелку без выключения блока питания.

6. Не заливать рабочую жидкость во включенную горелку.

7. Не опускать горелку в воду при включенном напряжении.

8. Лицам, не достигшим 18-летнего возраста, запрещается работа с плазмотроном.

9. Запрещается сварка, резка и пайка окрашенных и оцинкованных металлов в непроветриваемых помещениях.

10. Запрещается применение присадочной проволоки без онстрального держателя и без перчаток сварщика.

11. Запрещается эксплуатация плазмотрона в помещениях с металлическим или сырым полом без применения изолирующего коврика для ног.

Контрольные вопросы

1. Назовите сущность плазменной сварки.
2. Как горит плазменная дуга прямого действия?
3. Как горит плазменная дуга косвенного действия?
4. Поясните общее устройство плазмотрона «Мультиплаз-2500».
5. Каков механизм образования плазменного факела?
6. В чем заключается плазменный режим работы плазмотрона «Мультиплаз-2500»?
7. В чем заключается плазменно-дуговой режим работы плазмотрона «Мультиплаз-2500»?
8. Из чего состоит рабочая жидкость плазмотрона при резке металлов?
9. Из чего состоит рабочая жидкость плазмотрона при сварке металлов?
10. Перечислите основные требования к технике безопасности при работе на плазмотроне «Мультиплаз-2500».

ТЕМА 11. ГАЗОВАЯ СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Газовой сваркой называется сварка плавлением, при которой нагрев кромок соединяемых частей и присадочного материала осуществляется теплотой сгорания горючих газов в кислороде.

Газовая сварка классифицируется по виду применяемого горючего газа (ацетилено-кислородная, водородно-кислородная, керосино-кислородная, бензино-кислородная, пропан-бутано-кислородная и др.).

Наибольшее применение получила ацетилено-кислородная газовая сварка.

Сварочный пост (рис. 63), должен быть оснащен следующим оборудованием и приспособлениями:

1. Ацетиленовый генератор или баллон с горючим газом.
2. Кислородный баллон.
3. Редукторы (кислородный и для горючего газа).
4. Сварочная горелка с набором сменных наконечников.
5. Шланг для подачи горючего газа и кислорода в горелку.
6. Сварочный стол.
7. Присадочный материал.

8. Приспособления для сборки свариваемых изделий (струбцины, тиски и т.п.).
9. Комплект инструментов.
10. Очки с защитными стеклами.
11. Спецодежда для сварщика.
12. Противопожарное оборудование.

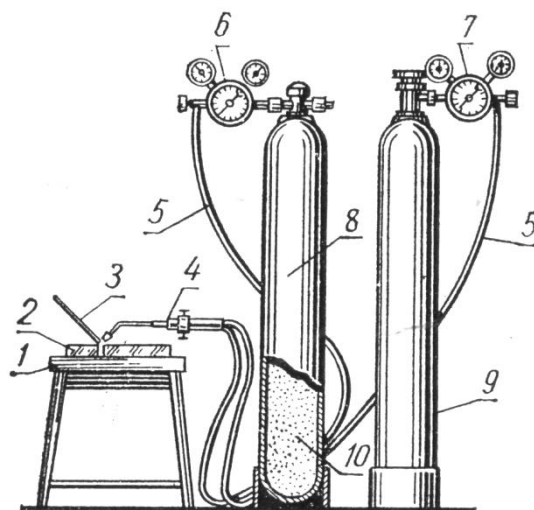


Рисунок 63 – Пост газовой сварки:

1 – стол; 2 – свариваемые детали; 3 – присадочный материал; 4 – горелка; 5 – шланги; 6 – ацетиленовый редуктор; 7 – кислородный редуктор; 8 – ацетиленовый баллон; 9 – кислородный баллон; 10 – пористая масса

В сравнении с электрической, газовая сварка менее производительна, но имеет и свои преимущества. Газовая сварка широко применяется при изготовлении и ремонте изделий из тонколистовой стали (1...3 мм); при монтаже труб малого и среднего диаметра; при сварке изделий из цветных металлов и сплавов; при наплавке твердых сплавов на стальные и чугунные детали.

Востребованность газовой сварки обусловлена рядом причин, главными из которых являются высокая мобильность и автономность, возможность получения сварных соединений практически всех марок сталей, цветных металлов и сплавов, относительная дешевизна газового оборудования.

Как указывалось выше, наиболее широкое применение получила ацетилено-кислородная газовая сварка, так как температура пламени при сжигании ацетилена в кислороде составляет 3150 °С, бензина – 2600 °С, керосина – 2500 °С, водорода – 2100 °С, пропан-бутановой смеси – 2400 °С, природного газа – 2000 °С.

Рассмотрим компоненты ацетилено-кислородного пламени.

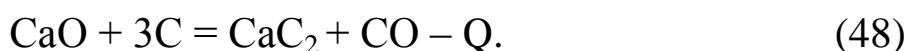
Кислород является самым распространенным в природе химическим элементом, это газ без цвета и запаха, не горит, но активно поддерживает горение. Плотность кислорода при нормальных условиях составляет $1,33 \text{ кг / м}^3$, он немного тяжелее воздуха, плотность которого – $1,29 \text{ кг / м}^3$.

Получают кислород из воздуха, который переводят в жидкое состояние, затем постепенно повышают температуру и при $-195,8 \text{ }^\circ\text{C}$ испаряют азот. Температура кипения (испарения) кислорода на $13 \text{ }^\circ\text{C}$ выше, то есть $-182,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Жидкий кислород очищают, затем с помощью газификаторов или насосов с испарителями превращают в газ, который собирается в газгольдере, откуда его компрессором накачивают в баллоны под давлением до 15 Мпа . Для сварки и резки технический кислород выпускается трех сортов: 1-й – с чистотой не менее $99,7 \%$, 2-й – не менее $95,5 \%$, 3-й – не менее $99,2 \%$ по объему.

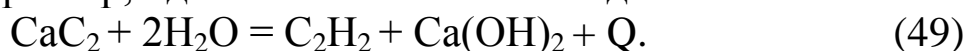
Чистота кислорода имеет большое значение для кислородной резки. Чем чище кислород, тем выше скорость реза, чище кромки и меньше расход кислорода.

Ацетилен получают при взаимодействии карбида кальция с водой. Он представляет собой химическое соединение углерода с водородом (C_2H_2), бесцветный газ с характерным запахом, плотность ацетилена составляет $1,09 \text{ кг / м}^3$. Карбид кальция – это химическое соединение кальция с углеродом. Его получают сплавлением кокса с негашеной известью в электрических дуговых печах при температуре $1900\dots2300 \text{ }^\circ\text{C}$:



Реакция эндотермическая, идет с поглощением тепла. Расплавленный карбид кальция сливают из печи в специальные изложницы, в которых он остывает и затвердевает, после чего его дробят и сортируют по кускам от 2 до 80 мм . Карбид кальция очень активно вступает в реакцию с водой, реагируя даже с парами воды, насыщающими воздух. Поэтому его хранят и транспортируют в герметически закрытых стальных барабанах, содержащих $50\dots130 \text{ кг}$ карбида.

Реакция разложения карбида кальция в воде с образованием газообразного ацетилена и гашеной извести протекает бурно, носит экзотермический характер, идет со значительным выделением тепла:



При разложении 1 кг карбида кальция в зависимости от его сорта и грануляции образуется $230\dots300$ литров ацетилена. Следует отметить, что мелкий и пылеобразный карбид кальция (куски менее 2

мм) запрещается применять в ацетиленовых генераторах, вследствие мгновенного разложения и гарантированного взрыва.

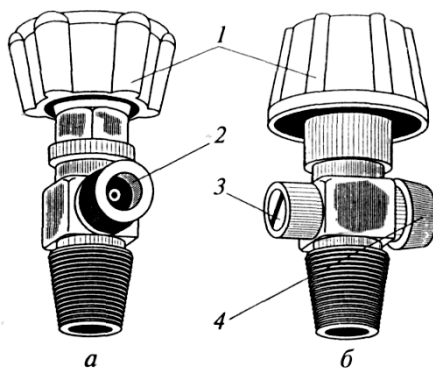
Ацетилен взрывоопасен, он образует взрывоопасные смеси с воздухом и кислородом в широком диапазоне концентраций. Наиболее взрывоопасны смеси, содержащие 7...13 % ацетилена. Взрывоопасность ацетилена понижается при растворении в жидкости. Он очень хорошо растворяется в ацетоне, при нормальных условиях в одном объеме технического ацетона растворяется более 20 объемов ацетилена. Поэтому потребителю ацетилен поставляется в стальных баллонах, заполненной пропитанной ацетоном массой, под давлением 1,9 Мпа.

ГАЗОВЫЕ БАЛЛОНЫ, ВЕНТИЛИ И РЕДУКТОРЫ

Баллоны для газов (горючего и кислорода) изготавливают из стальных бесшовных труб. Они представляют собой цилиндрический сосуд с выпуклым днищем и узкой горловиной. Для придания баллону устойчивости в рабочем (вертикальном) положении на его нижнюю часть напрессован башмак с квадратным основанием. На горловину баллона плотно насажено кольцо с наружной резьбой для навинчивания предохранительного колпака.

Горловина баллона имеет конусное отверстие с резьбой, куда ввертывается вентиль – устройство, позволяющее наполнять баллон газом и регулировать его расход. Для различных газов разработана определенная конструкция запорного вентиля. Различная резьба хвостовика исключает возможность установки на баллон не соответствующего ему вентиля.

Вентиль кислородного баллона изготавливают из латуни, так как она обладает высокой коррозионной стойкостью в среде кислорода. Выпускают вентили двух модификаций (рис. 64).



*Рисунок 64 – Вентили кислородных баллонов:
1 – маховик; 2 – штуцер; 3 – мембрана; 4 – заглушка штуцера;
а – ВК-94; б – ВК-94М*

Вентили типа ВК-94 не имеет разрывной предохранительной мембраны. Вентиль типа ВК-94М – с разрывной мембраной, предохраняющей баллон от разрыва в случае повышения давления до значения более 30 Мпа. Перед работой все детали кислородного вентиля должны быть тщательно обезжирены во избежание самовоспламенения.

Вентиль ацетиленового баллона изготавливают из стали (рис. 65). Применение сплавов меди с ее содержанием более 70 % недопустимо, так как при контакте с ацетиленом возникает взрывоопасная ацетиленистая медь.

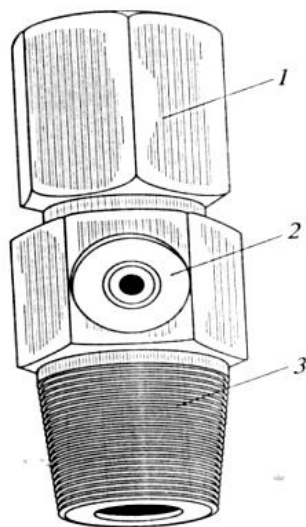


Рисунок 65 – Вентиль ацетиленового баллона:

*1 – штуцер для торцевого ключа; 2 – место присоединения редуктора;
3 – хвостовик с конусной резьбой*

Отличительной особенностью вентиля ацетиленового баллона является отсутствие маховика и штуцера. В корпусе вентиля имеется боковая канавка, в которую устанавливают штуцер ацетиленового редуктора, прижимая его специальным хомутом через кожаную прокладку. Такая конструкция вентиля не допускает случайной установки другого редуктора во избежание образования взрывоопасной смеси. Еще одна отличительная особенность вентиля ацетиленового баллона состоит в том, что его открывание, закрывание и присоединение с его помощью редуктора к баллону осуществляется специальным торцевым ключом.

Вентиль кислородного баллона используется также для баллонов с азотом, аргоном и углекислым газом.

Редукторы служат для понижения высокого давления газа, поступающего из баллона, до рабочего и для поддержания этого давления постоянным в процессе сварки. В практике применяют различные

типы редукторов. Газовые редукторы классифицируются по следующим признакам:

а) по назначению – баллонные, рамповые, сетевые;

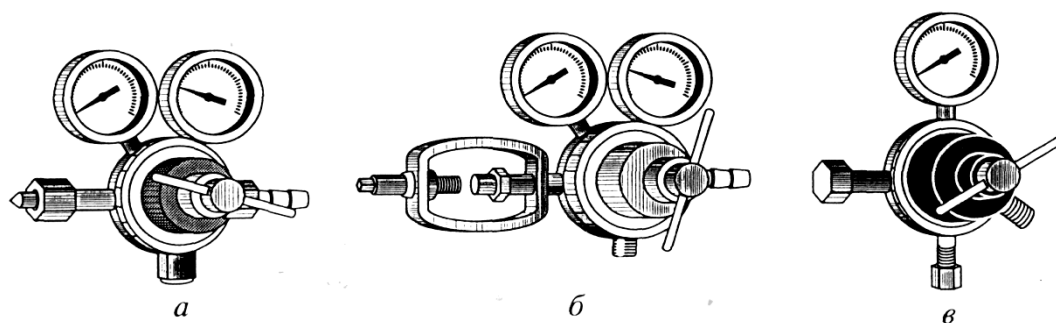
б) по виду редуцируемого газа – ацетиленовые, кислородные, метановые, пропан-бутановые;

в) по схеме регулирования – одно- и двухступенчатые, с пневматическим заданием рабочего давления.

На рисунке 66 показан внешний вид кислородного, ацетиленового и пропанового редукторов.

В эксплуатации более удобны редукторы обратного действия, так как они компактны и просты по конструкции, надежны и безопасны в работе.

Редукторы отличаются друг от друга окраской корпуса (ацетиленовый – белого цвета, кислородный – голубого, пропановый – красного) и присоединительными устройствами для крепления их к баллону. Кислородный и пропановый редукторы присоединяют к баллонам накидными гайками соответственно с правой и левой резьбой. Ацетиленовые редукторы крепят к баллонам хомутом с упорным винтом.



*Рисунок 66 – Газовые редукторы:
а – кислородный; б – ацетиленовый; в – пропановый*

На рисунке 67 представлена схема одноступенчатого редуктора обратного действия.

Газ из баллона через штуцер проходит в камеру высокого давления 1 корпуса 10. В нерабочем положении редуктора проход газа из камеры высокого давления 1 в камеру низкого давления 4 закрыт клапаном 2, прижатом к седлу 3. При ввертывании регулировочного винта 9 в крышку 7 корпуса нажимная пружина 8 сжимается и перемещает вверх резиновую мембрану 6 вместе с передаточным штифтом 5. Штифт открывает клапан 2, соединяя тем самым камеру высокого давления с камерой низкого давления. Газ поступает в камеру 4

до тех пор, пока давление его на мембрану не уравнивает силу нажимной пружины. В этом положении расход и поступление газа будут равны. Если расход газа уменьшается, то давление в камере 4 повышается. Давление газа отожмет мембрану вниз и сожмет нажимную пружину 8. Клапан 2 закроет отверстие седла, и поступление газа в камеру 4 прекратится. При увеличении расхода газа давление в камере 4 понижается, мембрана отжимает клапан от седла и тем самым увеличивается поступление газа из баллона. Таким образом, автоматически поддерживается постоянное давление газа, подаваемого в горелку.

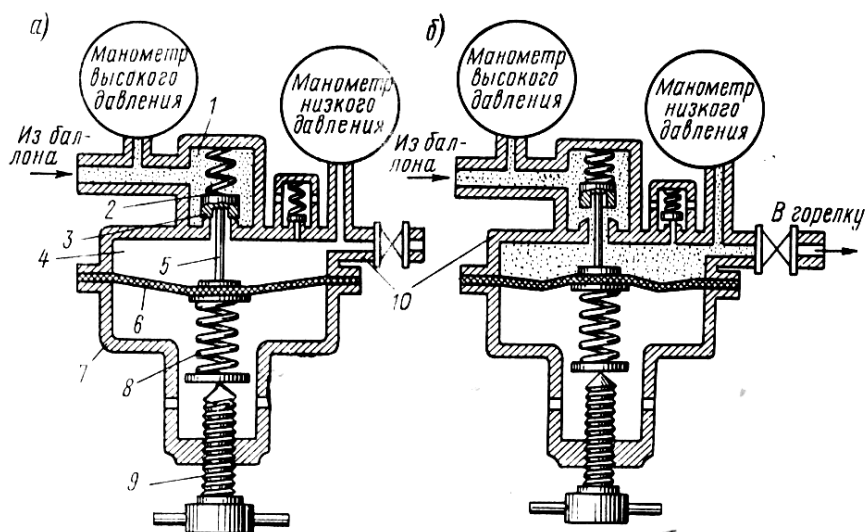


Рисунок 67 – Одноступенчатый кислородный редуктор обратного действия

ВИДЫ ГАЗОВОГО ПЛАМЕНИ

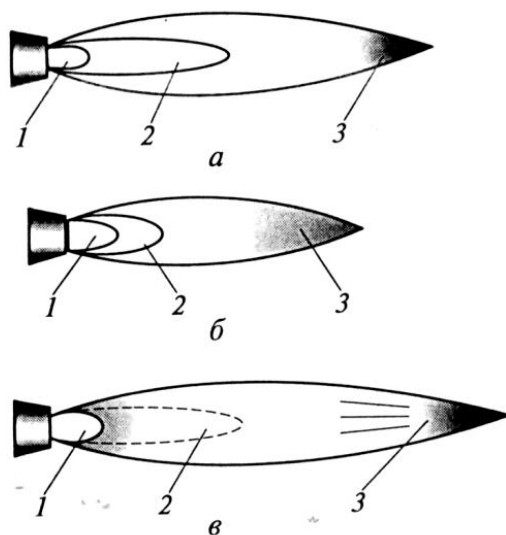
Основным инструментом газосварщика является сварочное пламя. Оно образуется при сгорании горючего газа в кислороде. От соотношения объемов кислорода и горючего газа зависит внешний вид, температура и характер влияния сварочного пламени на расплавленный металл.

Сварочное пламя имеет три ярко различимые области: ядро, восстановительная зона, факел (рис. 68).

В первой зоне происходит экзотермический процесс распада ацетилена на составные части. Ядро представляет собой газовую смесь ($2C + H_2 + O_2$) сильно нагретого кислорода и диссоциированного ацетилена, выделяется резким очертанием и ярким свечением. Форма ядра напоминает форму цилиндра с плавным закруглением на конце. Размеры ядра зависят от состава и расхода смеси и скорости

истечения. Диаметр мундштука горелки определяет диаметр ядра пламени, а скорость истечения газовой смеси – длину. В зависимости от длины ядра сварочное пламя может быть «мягким» или «жестким». Мягкое пламя склонно к обратным ударам и хлопкам, жесткое способно выдувать расплавленный металл из сварочной ванны. Горение начинается на внешней оболочке ядра и продолжается во второй зоне.

Во второй зоне происходит первая стадия сгорания продуктов распада ацетилена за счет кислорода, поступающего из баллона. Углерод сгорает не полностью, а водород в этой зоне не окисляется. Вторая зона заметно отличается от ядра по своему внешнему более темному цвету, состоит она из оксида углерода и водорода. Эта зона имеет наивысшую температуру и называется восстановительной, так как CO и H_2 раскисляют расплавленный металл, отжимая кислород от его окислов.



*Рисунок 68 – Виды сварочного пламени:
а – нормальное; б – окислительное; в – науглероживающее;
1 – ядро; 2 – восстановительная зона; 3 – факел*

Третья зона – факел располагается за восстановительной зоной и состоит из углекислого газа и паров воды, которые образуются в результате сгорания оксида углерода и водорода, поступающих из второй зоны, за счет кислорода воздуха.

В зависимости от соотношения объемов кислорода и ацетилена, поступающих в горелку, различают три вида сварочного пламени: нормальное, окислительное и науглероживающее (рис. 68).

Нормальное сварочное пламя образуется, когда в горелке на один объем кислорода приходится один объем ацетилена. В нормальном пламени ярко выражены все три зоны. Ядро имеет резко очерченную форму, близкую к цилиндру, с ярко светящейся оболочкой. Температура ядра достигает 1000 °С.

В восстановительной зоне, содержащей продукты неполного сгорания ацетилена, проводят сварку. Температура этой зоны в точке, отстоящей на 3...6 мм от ядра, составляет 3150 °С. Факел имеет температуру 1200...2500 °С.

Нормальным сварочным пламенем осуществляют сварку сталей всех марок меди, бронзы и алюминия.

Окислительное сварочное пламя получают при избытке кислорода, когда в горелку подают на один объем ацетилена более 1,3 объема кислорода. Ядро такого пламени имеет укороченную, конусообразную форму. Оно приобретает менее резкие очертания и более бледную окраску, чем у нормального пламени. Протяженность восстановительной зоны уменьшается по сравнению с нормальным пламенем. Факел имеет синевато-фиолетовую окраску. Горение сопровождается шумом, уровень которого зависит от давления кислорода. Температура окислительного пламени выше, чем у нормального, однако при сварке таким пламенем из-за избытка кислорода образуются пористые и хрупкие швы.

Окислительное пламя применяют при сварке латуни и пайке твердыми припоями.

Науглероживающее сварочное пламя получают при избытке ацетилена, когда в горелке на один объем ацетилена приходится не более 0,95 объема кислорода. Ядро такого пламени теряет резкость очертаний, на его конце появляется зеленый венчик, по наличию которого судят об избытке ацетилена. Восстановительная зона существенно светлее, чем у нормального пламени, и почти сливается с ядром. Факел приобретает желтую окраску. При значительном избытке ацетилена пламя коптит. Температура науглероживающего пламени ниже, чем у нормального и окислительного.

Слегка науглероживающим пламенем сваривают чугуны и осуществляют наплавку твердых сплавов.

При осуществлении газовой сварки (рис. 69) кромки свариваемого изделия расплавляются в высокотемпературной восстановительной зоне сварочного пламени.

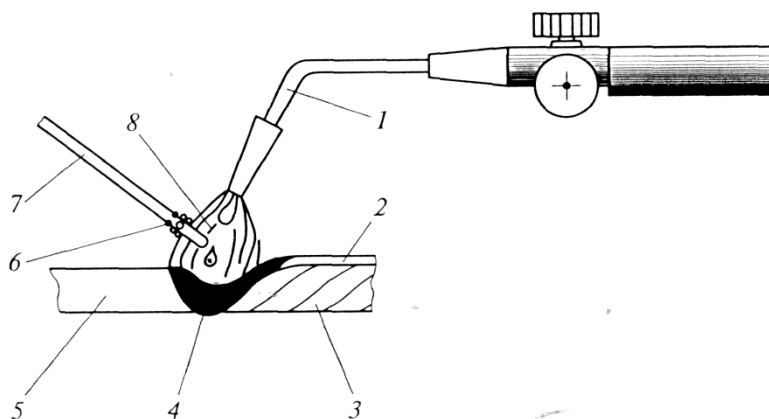


Рисунок 69 – Схема процесса газовой сварки:

1 – горелка; 2 – шлак; 3 – сварной шов; 4 – сварочная ванна; 5 – свариваемое изделие; 6 – флюс; 7 – присадочный пруток; 8 – газовое пламя

Сварочная ванна формируется из расплавленного металла кромок, соединяемых частей и металла присадочной проволоки.

