

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

А.С. Орлов, Е.Г. Рубцова, И.Ю. Зиброва

Материаловедение и технология материалов

Лабораторный практикум

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
редакционно-издательским советом Воронежского государственного
архитектурно-строительного университета
для студентов, обучающихся по направлению 280100
«Безопасность жизнедеятельности»*

Воронеж 2011

УДК 669.01 (075.8)

ББК 34.2

О-664

Рецензенты:

*кафедра материаловедения и физики металлов
Воронежского государственного технического университета;
А.Н. Рощупкин, к.т.н., заместитель главного инженера ОАО
«Воронежское авиационное самолетостроительное объединение»*

Орлов, А.С.

О-664 **Материаловедение и технология материалов** : лаб. практикум / А.С. Орлов, Е.Г. Рубцова, И.Ю. Зиброва; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т.- Воронеж, 2011. - 108 с.

Рассмотрены микроструктура и свойства сплавов системы железо - углерод, классификация видов, теория и практика термической обработки сталей. Дана классификация и маркировка сталей, чугунов и цветных сплавов, применяемых в строительстве. Описаны основные способы сварки и резки металлов. Изложена методика выполнения лабораторных работ и контрольных заданий. Дан список рекомендуемой учебно-методической и нормативно-технической литературы.

Предназначен для студентов дневной формы обучения направления подготовки дипломированных специалистов по направлению 280100 «Безопасность жизнедеятельности»

Ил. 29. Табл. 30. Библиогр.: 31 назв.

УДК 669.01 (075.8)

ББК 34.2

ISBN 978-5-89040-357-5

© Орлов А.С., Рубцова Е.Г.
Зиброва И.Ю., 2011

© Воронежский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2011

Введение

Материаловедение и технология металлов – это наука о строении и свойствах материалов, применяемых в технике, способах их производства и обработки с целью получения деталей с заданными свойствами и конфигурацией.

Цель дисциплины – дать студентам необходимую общеинженерную подготовку, заложить основы знаний, необходимых как при работе на производстве, так и в научно-исследовательских и проектных институтах. Для успешного решения многих практических задач необходимы сведения о современных способах получения и обработки материалов, их свойствах и рациональных областях применения.

Задача дисциплины: формирование у будущих инженеров обобщенной системы знаний об особенностях строения и свойствах металлов и сплавов, их производства и рационального применения, обеспечивающих высокое качество и эксплуатационную надежность строительных конструкций.

Студенты должны знать:

- металлографические и измерительные микроскопы;
- нагревательные печи, оптические пирометры, электронные потенциометры.

Студенты должны иметь представление:

- о процессах кристаллизации металлов и сплавов;
- о диаграммах состояния сплавов;
- о дефектах строения кристаллов и их влиянии на свойства металлов и сплавов;
- о деформационном упрочнении и рекристаллизации;
- о закаливании, прокаливаемости и др. технологических свойствах;
- о теории легирования и принципиальных направлениях создания металлических материалов с особыми физико-механическими свойствами.
- о технологиях литейного, сварочного производства, обработки металлов давлением, механической обработки.

Студенты должны уметь:

- по техническим условиям на изготовление изделий обоснованно выбирать рациональные материалы и режимы упрочняющих технологий, назначить вид обработки, подобрать тип инструмента и оборудование и выбрать рациональную технологию обработки конструкционных материалов;
- по результатам микроскопического и макроскопического анализа определять фазовый, структурный состав сталей, чугунов и цветных сплавов и тенденции изменения их свойств при изменении структуры.

Лабораторная работа № 1
**ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ
«ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД (ЦЕМЕНТИТ)»**

1.1. Цели работы

Изучение микроструктуры и свойств сплавов в соответствии с диаграммой Fe-C (Fe_3C), в том числе: изучение микроструктуры сплавов с различным содержанием углерода в равновесном состоянии; установление взаимосвязи структуры и свойств сталей с диаграммой Fe-C (Fe_3C); изучение фазовых и структурных превращений при нагреве и охлаждении сплавов в соответствии с диаграммой Fe-C (Fe_3C).

1.2. Оборудование, приборы и материалы

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Твердомеры.
3. Набор микрошлифов сталей и чугунов.

1.3. Теоретические сведения

Диаграмма состояния железо-углерод (цементит) (рис. 1.1) является основой представления о строении наиболее распространенных в технике железоуглеродистых сплавов. Диаграмма строится в координатах температура – массовая доля углерода (цементита).

1.3.1. Компоненты, фазы и структурные составляющие диаграммы железо-углерод (цементит)

Компонентами называют вещества, образующие систему. В данном случае это **железо (Fe)** и **углерод (C)** или **цементит (Fe_3C)**.

Фазой называется однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностью раздела, при переходе через которую свойства и структура меняются скачком. В системе Fe- Fe_3C - **4 фазы**. Это – **жидкий расплав** (на диаграмме располагается выше линии **ликвидуса ABCD**); **цементит** (вертикаль **DFKL**); **феррит** и **аустенит** – области, примыкающие к вертикали железа.

Структура – это форма, размеры и взаимное расположение фаз в системе.

Твердые фазы – феррит, аустенит, цементит – могут встречаться в сплавах в структурно-свободном виде или входить в состав двухфазных структурных составляющих – **ледебурита** и **перлита**

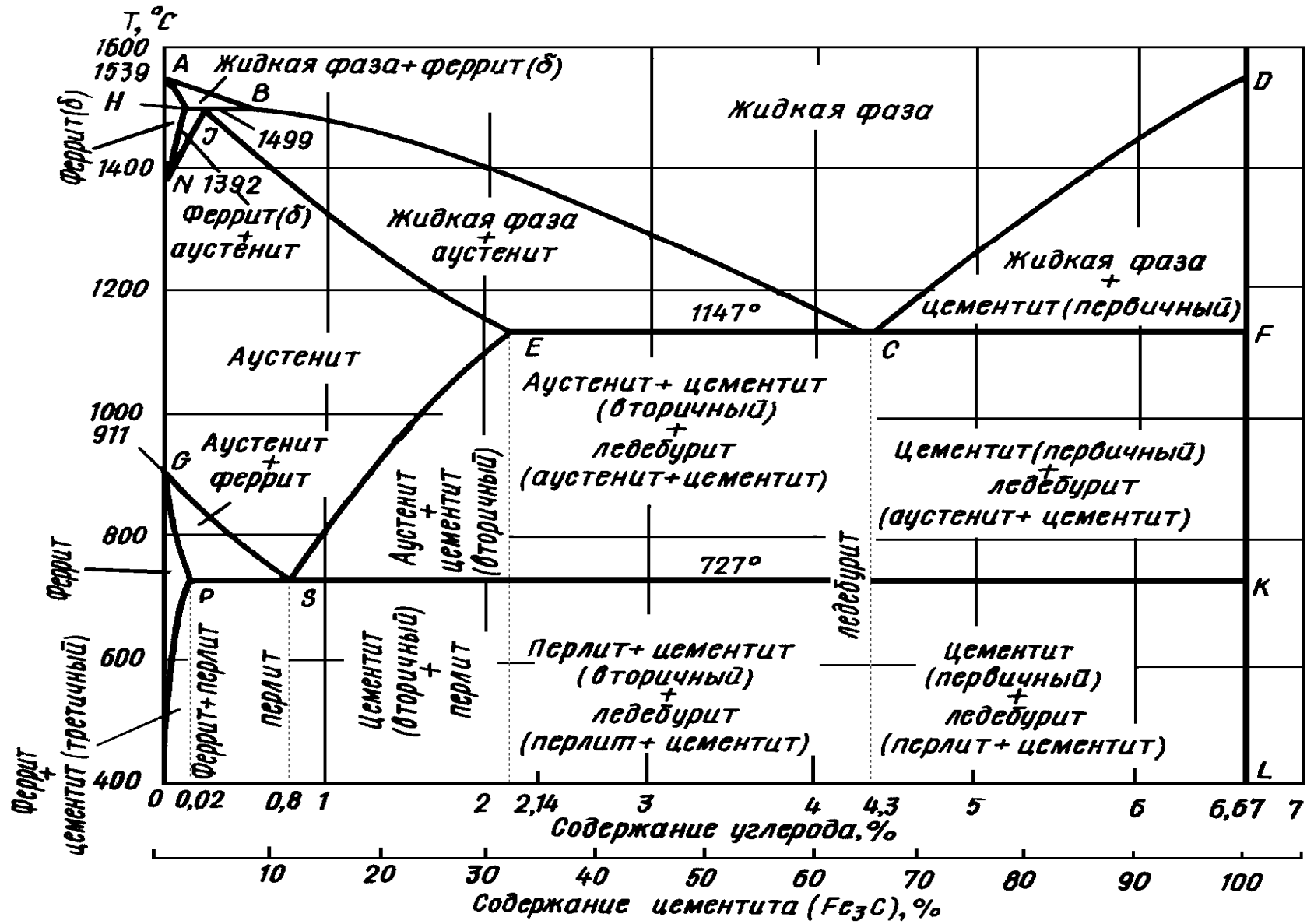


Рис. 1.1. Диаграмма состояния железо-углерод (цементит)

Температура плавления **железа** - 1539 °С. Железо известно в двух полиморфных модификациях - α и γ . **α -железо** существует при температурах ниже 910 °С и выше 1392 °С. Для интервала температур 1392-1539 °С α -железо нередко обозначают как δ -железо.

Кристаллическая решетка α -железа – объемно-центрированная кубическая. До температуры 768 °С α -железо ферромагнитно. Критическую точку (768 °С), соответствующую переходу из ферромагнитного состояния в парамагнитное, называют точкой Кюри и обозначают A_2 .

Кристаллическая решетка **γ -железа** – гранецентрированная кубическая. С металлами железо может образовывать твердые растворы замещения и химические соединения (интерметаллиды), а с углеродом, азотом и водородом - твердые растворы внедрения (атомы примеси располагаются в порах кристаллической решетки железа) и химические соединения: карбиды, нитриды, гидриды.

Углерод – неметаллический элемент с плотностью 2,25 г/см³ и температурой плавления 3500 °С. В сплавах с железом углерод обычно бывает в форме графита с гексагональной слоистой атомной решеткой. Прочность графита низка. Железо с углеродом образуют ряд соединений, наиболее часто встречается цементит.

Цементит - химическое соединение железа с углеродом Fe_3C – карбид железа, с содержанием углерода 6,67 % и сложной кристаллической решеткой. Сложная кристаллическая структура обуславливает высокую твердость цементита (> 800 НВ) и почти нулевую пластичность. Температура плавления цементита точно не определена в связи с возможностью его распада и принимается примерно равной 1260 °С. Цементит неустойчив, и с повышением температуры может распадаться на железо и графит.

Феррит (Ф) – твердый раствор внедрения углерода в α -железе. Различают *низкотемпературный α -феррит* с растворимостью углерода до 0,02 % при температуре $T = 727$ °С и 0,006 % при комнатной температуре и *высокотемпературный δ -феррит* с предельной растворимостью углерода 0,1 % при температуре $T = 1499$ °С. Атом углерода располагается в решетке феррита в центре грани куба, а также в вакансиях, на дислокациях и т.д.

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе. Предельная растворимость углерода в γ -железе – 2,14 % при $T = 1147$ °С. Атом углерода в решетке γ -железа располагается в центре элементарной ячейки и в дефектных областях кристалла.

Различные объемы пустот в ОЦК и ГЦК решетках и предопределили значительно большую растворимость углерода в γ -железе по сравнению с α -железом.

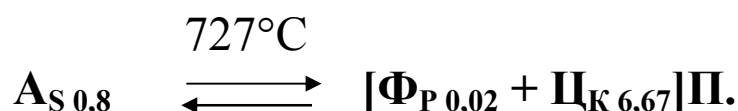
Ледебурит – эвтектическая механическая смесь, состоящая из аустенита и цементита, образуется из жидкого расплава с концентрацией углерода 4,3 % (точка С) при температуре 1147 °С.

В системе железо-цементит леде-₆бурит (эвтектика) образуется из

кости во всех сплавах, содержащих не менее 2,14 % С. **Ледебурит** образуется по **эвтектической реакции**:



Перлит – эвтектоидная механическая смесь, состоящая из феррита и цементита, образуется из аустенита с концентрацией углерода 0,8 % (точка S) при температуре 727 °С. Перлит образуется во всех сплавах, содержащих более 0,02 % С. **Перлит** образуется по **эвтектоидной реакции**:



При охлаждении ледебурита до температур ниже линии SK входящий в него аустенит превращается в перлит, и при комнатной температуре ледебурит представляет смесь цементита и перлита.

Формы существования цементита:

Третичный цементит выделяется из феррита при концентрации углерода больше 0,006 % по линии PQ. Растворимость углерода в феррите с понижением температуры от 0,02 % при 727 °С до 0,006 % при 20 °С уменьшается, выделяющийся из феррита избыточный углерод образует третичный цементит. Форма: пластинки и прожилки, а также выделения в виде иголок в ферритном зерне.

Цементит перлита. Образуется при концентрации углерода больше 0,02 %. Обычно - тонкопластинчатый продукт перлитного превращения.

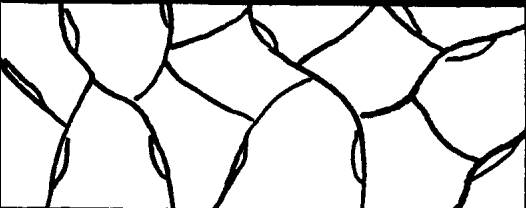
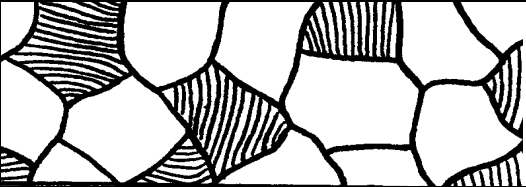


Вторичный цементит образуется из аустенита по линии SE. Линия SE показывает уменьшение растворимости углерода в аустените от 2,14 % при 1147 °С до 0,8 % при 727 °С. С понижением температуры от 1147 °С до 727 °С из аустенита выделяется избыточный углерод, образуя вторичный цементит. Форма: цементитная сетка по границам зерен.

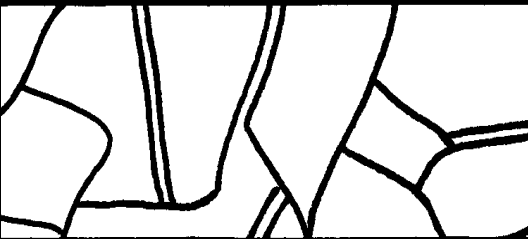

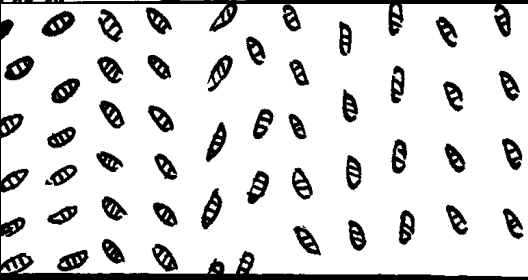
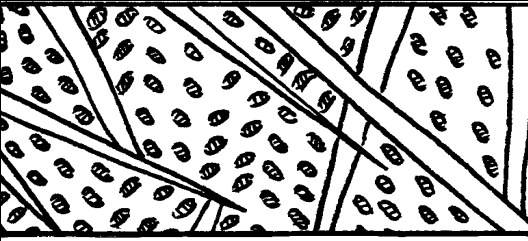
Цементит ледебурита. Образуется при концентрации углерода больше 2,14 % С. Создает светлый фон в плоскости шлифа.

Первичный цементит образуется при кристаллизации в сплавах с концентрацией углерода больше 4,3 %. Форма: длинные крупные пластины.

Характеристика структурных составляющих сплавов системы железо-цементит представлена в табл. 1.1.

Характеристика и схематическое изображение структурных составляющих сплавов системы железо-цементит

Сплавы системы железо-цементит	Схематическое изображение	Описание структурных особенностей	Содержание углерода, %	Механические свойства составляющих
Техническое железо		Однородные светлые зерна феррита, отделенные друг от друга границами, на которых может выделяться цементит третичный. $\Phi + \text{Ц}_{\text{III}}$	0 – 0,02	Феррит: $\approx 80-100 \text{ НВ}$ $\sigma_{\text{в}} \approx 250 \text{ МПа}$ $\delta \approx 50 \%$; $\psi \approx 85 \%$
Доэвтектоидная сталь		Светлые зерна феррита и темные зерна перлита. $\Phi + \text{П}$	0,02 – 0,8	100 – 160 НВ в зависимости от содержания углерода
Эвтектоидная сталь		Твердые, малотравящиеся пластины цементита, светлые и блестящие, выступают над ферритом. Утопающий между ними мягкий феррит затенен; из-за повышенной травимости тусклый и темный. Перлит . П.	0,8	Перлит: $\approx 200-250 \text{ НВ}$ для стали У8
Заэвтектоидная сталь		Светлая сетка цементита вторичного по границам темных перлитных зерен. $\text{П} + \text{Ц}_{\text{II}}$	0,8 – 2,14	Цементит $\approx 800 \text{ НВ}$ Перлит 200-250 НВ

Сплавы системы железо-цементит	Схематическое изображение	Описание структурных особенностей	Содержание углерода, %	Механические свойства
Аустенитная сталь		Светлые зерна однофазной структуры аустенита с часто встречающимися двойниками. При комнатной температуре может встречаться только в легированных сталях. А	0 – 2,14	Аустенит ≈170-200 НВ
Доэвтектический белый чугун		Крупные кристаллы аустенита первичного и ледебуритная эвтектика. Форма кристаллов аустенита определяется условиями кристаллизации, а сам аустенит превратился в перлит. П + Л	2,14 – 4,3	Перлит 200-250 НВ Ледебурит ≈ 700 НВ
Эвтектический белый чугун		На светлом фоне цементита (границы его зерен не протравливаются) мелкие дендриты аустенита и сечения его ветвей плоскостью шлифа. Аустенит превратился в перлит. Перлитные зерна темного цвета. Л	4,3	Ледебурит ≈ 700 НВ
Заэвтектический белый чугун		Грубые иглы цементита первичного и светлый фон ледебурита в заэвтектическом белом чугуне. Л + Ц ₁	4,3 – 6,67	Цементит ≈ 800 НВ Перлит 200-250 НВ Ледебурит ≈ 700 НВ

По содержанию углерода при комнатной температуре все **железоуглеродистые сплавы** подразделяются на следующие:

- **технически чистое железо** (содержание углерода от 0 до 0,006 %) – структура *феррит*;
- **техническое железо** (содержание углерода от 0,006 % до 0,02 %) – структура *феррит и цементит третичный*;
- **доэвтектоидные стали** (содержание С от 0,02 до 0,8%) – структура *феррит и перлит*;
- **эвтектоидные стали** (содержание С = 0,8 %) – структура *перлит*;
- **заэвтектоидные стали** (содержание С от 0,8 до 2,14 %) – структура *перлит и цементит вторичный*;
- **доэвтектические белые чугуны** (содержание С от 2,14 до 4,3 %) – структура *перлит, ледебурит и цементит вторичный*;
- **эвтектические белые чугуны** (содержание С = 4,3 %) – структура – *ледебурит*;
- **заэвтектические белые чугуны** (содержание С от 4,3 до 6,67 %) – структура *ледебурит и цементит первичный*.

1.4. Порядок выполнения работы

1. Рассмотреть под микроскопом и зарисовать микроструктуры углеродистых сталей и белых чугунов с различным содержанием углерода.

2. На каждом из рисунков указать фазовые и структурные составляющие, дать их краткую характеристику.

3. Вычертить диаграмму «железо-цементит» (см. рис. 1.1) с указанием всех фазовых и структурных областей. Отметить на ней вертикалями положение рассматриваемых сплавов с разным содержанием углерода. Для одного из сплавов описать превращения при охлаждении (нагреве) по заданию преподавателя. Указать характер протекающих превращений.

1.5. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Дать определение компонентов, фаз и структур системы железо-цементит: железо, феррит, аустенит, цементит, ледебурит (эвтектика), перлит (эвтектоид).
3. Привести классификацию железоуглеродистых сплавов в зависимости от содержания углерода.
4. Записать и объяснить реакции образования фаз и структурных составляющих в железоуглеродистых сплавах согласно их диаграмме.

5. Зарисовать диаграмму «железо-цементит», указать все составляющие.
6. Зарисовать схемы основных структур.
7. Построить и проанализировать кривую охлаждения для сплава с определенным содержанием углерода по заданию преподавателя.

Контрольные вопросы

1. Назовите и охарактеризуйте компоненты системы Fe-Fe₃C.
2. Назовите и охарактеризуйте фазы системы Fe-Fe₃C.
3. Назовите структурные составляющие, условия их образования и охарактеризуйте расположение на диаграмме Fe-Fe₃C.
4. В чем отличие эвтектической реакции от эвтектоидной?
5. Как классифицируются стали и чугуны в зависимости от содержания углерода?
6. Какую структуру имеют и как называются сплавы, содержащие 0,04% C? 0,2% C? 0,45% C? 0,8% C? 1,3% C? 2% C? 3% C? 4,3% C? 4,8% C? Назовите структурные составляющие в этих сплавах при комнатной температуре и при 950 °C.
7. Опишите превращения при нагреве (охлаждении) доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали.
8. Опишите превращения при нагреве (охлаждении) в белых чугунах с различным содержанием углерода.
9. Определите тип железоуглеродистого сплава по микроструктуре образца, укажите положение сплава на диаграмме Fe-Fe₃C.

Литература

[1, с. 42-58], [5, с. 63-78], [6, с. 116-128], [7, с. 159-179]

Лабораторная работа № 2

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ

2.1. Цель работы

Изучение микроструктуры железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии, определение марок сталей и чугунов, установление связи между структурой, диаграммой состояния Fe – Fe₃C и свойствами сплавов.

2.2. Оборудование, приборы и материалы

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Твердомеры.
3. Набор микрошлифов сталей и чугунов.

2.3. Классификация сталей

Сталью называется сплав железа с углеродом, примесями и легирующими элементами с содержанием углерода до 2,14 %. Стали принято классифицировать по химическому составу, назначению, структуре, качеству, степени раскисления.

По структуре стали делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные.

По назначению стали делятся на *конструкционные* (машиностроительные, предназначенные для изготовления деталей машин и механизмов, и строительные, используемые для металлоконструкций и сооружений), *инструментальные, специального назначения* (жаростойкие, жаропрочные, коррозионно-стойкие, криогенные, износостойкие и т.д.) (рис. 2.1)..

По химическому составу стали классифицируют на углеродистые и легированные. В зависимости от содержания углерода те и другие могут быть низкоуглеродистыми (до 0,25 % C), среднеуглеродистыми (0,3 – 0,6 % C) и высокоуглеродистыми (более 0,7 % C). Легированные стали в зависимости от введенных элементов подразделяют на хромистые, марганцовистые, хромоникелевые и многие другие. По количеству введенных элементов их подразделяют на низко-, средне- и высоколегированные. В низколегированных сталях количество легирующих элементов не превышает 5 %, в среднелегированных содержится от 5 до 10 %, в высоколегированных – более 10 %.

По качеству стали классифицируют на обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особовысококачественные в зависимости от содержания в них примесей. **Под качеством** понимают совокупность свойств стали, зависящих от способа ее производства, который определяет количество и

размеры примесей, включений, газов. Основным критерием качества стали является содержание в ней серы и фосфора (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Категории сталей по качеству (ГОСТ 380-94, ГОСТ 4543-71)

Стали	Обозначение в марке	Содержание, % не более	
		S	P
Обыкновенного качества	Ст	0,05	0,04
Качественные	-	0,035	0,035
Высококачественные	А в конце марки	0,025	0,025
Особовысококачественные	Ш в конце марки	0,015	0,025

Сера – вредная примесь, вызывающая красноломкость стали – хрупкость при горячей обработке давлением. Красноломкость связана с наличием сульфидов FeS, которые образуют с железом эвтектику, отличающуюся низкой температурой плавления (988 °С) и располагающуюся по границам зерен. При горячей деформации границы зерен оплавляются и сталь хрупко разрушается.

Фосфор – вредная примесь. Он растворяется в феррите, упрочняет его, но вызывает хладноломкость – снижение вязкости по мере понижения температуры. Сильное охрупчивающее действие фосфора выражается в повышении порога хладноломкости. Каждая 0,01 % P повышает порог хладноломкости на 25 °С. Хрупкость стали, вызываемая фосфором, тем выше, чем больше в ней углерода.

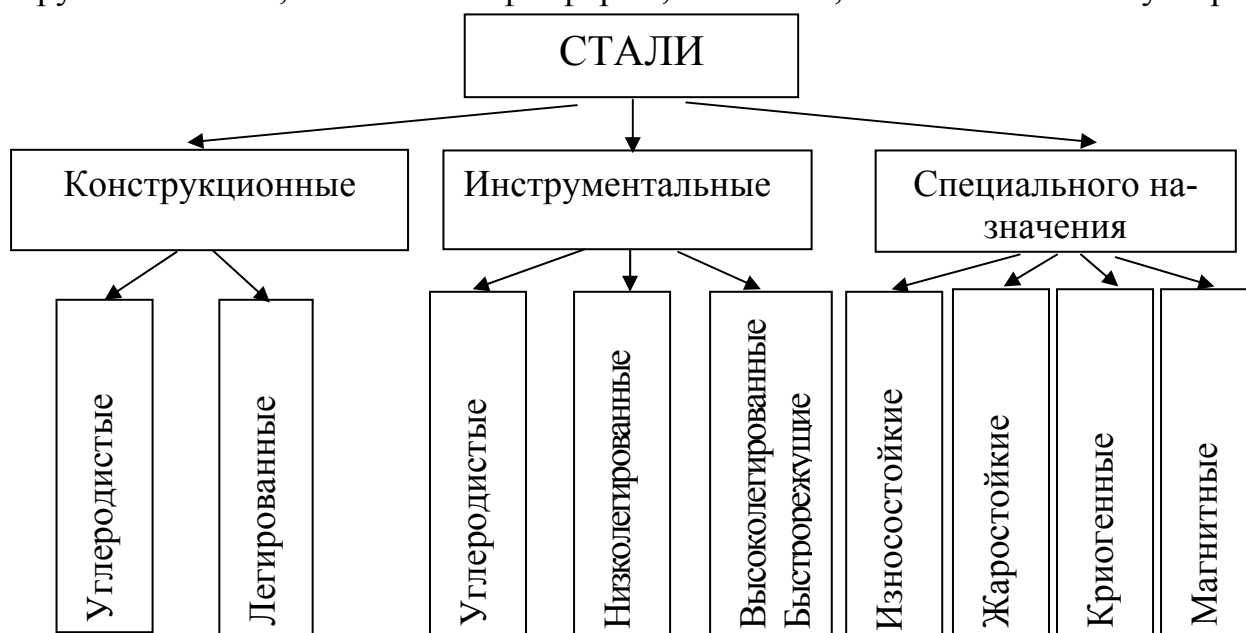


Рис. 2.1. Классификация сталей

По степени раскисления и условиям выплавки различают стали *спокойные* (раскисленные наиболее полно алюминием, кремнием, марганцем – обозначаются «сп»), *полуспокойные* (раскислены марганцем и кремнием, обозначаются «пс») и *кипящие* (раскислены только марганцем, обозначаются «кп»). Если раскисленный металл при разливке и кристаллизации не кипит, из него не выделяются газы, его называют *спокойным*. В том случае, когда проводят неполное раскисление металла, в нем остается значительная доля избыточного кислорода. И при охлаждении во время разливки, и после нее до кристаллизации протекает взаимодействие между растворенным углеродом и кислородом по схеме: $[C] + [O] = \{CO\} \uparrow$. Пузыри монооксида углерода, выделяющиеся из металла, перемешивают его. Поверхность металла становится похожей на поверхность кипящей жидкости. Такую сталь называют *кипящей*.

Если при раскислении из металла удаляют значительную часть избыточного кислорода, то оставшийся кислород вызывает непродолжительное *кипение* стали. Такую сталь называют *полуспокойной*.

Ниже приведена схема классификации углеродистых конструкционных сталей (рис. 2.2.).



Рис. 2.2. Классификация углеродистой конструкционной стали

Углеродистую конструкционную сталь обыкновенного качества по ГОСТ 380-94 [8] изготавливают 20 марок химического состава, приведенного в табл. 2.2.

Содержание элементов в углеродистых сталях обыкновенного качества, по ГОСТ 380-94, %

Марка стали	С	Mn	Si в стали			S	P
			кп	пс	сп		
Ст0	≤ 0,23	-	-	-	-	0,06	0,07
Ст1	0,06-0,12	0,25-0,5	0,05	0,05-0,17	0,12-0,30	0,05	0,04
Ст2	0,09-0,15	0,25-0,5	0,05	0,05-0,17	0,12-0,30	0,05	0,04
Ст3	0,14-0,22	0,3-0,65	0,07	0,05-0,17	0,12-0,30	0,05	0,04
Ст4	0,18-0,27	0,4-0,7	0,07	0,05-0,17	0,12-0,30	0,05	0,04
Ст5	0,28-0,37	0,5-0,8	-	0,05-0,17	0,15-0,35	0,05	0,04
Ст6	0,38-0,49	0,5-0,8	-	0,05-0,17	0,15-0,35	0,05	0,04
Ст3Г	0,14-0,22	0,8-1,1	-	0,05-0,17	-	0,05	0,04
Ст5Г	0,28-0,37	0,8-1,1	-	0,05-0,17	-	0,05	0,04

Стали маркируют сочетанием букв «Ст» и цифрой (от 0 до 6), показывающей номер марки. Степень раскисления обозначают добавлением в спокойных сталях букв «сп», в полуспокойных – «пс», в кипящих – «кп». Например, Ст3сп, Ст3пс, Ст3кп. Спокойными и полуспокойными производят стали Ст1-Ст6, кипящими – Ст1-Ст4. Сталь Ст0 по степени раскисления не разделяют.

Три марки стали производят с повышенным (0,80 – 1,1 %) содержанием марганца, на что указывает буква «Г» в марке: Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст5Гпс.

Стали обыкновенного качества поставляют горячекатаными в виде листового, сортового, фасонного проката: прутков, листов, уголков, швеллеров, труб и т.п. Механические свойства горячекатаных сталей регламентирует ГОСТ 535-88 [9].

Прокат подразделяют на три группы (I – III) и шесть категорий (1 – 6). Группа проката оценивает качество поверхности и способ использования проката. Прокат I группы используют без обработки поверхности, II группы – для изготовления деталей обработкой резанием, III группы – для заготовок и деталей, получаемых горячей обработкой давлением. Листовые стали категории «1-5» поставляют в горячекатаном состоянии, а категории «6» - в упрочненном.

