

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(национальный исследовательский университет)»
ИНСТИТУТ СПОРТА, ТУРИЗМА И СЕРВИСА
МНОГОПРОФИЛЬНЫЙ КОЛЛЕДЖ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Методические указания для проведения практических работ
по учебной дисциплине
ОП.01. «Материаловедение»
для специальности
22.02.11 «Обработка металлов в металлургическом производстве»

Челябинск 2025

Методические указания по проведению практических работ по учебной дисциплине ОП 01 Материаловедение для специальности 22.02.11 Обработка металлов в металлургическом производстве

Разработчик: И.И. Чернова

преподаватель Политехнического
отделения Многопрофильного колледжа

Методические указания по проведению практических работ предназначены для студентов ПО МпК ИСТиС ЮУрГУ специальности 22.02.11 Обработка металлов в металлургическом производстве для подготовки к практическим работам с целью освоения практических умений и навыков и профессиональных компетенций.

Содержание

Практическая работа №1	
Применение правила фаз и правила отрезков при изучении диаграмм состояния сплавов	7
Практическая работа №2	
Построение кривых охлаждения для технического железа и сталей.....	12
Практическая работа №3	
Построение кривых охлаждения для чугунов	19
Практическая работа №4	
Маркировка сталей.....	23
Практическая работа №5	
Выбор материалов для конструкций по их назначению и условиям эксплуатации	29
Практическая работа №6	
Изучение микроструктур цветных металлов и сплавов	35

Введение

Методические указания по выполнению практических работ разработаны согласно рабочей программы учебной дисциплины ОП 01. Материаловедение и требованиям к результатам обучения Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования (далее – ФГОС СПО) по специальности 22.02.11 Обработка металлов в металлургическом производстве.

Цель и планируемые результаты освоения:

Код ОК, ПК	Умения	Знания
ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам	<ul style="list-style-type: none"> – определять этапы решения задачи, составлять план действия, – - реализовывать составленный план, – определять необходимые ресурсы для реализации поставленной цели 	<ul style="list-style-type: none"> – структура плана для решения задач, – алгоритмы выполнения работ в рамках учебной дисциплины
ОК 02. Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности	<ul style="list-style-type: none"> – определять задачи для поиска информации, планировать процесс поиска, выбирать необходимые источники информации для решения задач по дисциплине 	<ul style="list-style-type: none"> – порядок применения современных средств и устройств информатизации и цифровых инструментов в процессе решения задач профессиональной деятельности
ОК 04 Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде	<ul style="list-style-type: none"> – организовывать работу коллектива и команды;; – взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами в ходе профессиональной деятельности 	<ul style="list-style-type: none"> - психологические основы деятельности коллектива, психологические особенности личности; - основы проектной деятельности
ОК 07. Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени	<ul style="list-style-type: none"> – соблюдать нормы экологической безопасности при проведении лабораторных работ в рамках изучения дисциплины 	<ul style="list-style-type: none"> – нормы экологической безопасности при ведении профессиональной деятельности

ОК 09. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках	<ul style="list-style-type: none"> – понимать общий смысл четко произнесенных высказываний на известные темы (профессиональные и бытовые), понимать тексты на базовые профессиональные темы; – участвовать в диалогах на знакомые общие и профессиональные темы; – строить простые высказывания о себе и о своей профессиональной деятельности; – кратко обосновывать и объяснять свои действия (текущие и планируемые); – писать простые связные сообщения на знакомые или интересующие профессиональные темы. 	<ul style="list-style-type: none"> – правила построения простых и сложных предложений на профессиональные темы; – основные общеупотребительные глаголы в профессиональной лексике; – лексический минимум, относящийся к описанию предметов, средств и процессов профессиональной деятельности; – особенности произношения; – правила чтения текстов профессиональной направленности
ПК 2.3. Выполнять технологические операции при обработке металлов давлением	<ul style="list-style-type: none"> – применять нормативную и технологическую документацию, справочные и информационные источники при выполнении лабораторных и практических работ; - использовать информационные технологии при выполнении технологических операций, в том числе при проведении опытов в рамках учебной дисциплины 	<ul style="list-style-type: none"> – сортамент продукции цехов обработки металлов давлением; – виды и назначение технологических операций при обработке металлов давлением, характеристики применяемого оборудования при проведении испытаний и исследований в рамках учебной дисциплины
ПК 2.4. Производить оценку качества выпускаемой продукции.	<ul style="list-style-type: none"> – выбирать методы контроля качества выпускаемой продукции 	<ul style="list-style-type: none"> – требования нормативной документации к параметрам и свойствам выпускаемой продукции; – методы анализа и контроля качества выпускаемой продукции

Методические указания по выполнению практических работ содержат методические указания к выполнению практических работ для студентов, цели работы; рекомендации по самостоятельному проведению работы; теоретические основы, которыми студенты должны владеть перед проведением практических работ и контрольные вопросы для закрепления полученных умений и знаний.

После изучения первого раздела курса студенты осознают важность общепрофессиональной дисциплины «Материаловедение» для успешного освоения специальности в целом.

Практические работы следует проводить по мере прохождения студентами теоретического материала.

Практические работы рекомендуется производить в следующей последовательности:

- вводная беседа, во время которой кратко напоминаются теоретические вопросы по теме работы, разъясняется сущность, цель, методика выполнения работы;
- самостоятельное выполнение необходимых заданий;
- обработка результатов выполнения заданий, оформление отчета;

- защита практической работы в форме собеседования по методике проведения и результатам проделанной работы.

Методические указания к выполнению практических работ для студентов

1. К выполнению практической работы необходимо подготовиться до начала занятия, используя рекомендованную литературу и конспект лекций.

2. Студенты обязаны иметь при себе линейку, карандаш, калькулятор, тетрадь для практических работ.

3. Отчеты по практическим работам оформляются согласно требованиям ЕСКД и должны включать в себя следующие пункты:

- название практической работы и ее цель;
- порядок выполнения работы;
- далее пишется «Ход работы» и выполняются этапы практической работы, согласно выше приведенному порядку.

4. При подготовке к сдаче практической работы, необходимо ответить на предложенные контрольные вопросы.

5. Если отчет по работе не сдан вовремя (до выполнения следующей работы) по неуважительной причине, оценка за работу снижается.

Практические работы составляют важную часть теоретической, профессиональной и практической подготовки студентов.

Содержание и объем практических работ соответствует рабочей программе по дисциплине ОП 01. «Материаловедение».

Цели практической работы:

- обобщение, систематизация, закрепление теоретических знаний по соответствующей теме дисциплины;
- проверка и экспериментальное подтверждение основных теоретических законов и зависимостей по дисциплине;
- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов;
- выработка профессиональных качеств: самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Весь цикл практических состоит из 6 работ. На выполнение каждой работы отведено 2-4 часа. Рекомендуемые практические работы и методические указания по их выполнению приведены ниже.

Для повышения эффективности проведения практических работ рекомендуется:

- разработка тестов входного контроля подготовки студентов к их выполнению;
- максимальная организация самостоятельного выполнения студентами лабораторных и практических работ.

При подготовке к занятиям студенты должны повторить теоретический материал, ознакомиться с описанием работ и их выполнением, уяснить цели и задачи, поставленные в работе.

Практическая работа №1

Тема: Применение правила фаз и правила отрезков при изучении диаграмм состояния сплавов

Цель: Научиться использовать правило фаз для анализа превращений в сплавах и определять количественное соотношение фаз в сплаве при заданной температуре, используя диаграмму состояния сплава.