При газовой сварке происходят разнообразные процессы: физические, связанные с нагревом и расплавлением металла, формированием шва, а также химические, обусловленные горением, взаимодействием флюса и присадочного материала с расплавленным основным металлом.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность газовой сварки?
2. Назовите три зоны газового пламени.
3. Какова классификация видов газовой сварки?
4. Назовите наиболее распространенный вид газовой сварки.
5. Что происходит в первой зоне газового пламени, и как называется эта зона?
6. Назовите продукты сгорания ацетилена во второй зоне газового пламени.
7. Назовите продукты сгорания ацетилена в третьей зоне газового пламени.
8. Каково основное назначение газовых редукторов?
9. Из какого материала изготавливают вентили кислородного и ацетиленового баллонов?
10. Какое максимальное давление кислорода и ацетилена в полностью заправленных баллонах?

11. Какие виды газовых горелок нашли наибольшее применение, их конструктивное отличие?
12. Конструктивное отличие газового резака от горелки.
13. Назовите основные способы газовой сварки.
14. Как определяется диаметр присадочной проволоки?

ТЕМА 12. ПАЙКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПАЙКИ. ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ

Пайкой называется процесс соединения изделий в твердом состоянии за счет расплавленного металла (припоя), который при кристаллизации образует паяный шов.

Процесс пайки применяется для получения отдельных деталей, либо для сборки узлов или окончательной сборки изделий.

Пайка широко применяется в разных отраслях промышленности, а в ряде случаев является единственно возможным методом соединения деталей. При ремонте тракторов, комбайнов и автомобилей пайка широко применяется для восстановления деталей систем охлаждения и питания двигателей, системы зажигания.

По прочности паяные соединения уступают сварным. Паять можно углеродистые и легированные стали всех марок, твердые сплавы, цветные металлы, серые и ковкие чугуны.

В процессе пайки происходит взаимное растворение и диффузия припоя и основного металла, чем обеспечивается прочность, герметичность, электропроводность паяного соединения. При пайке не происходит расплавления основного металла спаиваемых деталей, благодаря чему снижается степень коробления и окисления металла.

Технологический процесс пайки изделия состоит из ряда операций и переходов, посредством которых в определенном порядке он может быть осуществлен. Определяющей при этом является операция пайки. Подготовительные операции процесса обеспечивают проведение этой определяющей операции. Финишные операции процесса обеспечивают требуемые геометрические, механические и конструктивные характеристики паяных соединений и изделий.

Для обеспечения физического контакта паяемого материала с жидким припоем необходима прежде всего операция подготовки по-

верхностных слоев перед пайкой: предварительное удаление жиров, масел, грязи, окалины и оксидных пленок.

Неметаллические пленки можно удалять механическим и онстческим путем травления деталей перед пайкой в специальных растворах. После травления необходима нейтрализация остатков травления и сушка.

Составы травильных растворов и режим травления зависят от состава паяемого металла и припоя.

Обезжиривание поверхностных слоев производят погружением деталей в водные растворы щелочей с последующей промывкой водой и сушкой. Стальные детали обезжиривают 10 %-ным раствором едкого натра при 70...80 °С. Детали из меди и ее сплавов обезжиривают водным раствором тринатрийфосфата, кальцинированной соды и жидкого стекла. Для обезжиривания возможно применение спирта, ацетона или бензина.

Для ускорения процесса обработки в щелочных растворах применяют электрохимическое обезжиривание. Процесс ведут на постоянном токе и различают по способу электродного подключения обрабатываемого изделия – анодное или катодное обезжиривание.

Окисные пленки удаляют механическим или химическим способами: обрабатывают напильником, шлифованной бумагой, онстрческой щеткой, проводят металлопескоструйную и дробеструйную обработку и др. Для металлического удаления используют травление в растворах соляной или серной кислоты, нейтрализацию остатков травления, сушку.

Кроме подготовки поверхностных слоев перед пайкой, технологический процесс включает такие операции, как сборка, пайка, обработка после пайки, контроль качества соединения, фиксация для устранения возможности их смещения при нагреве. Большое значение имеет величина зазора между соединяемыми кромками.

По характеру затекания припоя в зазор различают *капиллярную* (ширина зазора $< 0,5$ мм) и *некапиллярную* (ширина зазора ≥ 5 мм) пайку. При капиллярной пайке припой заполняет зазор самопроизвольно под действием капиллярных сил. При некапиллярной пайке заполнение припоем зазора происходит под действием гравитации отрицательного давления (откачка воздуха из зазора), магнитных, электромагнитных и других внешне приложенных сил.

По механизму образования шва капиллярная пайка онструируется на пайку с готовым припоем, диффузионную, контактно-реактивную и контактно-флюсовую.

При капиллярной пайке припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями и удерживается в нем за счет капиллярных сил (рис. 70). Соединение образуется за счет растворения основы в жидком припое и последующей кристаллизации раствора.

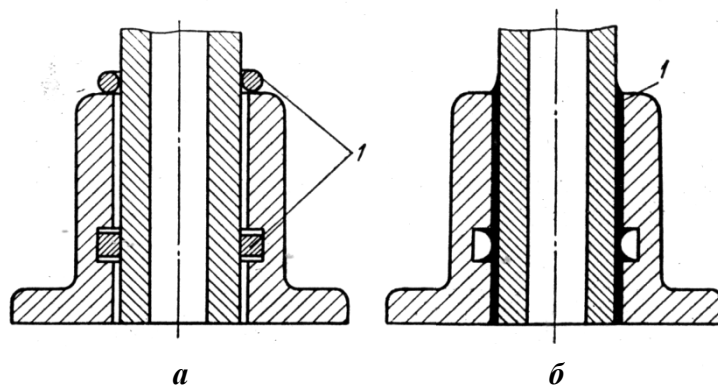


Рисунок 70 – Схема капиллярной пайки:
а – перед пайкой; б – после пайки; 1 – припой

При *диффузионной* пайке соединение образуется за счет взаимной диффузии компонентов припоя и паяемых материалов, причем возможно образование в шве твердого раствора или тугоплавких хрупких интерметаллидов. Для диффузионной пайки необходима продолжительная выдержка при температуре образования паяного шва и после завершения процесса – при температуре ниже солидуса припоя.

При *контактно-реактивной* пайке между соединяемыми металлами или соединяемыми металлами и прослойкой промежуточного металла в результате контактного плавления образуется сплав, который заполняет зазор и при кристаллизации образует паяное соединение (рис. 71).

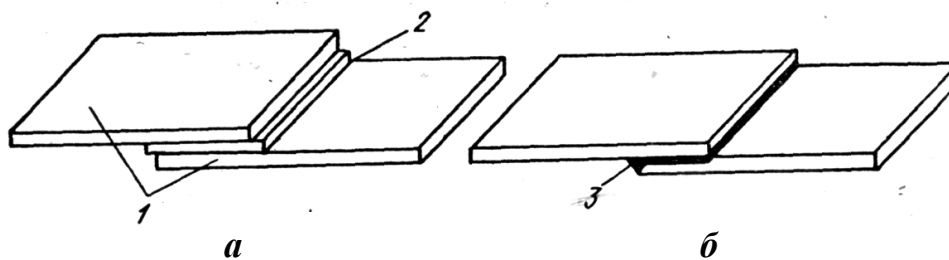


Рисунок 71 – Схема контактно-реактивной пайки:
а – перед пайкой; б – после пайки; 1 – медь; 2 – серебро;
3 – эвтектический сплав меди с серебром

При *реактивно-флюсовой* пайке припой образуется за счет реакции вытеснения между основным металлом и флюсом. Например, при пайке алюминия с флюсом $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$ восстановленный цинк служит припоем. Реактивно-флюсовую пайку можно вести без припоя и с припоем.

При *пайке-сварке* соединение образуется так же, как при сварке плавлением, но в качестве присадочного металла применяют припой.

При *сварке-пайке* соединяют разнородные материалы с применением местного нагрева, при котором более легкоплавкий материал нагревается до температуры плавления и выполняет роль припоя.

Наибольшее применение получили капиллярная пайка и пайка-сварка. Диффузионная и контактно-реактивная пайки более трудоемки, но обеспечивают высокое качество соединения.

Качество паяных соединений (прочность, герметичность, надежность и др.) зависит от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, величины зазоров, типа соединения.

ПРИПОИ И ФЛЮСЫ

Припой – промежуточный металл при пайке. Качество, прочность и эксплуатационная надежность паяного соединения в первую очередь зависят от припоя. Не все металлы и сплавы могут выполнять его роль.

Припои должны обладать следующими свойствами: иметь температуру плавления ниже температуры плавления паяемых материалов; в расплавленном состоянии (в присутствии защитной среды, флюса или в вакууме) хорошо смачивать паяемый материал и легко растекаться по его поверхности; обеспечивать прочность, пластичность и герметичность паяного соединения; в паре с паяемыми материалами не образовывать коррозионно-неустойчивой среды; иметь коэффициент термического расширения, близкий к коэффициенту термического расширения паяемого изделия; состоять из материалов, не являющихся дефицитными и чрезмерно дорогими.

Припои представляют собой сплавы цветных металлов сложного состава. Все припои по температуре плавления подразделяют на особолегкоплавкие (температура плавления $< 145\text{ }^\circ\text{C}$), легкоплавкие (температура плавления $145\text{...}450\text{ }^\circ\text{C}$), среднеплавкие (температура плавления $450\text{...}1100\text{ }^\circ\text{C}$) и тугоплавкие (температура плавления $> 1050\text{ }^\circ\text{C}$). К особолегкоплавким и легкоплавким припоям относятся

оловянно-свинцовые, на основе висмута, индия, кадмия, цинка, олова, свинца. К среднеплавким и высокоплавким припоям относятся медные, медно-цинковые, медно-никелевые, с благородными металлами (серебром, золотом, платиной). Припои изготавливают в виде прутков, проволок, листов, полос, спиралей, дисков, колец, зерен и т. д., укладываемых в место соединения.

Изделия из алюминия и его сплавов паяют с припоями на алюминиевой основе с кремнием, медью, оловом и другими металлами. Магний и его сплавы паяют припоями на основе магния с добавками алюминия, меди, марганца и цинка. Изделия из коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов, работающих при высоких температурах (выше 500 °С), паяют тугоплавкими припоями на основе железа, марганца, никеля, кобальта, титана, циркония, гафния, ниобия и палладия.

Флюсы паяльные применяют для очистки поверхности паяемого металла, а также для снижения поверхностного натяжения и улучшения растекания и смачиваемости жидкого припоя. Флюс (кроме реактивно-флюсовой пайки) не должен химически взаимодействовать с припоем. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя. Флюс в расплавленном и газообразном состоянии должен способствовать смачиванию поверхности основного металла расплавленным припоем. Флюсы могут быть твердые, пастообразные и жидкие. Для пайки наиболее применимы флюсы: бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ и борная кислота H_2BO_3 , хлористый цинк ZnCl_2 , фтористый калий KF и др.

Различают флюсы для мягких и твердых припоев, а также для пайки алюминиевых сплавов, нержавеющей сталей и чугуна.

Флюсы для мягких припоев – хлористый цинк, нашатырь, канифоль.

Флюсы для твердых припоев – бура, борная кислота.

Для паяния алюминия и его сплавов широко используется флюс марки 34А, состоящий из 10 % фтористого натрия, 8 % хлористого цинка, 32 % хлористого лития и 50 % хлористого калия.

Для пайки нержавеющей сталей часто используют пастообразную смесь буры и борной кислоты (поровну), замешанную в насыщенном растворе хлористого цинка. Применяют также флюс 200, состоящий из 70 % борной кислоты, 21 % буры и 9 % фтористого калия. Флюс пригоден для паяния конструкционных и нержавеющей сталей, а также жаропрочных сплавов латунию и твердыми сплавами.

Флюсом для пайки чугуна (серого или ковкого) служит бура (60 %) с добавкой хлористого цинка (38 %) и марганцовокислого калия (2 %). Во флюс, кроме того, входит перекись марганца или хлорат калия, способствующие выгоранию графита с поверхности металла и тем самым обеспечивающие получение чистой, хорошо смачиваемой припоем поверхности.

Для паяния свинцовых сплавов флюсом может служить стеарин.

СПОСОБЫ ПАЙКИ

Способы пайки классифицируют в зависимости от используемых источников нагрева. Наиболее распространены в промышленности пайка в печах, индукционная, погружением, газопламенная и паяльниками.

При *пайке в печах* соединяемые заготовки нагревают в конвекционных печах: электросопротивления, с индукционным нагревом, газопламенных и газовых. Припой заранее закладывают в шов собранного узла, на место пайки наносят флюс и затем изделие помещают в печь, где его нагревают до температуры пайки. Припой расплавляется и заполняет зазоры между соединяемыми заготовками. Процесс пайки продолжается несколько часов. Этот способ обеспечивает равномерный нагрев соединяемых деталей без заметной их деформации.

При *индукционной пайке* паяемый участок нагревают в индукторе. Через индуктор пропускают ток высокой частоты, в результате чего место пайки нагревается до необходимой температуры. Для предохранения от окисления изделие нагревают в вакууме или в защитной среде с применением флюсов. Индуктор выполнен в виде петли или спирали из красной меди. Формы и размеры индуктора зависят от конструкции паяемого изделия.

Пайку погружением выполняют в ваннах с расплавленными солями или припоями. Соляная смесь обычно состоит из 55 % KCl и 45 % HCl. Температура ванны 700...800 °С. На паяемую поверхность, предварительно очищенную от грязи и жира, наносят флюс, между кромками или около места соединения размещают припой, затем детали скрепляют и погружают в ванну. Соляная ванна предохраняет место пайки от окисления. Перед погружением в ванну с расплавленным припоем покрытые флюсом детали нагревают до температуры

550 °С. Поверхности, не подлежащие пайке, предохраняют от контакта с припоем специальной обмазкой из графита с добавками небольшого количества извести. Пайку погружением в расплавленный припой используют для стальных, медных и алюминиевых сплавов, деталей сложных геометрических форм. На этот процесс расходуется большое количество припоя.

При *газопламенной пайке* заготовки нагревают, и припой расплавляют газосварочными, плазменными горелками и паяльными лампами. При пайке газосварочными горелками в качестве горючих газов используют ацетилен, природные газы, водород, пары керосина и т. п. При использовании газового пламени припой можно заранее помещать у места пайки или вводить в процессе пайки вручную. На место пайки предварительно наносят флюс в виде жидкой пасты, разведенной водой или спиртом, конец прутка припоя также покрывают флюсом.

Плазменной горелкой, обеспечивающей более высокую температуру нагрева, паяют тугоплавкие металлы – вольфрам, тантал, молибден, ниобий и т. п.

При *пайке паяльниками* основной металл нагревают, и припой расплавляют за счет теплоты, аккумулированной в массе металла паяльника, который перед пайкой или в процессе ее подогревают. Для низкотемпературной пайки применяют паяльники с периодическим нагревом, с непрерывным нагревом и ультразвуковые. Рабочую часть паяльника выполняют из красной меди. Паяльник с периодическим нагревом в процессе работы периодически подогревают от постороннего источника теплоты. Паяльники с постоянным нагревом делают электрическими. Паяльники с периодическим и непрерывным нагревом чаще используют для флюсовой пайки черных и цветных металлов легкоплавкими припоями с температурой плавления ниже 300...350 °С.

Ультразвуковые паяльники применяют для бесфлюсовой пайки на воздухе и для пайки алюминия. Окисные пленки разрушаются за счет колебаний ультразвуковой частоты.

Подготовка паяльника заключается в затачивании его под углом 30...40° и очищении от следов окалина. Для осуществления пайки обухок паяльника нагревают до 250...300 °С (при пайке мелких деталей) и до 340...400 °С (при пайке крупных). Затем рабочий конец (обухок) паяльника погружают во флюс, залуживают припоем и ра-

зогревают подготовленные к пайке детали в местах соединения. Одновременно на шов наносят припой, который расплавляют паяльником и вводят в зазор, где он, охлаждаясь, образует шов. Прочность соединения 50...70 кгс / см². Следят, чтобы паяльник не перегревался, так как перегрев выше 400 °С повышает окалинообразование и затрудняет лужение наконечника.

При пайке твердыми припоями заранее подготовленные к пайке и обработанные флюсом части изделий нагревают вместе с припоем до температуры его плавления. В качестве флюсов применяют буру, соль борной кислоты, фтористый калий и др.

ЛУЖЕНИЕ

Лужением называется покрытие поверхностей металлических изделий тонким слоем металла или сплава, соответствующего назначению изделия (олово, сплав олова со свинцом и др.) Наносимый слой называется *полудой*.

Лужение, как правило, применяется при подготовке деталей к паянию, а также для предохранения изделий от коррозии (например, изделия для приготовления и хранения пищи).

Лужение осуществляется двумя способами: погружением в расплавленную полуду (небольшие изделия) и растиранием (большие изделия).

Лужение погружением выполняется в чистой металлической посуде, куда закладывают и расплавляют полуду, насыпая на поверхность маленькие кусочки древесного угля для предохранения от окисления. Медленно погрузив в расплавленную полуду, изделие держат в ней до прогрева, затем вынимают, быстро встряхивая. Излишки полуды снимают, протирая паклей, обсыпанной порошкообразным нашатырем. Затем изделие промывают в воде и сушат в древесных опилках.

Лужение растиранием выполняют, предварительно нанеся на очищенное место волосной щеткой или паклей хлористый цинк. Затем равномерно нагревают поверхность изделия до температуры плавления полуды, которая наносится от прутка. Обсыпав паклю порошкообразным нашатырем, растирают нагретую поверхность так, чтобы на ней полуда распределялась равномерно. По окончании лужения изделие промывают.

Контрольные вопросы

1. Что такое пайка?
2. В каких случаях применяется пайка металлов и сплавов?
3. Назовите способы пайки.
4. Какие материалы подвергаются пайке?
5. Назовите подготовительные операции пайки.
6. В чем отличие капиллярной от некапиллярной пайки?
7. Какими свойствами должны обладать припой?
8. Какими припоями паяют изделия из цветных металлов и их сплавов, железоуглеродистых сплавов?
9. Для чего при пайке применяют флюсы?
10. Назовите флюсы для мягких и твердых припоев.
11. Какие флюсы применяют при пайке нержавеющей сталей, чугунов, алюминиевых и свинцовых сплавов?
12. В каких случаях используют пайку паяльниками?
13. Когда применяют газопламенную пайку?
14. Что такое лужение металлических изделий?
15. Назовите способы лужения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Цель работы: изучить оборудование и оснастку для электрической дуговой сварки, ознакомиться с основами технологии расчета основных параметров режима сварки, приобрести навыки определения качества сварного шва.

Приборы, материалы и инструменты:

1. Сварочный пост с принудительной вентиляцией.
2. Сварочный трансформатор ТДМ-317.
3. Электродвигатель.
4. Сварочный кабель.
5. Защитный щиток.
6. Образцы сварных соединений.
7. Лупа.

ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Ознакомиться с имеющимся на кафедре оборудованием электрической дуговой сварки.
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Визуально или с помощью лупы определить качество выданных образцов сварных соединений, описать обнаруженные дефекты.
4. Получить у преподавателя индивидуальное задание (см. табл. 37) и выполнить расчеты по определению диаметра электрода и силы сварочного тока для конкретных условий сварки.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном (общем) нагреве или пластическом деформировании или совместном действии того и другого.

В зависимости от вида энергии, применяемой при сварке, различают три класса сварки: термический, термомеханический и механический. Наибольшее распространение в машиностроении и ремонтном производстве получили термический и термомеханический онсты сварок.

К термическому классу относятся виды сварки, осуществляемые плавлением с использованием тепловой энергии электрической дуги, газового пламени, лучевых источников энергии и др.

К термомеханическому классу сварки относятся виды сварки, при которых используются тепловая энергия и давление: контактная, диффузионная, газопрессовая и др.

К механическому классу относятся виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии: сварка давлением, взрывом, трением, ультразвуковая сварка и др.

Образование сварного соединения сопровождается сложными химическими и физическими процессами. При нагреве в металле происходят структурные и фазовые превращения: растворение вторичных фаз, полиморфные превращения (переход низкотемпературной модификации в высокотемпературную), плавление.

При охлаждении структурные и фазовые превращения идут в обратном порядке: кристаллизация, полиморфные превращения, выпадение вторичных фаз (карбидов и др.). Кроме названных превра-

щений, в металле в низкотемпературной области при сварке происходят структурные изменения, вызывающие разупрочнение основного металла, например, рекристаллизация и др.

Сварное соединение при сварке плавлением (рис. 72, а) включает в себя сварной шов 1, то есть участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации сварочной ванны; зону оплавления 2, где находятся частично оплавленные зерна на границе шва и основного металла; зону термического влияния 3, то есть участок металла, структура и свойства которого изменились в результате нагрева; основной металл 4, не изменивший свойств при сварке.

Соединение, выполненное сваркой давлением (рис. 72, б), сварного шва не имеет и состоит из зоны соединения 2, где образовались межатомные связи свариваемых частей, зоны термомеханического влияния 3, основного металла 4.

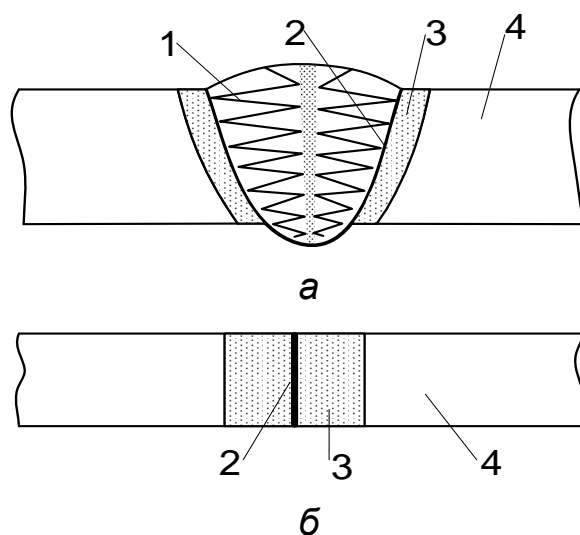


Рисунок 72 – Схема сварного соединения:

а – при сварке плавлением; б – при сварке давлением; 1 – сварной шов; 2 – зона оплавления (сцепления); 3 – зона термического (термомеханического) влияния; 4 – основной металл

Сварные соединения могут быть стыковыми, угловыми, нахлесточными и тавровыми (рис. 73).