Структура стали обыкновенного качества – феррит + перлит. Чем выше условный номер в марке (Ст0 – Ст6), тем больше в ней углерода и, следовательно, перлита, тем выше ее прочность, но ниже пластичность. Пример условного обозначения проката из стали обыкновенного качества:

$$\text{Полоса} \frac{5 - B \text{ ГОСТ } 2590 - 88}{Ст5пс1 - II \text{ ГОСТ } 535 - 88},$$

что обозначает: «прокат горячекатаный листовой толщиной 5 мм, обычной точности прокатки «В» по ГОСТ 2590-88 марки Ст5пс, категории 1, группы II, для холодной механической обработки резанием.

Категории проката (определяет заказчик) различаются набором нормируемых показателей механических свойств (табл. 2.3). По требованию потребителя обеспечивается свариваемость стали, а для обеспечения требуемых свойств может применяться термическая обработка.

Таблица 2.3

Категории и соответствующие им нормируемые характеристики углеродистых сталей обыкновенного качества (ГОСТ 535-88)

Категория	Химический состав	Временное сопротивление	Предел текучести	Относительное удлинение	Изгиб в холодном состоянии	Ударная вязкость			Марка стали
						При температуре, °С		После механического старения	
						+20	-20		
1	+	+	+	+	+	-	-	-	Ст0, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст6пс, Ст6сп
2	+	+	+	+	+	-	-	-	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст6пс, Ст6сп
3	+	+	+	+	+	+	-	-	Ст3пс, Ст3сп, Ст4пс, Ст4сп,
4	+	+	+	+	+	+	+	-	Ст3пс, Ст3сп
5	+	+	+	+	+	+	+	+	Ст3пс, Ст3сп
6	+	+	+	+	+	-	-	+	Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс

Примечания:

1. Знак «+» означает, что показатель нормируется.
2. Для стали марки Ст0 нормируется предел текучести и изгиб, для стали марок Ст6пс и Ст6сп изгиб не нормируется.

Качественные углеродистые конструкционные стали. Эти стали характеризуются более низким, чем у сталей обыкновенного качества, содержанием вредных примесей и неметаллических включений. Их поставляют в виде проката, поковок и других полуфабрикатов с гарантированным химическим составом и механическими свойствами. **Маркируют их двузначными числами:** 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58 (подп.55) и 60, **обозначающими**

среднее содержание углерода в сотых долях процента (ГОСТ 1050-88 [10]). Например: сталь 10 содержит в среднем 0,1 % С, сталь 45 – 0,45 % С и т.д.

Спокойные стали маркируют без индекса, полуспокойные и кипящие с индексами соответственно «пс» и «кп». Структура этих сталей – феррит и перлит.

Легированные конструкционные стали и стали специального назначения маркируют цифрами и буквами (ГОСТ 4543-71 [11]). Первые цифры в марке стали указывают содержание углерода в **сотых долях процента**, буквы русского алфавита обозначают легирующий элемент (табл. 2.4 и прил.). Цифры после буквы указывают примерное содержание соответствующего легирующего элемента **в целых процентах**; отсутствие цифры указывает, что оно составляет до 1 % и менее (20Х13 – 0,2 % С, 13 % Cr; 12ХН – 0,12 % С, ~ 1 % Cr, 1 % Ni).

Ниже приведена классификация легированных конструкционных сталей (рис. 2.3.).



Рис. 2.3. Классификация легированных конструкционных сталей

Стали специального назначения (с особыми свойствами):

- коррозионно-стойкие, предназначенные для работы в средах различной агрессивности – 08Х13, 20Х13, 09Х15Н8Ю, 08Х17Т, 08Х18Н10Т;
- жаропрочные стали способны противостоять механических нагрузкам при высоких температурах – 12Х8ВФ, 15Х11МФ, 40Х9С2;

- жаростойкие стали способны противостоять окислению и окалинообразованию при высоких температурах – 15X5, 08X18H9, 15X28, 20X23H18;
- хладостойкие и криогенные стали должны сохранять свои свойства при температурах $-40 \div -269$ °С – 18X2H4BA, 09Г2С, 06H9A, 08X25H20.

Таблица 2.4

Обозначение легирующих элементов в марках сталей

Название	Формула	Обозначение	Название	Формула	Обозначение
Азот	N	А (в середине марки)	Медь	Cu	Д
Алюминий	Al	Ю	Молибден	Mo	М
Бор	B	Р	Никель	Ni	Н
Ванадий	V	Ф	Ниобий	Nb	Б
Вольфрам	W	В	Селен	Se	Е
Кобальт	Co	К	Титан	Ti	Т
Кремний	Si	С	Хром	Cr	Х
Магний	Mg	Ш	Фосфор	P	П
Марганец	Mn	Г	Цирконий	Zr	Ц

Инструментальные стали

Углеродистые инструментальные стали выпускаются в виде горячекатаного, кованого, калиброванного сортового проката по ГОСТ 1435-99 [12] марок У7, У8, У8Г, У9, У10, У11, У12, У13 (качественные) и У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А (высококачественные). Буква «У» обозначает, что инструментальная сталь углеродистая, следующая за ней цифра показывает среднее содержание углерода в *десятых долях процента*. Буква «А» в конце марки обозначает, что сталь высококачественная. Сталь изготавливается термически обработанной, но по требованию потребителя может поставляться без термической обработки. Структура стали после отжига: У7 (У7А) – перлит + небольшое количество феррита; У8 (У8А) – перлит; остальные – перлит + цементит вторичный.

Стали доэвтектоидные (У7, У7А) применяют для инструмента, работающего в условиях ударного нагружения (молотков, стамесок, долот, зубил, штампов), т.к. они обладают некоторым запасом пластичности. Стали У10, У11 используют для резцов, сверл, метчиков, фрез и другого мерительного и режущего инструмента для обработки мягких материалов; стали У12, У13 – для инструментов для резания твердых материалов без ударных нагрузок (напильников, рашпилей, бритв, сверл, пил и др.).

Низколегированные инструментальные стали (ГОСТ 5950-2000 [13]) содержат до 5 % легирующих элементов, которые вводят для увеличения закаливаемости, прокаливаемости, уменьшения деформаций и опасности растрескивания инструментов. Хром - постоянный элемент низколегированных инструментальных сталей. Марки сталей – Х, 9ХС, ХВ4, ХВГ, 9ХФ, ХВСГ и т.д. Цифра перед маркой обозначает содержание углерода в *десятих долях процента*. **Отсутствие цифры показывает, что углерода содержится около 1 %**. Буквы русского алфавита и цифры за ними указывают содержание соответствующего легирующего элемента в *целых процентах*. Эти стали используют для изготовления инструментов: пил, зубил, штемпелей, ножей для холодной и горячей резки, обрезающих матриц и пуансонов и т.п. По структурному признаку стали, содержащие 0,4-0,5 % С, являются доэвтектоидными, а с 0,6 % С – эвтектоидными и заэвтектоидными. Структура доэвтектоидных сталей после отжига состоит из пластинчатого и, реже, зернистого перлита с небольшими участками феррита, заэвтектоидных – из зернистого перлита.

Высоколегированные инструментальные быстрорежущие стали обозначают буквой **Р** (rapid - быстрый), после которой стоит **число, указывающее содержание (в процентах) вольфрама** – основного легирующего элемента (ГОСТ 19265-73 [14]). Содержание углерода (около 1 %), ванадия (до 2 %) и хрома (~ 4 % во всех сталях) в марке не указываются. Стали, легированные дополнительно молибденом, кобальтом или имеющие повышенное количество ванадия, содержат в марке соответственно буквы М, К, Ф и числа, показывающие их содержание в процентах. Основное свойство этих сталей – высокая теплостойкость, которая обеспечивается введением большого количества вольфрама совместно с другими карбидообразующими элементами – молибденом, хромом, ванадием. Предусмотрено 14 марок быстрорежущих сталей, которые по эксплуатационным свойствам делятся на три группы: нормальной производительности (умеренной теплостойкости), повышенной производительности (повышенной тепло- и износостойкости) и высокой производительности (высокой тепло- и износостойкости). Группу сталей нормальной производительности образуют стали Р18, Р9 Р6М5, сохраняющие твердость не ниже 58 HRC до 620 °С. К группе сталей повышенной производительности относятся стали, содержащие кобальт и повышенное количество ванадия (Р6М5Ф3, Р12Ф3, Р18К5Ф5, Р9К5, Р6М5К5). Они превосходят стали первой группы по теплостойкости (630-640 °С), твердости (> 64 HRC) и износостойкости, но уступают им по прочности и пластичности. Стали высокой производительности – Р9М4К8, Р2АМ9К5. Быстрорежущие стали относятся к ледебуритному (карбидному) классу. Для повышения твердости и теплостойкости быстрорежущие стали подвергают закалке и трехкратному отпуску, структура после термической обработки: мелкоигльчатый мартенсит и мелкодисперсные карбиды.

2.4. Классификация чугунов

Чугун – это многокомпонентный сплав железа с углеродом (более 2,14 % С) и другими элементами. Доля чугуновых отливок составляет 70-75 % общего выпуска литья.

В зависимости от того, в какой форме присутствует углерод в сплавах, различают белые, серые, высокопрочные чугуны, чугуны с вермикулярным графитом и ковкие чугуны.

Белыми называются чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита. Согласно диаграмме состояния Fe-Fe₃C белые чугуны подразделяют на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические. Из-за большого количества цементита они твердые (450-550 НВ), хрупкие, с трудом отливаются и обрабатываются инструментом. Из них делают детали гидромашин, пескометов и других конструкций, работающие в условиях повышенного абразивного изнашивания. Маркировка белых чугунов не установлена.

Большое влияние на структуру чугуна оказывают условия затвердевания и охлаждения отливок. Быстрое охлаждение способствует получению белого чугуна, медленное – серого.

Серыми называют чугуны с пластинчатой формой графита. Определяющее влияние на качество чугунов оказывает углерод, изменяя количество графита и литейные свойства. Чем выше концентрация углерода, тем больше выделений графита и ниже механические свойства чугуна. По этой причине максимальное содержание углерода ограничивается доэвтектической концентрацией.

Марка серого чугуна состоит из букв **СЧ** (серый чугун) и **числа, показывающего уменьшенное в 10 раз значение (в мегапаскалях) временного сопротивления при растяжении**. Механические свойства серого чугуна регламентируются ГОСТ 1412-85 [15].

По структуре металлической основы серые чугуны разделяют на три вида: серый перлитный со структурой П + графит (СЧ 30, СЧ 35, СЧ 40, СЧ 45); серый ферритно-перлитный со структурой Ф + П + графит (СЧ 20, СЧ 25); серый ферритный со структурой Ф + графит (СЧ 10, СЧ 15).

Механические свойства серых чугунов зависят от структуры и свойств металлической основы и от количества, формы и размеров графитных включений. Прочность, твердость и износостойкость чугунов растут с увеличением количества перлита в металлической матрице. Влияние графита обусловлено тем, что его пластинки, прочность которых ничтожно мала, действуют как надрезы или трещины, пронизывающие металлическую основу и ослабляющие ее. При растяжении по концам графитных включений легко формируются очаги разрушения. По этой причине серые чугуны плохо сопротивляются растяжению, имеют низкие прочность и пластичность.

На долю серого чугуна приходится около 80 % общего производства чугуновых отливок. Серые чугуны обладают высокими литейными качествами, хорошо обрабатываются и сопротивляются износу, однако из-за низких проч-

ностных и пластических свойств в основном используются для изготовления неотчетственных деталей: станины, детали станков, блоки цилиндров, санитарно-технические изделия.

Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. *Получение шаровидного графита в чугуне достигается при модифицировании расплава реагентами, содержащими магний, кальций, иттрий, церий, неодим и др.* Шаровидный графит – менее сильный концентратор напряжений, чем пластинчатый, поэтому он меньше снижает механические свойства металлической основы. Чугуны с шаровидным графитом обладают более высокой прочностью и некоторой пластичностью.

По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть ферритным, ферритно-перлитным или перлитным.

Марка высокопрочного чугуна состоит из букв **ВЧ** и **числа, обозначающего уменьшенное в 10 раз значение его временного сопротивления (ГОСТ 7293-85 [16])**, например: ВЧ 35, ВЧ 45.

Высокопрочные чугуны применяют для изготовления оборудования прокатных станов (прокатных валков), кузнечно-прессового оборудования, корпусов паровых турбин, коленчатых валов, поршней и других ответственных деталей, работающих при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания.

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают специальным *графитизирующим отжигом* белых доэвтектических чугунов. Графитизирующий отжиг белого чугуна основан на метастабильности цементита и состоит обычно из двух стадий. Первая стадия (950 – 1050 °С) подбирается по длительности такой, чтобы весь цементит распался на аустенит и хлопьевидный графит. На второй стадии при температуре эвтектоидного превращения формируется металлическая основа ковкого чугуна. По структуре металлической основы, которая определяется режимом отжига, ковкие чугуны бывают ферритными и перлитными. Ферритные чугуны имеют более высокую пластичность, а перлитные – более высокие прочность и твердость.

Хлопьевидный графит, в отличие от пластинчатого, меньше снижает механические свойства металлической основы, вследствие чего ковкие чугуны по сравнению с серыми обладают более высокой прочностью и пластичностью.

Маркируют ковкие чугуны буквами **КЧ** и **числами, первое из которых указывает уменьшенное в 10 раз значение σ_v , а второе – значение δ (относительное удлинение) (ГОСТ 1215-79 [17])**. Например, КЧ 30-6, КЧ 35-10, КЧ 60-3.

Ковкий чугун используют для изготовления мелких и средних тонкостенных отливок ответственного назначения, работающих в условиях динамических знакопеременных нагрузок (деталей приводных механизмов, коробок передач, шасси в автотракторном машиностроении, коллекторов, фитингов, рычагов и др.).

Антифрикционные чугуны представляют группу специальных сплавов, способных работать в условиях трения, как подшипники скольжения. ГОСТ 1585-85 [18] включает шесть марок антифрикционного серого чугуна с пластинчатым графитом, две марки высокопрочного и две марки ковкого чугунов. Маркируют антифрикционные чугуны буквами и цифрами: АЧС-1 – антифрикционный серый чугун, АЧК-1 – антифрикционный ковкий чугун, АЧВ-1 антифрикционный высокопрочный чугун.

Легированные чугуны со специальными свойствами являются жаростойкими, жаропрочными, износостойкими, коррозионно-стойкими и немагнитными. Эти чугуны выпускают с пластинчатым и шаровидным графитом. Маркируют легированные чугуны буквами «Ч» - чугун и буквами, обозначающими легирующие элементы, цифры после букв показывают содержание элементов в целых процентах, буква «Ш» в конце марки обозначает шаровидный графит.

Специальные свойства в чугунах достигаются комплексным легированием следующими элементами: хромом и никелем (повышают прочность, коррозионную стойкость, износостойкость); алюминием и кремнием (повышают прочность, окислительную стойкость); и некоторыми другими элементами. Высокой термо- и жаростойкостью обладают аустенитные чугуны: никелевый серый ЧН15Д7 и с шаровидным графитом ЧН15Д3Ш. Химический состав, механические свойства и рекомендуемые виды термической обработки приведены в ГОСТ 7769-82 [19]. Некоторые марки легированных чугунов с обозначениями по ГОСТ 7769-82 и общепринятыми обозначениями представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Марки и свойства легированных чугунов

Вид чугуна	Марка по ГОСТ 7769-82	Принятая марка	Свойства отливок
Хромистый	ЧХ1	ЖЧХ-1*	Жаростойкие
	ЧХ3Т	ИЧХ3Т**	Износостойкие
	ЧХ9Н5	ИЧХ9Н5	Износостойкие
	ЧХ22С	ЧХ22С	Коррозионно-стойкие
Кремнистый	ЧС5	ЖЧС-5	Жаростойкие
	ЧС5Ш	ЖЧС-5Ш	Жаростойкие
	ЧС15М4	ЧС15М4	Коррозионно-стойкие
Марганцевый	ЧГ6С3Ш	ИЧГ6С3Ш	Износостойкие
Никелевый	ЧНМШ	ЧНМШ	Коррозионно-стойкие
	ЧН2Х	ИЧН2Х	Износостойкие
	ЧН20Д2Ш	ЧН20Д2Ш	Жаропрочные

Примечания: * - буква «Ж» в начале марки означает «жаростойкий чугун»;
 ** - буква «И» в начале марки означает «износостойкий чугун».

2.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить классификацию и маркировку сталей и чугунов.
2. Рассмотреть под микроскопом и зарисовать микроструктуры углеродистых сталей с различным содержанием углерода и чугунов с графитом разной формы.
3. Определить твердость предложенных образцов сталей и чугунов.
4. Выполнить задание в соответствии с вариантом, выданным преподавателем, по расшифровке марок сталей и чугунов (табл. 2.6). Указать химический состав (процентное содержание углерода и легирующих элементов (для легированных сталей), структуру, качество, структурный класс, степень раскисления, назначение, области применения, свойства стали.

Таблица 2.6

Варианты заданий по работе

Номер варианта	Марки сталей
1	Ст1кп, 08, У7А, 12Х2Н4А, СЧ 10, АЧС-1
2	Ст1пс, 10, У8, 18Х2Н4МА, СЧ 20, ЖЧХ-1
3	Ст2сп, 15, У8Г, 38Х2МЮА, СЧ 30, КЧ 30-6
4	Ст2пс, 20, У9А, 25ХГСА, СЧ 45, ИЧХ4Г7Д
5	Ст3кп, 25, У10, 30ХН2ВФА, ВЧ 35, ЧНХТ
6	Ст3Гпс, 30, У10А, 25ХГНМТ, ВЧ 40, ЧН1МШ
7	Ст3Гсп, 35, У11, 55Х20Г9АН4, КЧ 45-7, АЧВ-1
8	Ст4кп, 40, У11А, 23Х2НВФА, КЧ 55-4, АЧС-3
9	Ст4пс, 45, У12, 10Х12НД, ВЧ 50, ЖЧХ-0,8
10	Ст4сп1, 50, У12А, 12ХН3А, ВЧ 70, ИЧХ3ТД
11	Ст5Гпс, 55, У13, 12ДХН1МФ, ВЧ 80, ИЧХ15М3
12	Ст5сп2, 60, У13А, 14Х17Н2, ВЧ 100, ЧН1ХМД
13	Ст6кп1, 65, У7, 10Х17Н13М2Т, СЧ 15, ВЧ 60
14	Ст6пс2, 70, У8А, 15Х18Н12С4ТЮ, ИЧХ12М, СЧ 18
15	Ст6сп3, 75, У9, 10Х17Н13М2Т, КЧ 50-5, АВЧ-1
16	Ст0, 08пс, Р18, 15Х23Н18Л, КЧ 60-3, ИЧХ12Г3М
17	Ст5пс1-II, У7А, 31Х19Н9МВБТ, КЧ 65-3, СЧ 35
18	Ст4пс1-I, Р6М5, 12Х18Н12БЛ, КЧ 70-2, ЖЧХ-1,5
19	Ст2кп1, Р10К5Ф5, 35Х18Н24С2Л, СЧ 15, ВЧ 70
20	Ст4кп1, Р9, 08Х17Н34В5Т3Ю2Р, ВЧ 40, КЧ 60-3

2.5. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Сведения о классификации и маркировке сталей и чугунов
3. Рисунки микроструктур сталей и чугунов различных марок.
4. Сведения о выполнении задания по расшифровке марок сталей и чугунов.

2.6. Контрольные вопросы

1. Укажите основные принципы классификации сталей.
2. Как зависят свойства сталей от содержания углерода?
3. Чем определяется качество сталей?
4. Как в марке стали отражается степень раскисления?
5. Как маркируют углеродистые стали обыкновенного качества?
6. Укажите принципы маркировки инструментальных сталей.
7. Как маркируют легированные конструкционные стали?
8. Как маркируют быстрорежущие стали?
9. В чем отличие маркировки легированных конструкционных сталей и низколегированных инструментальных сталей?
10. В чем отличие маркировки шарикоподшипниковых сталей,
11. Как маркируют качественные конструкционные стали?
12. Какие формы графита существуют в чугунах?
13. Как влияет графит на механические свойства чугуна?
14. Для каких деталей рекомендуется серый чугун?
15. Какой чугун рекомендуется применять для изготовления подшипника скольжения, работающего в паре с упрочненным валом?
16. Как получают в чугуне шаровидный графит?
17. Почему чугуны с шаровидным графитом называют высокопрочными?
18. Как получают ковкие чугуны?
19. Где применяют ковкие чугуны?
20. Какие чугуны используют для литья деталей, работающих при высоких температурах или в коррозионной среде?
21. Какими методами достигается получение специальных свойств в чугунах?

Литература

[8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]

Лабораторная работа № 3

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

3.1. Цели работы

Изучить основные виды термической обработки сталей, произвести выбор режимов термической обработки стали - по заданию преподавателя - на основании диаграммы Fe - Fe₃C и C-образной диаграммы, изучить структуру стали после каждого вида термической обработки, изучить механические свойства при испытаниях на растяжение и ударный изгиб после различных видов термической обработки, установить взаимосвязь структуры термообработанной стали с механическими свойствами и склонностью к хрупкому разрушению, изучить влияние термической обработки на твердость сталей.

3.2. Оборудование, приборы и материалы

Работа выполняется на стандартном оборудовании с применением следующих гостированных приборов и оборудования:

1. Нагревательные электрические печи с температурой нагрева до 950-1000 °С.
2. Термопары хромель-алюмелевые и хромель-копелевые типов ТХА, ТХК.
3. Потенциометры или другие приборы для контроля, регулирования и записи температуры с точностью + 10-15 °С.
4. Твердомеры типов ТК, ТШ, ТП (приборы Роквелла, Бринеля)
5. Баки закалочные лабораторные (водяной и масляный).
6. Клещи, крючки, поддоны нестандартные лабораторные.
7. Микроскопы металлографические типов МИМ-7 с коллекциями микрошлифов термообработанных сталей.
8. Штангенциркули.
9. Бумага наждачная разных номеров.
10. Станки шлифовальные и полировальные.

3.3. Теоретические сведения

Термическая обработка – это технологический процесс, связанный с тепловым воздействием на твердый металл с целью изменения его структуры и свойств.

Любой процесс термической обработки можно охарактеризовать графиком в координатах «температура - время» (t - τ) и описать с помощью параметров, главные из которых – максимальная температура нагрева сплава t_1 , скорость нагрева, время выдержки (τ_1 - τ_2) и скорость охлаждения (рис. 3.1). Угол наклона характеризует скорость нагрева или охлаждения.

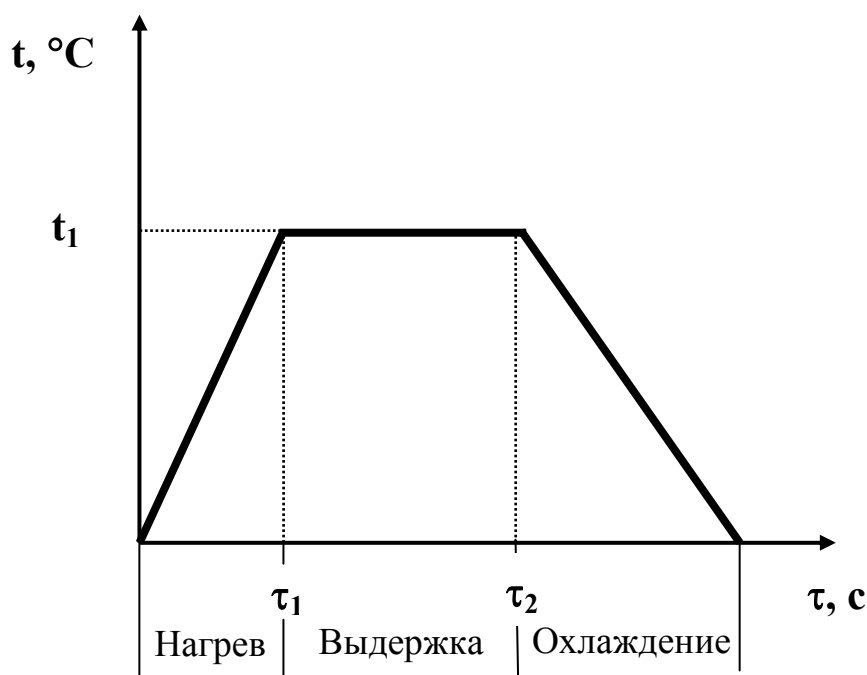


Рис. 3.1. График термической обработки

В результате термической обработки в сплавах происходят структурные изменения. После термообработки металлические сплавы могут находиться в равновесном (стабильном) или неравновесном (метастабильном) состоянии. *Равновесное состояние* достигается тогда, когда полностью завершатся все протекающие в сплавах процессы. При этом строение сплава будет соответствовать диаграмме состояния. *Неравновесное состояние* получается при условиях, препятствующих полному завершению протекающих процессов.

Обозначения критических точек (температур), характеризующих полиморфные превращения в сталях, принимаются в соответствии с диаграммой Fe - Fe₃C (см. рис. 1.1). Равновесные температуры, отвечающие положению линий PSK, GS и SE диаграммы, обозначают:

A₁ – температура равновесия аустенита с ферритом и цементитом (линия PSK);

A₃ – температура верхней границы равновесной области феррит - аустенит (линия GS);

A_{cm} – температура верхней границы равновесной области вторичный цементит – аустенит (линия SE) (cm – цементит).

Чтобы отличить критическую точку при нагреве от критической точки при охлаждении (поскольку они не совпадают: при нагреве необходимо перегреть выше равновесных температур, а при охлаждении переохладить), к обозначению критической точки при нагреве приписывают букву **c**, а при охлаждении букву **r**:

A_{c1} – температура начала образования аустенита при нагреве стали;

A_{c3} – температура окончания образования аустенита при нагреве доэвтектоидной стали;

A_{cm} – температура окончания растворения вторичного цементита в аустените при нагреве заэвтектоидной стали;

A_{r1} – температура окончания превращения аустенита в перлит при охлаждении стали;

A_{r3} – температура начала превращения аустенита в феррит при охлаждении доэвтектоидной стали;

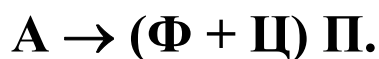
$A_{r_{cm}}$ – температура начала выделения вторичного цементита из аустенита при охлаждении стали.

Если сталь со структурой аустенита, полученной в результате нагрева до температуры выше A_{c3} (для доэвтектоидной стали) или выше A_{cm} (для заэвтектоидной стали), переохладить до температуры ниже A_{r1} , то аустенит оказывается в метастабильном состоянии и претерпевает превращение. Для описания кинетики превращения переохлажденного аустенита пользуются экспериментально построенными диаграммами «время – температура – степень распада» или диаграммами изотермического превращения аустенита, т.е. превращения, протекающего при постоянной температуре (рис. 3.2).

На диаграмме можно выделить следующие области: 1) область устойчивого аустенита; 2) область переохлажденного аустенита; 3) область превращения аустенита в перлит; 4) область закончившегося превращения; 5) область мартенситного превращения (между M_n – M_k); 6) мартенситная область (ниже M_k). Диаграмма изотермического превращения позволяет определить конечную структуру для данной марки стали, если известна температура или скорость превращения. Рассмотрим структуры, образующиеся при превращении аустенита.

Перлитное превращение

Перлитное превращение переохлажденного аустенита протекает при температурах A_1 – 500 °С (рис. 3.2, область I). При перлитном превращении ведущей фазой является цементит. Его зародыши, как правило, образуются на границах зерен аустенита. В результате образования пластинок цементита соседние участки в аустените обедняются углеродом, что приводит к полиморфному $\gamma \rightarrow \alpha$ превращению и образованию ферритно-цементитной структуры:



При увеличении переохлаждения увеличивается количество зародышей новой фазы и растет дисперсность пластинок феррита и цементита. Если превращение происходит при высоких температурах (низкая скорость охлаждения, малая степень переохлаждения), получается грубая смесь феррита и цементита, которая называется **перлитом**. Понижение температуры превращения вызывает образование смеси более тонкого строения, которое получила название **сорбит**. При еще более низкой температуре образуется **троостит** - структура более дис-

персная. С увеличением степени дисперсности пластин цементита растет твердость и прочность стали. Наибольшую пластичность имеют стали с сорбитной структурой. Троостит, образующийся при более низкой температуре превращения, характеризуется меньшей пластичностью.

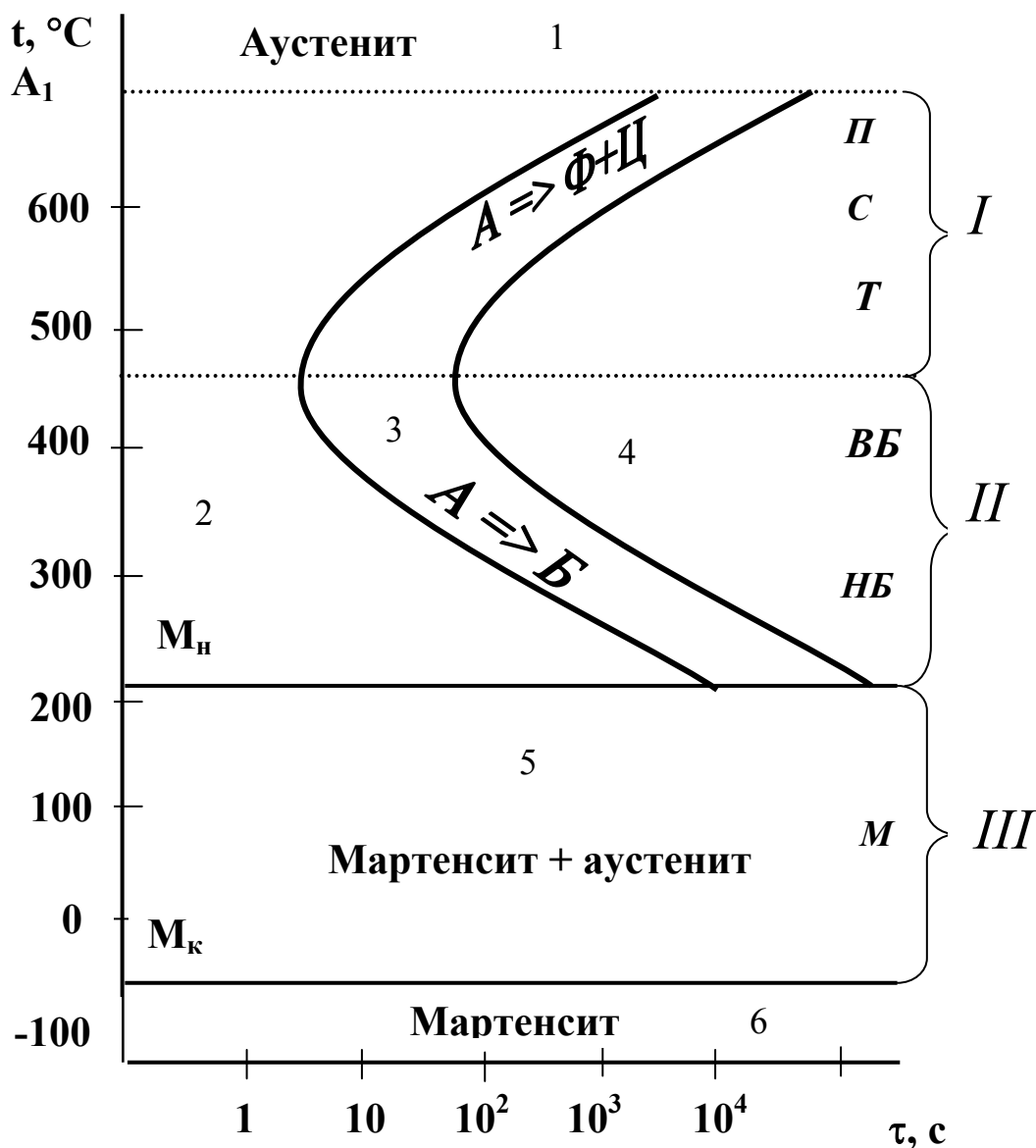


Рис. 3.2. Диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали:

I – область перлитного превращения; II – область промежуточного (бейнитного) превращения; III – область мартенситного превращения;

1 – область устойчивого аустенита; 2 – область переохлажденного аустенита; 3 – область превращения $A \rightarrow \text{П}$; 4 – область закончившегося превращения; 5 – область мартенситного превращения; 6 – мартенситная область

Перлит, сорбит и троостит представляют собой ферритно-цементитные смеси или перлитные структуры различной дисперсности, имеющие пластинчатое строение (рис. 3.3).