Порядок выполнения работы:

1. Описать назначение применения правила фаз и записать формулу для определения числа степеней свободы системы (указать все величины, входящие в состав формулы)
2. Описать назначение применения правила отрезков и порядок действий при применении этого правила.
3. Перечертить диаграмму состояния и отметить на ней сплав, согласно своего варианта задания (табл. 2.1). Определить химический состав, температуру ликвидуса и солидуса для данного сплава. Рассчитать количество фазовых составляющих в сплаве при заданной температуре. Рассчитать число степеней свободы при кристаллизации сплава и при кристаллизации любого из компонентов, образующих сплав.
4. Сделать выводы полученным результатам.

Теоретическая часть

Сплавами называются сложные тела, полученные сплавлением или спеканием двух или более металлов или металлов с неметаллами. По числу входящих компонентов сплавы подразделяют на двойные, тройные и т. д., по характеру металла, являющегося основой сплава, – на черные (сталь, чугун) и цветные (латунь, бронза и др.). Внутреннее строение сплавов, как и металлов, кристаллическое и определяется взаимосвязью между составляющими компонентами.

Сплавы, состоящие из двух или нескольких элементов различного количественного состава, называются системами. **Система** — это совокупность бесконечно большого числа сплавов, образованных данными металлами (и неметаллами)

В металловедении изучают сплавы, в которые входит несколько элементов. Поэтому, когда говорят «система Си—Zn» или «система Fe—Ni», это означает, что рассматривают сплавы, состоящие из этих элементов.

Фаза – однородная по химическому составу, типу решетки и свойствам часть сплава, отделенная от других частей границей раздела. В сплавах фазами могут быть чистые металлы, жидкие или твердые растворы, химические соединения. Фазы отличаются одна от другой по агрегатному состоянию (жидкий алюминий и твердый алюминий — две разные фазы), химическому составу, т. е. концентрации компонентов в каждой фазе, типу кристаллической решетки (железо с решеткой о. ц. к. и г. ц. к. — тоже две разные фазы). Число сосуществующих фаз обозначают буквой Φ .

Компонентами называют вещества, образующие сплав или систему сплавов. Компонентами могут быть чистые металлы (элементы) или устойчивые химические соединения. Чистые металлы представляют однокомпонентные системы, сплавы из двух элементов — двухкомпонентные системы и т. д. Число компонентов обозначают буквой K

Число степеней свободы - определяется числом независимых переменных (например, температура, концентрация сплава, давление), которые можно изменять в определенных пределах, не нарушая равновесия. Равновесным называется состояние сплава, которое не изменяется во времени. При равновесии сохраняется число сосуществующих фаз. Если при этом условии можно менять только температуру (одна переменная), то число степеней свободы равно единице; если и температура, и состав фазы должны быть постоянными, то число степеней свободы равно нулю. Число степеней свободы обозначают буквой C .

Закономерности всех изменений системы в зависимости от внутренних и внешних условий подчиняются *правилу фаз*.

Правило фаз устанавливает возможное число фаз и условия, при которых они могут существовать в данной системе, т. е. в сплаве из данного числа компонентов. Правило фаз выражает зависимость между количеством фаз, числом компонентов и числом степеней свободы системы:

$$C = K + B - \Phi,$$

где C — число степеней свободы; K — число компонентов; Φ — число фаз; B — внешние переменные факторы (температура, давление).

Если принять давление постоянным, что допустимо при рассмотрении металлических систем ($B = 1$), т. е. если из внешних переменных факторов учитывать только температуру, то

$$C = K + 1 - \Phi$$

Этой формулой мы будем пользоваться при выполнении практической работы.

Рассмотрим возможные случаи равновесия для однокомпонентных систем.

Если в однокомпонентной системе (например, в чистом металле) имеется одна фаза (жидкий или закристаллизовавшийся, т. е. твердый металл), то $K = 1$ и $\Phi = 1$. Следовательно,

$$C = 1 + 1 - 1 = 1$$

т. е. имеется одна степень свободы. Это значит, что можно нагреть или охладить металл в определенном интервале температур, сохраняя его однофазным (жидким или твердым). Это положение известно, так как металл можно охлаждать в жидком виде (от температуры затвердевания), сохраняя в нем однофазное состояние.

Если в момент плавления или затвердевания в однокомпонентной системе имеются две фазы (например, жидкий и твердый металл), то $K = 1$, $\Phi = 2$, следовательно,

$$C = 1 + 1 - 2 = 0$$

т. е. не имеется ни одной степени свободы. Такое равновесие возможно лишь при постоянной температуре. Следовательно, температура плавления и температура затвердевания однокомпонентных систем, например чистых металлов, всегда постоянны и пока не исчезнет одна фаза (расплавится твердая часть при нагреве или затвердеет жидкая часть при охлаждении), температура остается неизменной.

Таким образом, затвердевание чистых металлов происходит при постоянной температуре и на кривой охлаждения (или нагревания) этой температуре соответствует площадка (см. кривую охлаждения железа).

Однако для двухкомпонентной системы затвердевание сплава будет происходить при других условиях, так как $K = 2$, $\Phi = 2$, следовательно, $C = 2 + 1 - 2 = 1$, т. е. имеется одна переменная. Значит, равновесие между жидкой и твердой фазой при затвердевании сохраняется в интервале температур (температуру можно менять). На кривой охлаждения появятся температуры начала и конца затвердевания. Интервал температур — это очень важная отличительная особенность кристаллизации сплавов.

При исследовании строения сплавов, при выборе режимов термической обработки, температуры разливки жидких сплавов, режимов обработки давлением и т. п. используют диаграммы состояния. Диаграмма состояния представляет собой графическую зависимость состояния сплавов данной системы от их концентрации (химического состава) и температуры. По ней можно установить, какие превращения происходят в сплавах при нагреве и охлаждении, определить, при каких температурах произойдет затвердевание. Они дают возможность предвидеть изменение свойств сплавов и выбирать оптимальные режимы термической обработки.

Для определения относительного количества (массы) сосуществующих фаз и структурных составляющих одного сплава по диаграмме состояния пользуются **правилом отрезков коноды**.

Конода — это отрезок горизонтальной линии или изотерма, проведенная внутри двухфазной области диаграммы состояния до пересечения с линиями границ двухфазной

области. Так, конода AE (см. рис. 2.1) проведена между вертикальной линией для чистого компонента A и линией ликвидуса. Точка пересечения коноды с линией ликвидуса (точка E) указывает на состав жидкой части сплава. Спроектировав точку E на ось концентраций, можно определить химический состав жидкости, прочитав на оси концентраций, сколько процентов металла B (а, следовательно, и металла A) имеется в жидком расплавленном сплаве при данной температуре.

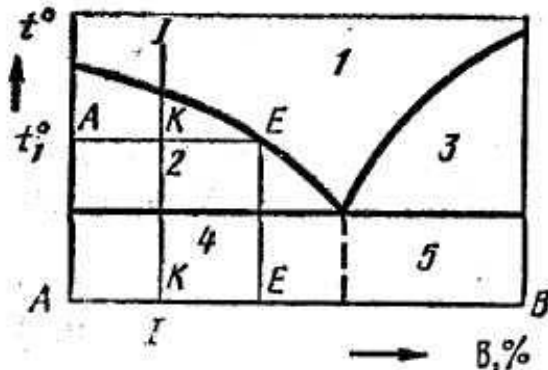


Рис. 1.1 Определение количества составляющих сплавов по диаграмме состояния

Применение правила отрезков коноды

Пусть необходимо определить количественно соотношение между жидкой и твердой частью сплава I-I при температуре t_1° (рис. 1.1).

Как видно (см. рис. 1.1), сплав при этой температуре состоит из кристаллов A и жидкого сплава состава, отвечающего точке E .

Введем следующие обозначения:

Q_T — количество (масса) твердой части сплава (в данном случае кристаллов A);

$Q_{ж}$ — количество (масса) жидкой части сплава (в данном случае состава E);

$Q_{общ}$ — общее количество (масса) сплава.