При сварке внахлестку свариваемые элементы и изделия накладываются друг на друга с перекрытием, равным 3...5 толщинам пластин. При этом не требуется подготовка кромок. Угловые и тавровые соединения также не всегда требуют подготовки кромок. При стыковой сварке характер подготовки кромок зависит от толщины свариваемых элементов (рис. 74).

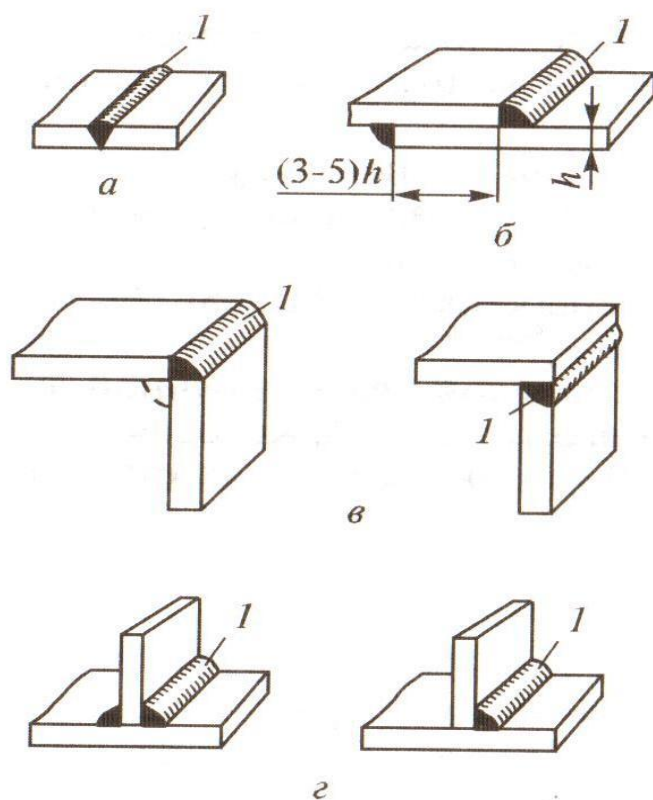


Рисунок 73 – Виды сварных соединений:
а – стыковое; *б* – внахлестку; *в* – угловое; *г* – тавровое; *1* – сварной шов

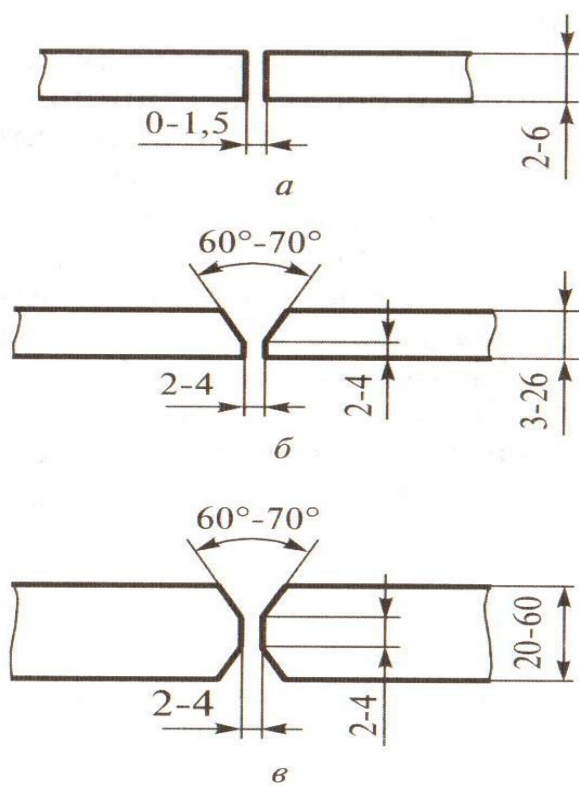


Рисунок 74 – Способы подготовки кромок для стыковых соединений
 при дуговой электросварке:
а – без скоса кромок; *б* – кромки V-образные; *в* – кромки X-образные

Участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации металла сварочной ванны, называется сварным швом.

Сварные швы классифицируются по следующим признакам:

1. По виду сварного соединения – стыковые, при сварке стыкового соединения, и угловые, при сварке углового, таврового и нахлесточного соединений.

2. По положению в пространстве – нижние, вертикальные, горизонтальные в вертикальной плоскости, потолочные.

3. В зависимости от протяженности – короткие (250...300 мм), средние (350...1000 мм) и длинные (более 1000 мм).

4. По форме наружной поверхности – плоские (нормальные), выпуклые (усиленные) и вогнутые (ослабленные).

5. По методу заполнения сечения шва – однопроходные (однослойные), многослойные и многопроходные.

Кроме того, швы могут быть непрерывными, прерывистыми, односторонними и двухсторонними.

В процессе образования сварного соединения в металле шва и зоне термического влияния могут возникать дефекты, то есть отклонения от установленных норм и требований, приводящие к снижению прочности, эксплуатационной надежности, а также ухудшению внешнего вида изделия. Дефекты сварных соединений различают по причинам возникновения и месту их расположения (рис. 75).

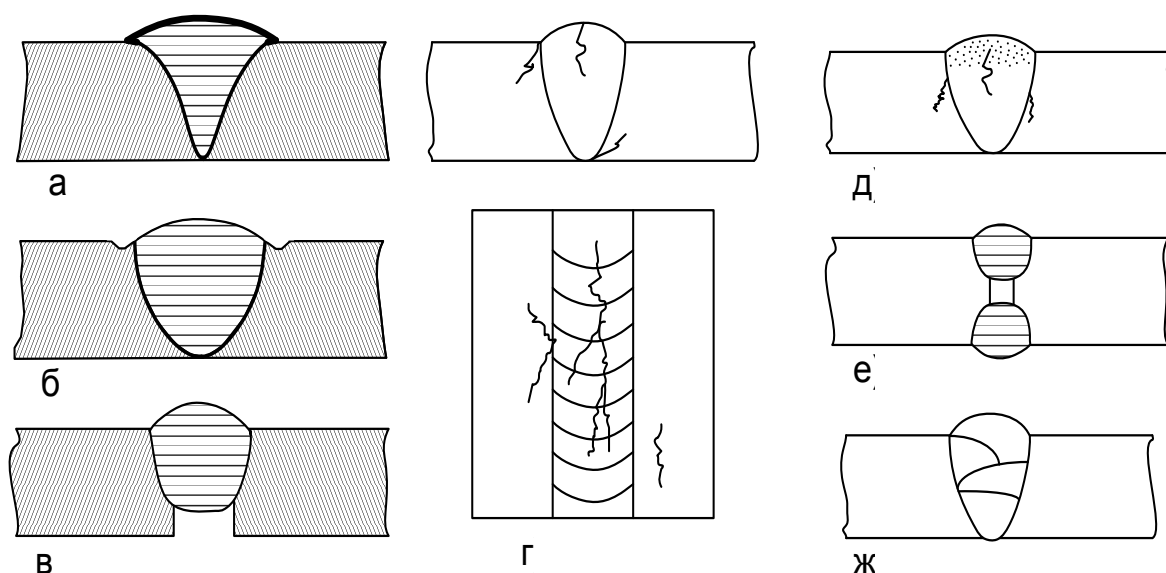


Рисунок 75 – Виды дефектов сварных соединений:

*а – наплыв; б – подрез; в – непровар; г – наружные трещины, поры;
д – внутренние трещины и поры; е – внутренний непровар;
ж – шлаковые отложения*

Методы контроля сварных швов делят на разрушающие и неразрушающие.

К разрушающим методам контроля относятся: механические испытания, металлографические исследования, специальные испытания с целью получения характеристик сварных соединений.

К неразрушающим методам относятся: внешний осмотр; магнитный, электромагнитный, люминесцентный – для обнаружения поверхностных дефектов; радиационный, ультразвуковой, магнитографический – для обнаружения скрытых и внутренних дефектов; контроль на непроницаемость гидравлическим испытанием, сжатым воздухом, вакуумированием и др.

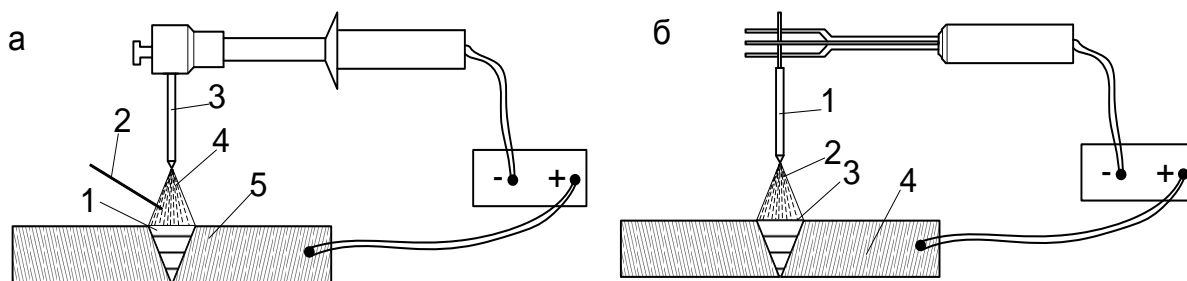
Контроль внешним осмотром подвергаются все сварочные конструкции. Внешний осмотр производят невооруженным глазом или лупой. Размеры швов и дефектов определяют измерительным инструментом, шаблонами.

Классификация и сущность дуговой сварки

Дуговой сваркой называется сварка плавлением, при которой нагрев свариваемых кромок осуществляется теплотой электрической дуги.

Наиболее распространенными видами дуговой сварки, применяемыми в сельскохозяйственном ремонтном производстве, являются: ручная, под слоем флюса, в среде защитных газов.

Ручная дуговая сварка может выполняться двумя способами: неплавящимся электродом (рис. 76, а – метод Бенардоса Н.Н.) и плавящимся электродом (рис. 76, б – метод Славянова Н.Г.).



*Рисунок 76 – Схема электрической дуговой сварки:
а – метод Бенардоса Н.Н.; б – метод Славянова Н.Г.*

В первом случае сварочная дуга 4 возбуждается между угольным или графитовым электродом 3 и изделием 5. Сварочная ванна 1

формируется за счет расплавленных кромок изделия и присадочного материала 2. Этот способ используется в основном при сварке цветных металлов и сплавов, а также при наплавке твердых сплавов.

Второй способ является более распространенным. Дуга 2 возбуждается между плавящимся электродом 1 и изделием 4. Сварочная ванна 3 формируется из электродного металла и расплавленных кромок изделия.

Автоматическая сварка под флюсом (рис. 77) – это дуговая сварка, в которой механизированы основные движения (показаны стрелками), выполняемые сварщиком при ручной сварке – подача электрода 1 в зону дуги 6 и перемещение его вдоль свариваемых кромок изделия 5.

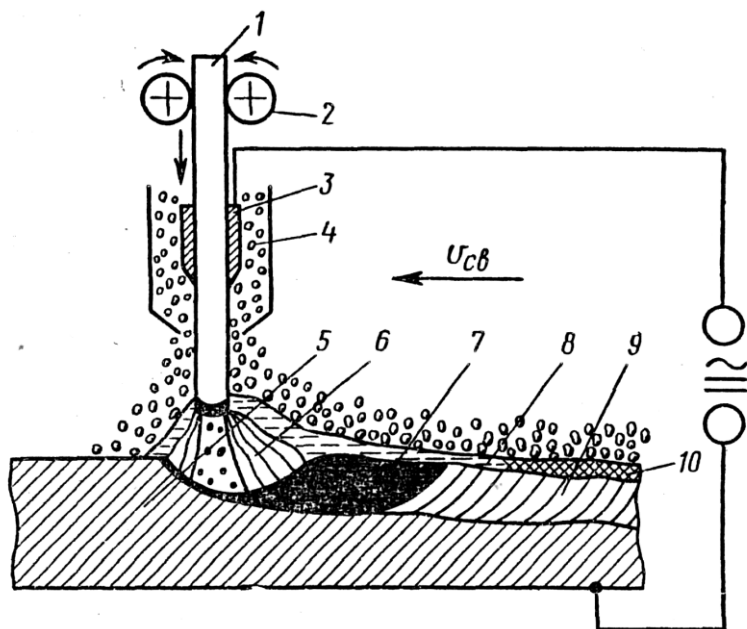


Рисунок 77 – Схема автоматической сварки под флюсом:

- 1 – электродная проволока; 2 – механизм подачи проволоки; 3 – токопровод;*
- 4 – флюс; 5 – свариваемое изделие; 6 – сварочная дуга; 7 – сварочная ванна;*
- 8 – шлаковая ванна; 9 – сварной шов; 10 – шлаковая корка*

При полуавтоматической сварке механизирована подача электрода в зону дуги, а перемещение его вдоль шва производится вручную.

Сварочная дуга возбуждается и горит между концом голой (без покрытия) электродной проволоки 1 и изделием 5 под слоем гранулированного флюса 4 толщиной 30...50 мм. Проволока подается в зону сварки с помощью механизма подачи 2, ток к электроду подается через токопровод 3. Сварочная ванна 7 состоит из металла распла-

ленных кромок свариваемого изделия и металла электродной проволоки. Сварочная дуга 6 и сварочная ванна 7 изолированы от окружающей среды слоем флюса, который, расплавляясь, образует жидкую шлаковую ванну 8. После перемещения сварочной дуги происходит формирование сварного шва 9 вследствие кристаллизации металла сварочной ванны. Температура плавления флюса ниже температуры плавления металла, поэтому шлаковая ванна затвердевает позже, замедляя охлаждение металла шва и образуя легкоудаляемую шлаковую корку 10. Медленное охлаждение сварочной ванны способствует выходу на поверхность металла всех растворенных газов и неметаллических включений, что дает возможность получить чистый, плотный и однородный по химическому составу шов.

Расплавленный флюс не только надежно защищает сварочную ванну от воздействия кислорода и азота воздуха, но и осуществляет металлургическую обработку, то есть раскисляет и легирует металл шва.

При этом виде сварки сварочная дуга горит в изолированном пространстве, наблюдается меньшее выделение вредных газов, отпадает необходимость защиты лица и глаз сварщика.

Дуговая сварка в защитном газе выполняется неплавящимся (вольфрамовым) (рис. 78, а) или плавящимся (рис. 78, б) электродом 3.

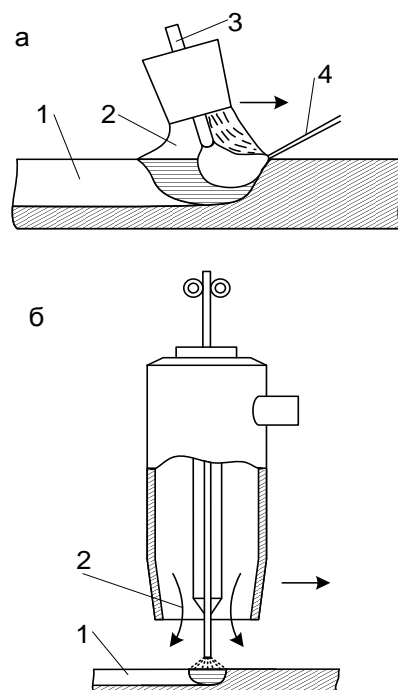


Рисунок 78 – Схема дуговой сварки в защитном газе:
 а – неплавящимся электродом; б – плавящимся электродом; 1 – сварной шов;
 2 – защитный газ; 3 – электрод (электродная проволока);
 4 – присадочный металл

В первом случае сварной шов формируется за счет металла расплавляемых кромок изделия. При необходимости в зону дуги подается присадочный металл 4. Во втором случае подаваемая в зону дуги электродная проволока 3 расплавляется и участвует в образовании сварного шва 1. Расплавленный металл защищают от окисления и азотирования струей защитного газа 2, оттесняющей атмосферный воздух из зоны дуги.

В качестве защитных применяют инертные и активные газы (водород, окись углерода или их смесь с азотом). Наибольшее применение получили аргонодуговая сварка и сварка в среде углекислого газа.

Коэффициент полезного действия сварочной дуги

Сварочная дуга представляет собой устойчивый электрический разряд в сильно ионизированной смеси газов, паров металла и материалов, используемых при сварке.

Электрическая энергия, потребляемая дугой, в основном превращается в тепло. Тепловую мощность дуги можно принять равной тепловому эквиваленту Q (Дж/с) электрической энергии, пренебрегая теплом, идущим на химические реакции в дуговом промежутке и несколько меняющим тепловой баланс дуги. Тепловой эквивалент электрической мощности можно определить по формуле

$$Q = k \cdot I_{CB} \cdot U_{CB}, \quad (50)$$

где k – коэффициент, учитывающий влияние, оказываемое несинусоидальностью кривых напряжения и тока на мощность дуги переменного тока, принимается равным 0,70...0,97 (при постоянном токе $k = 1$);

I_{CB} – сила тока сварки, А;

U_{CB} – напряжение дуги, В.

Не все тепло сварочной дуги идет на нагрев изделия: часть тепла затрачивается на нагревание нерасплавившейся части электрода, часть – на излучение в окружающее пространство, некоторое количество тепла теряется с каплями электродного металла при его разбрызгивании. Поэтому введено понятие эффективной тепловой мощности дуги. Эффективная тепловая мощность дуги – это количество теплоты, введенное в металл изделия за единицу времени, равное

$$Q_{\text{эф}} = q_0 / t, \quad (51)$$

где q_0 – количество теплоты, введенное в металл изделия, Дж;
 t – время горения дуги, с.

Потери тепла дуги на излучение, нагревание электрода за счет прохождения сварочного тока для различных способов сварки будут разными.

Величиной, характеризующей тепло, расходуемое на нагрев и плавление основного и электродного металлов, является коэффициент полезного действия дуги η , который представляет собой отношение эффективной тепловой мощности дуги к тепловому эквиваленту ее электрической мощности, то есть:

$$\eta = Q_{\text{эф}} / Q. \quad (52)$$

Эффективный КПД зависит от технологических условий сварки и находится в интервале от 0,5 (при ручной сварке) до 0,95 (при сварке под флюсом).

Сварочное оборудование

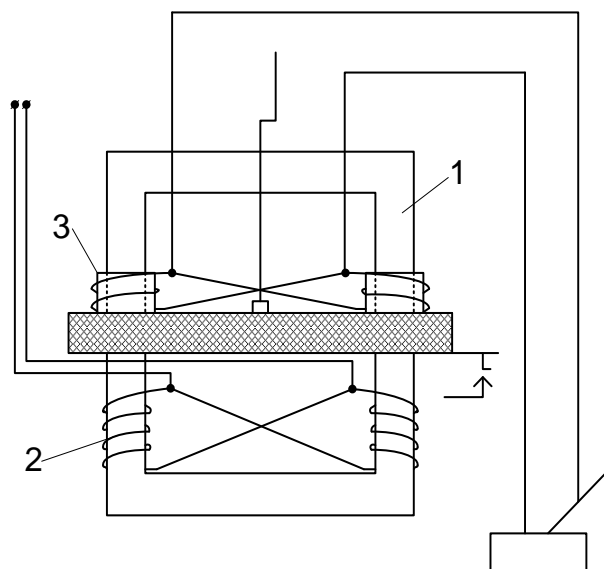
При дуговой электросварке применяют следующие источники дуги: сварочные генераторы и преобразователи постоянного тока, сварочные выпрямители и сварочные трансформаторы. Все источники сварочного тока должны обеспечивать возможность короткого замыкания, надежность зажигания и горения дуги, регулирования силы тока.

Основными источниками питания для сварки на переменном токе являются сварочные трансформаторы. Их подразделяют на две группы. К *первой группе* относят трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием и дополнительной реактивной катушкой – дросселем. Дроссель может иметь с трансформатором как общий, так и отдельный магнитопровод. Ко *второй группе* относят трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием. По способу регулирования индуктивного сопротивления трансформаторы второй группы можно разделить на три основных типа: с магнитными шунтами, с подвижными катушками и с витковым (ступенчатый) регулированием.

На рис. 79 показана принципиальная схема сварочного трансформатора ТДМ-317 с механическим регулированием.

Этот трансформатор имеет повышенное магнитное рассеивание. На сердечнике 1 внизу размещены неподвижные катушки 2 с первич-

ной обмоткой, сверху – подвижные катушки 3 с вторичной обмоткой. Первичная обмотка включена в силовую сеть, а вторичная – в сварочную цепь. Силу сварочного тока регулируют изменением расстояния L между первичной и вторичной обмотками. При увеличении расстояния L магнитный поток рассеивается, то есть не полностью идет по сердечнику 1, ЭДС самоиндукции и индуктивное сопротивление увеличиваются и, соответственно, уменьшается ток в сварочной цепи. С увеличением сварочного тока (например, при замыкании) магнитный поток рассеивания возрастает, и во вторичной обмотке трансформатора увеличиваются ЭДС самоиндукции и индуктивное сопротивление, что создает резкое падение напряжения (крутопадающую внешнюю характеристику источника питания).



*Рисунок 79 – Схема трансформатора ТДМ-317:
1 – сердечник; 2 – первичная обмотка; 3 – вторичная обмотка*

Сварочный аппарат с отдельным дросселем (рис. 80) состоит из понижающего трансформатора (Тр) и дросселя (регулятора тока (Др)). Трансформатор имеет сердечник (магнитопровод) 2, на котором расположены первичная 1 и вторичная 3 обмотки. Последовательно со вторичной обмоткой в сварочную цепь включена обмотка 4 дросселя. Сердечник дросселя состоит из двух частей: неподвижной 5 с обмоткой 4 и подвижной 6. Изменяя зазор a между неподвижной и подвижной частями, изменяют индуктивное сопротивление дросселя и тем самым ток в сварочной цепи.