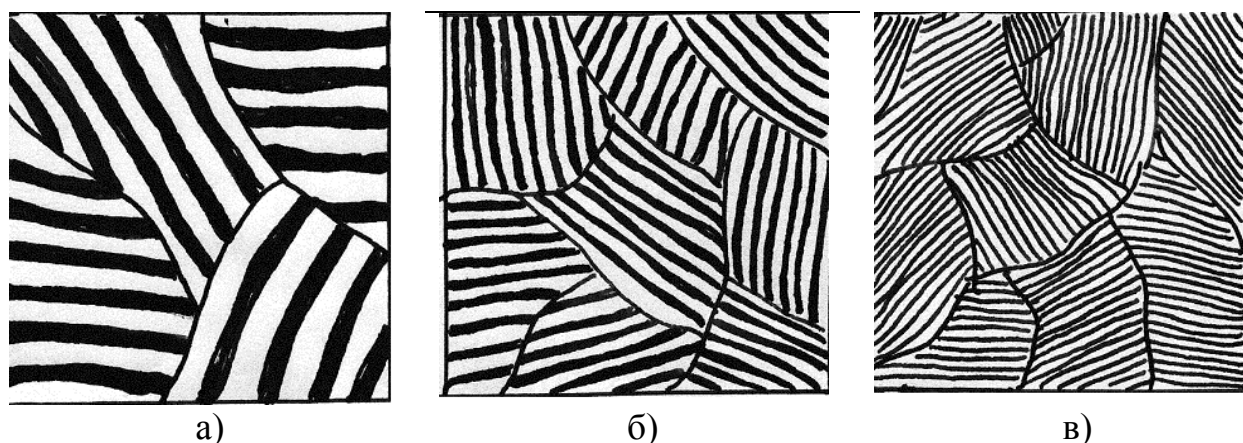


Рис. 3.3. Схемы структур перлитного превращения:
а) перлит; б) сорбит; в) троостит

Мартенситное превращение

При больших степенях переохлаждения возрастает термодинамическая неустойчивость аустенита, а скорость диффузии углерода и железа резко падает. При переохлаждении аустенита в эвтектоидной стали до 240 °С подвижность атомов углерода близка к нулю и происходит **бездиффузионное** превращение аустенита (рис. 3.2, область III). При этом меняется лишь тип решетки $\gamma \rightarrow \alpha$, а весь углерод, ранее растворенный в решетке аустенита, остается в решетке феррита, хотя равновесная концентрация углерода в феррите не превышает 0,006 % при комнатной температуре.

В результате этого образуется **мартенсит** – неравновесный пересыщенный твердый раствор внедрения углерода и других элементов в α -железе, полученный в результате бездиффузионного превращения (перестройки кристаллической решетки γ -железа без изменения массовой доли углерода). Из-за пересыщенности углеродом решетка мартенсита сильно искажена и вместо кубической приобретает тетрагональную форму, при которой отношение параметров решетки существенно отличается от единицы $c/a \neq 1$. Чем больше углерода, тем выше степень тетрагональности мартенсита.

Мартенсит имеет высокую твердость (до HRC 65) и хрупкость. Высокая твердость мартенсита обусловлена искажениями кристаллической решетки, связанными с большими внутренними напряжениями, а также возникновением фазового наклепа за счет увеличения удельного объема при превращении аустенита в мартенсит.

Мартенситное превращение идет в интервале температур начала и конца мартенситного превращения M_n и M_k и не доходит до конца. Для эвтектоидной стали оно начинается при + 240 °С и заканчивается при - 50 °С. Однако при этой температуре в стали сохраняется еще некоторое количество непревращен-

ного так называемого **остаточного аустенита**. Охлаждение ниже температуры M_k не приводит к его окончательному превращению. Процесс мартенситного превращения происходит с большой скоростью и связан с увеличением объема. В результате возникают большие внутренние напряжения, которые противодействуют полному протеканию процесса превращения, поэтому в стали всегда кроме мартенсита будет и некоторое количество остаточного аустенита.

Минимальная скорость охлаждения, при которой аустенит превращается в мартенсит без образования структур перлитного типа, называется **критической скоростью закалки** ($V_{кр}$) (рис. 3.10). При совмещении кривых охлаждения с диаграммой изотермического превращения критическая скорость охлаждения проводится по касательной к С-образной кривой.

Кристаллы мартенсита в зависимости от состава стали, а следовательно, и от температуры своего образования могут иметь различные морфологию и субструктуру. Различают два типа мартенсита – пластинчатый, образующийся в основном в высокоуглеродистых сталях, и реечный, образующийся в конструкционных углеродистых и легированных сталях (рис. 3.4).

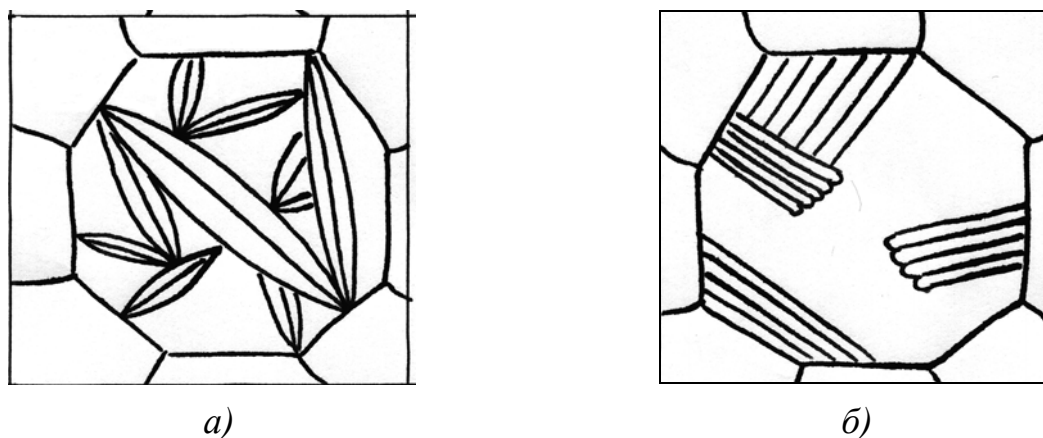


Рис. 3.4. Схема пластинчатого (игольчатого) (а) и реечного (массивного) (б) мартенсита

Промежуточное (бейнитное) превращение

Бейнитное (промежуточное) превращение протекает в температурной области между перлитным и мартенситным превращениями (см. рис. 3.2, область II). В результате промежуточного превращения образуется **бейнит**, представляющий собой структуру, состоящую из α -твердого раствора, претерпевшего мартенситное превращение и несколько пересыщенного углеродом и частицами карбидов.

Бейнитное превращение переохлажденного аустенита сочетает в себе элементы перлитного и мартенситного превращений: диффузионное перераспределение углерода в аустените между продуктами его распада и мартенситное бездиффузионное превращение железа. Бейнитное превращение протекает

при температурах, когда самодиффузия железа практически невозможна, а скорость диффузии углерода еще достаточно высока.

В начале бейнитного превращения происходит диффузионное перераспределение углерода в аустените, что приводит к образованию в нем объемов, обогащенных и обедненных углеродом. Участки аустенита, **обедненные углеродом**, у которых точка M_n лежит в области температур промежуточного превращения, претерпевают $\gamma \rightarrow \alpha$ - превращение по мартенситному механизму. Образующийся малоуглеродистый мартенсит тут же отпускается с образованием бейнитной структуры. В объеме аустенита, **обогащенного углеродом**, сначала выделяются карбиды, что приводит к обеднению этих участков углеродом и к протеканию в них мартенситного превращения.

Различают структуру верхнего и нижнего бейнита. **Верхний бейнит**, образующийся обычно в области температур $\sim 500 - 350$ °С, имеет «перистый» вид, в котором частицы карбидов расположены между пластинами феррита, по границам и внутри пластин. **Нижний бейнит** образуется при температурах от 350 °С до точки M_n и имеет игольчатое (пластинчатое) строение, частицы карбидов находятся только внутри пластин феррита (рис. 3.5).

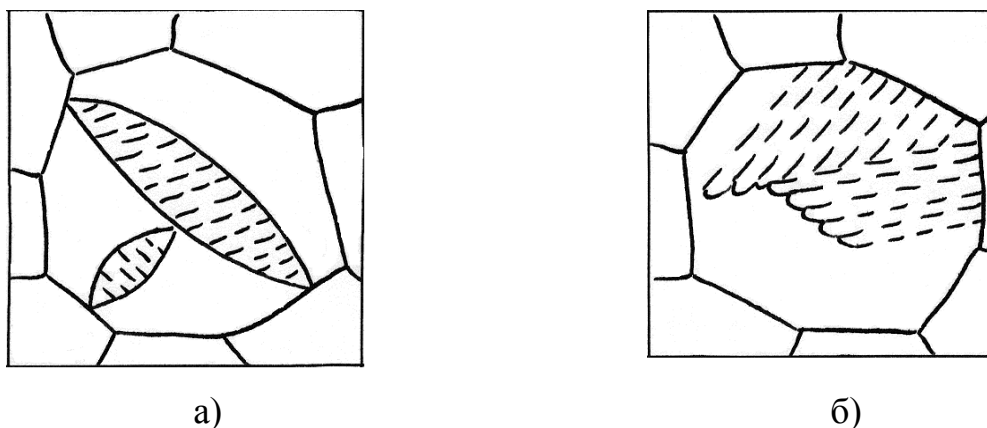


Рис. 3.5. Схематическое изображение структуры:

- а) нижнего бейнита (мартенситоподобной); б) верхнего бейнита (структуры с вытянутыми пластинами феррита и параллельно им вытянутыми карбидными частицами)

Верхний и нижний бейнит отличаются также по механическим свойствам. Образование верхнего бейнита снижает пластичность стали по сравнению с пластичностью, получаемой для продуктов распада аустенита в перлитной области. Твердость и прочность при этом не изменяются. Пониженная пластичность верхнего бейнита связана с выделением сравнительно грубых карбидов по границам ферритных зерен. Нижний бейнит по сравнению с сорбитом и трооститом имеет более высокую твердость и прочность при сохранении высокой пластичности.

Основные виды термической обработки стали представлены на рис. 3.6.

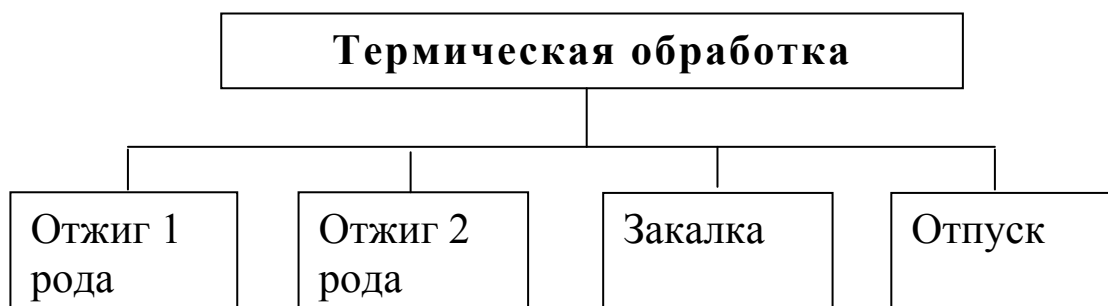


Рис. 3.6. Основные виды термической обработки стали

Отжиг

Отжиг – термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали до определенной температуры, выдержке и последующем медленном охлаждении (обычно вместе с печью), с целью получения наиболее равновесной структуры. Основные цели отжига: приведение структуры к равновесной, снижение твердости, повышение пластичности и вязкости стали, улучшение обрабатываемости, измельчение зерна. Отжиг способствует снятию остаточных напряжений.

Различают отжиг 1-го и 2-го рода.

Отжиг 1-го рода частично или полностью устраняет отклонения от равновесного состояния, возникшие при предыдущей обработке, причем его проведение не обусловлено фазовыми превращениями. В зависимости от того, какие отклонения от равновесного устраняются, различают следующие разновидности отжига 1-го рода: **диффузионный (гомогенизационный)** – для устранения дендритной или внутрикристаллитной ликвации (неоднородности) сталей, **рекристаллизационный** – термическая обработка деформированного сплава для проведения рекристаллизации с целью снятия наклепа перед последующей деформацией; для **снятия внутренних напряжений** (табл. 3.1).

Отжиг 2-го рода основан на использовании диффузионных фазовых превращений. Существуют следующие виды отжига 2-го рода: **полный, неполный, сфероидизирующий, изотермический** и **нормализация** (табл. 3.1). Температуры нагрева и схемы различных видов отжига представлены на рис. 3.7 и 3.8.

Виды отжига

Вид отжига	Характеристика	Температура нагрева	Структура	Примечание
Отжиг 1-го рода				
Диффузионный*	Отжиг с длительной выдержкой при температуре выше 950 °С с целью выравнивания химического состава	1000-1100 °С $A_{c3} + 150 \div 250$ °С	Химически однородная крупнозернистая (видманштеттовая) структура с игольчатым строением феррита	Подвергают отливки и слитки из легированной стали для уменьшения дендритной ликвации
Рекристаллизационный	Отжиг деформированной стали при температуре, выше температуры начала рекристаллизации с целью устранения наклепа и получения равноосного зерна	680-740 °С $0,5 \div 0,6 T_{пл}$	Преобразование текстуры в равноосные зерна	Слитки любых сталей после холодной деформации (обработки давлением) для восстановления пластичности
Для снятия внутренних напряжений	Отжиг стали после различных видов металлообработки: сварки, резки, шлифования с целью уменьшения внутренних напряжений (твердости)	650-680 °С $A_{c1} - (15-30)$ °С	Уменьшение внутренних напряжений	Детали точных станков, измерительный инструмент из легированных и углеродистых сталей с высокой точность размеров
Отжиг 2-го рода				
Полный	Отжиг при температуре выше A_{c3} с целью получения равновесной ненапряженной перлитной структуры после полной перекристаллизации	$A_{c3} + (20 \div 30)$	П + Ф(сетка)	Ликвидация пороков структуры при предыдущей обработке доэвтектоидной стали

Вид отжига	Характеристика	Температура нагрева	Структура	Примечание
Отжиг 2-го рода				
Неполный	Отжиг в интервале температур между A_{c1} и A_{c3} с целью получения перлитной структуры после частичной перекристаллизации	$A_{c1} < T_n < A_{c3}$	П + Ф	Подвергают доэвтектоидные стали с целью снятия внутренних напряжений
Сфероидизирующий	Отжиг при температуре несколько выше A_{c1} с целью сфероидизации карбидов	$A_{c1} < T_n < A_{cm}$	(П + Ц ₂) П _{зерн}	Подвергают заэвтектоидные стали для устранения цементитной сетки и уменьшения твердости и хрупкости
Изотермический	Отжиг, заключающийся в нагреве до температуры выше A_{c3} (A_{cm}), выдержке, охлаждении до температуры перлитного превращения и изотермической выдержке до полного распада аустенита	$A_{c3} + (40 \div 50)$ $A_{cm} + (40 \div 50)$	Структуры перлитного превращения: перлит, сорбит, троостит	Подвергают легированные стали для получения однородной ферритно-цементитной смеси. Этот вид отжига экономичнее обычного
Нормализация	Нагрев до температуры выше A_{c3} (A_{cm}) с последующим охлаждением на воздухе с целью получения мелкого зерна и равномерного распределения структурных составляющих	$A_{c3} + (40 \div 50)$ $A_{cm} + (40 \div 50)$	Сорбит или троостит	Углеродистые и легированные стали для измельчения зерна и упрочнения. Экономичный способ упрочняющей термообработки

Примечание. *Для исправления структуры отливки после диффузионного отжига подвергают полному отжигу.

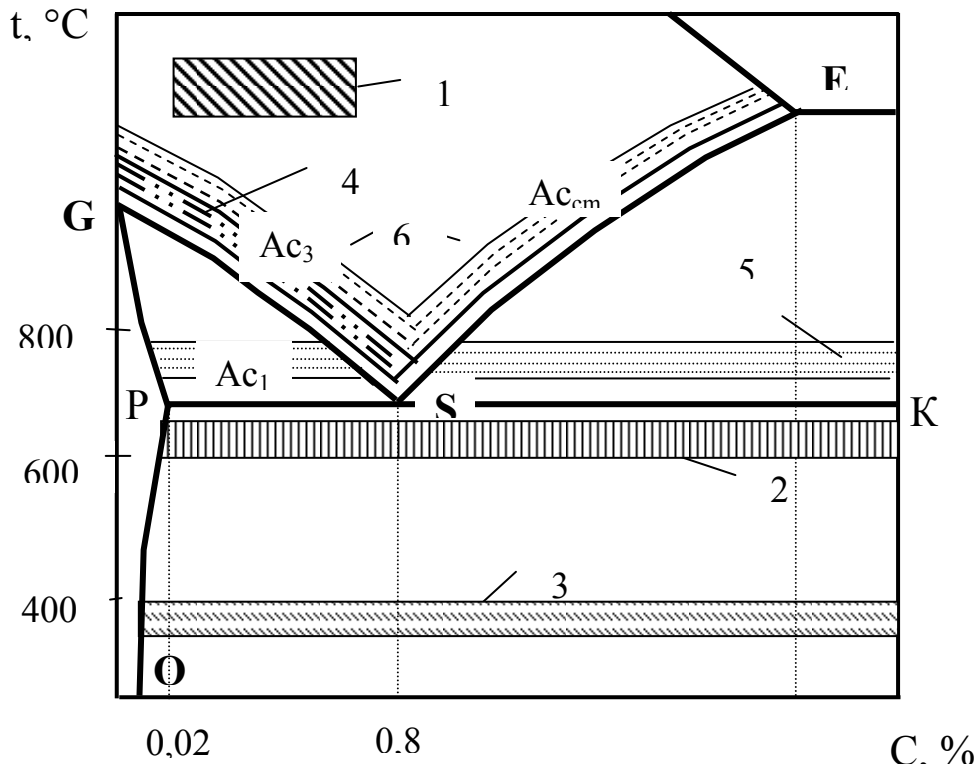


Рис. 3.7. Температура нагрева при отжиге: 1- диффузионный отжиг; 2 – рекристаллизационный отжиг; 3 – отжиг для снятия напряжений; 4 – полный отжиг; 5 – неполный отжиг; 6 - нормализация

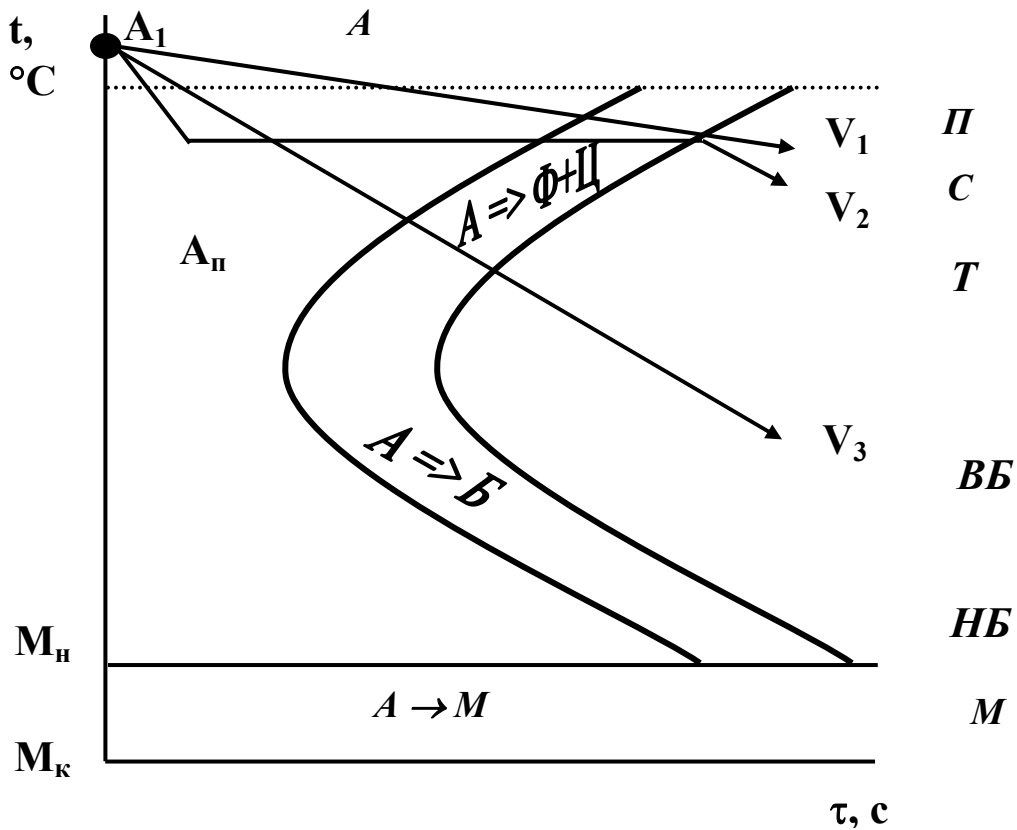


Рис. 3.8. Схемы отжига эвтектоидной стали: V_1 – обычный отжиг; V_2 – изотермический отжиг; V_3 - нормализация

Закалка

Закалка – термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали до температуры выше фазовых превращений, выдержке и последующем быстром охлаждении со скоростью, равной или выше критической, с целью получения неравновесной структуры стали - мартенсита.

В результате закалки из аустенита образуется метастабильная структура мартенсита с высокой твердостью.

Результаты закалки во многом зависят от правильного выбора температуры нагрева для закалки. Доэвтектоидные стали для закалки следует нагревать до температуры на 30-50 °С выше A_{c3} (рис. 3.8). В этом случае сталь с исходной структурой перлит + феррит нагревается до аустенитного состояния и при охлаждении со скоростью больше критической получается мартенсит. *Такая закалка называется полной.*

Если доэвтектоидную сталь нагреть выше A_{c1} , но ниже A_{c3} , то в ее структуре после закалки, наряду с мартенситом, будут участки феррита. Присутствие феррита как мягкой составляющей снижает твердость стали после закалки. Такая закалка называется неполной. Следовательно, доэвтектоидные стали обычно подвергают полной закалке.

Заэвтектоидные стали нагревают для закалки на 50-70 °С выше A_{c1} . При этих температурах в стали, наряду с аустенитом, имеется вторичный цементит. Поэтому после закалки в структуре заэвтектоидных сталей присутствуют мартенсит, цементит и небольшое количество остаточного аустенита. Если заэвтектоидную сталь нагреть для закалки выше $A_{c_{cm}}$, то в ее структуре будет крупноигольчатый мартенсит с повышенным количеством остаточного аустенита. Присутствие остаточного аустенита в структуре стали снижает ее твердость. Все заэвтектоидные стали подвергают *неполной закалке* (рис. 3.9).

Закалочные среды. Охлаждающая (закалочная) среда должна обеспечить высокую скорость охлаждения при температурах наименьшей устойчивости переохлажденного аустенита (650-550 °С), чтобы предупредить его распад на ферритно-цементитную смесь.

В интервале температур мартенситного превращения (от M_n до M_k) целесообразно медленное охлаждение с целью уменьшения внутренних напряжений.

В качестве закалочных сред для углеродистых сталей, имеющих высокую критическую скорость охлаждения, применяют воду и различные водные растворы, а для легированных сталей, имеющих небольшую критическую скорость закалки, используют масло и воздух.

Способы закалки. Оптимальный способ закалки выбирают в зависимости от состава стали, формы и размеров детали. Различные способы закалки представлены в табл. 3.2 и на рис. 3.10, оптимальные температуры нагрева под закалку - на рис. 3.9.

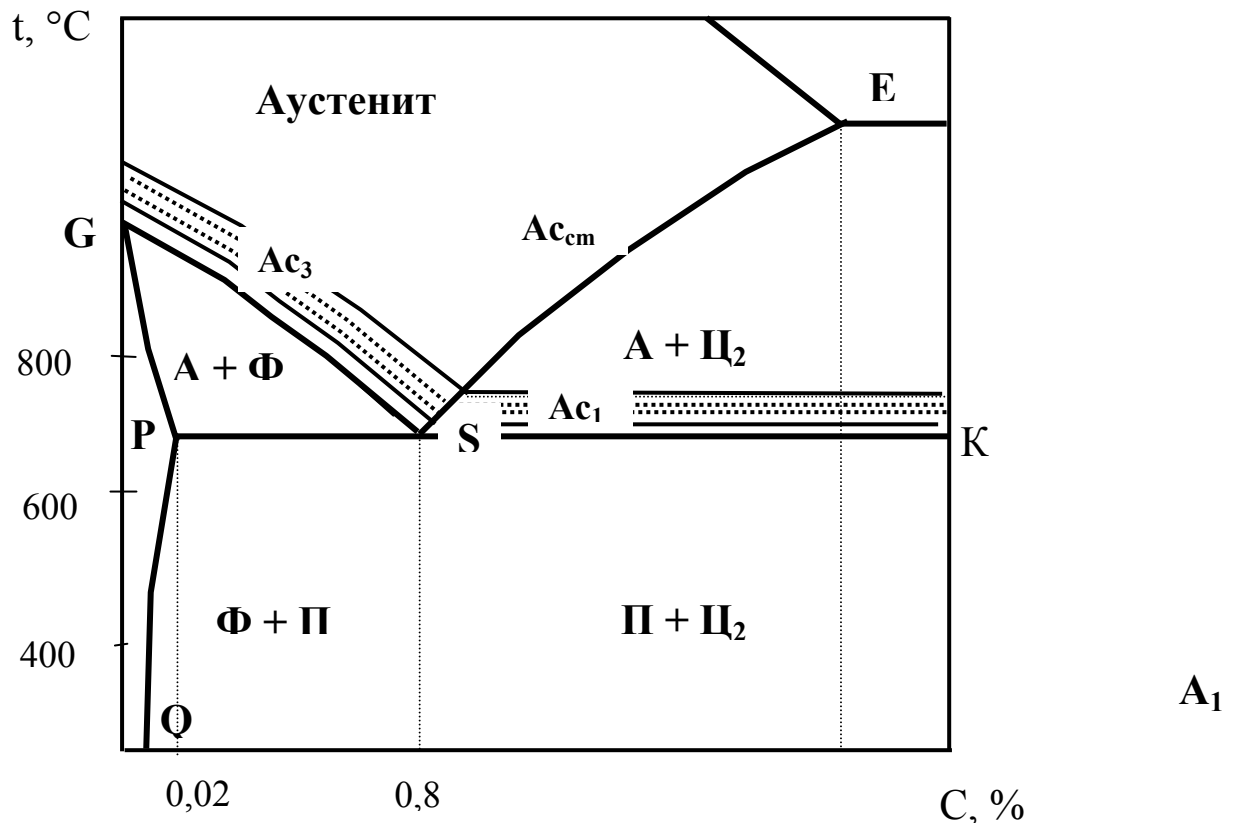


Рис. 3.9. Оптимальные температуры нагрева под закалку углеродистых сталей

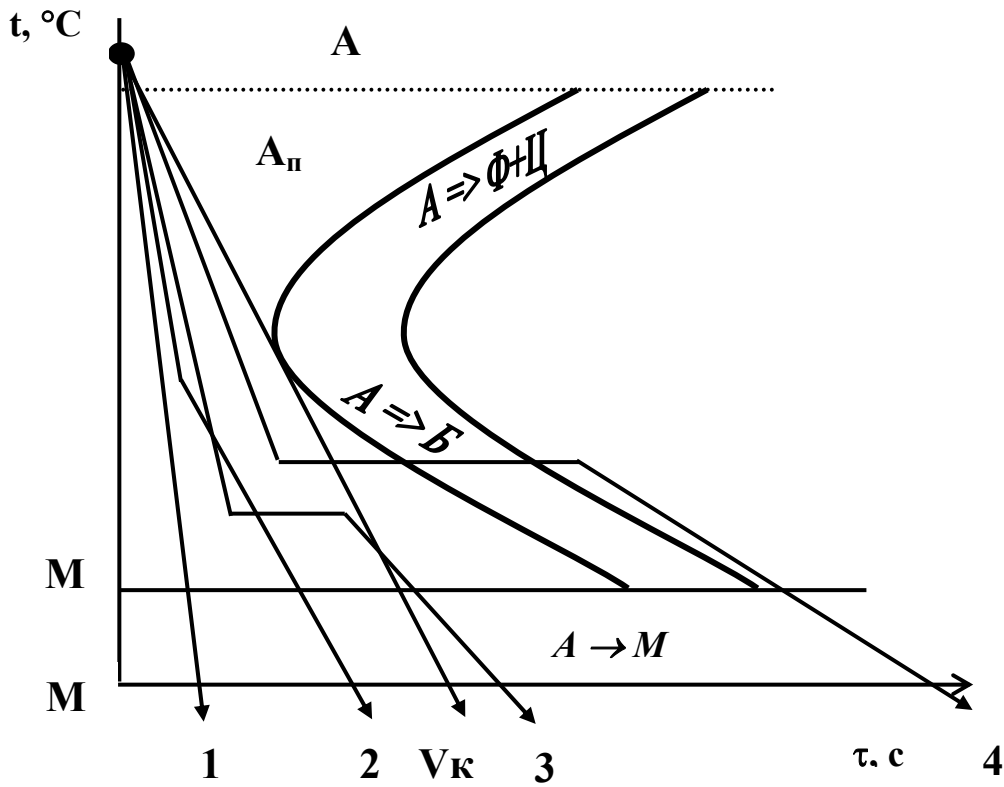


Рис. 3.10. Виды закалки сталей: 1 – непрерывная закалка; 2 – прерывистая; 3 – ступенчатая; 4 – изотермическая

Способы закалки

Способ закалки	Характеристика	Структура	Применение
Полная закалка (температура нагрева $A_{c3} + (30 \div 50 \text{ }^\circ)$)			
Непрерывная (в одном охладителе)	Закалка с непрерывным охлаждением в одной среде с целью получения структуры мартенсита	Мартенсит	Применяют для закалки легированных сталей при охлаждении в масле и цементированных углеродистых при охлаждении в воде
Ступенчатая	Закалка с охлаждением в среде с температурой несколько выше M_n , выдержкой без превращения аустенита и последующим охлаждением на воздухе для получения структуры мартенсита	Мартенсит	Применяют для деталей из углеродистых сталей диаметром не более 10-12 мм, для легированных сталей – до 20-30 мм сложной конфигурации с целью уменьшения остаточных напряжений при сохранении высокой твердости
Изотермическая	Закалка с охлаждением в среде с температурой выше M_n , изотермической выдержкой до полного или неполного превращения аустенита и последующим охлаждением для получения структуры бейнита	Нижний бейнит	Применяют для закалки изделий сложной формы из легированных сталей во избежание образования трещин и коробления и для получения высокой прочности и вязкости. Закалочная среда – расплавы солей или щелочей

Способ закалки	Характеристика	Структура	Применение
Неполная закалка (температура нагрева $A_{c1} + (30 \div 50)^\circ$)			
Непрерывная	Закалка с непрерывным охлаждением в одной среде с целью получения структуры мартенсита и цементита	Мартенсит и цементит	Применяют для закалки изделий из высокоуглеродистых сталей несложной формы в воде. Изделия диаметром до 6-7 мм закачивают в масле
Неполная закалка (температура нагрева $A_{c1} + (30 \div 50)^\circ$)			
<i>Прерывистая (в двух средах)</i>	Закалка с охлаждением в двух средах: вначале с большей (вода), затем с меньшей охлаждающей способностью (масло)	Мартенсит и цементит	Основной вид закалки углеродистых инструментальных сталей. Применяется для снижения внутренних напряжений при сохранении высокой твердости
С обработкой холодом	Закалка с продолжением охлаждения до температуры ниже $+20^\circ\text{C}$, но в интервале M_n-M_k с целью дополнительного превращения остаточного аустенита в мартенсит	Мартенсит и цементит	Подвергают измерительные инструменты, детали подшипников, цементированные детали из легированных сталей с устойчивым аустенитом. Среда охлаждения – жидкий азот и кислород
Ступенчатая	Закалка с охлаждением в среде с температурой несколько выше M_n , выдержкой без превращения аустенита и последующим охлаждением на воздухе для получения структуры мартенсита	Мартенсит и цементит	Применяют для закалки инструментов небольшого сечения из низко- и среднелегированных сталей

Отпуск

Отпуск является заключительной операцией термической обработки сталей. **Отпуск – это термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали, подвергнутой закалке, до температуры ниже A_{c1} , выдержке и последующем охлаждении, с целью превращения неравновесной структуры в более равновесную.**

Закаленная структура сталей является термодинамически нестабильной, так как имеет искаженную кристаллическую решетку (тетрагональную с отношением осей $c/a > 1$) и повышенную свободную энергию. Поэтому при последующем нагреве закаленная сталь стремится к более стабильному состоянию, т.е. к превращению мартенсита и остаточного аустенита в феррито-цементитную смесь.