Общее количество сплава будет равно сумме жидкой и твердой частей сплава:

$$Q_{общ} = Q_{ж} + Q_T$$

По правилу отрезков коноды общую массу сплава приравнивают длине коноды (AE при температуре t_1°), и тогда количество жидкой фазы $Q_{ж}$ и количество твердой фазы Q_T определяются отрезками коноды AK и KE , которые образовались при пересечении коноды с линией сплава I-I.

Согласно правилу отрезков коноды, количество жидкой фазы равно отношению длины отрезка коноды, примыкающего к точке состава твердой фазы, к длине всей коноды:

$$Q_{ж} = AK/AE * 100\%$$

(умножение полученного отношения отрезков на 100 % дает возможность выразить количество жидкой части сплава в процентах к общему количеству сплава).

Количество (или масса) твердой фазы сплава равно отношению длины отрезка коноды, примыкающего к точке состава жидкой фазы, к длине всей коноды:

$$Q_T = KE/AE * 100 \%$$

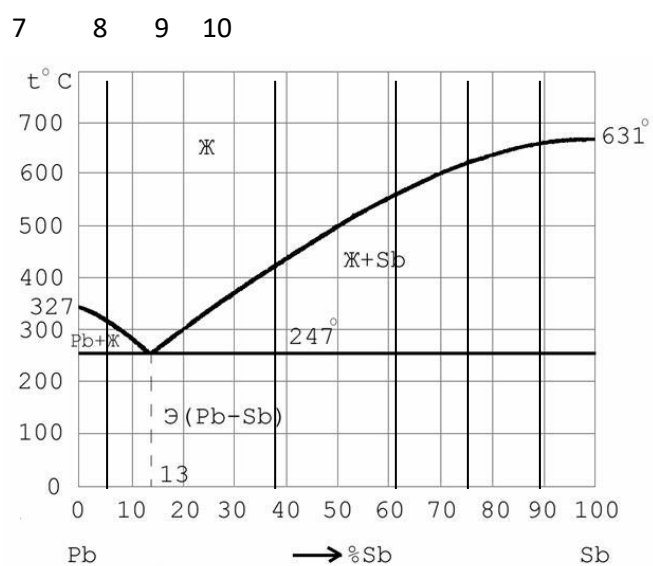
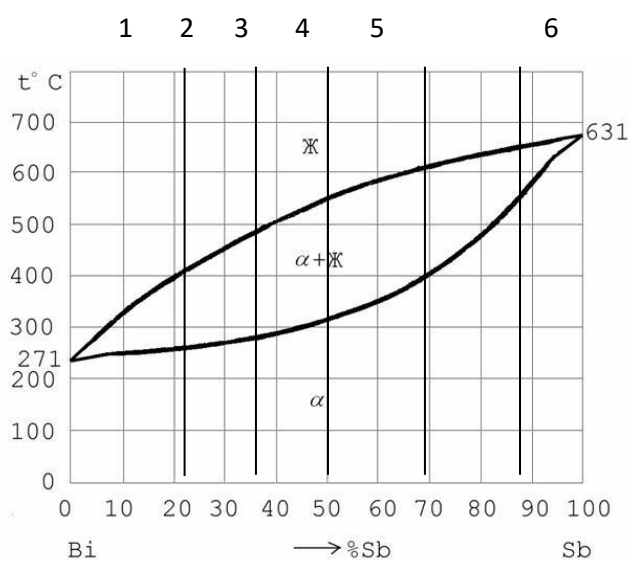
Итак, для определения количества жидкой и твердой фаз сплава по диаграмме состояния надо поступать следующим образом:

1. Восстановить перпендикуляр к точке, характеризующей состав данного сплава (т. е. провести линию сплава).
2. При заданной температуре провести коноду — горизонтальную линию (изотерму) до пересечения с линиями, ограничивающими данную область.
3. Для определения количества твердой части сплава надо взять отношение длины отрезка, прилегающего к жидкой части сплава, к длине всей коноды.
4. Для определения количества жидкой части сплава надо взять отношение длины отрезка, прилегающего к твердой части сплава, к длине всей коноды.

Правило отрезков верно для любых температур и, следовательно, любых двухфазных областей разных диаграмм состояний.

Таблица 1.1 - Варианты заданий на практическую работу

Вариант	Сплав	Температура
1	10	300
2	9	550
3	10	400
4	9	350
5	7	390
6	8	350
7	5	610
8	6	290
9	4	550
10	10	450
11	7	350
12	3	400
13	2	400
14	2	360
15	8	400
16	10	500
17	1	330
18	5	600
19	3	450
20	3	350
21	10	350
22	4	500
23	5	590
24	9	450
25	3	450
26	1	350
27	8	500
28	7	300
29	2	450
30	1	300



Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание, в ходе работы должны быть отражены теоретические положения (перечисленные в порядке выполнения работы), выполнен свой вариант задания, согласно порядковому номеру в журнале и таблицы 21.1. По результатам работы необходимо сделать выводы.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что позволяет определить правило фаз?
2. Если число степеней свободы при кристаллизации равно 0, то при каких условиях происходит этот процесс в сплаве? (а если равно 1?)
3. Перечислите последовательность действий при применении правила отрезков?
4. Что позволяет рассчитать правило отрезков?
5. Что характеризует температура ликвидуса и солидуса для сплава?

Практическая работа №2

Тема: Построение кривых охлаждения для технического железа и сталей

Цель: Проанализировать превращения, протекающие в сталях и техническом железе при охлаждении, выявить закономерности структурообразования в них.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические положения к практической работе. Записать определение технического железа и стали.
2. Начертить в масштабе диаграмму железо-цементит и отметить на ней сплавы – техническое железо, доэвтектоидную, эвтектоидную и заэвтектоидную сталь (содержание углерода для каждого сплава может быть произвольным).
3. Для каждого сплава обозначить критические точки и построить кривую охлаждения в координатах время - температура. На кривой охлаждения, указать фазовый состав сплава в разных температурных интервалах.
4. Проанализировать превращения, протекающие в сплавах при охлаждении, и зарисовать схему структуры сплавов после охлаждения.
5. Сделать выводы, указав температурный интервал, в котором при охлаждении образуется каждая структурная составляющая сталей и технического железа.

Теоретическая часть

Диаграмма состояния системы железо - углерод является одной из важнейших диаграмм двойных систем, потому что наиболее распространенные в технике сплавы - стали и чугуны - представляют собой сплавы железа с углеродом. В сталях углерода содержится менее 2,14%, в чугунах более 2,14%. Железо с содержанием углерода менее 0,025% называется техническим железом. В состав сталей и чугунов, кроме углерода, входят кремний, марганец и другие элементы, но углерод является основным компонентом, оказывающим влияние на структуру и свойства железных сплавов.

Диаграмма железо – углерод должна распространяться от железа до углерода. Железо образует с углеродом химическое соединение: цементит – Fe_3C . Каждое устойчивое химическое соединение можно рассматривать как компонент, а диаграмму – по частям. Так как на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода до 5 %, то рассматриваем часть диаграммы состояния от железа до химического соединения цементита, содержащего 6,67 % углерода.

Микроструктура сталей и белых чугунов формируется при кристаллизации сплавов согласно диаграмме железо-цементит (рисунок 2.1).