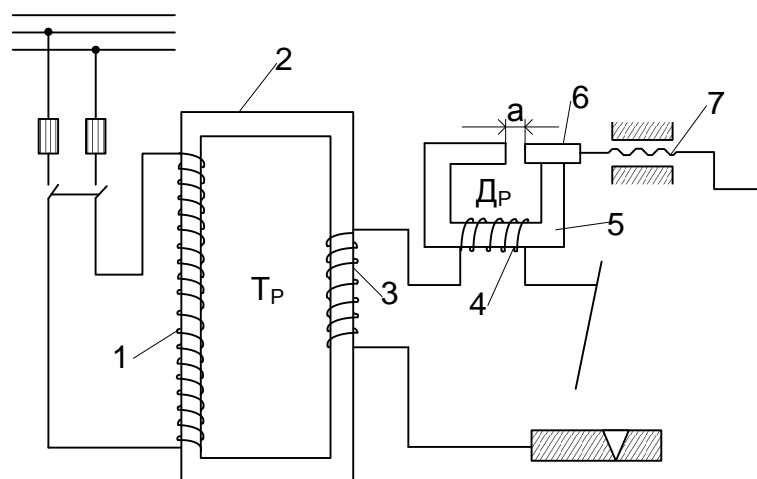


Рисунок 80 – Схема трансформатора с дросселем:

1 – первичная обмотка; 2 – сердечник; 3 – вторичная обмотка; 4 – обмотка дросселя; 5 – неподвижная часть сердечника дросселя; 6 – подвижная часть сердечника дросселя; 7 – регулятор тока

Среди источников постоянного тока наибольшее применение получили селеновые и кремниевые выпрямители, которые обладают рядом преимуществ перед генераторами и преобразователями. Они имеют лучшие энергетические и динамические показатели, более высокий КПД, просты в обслуживании и надежны в эксплуатации.

На рисунке 81 приведена принципиальная схема сварочного выпрямителя. Сварочные выпрямители монтируются, как правило, по трехфазной схеме.

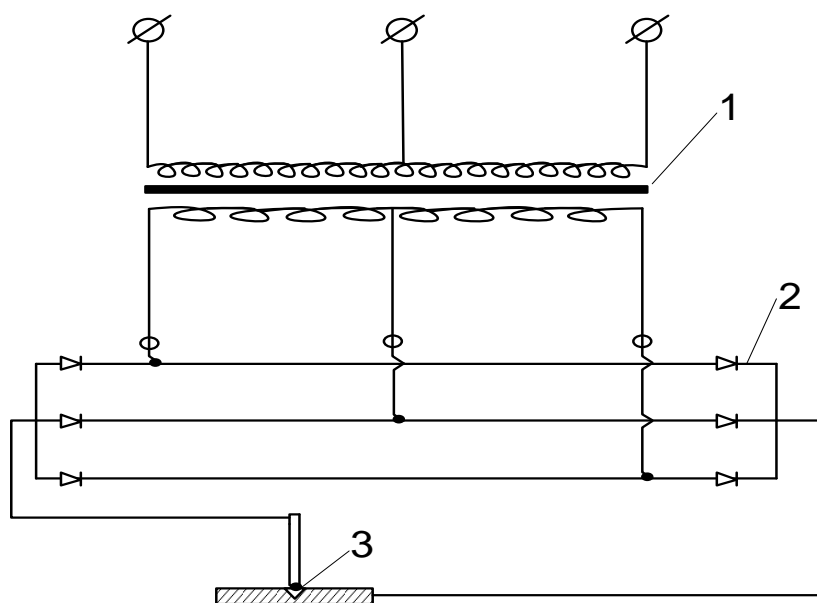


Рисунок 81 – Полупроводниковый выпрямитель:

1 – понижающий трансформатор; 2 – блок полупроводниковых выпрямителей; 3 – сварочная дуга

Параметры технологического процесса сварки

В процессе сварки электроду сообщаются следующие основные движения:

1. Вдоль оси электрода в сторону сварочной ванны. Скорость этого движения должна соответствовать скорости плавления электрода, чтобы сохранить постоянство длины дуги.

2. Перемещение вдоль оси шва. Скорость этого движения должна быть оптимальной. При малой скорости возможен перегрев и пережог металла, производительность сварки уменьшается. При большой скорости не исключена возможность такого дефекта сварки, как непровар.

3. Поперечные колебательные движения, которые замедляют остывание металла, облегчают выход газов из ванны и способствуют получению высокого качества шва.

Длина дуги значительно влияет на качество сварки. Ориентировочно длину дуги рассчитывают по формуле

$$l_0 = (0,5...1,1) d_э, \quad (53)$$

где $d_э$ – диаметр электрода, мм.

Среднее значение длины дуги можно определить из выражения:

$$l_0 \approx 0,5 (d_э + 2). \quad (54)$$

Различают дугу короткую – 2...4 мм, среднюю – 4...6 мм и длинную $l = 6$ мм.

Короткая дуга обеспечивает получение высококачественного шва.

Основными параметрами режима сварки являются диаметр электрода $d_э$ и сварочный ток $I_{св}$.

Диаметр электрода зависит в основном от толщины свариваемых кромок S и вида сварного соединения.

Диаметр электрода можно выбрать по табличным данным из справочников или определить по формуле

$$d_э = \frac{1}{2} S + 1, \quad (55)$$

где S – толщина свариваемых кромок, мм.

Если по расчету диаметр электрода получился более 6 мм, то ограничиваются диаметром 6 мм.

При сварке угловых и тавровых соединений при выборе диаметра электрода принимают во внимание размер катета шва $K_{ш}$ (табл. 35).

Таблица 35 – Зависимость диаметра электрода от катета шва

$K_{ш}$, мм	3...5	6...8	> 8
$d_э$, мм	3...4	4...5	6

Расчет сварочного тока при ручной дуговой сварке производят по диаметру электрода и допустимой плотности тока. Для приближенных расчетов сварочный ток определяют по формуле

$$I_{CB} = K \cdot d_э, \quad (56)$$

где K – коэффициент плотности тока, принимаемый в зависимости от $d_э$, А/мм (табл. 36).

Таблица 36 – Зависимость коэффициента плотности тока от диаметра электрода

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

При сварке вертикальных швов $d_э$ не должен превышать 5 мм, I_{CB} снижают на 15...20 %. При сварке потолочных швов $d_э$ не должен превышать 4 мм, I_{CB} снижают на 20...25 %.

Если толщина металла $S \leq 1,5 d_э$, то I_{CB} уменьшают на 10...15 %. Если толщина металла $S \geq 3 d_э$, то I_{CB} увеличивают на 10...15 %.

Сведения об электродах

Электроды классифицируются по следующим признакам: материалу, назначению, толщине покрытия, виду покрытия, свойствам металла шва, роду и полярности тока, допустимому пространственному положению.

По назначению электроды подразделяют на следующие группы:

У – для сварки углеродистых и низколегированных сталей;

Л – для сварки легированных конструкционных сталей;

Т – для сварки легированных теплостойких сталей;

В – для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами;
Н – для наплавления поверхностных слоев.

По толщине покрытия в зависимости от отношения диаметра электрода D (мм) к диаметру стержня d (мм):

М – с тонким покрытием $D / d < 1,2$;

С – со средним покрытием $1,2 \leq D / d \leq 1,45$;

Д – с толстым покрытием $1,45 \leq D / d \leq 1,8$;

Г – с особо толстым покрытием $D / d \geq 1,8$.

По виду покрытия:

М – с кислым покрытием. Используются для сварки как на постоянном, так и на переменном токе;

Б – с основным покрытием, для сварки на постоянном токе обратной полярности;

Ц – с целлюлозным покрытием, основные компоненты которого создают газовую защитную среду. Применяются для сварки сталей малой толщины;

Р – с рутиловым покрытием, основной компонент рутил (TiO_2), для сварки на постоянном и переменном токе. Обеспечивают хорошее формирование швов во всех пространственных положениях;

П – прочие виды покрытий;

Ж – покрытие содержит железный порошок более 20 %.

Общее назначение электродных покрытий – обеспечение стабильности горения сварочной дуги и получения металла шва с заданными свойствами (прочность, пластичность, ударная вязкость, стойкость против коррозии, износостойкость и др.).

Качественное электродное покрытие должно содержать следующие компоненты: ионизирующие, газообразующие, раскисляющие, шлакообразующие, легирующие и связующие.

Промышленность выпускает сотни разнообразных электродов. Для сварки углеродистых и легированных сталей выпускается 9 типов электродов: Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60. Для сварки легированных конструкционных сталей – 5 типов: Э70, Э85, Э100, Э125, Э150. Цифра после буквы Э указывает гарантированный предел прочности металла шва в $кг/мм^2$, буква А указывает, что металл шва имеет повышенную пластичность.

Каждому типу электродов соответствует несколько марок.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчет необходимо включить: письменные ответы на контрольные вопросы, основные принципиальные схемы видов сварки, источников питания сварочной дуги. Визуально определить качество образцов сварных соединений, описать обнаруженные дефекты. По заданию преподавателя выполнить расчеты по определению диаметра электрода и силы сварочного тока для конкретных условий сварки.

Таблица 37 – Перечень индивидуальных заданий студентам

Вариант	Конкретные условия сварки
1	Угловое соединение с катетом шва 6 мм, шов вертикальный
2	Стыковое соединение в нижнем положении при толщине металла 5 мм
3	Стыковое соединение в нижнем положении при толщине металла 20 мм
4	Стыковое соединение при толщине металла 15 мм, шов вертикальный
5	Нахлесточное соединение в нижнем положении при толщине металла 6 мм
6	Стыковое соединение с толщиной металла 8 мм, шов потолочный
7	Стыковое соединение с толщиной металла 10 мм, шов вертикальный
8	Стыковое соединение в нижнем положении при толщине металла 1 мм
9	Стыковое соединение в нижнем положении при толщине металла 3 мм
10	Угловое соединение с катетом шва 8 мм, шов потолочный
11	Стыковое соединение с толщиной металла 10 мм, шов потолочный
12	Нахлесточное соединение с толщиной металла 10 мм, шов вертикальный
13	Стыковое соединение с толщиной металла 2 мм, шов вертикальный
14	Тавровое соединение в нижнем положении с катетом шва 5 мм
15	Стыковое соединение с толщиной металла 1 мм, шов вертикальный
16	Нахлесточное соединение с толщиной металла 8 мм, шов потолочный
17	Стыковое соединение с толщиной металла 3 мм, шов вертикальный
18	Тавровое соединение с катетом шва 10 мм, шов потолочный
19	Угловое соединение с катетом шва 12 мм, шов вертикальный

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое сварка?
2. Чем отличается ручная дуговая сварка от полуавтоматической и автоматической?
3. Какие Вы знаете источники переменного тока?
4. Какие Вы знаете источники постоянного тока?
5. Какие физические и химические процессы протекают при образовании сварного соединения?
6. Какие бывают дефекты в сварных соединениях?
7. Что такое сварочная дуга?
8. Каковы основные виды движения электрода в процессе сварки?
9. Назовите признаки классификации сварных швов.
10. Каково назначение электродных покрытий?
11. Какие компоненты должны входить в качественное электродное покрытие?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ГАЗОВАЯ СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

Цель работы: изучить оборудование и аппаратуру для газовой сварки и резки, научиться выбирать соответствующие оптимальные технологические параметры.

Приборы, материалы и инструменты:

1. Газовый сварочный пост с питанием от баллонов.
2. Газокислородный резак и горелки.
3. Защитный щиток, спецодежда.
4. Шланги для подвода ацетилен и кислорода.
5. Присадочная проволока.
6. Измерительный инструмент, шаблоны.

Порядок работы

1. Ознакомиться с имеющимся на кафедре оборудованием газовой сварки и резки металлов.
2. Описать область применения газовой сварки, ее достоинства и недостатки.
3. Описать область применения кислородной резки металла.
4. Начертить и описать схему газосварочного поста.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Провести опыты по определению оптимальных режимов газовой сварки и резки металлов и сплавов.
7. Результаты опытов занести в таблицы 44, 45.

8. По индивидуальному заданию (см. табл. 46) определить вид горелки и номер наконечника, способ сварки, диаметр и марку присадочной проволоки, технологические особенности сварки (вид пламени, удельную мощность пламени, потребность флюса и др.).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Сущность процесса газовой сварки заключается в том, что свариваемый и присадочный металлы расплавляют в пламени, получающемся при сгорании какого-либо горючего газа в смеси с кислородом, обычно применяют ацетилен. По сравнению с электродуговой сваркой газовая сварка – процесс малопроизводительный. Газовую сварку применяют при изготовлении тонких стальных изделий толщиной до 5 мм, сварке цветных металлов и их сплавов, исправлении дефектов в чугунных и бронзовых отливках, а также при различных ремонтных работах.

Все горючие газы, содержащие углеводород, образуют сварочное пламя, которое имеет три ярко различимые зоны: ядро, восстановительную зону и факел (рис. 82).

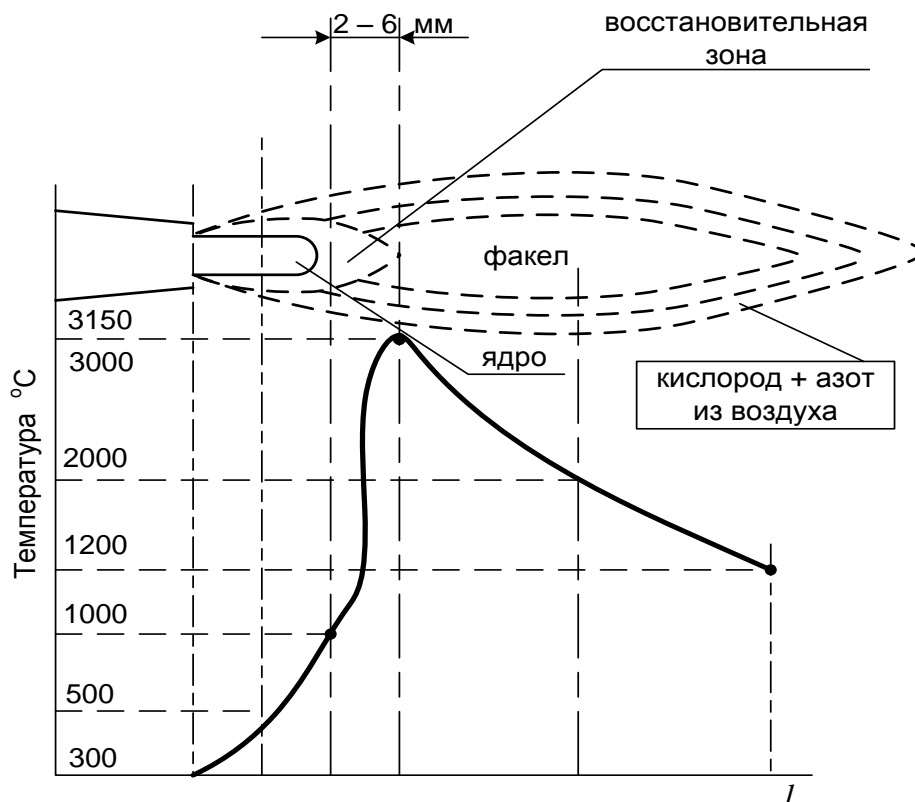


Рисунок 82 – Схема газового пламени и распределение температур по зонам

Ядро имеет резко очерченную форму (близкую к форме цилиндра), плавно закругляющуюся в конце, с ярко светящейся оболочкой.

Размеры ядра зависят от состава горючей смеси, ее расхода и скорости истечения. Диаметр канала мундштука горелки определяет диаметр ядра пламени, а скорость истечения газовой смеси его длину. Температура ядра достигает 1000 °С.

Восстановительная зона располагается за ядром и по своему более темному цвету заметно отличается от него. Зона состоит из продуктов неполного сгорания ацетилена – оксида углерода и водорода. Она называется восстановительной, так как оксид углерода и водород раскисляют расплавленный металл, отнимая кислород от его оксидов. Этой зоной выполняют сварку и поэтому ее называют рабочей. Восстановительная зона имеет наиболее высокую температуру в точке, отстоящей на 2...6 мм от конца ядра.

Факел располагается за восстановительной зоной и представляет собой зону полного сгорания. Температура этой зоны значительно ниже, чем в восстановительной зоне, и колеблется в интервале от 1200 до 2520 °С.

В зависимости от соотношения между кислородом и ацетиленом получают три основных вида сварочного пламени: нормальное, окислительное и науглероживающее.

Нормальное пламя получают, когда в горелку на один объем ацетилена подают от 1,1 до 1,3 объема кислорода. Нормальное пламя характеризуется отсутствием свободного кислорода в восстановительной зоне.

Окислительное пламя получается при избытке кислорода, при подаче в горелку на 1 объем ацетилена более 1,3 объема кислорода. При этом ядро приобретает конусообразную форму, значительно сокращается по длине, а пламя приобретает синевато-фиолетовую окраску.

Науглероживающее пламя получается при избытке ацетилена, когда в горелку на один объем ацетилена подается 0,95 и менее объема кислорода. Ядро такого пламени теряет резкость своего очертания, на конце его появляется зеленоватый венчик, по которому судят об избытке ацетилена.

Слегка науглероживающее пламя применяют для сварки чугуна и при наплавке твердыми сплавами.

Тепловые характеристики газового пламени (температура; эффективная тепловая мощность q_1 , кал/с; распределение теплового потока пламени по пятну нагрева q_2 , кал / см² · с) зависят от теплотворной способности горючего газа, чистоты кислорода и соотношения кислорода и ацетилена в газовой смеси.

Температура газового пламени (°С) неодинакова в различных его частях и достигает наибольшего значения на оси пламени вблизи конца ядра в зависимости от сгораемого газа:

Ацетилен	3100...3150
Метан	2100...2200
Пропано-бутановая смесь	2400...2500
Коксовый газ	2000...2100
Водород	2000...2100

Газовое пламя нагревает поверхность металла вследствие процессов теплообмена – вынужденной конвекции и излучения, интенсивность которых возрастает с увеличением перепада температур пламени и поверхности нагреваемого металла. Поэтому эффективная мощность пламени возрастает с повышением его температуры и падает с повышением температуры поверхности металла.

Эффективная мощность пламени q (ее предельное значение, соответствующее установившемуся состоянию процесса при нагреве металла перемещающимся пламенем) возрастает с увеличением расхода ацетилена $V_{C_2H_2}$, л/ч (рис. 83).

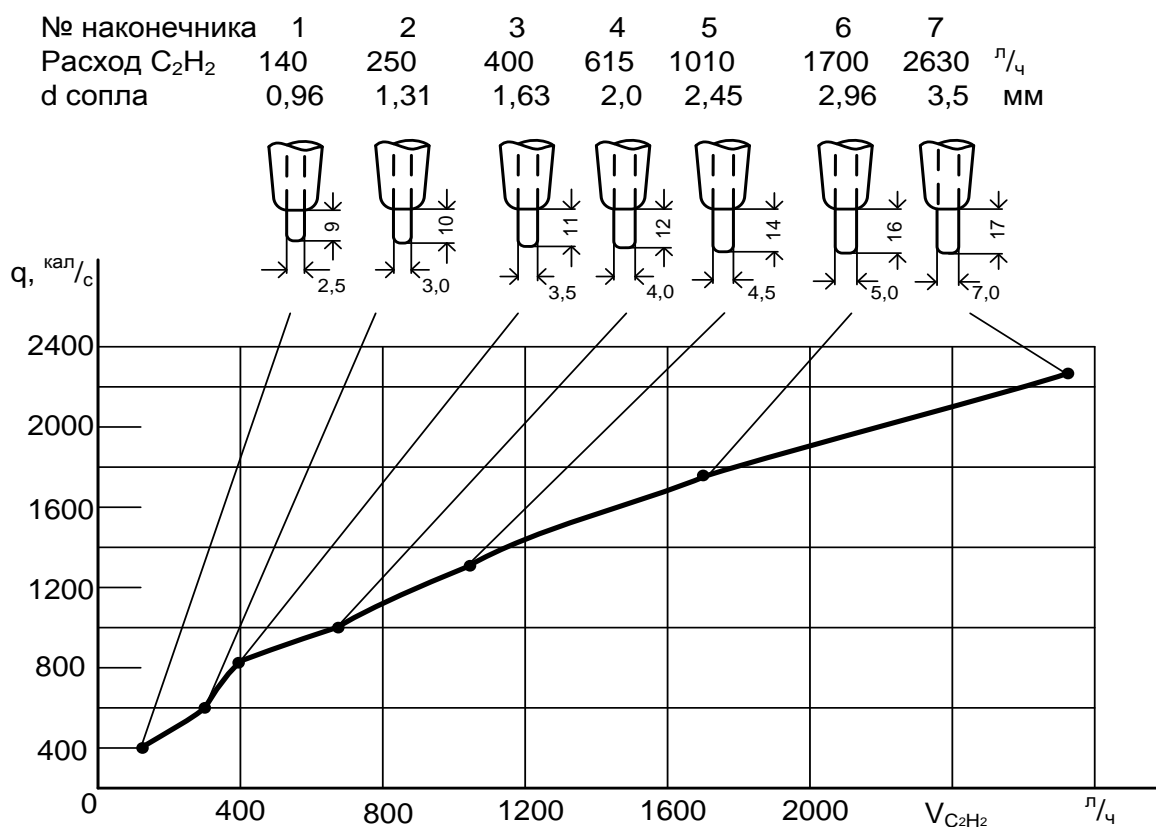


Рисунок 83 – Эффективная мощность пламени и длина ядра в зависимости от расхода ацетилена (номера наконечника горелки)

Эффективный КПД процесса нагрева металла газовым пламенем η_u представляет отношение эффективной мощности пламени q к полной тепловой мощности q_H , соответствующей низшей теплотворной способности ацетилена 14600 кал/ч.

$$\eta_u = \frac{q}{3,5 \cdot V_{c_2H_2}}. \quad (57)$$

Параметры режима нагрева, размеры изделия и теплофизические свойства металла также влияют на эффективную мощность, хотя и в меньшей степени, чем расход газа. При правом нагреве эффективная мощность пламени выше, чем при левом. С увеличением скорости перемещения пламени его эффективная мощность несколько возрастает. С увеличением толщины нагреваемого металла, а также его теплопроводности эффективная мощность пламени возрастает.

Распределение удельного теплового потока q_2 пламени простой горелки по радиусу r пятна нагрева приблизительно описывают соотношением

$$q_2(r) = q_{2max} e^{-kr^2}, \quad (58)$$

где q_{2max} – наибольший удельный тепловой поток в центре пятна нагрева, кал / см² · с;

k – коэффициент сосредоточенности удельного потока пламени, см⁻²;

r – расстояние от оси пламени, см.

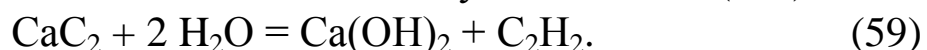
Газовое пламя нагревает металл значительно медленнее и плавнее, чем электрическая сварочная дуга, так как наибольший тепловой поток на оси ацетилено-кислородного пламени горелки в 8...12 раз меньше открытой сварочной дуги примерно одинаковой эффективной мощности. Поэтому кроме снижения производительности при газовой сварке имеем обширные зоны нагрева металла, что может привести к короблению поверхности и снижению прочности соединения. Эти и другие присущие газовой сварке недостатки (взрывоопасность, пожароопасность) способствовали поиску альтернативных видов сварки. В последнее время в ремонтном производстве газовая сварка постепенно вытесняется электросваркой в углекислом газе (для сварки тонких стальных изделий) и плазменной сваркой (для сварки тонких изделий из стали и цветных металлов и сплавов).