Различают три вида отпуска (табл. 3.3).

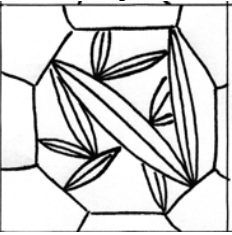
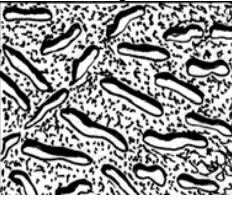
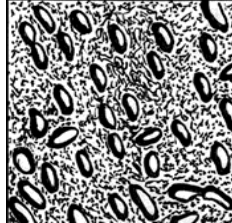
Низкотемпературный отпуск (низкий) осуществляется в интервале температур 100-250 °С. При этом отпуске уменьшается степень тетрагональности кристаллической решетки мартенсита вследствие выделения из нее углерода в виде ϵ -карбида (Fe_2C). Кристаллическая решетка ϵ -карбида когерентно связана с решеткой мартенсита, т.е. отдельные кристаллографические плоскости у них являются общими. В связи с когерентной связью твердость стали при этом не снижается, а внутренние напряжения уменьшаются. В результате низкотемпературного отпуска мартенсит закалки превращается в **мартенсит отпуска**, имеющий повышенную ударную вязкость и пластичность по сравнению с мартенситом закалки. При этом сталь сохраняет высокую твердость (рис. 3.10). Поэтому низкотемпературному отпуску подвергают режущий и мерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей, а также детали после поверхностной закалки, цементации и т.д.

Среднетемпературный отпуск (средний) проводят при температуре 350-500 °С. При температуре свыше 300 °С из мартенсита выделяется цементит. Образование цементита и его коагуляция (укрупнение) сопровождаются снижением твердости и повышением вязкости и пластичности. При среднетемпературном отпуске образуется дисперсная ферритно-цементитная смесь, имеющая зернистое строение цементита. Эта структура называется **трооститом отпуска**. Средний отпуск средне- и высокоуглеродистых сталей обеспечивает высокие предел упругости, предел выносливости, большую релаксационную стойкость. Поэтому этот вид отпуска используют после закалки рессор, пружин, штампов.

Высокотемпературный отпуск (высокий) осуществляется при температуре 500-600 °С. При этом происходит полное снятие внутренних напряжений, коагуляция и сфероидизация частиц цементита. Структуру, возникающую после высокого отпуска, называют **сорбит отпуска**. Сорбит отпуска состоит из ферритной основы, пронизанной сферическими частицами цементита. В результате высокотемпературного отпуска понижается твердость закаленной стали,

Таблица 3.3

Виды отпуска

Вид отпуска	Характеристика	Температура нагрева	Время выдержки	Структура (схема)	Применение
Низкотемпературный (низкий)	Отпуск при температуре ниже 250 °С, с целью получения мартенсита отпуска и уменьшения остаточных напряжений	150-250 °С	2 часа + 1 мин на мм сечения	<p>Мартенсит отпуска</p> 	Режущий и мерительный инструмент из высокоуглеродистых и легированных сталей с высокой твердостью и износостойкостью
Среднетемпературный (средний)	Отпуск в интервале температур 350-500 °С, с целью получения дисперсных продуктов распада мартенсита, некоторого снижения твердости при значительном увеличении предела упругости и выносливости	350-500 °С	20 мин + 1 мин на мм сечения	<p>Троостит отпуска</p> 	Используют для пружинно-рессорных сталей
Высокотемпературный (высокий)	Отпуск в интервале температур 500-680 °С, с целью получения структуры сорбита отпуска, достижения оптимального сочетания прочностных, пластических и вязких свойств.	500-680 °С	10 мин + 1 мин на мм сечения	<p>Сорбит отпуска</p> 	Используют для конструкционных сталей, детали из которых подвергаются действию высоких напряжений и ударным нагрузкам

но значительно увеличиваются пластичность и ударная вязкость (рис. 3.11). Высокому отпуску подвергают детали из конструкционной углеродистой и легированной стали, которые в процессе эксплуатации испытывают значительные ударные и вибрационные нагрузки.

Основным отличием структур типа троостита и сорбита отпуска от троостита и сорбита после нормализации является сфероидальная форма частиц цементита в структурах отпущенной стали, в то время как у структур после распада аустенита при охлаждении форма частиц пластинчатая. При равной прочности сталь со структурой сорбита отпуска по сравнению со сталью, имеющей структуру сорбита после нормализации, имеет более высокие показатели вязкости. В связи с этим термическую обработку, состоящую из закалки и высокотемпературного отпуска на сорбит отпуска, принято называть улучшением.

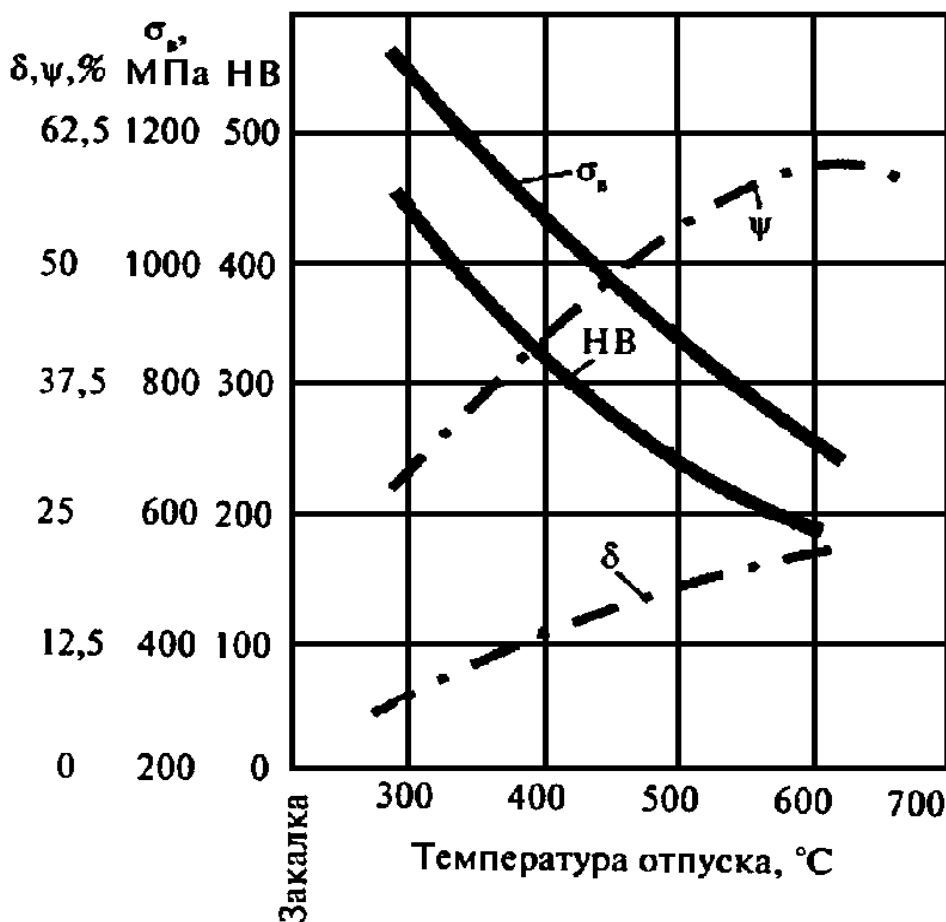


Рис. 3.11. Изменение механических свойств эвтектоидной стали в зависимости от температуры отпуска

3.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями, необходимыми для выполнения работы, правилами техники безопасности и последовательностью выполнения практической части работы.

2. Назначить режимы термической обработки: температуру нагрева (по диаграмме Fe - Fe₃C (см. рис.3.2) для стали выбранной марки), время прогрева и выдержки (по табл. 3.4), охлаждающую среду (по табл. 3.5). Занести данные в табл. 3.6.

Таблица 3.4

Ориентировочная производительность прогрева деталей (образцов) в электропечи в зависимости от величины их сечений и конфигурации

Температура нагрева, °С	Продолжительность нагрева, мин/мм, при форме сечения деталей		
	круг	квадрат	пластина
600	2,0	3,0	4,0
700	1,5	2,2	3,0
800	1,0	1,6	2,0
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

Таблица 3.5

Характеристика охлаждающих сред, применяемых при термической обработке углеродистых сталей

Охлаждающая среда	Скорость охлаждения в °С/с в интервале температур	
	650-550 °С	300-200 °С
С печью	0,2	0,6
Воздух	3	1
Вода 18-20 °С	600	270
Минеральное масло	150	30

3. Провести термическую обработку образцов по выбранным режимам (отжиг, нормализация, закалка в воде и масле, отпуск закаленных в воде образцов: низкотемпературный, среднетемпературный, высокотемпературный). Один образец для сравнения оставить без термической обработки (в состоянии поставки).

4. Зачистить окалину на 2-х параллельных поверхностях термически обработанных образцов для ударного изгиба. Измерить твердость, произведя не менее 3-х замеров на каждом образце, и вычислить среднее значение. Занести данные в табл. 3.6.

ВНИМАНИЕ! Работа на печах, твердомерах, микроскопах проводится только в присутствии преподавателя или лаборанта после ознакомления с порядком работы на них и правилами техники безопасности.

5. Рассмотреть с помощью микроскопа и в альбоме микроструктур металлов и сплавов микрошлифы термообработанных сталей и зарисовать структуру всех образцов (с указанием вида термической обработки, увеличения микроскопа и структурных составляющих).

6. Построить графики зависимости HRC от вида термообработки.

7. Сформулировать выводы по работе, объяснив характер полученных кривых на графиках и связав их со структурой.

8. Выполнить индивидуальное задание, выданное преподавателем по подбору режимов термической обработки определенной марки стали.

Таблица 3.6

Структура и твердость термически обработанных образцов

Материал образцов - сталь...

Клеймо	Термическая обработка				Микро-структура	Твердость HRC
	Вид т/о	T _{нагр}	Время выдержки	Среда охлаждения		
1.	без т/о	-	-	-		
2.	отжиг			с печью		
3.	нормализация			воздух		
4.	закалка			масло		
5.	закалка			вода		
6.	закалка + низкий отпуск			вода воздух		
7.	закалка + средний отпуск			вода воздух		
8.	закалка + высокий отпуск			вода воздух		

3.5. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Вычертить диаграмму изотермического превращения в стали (С-образная кривая), указать на ней области перлитного, промежуточного и мартенситного превращений.
3. Дать определения основным видам термического обработки (отжиг, закалка, отпуск), указать цель и назначение каждого вида термической обработки.
4. Вычертить диаграмму состояния сплавов Fe - Fe₃C («стальной угол»), указать интервалы температур по термообработке.
5. Практическая часть. По результатам исследований заполнить табл. 3.8.
6. Построить график зависимости твердости от вида термообработки.
7. Выполнить задание в соответствии с вариантом, выданным преподавателем, по определению режимов термической обработки данной марки стали (табл. 3.7):
 - 1) определить процентное содержание углерода в марке стали;
 - 2) определить вид термической обработки для получения указанной структуры;
 - 3) по диаграмме Fe - Fe₃C определить температуру нагрева под термическую обработку;
 - 4) определить скорость охлаждения и подобрать среду охлаждения (см. табл. 3.5). Начертить С-образную кривую и указать на ней луч охлаждения для данной термообработки;
 - 5) по полученной структуре определить примерный уровень механических свойств и область применения марки стали после термической обработки.

Контрольные вопросы

1. Назвать и охарактеризовать основные виды термической обработки сталей.
2. Назвать разновидности отжига сталей и обосновать выбор параметров режимов (с привлечением диаграммы) изотермического распада аустенита.
3. Что такое закалка? Какие процессы происходят при закалке стали?
4. Как производится выбор параметров закалки?
5. Охарактеризовать структуры, получающиеся при охлаждении стали (эвтектоидной, до- и заэвтектоидной) с различными скоростями.
6. Что такое отпуск?
7. Что такое нормализация?

8. Что такое перлитное превращение? Как механические свойства зависят от дисперсности перлита?
9. Что такое мартенситное превращение? Охарактеризовать мартенсит заковки в сталях.
10. Как влияет содержание углерода на мартенситное превращение в сталях?
11. Чем объясняется высокая твердость мартенсита?
12. Каковы особенности промежуточного (бейнитного) превращения в сталях?
13. Чем отличается механизм перлитного превращения от промежуточного и мартенситного?
14. Чем отличается по структуре и свойствам перлит от сорбита и троостита? Как получить эти структуры?
15. Охарактеризовать структурные превращения и уровень свойств, получаемых при отпуске стали.
16. Как меняются показатели прочности, пластичности и твердости в зависимости от структуры стали?

Таблица 3.7

Варианты заданий по работе

Номер варианта	Марка стали	Полученная структура	Номер варианта	Марка стали	Полученная структура
1	08	П + Ф	13	65	М
2	10	М	14	70	С
3	15	Т	15	75	Т _{от}
4	18	П + Ф	16	У8	М + А _о
5	20	С	17	У8А	П
6	25	С _{от}	18	У9	М _{от}
7	30	П + Ф	19	У10	Пзерн
8	35	М	20	У10А	ВБ
9	45	С _{от}	21	У11	С + Ц
10	50	Т	22	У12	М + Ц
11	55А	НБ	23	У12А	М _{от}
12	60	Т _{от}	24	У13	П + Ц

Литература

[4, с. 45-105], [5, с. 152-220], [6, с.223-307], [7, с. 67-83], [8]

Лабораторная работа № 4

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

4.1. Цель работы

Изучение маркировки, состава, структуры, свойств и области применения алюминиевых, медных и титановых сплавов.

4.2. Оборудование, приборы и материалы

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Твердомеры.
3. Набор микрошлифов цветных металлов и сплавов.
4. Атлас микроструктур цветных металлов и сплавов.

4.3. Алюминий и его сплавы

Алюминий – металл серебристо-белого цвета с температурой плавления 658 °С. Он не имеет полиморфных превращений и кристаллизуется в решетке ГЦК. Алюминий обладает малой плотностью, хорошей теплопроводностью и электрической проводимостью, высокой пластичностью и коррозионной стойкостью.

Постоянные примеси алюминия – Fe, Si, Cu, Zn, Ni. В зависимости от содержания примесей первичный алюминий подразделяют на три класса (ГОСТ 11069-74 [28]): особой чистоты А999 (0,001 % примесей); высокой чистоты А995, А99, А97, А95 (0,005-0,05 % примесей) и технической чистоты А85, А8, А7, А5, А0 (0,15 – 1 % примесей).

Технический алюминий, выпускаемый в виде деформируемого полуфабриката (листов, профилей, прутков и др.), маркируют *АД0* и *АД1* (ГОСТ 4784-97 [29]). Применяется технический алюминий для элементов конструкций, не несущих нагрузок.

По способу изготовления изделий алюминиевые сплавы подразделяются на *литейные и деформируемые*. Деформируемые используют для производства полуфабрикатов (листов, лент, профилей, проволок и т.д.), литейные – для отливки деталей.

4.3.1. Литейные алюминиевые сплавы

Для литейных алюминиевых сплавов наиболее распространена классификация по химическому составу (Al-Si, Al-Cu, Al-Mg).

Маркируют литейные алюминиевые сплавы большой буквой *А*, после которой *большими русскими буквами указывают легирующие элементы, цифры после букв показывают содержание элементов в целых процентах*. Химиче-

ский состав и механические свойства некоторых литейных алюминиевых сплавов приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Химический состав и механические свойства литейных
алюминиевых сплавов по ГОСТ 1583-93 [30] и наименование марок
сплавов по отмененному ГОСТ 2685-75**

Марка сплава ГОСТ 1583-93	Марка сплава ГОСТ 2685-75	Содержание элементов (остальное Al), %				σ_B , МПа	δ , %	НВ
		Si	Cu	Mg	Ni			
АК7	АЛ9	6-8	-	0,2-0,4	-	165	0,5	70
АК9	АЛ4	8-11	-	0,15- 0,3	-	180	1	70
АК12	АЛ2	11-13	-	-	-	130	1	70
АК5М4	АК5М4	3,5-6	3-5	-	-	180	0,5	85
АК8М	АЛ32	7,5-8,5	1,0-1,5	-	-	270	3	80
АК12ММгН	АЛ30	11-13	0,8-1,5	0,8-1,3	0,8-1,3	200	0,5	75
АК21М2,5 Н2,5	АК21М2 ,5Н2,5	20-22,5	2,2-3,0	-	2,2-2,8	186	-	100
АМ5	АЛ19	-	4,5-5,3	-	-	360	3	100
АМг10	АЛ27	-	-	9,5- 11,5	-	360	15	75

Лучшими литейными свойствами обладают сплавы *Al-Si* (силумины). Высокая жидкотекучесть, малая усадка, отсутствие или низкая склонность к образованию горячих трещин и хорошая герметичность силуминов объясняются наличием большого количества эвтектики в структуре этих сплавов. Сплав АК12 применяют при изготовлении сложных отливок в песчаных формах, кокилях и литьем под давлением. Сплавы АК7 и АК9 содержат магний и отличаются повышенной прочностью. Их применяют для изготовления крупных отливок, работающих в условиях больших нагрузок (картеров, блоков двигателей и т.д.).

4.3.2. Деформируемые алюминиевые сплавы

В настоящее время согласно ГОСТ 4784-97 [29] для деформируемых алюминиевых сплавов предложена буквенно-цифровая и цифровая маркировки. При буквенно-цифровой маркировке буквами в начале марки указывают: А – технический алюминий; Д – сплав типа дуралюмин; К – ковочный сплав; АД – сплав системы Al-Mg-Si; В – высокопрочный сплав. Цифрами обозначен условный номер сплава.

В конце маркировки алюминиевых сплавов обычно ставится буква, указывающая вид предварительной обработки сплава. Используются следующие обозначения: М – мягкий, отожженный; Н – нагартованный; Н2 - полунагартованный; Т – закаленный и естественно состаренный; Т1 – закаленный и искусственно состаренный; Т4 – частично закаленный и естественно состаренный; Т5 – частично закаленный и искусственно состаренный.

В цифровой маркировке цифра 1 на первом месте означает, что основой является алюминий. Вторая цифра характеризует химический состав, последние две цифры указывают номер сплава. Последняя цифра несет дополнительную информацию: сплавы, оканчивающиеся на нечетную цифру - деформируемые, на четную – литейные. Примеры обозначения сплавов с помощью буквенно-цифровой и цифровой маркировок приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Примеры маркировок деформируемых алюминиевых сплавов

Легирующий элемент	Маркировка		Легирующий элемент	Маркировка	
	буквенно-цифровая	цифровая		буквенно-цифровая	цифровая
Al (чистый)	АД00	1010	Cu, Mg, Mn, Si	АК6 АК8	1360 1380
Mn	АМц	1400	Zn-Mg	-	1911
Mg-Mn	АМг АМг5	1510 1550	Zn-Mg-Cu	В95	1950
Cu-Mg	Д1 Д16 Д18	1100 1160 1187	Cu-Mn	Д20 -	1200 1201

По способу достижения необходимых эксплуатационных свойств деформируемые сплавы подразделяются на не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

1. Сплавы, *не упрочняемые термической обработкой*, используют либо в отожженном, либо в упрочненном наклепом (нагартованном) состоянии (сплавы типа АМц и АМг). Механические свойства их улучшаются в основном за счет легирования твердого раствора и в результате наклепа, но при этом снижается пластичность. Химический состав и механические свойства сплавов, не упрочняемых термической обработкой, представлены в табл. 4.3.

Сплавы типа АМц и АМг применяют для изделий, получаемых глубокой вытяжкой, сваркой, от которых требуется высокая коррозионная стойкость (трубопроводов для бензина и масла, сварных баков), а также для заклепок, переборок, корпусов и мачт судов, лифтов, узлов подъемных кранов и др.

2. К сплавам, упрочняемым термической обработкой, относятся сложные алюминиевые сплавы на основе тройных и многокомпонентных систем (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Химический состав (ГОСТ 4784-97) и механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов

Марка сплава	Содержание элементов (остальное Al), %				σ_B , МПа	δ , %	НВ
	Cu	Mg	Mn	Прочие			
АМц	-	-	1-1,6	-	130	20	30
АМг2	-	1,8-2,6	0,2-0,6	-	190	23	45
АДЗ1	-	0,6-1,2	-	0,2-0,6 Si	330	17	100
АДЗ5	-	0,6-1,2	0,4-1,0	0,7-1,0 Si	340	13	95
Д1	3,8-4,8	0,4-0,8	0,4-0,8	-	400	20	95
Д16	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	-	440	18	105
В95	1,4-2	1,8-2,8	0,2-0,6	0,01-0,25Cr	540	8	150
АК6	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	0,7-1,2 Si	400	12	100
АК8	3,9-4,8	0,4-0,8	0,4-1	0,6-1,2 Si	480	9	135

Применение алюминия и его сплавов наиболее эффективно при возведении легких конструкций зданий и сооружений; конструкций, подверженных действию агрессивных и коррозионных сред, а также конструкций и изделий, к внешнему виду которых предъявляют повышенные требования (облицовочные панели торговых зданий, элементы выставочных павильонов, окна, перегородки, перила, водосточные трубы и желоба, тенты и навесы и т.д.)

Медь и ее сплавы

Медь – металл красновато-розового цвета с температурой плавления 1083 °С, имеющий кристаллическую ГЦК решетку, без полиморфных превращений. Медь менее тугоплавка, чем железо, но имеет большую плотность и характеризуется высокими теплопроводностью и электрической проводимостью, пластичностью и коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, пресной и морской воде, едких щелочах, органических кислотах и других агрессивных средах. По ГОСТ 859-2001 [32] в зависимости от содержания примесей различают следующие марки меди: М00 (99,99 % Cu), М0 (99,97 % Cu), М1 (99,9 % Cu), М2 (99,7 % Cu), М3 (99,5 % Cu).

Медь – дорогостоящий и дефицитный металл, имеет низкие литейные свойства: большую усадку, высокую склонность к поглощению газов и образованию трещин, низкую жидкотекучесть. Поэтому чистую медь используют редко, а чаще применяют медные сплавы. Медные сплавы подразделяют на латуни, бронзы и медно-никелевые (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Классификация медных сплавов

Латуни

Латунями называют двойные и многокомпонентные сплавы на основе меди, в которых главной добавкой является **цинк**, причем его содержание может меняться до 49 %. По технологическим свойствам латуни подразделяют на литейные и деформируемые (обрабатываемые давлением).

Латуни маркируют буквой **Л**. В деформируемых латунях, не содержащих кроме меди и цинка других элементов (двухкомпонентные латуни), за буквой **Л** ставится число, показывающее среднее содержание меди (Л90, Л70). В многокомпонентных деформируемых латунях после **Л** ставятся буквы – символы элементов (так же как в алюминиевых сплавах), а затем числа, указывающие содержание меди и каждого легирующего элемента. Концентрация цинка определяется по разности. ЛАН59-3-2 содержит 59 % Cu, 3 % Al, 2 % Ni и 36 % Zn.

Обозначения легирующих элементов в латунях (и других цветных сплавов) отличается от обозначения таковых в сталях и чугунах. Поэтому при расшифровке марок латуней пользуйтесь приложением (с. 107). Например, латунь ЛАН59-3-2 содержит 59 %Cu, 3 % Al, 2 %Ni (остальное Zn).

В марках литейных латуней указывается содержание цинка, а количество каждого легирующего элемента ставится непосредственно за буквой, обозначающей его. Содержание меди определяют по разности. Например, латунь ЛЦ23А6Ж3Мц2 содержит 23 % Zn, 6 % Al, 3 % Fe, 2 % Mn (остальное Cu).

В многокомпонентных латунях добавки алюминия, олова, никеля, марганца, железа и кремния повышают прочность, твердость, коррозионную стойкость и литейные свойства. Свинец улучшает обрабатываемость резанием. Хорошие технологические и широкий диапазон потребительских свойств, красивый цвет и сравнительная дешевизна латуней делают их наиболее распространенными медными сплавами.

Бронзы

В отличие от латуней бронзами называют все сплавы меди, не содержащие в своем составе цинка, а также сплавы, в которых цинк не является основным легирующим компонентом. Бронзы в свою очередь делят на оловянные и безоловянные. Бронзы обозначают буквами **Бр**, за которыми ставятся буквы и цифры (ГОСТ 5017-74 [33]). *В марках деформируемых бронз сначала помещают буквы – символы легирующих элементов, а затем числа, указывающие их содержание.* Например: БрАЖ9-4 содержит 9 % Al, 4 % Fe, остальное Cu. *В марках литейных бронз после каждой буквы указывается содержание этого легирующего элемента.* Например: БрО6Ц6С3 содержит 6 % Sn, 6 % Zn, 3 % Pb, остальное – Cu.

Бронзы используются в качестве коррозионно-стойких, антифрикционных и пружинных материалов.

Медно-никелевые сплавы

Медно-никелевыми называют сплавы на основе меди, в которых легирующим элементом, определяющим основные свойства сплава, является никель. Добавка никеля к меди увеличивает твердость, прочность, электросопротивление и повышает коррозионную стойкость во многих средах.

Медно-никелевые сплавы выделены в особую группу (ГОСТ 492-73 [34]). По назначению их делят на конструкционные (мельхиор, нейзильбер, куниаль) и электротехнические (копель, константан, манганин).

Маркировка медно-никелевых сплавов образована из букв МН и цифры, указывающей суммарное содержание Ni + Co. Если сплав легируется, в марке указывают введенные элементы и их содержание через дефисы в порядке упоминания. Например: МН19 – медно-никелевый сплав, содержащий 19 % (Ni + Co), остальное – медь.

Титан и сплавы на его основе

Титан – металл серого цвета. Температура плавления титана 1668 °С. Титан имеет две полиморфные модификации: низкотемпературная (до 882 °С) модификация α -титана характеризуется ГП решеткой, высокотемпературная модификация имеет ОЦК решетку. Полиморфное превращение (882 °С) при медленном охлаждении происходит по нормальному механизму с образованием

полиэдрической структуры, а при быстром охлаждении – по мартенситному механизму с образованием игольчатой структуры.

В соответствии с общепринятой системой классификации по уровню легирования и фазовому составу сплавы разделены на 6 следующих групп:

- 1) технический титан (в том числе с палладием);
- 2) α -сплавы (не содержащие β -фазы);
- 3) псевдо- α -сплавы (с количеством β -фазы не более 5 %);
- 4) $\alpha+\beta$ -сплавы (с более значительным количеством β -фазы);
- 5) псевдо- β -сплавы (способные закаливаться на 100 % β -фазы);
- 6) β -сплавы (не содержащие α -фазы в равновесном состоянии).

Для большинства сплавов марка начинается с букв «ВТ», «ОТ», «ПТ»; первая означает название организации-разработчика сплава, вторая – слово «титан», далее порядковый номер сплава.

Технический титан (ГОСТ 19807-91 [35]) маркируют в зависимости от содержания примесей ВТ1-00 (сумма примесей $\leq 0,10$ %), ВТ1-0 (сумма примесей $\leq 0,30$ %). Отличительными особенностями титана и его сплавов являются хорошие механические свойства, малая плотность, высокая удельная прочность, хорошие технологические свойства и отличная коррозионная стойкость.