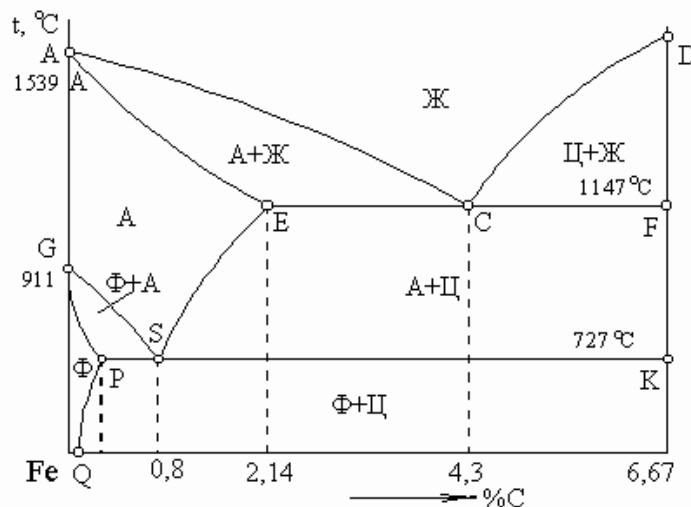


Рисунок 2.1- Метастабильная диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов железо-цементит

Основные точки диаграммы состояния железо—цементит обозначены латинскими буквами, общепринятыми в международной практике. Координаты основных точек диаграммы состояния железо—цементит и их буквенные обозначения приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Координаты основных точек диаграммы состояния железо—цементит

Обозначение точки на диаграмме	Температура, °С	Концентрация углерода в %	Обозначение точки на диаграмме	Температура, °С	Концентрация углерода в %
A	1539	0	D	1500	6,67
B	1499	0,5	G	911	0
H	1499	0,1	P	727	0,025
J	1499	0,16	S	727	0,8
N	1392	0	K	727	6,67
E	1147	2,14	Q	600	0,006
C	1147	4,30	L	600	6,67
F	1147	6,67			

Твердые фазы нестабильной диаграммы: феррит низкотемпературный и высокотемпературный, аустенит и цементит.

Феррит (Ф) - твердый раствор внедрения углерода в железо с ОЦК решеткой (различают высокотемпературный феррит α и низкотемпературный δ). Максимальная концентрация углерода в низкотемпературном феррите составляет 0,025 % при 727 °С, а в высокотемпературном феррите 0,1 % при 1499 °С. Растворимость углерода в феррите изменяется, после охлаждения до комнатной температуры она становится равной 0,006 % С.

Феррит мягок и пластичен, он имеет следующие механические свойства: $\sigma_{\text{в}} = 250$ МПа; $\sigma_{02} = 120$ МПа; $\delta = 50$ %; $\psi = 80$ %; $KCU = 2,5$ МДж/м²; НВ 80. Феррит при температуре ниже 768°С ферромагнитен.

Под микроскопом феррит выявляется в виде однородных светлых зёрен (рис. 3.2,а).

Аустенит (А) - твердый раствор внедрения углерода в железо с ГЦК решеткой (γ -фаза). Максимальная растворимость углерода в γ -Fe составляет 2,14% при температуре 1147°С и 0,8% при температуре 727°С. Аустенит пластичен ($\delta = 40—50$ %), имеет твердость НВ 160—200. . Аустенит является фазой немагнитной.

Структура аустенита состоит из полиэдрических зерен, в которых встречаются двойники (рис. 2.2, б)

Цементит (Ц) - химическое соединение (Fe_3C). Содержание углерода в цементите составляет 6,67%. Особенностью цементита является его исключительно высокая твердость (НВ 1000, цементит легко царапает стекло) и хрупкость. Он слабо ферромагнитен и теряет ферромагнетизм при 217°С. При высоких температурах цементит неустойчив и распадается с образованием железа и графита, поэтому температура плавления цементита точно не определена и принимается равной 1500°С.

В зависимости от того, из какой фазы выделяется цементит, различают цементит: первичный (из жидкого раствора); вторичный (из аустенита); третичный (из феррита).

Под микроскопом цементит как структурная составляющая в сталях и в техническом железе выделяется по границам зерен и выглядит как двойная граница (рис. 3.2,в).

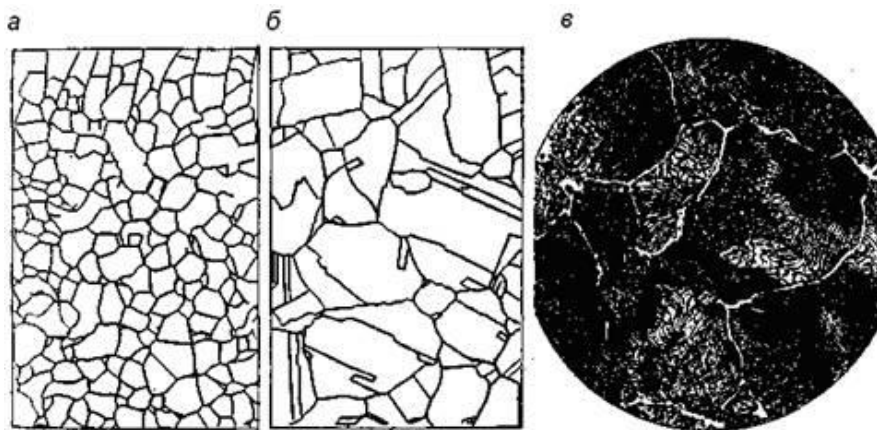


Рисунок 2.2 - Микроструктура: а – феррит, X 200; б – аустенит, X 500; в – цементит (в виде сетки), X 500

Диаграмма состояния Fe – Fe₃C приведена на рис. 2.1. На этой диаграмме точка А (1539 °С) соответствует температуре плавления (затвердевания) железа, а точка D (≈1600 °С) – температуре плавления (затвердевания) цементита. Линия ABCD – это линия ликвидуса, показывающая температуры начала затвердевания (конца плавления) сталей и белых чугунов. При температурах выше линии ABCD – сплав жидкий. Линия АНЖЕСF – это линия солидуса, показывающая температуры конца затвердевания (начала плавления).

Точка Е (2,14%С) делит диаграмму на две части: участок до т. Е показывает превращения, протекающие в сталях и техническом железе, после т. Е – в белых чугунах. Рассмотрим левую часть диаграммы (до т. Е).

Температуры наиболее важных превращений в железоуглеродистых сплавах или критические точки обозначают буквой А с соответствующими индексами. Ниже приводятся обозначения линий диаграммы и соответствующих им критических точек.

Линия диаграммы. . *PSK GS SE NJ*

Критическая точка. . *A₁ A₃ A_{cm} A₄*

При нагреве и охлаждении в реальных условиях критические точки не полностью совпадают с соответствующими равновесными линиями диаграммы. При нагреве они несколько выше, а при охлаждении — ниже этих линий. Поэтому введены дополнительные обозначения критических точек, которыми пользуются при термической обработке. Для обозначения критических точек при нагреве добавляют букву *s*, а при охлаждении — букву *r*, например, *Ac₁ Ac₃ Ac₄* — нагрев, *Ar₁ Ar₃ Ar₄* — охлаждение.

Первичная кристаллизация сталей

По линии ликвидуса ABC (при температурах, соответствующих линии ABC) из жидкого сплава кристаллизуется аустенит. При температурах, соответствующих линии солидуса АНЖЕ, сплавы с содержанием углерода до 2,14 % окончательно затвердевают с образованием структуры аустенита.

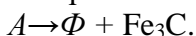
В области АВСЕJНА, между линией ликвидуса AC и солидуса АНЖЕС, имеется жидкий сплав + кристаллы аустенита.

В результате первичной кристаллизации во всех сплавах с содержанием углерода до 2,14 % образуется однофазная структура – аустенит.

Превращения в сталях в твердом состоянии

Для удобства левая нижняя часть диаграммы представлена отдельно на рис. 2.3.