Газовая резка металлов пока удерживает свои позиции не только в ремонтных мастерских, но и в условиях крупных промышленных предприятий.

Газы

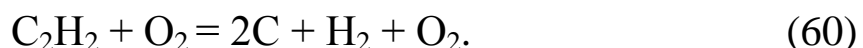
Чаще других горючих газов для газовой сварки применяют ацетилен. Ацетилен представляет собой химическое соединение углерода с водородом (C_2H_2).

Получают ацетилен из карбида кальция (CaC_2) путем воздействия на последний водой. При реакции с водой 1 кг карбида кальция дает 230...280 л газообразного ацетилена. В результате реакции получают газообразный ацетилен C_2H_2 и гашеную известь $Ca(OH)_2$:



Карбид кальция транспортируют в специальных стальных герметически закрытых баллонах. Масса баллонов с карбидом кальция может быть 50...130 кг. Кроме ацетилена, применяют и другие горючие газы, свойства которых приведены в таблице 38.

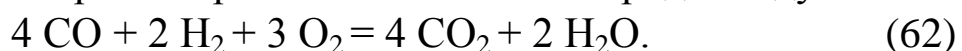
Процесс сгорания ацетилена в кислороде можно условно разделить на две стадии. Сначала под влиянием нагрева происходит распад ацетилена на элементы:



Затем происходит первая стадия сгорания ацетилена за счет кислорода смеси по реакции



Вторая стадия горения протекает за счет кислорода воздуха:



Процесс горения сопровождается выделением теплоты. Температура пламени при сгорании в смеси с кислородом достигает $3200^\circ C$. Ацетилено-кислородная смесь взрывоопасна при наличии в ней 28... 93 % ацетилена по объему. Транспортируют ацетилен в стальных баллонах под давлением 1,9 Мпа.

Кислород применяют трех сортов в зависимости от чистоты. Примеси азота и аргона в техническом кислороде составляют 0,3...0,8 %. Газообразный кислород транспортируют в стальных баллонах под давлением 15 Мпа. При соприкосновении с маслами кислород взрывается.

Таблица 38 – Основные свойства горючих газов, применяемых для сварки и резки металлов

Газ	Плотность, кг/м ³	Низшая теплотворная способность, кДж/м ³	Температура пламени в смеси с кислородом, °С	Коэффициент замены С ₂ Н ₂	Кол-во О ₂ на 1 м ³ газа, кг	Пределы взрываемости смеси, %		Область применения	Способы транспортировки и хранения
						с воздухом	с О ₂		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ацетилен	1,09	52800	3100...3220	1	1...1,3	2,2...81,0	2,3...93,0	Все виды газопламенной обработки	Растворенный в ацетоне в баллонах под давлением до 1,4 Мпа
Водород	0,08	10100	2100...2300	5,2	0,3...0,4	3,3...81,5	2,6...95,0	Для сварки сталей толщиной до 2 мм, чугуна, латуни	Газообразный в баллонах под давлением до 15 Мпа
Коксовый газ	0,5	15200	2200	3,2	0,7	-	-	Сварка легкоплавких металлов, пайка, кислородная резка	По газопроводу
Городской газ	0,84...1,05	17200...21000	2000...2300	3,0	1,5...1,6	3,8...24,6	10...73	Сварка легкоплавких металлов, пайка	По газопроводу под давлением до 0,3 Мпа и в баллонах до 15 Мпа
Нефтяной газ	0,87...1,37	41000...56600	2000...2400	1,2	1,5...1,6	-	-	Сварка легкоплавких металлов, пайка	По газопроводу
Метан	0,67	35600	2400...2700	1,6	1,5...1,8	4,8...16,7	5,0...59,2	Сварка легкоплавких металлов, пайка	На баллонах под давлением 15 Мпа или по трубопроводу

Окончание табл. 38

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пропан	1,88	93000	2600	0,6	3,4	2,0...9,5	4,8...2,0	Кислородная резка, сварка, пайка цветных металлов	В жидком виде в баллонах под давлением 1,6 Мпа
Бутан	2,54	116500	2450	0,45	3,3	1,5...8,5	2...45	Кислородная резка, сварка, пайка цветных металлов	В жидком виде в баллонах под давлением 1,6 Мпа
Пропан-бутан	1,87	2200	2600	0,6	3,5	-	-	Кислородная резка, сварка, пайка цветных металлов	В жидком виде в баллонах под давлением 1,6 Мпа
Бензин	0,73	10500	2440	1,4	1,25	0,65	21...28,4	Кислородная резка стали, сварка, пайка легкоплавких металлов	В жидком виде в цистернах или бачках
Керосин	0,83	10100	2400	1,2	1,7...2,4	2...28	-	Кислородная резка, сварка, пайка легкоплавких металлов	В жидком виде в цистернах или бачках

ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРА ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Ацетиленовые генераторы

Ацетиленовым генератором называют аппарат, служащий для получения ацетилена разложением карбида кальция водой. Ацетиленовые генераторы, применяемые для сварки и резки металлов согласно ГОСТ 5190-78, классифицируются по следующим признакам:

- по производительности – 1,25; 3; 5; 10; 20; 40; 80; 160; 320; 640 м³/ч;

- по способу применения – передвижные с производительностью 1,25...3,0 м³/ч, стационарные с производительностью 5...640 м³/ч;

- по давлению вырабатываемого газа – низкого давления до 0,02 Мпа; среднего давления от 0,02 до 0,15 Мпа;

- по способу взаимодействия карбида кальция с водой – генераторы системы «КВ», «ВК», «ВВ».

В генераторах типа «КВ» предусматривается периодическая подача в воду карбида кальция. При этом достигается наибольший выход ацетилена – до 95 %.

В генераторах типа «ВК» осуществляется периодическая подача порций воды в загрузочное устройство с карбидом кальция.

В генераторах системы типа «ВВ» разложение карбида кальция осуществляется при соприкосновении его с водой в зависимости от изменений уровня воды, находящейся в реакционном пространстве и периодически вытесняемой образовавшимся газом.

Все ацетиленовые генераторы, независимо от их системы, имеют следующие основные части: газообразователь, газосборник, предохранительный затвор, автоматическую регулировку вырабатываемого ацетилена в зависимости от его потребления.

В ремонтно-технических предприятиях сельскохозяйственного производства наибольшее распространение получили передвижные генераторы низкого давления.

На рисунке 84 представлена принципиальная схема однопостового передвижного морозостойчивого (до –25 °С) ацетиленового генератора низкого давления АНВ-1,25. Генератор работает по принципу «ВК» в сочетании с процессом «вытеснения воды». Производительность – 1,25 м³/ч, максимальное давление – 0,01 Мпа.

В корпус генератора *1* вварена реторта *7*, в которой помещается загрузочная корзина *3* с карбидом кальция.

Корпус генератора перегородкой *10* делится на две части: в верхней части расположен водосборник *11*, в нижней – газосборник *9*. Обе части соединены циркуляционной трубой *4*, через которую вода попадает в нижнюю часть или при работе генератора вытесняется в верхнюю часть.

Генератор заполняется водой до уровня *17* через открытую верхнюю часть. Вода в реторту поступает по газоотводящей трубке *19* через отверстие вентиля *18*. Реторта герметично закрывается крышкой и специальным болтом.

Ацетилен, выделяющийся в результате взаимодействия карбида кальция с водой, поступает по газоотводящей трубке *19* в газосборник и вытесняет находящуюся в нем воду через циркуляционную трубу *4* в верхнюю часть генератора. Вода в реторту подается до тех пор, пока она не будет вытеснена из газосборника ниже уровня вентиля *18*. По мере выделения ацетилена и возрастания давления ацетилена в газосборнике и реторте, вода начинает вытесняться также из реторты в камеру *8* – вытеснитель. При этом дальнейшее образование газа прекращается.

При отборе газа из газосборника давление ацетилена снижается, вода, вытесненная в камеру *8*, возвращается в реторту, и газообразование возобновляется.

При падении давления в генераторе до $2,3 \dots 2,7$ кПа вода в газосборнике поднимается выше вентиля *18* и начинает поступать в реторту. Поступление воды в реторту прекращается после того, как давление превысит $2,7 \dots 2,8$ кПа, то есть, когда уровень воды в газосборнике снова опустится ниже уровня вентиля *18*.

Так, в зависимости от расхода ацетилена из генератора автоматически регулируется процесс его образования.

Газ при отборе поступает из газосборника в карбидный осушитель *16*, загруженный карбидом, после чего проходит в водяной затвор *5*, а из него по шлангу *15* в горелку или резак.

Водяной затвор *5* служит для предохранения генератора от проникновения в него взрывной волны при обратном ударе пламени. При низких температурах водяной затвор устанавливают в циркуляционной трубе *4*, чтобы предохранить его от замерзания. В теплое время водяной затвор устанавливают снаружи генератора.

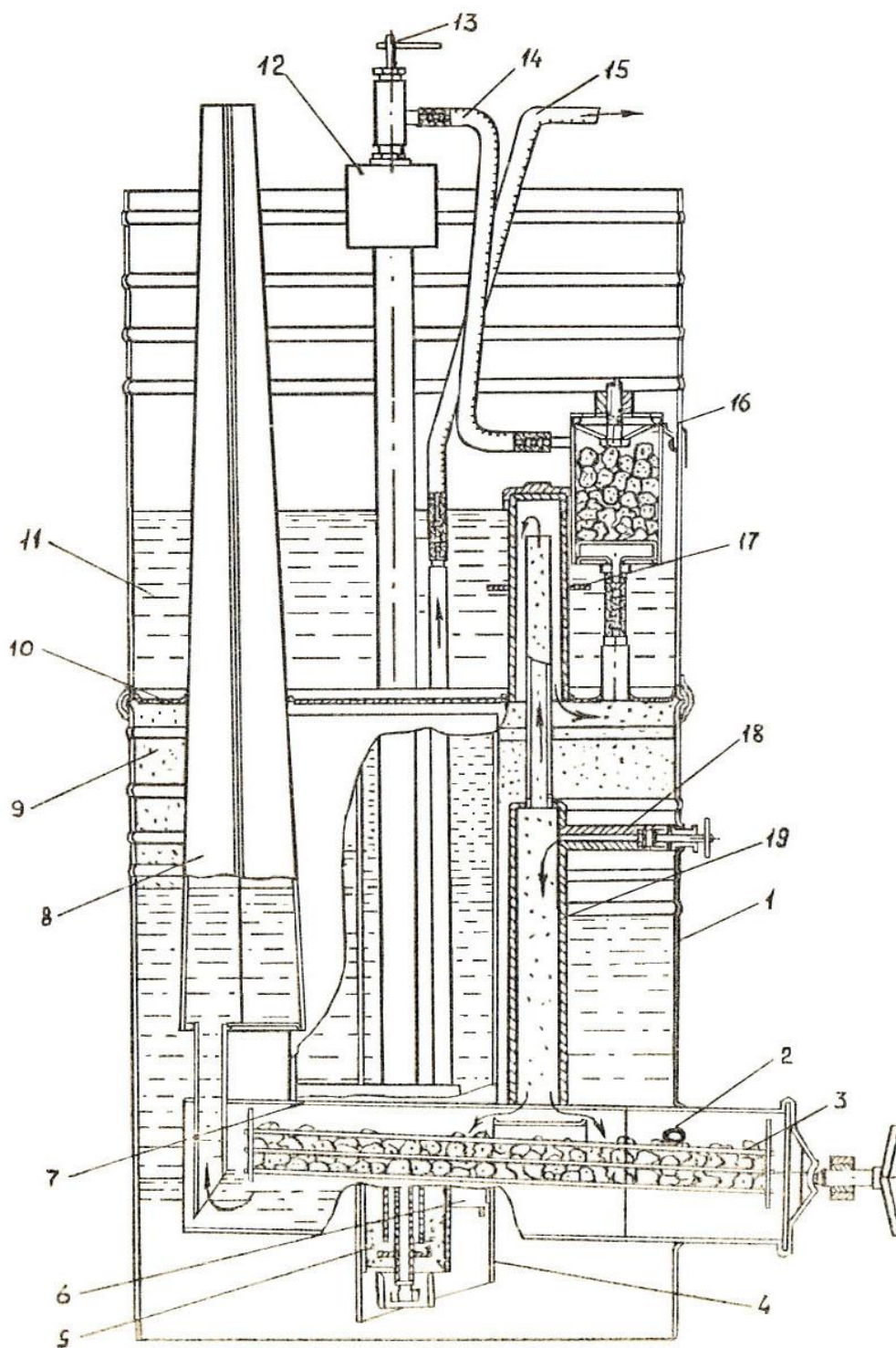


Рисунок 84 – Схема ацетиленового генератора АНВ-1,25

При обратном ударе взрывчатая смесь через предохранительную трубку выходит в атмосферу, унося с собой вытесненную воду. Часть воды задерживается в обечайке 12 и стекает обратно в затвор.

Перед пуском генератора необходимо очистить от ила реторту, продуть сжатым воздухом шланги 14 и 15, зарядить осушитель 16

карбидом кальция в количестве 1 кг, заполнить генератор водой до уровня 17. При этом вентиль водяного затвора 13 должен быть открыт, а вентиль 18 – закрыт. Заполнить водой затвор 5 через открытую верхнюю обечайку 12 до уровня контрольного крана 6, после чего закрыть вентиль 13. Открыв вентиль 18, надо убедиться в том, что вода поступает в реторту, после чего закрыть вентиль 18 и контрольный кран 2.

Загрузить в корзину 4 кг карбида кальция, вставить корзину 3 в реторту и закрыть крышку. Пустить порцию воды в реторту, открыв и закрыв вентиль 18, сделать контрольную продувку реторты через кран 2. Закрутить контрольный кран, после чего генератор можно считать готовым к работе.

Питание постов газовой сварки и резки ацетиленом от ацетиленовых генераторов связано с рядом неудобств, поэтому широкое распространение получили газовые баллоны.

Баллоны для газов и редукторы

Для хранения и транспортировки сжатых, сжиженных и растворенных газов, находящихся под давлением, применяют стальные баллоны, которые изготавливают из бесшовных труб углеродистой и легированной сталей. Наибольшее распространение получили баллоны вместимостью 40 дм³. Эти баллоны имеют размеры: наружный диаметр – 219 мм, толщина стенки – 7 мм, высота – 1390 мм. Масса баллона без газа – 67 кг.

В горловине баллона имеется конусное отверстие с резьбой, куда ввертывается запорный вентиль. Для каждого газа разработаны свои конструкции вентиляей, что исключает установку, например, кислородного вентиля на ацетиленовый баллон и наоборот.

Кислородные вентили изготавливают из латуни, ацетиленовые из стали, применение сплавов меди с содержанием ее более 70 % недопустимо, так как при контакте с ацетиленом возникает взрывоопасная ацетиленовая медь. Ацетиленовый вентиль имеет резьбу, отличную от других типов вентиляей, что исключает возможность установки его на других баллонах.

Каждому газу соответствует свой условный цвет баллона и цвет надписи, кислородные баллоны окрашивают в голубой цвет, надпись делают черной краской; ацетиленовые – соответственно в белый цвет и красной краской; пропановые – в красный цвет и белой краской и др.

Кислород наполняют в баллоны до давления 15 Мпа. Баллон вместимостью 40 дм³ при давлении газа 15 Мпа содержит кислорода 6 м³.

При окончании отбора газа из баллона необходимо следить, чтобы остаточное давление в нем было не менее 0,05...0,1 Мпа.

Ацетиленовые баллоны заполняют пористой массой (древесный уголь, пемза), которую пропитывают ацетоном (220...300 г на дм³ вместимости баллона). Ацетон является хорошим растворителем ацетилена, в одном объеме ацетона растворяется 23 объема ацетилена.

Давление ацетилена в баллоне изменяется при изменении температуры (табл. 39).

Таблица 39 – Зависимость давления ацетилена в баллоне от температуры окружающей среды

Температура, °С	-5	0	5	10	15	20	25	30	40
Давление, Мпа	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	3,0

Давление наполненных баллонов при 20 °С не должно превышать 1,9 Мпа.

При газовой сварке и резке металлов рабочее давление газов должно быть меньше, чем давление в баллоне или газопроводе. Для понижения давления газа применяют редукторы.

Редуктором называется прибор, служащий для понижения давления газа, при котором он находится в баллоне или магистрали, до величины рабочего давления и для автоматического поддержания этого давления постоянным.

Редукторы, применяемые в сварочной технике, классифицируются по принципу действия (прямого и обратного), по назначению и месту установки, по схемам редуцирования и роду редуцируемого газа.

Редуктор имеет клапан, управляемый гибкой мембраной, на которую с одной стороны действует сила пружины, а с другой – давление газа. Регулированием силы пружины обеспечиваются заданное давление и расход газа.

Редукторы отличаются друг от друга цветом корпуса и присоединительными устройствами.

На рисунке 85 показана схема газосварочного поста с питанием от баллонов. На сварочном посту баллоны устанавливаются в вертикальном положении и закрепляются.

Использование ацетиленовых баллонов вместо генераторов дает ряд преимуществ: простота обслуживания сварочной установки, безопасность и улучшение условий работы, повышение производительности труда.

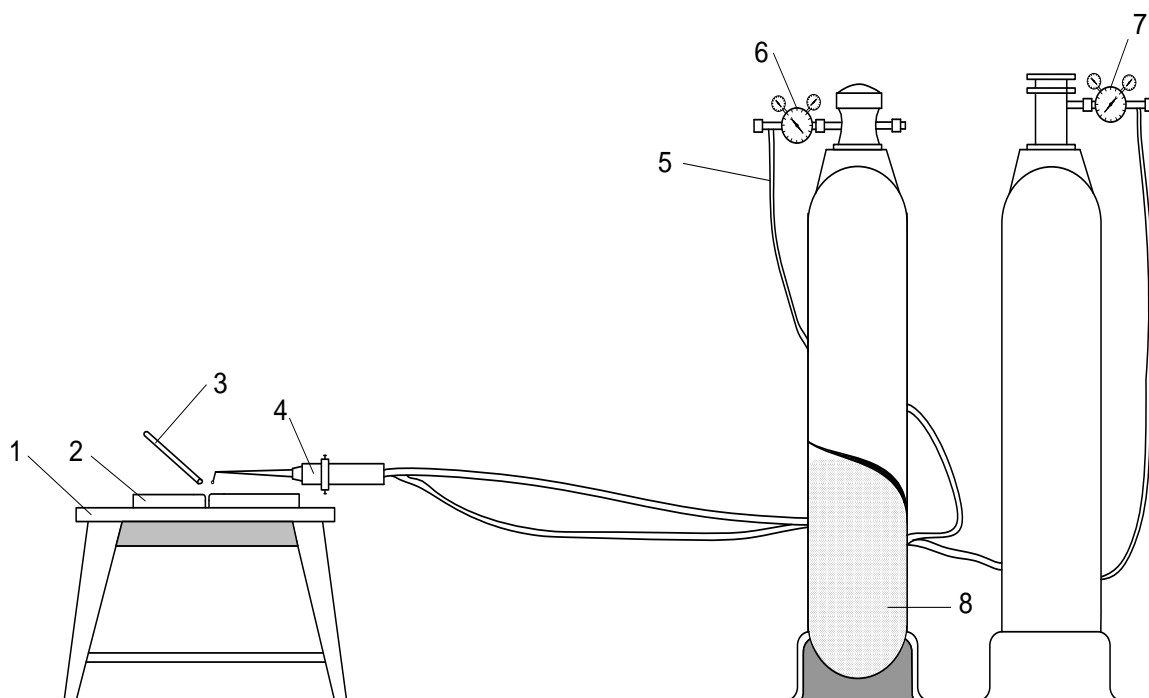


Рисунок 85 – Схема газового поста с питанием от баллонов:
1 – стол; 2 – свариваемые детали; 3 – присадочный металл; 4 – горелка;
5 – шланг; 6 – ацетиленовый редуктор; 7 – кислородный редуктор;
8 – пористая масса

Сварочные горелки

Сварочная горелка является основным инструментом газосварщика. Сварочной горелкой называется устройство, служащее для смешивания горючего газа или паров горючей жидкости с кислородом и получения сварочного пламени.

Согласно ГОСТ 1077-79 сварочные горелки классифицируются: по способу подачи горючего газа и кислорода в смесительную камеру – инжекторные и безинжекторные; по роду применяемого газа; по мощности – микромощности, малой, средней и большой мощности; по способу применения – ручные и машинные.

Наибольшее применение имеют инжекторные горелки, работающие на смеси ацетилена с кислородом. В инжекторных горелках горючий газ подсасывается в смесительную камеру струей кислорода, подаваемого в горелку с большим давлением (0,15...0,5 Мпа), чем го-

рючий газ (0,01 Мпа). Этот процесс подсоса называется онструкей. На рисунке 86 показаны схемы инжекторной и безинжекторной горелок.

В инжекторной горелке (рис. 86, а) кислород под давлением через штуцер 8 и регулировочный вентиль 7 подается к инжектору 6. Выходя с большой скоростью из узкого канала инжекторного корпуса, кислород создает значительное разрежение в камере 5, вызывающее подсос ацетилена.

В камере 5 образуется горючая смесь, которая поступает по наконечнику 3 к мундштуку 4, на выходе которого при сгорании образуется сварочное пламя. Горелки имеют сменные наконечники с различными диаметрами выходных отверстий инжектора и мундштука. Наконечники крепятся к стволу горелки 1 накладной гайкой 2.

В безинжекторных горелках (рис. 86, б) горючий газ и кислород поступает в смесительную камеру 5 под одинаковым давлением в пределах 0,01...0,1 Мпа.

В таблице 40 приведены различные типы горелок, в таблице 41 даны их технические характеристики.