Сплавы на основе титана получили значительно большее применение, чем технический титан. Легирование титана Fe, Al, Mn, Cr, Sn, V, Si повышает его прочность, но одновременно снижает пластичность и вязкость. Жаропрочность повышают Al, Zr, Mo, а коррозионную стойкость в растворах кислот – Mo, Zr, Nb, Ta, Pd. **По технологии изготовления титановые сплавы подразделяют на деформируемые и литейные.** Основным легирующим элементом в титановых сплавах является **алюминий**.

Титановые сплавы относятся к группе легких сплавов (4500 кг/м^3) и характеризуются высокой удельной прочностью. У этих сплавов хорошие жаропрочные свойства и отсутствует хладноломкость, в т.ч. и при очень низких температурах. Титановые сплавы практически превосходят нержавеющей стали, медные и никелевые сплавы в стойкости против коррозии в морской воде, а также в таких агрессивных средах, как влажный хлор, горячая азотная кислота и др.

Литейные титановые сплавы. Титановые сплавы имеют хорошие литейные свойства: высокую жидкотекучесть, хорошую плотность отливки, малую склонность к образованию горячих трещин, небольшую усадку. К недостаткам относятся большая склонность к поглощению газов и высокая активность при взаимодействии с формовочными материалами. Поэтому их плавку и разливку ведут в вакууме или в среде нейтральных газов. Для фасонного литья применяют сплавы, аналогичные деформируемым (ВТ5Л, ВТ3-1Л, ВТ14Л) по химическому составу, а также специальные литейные сплавы. Литейные титановые сплавы обладают более низкими механическими свойствами, чем деформируемые.

Титан и его сплавы применяются в авиационной и ракетной технике, энергомашиностроении, для изготовления оборудования для химической и пи-

щевой промышленности, для декоративной отделки памятников. Также титановые сплавы могут найти применение для крупногабаритных резервуаров, газгольдеров и других конструкций, сооружаемых в районах с низкими отрицательными температурами.

4.6. Порядок выполнения работы

1. Изучить классификацию и маркировку алюминиевых, медных и титановых сплавов.
2. Рассмотреть под микроскопом и зарисовать микроструктуры цветных металлов и сплавов. Определить твердость предложенных образцов.

4.7. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Указать основные принципы маркировки алюминиевых сплавов. Привести марки литейных и деформируемых алюминиевых сплавов, назвать их механические свойства и область применения.
3. Дать определение латуней. Указать основные особенности маркировки деформируемых и литейных латуней. Указать химический состав, свойства и область применения латуней
4. Дать определение бронз. Указать основные особенности маркировки литейных и деформируемых бронз. Назвать марки оловянных и безоловянных бронз, их свойства, область применения.
5. Дать определение медно-никелевых сплавов. Указать особенности маркировки, области применения.
6. Дать классификацию титановых сплавов по структуре. Опишите характерные свойства титановых сплавов и область их применения.

Контрольные вопросы

1. Каковы характерные физические и механические свойства алюминия и где он применяется?
2. На какие группы делятся алюминиевые сплавы в зависимости от технологии их обработки?
3. Где применяются и как упрочняются сплавы АМц и АМг?
4. Как маркируются деформируемые алюминиевые сплавы?
5. Чем отличаются латуни от бронз? Как маркируются латуни и бронзы?
6. Каковы характерные физические и механические свойства титана и где он применяется?
7. Опишите характерные свойства титановых сплавов и область их применения.

Литература

[28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35]

Лабораторная работа № 5
БЕЗОПАСНОСТЬ СВАРОЧНЫХ РАБОТ

5.1. Цель работы

Ознакомиться с основными опасными факторами при сварочных работах.

5.2. Оборудование, приборы и материалы

Стационарный сварочный пост, баллоны с газами, средства личной защиты, спецодежда.

5.3. Краткие теоретические сведения

Сварка относится к работам с повышенной опасностью, что влечет за собой ряд требований, выполнение которых обязательно. Основными опасными факторами при сварочных работах являются:

- опасность поражения электрическим током при выполнении сварочных работ дуговой сваркой;
- ожоги кожных покровов и органов зрения излучающей энергией электрической дуги и брызгами расплавленного металла;
- воздействие на организм человека газов, паров и пыли, выделяющихся в процессе сварочных работ;
- механический травматизм в процессе сборочных работ и подготовке деталей под сварку;
- взрывоопасность баллонов с горючим газом и ацетиленовых генераторов;
- пожарная опасность при всех огневых работах;
- при монтажных работах появляется опасность, связанная с работой на высоте.

Поэтому к сварочным работам допускаются только лица, достигшие 18-летнего возраста и прошедшие специальную подготовку и медицинское обследование.

5.3.1. Электрическая безопасность сварщика

Под электрической безопасностью сварщика подразумевают комплекс мер, предупреждающих поражение электрическим током. Степень опасности электрического тока зависит от многих факторов, и в каждом конкретном случае может колебаться в широких пределах. Но в любом случае считают, что для человека сила тока, проходящая через организм, не должна превышать 0,1 А. Поражение электрическим током происходит при прикосновении к токоведущим частям оборудования или проводки, находящимся под напряжением. Величина напряжения, под которым может оказаться человек, зависит от величины напряжения холостого хода источника питания сварочной дуги.

Самым первым и наиболее эффективным средством защиты от поражения электрическим током является заземление оборудования и свариваемых деталей и обеспечение надежной изоляции. В целях электрической безопасности напряжение холостого хода сварочного оборудования ограничивают до следующих величин:

- генераторы постоянного тока – до 80 В;
- трансформаторы – до 90 В.

Каждый сварочный аппарат обеспечивают отдельным заземляющим проводом, присоединяемым непосредственно к заземляющей магистрали. Электро-сварочное оборудование должно регулярно (не реже одного раза в месяц) подвергаться проверке на:

- отсутствие замыкания на корпус;
- целостность заземляющего провода;
- отсутствие оголенных токоведущих частей;
- отсутствие замыкания между обмотками высокого и низкого напряжения;
- исправность блокировок.

Провода, которые подключаются к сварочному аппарату, должны быть надежно изолированы и защищены от воздействия высокой температуры и механических повреждений.

Сопротивление изоляции обмоток сварочных трансформаторов и преобразователей тока должно проверяться после окончания всех видов ремонтов, но не реже одного раза в год. Сопротивление изоляции обмоток трансформатора относительно корпуса и между обмотками должно быть не менее 0,5 МОм.

При наружных сварочных работах оборудование должно быть надежно защищено от дождя и снега. Наружные сварочные работы во время непогоды запрещены.

5.3.2. Взрывобезопасность

Емкости, в которых хранились легковоспламеняемые вещества, перед сваркой следует отключить от трубопроводов, затем очистить и промыть горячей водой с каустической содой, пропарить. Просушить и провентилировать. Непосредственно перед сварочными работами следует проверить наличие взрывоопасных концентраций газов или паров, используя для этого газоанализатор. Пределы взрываемости газов и паров горючих газов и жидкостей в смеси с воздухом и кислородом приведены в табл. 5.1.

При газосварочных работах взрывы возможны во время неправильной транспортировки, хранения и использовании баллонов со сжатыми газами. При процессах газопламенной обработки возможны взрывы ацетиленовых генерато-

ров от обратного удара пламени, если не сработает водяной затвор. К взрывам приводит наличие масла на штуцере кислородного баллона или на редукторе.

Таблица 5.1

Пределы взрываемости газов, паров и жидкостей

Наименование газа	Пределы взрываемости, выраженные в процентном объеме горючего газа	
	С воздухом	С кислородом
Ацетилен	2,2-81,0	2,9-93,0
Водород	3,3-81,5	4,65-93,9
Окись углерода	11,4-77,5	15,5-93,9
Метан	4,8-16,7	5,0-59,2
Пропан	2,17-9,5	2,0-48,0
Бутан	1,55-8,4	1,3-47,0
Городской газ	3,8-24,8	10,0-73,6
Коксовый газ	7,0-21,0	-
Природный газ	4,8-14,0	5,0-59,2
Нефтяной газ	3,5-16,3	-
Пары бензина	0,7-6,0	2,1-28,4
Пары керосина	1,4-5,5	-

В процессе работы газовые баллоны необходимо защищать от солнечных лучей и других источников тепла. Помещение, в котором хранятся баллоны, должно быть расположено не менее 25 м от места, где проводятся газопламенные работы. В одном помещении могут храниться баллоны только с однородными газами, пустые баллоны хранят отдельно от полных.

Баллоны для хранения и транспортировки сжатых, сжиженных и растворенных газов регламентируются требованиями ГОСТ 949-73. На сферической части баллона ставится клеймо, на котором паспортные данные: товарный знак изготовителя, номер баллона, дата изготовления и год следующего испытания, масса порожнего баллона и его емкость. Периодические испытания баллонов производятся не реже, чем каждые пять лет. В зависимости от газа, для которого предназначен баллон, его окраска и надписи отличаются (табл. 5.2).

Особую осторожность следует соблюдать в обращении с кислородными баллонами. В струе кислорода горят многие вещества, включая металлы, а легковоспламеняющиеся жидкости (масла, жиры, нефть и т.п.) горят со взрывом. Поэтому лица, соприкасающиеся с баллонами, должны работать в чистой одежде, на руках и инструмента не должно быть следов масел и жиров.

Отличительная окраска баллонов

Газ	Окраска баллонов	Текст надписи	Цвет надписи	Цвет полосы
Азот	Черный	Азот	Желтый	Коричневый
Аргон	Серый	Аргон	Зеленый	-
Ацетилен	Белый	Ацетилен	Красный	-
Бутилен	Красный	Бутилен	Желтый	Черный
Кислород	Голубой	Кислород	Черный	-
Метан	Красный	Метан	Белый	-
Природный газ	Красный	Природный газ	Белый	-
Пропан (бутан)	Красный	Пропан (бутан)	Белый	-
Углекислота	Черный	Углекислота	Желтый	-

5.3.3. Защита от ожогов

Ожоги, вызванные сварочной дугой, представляют опасность, особенно для глаз. Яркость световых лучей сварочной дуги значительно превышает норму, допустимую для человеческого глаза.

Ультрафиолетовые лучи, являющиеся одной из составляющей светового потока дуги, даже при кратковременном действии в течение нескольких секунд вызывают заболевание глаз, называемое электроофтальмией. При значительном поражении глаз световым потоком сварочной дуги можно ослепнуть. Продолжительное воздействие дуги на кожу вызывает ее ожоги. Поэтому сварщики должны пользоваться защитными приспособлениями.

При электросварочных работах основным таким приспособлением является защитная маска, смотровое отверстие которой оснащено светофильтром, задерживающим инфракрасные и ультрафиолетовые лучи и снижающим яркость светового потока дуги.

Газосварщики пользуются защитными очками, снижающими яркость света. Выбор светового фильтра производят в зависимости от мощности дуги и способа сваривания.

Для защиты от ожогов кожных покровов применяют брезентовую спецодежду и рукавицы. Запрещается выполнять сварочные работы с закатанными рукавами и расстегнутым воротом. Для защиты ног следует применять кожаную (летом) или войлочную (зимой) обувь, защищающую от теплового излучения, холода, искр, брызг расплавленного металла.

5.3.4. Защита органов дыхания

При сварочных работах появляются вредные газы и аэрозоли, количество и состав которых зависят от способа сварки, свариваемых металлов и сварочных материалов, режима сварки. Особенно опасны для здоровья аэрозоли марганца, которые могут вызвать длительное и стойкое поражение нервной системы, вплоть до паралича. Многие оксиды, попадая на слизистую оболочку органов дыхания, разрушают ее, вызывают аллергические явления, кровотечение, бронхиальную астму. Особенно опасны окислы хрома. Поэтому для защиты органов дыхания сварщика следует применять защитные маски и фильтрующие респираторы.

Кроме средств индивидуальной защиты рабочее место сварщика оборудуется приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей оптимальный состав окружающего воздуха.

5.3.5. Пожарная безопасность

Сварочные работы могут стать причиной пожара, если не выполняются элементарные требования противопожарной защиты.

Причиной пожара могут стать искры и капли расплавленного металла, небрежное обращение с огнем сварочной горелки, наличие на рабочем месте горючих жидкостей и газов, захламленность в месте огневых работ. Опасность пожара особенно следует учитывать на строительном-монтажных площадках и при ремонтных работах, в местах непригодных для сварки и т.д. Поэтому в местах проведения сварочных работ следует строго соблюдать меры противопожарной защиты. Если сварочные работы проводятся на высоте, то следует учитывать ограждение рабочего места и очистку от сгораемых материалов в радиусе, указанном в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Подготовка рабочего места сварщика на высоте

Высота точки сварки над уровнем пола или прилегающей территории, м	0-2	2	3	4	6	8	10	Свыше 10
Минимальный радиус зоны, м	5	8	9	10	11	12	13	14

Размещенные в указанных границах строительные материалы, настилы, конструкции и т.д. необходимо защитить от попадания на них искр металлическим экраном, покрывалом из негорючего материала или другими доступными средствами. В крайнем случае, материалы можно полить водой. Сварочные работы, которые проводятся в местах проходов или проездов, должны быть ограждены с вывешиванием предупредительных плакатов. Рабочее место сварщика оборудуется средствами первичной противопожарной защиты. После окончания сварочных работ исполнитель, обязан тщательно осмотреть место их проведения, устранить возможные источники пожара.

5.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с правилами безопасности при выполнении сварочных работ.
2. Осмотреть рабочее место сварщика.
3. Ознакомиться со средствами индивидуальной защиты сварщика (защитная одежда, защитные маски, респираторы).
4. Каждому студенту подобрать защитную одежду и маску.

5.5. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Кратко охарактеризовать основные опасные факторы, возникающие при сварочных работах.
3. Зарисовать табл. 10.2.
4. Описать основные защитные приспособления, используемые сварщиками при проведении работ.
5. Сделать вывод

Контрольные вопросы

1. Какие системы вентиляции применяют на рабочих местах сварщиков?
2. Какими устройствами защищают лицо и глаза сварщика от излучения дуги?
3. Какие требования предъявляют к спецодежде и обуви сварщика?
4. В какие цвета окрашиваются баллоны?
5. В чем отличаются кислородные вентили от ацетиленовых?
6. В чем заключаются правила хранения баллонов на сварочном посту?
7. Какие меры пожарной безопасности применяют при проведении сварочных работ на высоте?

Литература

[1, с. 418-422, 34, с. 422-442]

Лабораторная работа № 6
РУЧНАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА

6.1. Цель работы

Ознакомление с сущностью и технологическими особенностями процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами и оборудованием для ее осуществления; определение технико-экономических показателей ручной электродуговой сварки.

6.2. Оборудование, приборы и материалы

Пост для ручной электродуговой сварки (стол, вытяжка, источник питания, токопроводящие провода, электрододержатель, щиток, молоток, зубило, металлическая щетка).

Контрольно-измерительные приборы (амперметр, вольтметр, секундомер, весы с разновесами, линейка измерительная 0-500 мм с ценой деления 1 мм), пластины для наплавки, электроды с различными типами обмазки.

6.3. Краткие теоретические сведения

Ручная электродуговая сварка (РДС) покрытыми электродами - один из способов сварки плавлением. Источником нагрева при этом способе служит электрическая дуга, возбуждаемая между штучным электродом и свариваемыми деталями.

Схема процесса ручной дуговой сварки представлена на рис.6.1. Электрод закрепляется в электрододержателе. Под действием тепла дуги происходит плавление электродного стержня и кромок свариваемых деталей. Расплавленный металл кромок изделия и капли жидкого металла, образующиеся при плавлении стержня, сливаются в общую сварочную ванну. Вместе со стержнем плавится и покрытие электрода, образуя защитную атмосферу вокруг дуги и жидкий шлак на поверхности расплавленного металла и каплях. По мере перемещения дуги вдоль свариваемых кромок происходит кристаллизация жидкого металла сварочной ванны и формирование сварного шва. Жидкий шлак, затвердевая, образует на поверхности шва шлаковую корку.

Электрическая дуга является мощным разрядом электричества в атмосфере ионизированных газов, образующихся при плавлении покрытий электродов и флюсов. Процесс зажигания дуги при сварке можно разделить на 3 этапа: короткое замыкание электрода на деталь с целью разогрева торца электрода и участка детали, отвод электрода на расстояние 3-6 мм от детали для создания эмиссии (испускание) электронов с разогретого торца и ионизации молекул газов и паров металлов при столкновении с быстролетающими электронами; возникновение дугового разряда, т.е. устойчивой электрической дуги между деталью и электродом. Температура столба дуги достигает 7000°C , а катодного и анодного пятен – в пределах $2000-3000^{\circ}\text{C}$.

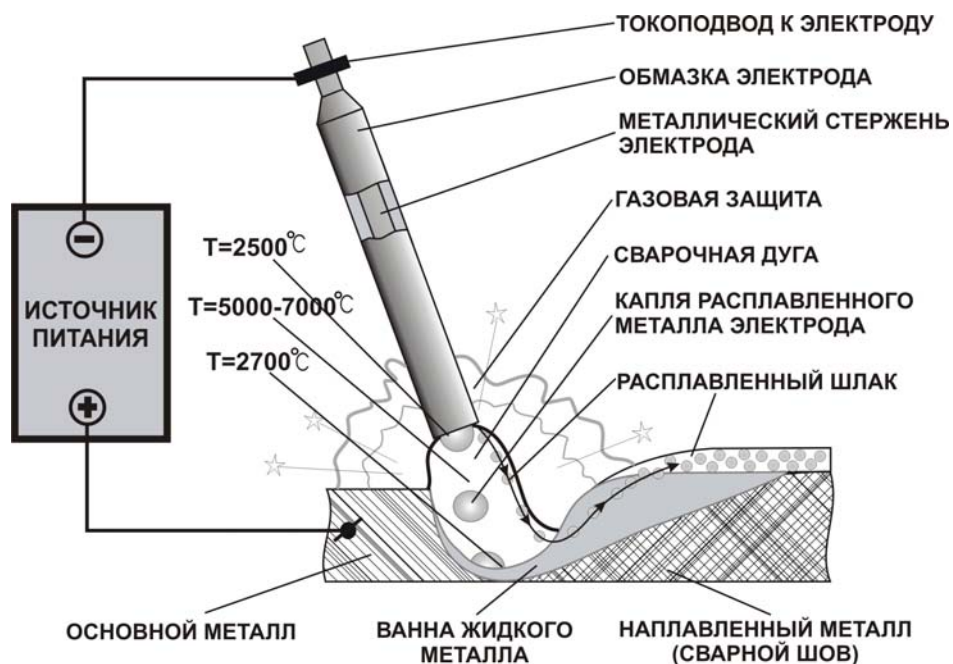


Рис. 6.1. Схема процесса ручной электродуговой сварки

Покрытые электроды, используемые при ручной дуговой сварке, представляют собой металлический стержень, покрытый обмазкой (рис 6.1). Электроды изготавливаются обычно диаметром от 2 до 6 мм (диаметром электрода считается диаметр металлического стержня). Толщина покрытия составляет 0,5 - 2 мм на сторону. Покрытие электрода обеспечивает: легкое зажигание и устойчивое горение дуги; защиту расплавленного металла от взаимодействия с кислородом и азотом воздушной атмосферы; получение металла шва требуемого химического состава; равномерное расплавление стержня и покрытия электрода при небольших потерях электродного металла на угар и разбрызгивание; легкую отделяемость шлаковой корки от поверхности шва.

Один из концов стержня освобожден от покрытия для его зажатия в электродержателе с обеспечением электрического контакта. Второй конец только слегка очищен для облегчения зажигания дуги посредством контакта с изделием.

В состав покрытия входят следующие компоненты: стабилизирующие, газообразующие, шлакообразующие, раскисляющие, легирующие, связующие и наполнители.

Стабилизирующие вещества (соединения калия и натрия) облегчают ионизацию в дуге и увеличивают устойчивость её горения. *Газообразующие вещества* (карбонаты), целлюлоза при нагреве разлагаются и образуют газовую атмосферу, (преимущественно CO_2), что препятствует проникновению кислорода и азота воздуха в дугу и сварочную ванну. *Шлакообразующие составляющие* (полевой шпат, марганцевая руда и др.) при расплавлении образуют жидкий шлак на поверхности расплавленного металла. Шлак защищает расплавленный металл ванны и каплю присадочной проволоки, а также является средой, через которую проводится раскисление и легирование металла шва.

Раскисляющие составляющие (ферросилиций FeSi, ферромарганец FeMn), из-за их большего сродства к кислороду, чем у железа, обеспечивают восстановление окислов железа, находящегося в сварочной ванне. *Легированные составляющие* (феррохром, ферромolibден и др.) служат для получения требуемого химического состава и механических свойств металла шва. *Связующие вещества* (жидкое натриевое стекло) связывают порошкообразные составляющие покрытия, соединяют его с металлическим стержнем. *Наполнители* (преимущественно железный порошок) обеспечивают повышение производительности плавления электродов.

Все электроды для ручной сварки можно разделить на следующие группы по ГОСТ 9466-75:

«В» - для сварки легированных конструкционных сталей повышенной и высокой прочности с пределом прочности свыше 600 МПа – 49 типов;

«Л» - для сварки углеродистых и низколегированных сталей с пределом прочности до 500 МПа, когда к металлу сварных швов предъявляют повышенные требования по пластичности и ударной вязкости – 5 типов;

«Т» - для сварки легированных теплоустойчивых сталей с пределом прочности от 500 до 600 МПа – 9 типов;

«У» - для сварки углеродистых и легированных сталей с пределом прочности до 500 МПа;

«Н» - для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами – 44 типа.

Электроды обозначаются буквой «Э», затем следуют цифры, указывающие прочностные характеристики наплавленного металла. Например, обозначение Э42 указывает, что электроды этого типа обеспечивают минимальный предел прочности 420 МПа. Если в обозначении после цифр стоит буква «А», то это означает, что этот тип электрода обеспечивает более высокие пластические свойства наплавленного металла. Электроды различают по маркам, которые указаны в их паспорте. Одному и тому же типу электродов может соответствовать несколько марок. К примеру, электродам типа Э46 соответствуют марки АНО-4, МР-3 и др.; электродам типа Э42 соответствуют марки УОНИ-13/45 и СМ-11.

Электрододержатель – приспособление для закрепления электрода и подвода к нему тока. Среди всего многообразия применяемых электрододержателей наиболее безопасными являются пружинные, изготавливаемые по требованиям и классификации ГОСТ 14651-78Е. Эти электрододержатели выдерживают без ремонта 8-10 тыс. зажимов. Время замены электрода не превышает 3-4 с.

Основным параметром режима ручной дуговой сварки является величина сварочного тока. Она выбирается в зависимости от диаметра электрода и типа металла электродного стержня по формуле

$$I = k \cdot d,$$

где d — диаметр электрода, мм, k — коэффициент, равный 40-80 А/мм для малоуглеродистых сталей и 30-40 А/мм для высоколегированных сталей.

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла, положения, в котором выполняется сварка, катета шва, а также вида соединения и формы кромок, подготовленных под сварку. Для того чтобы правильно выбрать диаметр электрода, можно воспользоваться табл. 6.1 (для сталей)

Таблица 6.1

Примерное соотношение диаметра электрода и толщины свариваемых деталей

Толщина металла, мм	2 - 3	3 - 5	6 - 10	свыше 10
Диаметр электрода, мм	2,5	3	4	5

При толщине металла свыше 5-6 мм производится разделка кромок.

Рациональная область применения дуговой сварки покрытыми электродами – изготовление металлоконструкций с толщиной соединяемых элементов от 2 до 30 мм при небольшой протяженности швов, расположенных в труднодоступных местах и различных пространственных положениях.

Основные достоинства данного способа сварки – универсальность и простота оборудования, а его недостаток – невысокая производительность, которая обусловлена малыми допустимыми значениями плотности тока и тем, что формирование шва происходит в основном за счет электродного металла.

Производительность дуговой сварки в основном может быть оценена по величине коэффициентов расплавления и наплавки, потерь на угар и разбрызгиванию и удельного расхода электроэнергии.

Коэффициент расплавления α_p – это масса электродного металла в граммах, расплавленного за 1 час горения дуги, отнесенная к 1 А сварочного тока. Он может быть определен экспериментально с помощью выражения

$$\alpha_p = \frac{Q_p \cdot 3600}{I_{св} \cdot t}, \text{ г/А}\cdot\text{ч},$$

где Q_p – масса расплавленной части электродного стержня, г.; $I_{св}$ – сварочный ток, А; t – время горения дуги, с.

Коэффициент наплавки α_n – это масса металла, наплавленная за 1 час горения дуги, отнесенная к 1 А сварочного тока. Он может быть определен экспериментально с помощью выражения

$$\alpha_n = \frac{Q_n \cdot 3600}{I_{св} \cdot t}, \text{ г/А}\cdot\text{ч},$$

где Q_n – масса наплавленного электродного металла, г.

Часть расплавленного электродного металла, потерянная в результате разбрызгивания, учитывается с помощью коэффициента потери

$$\varphi = \frac{Q_p - Q_n}{Q_p} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла может быть оценен по выражению

$$Q_{эл} = \frac{U_d}{\alpha_n \cdot \eta \cdot K_u}, \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг},$$

где U_d – напряжение дуги, В; η - КПД установки, принимается для одно-постового преобразователя (выпрямителя) - 0,45-0,50, для однопостового трансформатора - 0,85-0,88; K_u - коэффициент учитывающий время горения дуги (время работы сварочного оборудования в общем времени сварки).

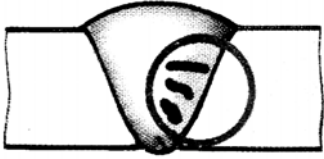
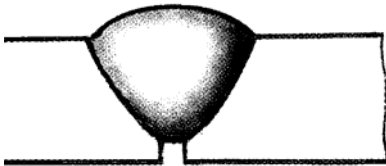
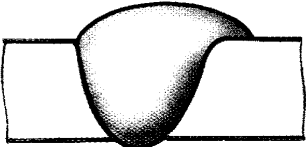
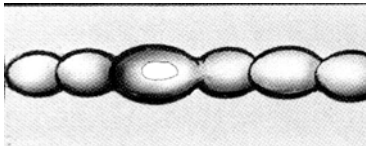
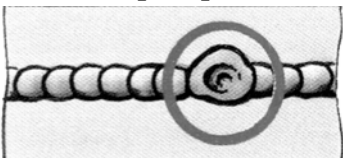

Для ручной дуговой сварки в условиях мелкосерийного производства $K_u = 0,60-0,75$.

Все отклонения от технологических параметров, вызванные небрежностью в работе, нарушением режимов и внешними причинами, могут привести к возникновению дефектов в сварочном шве и околошовной зоне. К дефектам приводит и нарушение технологических приемов как самого процесса сварки, так и некачественная подготовка, неисправность оборудования, отклонения от норм качества сварочных материалов, влияние погодных условий, низкая квалификация сварщика. Дефекты снижают прочность и надежность сварного соединения, его герметичность и коррозионную стойкость. Небольшие поверхностные дефекты можно удалить зачисткой. Вопрос о возможности исправления дефектов решается в каждом конкретном случае, исходя из технических требований к изделиям (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Дефекты сварных соединений

Вид дефекта	Характеристика дефекта (структуры)	Причины появления дефекта или характерной структуры
Трещины 	Горячие и холодные трещины	Резкое охлаждение конструкции Высокие напряжения в жестко закрепленных конструкциях Повышенное содержание серы или фосфора
Поры 	Пустоты, заполненные газом	Быстрое охлаждение шва Загрязнение кромок маслом, ржавчиной и т.п. Непросушенные электроды Высокая скорость сварки
Подрезы 	Местное уменьшение толщины основного металла у границы шва	Неправильный подбор параметров режима сварки

Вид дефекта	Характеристика дефекта (структуры)	Причины появления дефекта или характерной структуры
<p>Неметаллические включения</p> 	Округлые или вытянутые включения шлака, расположенные в металле шва у границы сплавления	Грязь на кромках Малый сварочный ток Большая скорость сварки
<p>Непровар</p> 	Местное отсутствие соединения основного металла с наплавлением	Малый угол скоса вертикальных кромок Малый зазор между ними Загрязнение кромок Недостаточный сварочный ток Завышенная скорость сварки
<p>Наплывы</p> 	Натекание металла шва на поверхность основного металла без сплавления с ним	Неправильный подбор параметров режима сварки
<p>Прожег</p> 	Полость в шве, образовавшаяся в результате вытекания сварочной ванны	Неправильный подбор параметров режима сварки
<p>Кратеры</p> 	Незаваренные углубления в конце шва, часто с усадочными раковинами, переходящими в трещины	Обрыв дуги Неправильное выполнение конечного участка шва
<p>Неравномерная форма шва</p> 	Нарушение размеров швов	Неправильная сборка Неустойчивый режим сварки Неточное направление электрода

6.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и устройством поста для ручной дуговой сварки;
2. Выбрать силу сварочного тока для диаметра электрода, марки и толщины пластины;
3. Взвесить пластины;

4. Снять с одного электрода покрытие, взвесить пруток электродной проволоки (или определить вес расчетным путем);
5. Составить схему включения электроприборов сварочного поста;
6. Произвести наплавку на пластину электродом данной марки. При наплавке измерить секундомером машинное время наплавки, напряжение и сварочный ток вольтметром и амперметром;
7. Очистить металлической щеткой наплавленный валик от шлака и брызг до блеска;
8. Взвесить пластину и остаток электрода без обмазки.
9. Результат взвешивания записать в табл. 6.3.
10. Рассчитать величины α_p , α_n , φ , $Q_{эл}$ и записать результаты в табл. 6.3.
11. Произвести внешний осмотр шва на наличие дефектов.

6.5. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Краткое теоретическое описание РДС, схема процесса (рис. 6.1.).
3. Виды дефектов сварных соединений (табл. 6.2).
4. Методика определения и анализ технико-экономических показателей процесса при разных условиях сварки.
5. Занести результаты измерений в табл. 6.3.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое электрическая дуга?
2. Процесс зажигания электрической дуги.
3. Строение электродов с покрытиями. Назначение покрытий.
4. Какие типы веществ вводят в покрытия сварочных электродов?
5. Какие компоненты, входящие в состав покрытия, обеспечивают защиту металла шва от окружающего воздуха?
6. Какие элементы и соединения, входящие в состав покрытия, обеспечивают металлургическую обработку металла шва?
7. Что означают в маркировках электродов обозначения: Э46, Э55?
8. Как определяется величина сварочного тока и диаметр электрода, необходимые для выполнения сварного соединения?
9. Преимущества и недостатки ручной электродуговой сварки.
10. Что такое коэффициент наплавки и методика его определения?
11. Что такое коэффициент расплавления и какова методика его определения?
12. Как определить коэффициент потери на угар и разбрызгивание?