Левая нижняя часть диаграммы характерна тем, что здесь происходит **эвтектоидное превращение (727 °С, эвтектоидная линия PSK)**. Превращение заключается в распаде **твердого раствора — аустенита** состава точки *S* (0,8 % С) **на смесь двух фаз: феррита**, состав которого отвечает точке *P* (0,025 % С), **и цементита** Fe₃C (точка *K*, 6,67 % С):



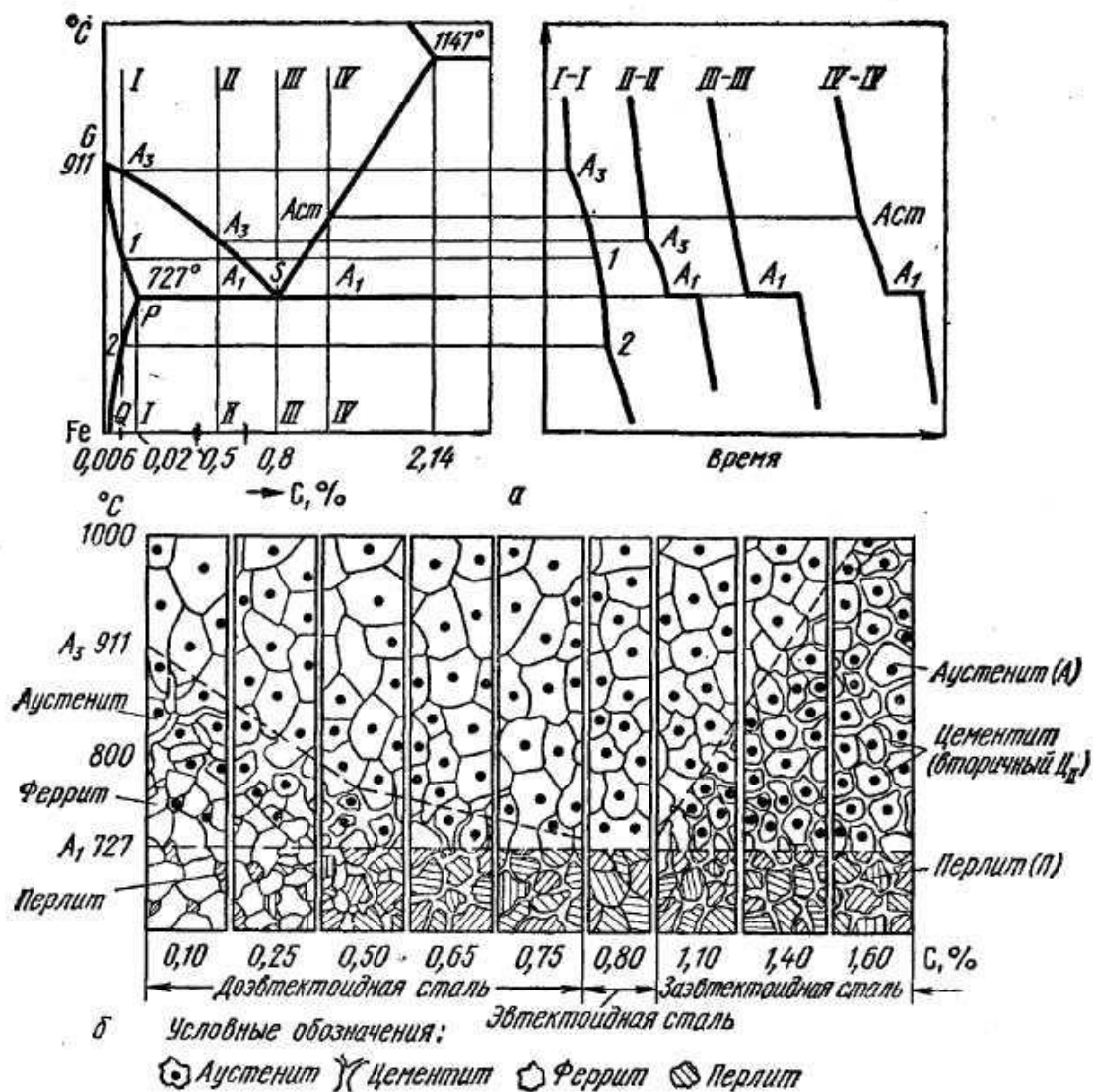


Рисунок 2.3 - Левая нижняя часть диаграммы состояния Fe—Fe₃C и кривые охлаждения (а), а также изменение структуры стали в процессе вторичной кристаллизации (б)

Точка S (0,8 % C) называется эвтектоидной точкой.

Получающаяся при распаде твердого раствора смесь кристаллов новых фаз называется эвтектоидом. В железоуглеродистых сплавах эвтектоидную смесь (Ф + Ц) называют **перлитом**. Перлит, получающийся в обычных условиях охлаждения, имеет пластинчатое строение. Перлит обычно обозначают П.

Стали классифицируют по структуре в зависимости от содержания углерода: сталь с содержанием углерода 0,8 % называют эвтектоидной, с содержанием углерода до 0,8 % — стали доэвтектоидные, с содержанием углерода больше 0,8 % — заэвтектоидные.

Рассмотрим превращения, происходящие в сталях при медленном охлаждении из аустенитной области (рис. 2 а).

Сплав 1—1 (менее 0,025 % C) — техническое железо

До температуры A₃ сплав находится в аустенитном состоянии, состоит из зерен аустенита. В интервале температур A₃—t₁ происходит перекристаллизация аустенита в феррит. При температуре t₁ этот процесс заканчивается и в интервале температур 1-2 сплав состоит только из зерен феррита.

Выше температуры t_2 феррит представляет собой ненасыщенный твердый раствор углерода в α -железе. При температуре t_2 этот твердый раствор становится насыщенным углеродом. При температуре **ниже** t_2 (точка t_2 находится на линии PQ) твердый раствор становится пересыщенным углеродом. Поэтому **из феррита** в температурном интервале t_2 — $t_{\text{комн}}$ **выделяются атомы углерода, которые образуют фазу, богатую углеродом — цементит**. Цементит, выделяющийся из феррита в результате уменьшения растворимости в нем углерода, называется *третичным цементитом*, его обозначают Ц_{III} или $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$. В условиях полного равновесия, к концу охлаждения, в феррите остается 0,006 % углерода (точка Q на диаграмме состояния $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$).

Максимальное количество третичного цементита выделяется в сплаве с 0,025 % С и составляет $\approx 0,2$ %. Третичный цементит выделяется по границам зерен феррита (рис. 2.4). Эти выделения уменьшают пластические свойства низкоуглеродистого сплава, особенно его склонность к холодной штамповке.

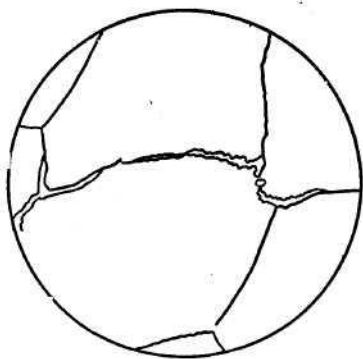


Рисунок 2.4 - Микроструктура (схема) сплава с содержанием углерода менее 0,025 %

Таким образом, **структура низкоуглеродистых сплавов** (до 0,025 % С) состоит из **феррита и третичного цементита** $\Phi + \text{Ц}_{\text{III}}$.

В условиях ускоренного охлаждения выделение третичного цементита задерживается и он может совсем не выделяться.

Сплав II—II — доэвтектоидная сталь

До температуры критической точки A_3 сталь находится в аустенитном состоянии. В интервале температур $A_3 - A_1$ происходит **превращение аустенита в феррит**.

По достижении температуры A_1 (727 °С) **оставшийся аустенит** с содержанием углерода 0,8 % (точка 5) **распадается с образованием эвтектоида ($\Phi + \text{Ц}$), т. е. перлита (П):**
 $\text{A} \rightarrow \Phi + \text{Fe}_3\text{C}$ или $\text{A} \rightarrow \text{П}$

Изменение структуры этой и других доэвтектоидных сталей в процессе кристаллизации в твердом состоянии (вторичной кристаллизации) схематично показано на рис. 5.