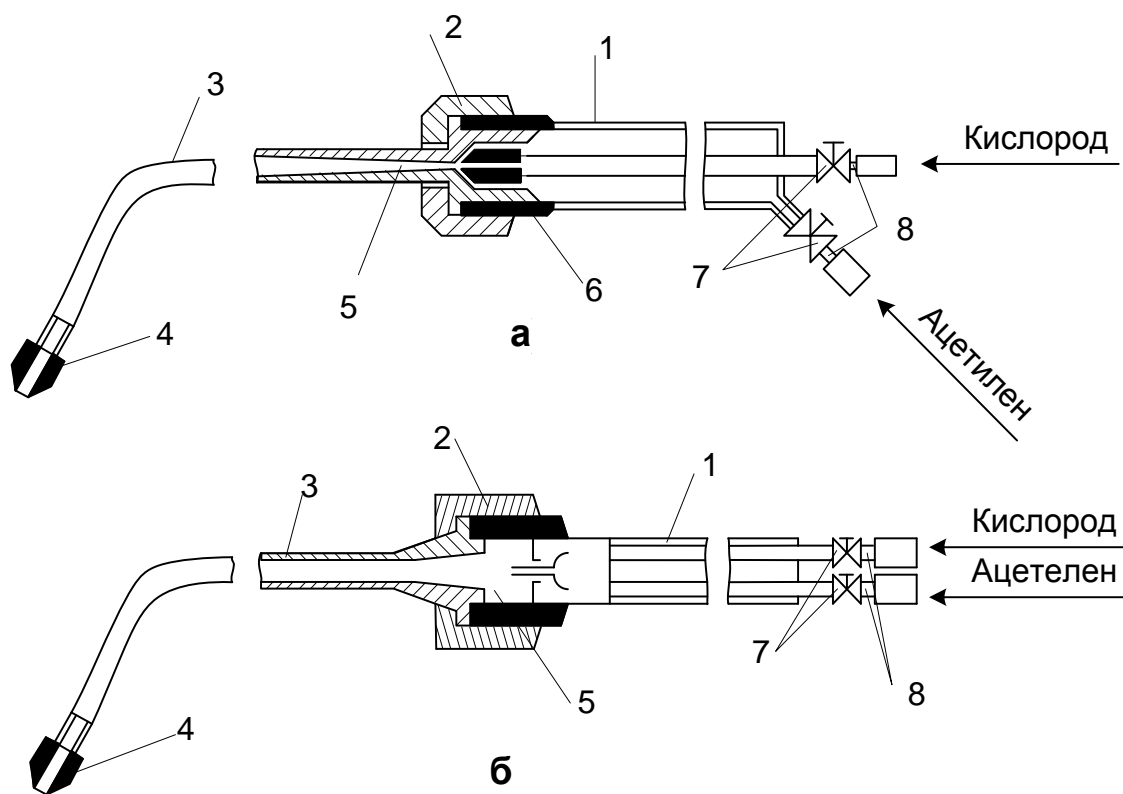


Рисунок 86 – Схемы ацетиленовых горелок:
а – инжекторные; б – безинжекторные

Таблица 40 – Универсальные ацетиленокислородные горелки по ГОСТ 1077-79

Тип горелки	Модель горелки	Номера наконечников	Масса, кг не более	Внутренний диаметр присоединительного рукава, мм
Г1 (микромощности)	ГС-I	000; 00; 0	0,4	4
Г2 (малой мощности)	Г2-04	0; 1; 2; 3; 4	0,7	6
Г3 (средней мощности)	Г3-03	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7	1,2	9
Г4 (большой мощности)	ГС-4	8, 9	2,5	9

Горелки типа Г1 – безинжекторные, остальных типов – инжекторные. Горелка ГС-4 предназначена для подогрева. Горелка Г2-04 по конструкции подобна ранее выпускавшимся горелкам «Звездочка», ГС-2, «Малютка». Горелка Г3-03 заменяла выпускавшиеся горелки средней мощности «Звезда», ГС-3, «Москва».

Таблица 41 – Технические характеристики инжекторных горелок

Параметр	Номер наконечника									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Толщина свариваемой низкоуглеродистой стали, мм	0,2... 0,5	0,5... 1,0	1...2	2...4	4...7	7... 11	11... 17	17... 30	30... 50	50
Расход ацетилена, л/ч	40... 50	65... 90	130... 180	250... 350	400... 420	700... 950	1130... 1500	1800... 2500	250... 45000	4500 ... 7000
Расход кислорода, л/ч	45... 55	70... 100	140... 200	270... 380	450... 650	750... 1000	1200... 1650	2000... 2800	300... 5600	4700 ... 9300

Различают два основных способа газовой сварки: правый и левый. При правом способе (рис. 87, а) процесс сварки ведется слева направо. Горелка 3 перемещается впереди присадочного прутка 2, а пламя 4 направлено на формирующийся шов 5. Этим обеспечивается хорошая защита сварочной ванны от воздействия атмосферного воздуха и замедленное охлаждение сварочного шва. Такой способ позволяет получать швы высокого качества.

Правый способ применяют при сварке металла толщиной более 5 мм. Пламя горелки при этом способе ограничено с двух сторон кромками изделия 1, а позади – наплавленным валиком, что значительно уменьшает рассеивание теплоты и повышает степень ее использования. Потолочные швы легче сваривать правым способом, так как в этом случае газовый поток направлен непосредственно на шов и тем самым препятствует вытеканию металла из сварочной ванны.

При левом способе (рис. 87, б) процесс сварки производится справа налево. Горелка перемещается за присадочным прутом, а пламя направляется на несваренные кромки 1 и подогревает их. Этот способ применяют при сварке тонких листов. При левом способе сварки внешний вид шва лучше, так как сварщик отчетливо видит шов и может получить равномерную толщину шва.

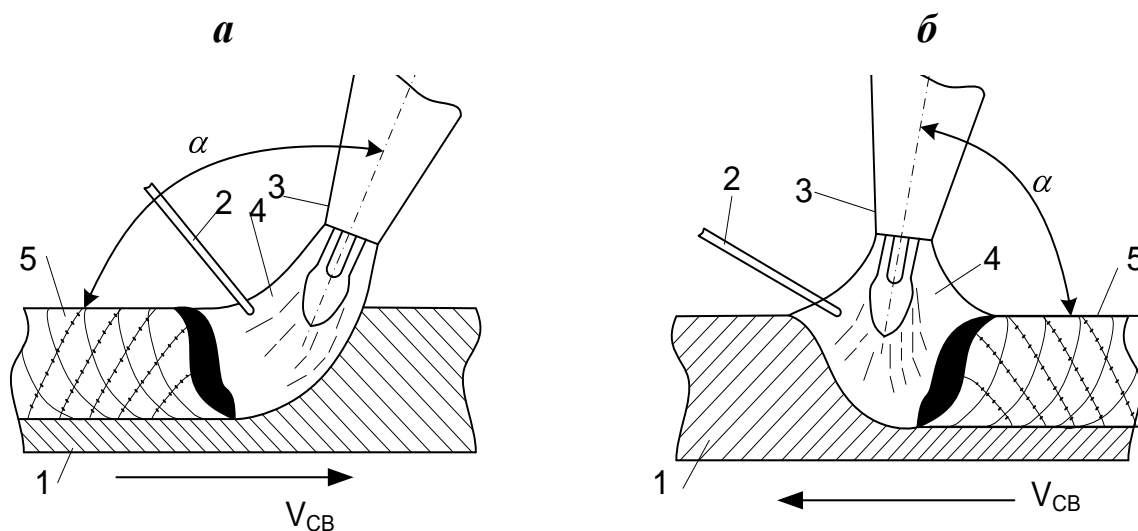


Рисунок 87 – Схема газовой сварки правым (а) и левым (б) способом:
 1 – свариваемый металл; 2 – присадочная проволока; 3 – горелка;
 4 – газовое пламя; 5 – сварной шов

Для сварки различных металлов требуется определенный вид пламени – нормальное, окислительное и науглероживающее.

Газосварщик регулирует и устанавливает вид сварочного пламени на глаз. При ручной сварке сварщик в правой руке держит горелку, а левой – присадочную проволоку.

Пламя горелки направляется так, чтобы свариваемые кромки находились в восстановительной зоне на расстоянии 2...6 мм от конца ядра. Конец проволоки должен находиться в восстановительной зоне или сварочной ванне.

Скорость нагрева регулируется изменением угла наклона мундштука к поверхности свариваемого металла (рис. 88, а). Величина угла выбирается в зависимости от толщины и рода свариваемого металла.

Чем толще металл и больше его теплопроводность, тем больше угол наклона мундштука, горелки к поверхности свариваемого металла.

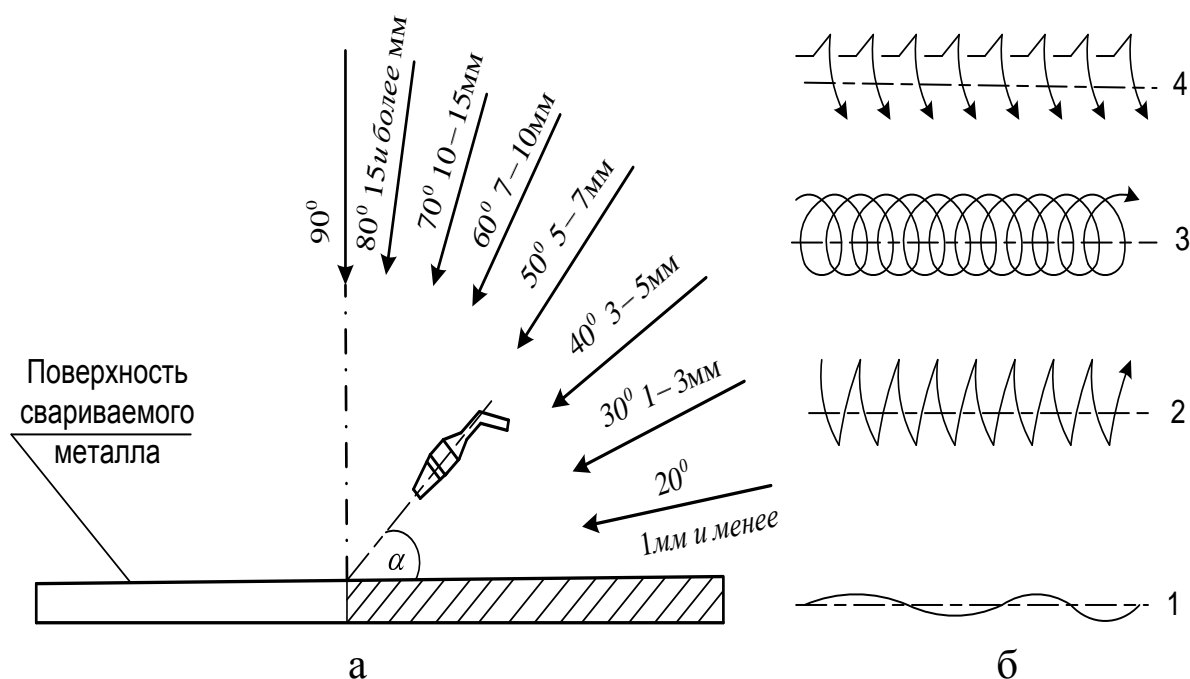


Рисунок 88 – Углы наклона мундштука горелки при сварке различных толщин (а) и способы перемещения мундштука горелки (б):
 1 – зигзагом (волнистый); 2 – полумесяцем; 3 – по спирали;
 4 – с задержкой в корне шва

В начале сварки для лучшего прогрева металла угол наклона устанавливают больше, затем по мере прогрева его уменьшают до величины, соответствующей данной толщине металла, а в конце сварки постепенно уменьшают, чтобы лучше заполнить кратер и предупредить пережог металла.

В процессе сварки газосварщик концом мундштука горелки совершает одновременно два движения; поперечное – перпендикулярно оси шва и продольное – вдоль оси шва.

Основным является продольное движение, поперечное служит для равномерного прогрева кромок основного и присадочного металла и получения шва необходимой ширины.

На рис. 89, б показаны способы перемещения мундштука горелки по шву. Способ 1 рекомендуется при сварке тонколистовой стали, способы 2 (полумесяцем) и 3 (по спирали) – при сварке металла средней толщины, способ 4 применяется в том случае, когда корень шва требует большего прогрева, чем кромки.

Присадочной проволокой можно совершать такие же колебательные движения, но в направлении, обратном движениям мундштука горелки.

Качество сварного соединения в значительной степени зависит от правильного выбора режима и техники выполнения сварки.

Важным показателем сварочного пламени является тепловая мощность. Мощность пламени горелки определяется расходом ацетилена в л/ч и регулируется наконечниками горелки. Мощность пламени выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла и его свойств.

Удельной мощностью пламени называется часовой расход ацетилена в литрах, приходящийся на 1 мм толщины свариваемого металла. Например, при сварке углеродистых и низколегированных сталей, чугуна, сплавов меди и алюминия удельная мощность пламени составляет 80...150 л/ч·мм, а при сварке меди, обладающей высокой теплопроводностью, удельную мощность выбирают 150...220 л/ч·мм.

Характер пламени также выбирают в зависимости от свариваемого металла. Например, при сварке чугуна и наплавке твердых сплавов применяют науглероживающее пламя, а при сварке латуни – окислительное.

Низкоуглеродистые стали хорошо свариваются с применением нормального пламени.

Среднеуглеродистые стали свариваются удовлетворительно, однако при сварке возможно образование в сварном шве и зоне термического влияния закалочных структур и трещин. Сварку выполняют слегка науглероживающим пламенем, так как даже при небольшом избытке в пламени кислорода происходит существенное выгорание углерода. Удельная мощность должна быть в пределах 80...100 л/ч·мм. Рекомендуются левый способ сварки, чтобы снизить перегрев металла.

В таблице 42 приведены основные технологические параметры газовой сварки сталей.

Диаметр присадочной проволоки d , мм, при сварке металла толщиной до 15 мм левым способом определяют по формуле

$$d = S / 2 + 1, \quad (63)$$

где S – толщина металла, мм.

При правом способе диаметр проволоки берут равным половине толщины свариваемого металла.

При сварке металла толщиной более 15 мм применяют проволоку диаметром 7...8 мм.

После газовой сварки можно рекомендовать проковку металла шва в горячем состоянии и затем нормализацию с температурой 800...900°C. При этом металл приобретает достаточную пластичность и мелкозернистую структуру.

Таблица 42 – Технологические параметры газовой сварки сталей

Свариваемые стали	Расход ацетилена, л/ч, на 1 мм толщины свариваемого металла	Сварочная проволока	Особенности технологии
1	2	3	4
Низкоуглеродистые (до 0,25 % С)	Левый способ 100–300 Правый способ 120–150	Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2 Св-10ГА	Флюс не требуется. При сварке заменителями ацетилена нужны проволоки Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-15ГЮ
Среднеуглеродистые	Левый способ 70–100	Св-18ХС, Св-06НЗ	Флюс не требуется. При толщине стали свыше 3 мм нужен подогрев: общий до 250...350 °С или местный до 650...700°С
Высокоуглеродистые (0,6 % С и более)	Левый способ 75	Св-18ХС, Св-06НЗ	Качественную сварку получают при толщине стали до 5-6 мм. Необходим общий подогрев до 250...300 °С в сочетании с местным до 650...700 °С. При содержании 0,7 % С и более требуется флюс – бура
Низколегированные конструкционные типа: 10ХСНД, 15ХСНД 25ХГСА	Левый способ 75–100 Правый способ 100–130	Св-08, Св-08А, Св-10Г2, Св-18ХГС, Св-8ХМА	Флюс не требуется
Теплоустойчивые стали типа 16М, 15ХМ, 12Х1МФ, 18Х3МВ, 40Х9С2	Левый способ 100	Св-08ХНМ, Св-10НМА, Св-18ХМА, Св-08ХМ	Флюс не требуется

Окончание табл. 42

1	2	3	4
Высоколегированные (хромистые и хромоникелевые)	Левый способ 70	Св-04Х18Н9 Св-06Х18Н9 Св-08Х18Н10В	<p>Необходим флюс. Его разводят в воде и в виде пасты наносят на кромки и обратную сторону шва за 15...20 мин до сварки. Аустенитные хромоникелевые стали сваривают быстро, без подогрева, околошовную зону защищают мокрым асбестом. Сразу после сварки необходимо охлаждение водой или сжатым воздухом. Качество соединений удовлетворительное при толщине стали до 2 мм. Стали типа Х13 сваривают с местным подогревом до 200...250 °С. Тонкий лист сваривают левым способом. Толстый (> 2 мм) только правым. Составы флюсов:</p> <ul style="list-style-type: none"> а) 80 % плавикового шпата; 20 % ферротитана; б) 50 % буры, 50 % борной кислоты; в) 80 % буры, 20% оксида кремния

КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА

Кислородная резка основана на свойстве металлов и их сплавов сгорать в струе технически чистого кислорода. Резке поддаются металлы, удовлетворяющие следующим основным требованиям:

1. Температура плавления металла должна быть выше температуры воспламенения его в кислороде. Металл, не отвечающий этому требованию, плавится, а не сгорает. Например, низкоуглеродистая сталь имеет температуру плавления 1500°C , а воспламеняется в кислороде при температуре $1300\dots 1350^{\circ}\text{C}$. Увеличение содержания углерода в стали сопровождается понижением температуры плавления и повышением температуры воспламенения. Поэтому резка стали с повышенным содержанием углерода и примесей затрудняется.

2. Температура плавления оксидов должна быть ниже температуры плавления самого металла, чтобы образующиеся оксиды легко выдувались и не препятствовали процессу резки. Например, при резке алюминия, температура плавления которого 660°C , образуются оксиды с температурой плавления 2050°C . Эти оксиды покрывают поверхность металла и прекращают дальнейший процесс резки.

3. Образующиеся шлаки должны быть достаточно жидкотекучими и легко выдвигаться из разреза.

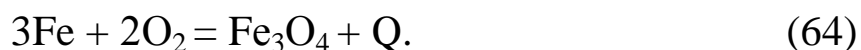
4. Теплопроводность металла должна быть наименьшей, так как при высокой теплопроводности теплота, сообщаемая металлу, интенсивно отводится от участка резки, и подогреть металл до температуры воспламенения будет трудно.

5. Количество теплоты, выделяющейся при сгорании металла, должно быть возможно большим. Эта теплота способствует нагреванию прилегающих участков металла и тем самым обеспечивает непрерывность процесса резки.

Различают два основных вида кислородной резки: разделительную и поверхностную.

Разделительную резку применяют для вырезки различного вида заготовок, раскроя листового металла, разделки кромок под сварку и других работ, связанных с разрезкой металла на части.

Сущность процесса заключается в том, что металл вдоль линии нагревают до температуры воспламенения его в кислороде, он сгорает в струе кислорода, а образующиеся оксиды выдуваются этой струей из места разреза:



Теплота от горения металла Q вместе с подогревающим пламенем разогревает лежащие слои и распространяется на всю толщину металла.

Поверхностную резку применяют для снятия поверхностного слоя металла, разделки канавок, удаления поверхностных дефектов и других работ.

Применяют два вида поверхностной резки – строжку и обточку.

При строжке резак совершает возвратно-поступательное движение, как строгальный резец. При обточке резак работает как токарный резец.

Основным оборудованием для кислородной резки являются резаки – ручные и машинные.

Резаки классифицируются по назначению – универсальные и специальные, по виду резки – для разделительной и поверхностной резки, по принципу смешения газов – инжекторные и безинжекторные.

Наибольшее применение получили универсальные инжекторные ручные резаки для разделительной резки (рис. 89). Они отличаются от сварочных горелок наличием отдельной трубки для подачи кислорода и особым устройством головки, состоящей из двух сменных мундштуков (наружного – для подогревающего пламени и внутреннего – для струи чистого кислорода). Ацетилен подается к ниппелю 1, а кислород – к ниппелю 2. От ниппеля 2 кислород идет по двум направлениям. Одна часть кислорода, как в обычных сварочных горелках, поступает в инжектор для образования горючей смеси, которая выходит через кольцевой зазор между внутренним и наружным мундштуком и создает подогревательное пламя. Другая часть кислорода по трубам 3 и 4 поступает в центральное отверстие внутреннего мундштука 5 и образует струю режущего кислорода.

В зависимости от применяемого горючего газа резаки бывают ацетиленовые, бензиновые (пары) с подогревом мундштука и пропановые с несколько большими отверстиями в мундштуке по сравнению с ацетиленовыми.

Основными параметрами режима кислородной резки являются мощность подогревающего пламени, давление и скорость резки (табл. 43).

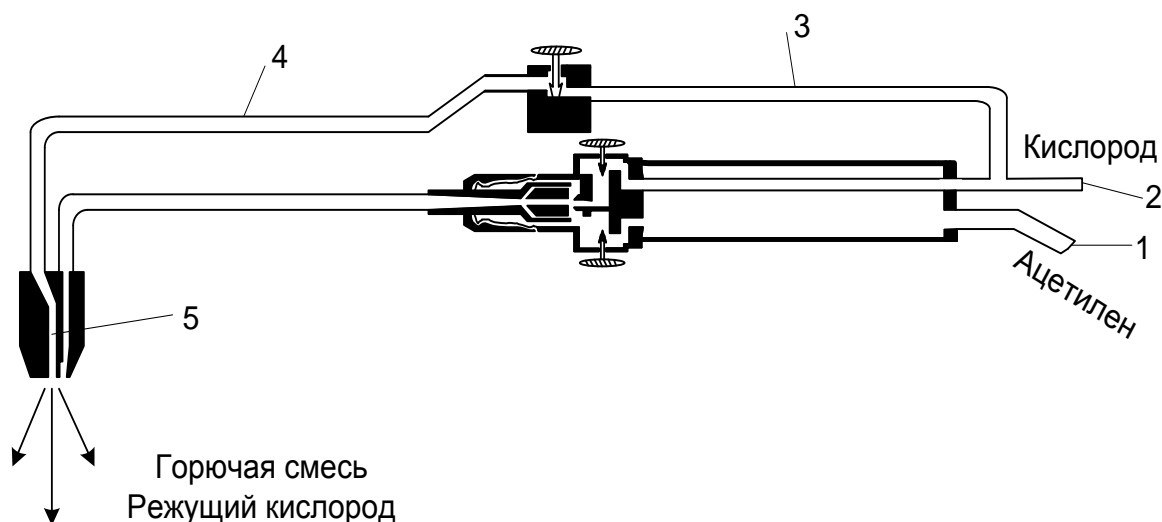


Рисунок 89 – Схема газокислородного резака:

1 – ниппель для подачи ацетилен; 2 – ниппель для подачи кислорода;
3, 4 – трубки для подачи кислорода; 5 – внутренний мундштук

Таблица 43 – Режимы ручной резки листового проката

Толщина разрезаемого металла, мм	Номер мундштука		Давление кислорода, Мпа	Примерная скорость резки, мм/мин
	наружного	внутреннего		
8...10	1	1	0,3	550...400
10...25	1	2	0,4	400...300
25...50	1	3	0,6	300...250
50...100	1	4	0,8	250...200
100...200	2	5	1,0	200...130
200...300	2	3	1,2	130...60

Скорость перемещения резака должна соответствовать скорости горения металла.