Литература

[1, с.311-326, 330-343], [28, с. 51-119], [29]

Таблица 6.3

Параметры и технико-экономические показатели процесса сварки

Марка электрода и стали	Вес пластинки, г		Q_n , г	Вес стержня электрода, г		Q_p , г	t, с	Напряжение дуги, U_d , В	Ток I, А	Технико-экономические показатели			
	до сварки	после сварки		до сварки	после сварки					α_p , г/(А·ч)	α_n , г/(А·ч)	Φ , %	$Q_{эл}$, кВт·ч/кг

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

7.1. Цель работы

Ознакомление с физическими основами автоматической сварки под флюсом и оборудованием для ее осуществления; получение представления об основных параметрах режима автоматической сварки под флюсом и принципах их подбора, достоинствами и недостатками процесса и области его рационального применения; приобретение начальных навыков работы на сварочном тракторе; сварка серии образцов из стали, оценка качества сварных соединений и производительности наплавки, сравнение последней с производительностью наплавки при ручной дуговой сварке и покрытыми электродами.

7.2. Оборудование, приборы и материалы

Сварочный трактор ТС-17 (АДФ-1002), сварочный выпрямитель ВДМ-1202С, амперметр, вольтметр, образцы листовой стали марки 10ХСНД, сварочная проволока Св-08, флюсы АН-348А.

7.3. Краткие теоретические сведения

Автоматическая сварка под флюсом относится к способам сварки плавлением. В качестве источника нагрева и плавления металла в ней используется тепло электрической дуги. Механизация движения электрода позволила автоматизировать процесс сварки. Для получения качественных сварных швов взамен электродных покрытий применяют гранулированное вещество, называемое **флюсом**. Сварку под слоем флюса производят электродной проволокой, которую подают в зону горения дуги специальным механизмом, называемым **сварочной головкой автомата**. Токосподвод к проволоке осуществляется через мундштук, изготавливаемый из меди или ее сплавов.

Схема процесса автоматической сварки под флюсом показана на рис. 7.1. В зону дуги подается флюс, который покрывает кромки свариваемого изделия и создает шлаковую защиту. Толщина флюса составляет 30-60 мм. Дуга возбуждается между свариваемым изделием и электродной проволокой и горит под жидким слоем расплавленного флюса (шлака) в замкнутом пространстве, образованном парами и газами, выделяемыми в столбе дуги. Металл сварочной проволоки расплавляется дугой и переносится каплями в сварочную ванну. В сварочной ванне металл сварочной проволоки смешивается с расплавленным основным металлом.

Таким образом, жидкий шлак обеспечивает защиту расплавленного металла от кислорода и азота воздуха и его металлургическую обработку (раскисление, легирование, рафинирование). По мере поступательного движения дуги в направлении сварки происходит затвердевание металлической ванны и слоя жидкого шлака с образованием сварного шва, покрытого шлаковой коркой. По-

дача электродной проволоки в дугу и перемещение ее вдоль шва осуществляется механизмами подачи и перемещения.

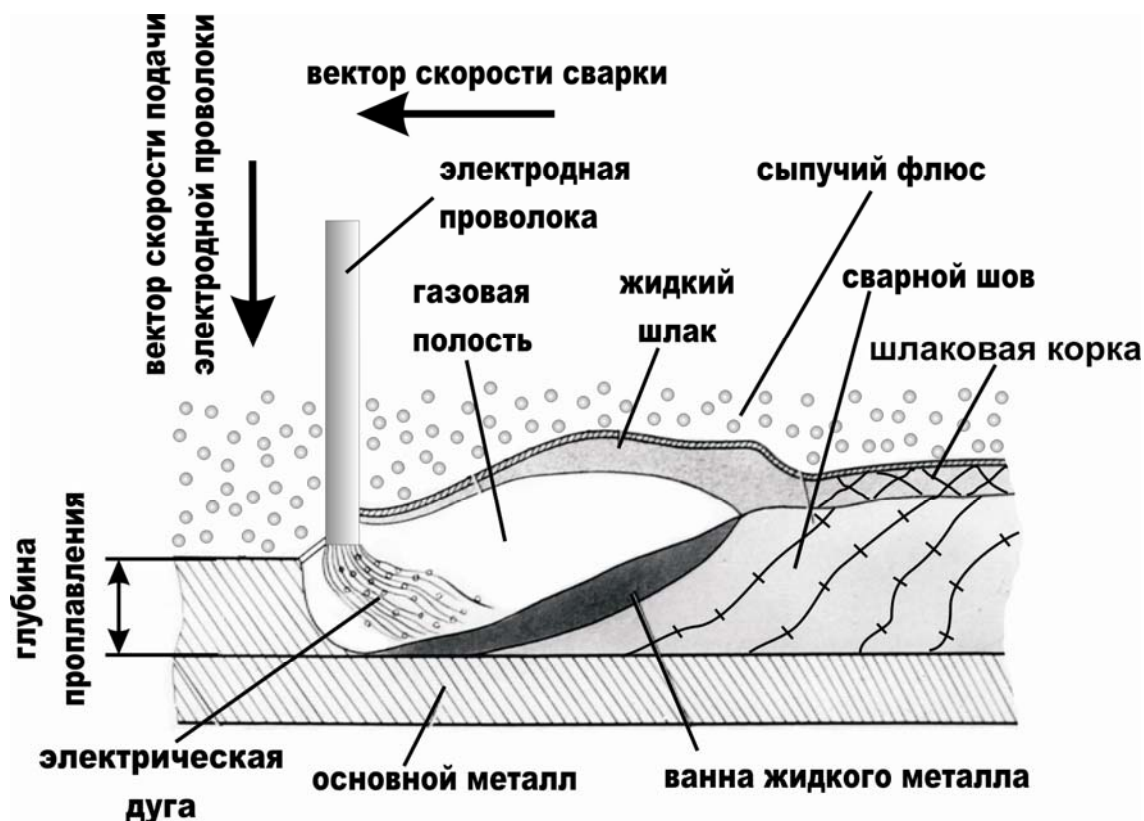


Рис. 7.1. Схема процесса автоматической сварки под флюсом

В практике нашли широкое применение два вида автоматического оборудования: подвесные (неподвижные и самоходные) **сварочные головки** и **сварочные тракторы**.

Автомат, имеющий свой привод перемещения и четырехколесную тележку, позволяющую ему передвигаться непосредственно по свариваемому изделию, называют **сварочным трактором**. Основное назначение сварочных автоматов – подача электродной проволоки в дугу и поддержание постоянного режима сварки в течение всего процесса.

Наиболее применяемый для сварки под флюсом трактор ТС-17М (рис. 7.2) имеет один электродвигатель трехфазного тока, который приводит в движение механизм подачи электродной проволоки и механизм передвижения трактора вдоль свариваемого шва. Подающий механизм состоит из понижающего редуктора и двух роликов (ведущего и прижимного), между которыми проталкивается электродная проволока. Механизм передвижения трактора состоит из редуктора и двух ведущих бегунов, вал которых соединен с редуктором фрикционной муфтой. Наличие сменных шестеренок позволяет в широких пределах изменять скорость подачи электродной проволоки и скорость передвижения трактора в соответствии с режимом сварки.

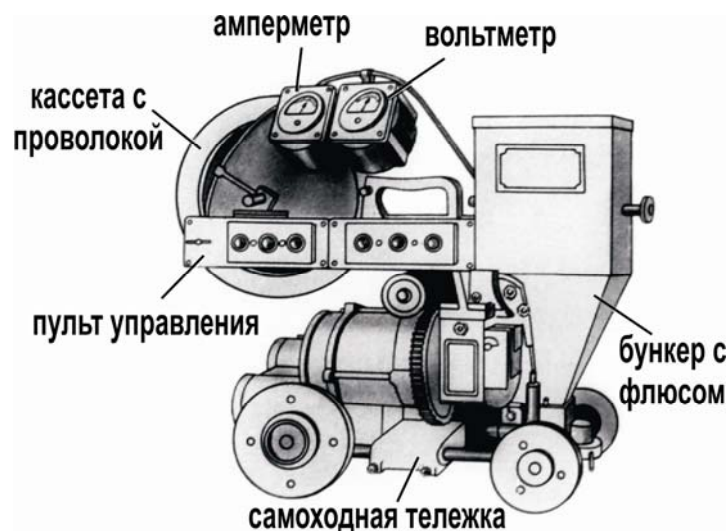


Рис. 7.2. Общий вид самоходного сварочного трактора ТС-17 (АДФ-1002) для сварки под флюсом

Сварочный трактор снабжен двумя бункерами для флюса: один для сварки вертикальным электродом, а второй - при сварке наклонным электродом. Толщина насыпного слоя флюса устанавливается вертикальным перемещением патрубка бункера.

Основными параметрами режима процесса автоматической сварки под флюсом, определяющими тепловыделение и, следовательно, геометрические характеристики сварного шва (глубину проплавления, ширину, высоту шва, катет угловых швов) является: сварочный ток $I_{св}$ (А) или пропорциональный току параметр – скорость подачи проволоки V_n (м/ч), напряжение в дуге U_d (В), скорость сварки $V_{св}$ (м/ч), диаметр электродной проволоки $D_э$ (мм).

Производительность расплавления электродного металла (производительность наплавки) при автоматической сварке под флюсом может быть оценена по следующей формуле

$$P_p = \frac{\alpha_p \cdot I_{св}}{1000}, \quad (7.1)$$

где P_p – производительность наплавки, кг/ч; α_p - коэффициент расплавления, который при автоматической сварки под флюсом в зависимости от режима сварки можно определить по номограмме, приведенной на рис. 7.3.; $I_{св}$ - величина сварочного тока, А.

Основные преимущества автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной дуговой сваркой заключаются в повышении производительности процесса сварки, повышении качества сварных соединений и уменьшении себестоимости 1 м сварочного шва.

Малый вылет электрода (расстояние от конца электродной проволоки до токопроводящего мундштука), отсутствие покрытия, большая скорость подачи электродной проволоки позволяют значительно увеличить силу сварочного тока – до 50-150 А/мм², т.е. примерно в 6-8 раз по сравнению с ручной сваркой

электродами тех же диаметров. Коэффициент наплавки составляет 14-18 г/А·ч, или в 1,5-2 раза выше, чем при сварке электродами вручную. В результате этого производительность автоматической сварки под флюсом получается в 6-10 раз выше ручной.

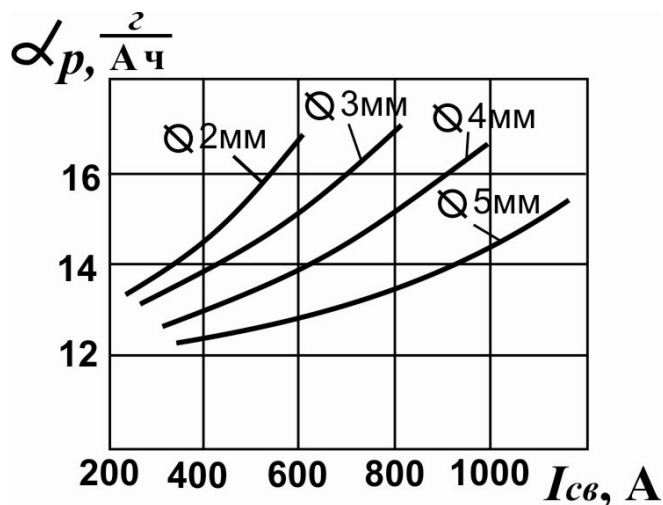


Рис. 7.3. Зависимость коэффициента расплавления от режима сварки

Плотная газошлаковая защита сварочной ванны предотвращает разбрызгивание и угар расплавленного металла. Увеличение тока сопровождается увеличением давления в дуге, что увеличивает глубину проплавления. Это позволяет сваривать металл большой толщины (до 20 мм) за один проход без разделки кромок. Снижение себестоимости выполнения 1 пог. м шва обусловлено экономией электроэнергии вследствие более полного использования тепла дуги на плавление металла и снижение потери на угар, разбрызгивание и огарки.

Повышение качества сварных швов достигается путем:

А. Повышения механических свойств наплавленного металла, благодаря надежной защите сварочной ванны флюсом, интенсивной металлургической обработке жидкого металла расплавленным шлаком (раскисление, легирование и рафинирование), сравнительно замедленному охлаждению металла шва под флюсом и твердой шлаковой коркой;

Б. Улучшения формы и поверхности шва и обеспечение постоянства его размеров по всей длине вследствие механизированной подачи и перемещения проволоки

Автоматическая сварка под флюсом имеет некоторые недостатки и ограничения по применению:

- использование порошкового флюса подразумевает выполнение швов на горизонтальной поверхности либо принятие соответствующих мер для удержания флюса;
- так как при работе не видно места сварки, то требуется повышенная точность подготовки и сборки деталей перед сваркой, что в значительной степени затрудняет процесс при сложной конфигурации шва;
- снижение эффективности процесса при сварке швов малой длины.

Выбор параметров режима сварки под флюсом определяется геометрическими размерами соединяемых деталей, типом шва, характером и размером элементов разделки кромок и осуществляется экспериментально, расчетом или с помощью справочных данных.

Некоторые режимы сварки для наиболее распространенных конструкционных сталей приведены в табл. 7.1.

Выбор сварочных материалов (марки электродной проволоки и флюса) зависит от химического состава свариваемых материалов. Флюсы для автоматической дуговой сварки представляют собой порошкообразный материал в виде гранул диаметром 1-3 мм. *По способу изготовления флюсы могут быть плавленые и неплавленые (керамические).*

Плавленые флюсы изготовляют путем сплавления марганцевой руды, кремнезема, полевого шпата и др. компонентов и последующего дробления (грануляции). Керамические флюсы приготавливают из порошкообразных компонентов путем их замеса на жидком стекле, гранулирования и последующего прокаливания или путем их спекания.





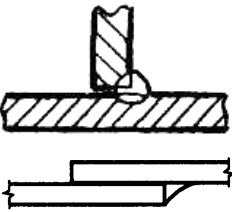
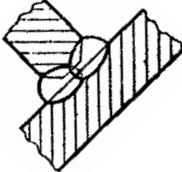
Химический состав металла шва зависит от химической активности флюса и от состава электродной проволоки. Поэтому для сварки конкретной стали флюс выбирают одновременно с проволокой. При этом стремятся, чтобы при сварке углеродистых и низколегированных сталей металл шва содержал 0,2-0,4 % кремния и марганца. Например, для сварки углеродистых и низколегированных сталей используют проволоку Св-08, Св-08А и высокомарганцовистый, высококремнистый флюс (35-40 % MnO и 40-45 % SiO_2 – АН-348-А, АН-60 – ГОСТ 9087-81). Легирование кремнием и марганцем будет происходить за счет флюса.

Условные обозначения марок проволоки состоят из индекса Св (сварочная) и следующих за ним цифр и букв. Цифры, следующие за индексом Св, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Химические элементы, содержащиеся в металле проволок обозначаются большими русскими буквами (см. прил.). Цифры, следующие за буквенными обозначениями химических элементов, указывают среднее содержание элемента в процентах. Если элемента содержится около одного процента, цифры не ставятся. Буква А на конце условных обозначений проволоки указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора. В проволоке марки Св-08АА двоякая буква А указывает на пониженное содержание серы и фосфора по сравнению с проволокой марки Св-08А (ГОСТ 2246-70). Например, Св-08Г2С – сварочная проволока с содержанием углерода примерно 0,08 %, марганца 2 % и кремния около 1 %.

Автоматическая сварка под флюсом применяется в основном в серийном и массовом производстве для выполнения протяженных (преимущественно более 0,5-1 м) прямолинейных и кольцевых швов на металле толщиной от 3 до 100 мм. Под флюсом сваривают углеродистые и легированные стали, медные, алюминиевые и титановые сплавы.

Таблица 7.1

Ориентировочные режимы сварки под флюсом соединений
из углеродистых и низколегированных сталей

Эскиз сварного соединения и выполненного шва	Толщина проката или катет шва, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Режимы сварки			
			Напряжение дуги, В	Сварочный ток, А	Скорость сварки, м/ч	Количество слоев
	4-6	2	28-30	380-420	55-60	1
	6-8	3	28-30	400-450	50-55	1
	10-12	4	30-32	600-650	29-32	1
	14-16	4	32-34	700-750	28-30	1
	14-16	4	32-34	700-750	30	2
	18	4	34-36	750-800	27	2
	20	4	34-36	850-900	25	2
	24-28	5	36-38	900-950	20	2
	16-18	5	34-36	750-800	20-22	1
	20-22	5	36-38	850-900	18-20	2
	24-26	4	37-39	880-930	18-20	2
	28-30	4	38-40	900-950	18-23	4
	4	2	29-32	280-300	40-42	1
	6	2	30-33	360-380	38-40	1
	8	2	35-38	440-460	38-40	1
	10	2	30-32	300-350	16-18	2
	12	2	30-32	300-350	12-14	2
	14	2	30-32	300-350	10-12	2-3
	16	2	32-34	350-400	16-18	3
18	2	32-34	350-400	16-18	3-4	
	6	2-3	34-36	450-500	25-30	2
	8	3-4	34-36	550-600	25-30	2
	10	4-5	34-36	620-670	20-25	4
	12	4-5	36-38	650-700	16-20	4
	14	5	38-40	750-800	14-18	4-6

Автоматическая сварка широко применяется в строительстве, котлостроение, судостроение, производстве сварных труб, машиностроение. Она является одним из основных звеньев в поточных линиях по изготовлению металлоконструкций промышленных зданий и листовых конструкций.

7.4. Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию сварочного трактора ТС-17М (АДФ-1002) с помощью макета и технической документации.
2. Установить сварочный трактор на сварочном столе в направлении сварки (наплавки) листов из стали 10ХСНД.
3. С помощью учебного мастера заправить электродную проволоку в токопроводящий мундштук и с помощью подающего механизма обеспечить соприкосновение торца проволоки со свариваемыми листами.
4. Назначить (см. табл. 7.1) основные параметры режима сварки, исходя из материала листов и их толщины.
5. В соответствии с выбранным режимом сварки установить необходимые сменные шестеренки в редукторе механизма подачи проволоки и передвижения тележки трактора.
6. При участии учебного мастера включить в сеть блок управления автоматом и запустить автомат в работу.
7. Зафиксировать параметры режима сварки с помощью контрольно-измерительных приборов.
8. Проварить сварной шов длиной 30-40 см и выключить автомат.
9. Удалить с поверхности металла шлаковую корку.
10. Рассчитать производительность наплавки P_p по выражению (7.1.)
11. Данные расчета занести в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Параметры режима сварки и производительность наплавки

№ образца	Марка стали	Форма подготовки кромок	$I_{св}, А$	$U_{д}, В$	$V_n, м/ч$	$V_{св}, м/ч$	$P_p, кг/ч$

7.5. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Краткое теоретическое описание автоматической сварки под флюсом, схема процесса (рис. 7.1.).
4. Методика определения и анализ технико-экономических показателей процесса.
5. Результаты измерений параметров режима сварки и расчета производительности (табл. 7.2.).
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность дуговой сварки под флюсом?
2. Какими преимуществами обладает сварка под флюсом по сравнению со сваркой открытой дугой?
3. Что называют сварочным автоматом?
4. Для чего служит флюс?
5. Какие бывают параметры режима дуговой сварки под флюсом?
6. Каковы рациональные области применения и преимущества автоматической сварки под флюсом в сравнении с ручной?
7. Как выбрать сварочный флюс и электродную проволоку для получения металла шва нужного состава?
8. Из каких основных узлов состоит сварочный трактор ТС-17М?
9. Как рассчитывается производительность наплавки при автоматической сварке под флюсом?

Литература

[1, с. 347-354], [28, с. 257-303]

Лабораторная работа № 8
МЕХАНИЗИРОВАННАЯ СВАРКА

8.1. Цель работы

Ознакомление с физическими основами, разновидностями методов и оборудованием для механизированной сварки; ознакомление с принципами выбора параметров режима механизированной сварки в углекислом газе; получение предварительных навыков работы на полуавтомате для сварки в углекислом газе; определение производительности наплавки и сравнение производительности процесса ручной и автоматической сварки.

8.2. Оборудование, приборы и материалы.

Сварочный полуавтомат ПДГ-515-4К, источник ВДУ-506УЗ; образцы листовой стали 10ХСНД толщиной 9-10 мм; сварочная проволока Св-08Г2С диаметром 1,2; 1,6; 2 мм; баллон с углекислым газом.

8.3. Краткие теоретические сведения

Дуговая сварка плавящимся металлическим электродом (проволокой) в среде инертного или активного газа с непрерывной автоматической подачей электродной проволокой широко применяется в промышленности. Зона сварки защищается извне подаваемым газом. Единственное ручное управление, требуемое от сварщика при механизированной сварке, - позиционирование и перемещение с определенной скоростью сварочной горелки.

Основные элементы полуавтоматов (рис. 8.1.): источник питания дуги, совмещенный с блоками пускорегулирующей аппаратуры и управляющего устройства, кассета с присадочной проволокой, механизм подачи присадочной проволоки, баллон с защитным газом, редуктор снижения давления защитного газа, гибкие шланги с токоподводящими проводами и каналами для подачи присадочной проволоки и защитного газа к держателю. Конструктивные особенности, как самих полуавтоматов, так и их отдельных элементов зависят от специализации полуавтомата.

Наиболее ответственный элемент полуавтоматов – механизм подачи проволоки. Он обычно состоит из электродвигателя, редуктора и подающих роликов. Конструктивное оформление механизма подачи зависит от назначения автомата. В полуавтоматах тяжелого типа механизм подачи размещен на передвижной тележке и сосредоточен в массивном корпусе. В полуавтоматах легкого типа механизм подачи установлен в переносном футляре (ранце) или расположен непосредственно на корпусе держателя.

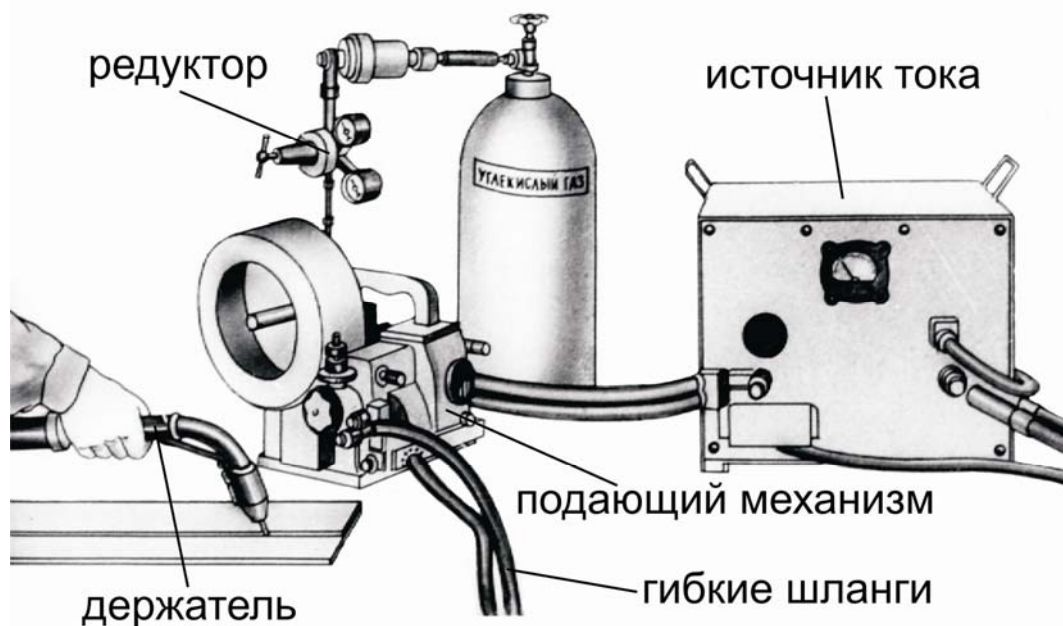


Рис. 8.1. Схема установки для механизированной сварки в защитных газах

В зависимости от характера защиты расплавленного металла и типа электродной проволоки применяются следующие разновидности механизированной сварки: под флюсом, в защитных газах и порошковой проволокой. Сущность процесса механизированной сварки под флюсом и принципы выбора параметров режима аналогичны изученным в лабораторной работе № 6.

8.3.1. Механизированная сварка в защитных газах

При дуговой сварке в защитных газах источником нагрева и плавления металла является электрическая дуга, возбуждаемая между электродом и свариваемым изделием, а защита расплавленного металла от воздействия воздушной атмосферы обеспечивается вдуванием в зону сварки защитного газа (рис. 8.2).

Для защиты применяют три группы газов: инертные (аргон, гелий), активные (углекислый газ, азот, водород и др.), смеси газов инертных, активных или первой и второй группы. Выбор защитного газа определяется химическим составом свариваемого металла, его толщины, требованиями, предъявляемыми к свойствам сварного соединения, экономичностью процесса и т.п. Активные защитные газы, предотвращая контакты расплавленного металла с кислородом и азотом воздуха, могут взаимодействовать с расплавленным металлом и изменять структуру и химический состав металла шва. Так, азот, кислород, водород растворяются в металле, изменяя его пластичность и вязкость. Поэтому, если требуется сохранить свойства металлов, в качестве защитных применяют инертные газы, доля влияния которых на процессы, происходящие в сварочной ванне, минимальна.

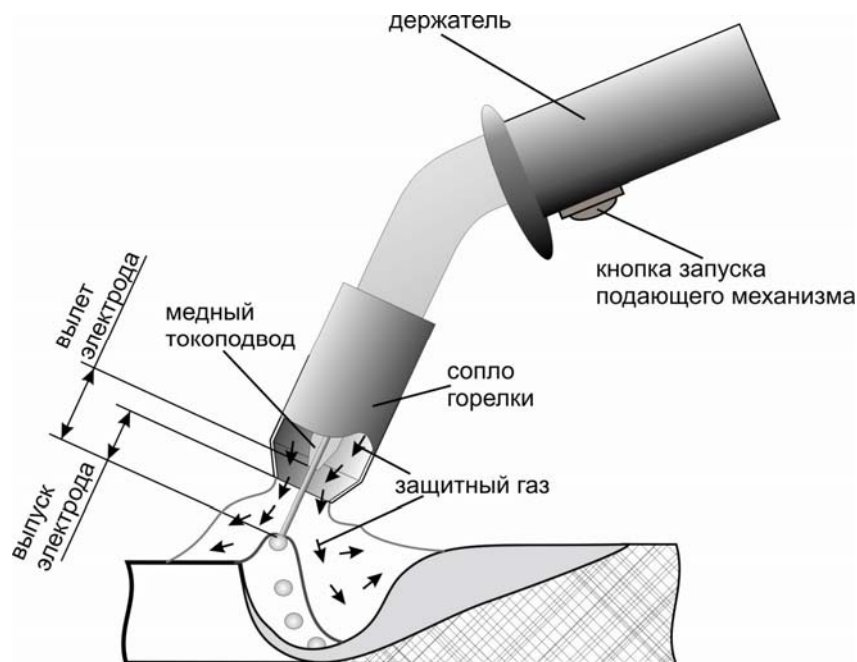


Рис. 8.2. Схема процесса механизированной сварки в защитных газах

Аргон – бесцветный негорючий неядовитый газ, который тяжелее воздуха и не образует с ним взрывчатых смесей. Он хорошо обеспечивает защиту сварочной ванны, не вступая в реакции.

Гелий – значительно легче воздуха, поэтому расход гелия при сварке увеличивается в 1,5-2 раза. По своим качествам не уступает аргону, а в некоторых случаях и превосходит его. Так, при одном и том же токе дуга в среде гелия выделяет в 1,5-2 раза больше энергии, чем в аргоне. Это позволяет повысить скорость сварки, но так как стоимость гелия выше, чем аргона, то применяется он реже.

Азот – активный газ без цвета, запаха и вкуса. Азот, соединяясь с металлами, образует нитриды, снижающие механические свойства. Его используют для сварки меди и ее сплавов, по отношению к которым азот является инертным газом.

Водород – горючий взрывоопасный газ, не имеющий запаха, цвета и вкуса. Он в 14,5 раз легче воздуха. Так как водород образует взрывоопасные смеси (особенно с кислородом), то его в чистом виде для сварки не применяют. **Смесь аргона и водорода** значительно улучшает процесс формирования шва, повышает чистоту его поверхности, увеличивают глубину проплавления. Такой смесью часто пользуются при сварке тонких металлов (толщиной до 1 мм).

Углекислый газ (двуокись углерода) – является активным защитным газом со слабым запахом и резко выраженными окислительными свойствами. Двуокись углерода не токсична и взрывоопасна.

Кислород – газ, активно поддерживающий горение и не имеющий цвета, запаха и вкуса. **Смесь аргона и кислорода** при сварке стали хорошо сказывается на металлургических процессах и технологических характеристиках.

Аргонодуговая сварка применяется для высоколегированных сталей и сплавов цветных металлов.

Сварку в углекислом газе выполняют плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности. При применении CO_2 в качестве защитного газа необходимо учитывать металлургические особенности процесса, связанные с окислительным действием CO_2 . При высоких температурах, характерных для процесса дуговой сварки, идет диссоциация углекислого газа на окись углерода CO и атомарный кислород O , который, если не принять специальных мер, приводит к окислению свариваемого металла и легирующих элементов. Окислительное действие атомарного кислорода нейтрализуется введением в проволоку дополнительного количества раскислителей: кремния и марганца. Применение различных газов и газовых смесей для сварки различных металлов приведено в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Выбор защитных газов и газовых смесей

Свариваемый металл	Защитный газ	Применение
Углеродистая сталь	$80\% \text{ Ar} + 20\% \text{ CO}_2$	Высокая скорость сварки без прожогов металла толщиной до 3 мм, минимальные деформация и брызгообразование
	CO_2	Глубокое проплавление, высокая скорость сварки
Коррозионностойкая сталь	$92,5\% \text{ Ar} + 7,5\% \text{ CO}_2$	Отсутствие окисления расплавленного металла, небольшая околошовная зона, отсутствие прожога, минимальная деформация
Низколегированная сталь	$80\% \text{ Ar} + 20\% \text{ CO}_2$	Минимальная реакционная способность, высокая ударная вязкость, высокая стабильность дуги, небольшое забрызгивание
Алюминиевые сплавы, медные сплавы, никелевые сплавы, магниевые сплавы	Ar или $\text{Ar} + \text{He}$	Аргон подходит для сварки листового металла, аргон с гелием для сварки толстолистового металла (более 3 мм)

Основными параметрами режима сварки в углекислом газе являются: диаметр сварочной проволоки, полярность и сила тока, напряжение дуги, скорость подачи проволоки, расход углекислого газа. Набор параметров режима сварки зависит от толщины свариваемого металла, катета угловых швов, формы и размеров подготовки (разделки) кромок, химического состава свариваемого металла, состояния поставки (горячекатаный, термоупрочненный металл). Типовые режимы приводятся в справочно-нормативной литературе. Для некото-

рых типоразмеров сварных соединений строительных сталей они приведены в табл. 8.2.