После завершения эвтектоидного превращения структура стали складывается из двух составляющих: **феррита и перлита**. При дальнейшем охлаждении растворимость углерода в феррите уменьшается (см. линию PQ). Из феррита выделяется третичный цементит. При комнатной температуре структура стали состоит из феррита, перлита и третичного цементита или $\Phi + \text{П}$ ($\Phi + \text{Ц}$) + Ц_{III} .

Как видно из диаграммы, аналогичные превращения происходят и в любой другой доэвтектоидной стали при ее охлаждении, следовательно, структура любой доэвтектоидной стали состоит из феррита, перлита и цементита третичного. С увеличением содержания углерода в стали, количество ферритной составляющей уменьшается, количество перлита увеличивается. Количество цементита третичного незначительно и его можно в структуре не учитывать.

Сплав III—III — эвтектоидная сталь

До температуры критической точки A_1 ($727\text{ }^{\circ}\text{C}$) сталь находится в аустенитном состоянии. При этой температуре в стали, происходит эвтектоидное превращение аустенита в феррито-цементитную смесь, т. е. в перлит:



Выделяющийся из феррита при дальнейшем охлаждении третичный цементит в структуре стали виден не будет, так как он присоединяется к цементиту, входящему в перлит.

Таким образом, после полного охлаждения структура стали с содержанием углерода 0,8 % будет состоять только из перлита $\text{П} (\Phi + \text{Ц})$. В зернах перлита четко видно пластинчатое строение смеси двух фаз.

Сплав IV—IV — заэвтектоидная сталь

Она находится в аустенитном состоянии до температуры критической точки A_{cm} . При этой температуре аустенит оказывается предельно насыщенным углеродом. При дальнейшем охлаждении содержание углерода в аустените уменьшается по линии ES . При этом в интервале температур критических точек $A_{cm}—A_1$ из аустенита выделяется углерод, который образует вторичный цементит (его обозначают Fe_3C_{II} или Ц_{II}). Аустенит обедняется углеродом до концентрации 0,8 % С и при температуре критической точки A_1 ($727\text{ }^{\circ}\text{C}$) претерпевает эвтектоидное превращение. По окончании этого превращения структура стали складывается из двух составляющих: цементита вторичного и перлита или $\text{Ц}_{II} + \text{П} (\Phi + \text{Ц})$. При дальнейшем охлаждении структура стали не изменяется. Такую же структуру будет иметь любая заэвтектоидная сталь. С увеличением содержания углерода количество вторичного цементита в стали, увеличивается. Максимальное количество вторичного цементита в заэвтектоидной стали с 2,14 % С составляет $\sim 20\%$.

В микроструктуре заэвтектоидной стали - цементит вторичный (светлая тонкая сетка по границам зерен перлита) и перлит (темные участки пластинчатого строения).

Таким образом, после полного охлаждения в равновесных условиях стали будут иметь следующую структуру: доэвтектоидная сталь — феррит + перлит, или $\Phi + \text{П}$; эвтектоидная сталь — перлит, или П ; заэвтектоидная сталь — цементит вторичный + перлит, или $\text{Ц}_{II} + \text{П}$ (рис. 2.5).

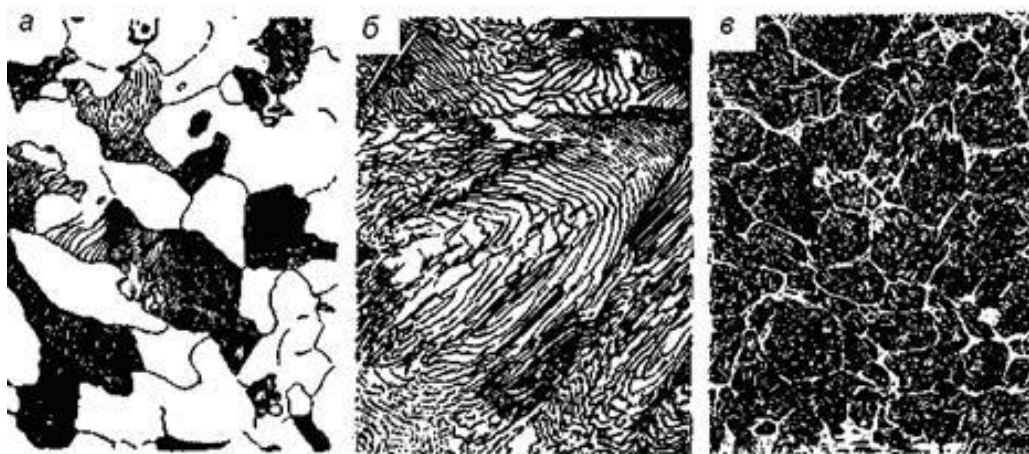


Рисунок 2.5 - Микроструктура стали:

а – доэвтектоидная сталь, феррит (светлые участки) и перлит (темные участки), X 500; б – эвтектоидная сталь, перлит X 1000; в – заэвтектоидная сталь, перлит и цементит (в виде сетки) X 200

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание, в ходе работы должны быть отражены теоретические положения (перечисленные в порядке выполнения

работы), изображена диаграмма железо-цементит, построены кривые охлаждения для сталей и технического железа. По результатам работы необходимо сделать выводы.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какие фазы образуются в железоуглеродистых сплавах в твердом состоянии? Дайте их характеристику.
2. Напишите эвтектоидную реакцию системы Fe-Fe₃C. При какой температуре она протекает? Какие структурные составляющие при этом образуются?
3. Что такое эвтектоидная сталь, какова ее структура?
4. В каких интервалах температур образуются структурные составляющие охлажденной доэвтектоидной стали?
5. Какие стали являются заэвтектоидными, какова структура этой стали?
6. В каких интервалах температур образуются структурные составляющие охлажденной заэвтектоидной стали?
7. Укажите структуру технического железа. Как влияет цементит, выделяющийся по границам зерен феррита на свойства сплава?

Практическая работа №3

Тема: Построение кривых охлаждения для чугунов

Цель: Проанализировать превращения, протекающие в белых чугунах при охлаждении, выявить закономерности структурообразования в них.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические положения к практической работе. Записать определение белых чугунов.
2. Начертить в масштабе диаграмму железо-цементит и отметить на ней сплавы – доэвтектического чугуна, эвтектического чугуна, заэвтектического чугуна (содержание углерода для каждого сплава может быть произвольным).
3. Для каждого сплава обозначить критические точки и построить кривую охлаждения в координатах время - температура. На кривой охлаждения указать фазовый состав сплава в разных температурных интервалах.
4. Проанализировать превращения, протекающие в сплавах при охлаждении, и зарисовать схему структуры сплавов после охлаждения.
5. Сделать выводы, охарактеризовав структуру сплавов после полного охлаждения.

Теоретическая часть

Микроструктура сталей и белых чугунов формируется при кристаллизации сплавов согласно диаграмме железо-цементит (рисунок 4.1).

Основные точки диаграммы состояния железо—цементит обозначены латинскими буквами, общепринятыми в международной практике. Координаты основных точек диаграммы состояния железо—цементит и их буквенные обозначения приведены в таблице 1 практической работы №3.

Твердые фазы нестабильной диаграммы: феррит низкотемпературный и высокотемпературный, аустенит и цементит. (Описание фаз приведено в практической работе №3)

Точка E (2,14%С) делит диаграмму на две части участок до т. E показывает превращения, протекающие в сталях и техническом железе, после т. E – в белых чугунах. Рассмотрим правую часть диаграммы (от т. E).