Процесс резки вызывает изменение структуры, химического состава и механических свойств металла.

Механические свойства низкоуглеродистой стали при резке почти не изменяются. Стали с повышенным содержанием углерода, онганца, хрома и молибдена закаливаются, становятся более твердыми и могут давать трещины в зоне резания.

При содержании в стали хрома до 5 % резка возможна только с предварительным подогревом. Нержавеющие хромистые и хромоникелевые стали, чугуны, цветные металлы и их сплавы не поддаются обычной кислородной резке, так как не удовлетворяют приведенным в начале раздела требованиям.

Для этих металлов применяют кислородно-флюсовую резку, сущность которой заключается в следующем. В зону резания с помощью специальной аппаратуры непрерывно подается порошкообразный флюс, при сгорании которого выделяется дополнительная теплота, и повышается температура места разреза. Кроме того, продукты сгорания флюса реагируют с тугоплавкими оксидами и дают жидкотекучие шлаки, легко вытекающие из места разреза.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ДЕЙСТВИЯ СТУДЕНТА

1. Подготовить сварочный пост к работе.
2. Произвести зажигание сварочной горелки при различных соотношениях газа и кислорода:
 - а) при подаче только газа;
 - б) при минимальной подаче газа и кислорода.
3. При различной подаче газа и кислорода оценить различные виды пламени и отработать с соответствующей регулировкой оптимальный вариант.
4. Сварить две пластинки встык, охладить, зажать одну из пластин в тиски, а другую поворачивать (изгибать) в сторону сварочного шва на угол 45° от вертикали. Число изгибов до полного излома зафиксировать в таблице 44.
5. Произвести зажигание резака и отработать оптимальный вариант.
6. Произвести пробную резку металла, результаты занести в таблицу 45.

Таблица 44 – Результаты опыта при газовой сварке

Но- мер опы- та	Тип горел- ки	Номер нако- нечника	Давление кислорода		Давление горючего газа		Толщина свари- ваемого металла, мм	Диа- метр присад. прово- локи, мм	Число циклов (изги- бов) до излома
			в бал- лоне, Мпа	в го- релке, Мпа	в бал- лоне, Мпа	в го- релке, Мпа			

Таблица 45 – Результаты опыта при кислородной резке

Номер опыта	Тип резака	Давление кислорода, Мпа		Давление горючего газа, Мпа		Толщина разрезаемого металла, мм	Длина разрезаемого участка, мм	Ширина разреза, мм
		в баллоне	в резаке	в баллоне	в резаке			

Таблица 46 – Перечень индивидуальных заданий студентам

Вариант	Конкретные условия сварки
1	Сталь 10, s = 2 мм
2	Сталь 10, s = 6 мм
3	Сталь 15, s = 3 мм
4	Сталь 15, s = 8 мм
5	Сталь 15, s = 16 мм
6	Сталь 20, s = 4 мм
7	Сталь 20, s = 0,5 мм
8	Сталь 25, s = 20 мм
9	Сталь 45, s = 4 мм
10	Сталь 65, s = 3 мм
11	Сталь 80, s = 6 мм
12	Сталь 25ХГСА, s = 4 мм
13	Сталь 10ХСНД, s = 6 мм
14	Сталь 15ХСНД, s = 3 мм
15	Сталь 20Х13, s = 1 мм
16	Сталь 30Х13, s = 3 мм
17	Чугун СЧ15, s = 4 мм
18	Чугун СЧ20, s = 6 мм
19	Латунь Л60, s = 5 мм

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Описать область применения газовой сварки, ее достоинства и недостатки.
2. Описать область применения кислородной резки металла.

3. Вычертить и описать схему газосварочного поста.
4. Заполнить таблицы результатов опытов (см. табл. 44, 45).
5. По индивидуальному заданию (марка и толщина свариваемого материала) (см. табл. 46) определить вид горелки и номер накопника, способ сварки, диаметр и марку присадочной проволоки, технологические особенности сварки (вид пламени, удельную мощность пламени, потребность во флюсе и др.).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные типы ацетиленовых генераторов по способу взаимодействия CaC_2 с водой.
2. Для каких целей устанавливается водяной затвор в ацетиленовом генераторе?
3. Что называется удельной мощностью пламени газовой горелки?
4. Назовите основные виды сварочного пламени.
5. Как влияет содержание углерода и легирующих примесей на свариваемые стали?
6. Назовите основные способы газовой сварки.
7. Можно ли производить кислородную резку углеродистых и легированных сталей, чугуна, алюминия?
8. Чем отличаются друг от друга резаки ацетиленовый, бензиновый и пропановый?
9. Чем отличается конструкция резака от конструкции газовой горелки?

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Домашнее задание «Проектирование технологического процесса ручной дуговой сварки» выполняется с целью более глубокого усвоения теоретического курса «Технология конструкционных материалов». В ходе выполнения задания студенты должны научиться пользоваться специальной справочной литературой, практически освоить методику разработки технологического процесса ручной дуговой сварки различных сварных соединений из углеродистых и легированных сталей.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Сварка является одним из наиболее распространенных процессов как в машиностроении, строительстве, так и в сельскохозяйственном производстве. После принятого конструкторского решения следует разработка технологического процесса сварки.

Исходными данными принятого конструкторского решения являются:

1. Марка материала, из которого будет изготовлено изделие.
2. Толщина материала.
3. Вид сварного соединения и шва.
4. Длина шва.
5. Количество деталей в партии.

Задачей технолога по разработке технологического процесса является решение следующих вопросов:

1. Определить свариваемость заданных материалов.
2. Выбрать оптимальный вид сварки для заданного шва и партии деталей.
3. Определить диаметр электрода и выбрать его тип и марку.
4. Определить силу тока для сварки.
5. Выбрать источник питания сварочной дуги и вспомогательное оборудование сварочного поста.
6. Определить число проходов для получения сварного соединения.
7. Определить массу наплавленного металла при сварке одной детали.

8. Определить расход электродов.
9. Определить основное и полное время, необходимое для выполнения сварочных работ.
10. Определить расход электроэнергии на изготовление всей партии деталей.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

1. Для определения свариваемости материала необходимо прежде всего определить его химический состав. По химическому составу и на основе сведений, полученных из лекций и литературы, определить свариваемость этого материала.

2. По виду сварного соединения и шва и на основе сведений, полученных из лекций и литературы, выбрать оптимальный экономически целесообразный вид сварки.

3. Диаметр электрода зависит от толщины свариваемого металла, типа сварного соединения, положения шва в пространстве, размеров детали, состава свариваемого металла.

Выбор диаметра электрода при сварке в нижнем положении производят, руководствуясь данными таблицы 47.

Таблица 47 – Зависимость диаметра электрода от толщины свариваемого металла

Толщина металла, мм	0,5...1,5	1,5...3,0	3,0...5,0	6,0...8,0	9,0...12,0	13,0...20,0
Диаметр электрода, мм	1,5...2,0	2,0...3,0	3,0...4,0	4,0...5,0	4,0...6,0	5,0...6,0

Иногда для определения диаметра электрода используют формулу (55).

Если по расчету получается диаметр больше 6 мм, то необходимо все-таки ограничиться диаметром 6 мм, поскольку промышленность выпускает, как правило, электроды диаметром не более 6 мм.

Если по расчету получилось значение меньше табличного, то оно округляется до ближайшего стандартного (типового) значения диаметра электрода.

Тип и марку электрода для заданного металла выбирают по справочнику. Некоторые сведения приведены в таблице 48.

Таблица 48 – Некоторые типы и марки электродов, применяемых при ручной дуговой сварке

Назначение электрода	Тип	Марка	Род тока и полярность
Для сварки конструкций из тонколистовых углеродистых сталей	Э-42	ОМА-2	Постоянный и переменный
Для сварки ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей	Э-42	АНО-5	Постоянный и переменный
Для сварки ответственных строительных металлоконструкций из углеродистых и низколегированных сталей	Э-46	АНО-3 АНО-4 ОЗС-4 МР-3	Постоянный и переменный, переменный, постоянный обратной полярности
Для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей	Э-46	ОЗС-6 ОЗС-12 РБУ-4	Постоянный и переменный
Для сварки ответственных конструкций из низко- и среднеуглеродистых, низколегированных сталей, используемых в конструкциях Севера	Э-50 Э-50А	ВСЦ-4 УОНИ-13 / 55	Постоянный, любой полярности Постоянный, обратной полярности
Для сварки ответственных конструкций из низколегированных сталей типа 14ХГС и 15ХСНД	Э-50	ДСК-50 К-5А	Постоянный и переменный
Для сварки коррозионно-стойких сталей	Э-07Х20Н9 Э-12Х13	ОЗЛ-8 УОНИ-13/85	Постоянный Постоянный обратной полярности
Для сварки жаростойких сталей	Э-28Х24Н16Г6 Э-08Х20Н9Г2	ОЗЛ-9А ЦТ-15-1	Постоянный Постоянный

8. . Для подбора сварочного тока используют зависимости:

$$I_{св} = k \cdot d_{э}, \quad (65)$$

или

$$I_{св} = d_{э} (20 + 6d_{э}), \quad (66)$$

где $I_{св}$ – сила сварочного тока, А;

k – коэффициент, зависящий от диаметра электрода и вида покрытия (коэффициент плотности тока), А / мм (табл. 49).

Таблица 49 – Зависимость коэффициента плотности тока от диаметра электрода

Диаметр электрода, мм	1...2	3...4	5...6
Коэффициент плотности тока, А / мм	25...30	30...45	45...60

Повышенные значения коэффициента принимают при сварке в нижнем положении, пониженные – при сварке в вертикальном, горизонтальном на вертикальной плоскости и потолочном положениях.

5. Источник питания сварочной дуги выбирают по типу электрода и силе сварочного тока. Если выбранным электродом можно варить переменным и постоянным током, то выбирают источник питания переменного тока, так как он наиболее простой по конструкции, более дешевый и надежный. Если выбранный тип электрода предполагает только постоянный ток, то нужно выбирать и аналогичный источник.

Характеристики некоторых источников питания приведены в таблицах 50 и 51.

Вспомогательное оборудование – кабина, стол или манипулятор, щитки с соответствующим стеклом, электрододержатель, сварочные провода (кабели) – выбираются на основе сведений, полученных из лекций и справочников.

Таблица 50 – Технические характеристики сварочных трансформаторов для ручной дуговой сварки

Параметр	ТД-102У2	ТД-306У2	ТДМ-317У2	ТДМ-401У2	ТДМ-503У2
Номинальный сварочный ток, А	160	250	315	400	500
Пределы регулирования сварочного тока, А	60...175	100...300	60...360	80...460	230...580
Номинальное рабочее напряжение, В	26,4	30	32,6	36	40
Напряжение холостого хода, В	80	80	80	80	75
Номинальная потребляемая мощность, кВт · А	11,4	19,4	21	27	36
Масса, кг	37	67	130	145	175

Таблица 51 – Технические характеристики выпрямителей
для дуговой сварки

Параметр	ВД-201У3	ВД-306У3	ВД-401У3	ВДУ-505У3
Номинальный сварочный ток, А	200	315	400	500
Пределы регулирования сварочного тока, А	30...200	45...315	50...450	60...500
Номинальное рабочее напряжение, В	28	32	36	46
Напряжение холостого хода, В	64...71	61...70	80	85
Номинальная потребляемая мощность, кВ · А	15	24	32	40
Масса, кг	120	174	200	300

При сварке многопроходных швов стыковых соединений первый проход должен выполняться электродами диаметром не более 5 мм, чаще всего диаметром 4 мм, так как применение электродов большего размера не позволяет в необходимой степени проникнуть в глубину разделки для провара корня шва.

При сварке угловых и тавровых соединений, как правило, за один проход выполняют швы катетом не более 8-9 мм. При необходимости выполнения шва с большим катетом применяется сварка за два прохода и более.

8. . При определении *числа проходов* следует иметь в виду, что максимальное поперечное сечение металла, наплавленного за один проход, не должно превышать 30...40 мм².

Для определения числа проходов при сварке *угловых и тавровых соединений* общая площадь поперечного сечения наплавленного металла может быть вычислена по формуле

$$F_H = k_y \cdot \frac{k_{ш}^2}{2}, \quad (67)$$

где F_H – площадь поперечного сечения наплавленного металла, мм²;
 k_y – коэффициент увеличения, учитывающий наличие зазоров и выпуклость (усиление) шва;

$k_{ш}$ – катет шва, мм.

Значение k_y выбирают в зависимости от катета шва (табл. 52).

Таблица 52 – Зависимость коэффициента увеличения от катета шва

Катет шва $\kappa_{ш}$, мм	3...4	5...6	7...10	12...20	20...30	> 30
Коэффициент увеличения, κ_y	1,5	1,35	1,25	1,15	1,10	1,05

Катет шва определяют расчетным путем из условия прочности, хотя в этом не всегда есть необходимость. Когда расчет не делают, то размеры катета при сварке без разделки шва принимают исходя из условия:

$$\kappa_{ш} = S + (1...2 \text{ мм}). \quad (68)$$

Для определения числа проходов при сварке швов *стыковых соединений* необходимо рассчитывать общую площадь поперечного сечения наплавленного металла, которая определяется суммой площадей элементарных площадок (рис. 90).

$$F_H = 2F_1 + F_2 + F_3. \quad (69)$$

Определение F_1 и F_2 не представляет сложности при известных параметрах разделки шва и свариваемых деталей.

Площадь F_3 приблизительно можно определить по формуле

$$F_3 = k_B \cdot e \cdot g, \quad (70)$$

где e – ширина валика, мм;

g – высота валика, мм;

k_B – коэффициент полноты валика (практически имеет значение 0,73).

Ширина валика e определяется при сварке без разделки шва и без поперечного колебания электрода из размера принятого диаметра электрода:

$$e = d_y + (4...6 \text{ мм}). \quad (71)$$

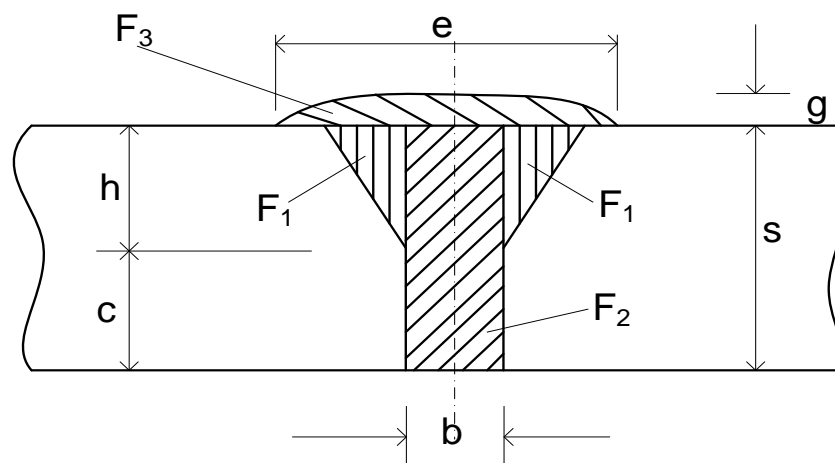


Рисунок 90 – Схема стыкового соединения с разделкой кромок

При сварке с поперечным колебанием электрода:

$$e = (2...3) \cdot d_э. \quad (72)$$

При разделке шва:

$$e = b + (4...6 \text{ мм}), \quad (73)$$

где b – ширина разделки шва, мм.

Высоту g усиления шва можно определить по коэффициенту формы усиления (отношения ширины валика к высоте усиления), который находится в пределах от 7 до 10.

Зная общую площадь поперечного сечения наплавленного металла и площади поперечного сечения наплавленного металла при первом и каждом последующем проходах, находят число проходов n):

$$n = \frac{F_n - F_1}{F_2} + 1. \quad (74)$$

7. Массу наплавленного металла B_M определяют по формуле

$$B_M = F_H \cdot L_{ш} \cdot \rho, \quad (75)$$

где F_H – площадь поперечного сечения наплавленного металла, см²;

$L_{ш}$ – длина шва, см;

ρ – плотность наплавленного металла (для стали 7,9 г / см³).

8. Расход электродов $B_э$ подсчитывается с учетом потерь от окислы стержня электродов:

- огарки – 10...15 %;

- угар и разбрызгивание – 5...10 %;

- шлакообразование (для электродов со стабилизирующим покрытием – 2...6 % и для качественных электродов – 18...35 %).

Таким образом, в среднем для стабилизирующих электродов коэффициент потерь $K_{п}$ равен 0,17...0,31, а для качественных электродов 0,33...0,60.

$$B_э = B_M \cdot (1 + K_{п}), \quad (76)$$

где $K_{п}$ – коэффициент потерь.

8. . Основное время, то есть время горения дуги и плавления электрода, рассчитывается по формуле

$$T_o = \frac{B_M}{\alpha \cdot I_{св}} \cdot A \cdot m, \quad (77)$$

где B_M – масса наплавленного металла, г;

α – коэффициент наплавки, г/А·ч;

$I_{св}$ – величина сварочного тока, А;

A – коэффициент, учитывающий длину шва (при длине шва 1 м $A = 1,0$; при длине 200 м $A = 1,2$);

m – коэффициент, учитывающий положение шва в пространстве (для нижнего шва $m = 1,0$; для вертикального шва $m = 1,3$; для онстлочного шва $m = 1,6$).

Коэффициент наплавки зависит от марки электрода (табл. 53).

Таблица 53 – Зависимость коэффициента наплавки от марки электрода

Марка электрода	Коэффициент наплавки (α), г/А·ч	Коэффициент перехода металла в шов
ЦМ-7	11,0	0,90
ЦП-7С	11,5...12,5	0,90
ОММ-5	7,25	0,80
МР-3	9,0	0,80
УОНИ-13 / 45	9,0	0,95
К-5	9,0	0,73
УКР	10,7	1,04
АНО-11	10,5	1,03

Полное время на выполнение сварочных работ определяется по формуле

$$T_{\Pi} = T_{O} + T_{B} + T_{Доп} + T_{ПЗ}, \quad (78)$$

где T_{B} – вспомогательное время (на установку и повороты детали в процессе сварки). Принимается равным $0,1 T_{O}$;

$T_{Доп}$ – дополнительное время (на уход за сварочным оборудованием, отдых, производственную гимнастику), принимается равным $(0,08...0,12) \cdot (T_{O} + T_{B})$;

$T_{ПЗ}$ – подготовительно-заключительное время (на получение нарядов, инструмента, подготовку оснастки), принимают равным $(0,15...0,20) T_{O}$.

8. . Расход электроэнергии W на выполнение сварочных работ определяется по формуле

$$W = \frac{U_{д} \cdot I_{св} \cdot T_{O}}{\eta \cdot 1000} + P_{хх} (T_{\Pi} - T_{O}), \quad (79)$$

где η – КПД источника питания дуги при нагрузках, близких к номинальным (для сварочного трансформатора $\eta = 0,80...0,90$; для сварочного генератора $\eta = 0,30...0,60$);

P_{XX} – мощность холостого хода источника питания дуги (для трансформатора $P_{XX} = (0,2 \dots 0,4)$ кВ·А, для генератора $P_{XX} = (2,5 \dots 4,0)$ кВ·А);

U_0 – напряжение сварки, В.

Напряжение сварки определяется по формуле

$$U_d = \alpha + \beta \cdot l_d, \quad (80)$$

где α – коэффициент, по своей физической сущности составляющий сумму падений напряжений в катодной и анодной зонах, приблизительно равный 10...12 В;

β – коэффициент, выражающий среднее падение напряжения на единицу длины дуги, равный 2,0...3,0 В / мм;

l_d – длина дуги, мм.

Среднее значение длины дуги можно определить из выражения

$$l_d \approx 0,5 (d_s + 2). \quad (81)$$

В конце выполненного задания студент должен привести список использованной литературы.

Примерный перечень вариантов домашнего задания приведен в таблице 54.