В качестве сварочных материалов для сварки в углекислом газе углеродистых и низколегированных строительных сталей применяют электродные проволоки марок Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, Св-08ГСМА, Св-10ХГ2СМА (ГОСТ 2246-70) и углекислоту сварочную (ГОСТ 8050-85) с объемным содержанием чистого газа не менее 99,5%.

Сварка в углекислом газе имеет следующие преимущества: высокую степень защиты расплавленного металла от воздействия воздуха; возможность ведения процесса во всех пространственных положениях, возможность визуального наблюдения за процессом формирования шва и его регулирования; более высокую производительность процесса, чем при ручной дуговой сварке; относительно низкую стоимость сварки 1 пог. м шва.

К недостаткам способа относится необходимость применения защитных мер против световой и тепловой радиации дуги; возможность нарушения газовой защиты при сдувании струи газа движением воздуха, наличие потерь металла на разбрызгивание; наличие дополнительных устройств (баллоны, редукторы и т.д.).

Механизированная сварка в углекислом газе широко применяется при заводском изготовлении металлоконструкций, монтаже технологических трубопроводов и технологического оборудования.

Без разделки кромок односторонней и двусторонней сваркой могут выполняться стыковые соединения толщиной от 2 до 10 мм с разделкой кромок от 8 до 36 мм. Однопроходной сваркой могут выполняться угловые швы катетом до 8 мм.

8.3.2. Оборудование для механизированной сварки

Серийные сварочные автоматы позволяют вести сварку порошковыми проволоками и сплошными проволоками с защитой углекислым газом и в смеси газов.

Кроме элементов, приведенных на рис. 8.2, полуавтомат для сварки в углекислом газе комплектуется подогревателем и осушителем газа. Осушитель наполнен обезвоженным медным купоросом и предназначен для удаления влаги из углекислого газа. Подогреватель газа необходим для предупреждения накопления влаги в редукторе, которое может произойти из-за понижения температуры газа при редуцировании.

Питание полуавтомата углекислым газом может осуществляться от цеховой магистрали и из баллонов.

Сварочная дуга при сварке в защитных газах имеет возрастающую характеристику. Поэтому в качестве источников питания дуги используют обычно сварочные выпрямители или генераторы постоянного тока с жесткими или возрастающими внешними вольтамперными характеристиками.

8.4. Порядок выполнения работы

2. Изучить теоретические основы механизированной сварки.
3. Изучить устройство полуавтомата для сварки в углекислом газе с помощью макетов и технической документации.
4. Подготовить к работе образцы: зачистить, собрать встык, прихватить по торцам.
5. Подобрать с помощью табл. 8.2 параметры режима сварки в зависимости от толщины свариваемых образцов.
6. С помощью учебного мастера подготовить полуавтомат к работе.
7. В соответствии с выбранным режимом установить на пульте управления полуавтомата ток, напряжение, скорость подачи проволоки и расход защитного газа.
8. С помощью учебного мастера заварить серию образцов на разных режимах и визуально оценить качество сварки.
9. Рассчитать производительность наплавки по выражению, приведенному в предыдущей лабораторной работе, воспользовавшись зависимостями коэффициентами наплавки от тока и диаметра электродной проволоки, приведенными на рис. 8.3.
10. Результаты экспериментов и расчета занести в табл. 8.3.
11. Сопоставить производительность сварки в углекислом газе с производительностью РДС и АСФ.

8.5. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Краткое теоретическое описание механизированной сварки в среде защитных газов, схема процесса (см. рис. 8.1).
4. Методика определения и анализ технико-экономических показателей процесса.
5. Результаты измерений параметров режима сварки и расчета производительности (табл. 8.3.).
6. Выводы.





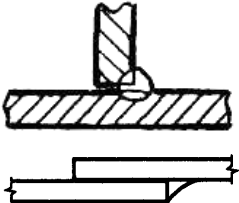
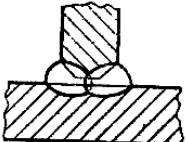
Таблица 8.3

Параметры режима сварки и производительность наплавки

Номер образца	Марка стали	Форма подготовки кромок	$I_{св}, А$	$U_{д}, В$	$V_n, м/ч$	$П_p, кг/ч$

Таблица 8.2

Режимы механизированной сварки в углекислом газе стыковых и угловых швов
в нижнем положении

Эскиз сварного соединения и выполненного шва	Толщина проката или катет шва	Режимы сварки				
		Число слоев шва	Диаметр проволоки	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Расход углекислого газа, л/мин
	1-2	1	1,0	80-90	15-23	8-12
	3-4	1	1,2	120-200	18-24	
	3-4	2	1,0	180-200	24-26	15
	5	2	1,0	200-220	24-26	
	6-8	2	1,6-2,0	340-360	27-31	15-20
	10-12	2	1,6-2,0	380-400	30-32	
	14-16	2-3	1,6-2,0	380-400	30-32	
	18-20	3-4	1,6-2,0	380-400	30-32	15-20
	22-25	4-5	1,6-2,0	380-400	30-32	
	26-30	5-6	1,6-2,0	380-420	34-36	
	3-5	1	1,4 1,6; 2,0	280-300 340-360	32-34 34-36	15-20
	6-8	1	1,4 1,6; 2,0	300-320 380-420	32-34 34-36	
	9-12	2	1,4 1,6; 2,0	300-320 380-420	32-34 34-36	
	14-16	3-4	1,4 1,6; 2,0	300-320 380-420	32-34 34-36	
	18-20	6-8	1,4 1,6; 2,0	300-320 380-420	32-34 34-36	15-20
	22-24	8-10	1,4 1,6; 2,0	300-320 380-420	32-34 34-36	

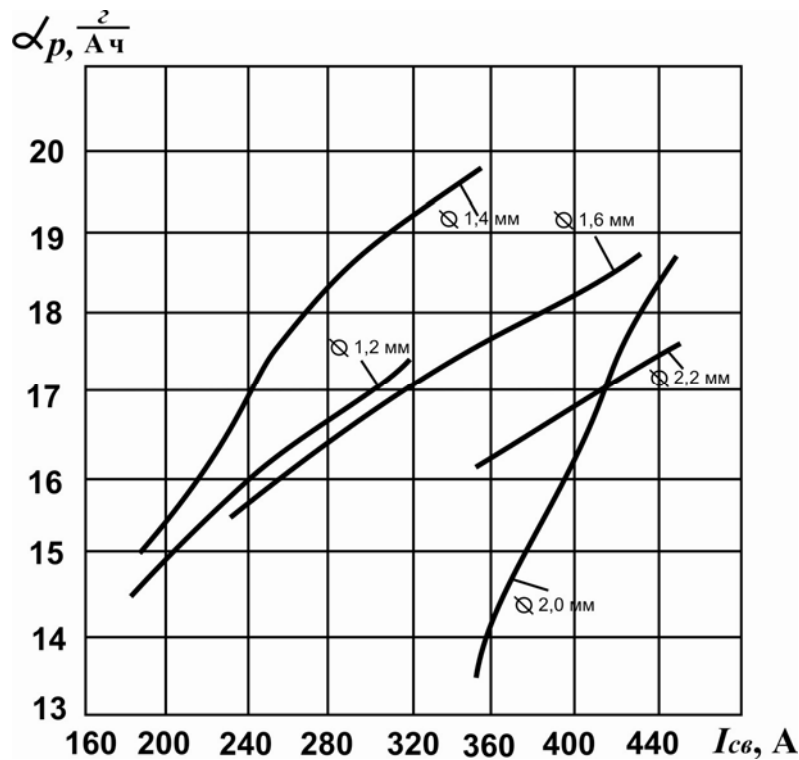


Рис. 8.3. Влияние сварочного тока и диаметра электродной проволоки на коэффициент наплавки при механизированной сварке в углекислом газе

Контрольные вопросы

1. В чем отличие механизированной сварки от автоматической?
2. В чем заключается сущность и преимущества процесса сварки в защитных газах?
3. Каковы особенности сварки в углекислом газе?
4. Возможна ли качественная сварка в углекислом газе при применении стальной низкоуглеродистой проволоки?
5. Каковы основные элементы установки для механизированной сварки и их назначение?
6. Каковы области применения механизированной сварки?
7. Основные параметры режима сварки в CO_2 и принципы их выбора.

Литература

[1, с. 347-354, 28, с. 212-256]

Лабораторная работа № 9
ГАЗОВАЯ СВАРКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

9.1. Цель работы

Ознакомление с физическими основами газовой сварки; изучение оборудования для газовой сварки; получение представления об основных параметрах процессов газовой сварки; выполнение сварки экспериментальных образцов из низкоуглеродистой или низколегированной стали, оценка производительности процесса, сопоставление производительности процесса газовой сварки с дуговыми методами сварки.

9.2. Оборудование, приборы и материалы

Пост газовой сварки, оборудованный газовыми баллонами, понижающими газовыми редукторами, шлангами и инжекторной горелкой; макет и стенд по газовой сварке; весы с разновесами; секундомер; штангенциркуль.

9.3. Краткие теоретические сведения

Газовая сварка относится к группе способов сварки плавлением. Существенное технологическое отличие газовой сварки от дуговой сварки – более плавный и медленный нагрев металла. Источником нагрева и плавления металла при газовой сварке является тепло, выделяющееся в газовом пламени, образующемся при сжигании горючих газов в струе кислорода. Для сварки в качестве горючих газов используется ацетилен (C_2H_2), пропан-бутановые смеси ($C_3H_8 + C_4H_{10}$), природный газ (метан CH_4 + этан C_2H_6 + пропан C_3H_8).

Ацетилено-кислородное пламя (рис. 9.1) состоит из трёх зон: ядра 1, средней (сварочной) зоны 2 и факела 3.

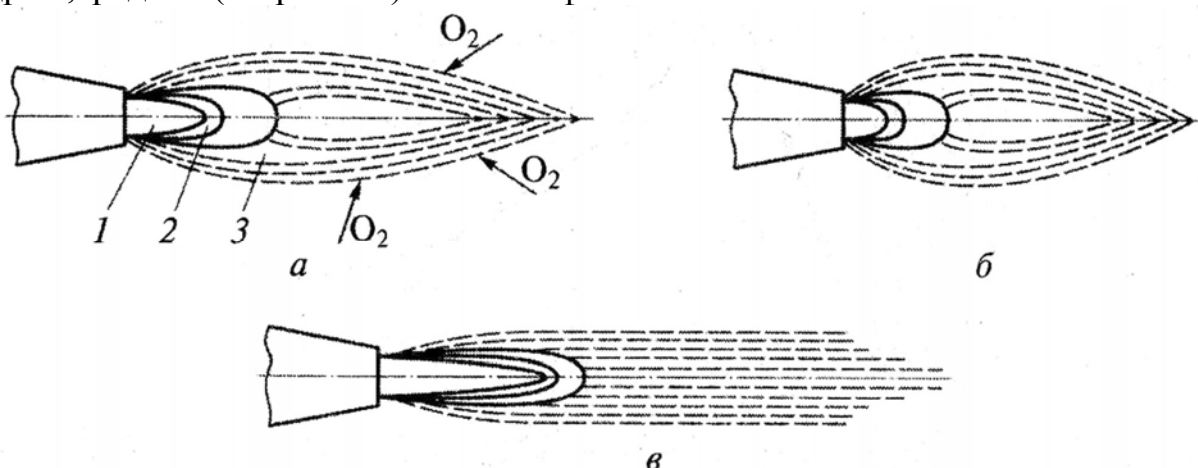
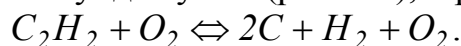


Рис. 9.1. Схема строения сварочного пламени:
а – пламя нормальное; б – пламя окислительное (с избытком кислорода);
в – пламя науглероживающее (с избытком ацетилена);
1 – ядро; 2 – средняя зона; 3 – факел

В зоне 1 происходит постепенный нагрев до температуры воспламенения газовой смеси, поступающей из мундштука 4 (рис. 9.3), и разложение ацетилена:



В зоне 2 протекает реакция окисления углерода кислородом, поступающим из горелки, которая сопровождается выделением значительного количества тепла. Это обеспечивает рост температуры и достижение ею максимума во 2-й зоне (рис. 9.2)

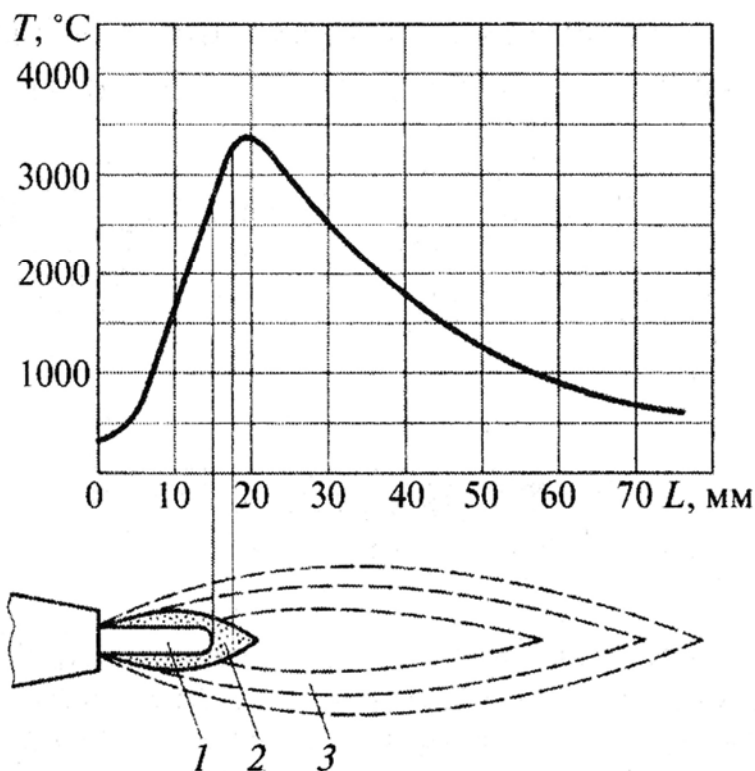
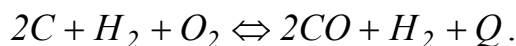
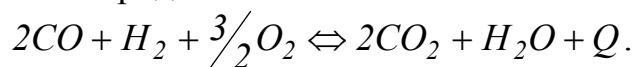


Рис. 9.2. Распределение температуры T по оси ацетиленокислородного пламени: 1 — ядро; 2 — средняя зона; 3 — факел

Угарный газ, образующийся при окислении углерода и водорода, поступивших из зоны 1, обеспечивает восстановительный характер газовой атмосферы во 2-ой зоне газового пламени. Именно этой зоной, имеющей максимальную температуру и восстановительный характер газовой атмосферы, называемой «сварочной» или «рабочей», осуществляется нагрев и плавление свариваемого и присадочного металлов при газовой сварке.

В зоне 3 (факеле) проходит догорание угарного газа и окисление водорода за счет атмосферного кислорода:



При этом тоже выделяется значительное количество теплоты. Однако, из-за большого объема зоны факела 3 температура в ней ниже, чем в «рабочей» зоне.

Углекислый газ и пары воды при высоких температурах окисляют металл, поэтому третью зону называют окислительной.

Ацетиленово-кислородное пламя называют нормальным, когда соотношение газов $O_2/C_2H_2 \approx 1-1,2$. Нормальным пламенем сваривают большинство сталей. При увеличении содержания кислорода $O_2/C_2H_2 > 1,2$ пламя приобретает окислительный характер (голубоватый оттенок) (рис. 9.1.б). Оно применяется для сварки латуней, так как избыточный кислород связывает цинк в тугоплавкие окислы и препятствует его испарению и образованию пор. При увеличении содержания ацетилена $O_2/C_2H_2 < 1$ (см. рис. 9.1. б) пламя становится коптящим, удлиняется и имеет красноватый оттенок. Такое пламя называют науглероживающим и применяют для сварки чугуна и цветных металлов, так как в этом случае избытком углерода восстанавливаются оксиды цветных металлов.

Схема процесса газовой сварки приведена на рис. 9.3.

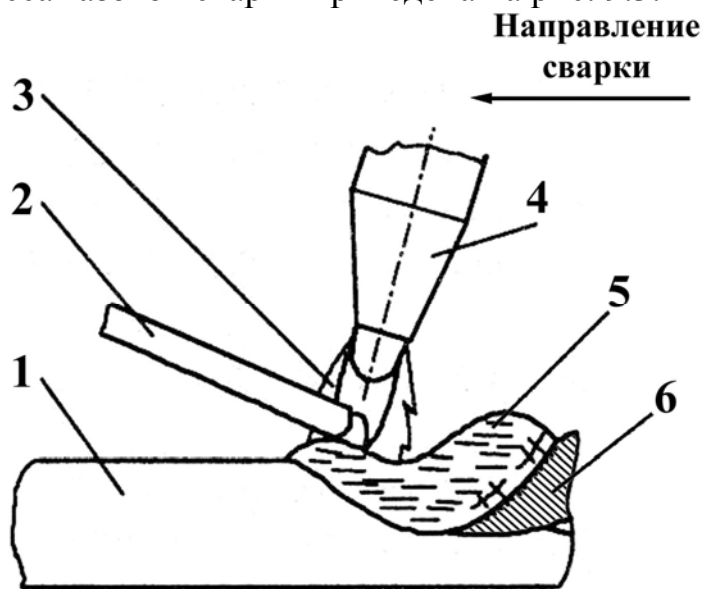


Рис. 9.3. Схемы процесса газовой сварки:

- 1 – свариваемые заготовки; 2 – присадочный металл; 3 – газосварочное пламя;
- 4 – мундштук горелки; 5 – ванна расплавленного металла;
- 6 – сварной шов

В зону пламени подаётся присадочный материал в виде проволоки или литых прутков. Под действием тепла, выделяющегося в пламени горелки 3, происходит расплавление кромок свариваемых заготовок 1 и присадочного материала 2, в результате чего образуется ванна расплавленного металла 5. По мере перемещения сварочной горелки относительно свариваемых заготовок вследствие теплоотвода из ванны в холодные нерасплавленные участки металла происходит кристаллизация ванны с образованием сварочного шва 6.

Давление в газовом пламени – выше атмосферного. Это обеспечивает оттеснение из пламени воздушной атмосферы и предотвращает значительное развитие окислительных процессов и поглощение азота.

Такой естественной защиты расплавленного металла достаточно для получения качественных сварных соединений при сварке большинства углеродистых и низколегированных конструкционных сталей. При сварке сплавов цветных металлов необходимо использование флюсов, вводимых в зону сварки в виде прутков или паст.

Кислород, используемый для газосварочных работ, получают разделением воздуха на кислород и азот методом глубокого охлаждения (сжижения) и ректификации (разница температур сжижения кислорода и азота - 13°).

Кислород поставляют к месту потребления в стальных баллонах (рис. 9.4) под давлением 15 МПа. Баллоны окрашивают в голубой цвет с чёрной надписью «КИСЛОРОД».

Ацетилен получают в специальных аппаратах – газогенераторах при взаимодействии воды с карбидом кальция:

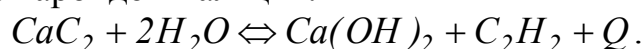


Рис. 9.4. Газовые баллоны, редукторы и рукава

Газогенераторы бывают стационарные и переносные. Ацетиленовые генераторы взрывоопасны и нуждаются в специальном обслуживании. Поэтому при работе одного-двух сварочных постов и в полевых условиях целесообразно использовать баллонный ацетилен. Баллоны для ацетилена (рис. 9.4.) изготавливают из стали, но в отличие от кислородных они заполнены пористой массой (активированным углём) и ацетоном. Растворение ацетилена в ацетоне позволяет поместить в малом объёме большое количество ацетилена при давлении 1,5 МПа и снизить его взрывоопасность. Ацетиленовые баллоны окрашивают в белый цвет с красной надписью «АЦЕТИЛЕН».

Пропан и пропан-бутановые смеси поставляются в сжиженном виде в баллонах емкостью 40 и 55 дм³ (литров). Они рассчитаны на максимальное ра-

бочее давление 1,6 МПа (рис. 9.4). Баллоны окрашивают в красный цвет с белой надписью «ПРОПАН».

Кислород и ацетилен из баллонов через понижающие газовые редукторы с помощью шлангов подаются в горелку, предназначенную для образования газового пламени.

В сварочной технологии наиболее часто используют **горелки инжекторного типа** и реже **безынжекторные** (рис. 9.5, 9.6).

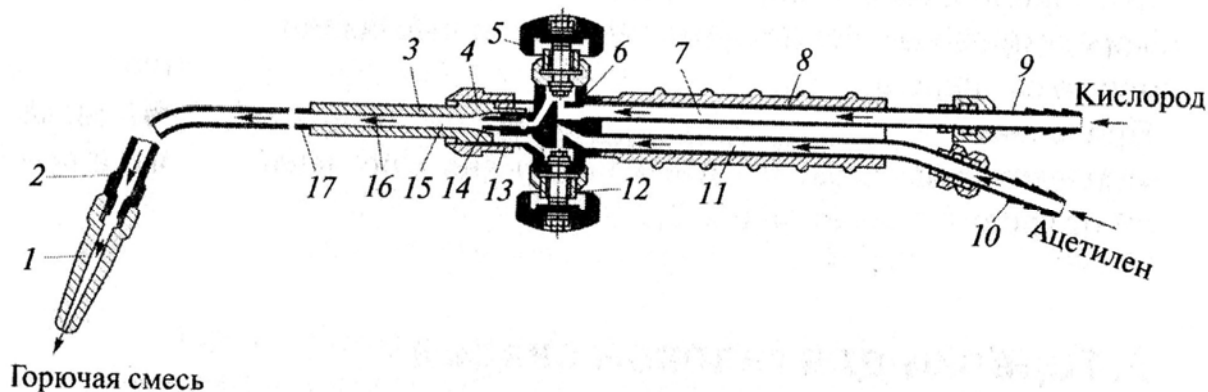


Рис. 9.5. Схема инжекторной горелки:

1 – мундштук ацетиленокислородной горелки; 2 – ниппель наконечника; 3 – сменный наконечник для ацетиленокислородной горелки; 4 – зазор между стенками смесительной камеры и корпусом; 5 – регулирующий кислородный вентиль; 6 – корпус; 7 – кислородная трубка; 8 – рукоятка; 9,10 – штуцеры; 11 – трубка горючего газа; 12 – регулирующий вентиль горючего газа; 13 – инжектор; 14 – канал малого сечения; 15 – канал смесительной камеры; 16 – смесительная камера; 17 – трубка горючей смеси

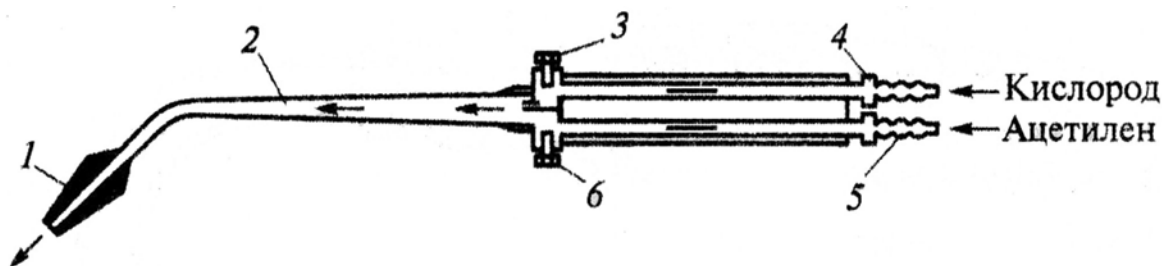


Рис. 9.6. Схема безынжекторной горелки:

1 – мундштук; 2 – трубка наконечника; 3 – вентиль кислорода; 4 – ниппель кислорода; 5 – ниппель ацетилена; 6 – вентиль ацетилена

Для сварки чаще применяют однопламенные инжекторные горелки, работающие на смеси ацетилена с кислородом. Кислород в инжекторной горелке (рис. 9.5) через кислородную трубку 7 и кислородный регулирующий вентиль 5 проходит под давлением 0,1-0,4 МПа и с большой скоростью выходит из узкого центрального канала инжектора 13. При этом струя кислорода создает разреже-

ние на выходе ацетиленовых каналов, за счет которого ацетилен инжектируется (подсасывается) в смесительную камеру 16, откуда образовавшаяся горючая смесь направляется в мундштук 1 и на выходе сгорает. Инжекторные горелки нормально работают даже при низком давлении поступающего ацетилена 0,001 МПа (0,01 кгс/см²) и выше. Возможность устойчивой работы даже при низком давлении горючего газа важное достоинство горелок инжекторного типа.

Горелки снабжают набором сменных наконечников, отличающихся диаметрами проходных сечений (номераами), что обеспечивает различие в объемах расходуемых газов и, следовательно, различную тепловую мощность газового пламени. Номер наконечника выбирают в соответствии с толщиной свариваемого металла и требуемым расходом ацетилена в кубических дециметрах (литрах) в час на 1 мм толщины.

Менее универсальны безынжекторные горелки (рис. 9.6), в которых горючий газ и кислород подаются при одинаковом давлении. Их недостаток – невозможность работы на горючем газе низкого давления (менее 0,05 МПа).

Основными параметрами режима газовой сварки являются способ сварки (левый и правый) (рис. 9.7), мощность пламени, диаметр присадочного прутка (проволоки), траектория движения горелки и присадочной проволоки.

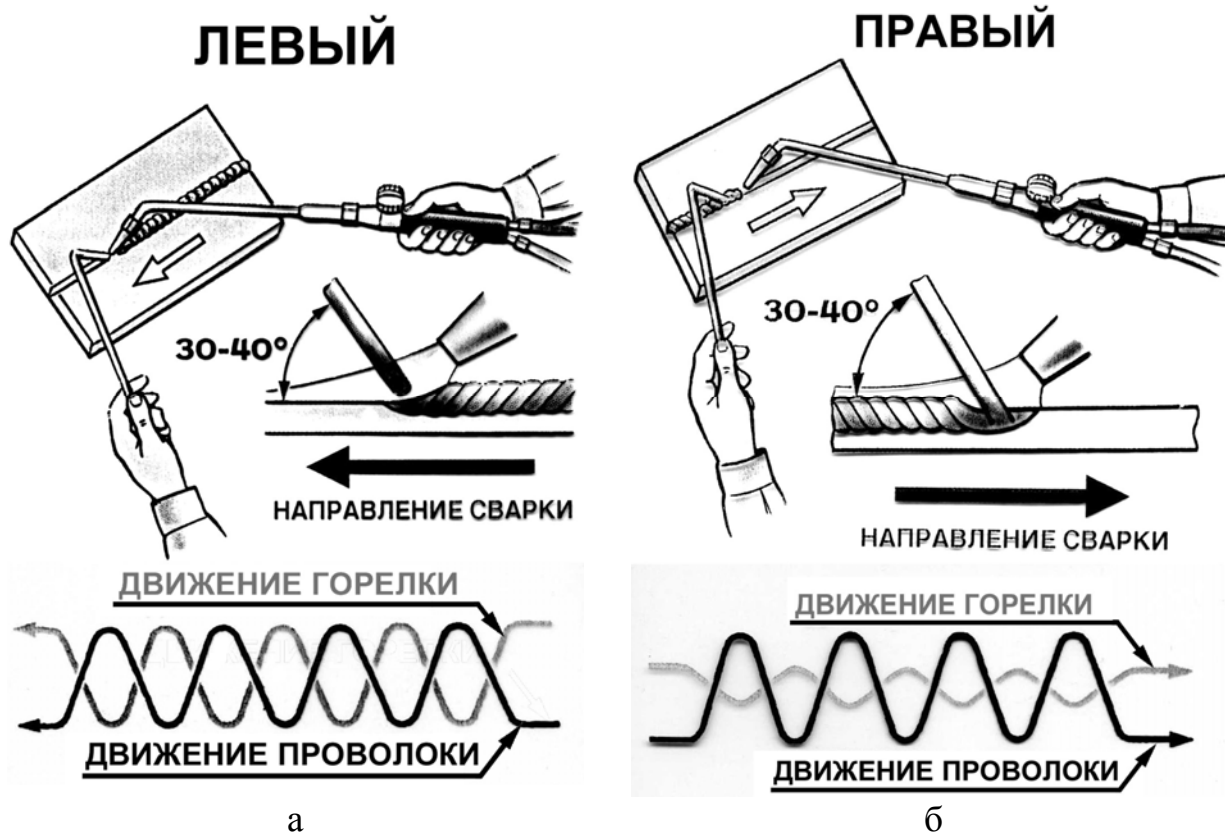


Рис. 9.7. Схемы способов газовой сварки:
а – левый; б – правый

При правом способе горелку перемещают слева направо, а присадочная проволока перемещается вслед за горелкой. Пламя направляют на уже сваренный участок шва. Мундштуком производят незначительные колебания. При

сварке листов толщиной менее 8 мм мундштук перемещают вдоль оси шва без колебаний. Конец проволоки держат погруженным в сварочную ванну и спиралеобразными движениями перемешивают жидкий металл для облегчения удаления окислов и шлаков. Правый способ используют при толщинах металла более 3 мм с разделкой кромок. Тепло пламени рассеивается меньше, чем при левом способе.

Угол разделки кромок можно уменьшить, особенно при больших толщинах.

При левом способе горелку перемещают справа налево. Присадочная проволока находится перед пламенем, которое направлено на свариваемые кромки. Конец присадочной проволоки находится в восстановительной зоне. Этот способ применяют при сварке тонкостенных (до 3 мм) конструкций и при сварке легкоплавких металлов и сплавов

Качество шва при правом способе сварки выше, чем при левом, так как металл лучше защищен факелом

Качество получаемых изделий, а также производительность процесса сварки в большей степени зависит от мощности пламени, т. е. **часового расхода горючего газа**. При сварке углеродистых и низколегированных сталей в нижнем положении расход ацетилена можно назначать для левого способа по формуле

$$V_{C_2H_2} = (100 - 130) \delta, \text{ л/ч},$$

где δ - толщина свариваемого металла, мм.

При правом способе используют более мощное пламя, а расход ацетилена определяют по формуле:

$$V_{C_2H_2} = (120 - 150) \delta, \text{ л/ч}.$$

По вычисленному расходу ацетилена выбирается номер наконечника горелки (табл. 9.2).

Диаметр присадочной проволоки зависит от толщины свариваемого металла и способа сварки. Для правого способа сварки диаметр присадочной проволоки можно определить по формуле

$$d_{np} = \frac{\delta}{2}, \text{ мм},$$

где δ - толщина свариваемого металла.