Правая часть диаграммы для удобства представлена на рис. 2, она характерна тем, что сплавы с содержанием углерода более 2,14 % претерпевают эвтектическую кристаллизацию при эвтектической температуре 1147°С по эвтектической горизонтали ECF.

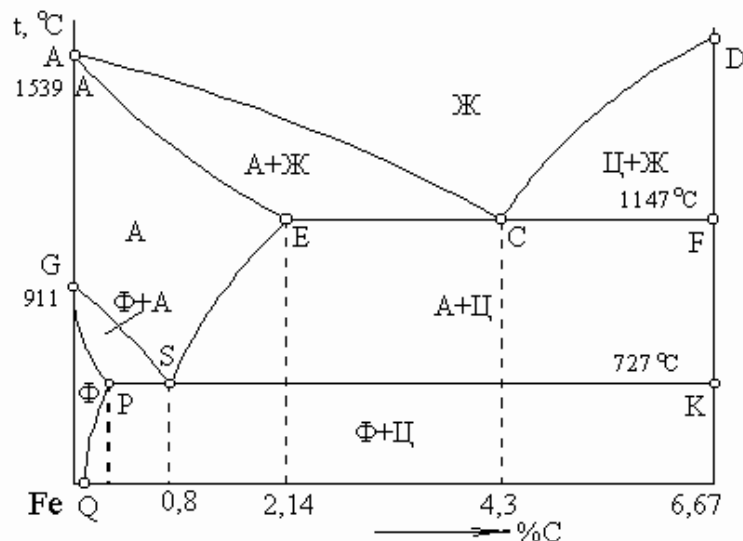
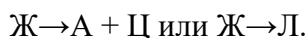


Рисунок 3.1- Метастабильная диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов железо-цементит

При 1147 °С жидкий сплав (Ж) состава, отвечающего точке С (4,3 %), кристаллизуется с образованием эвтектической смеси кристаллов аустенита (А), концентрации 2,14 % С и цементита (Ц), получившей название **ледебурит (Л)**. Ведущей фазой при кристаллизации эвтектики является цементит, поэтому в некоторых случаях эту эвтектику называют цементитной. Следовательно, при 1147°С идет превращение:



Сплавы с содержанием углерода более 2,14%, в которых кристаллизация происходит с образованием эвтектики (ледебурита), называются белыми чугунами. Белыми чугуны называются потому, что практически весь углерод находится в них в связанном состоянии, т. е. в виде соединения Fe_3C и излом таких чугунов светлый блестящий (белый излом).

Белые чугуны в зависимости от содержания углерода делят на доэвтектические с содержанием углерода до 4,3 %, эвтектический с содержанием углерода 4,3 % и заэвтектические с содержанием углерода более 4,3 %.

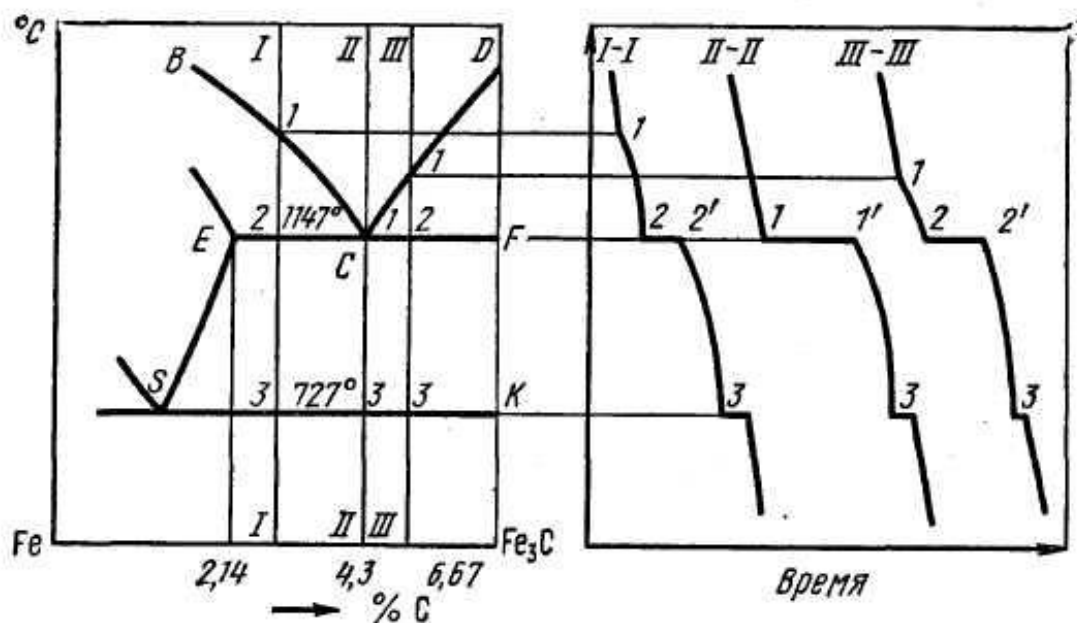


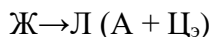
Рисунок 3.2. - Правая часть диаграммы состояния Fe—Fe₃C и кривые охлаждения сплавов

Первичная кристаллизация белых чугунов

На части диаграммы состояния железо — цементит (рис. 3.2) показаны характерные белые чугуны, отмечены цифрами температуры их превращения; справа от диаграммы схематически представлены кривые охлаждения этих сплавов.

Сплав I — I — доэвтектический белый чугун (<4,3 % С).

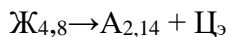
В интервале температур $t_1—t_2$ из жидкой фазы выделяются кристаллы аустенита. По мере охлаждения жидкая фаза обогащается углеродом. Концентрация углерода в ней изменяется по линии ликвидуса BC. При температуре t_2 (1147°С) оставшаяся часть жидкого сплава достигает концентрации 4,3 % С (эвтектическая точка С). Жидкий сплав затвердевает при постоянной температуре 1147 °С с образованием эвтектики (ледебурита), состоящей из аустенита состава 2,14 % С и цементита Ц:



Непосредственно после затвердевания белый доэвтектический чугун имеет структуру: аустенит + ледебурит ($\text{А} + \text{Ц}_3$), или $\text{А} + \text{Л}$.

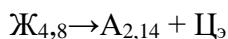
Сплав II — II — эвтектический белый чугун (4,3 % С).

Этот сплав полностью кристаллизуется при эвтектической температуре 1147°C с образованием эвтектики — ледебурита:



Следовательно, непосредственно после затвердевания структура эвтектического чугуна будет состоять только из эвтектики ($\text{А} + \text{Ц}_3$), или Л .

Сплав III — III — заэвтектический белый чугун (>4,3 % С). В интервале температур t_1 — t_2 из жидкого сплава выделяются кристаллы цементита, который называют первичным цементитом и обозначают Fe_3C_I или Ц_I . В процессе выделения из жидкого сплава первичного цементита жидкий сплав обедняется углеродом по линии ликвидуса DC . После достижения температуры точки t_2 (1147°C) жидкая часть сплава эвтектического состава (4,3 % С) кристаллизуется с образованием эвтектики — ледебурита:



Непосредственно после окончания кристаллизации структура заэвтектического белого чугуна будет состоять из первичного цементита и ледебурита, или $\text{Ц}_I + \text{Л}$.

Вторичная кристаллизация белых чугунов

При охлаждении ниже температуры 1147°C структура чугунов изменяется следующим образом.

При понижении температуры от 1147 до 727 °C предельная концентрация углерода в аустените уменьшается в соответствии с линией ES от 2,14 до 0,8 %. В этом температурном интервале аустенит обедняется углеродом и образуется высокоуглеродистая фаза — цементит вторичный, или Fe_3C_{II} .