Таблица 54 – Перечень вариантов домашнего задания

№ п/п	Тип сварочного соединения	Марка стали	Толщина свариваемой заготовки, мм	Длина свариваемого шва, мм
1	2	3	4	5
1	Стыковое с отбортовкой кромок	08X20H14C2	1	400
2	Стыковое с отбортовкой кромок	20X23H18	1,5	450
3	Стыковое с отбортовкой кромок	08X18H10	2	380
4	Стыковое с отбортовкой кромок	12X18H9T	2,5	350
5	Стыковое с отбортовкой кромок	9X14A	3	320
6	Стыковое без скоса кромок	12X14A	2	300
7	Стыковое без скоса кромок	15XCHД	3	270
8	Стыковое без скоса кромок	12X2H4A	4	250
9	Стыковое без скоса кромок	15XHM	5	230
10	Стыковое со скосом одной кромки	15X	9	150

Продолжение табл. 54

1	2	3	4	5
11	Стыковое со скосом одной кромки	20Х	10	140
12	Стыковое со скосом одной кромки	20ХГСА	11	130
13	Стыковое со скосом одной кромки	12ХН2	12	120
14	Стыковое со скосом одной кромки	5НМ	15	100
15	Стыковое с двумя симметричными скосами одной кромки	ВСт1кп	12	180
16	Стыковое с двумя симметричными скосами одной кромки	ВСт2пс	15	170
17	Стыковое с двумя симметричными скосами одной кромки	ВСт3пс	16	160
18	Стыковое с двумя симметричными скосами одной кромки	ВСт2кп	50	100
19	Стыковое со скосом двух кромок	ВСт2пс	8	300
20	Стыковое со скосом двух кромок	ВСт2сп	11	280
21	Стыковое со скосом двух кромок	ВСт3кп	14	270
22	Стыковое со скосом двух кромок	ВСт3пс	17	250
23	Стыковое со скосом двух кромок	ВСт4кп	25	220
24	Стыковое со скосом двух кромок	ВСт5пс	30	210
25	Стыковое со скосом двух кромок	ВСт5сп	40	190
26	Стыковое с криволинейным скосом двух кромок	ВСт5сп	50	130
27	Стыковое с криволинейным скосом двух кромок	ВСт5пс	60	120
28	Стыковое с криволинейным скосом двух кромок	ВСт4пс	70	110

Продолжение табл. 54

1	2	3	4	5
29	Стыковое с криволинейным скосом двух кромок	ВСт4сп	80	100
30	Стыковое с криволинейным скосом двух кромок	ВСт3пс	90	90
31	Угловое без скоса кромок	08	2	400
32	Угловое без скоса кромок	08кп	3	420
33	Угловое без скоса кромок	08пс	4	380
34	Угловое без скоса кромок	10	5	360
35	Угловое без скоса кромок	10кп	6	320
36	Угловое со скосом одной кромки (шов односторонний)	10пс	4	300
37	Угловое со скосом одной кромки (шов односторонний)	15кп	10	260
38	Угловое со скосом одной кромки (шов односторонний)	18кп	13	250
39	Угловое со скосом одной кромки (шов односторонний)	20	16	200
40	Угловое со скосом одной кромки (шов односторонний)	20пс	22	160
41	Угловое со скосом одной кромки (шов односторонний)	35	18	100
42	Угловое со скосом двух кромок (шов односторонний)	40	12	90
43	Угловое со скосом двух кромок (шов односторонний)	45	14	80
44	Угловое со скосом двух кромок (шов односторонний)	50	17	70
45	Угловое со скосом двух кромок (шов односторонний)	35	24	50
46	Угловое со скосом двух кромок (шов односторонний)	20кп	38	15
47	Угловое со скосом двух кромок (шов односторонний)	10пс	50	20
48	Угловое со скосами одной кромки (шов двусторонний)	10кп	12	150
49	Угловое со скосами одной кромки (шов двусторонний)	10	15	130
50	Угловое со скосами одной кромки (шов двусторонний)	40Х	30	80
51	Угловое со скосами одной кромки (шов двусторонний)	55	33	70

Продолжение табл. 54

1	2	3	4	5
52	Угловое со скосами одной кромки (шов двусторонний)	60	36	60
53	Угловое со скосами одной кромки (шов двусторонний)	22К	56	10
54	Угловое со скосами одной кромки (шов двусторонний)	20К	60	5
55	Тавровое без скоса кромок (шов односторонний)	09Г2	2	300
56	Тавровое без скоса кромок (шов односторонний)	14Г2	3	290
57	Тавровое без скоса кромок (шов односторонний)	12ГС	6	280
58	Тавровое без скоса кромок (шов односторонний)	16ГС	10	270
59	Тавровое без скоса кромок (шов односторонний)	15Г2АФ	15	230
60	Тавровое без скоса кромок (шов односторонний)	18Г2АФ	17	210
61	Тавровое без скоса кромок (шов односторонний)	14ХГС	20	190
62	Тавровое без скоса кромок (шов односторонний)	15Г2АФД	23	170
63	Тавровое без скоса кромок (шов односторонний)	20ХГ2Д	27	150
64	Тавровое с двумя скосами одной кромки (шов двусторонний)	20Г	12	105
65	Тавровое с двумя скосами одной кромки (шов двусторонний)	40Г	14	100
66	Тавровое с двумя скосами одной кромки (шов двусторонний)	14ГС	20	90
67	Тавровое с двумя скосами одной кромки (шов двусторонний)	35Г2	23	85
68	Тавровое с двумя скосами одной кромки (шов двусторонний)	40Г2	28	75
69	Тавровое с двумя скосами одной кромки (шов двусторонний)	18ХГТ	33	65

Продолжение табл. 54

1	2	3	4	5
70	Тавровое с двумя скосами одной кромки (шов двусторонний)	18ХГР	35	60
71	Тавровое с двумя скосами одной кромки (шов двусторонний)	40ХФА	42	45
72	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	12ХН3А	27	65
73	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	25ХГСА	30	60
74	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	30ХГС	34	55
75	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	30ХГСА	38	50
76	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	35ХГСА	40	45
77	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	30ХМ	43	40
78	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	35ХМ	46	35
79	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	38ХМА	50	30
80	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	14Г2МР	53	20
81	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	20ХН	55	15
82	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	40ХН	50	10
83	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	45ХН	17	80
84	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	20ХНР	20	75
85	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	12ХН2	23	70
86	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	12ХН3А	27	65
87	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	12Х2Н4А	30	60
88	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	30ХН3А	34	55

1	2	3	4	5
89	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	20ХН3А	38	50
90	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	20Х2Н4А	40	45
91	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	38ХГН	46	40
92	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	20ХГНР	43	50
93	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	30ХГСН2А	50	30
94	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	20ХН2М	55	15
95	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	30ХН2МА	58	10
96	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	38Х2Н2МА	60	5
97	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	40Х2Н2МА	35	25
98	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	38Х2МЮА	40	25
99	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	35ХН1М2ФА	45	20
100	Соединение внахлестку (шов двусторонний)	30ХН2МФА	50	10

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ IV

1. **Обозначение электродов с тонким покрытием:**

- а) Г;
- б) Д;
- в) М;
- г) С.

2. **Обозначение электродов с кислым покрытием:**

- а) А;
- б) Б;
- в) Р;
- г) Ц.

3. **Обозначение электродов со средним покрытием:**

- а) Г;
- б) Д;
- в) М;
- г) С.

4. **Обозначение электродов с основным покрытием:**

- а) А;
- б) Б;
- в) Ж;
- г) Р.

5. **Обозначение электродов с толстым покрытием:**

- а) Г;
- б) Д;
- в) М;
- г) С.

6. **Обозначение электродов с рутиловым покрытием:**

- а) А;
- б) Б;
- в) Р;
- г) Ц.

7. Обозначение электродов с особо толстым покрытием:

- а) Г;
- б) Д;
- в) М;
- г) С.

8. Обозначение электродов с целлюлозным покрытием:

- а) А;
- б) Б;
- в) Р;
- г) Ц.

9. Сварка плавлением, при которой нагрев свариваемых кромок осуществляется теплотой электрической дуги:

- а) дуговая сварка;
- б) диффузионная;
- в) контактная;
- г) ультразвуковая.

10. Сварка, которая относится к термомеханическому классу:

- а) диффузионная;
- б) плазменная;
- в) ультразвуковая;
- г) электрошлаковая.

11. Сварка, которая относится к термическому классу:

- а) диффузионная;
- б) взрывом;
- в) контактная;
- г) плазменная.

12. Сварка, которая относится к механическому классу:

- а) газовая;
- б) индукционная;
- в) ультразвуковая;
- г) электронно-лучевая.

13. Вид соединения, при котором торец одного элемента примыкает к поверхности другого элемента сварной конструкции под некоторым углом (чаще всего под прямым):

- а) нахлесточное;
- б) стыковое;
- в) тавровое;
- г) угловое.

14. Вид соединения, которое применяются в сварных конструкциях из листового металла и при стыковке уголков, швеллеров, двутавров и труб:

- а) нахлесточное;
- б) стыковое;
- в) тавровое;
- г) угловое.

15. Вид соединения, которое осуществляется взаимным перекрытием кромок свариваемых изделий:

- а) нахлесточное;
- б) стыковое;
- в) тавровое;
- г) угловое.

16. Вид соединения, которое широко применяют при дуговой сварке балок, колонн, стоек, каркасов ферм и других конструкций:

- а) нахлесточное;
- б) стыковое;
- в) тавровое;
- г) угловое.

17. Вид соединения, которое применяют при сварке различных коробчатых изделий, резервуаров и емкостей из металла толщиной 1...100 мм:

- а) нахлесточное;
- б) стыковое;
- в) тавровые;
- г) угловое.

18. Процесс удаления из жидкой сварочной ванны окислов:

- а) легирование;
- б) окисление;
- в) раскисление;
- г) рафинирование.

19. Процесс повышения механических свойств сварного шва и пополнения выгоревших при сварке элементов основного металла:

- а) легирование;
- б) окисление;
- в) раскисление;
- г) рафинирование.

20. Процесс очищения сварного шва от серы и фосфора:

- а) легирование;
- б) окисление;
- в) раскисление;
- г) рафинирование.

21. Основной недостаток автоматической сварки под флюсом:

- а) низкая производительность;
- б) ограниченная маневренность;
- в) плохое качество сварного шва;
- г) повышенный расход электроэнергии.

22. Электрод, который применяется в дуговой сварке по Бенардосу:

- а) биметаллический;
- б) металлический;
- в) комбинированный;
- г) угольный.

23. Электрод, который применяется в дуговой сварке по Славянову:

- а) биметаллический;
- б) металлический;
- в) комбинированный;
- г) угольный.

24. Рабочая жидкость плазмотрона «Мультиплаз-2500» при резке металлов и сплавов:

- а) ацетон;
- б) вода;
- в) керосин;
- г) спиртовой раствор.

25. Рабочая жидкость плазмотрона «Мультиплаз-2500» при сварке и пайке металлов и сплавов:

- а) ацетон;
- б) вода;
- в) керосин;
- г) спиртовой раствор.

26. Устройство, которое регулирует заданное давление и расход газа при газовой сварке:

- а) шланг;
- б) горелка;
- в) пружина редуктора;
- г) электрод.

27. Газ, при сжигании которого в кислороде достигается максимальная температура сварочного пламени:

- а) ацетилен;
- б) бензин;
- в) бутан;
- г) пропан.

28. Сплав, из которого изготавливают вентиль кислородного баллона:

- а) бронза;
- б) латунь;
- в) дуралюмин;
- г) сталь.

29. Сплав, из которого изготавливают вентиль ацетиленового баллона:

- а) бронза;
- б) латунь;

- в) дуралюмин;
- г) сталь.

30. Соотношение ацетилена и кислорода в смеси в нормальном пламени газовой горелки:

- а) на один объем кислорода приходится один объем ацетилена;
- б) на один объем ацетилена приходится более 1,3 объема кислорода;
- в) на один объем ацетилена приходится не более 0,95 объема кислорода.

31. Соотношение ацетилена и кислорода в смеси в науглероживающем пламени газовой горелки:

- а) на один объем кислорода приходится один объем ацетилена;
- б) на один объем ацетилена приходится более 1,3 объема кислорода;
- в) на один объем ацетилена приходится не более 0,95 объема кислорода.

32. Соотношение ацетилена и кислорода в смеси в окислительном пламени газовой горелки:

- а) на один объем кислорода приходится один объем ацетилена;
- б) на один объем ацетилена приходится более 1,3 объема кислорода;
- в) на один объем ацетилена приходится не более 0,95 объема кислорода.

33. Вид пламени, который применяется при газовой сварке латуней:

- а) науглероживающее;
- б) нормальное;
- в) окислительное.

34. Свариваемость стали с увеличением содержания углерода:

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) содержание углерода в стали не влияет на свариваемость стали;
- г) сначала растет, потом уменьшается.

35. Тип ацетиленовых генераторов, в которых ацетилен получают путем периодической подачи карбида кальция в воду:

- а) ВВ;
- б) ВК;
- в) КВ;
- г) КВВ.

36. Тип ацетиленовых генераторов, в которых ацетилен получают путем соприкосновения карбида кальция с водой в зависимости от изменения уровня воды, находящейся в реакционном пространстве и периодически вытесняемой образовавшимся газом:

- а) ВВ;
- б) ВК;
- в) КВ;
- г) КВВ.

37. Разрушающий метод контроля качества сварных швов:

- а) внешний осмотр;
- б) гидравлическое испытание;
- в) металлографическое исследование;
- г) ультразвуковое исследование.

38. Способ пайки, при котором паяемый участок нагревают в индукторе:

- а) индукционная пайка;
- б) пайка в печах;
- в) пайка паяльником;
- г) пайка погружением.

39. Способ пайки, при котором пайку выполняют в ваннах с расплавленными солями или припоями:

- а) газопламенная пайка;
- б) пайка в печах;
- в) пайка паяльником;
- г) пайка погружением.

40. Процесс покрытия поверхности металлов тонким слоем припоя (оловом):

- а) легирование;
- б) лужение;

- в) раскисление;
- г) рафинирование.

41. Материал, который обеспечивает защиту сварного шва от вредного влияния окислительной атмосферы путем применения специальных электродов:

- а) защитный газ;
- б) обмазка электрода;
- в) присадочный материал;
- г) флюс.

42. Технологический процесс получения неразъемных соединений за счет межатомных и межмолекулярных сил связи:

- а) ковка;
- б) литье;
- в) прокатка;
- г) сварка.

43. Мощный стабильный разряд электричества в ионизированной атмосфере газов и паров металлов:

- а) ионизация;
- б) лазерный луч;
- в) поляризация;
- г) электрическая дуга.

44. Процесс соединения деталей нагревом их в месте контакта до пластического или жидкого состояния с применением сильного сжатия:

- а) контактная сварка;
- б) сварка взрывом;
- в) сварка трением;
- г) холоднопрессовая сварка.

45. Соединение металлических деталей в твердом состоянии с помощью расплавленного присадочного сплава (металла):

- а) диффузионная сварка;
- б) пайка;
- в) сварка;
- г) ультразвуковая сварка.

46. Материал, который применяют для очистки поверхности паяемого металла, а также для снижения поверхностного натяжения и улучшения растекания и смачиваемости жидкого припоя:

- а) легирующая добавка;
- б) припой;
- в) присадочная проволока;
- г) флюс.

47. Сталь, которая обладает наилучшей свариваемостью:

- а) высоколегированная;
- б) низкоуглеродистая;
- в) среднеуглеродистая;
- г) высокоуглеродистая.

48. Величина диаметра электрода при ручной дуговой сварке зависит:

- а) от источника питания;
- б) скорости перемещения электрода;
- в) толщины свариваемого металла;
- г) химического состава свариваемого металла.

49. Род тока, которым следует проводить дуговую сварку тонколистовых изделий:

- а) переменный;
- б) постоянный;
- в) постоянный обратной полярности;
- г) постоянный прямой полярности.

50. Род тока, которым следует проводить дуговую сварку высоколегированных сталей:

- а) переменный;
- б) постоянный;
- в) постоянный обратной полярности;
- г) постоянный прямой полярности.

51. Примесь в стали, которая способствует образованию в сварном шве горячих трещин:

- а) кремний;
- б) марганец;

- в) сера;
- г) фосфор.

52. Примесь в стали, которая снижает пластичность и способствует неоднородности металла сварного шва:

- а) кремний;
- б) марганец;
- в) сера;
- г) фосфор.

53. Вид сварки, при которой применяется электрическая дуга с жесткой вольтамперной характеристикой:

- а) ручная дуговая сварка;
- б) сварка в среде защитных газов;
- в) сварка под флюсом;
- г) электрошлаковая сварка.

54. Источник питания сварочной дуги постоянным током с независимым приводом:

- а) выпрямитель;
- б) генератор;
- в) преобразователь;
- г) трансформатор.

55. Источник питания сварочной дуги постоянным током с электрическим приводом:

- а) выпрямитель;
- б) генератор;
- в) преобразователь;
- г) трансформатор.

56. Источник питания сварочной дуги переменным током:

- а) выпрямитель;
- б) генератор;
- в) преобразователь;
- г) трансформатор.

57. Вид внешней вольтамперной характеристики источника питания, который применяется для ручной дуговой сварки:

- а) возрастающая;
- б) жесткая;
- в) крутопадающая;
- г) пологопадающая.

58. Вид сварки, при которой механизированы процессы подачи электродной проволоки, перемещения изделия вдоль свариваемого стыка и насыпка флюса:

- а) автоматическая сварка под слоем флюса;
- б) полуавтоматическая сварка под слоем флюса;
- в) ручная дуговая сварка;
- г) электрошлаковая сварка.

59. Устройство, которое служит для понижения высокого давления газа, поступающего из баллона до рабочего, и для поддержания этого давления постоянным в процессе сварки:

- а) вентиль;
- б) генератор;
- в) манометр;
- г) редуктор.

60. Цвет, в который окрашивают кислородные баллоны:

- а) белый;
- б) голубой;
- в) красный;
- г) черный.

61. Цвет, в который окрашивают ацетиленовые баллоны:

- а) белый;
- б) голубой;
- в) красный;
- г) черный.

62. Вид пламени, который применяется при газовой сварке бронз, алюминия, низкоуглеродистых сталей:

- а) науглероживающее;
- б) нормальное;
- в) окислительное.

63. Вид пламени, который применяется при газовой сварке чугунов:

- а) науглероживающее;
- б) нормальное;
- в) окислительное.

64. Сплав, который поддается кислородной резке:

- а) нержавеющая сталь;
- б) низкоуглеродистая сталь;
- в) сплав цветных металлов;
- г) чугун.

65. Устройство в ацетиленовых генераторах, которое служит для предохранения генератора от проникновения в него взрывной волны при обратном ударе пламени:

- а) водяной затвор;
- б) газосборник;
- в) карбидный осушитель;
- г) реторта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью изучения предлагаемого учебного пособия является приобретение и усвоение студентами, обучающимися по направлениям 35.03.06 – Агроинженерия, 15.03.02 – Технологические машины и оборудование, 21.03.02 – Землеустройство и кадастры (институтов инженерных систем и энергетики, пищевых производств, земельных кадастров и природообустройства), знаний о получении заготовок и фасонных деталей с помощью технологий горячей обработки металлов, а именно – литейного и сварочного производств, обработки металлов давлением.

Отдельная глава посвящена металлургическому производству. В ней описаны методы получения черных и цветных металлов и сплавов, наиболее широко применяемых как в сельскохозяйственном машиностроении, так и в электрооборудовании.

Учебное пособие обобщает результаты многолетней методической работы сотрудников кафедры общепрофессиональных дисциплин Красноярского государственного аграрного университета.

В работе сконцентрирован обширный материал различных источников, систематизирован и акцентирован для студентов, обучающихся по программам высшего образования вышеуказанных направлений.

В соответствии с современными требованиями к изложению научных основ учебных дисциплин фундаментальные вопросы теории выделены в пособии в самостоятельные разделы.

Учебное пособие содержит методические указания по выполнению пяти лабораторных работ и расчетной работы по проектированию технологического процесса ручной дуговой сварки.

В пособии обсуждаются вопросы, требующие закрепления полученных знаний при прохождении студентами последующих учебной и производственной технологических практик. Каждая глава содержит необходимые контрольные тесты для самопроверки знаний.

Использование студентами материалов, изложенных в пособии, позволит им не только овладеть общепрофессиональными компетенциями, но и целенаправленно подготовиться к успешной сдаче экзамена по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалов, В.Ф. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов / В.Ф. Беспалов, Н.М. Романченко. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2014. – 321 с.
2. Гуляев, А.П. Металловедение: учебник для вузов / А.П. Гуляев. – Москва: Металлургия, 1986. – 544 с.
3. Журавлева, Л.В. Электроматериаловедение: учебник / Л.В. Журавлева. – Москва: Академия, 2000. – 312 с.
4. Карпенко, В.Ф. Материаловедение. ТКМ: учебное пособие / В.Ф. Карпенко. – Москва: КолосС, 2006. – 311 с.
5. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – Москва: Высшая школа, 2007. – 533 с.
6. Кондратьев, Е.Т. Технология конструкционных материалов и материаловедение: учебник для вузов / Е.Т. Кондратьев. – Москва: Колос, 1992. – 320 с.
7. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосников, С.А. Вяткин [и др.]; под ред. В.Г. Сорокина. – Москва: Машиностроение, 1989. – 640 с.
8. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебное пособие для вузов / О.А. Масанский, В.С. Казаков, А.М. Токмин [и др.]. – Красноярск: Издательство Сибирского федерального университета, 2019. – 336 с.
9. Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин [и др.]; под ред. Г.П. Фетисова. – Москва: Высшая школа, 2006. – 638 с.
10. Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов [и др.]; под ред. Б.Н. Арзамасова. – Москва: Изд-во МГТУ, 2003. – 648 с.
11. Почкутов, С.И. Методические основы педагогического тестирования: учебное пособие / С.И. Почкутов, Е.Е. Савченко. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – 60 с.
12. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учебное пособие для вузов / С.С. Некрасов, А.М. Пономаренко, Г.К. Потапов [и др.]; под ред. С.С. Некрасова. – Москва: Колос, 1983. – 236 с.

13. Романченко, Н.М. Материалы и технологии в машиностроении: учебное пособие / Н.М. Романченко; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2018. – 364 с.

14. Технология конструкционных материалов: учебник для вузов / А.М. Дальский, И.А. Арутюнова, Т. М. Барсукова [и др.]; под ред. А.М. Дальского. – Москва: Машиностроение, 2003. – 664 с.

15. Чередниченко, В.С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебное пособие / В.С. Чередниченко. – 5-е изд., стер. – Москва: Омега-Л, 2009. – 752 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Metallургическое производство	5
Тема 1. Получение чугуна	5
1.1. Подготовка руды к доменной плавке	6
1.2. Устройство и работа доменной печи	8
Тема 2. Производство стали	11
Тема 3. Получение цветных металлов	14
3.1. Получение меди	14
3.2. Получение алюминия	19
Лабораторная работа № 1. Основные исходные материалы и продукты металлургического производства	22
Тестовые задания к главе I	40
Глава II. Литейное производство	47
Тема 4. Литье в песчано-глинистые формы	48
Тема 5. Специальные методы литья	54
Лабораторная работа № 2. Разработка элементов технологического процесса изготовления отливки в песчано-глинистых формах	67
Лабораторная работа № 3. Изготовление литейной формы по разъемной модели	76
Тестовые задания к главе II	83
Глава III. Обработка металлов давлением	89
Тема 6. Теоретические основы обработки металлов давлением	89
6.1. Пластическая и упругая деформация	89
6.2. Холодная и горячая обработка давлением	91
6.3. Нагрев металла перед обработкой давлением	93
Тема 7. Процессы обработки металлов давлением	96
7.1. Прокатка	97
7.2. Прессование	101
7.3. Волочение	103
7.4. Свободная ковка	104
7.5. Горячая объемная штамповка	109
7.6. Листовая штамповка	112
7.7. Нагревательные устройства	114
Лабораторная работа № 4. Оборудование, инструменты и технология свободной ковки	119
Тестовые задания к главе III	135
Глава IV. Сварочное производство	141

Тема 8. Электрическая дуговая сварка плавлением	143
8.1. Сварные соединения и швы	147
8.2. Металлургические процессы при сварке.....	152
8.3. Вольтамперная характеристика сварочной дуги	154
8.4. Источники питания сварочной дуги	155
Тема 9. Автоматическая сварка под флюсом.....	166
Тема 10. Плазменная сварка и резка металлов и сплавов.....	169
Тема 11. Газовая сварка и резка металлов и сплавов	175
Тема 12. Пайка металлов и сплавов	185
Лабораторная работа № 5. Технология и оборудование электрической дуговой сварки.....	193
Лабораторная работа № 6. Газовая сварка и резка металлов	209
Индивидуальное расчетное задание. Проектирование технологического процесса ручной дуговой сварки	236
Тестовые задания к главе IV	250
Заключение	262
Список литературы	263

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
Часть II. Технология конструкционных материалов

Учебное пособие

Электронное издание

Романченко Наталья Митрофановна

Редактор И.Н. Крицына

Подписано в свет 30.11.2021. Регистрационный номер 107
Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117
e-mail: rio@kgau.ru