При левом способе сварки диаметр присадочной проволоки берётся на 1 мм больше, чем при правом. При толщинах более 15 мм используют проволоку диаметром 6-8 мм.

Для сварки низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей обычно применяют проволоки марок Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2.

Угол наклона присадочной проволоки к поверхности металла составляет 30-40°, сварочной горелки – 30-60°.





Подготовка кромок при газовой сварке стыковых соединений сталей приведена в табл. 9.1, удельный коэффициент расхода ацетилена на 1 мм толщины свариваемого металла (табл. 9.2), технические характеристики инжекторных горелок приведены в табл. 9.3.

Достоинства газовой сварки – простота оборудования (не требуется источник электроэнергии), универсальность метода – возможна сварка во всех

пространственных положениях. Недостатки – невысокая производительность и скорость сварки, большая зона разогрева (разупрочнения) основного металла по сравнению с дуговыми и электроконтактными методами сварки.

Таблица 9.1

Подготовка кромок при газовой сварке встык

Тип шва и форма кромок	Эскиз соединения	Характеристика элементов разделки		
		Притупление	Угол скоса кромок, град	Зазор, мм
Односторонний без скоса кромок		1,0-5,0	-	0,5-2,0
Односторонний с X-образной разделкой		6,0-15,0	70-90°	2,0-4,0
Двухсторонний без скоса кромок		3,0-6,0	-	1,0-2,0
Двухсторонний с X-образной разделкой		15,0-25,0	70-90°	2,0-4,0

Газовую сварку применяют при изготовлении и ремонте изделий из тонколистовой стали толщиной 1-3 мм, монтаже труб малого и среднего диаметра, сварке соединений и узлов, изготовленных из тонкостенных труб, сварке изделий из алюминия и его сплавов, меди, латуни и свинца, чугуна. Наибольшее применение газовая горелка получила при строительномонтажных и ремонтных работах систем водо- и газоснабжения.

9.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с сущностью процесса газовой сварки, оборудованием, основными параметрами режима и принципами их выбора по настоящим методическим указаниям и лабораторному стенду.
2. Получить стальные пластины для сварки, измерить их толщину.

Таблица 9.2

Удельный коэффициент расхода ацетилена на 1 мм толщины свариваемого металла

Параметр		Углеродистая сталь	Легированная сталь	Чугун	Медь	Латунь	Алюминий и его сплавы	Цинк	Бронза
Удельный расход на 1 мм толщины металла, л/ч	Ацетилен	100-130	75	100-120	150-200	100-130	75	15-20	70-150
	Кислород	110-140	80-85	90-110	165-220	135-175	80-85	20-25	80-165
Соотношение ацетилена и кислорода		1:1,1	1:1,1	1:0,9	1:1,1	1:1,3	1:1,1	1:1,1	1:1,1

Таблица 9.3

Технические характеристики инжекторных горелок

Параметр	Номер наконечника									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Толщина свариваемой стали, мм	0,2–0,5	0,5–1,0	1–2	2–4	4–7	7–11	11–17	17–30	30–50	Более 50
Расход ацетилена, л/ч	40–50	65–90	130–180	250–350	420–600	700–950	1130–500	1800–2500	2500–4500	4500–7000
Расход кислорода, л/ч	44–55	70–100	140–200	270–380	450–650	750–1000	1200–1650	2000–2800	3000–5600	4700–9300
Давление ацетилена на входе в горелку, МПа	0,001–0,10							0,01–0,10	0,03–1,00	
Давление кислорода на входе в горелку, МПа	0,15–0,30					0,20–0,35			0,25–0,50	

3. По толщине и типу соединения подобрать параметры режима газовой сварки: способ сварки, расход ацетилена и кислорода, номер наконечника горелки, диаметр и марку присадочной проволоки.

4. Собрать и прихватить образцы (прихватку производит учебный мастер).

5. Взвесить собранные заготовки.

6. Произвести сварку стыкового соединения. Зафиксировать время сварки.

7. Очистить и взвесить сваренные образцы.

8. Измерить геометрические размеры шва (ширину, высоту усиления, глубину проплавления). Путём внешнего осмотра дать заключение о наличии дефектов в сварном соединении.

9. Вычислить производительность процесса газовой сварки по выражению

$$\Pi = \frac{3600(Q - Q_0)}{1000t}, \text{ кг/ч,}$$

где $Q - Q_0$ – масса наплавленного металла, г.

Q – масса образцов после сварки, г.

Q_0 – масса прихваченных образцов до сварки, г.

t – время сварки, с.

10. Результаты экспериментов занести в протокол, форма которого приведена в табл. 9.4.

9.5. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Краткое теоретическое описание физической сущности процессов при газовой сварке, иллюстрированное схемами газовой сварки и строения газового пламени (см. рис. 9.1, 9.3).
3. Описание и схема устройства инжекторной горелки.
4. Методика определения и анализ технико-экономических показателей процесса.
5. Результаты измерений параметров режима сварки и расчета производительности (табл. 9.4.).
6. Выводы с сопоставлением производительности газовой сварки и РДС.

Таблица 9.4

Форма записи экспериментальных данных

Тип шва и форма кромок		Характеристика соединения, мм		Марка свариваемого металла	Марка присадочной проволоки	Параметры режима сварки				Размеры шва, мм			Масса образцов, г		Время сварки, с	Производительность сварки, П, кг/час	Видимые дефекты шва и соединения
Эскиз сечения заготовки		Толщина свариваемого металла	Величина зазора			Способ сварки	Расход горючего газа	Номер наконечника	Диаметр присадочной проволоки, мм	Ширина	Высота усиления	Глубина	До сварки	После сварки			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Контрольные вопросы

1. Что является источником нагрева металла при газовой сварке?
2. Какие характерные зоны имеются в газовом пламени? Какие процессы протекают в этих зонах? Какая зона из них и почему является рабочей?
3. Как обеспечивается защита расплавленного металла от кислорода и азота воздуха при газовой сварке?
4. Какие горючие газы могут использоваться для сварки?
5. Как получают кислород и ацетилен для сварки?
6. Как устроены баллоны для транспортировки кислорода и ацетилена? За счет чего снижается взрывоопасность ацетилена при транспортировке его в баллонах?
7. Как устроена инжекторная горелка для получения газового пламени? За счет чего удастся получить примерно одинаковые объемы кислорода и ацетилена при подаче их в горелку при разных давлениях?
8. Как регулируется мощность пламени инжекторных горелок?
9. Какие виды пламени используются при газовой сварке? Для сварки каких материалов?
10. Какими основными параметрами можно охарактеризовать режим газовой сварки?
11. В чем сущность отличия правого и левого способа газовой сварки? Каковы области рационального использования каждого из них? Какой из них обеспечивает большую глубину провара?
12. От чего зависит выбор таких параметров режима газовой сварки, как расход ацетилена, диаметр присадочной проволоки?
13. Какие достоинства и недостатки характерны для процесса газовой сварки?
14. Каковы области применения газовой сварки?
15. Почему производительность процесса при газовой сварке хуже, чем у дуговой сварки?

Литература

[28, с. 156-185, 34, с. 311-357]

Лабораторная работа № 10 КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

10.1. Цель работы:

Ознакомиться с физическими основами процессов кислородной резки металлов. Изучить оборудование для кислородной резки металлов; получить представление об основных параметрах процесса кислородной резки, принципах выбора показателей, характеризующих качество резки; произвести резку экспериментальных образцов из низкоуглеродистых сталей, оценить размеры отклонений, характеризующих качество резки.

10.2. Оборудование, приборы и материалы

Пост газовой резки, оборудованный газовыми баллонами, понижающими газовыми редукторами, шлангами, резаками; макет и стенд по газовой резке; пластины из углеродистой стали; линейка; штангенциркуль.

10.3. Краткие теоретические сведения

Кислородной резкой называют способ разделения металла, основанный на использовании для его нагрева до температуры воспламенения теплоты газового пламени и экзотермической реакции окисления металла, а для удаления окислов – кинетической энергии струи режущего кислорода.

По характеру образуемых резов кислородную резку можно разделить на *разделительную* (образующую сквозные разрезы, отделяющие одну часть металла от другой) и *поверхностную* (удаляющую некоторый поверхностный слой металла в виде канавок или слой некоторой глубины).

В качестве горючих газов при кислородной резке используется ацетилен и газы-заменители (пропан – бутановую смесь, водород, пары бензина, керосин).

Процесс разделительной кислородно-ацетиленовой резки схематично представлен на рис. 10.1.

Резку начинают с подогрева верхней кромки металла подогревающим пламенем до температуры воспламенения металла в кислороде, которая в зависимости от химического состава стали составляет 1050-1200 °С. При достижении температуры воспламенения на верхней кромке металла, на нее из режущего сопла подается струя кислорода, при этом сталь начинает гореть в струе кислорода с образованием оксидов и выделением значительного количества теплоты.

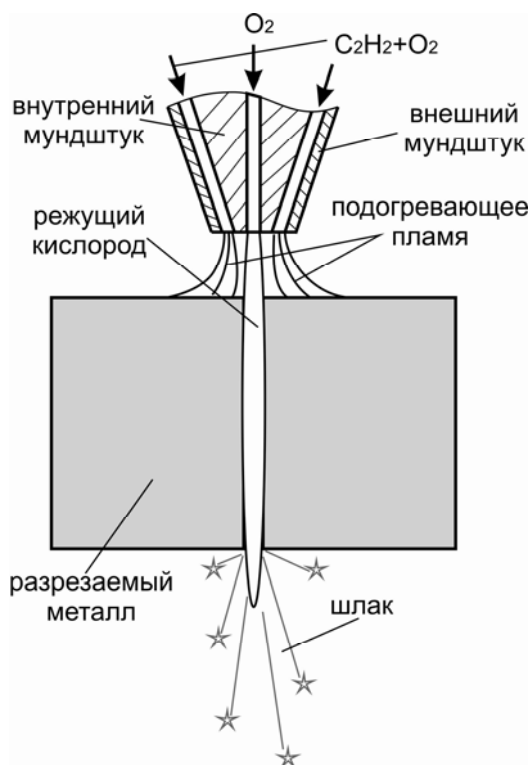


Рис. 10.1. Схема процесса кислородно-ацетиленовой резки

Образовавшийся на верхней кромке расплав жидких оксидов (шлак) перемещается по боковой кромке реза струей кислорода и осуществляет нагрев нижних слоев металла, которые последовательно окисляются до тех пор, пока весь металл не будет прорезан на всю глубину.

Устойчивый процесс кислородной резки обеспечивается при соблюдении следующих основных условий:

1. Температура воспламенения металла в кислороде должна быть ниже температуры его плавления. В противном случае для поддержания процесса резки требуется введение большого количества тепла для компенсации скрытой теплоты плавления и металл будет не окисляться, а плавиться.

2. Температура плавления оксидов металла, образующихся при резке, должна быть ниже температуры плавления самого металла.

3. Количество тепла, которое выделяется при сгорании металла в кислороде, должно быть достаточно большим, чтобы поддержать непрерывность процесса резки.

4. Образующиеся при резке шлаки должны быть жидкотекучими и легко выдвигаться из места реза струей режущего кислорода.

5. Теплопроводность металлов и сплавов не должна быть слишком высокой, иначе процесс резки может прерваться из-за интенсивного теплообмена.

Из металлов, применяемых в промышленности, названным условиям лучше всего удовлетворяет сталь с содержанием углерода до 0,6%. Большая теплопроводность меди не обеспечивает условий для нагрева до температуры реакции сгорания металла, что затрудняет начальный этап резки. Стали с большим содержанием хрома, марганца и никеля, а также алюминий образуют ту-

гоплавкую пленку оксидов, которая препятствует контакту металла с кислородом. Чугун кислородной резкой не обрабатывается, потому что температура плавления чугуна ниже температуры плавления образующихся оксидов, поэтому металл удаляется из зоны реза без окисления. Кроме того, образующиеся при нагреве оксиды имеют низкую жидкотекучесть и с трудом удаляются струей кислорода. В этом случае в зону реза подается флюс – порошок железа с добавками. Такой процесс получил название **кислородно-флюсовой резки**.

Кислородная резка осуществляется обычно с помощью резаков инжекторного типа. На рис. 10.2. приведена конструкция универсального инжекторного резака для ручной разделительной резки металлов.

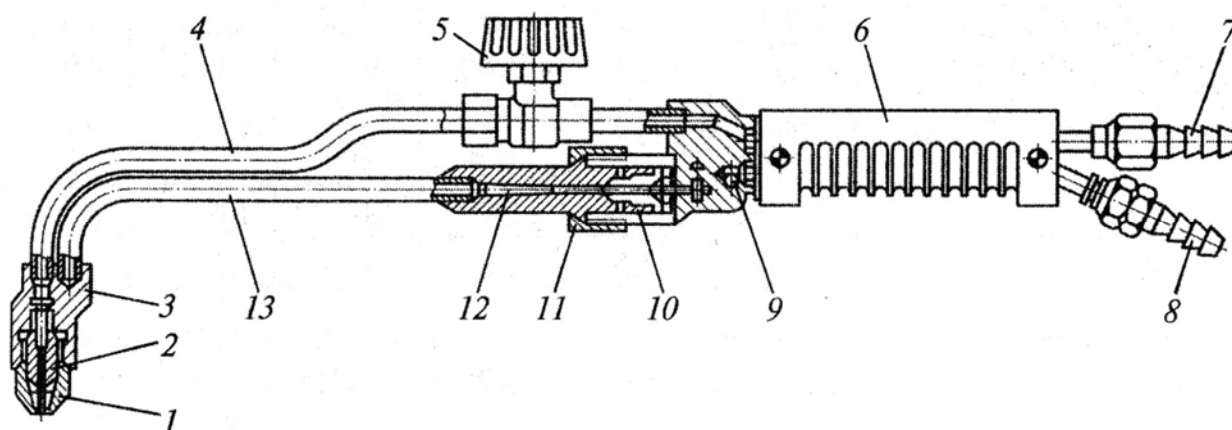


Рис. 10.2. Схема ручного универсального резака Р2А-02:

1 – внешний мундштук; 2 – внутренний мундштук; 3 – головка; 4 – трубка для режущего кислорода; 5 – вентиль; 6 – рукоятка; 7 – штуцер для подвода кислорода; 8– штуцер для подвода горючего газа; 9 – корпус; 10 – инжектор; 11 – накладная гайка; 12 – смесительная камера; 13 – трубка для горючей смеси

Резак состоит из корпуса 9, в который впаяны две трубки со штуцерами для подвода кислорода и горючего газа. На трубки надета рукоятка 6. К корпусу с помощью накладных гаек крепится сменный наконечник, состоящий из двух трубок (4, 13) для подачи в зону реза кислорода (4), смечи из кислорода и горючего газа 13 и головки 3 с внешним (1) и внутренним (2) мундштуками.

В корпусе (9) поток кислорода разветвляется. Одна его часть поступает через вентиль (5), трубку (4) и центральное отверстие внутреннего мундштука (1) головки 3 в зону реза. Другая проходит через центральное отверстие инжектора (11) и образует в смесительной камере 12 смесь с горючим газом, она транспортируется через трубки 13 и каналы внутреннего мундштука (2) в атмосферу, где сжигается, создавая подогревающее пламя.

Резаки снабжаются сменными мундштуками, обеспечивающими различную мощность подогревающего пламени и расход режущего кислорода. Выбирают их в зависимости от толщины разрезаемого металла и различают по номерам (см. табл. 10.1) в порядке возрастания мощности пламени. Мундштуки могут быть щелевыми, дающими кольцевое пламя и многосопловыми (рис. 10.3).



Рис. 10.3. Внешний вид многосоплового мундштука.

Резак РЗП-2 для резки на газах – заменителях ацетилена имеет аналогичную конструкцию и отличается от Р2А-02 большими размерами инжектора и выходных шлицов. Резаки обеих марок могут быть оснащены опорной тележкой и циркулем. Технические характеристики универсальных резаков Р2А и РЗП-02 приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Технические характеристики универсальных резаков Р2А-02 и РЗП-02

Параметр	Толщина разрезаемой стали, мм					
	3–8	8–15	15–30	30–50	50–100	100–200
Номер наружного мундштука	1А;1П			2А; 2П		
Номер внутреннего мундштука	0А;0П	1А;1П	2А;2П	3А;3П	4А;4П	5А;5П
Давление кислорода на входе в резак, кПа	196–245	294–343	294–392	294–392	294–392	490–735
Расход газов, м ³ /ч:						
кислорода	1,6–1,9	2,9–3,2	3,8–4,7	5,6–7,3	9,2–11,5	15,0–21,0
ацетилена	0,4	0,5	0,5–0,6	0,6–0,75	0,65–0,8	1,0–1,2
пропан–бутана	0,3	0,4	0,4–0,45	0,45–0,50	0,5–0,6	0,6–0,8
природного газа	0,6	0,6	0,8–0,9	0,8–0,9	0,95–1,2	1,3–1,8
Скорость резки, м/ч	29–36	27–29	22–27	18–22	14–18	7–14
Ширина реза, мм	2	2,5	3,5	4,5	5,5	8

К параметрам режима кислородной резки относятся: мощность подогреваемого пламени, давление (расход) режущего кислорода и скорость резки.

Мощность пламени характеризуется расходом горючего газа в единицу времени и зависит от толщины разрезаемого металла.

При резке нужно поддерживать постоянное расстояние между мундштуком и поверхностью разрезаемого металла. Оно влияет на качество реза и зависит от толщины разрезаемого металла.

Ручной кислородной резкой обрабатывают листы толщиной от 3 до 300 мм. Качество резки определяется ее точностью, формой реза, шероховатостью поверхности кромок и наличием грата (шлака) на нижней кромке реза.

Форма реза определяется соотношением ширины реза с верхней $Ш_в$ и с нижней $Ш_н$ стороны (рис. 10.4). Лучше всего, если $Ш_в = Ш_н$, однако на практике $Ш_н = (1,1 \dots 1,5) Ш_в$. В результате разницы этих величин возникает неперпендикулярность f кромки реза к поверхности листов. Причина этого – распределение струи кислорода и искажение формы пламени в результате засорения или износа сопел мундштука. Это служит также причиной отставания Δ бороздок на поверхности кромок реза от оси мундштука в процессе резки, вызывающая криволинейность бороздок. Отставание зависит и от давления струи режущего кислорода.

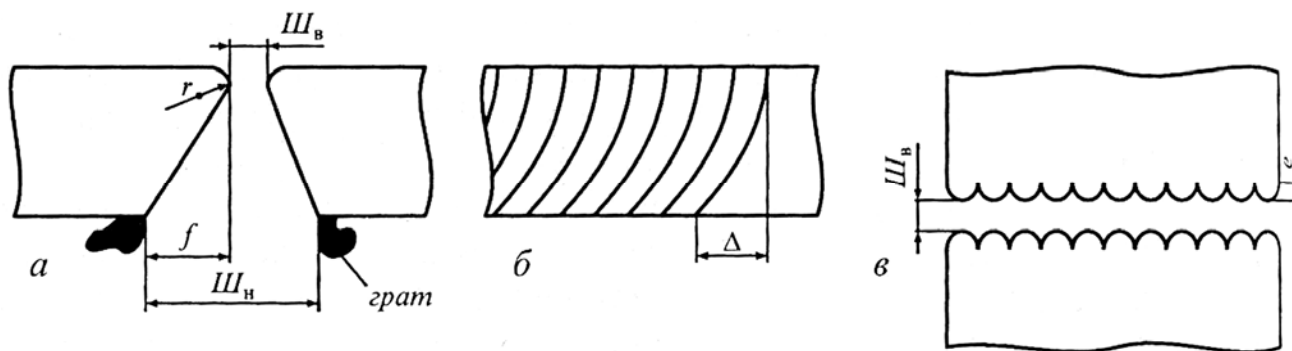


Рис. 10.4. Параметры реза:

а – поперечное сечение реза; б – поверхность кромки внутри реза; в – вид реза сверху; $Ш_в$ – ширина реза вверху; $Ш_н$ – то же, внизу; f – неперпендикулярность реза; r – радиус оплавления верхней кромки; Δ – отставание; e – глубина бороздок

Глубина бороздок « e » - показатель шероховатости реза. Она также зависит от давления и чистоты кислорода, а также от скорости резки.

Дефект «**оплавление кромок**», образующее их закругление радиусом « r », прямо зависит от мощности подогревающего пламени и уменьшается с увеличением скорости резки.

При большой ширине нижней стороны реза на кромках образуется **грат** – прилипший к кромкам шлак, который приходится очищать после резки.

Показатели точности и качества реза (ГОСТ 14792-80), выполняемого кислородной резкой из листов углеродистой стали обыкновенного качества толщиной от 5 до 100 мм представлены в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Показатели качества поверхности реза при кислородной резке

Показатель	Класс качества	Норма при толщине разрезаемого металла, мм			
		5-12	13-30	31-60	61-100
Отклонение от перпендикулярности	1	0,2	0,3	0,4	0,5
	2	0,5	0,7	1,0	1,5
	3	1,0	1,5	2,0	2,5
Шероховатость	1	0,05	0,06	0,07	0,085
	2	0,08	0,16	0,25	0,5
	3	0,16	0,25	0,5	1,0

Таблица 10.3.

Средняя ширина реза при кислородной резке стали

Толщина металла, мм	Ширина реза при резке, мм	
	механизированной	ручной
5-25	2,5-3,5	3-4
25-50	3,0-4,0	4-5
50-100	4,0-5,0	5-6
100-200	5,0-6,5	6-8
250-300	6,5-8,0	8-10

10.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с сущностью процесса резки, оборудованием, основными параметрами режима и принципами их выбора по настоящим методическим указаниям;
2. Получить пластины для резки, измерить их толщину.
3. По толщине пластины подобрать параметры режима газовой резки: расход горючего газа, кислорода, номер наружного и внутреннего мундштуков, давление горючего газа и кислорода.
4. Произвести резку образца.
5. Измерить ширину реза.
6. Определить отклонение от вертикальности.
7. Определить шероховатость (высоту выступов).
8. Измерить радиус оплавления верхней кромки.

9. Результаты экспериментов занести в протокол, форма которого представлена в табл. 10.4.

Таблица 10.4

Форма записи экспериментальных данных

Марка металла	Толщина разрезаемого металла	Параметры режима резки									
		Номер внешнего мундштука	Номер внутреннего мундштука	Давление ацетилена, МПа	Давление кислорода, МПа	Расход C_2H_2 , м ³ /ч	Расход O_2 , м ³ /ч	Отклонение от верти-кали, мм	Ширина реза, мм	Высота выступа, мм	Радиус оплавления верхней кромки, мм

10.5. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Краткое теоретическое описание физической сущности процессов при газовой резке, иллюстрированное схемами газовой резки (рис. 10.1).
3. Описание и схема устройства ручного резака (рис. 10.2).
4. Описание основных условий резки металлов.
5. Табл. 10.2, характеризующая показатели качества реза.
6. Результаты измерений параметров режима резки (табл. 10.4.).
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Классификация способов резки металлов:
 - Как подобрать параметры резки металлов;
 - Какие условия необходимы для резки металлов;
 - Почему невозможна кислородная резка высоколегированных сталей и цветных металлов?
2. В чем заключается физическая сущность кислородной резки металлов?
3. Что является источником теплоты при кислородной резке металлов?
4. Какие резаки применяются для ручной резки металла?

5. Объясните принцип действий ручного кислородного резака?
6. Какие горючие газы используются при кислородной резке металлов?

Литература

[28, с. 186-211, 34, с. 358-378]

Заключение

Лабораторный практикум ориентирован на формирование металлургических и технологических знаний, умений и навыков для выполнения студентами лабораторных работ по курсу “Материаловедение и технология материалов”

Не подменяя специальную техническую и учебную литературу, пособие обеспечит студентов необходимыми методическими указаниями, рекомендациями, нормативными материалами для выполнения лабораторного практикума по курсу «Материаловедение и технология материалов».

Изучение представленного в пособии материала будет способствовать получению и закреплению практических навыков по выбору металлов и сплавов, подбору режимов термообработки для них, выбору метода и технологии сварки.

Библиографический список

1. Болдырев, А.М. Сварочные работы в строительстве и основы технологии металлов: учеб./ А.М. Болдырев, А.С. Орлов - М.: Изд-во АСВ, 1994. – 432 с.
2. Гуляев, А.П. Металловедение: учеб. для вузов / А.П. Гуляев - М.: Металлургия, 1986.- 840 с.
3. Лахтин, Ю.М. Материаловедение: учеб./ Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева, 3-е изд. перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.
4. Мальцев, М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов/ М.В. Мальцев.- М.: Металлургия, 1970. - 364 с.
5. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.
6. Солнцев, Ю.П. Металловедение и технология металлов: учеб. для вузов / Ю.П. Солнцев, В.А. Веселов, В.П. Демянцевич [и др./] - М.: Металлургия, 1988. - 512 с.
7. Материаловедение: учеб. пособие для вузов / под ред. Л.С. Ляховича. – Минск: Высшая школа, 1988. – 224 с.
8. ГОСТ 380-94. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1994. – 25 с.
9. ГОСТ 535-88. Прокат сортовой и фасонный из сталей углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1988. – 19 с.
10. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1988. – 16 с.
11. ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1971. – 30 с.
12. ГОСТ 1435-99. Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Общие технические условия.- М.: Изд-во стандартов, 1999. – 22 с.
13. ГОСТ 5950-2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 2000. – 18 с.
14. ГОСТ 19265-73. Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1973. – 16 с.
15. ГОСТ 1412-85. Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1985. – 12 с.
16. ГОСТ 7293-85. Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1985. – 12 с.
17. ГОСТ 1215-79. Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1979. – 14 с.

18. ГОСТ 1585-85. Чугун антифрикционный для отливок. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1985. – 16 с.
19. ГОСТ 7769-82. Чугун легированный для отливок со специальными свойствами. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1982. – 18 с.
20. ГОСТ 27772-88. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1988. – 45 с.
21. ГОСТ 11069-74. Алюминий первичный. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1974. – 13 с.
22. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы деформируемые. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1997. – 14 с.
23. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1993. – 32 с.
24. ГОСТ 859-2001. Медь. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.
25. ГОСТ 5017-74. Бронзы оловянные, обрабатываемые давлением. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1974. – 18 с.
26. ГОСТ 492-73. Никель, сплавы никелевые и медно-никелевые, обрабатываемые давлением. Марки. - М.: Изд-во стандартов, 1973. – 24 с.
27. ГОСТ 19807-91. Технический титан. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
28. Овчинников, В.В. Оборудование, техника и технология сварки и резки металлов /В.В. Овчинников. – М.: КНОРУС, 2010.- 304 с.
29. ГОСТ 9466-75. Electroды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 35 с.
30. Петров, Г. А. Технология и оборудование газопламенной обработки металлов/ Г.А. Петров, Н.Г. Буров В.Р. Абрамович. – Л.: Машиностроение, 1980.
31. Антонов, И. А. Газопламенная обработка металлов/ И.А. Антонов. – М.: Машиностроение, 1976, 264 с.
32. Дриц, М. Е.Технология конструкционных материалов и материаловедение: учебник, М.Е. Дриц, М.А. Москалев. – М.: Высшая школа, 1990.
33. Дальский, А. М. Технология конструкционных материалов, А.М. Дальский [и др.]. - М.: Машиностроение, 1985.
34. Левадный, В.С. Сварочные работы/ В.С. Левадный, А.П. Бурлака. – М.: ООО «Аделант», 2003, 448 с.

Сокращенные наименования элементов в обозначениях металлов и сплавов

Химический элемент	Знак	Обозначение в марках металлов и сплавов		Химический элемент	Знак	Обозначение в марках металлов и сплавов	
		черных	цветных			черных	цветных
Азот	N	А (в середине марки)		Неодим	Nd		Нм
Алюминий	Al	Ю	А	Никель	Ni	Н	Н
Барий	Ba		Бр	Ниобий	Nb	Б	Нп
Бериллий	Be	Л	Б	Олово	Sn		О
Бор	B	Р		Осмий	Os		Ос
Ванадий	V	Ф	Вам	Палладий	Pd		Пд
Висмут	Bi	Ви	Ви	Платина	Pt		Пл
Вольфрам	W	В		Празеодим	Pr		Пр
Гафний	Hf		Гф	Ртуть	Hg		Р
Германий	Ge		Г	Рутений	Ru		Ру
Диспозий	Dy		ДИМ	Свинец	Pb	С	С
Европий	Eu		Ев	Селен	Se	Е	СТ
Железо	Fe		Ж	Серебро	Ag		Ср
Золото	Au		Зл	Скандий	Sc		Скм
Индий	In		Ин	Сурьма	Sb		Су
Кадмий	Cd	Кд	Кд	Тербий	Tb		Том
Кальций	Ca	Ц (в автоматных сталях)		Титан	Ti	Т	ТПД
Кобальт	Co	К	К	Тулий	Tu		ТУМ
Кремний	Si	С	Кр (К)	Углерод	C	У	
Лантан	La		Ла	Фосфор	P	П	Ф
Литий	Li		Лэ	Хром	Cr	Х	Х(Хр)
Лютеций	Lu		Люн	Церий	Ce		Се
Магний	Mg	Ш	Мг	Цинк	Zn		Ц
Марганец	Mn	Г	Мц	Цирконий	Zr	Ц	ЦЭВ
Медь	Cu	Д	М	Эрбий	Er		Эрм
Молибден	Mo	М		Редкоземельные		Ч	

Оглавление

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1	
Диаграмма состояния сплавов системы железо-цементит.....	4
Лабораторная работа № 2	
Классификация и маркировка сталей и чугунов.....	12
Лабораторная работа № 3	
Термическая обработка углеродистых сталей.....	25
Лабораторная работа № 4.	
Классификация и маркировка цветных сплавов.....	47
Лабораторная работа № 5	
Безопасность сварочных работ.....	55
Лабораторная работа № 6	
Ручная электродуговая сварка	61
Лабораторная работа № 7	
Автоматическая сварка под флюсом.....	69
Лабораторная работа № 8	
Механизированная сварка	77
Лабораторная работа № 9	
Газовая сварка металлов и сплавов	85
Лабораторная работа № 10	
Кислородная резка металлов	97
Заключение	104
Библиографический список	105
Приложение. Сокращенные наименования элементов в обозначениях металлов и сплавов.....	107

Учебное издание
Александр Семенович Орлов
Елена Григорьевна Рубцова
Ирина Юрьевна Зиброва

Материаловедение и технология материалов
Лабораторный практикум
для студентов, обучающихся по направлению 280100
«Безопасность жизнедеятельности»

Редактор Аграновская Н.Н.

Подписано в печать 12.09.2011. Формат 60x84 1/16. Уч.-изд. л. 6,75.
Усл.-печ. л. 6,9.. Бумага писчая. Тираж 200 экз. Заказ № 378.

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства учебной литературы
и учебно-методических пособий Воронежского государственного
архитектурно-строительного университета
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84