Поскольку во всех чугунах после окончания кристаллизации имеется аустенит, то все они в интервале температур от 1147 до 727 °C претерпевают фазовое превращение с образованием вторичного цементита.

После охлаждения до 727 °C структура чугунов будет следующей:

доэвтектический чугун $\text{А}_{0,8} + \text{Ц}_{II} + \text{Л}$ ($\text{А}_{0,8} + \text{Ц}_{II} + \text{Ц}_3$) \ эвтектический чугун: Л ($\text{А}_{0,8} + \text{Ц}_{II} + \text{Ц}_3$); заэвтектический чугун: $\text{Ц}_I + \text{Л}$ ($\text{А}_{0,8} + \text{Ц}_{II} + \text{Ц}_3$).

При 727 °C происходит эвтектоидное превращение аустенита: $\text{А} \rightarrow \Phi + \text{Ц}$ с образованием перлита. Следовательно, весь имеющийся в чугунах аустенит превращается в перлит.

Ниже 727 °C структура чугунов будет следующей:

доэвтектический чугун: $\text{П} + \text{Ц}_{II} + \text{Л}$ (превращенный ледебурит); эвтектический чугун Л (превращенный ледебурит); заэвтектический чугун $\text{Ц}_I + \text{Л}$ (превращенный ледебурит).

Превращенный ледебурит отличается от ледебурита, существовавшего при температурах выше 727 °C, тем, что имевшийся в нем аустенит превратился в перлит. Следовательно, превращенный ледебурит состоит из перлита и цементита.

Микроструктура доэвтектического чугуна (рис.4.3): Крупные темные участки — это перлит, образовавшийся из структурно свободного аустенита. Остальная часть структуры — ледебурит превращенный состоящий из цементита (светлое поле) и перлита (темные участки). При микроскопическом исследовании белых чугунов, особенно таких, в которых много

ледебурита, различить в структуре вторичный цементит практически невозможно, так как он сливается с эвтектическим цементитом.

Структура эвтектического и заэвтектического (рис.3.3): В эвтектике (ледебурите) более половины ее количества приходится на цементит — твердую, хрупкую фазу. Первичный цементит выделяется при кристаллизации в виде крупных светлых кристаллов пластинчатой формы.

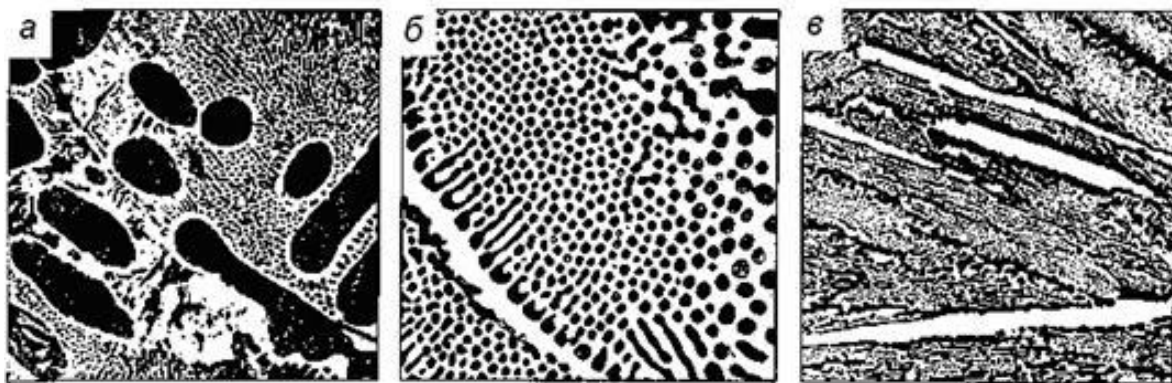


Рисунок 3.3. - Микроструктура белого чугуна: а – доэвтектического чугуна, перлит (темные участки) и ледебурит (цементит вторичный в структуре не виден), X 500; б – эвтектический чугун, ледебурит (темные участки – перлит, светлые – цементит), X 1000; в – заэвтектический чугун, цементит (светлые пластины) и ледебурит, X 500

Таким образом, в белых чугунах обязательной структурной составляющей является ледебуритная эвтектика, отличающаяся большой хрупкостью. Эвтектика делает чугун хрупким. Чем больше углерода в чугуне, тем больше в структуре эвтектики и тем более хрупким является чугун. Наиболее хрупок заэвтектический чугун, содержащий кроме ледебурита крупные хрупкие кристаллы первичного цементита.

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание, в ходе работы должны быть отражены теоретические положения (перечисленные в порядке выполнения работы), изображена диаграмма железо-цементит, построены кривые охлаждения для белых чугунов. По результатам работы необходимо сделать выводы.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какие фазы образуются в железоуглеродистых сплавах в твердом состоянии? Дайте их характеристику.
2. Напишите эвтектическую реакцию системы Fe-Fe₃C. При какой температуре она протекает? Какие структурные составляющие при этом образуются?
3. Что такое эвтектический чугун, какова его структура?
4. В каких интервалах температур образуются структурные составляющие заэвтектического чугуна – Ц и Л?
5. Чем отличается ледебурит от ледебурита превращенного?
6. Почему белые чугуны отличаются большой хрупкостью?

Практическая работа №4

Тема: Маркировка сталей и чугунов

Цель: Научиться определять химический состав и классифицировать стали и чугуны по их маркам.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить маркировку сталей и чугунов.
2. Расшифровать марки сталей и чугунов, согласно варианта задания из таблицы 5.1. Указать, какой является сталь по содержанию углерода (низко-, средне- или высокоуглеродистой), по степени легированности (низко-, средне- или высоколегированной), качеству, назначению, способу раскисления. Результаты расшифровки занести в таблицу 2.
3. Сделать выводы, описав характеристики сталей и чугунов, заложенные в маркировке этих сплавов.

Теоретическая часть

В различных отраслях промышленного производства наибольшее применение получили чёрные металлические сплавы - стали и чугуны.

Сталь - сплав железа (основа) с углеродом (до 2,14%), всегда содержит в определенных количествах постоянные примеси: марганец, кремний, серу, фосфор и газы (кислород, азот, водород).

Чугун - сплав железа с углеродом (более 2,14% до 6,67%). Чугун также содержит постоянные примеси и газы.

В легированные стали и чугуны вводят различные легирующие элементы с целью повышения механических характеристик и получения специальных свойств.

Классификация и маркировка сталей

Стали классифицируют по следующим признакам: химическому составу, способу производства, качеству, степени раскисления, назначению и структуре.

По химическому составу различают стали углеродистые и легированные. Сталь, содержащая железо, углерод и постоянные примеси в количестве до 0,5-0,8%Mn; 0,3-0,4%Si (содержание серы и фосфора определяются качеством стали) называется **углеродистой**.

Если же в процессе выплавки стали к ней добавляют легирующие элементы - хром, никель, ванадий и др., а также марганец и кремний в повышенном количестве по сравнению с углеродистой, то такую сталь называют **легированной**.

Углеродистые стали *по содержанию* в них углерода подразделяют на низкоуглеродистые (до 0,3 % C), среднеуглеродистые (0,3 - 0,7%C) и высокоуглеродистые (более 0,7 % C).

Легированные стали в зависимости от *наличия* в них *легирующих элементов* называют хромистыми, кремнистыми, хромоникелевыми и т.п., а в зависимости от общего содержания легирующих элементов подразделяют на низколегированные - до 3 %, среднелегированные от 3 до 10 % и высоколегированные - более 10 %.

По способу производства различают стали **мартеновские** (выплавка в мартеновских печах), **конвертерные** (выплавляемые в конверторах с продувкой кислородом) - однородны по составу, имеют низкое содержание азота, серы и фосфора, **электростали** (выплавляемые в электрических печах) - по качеству превосходят все остальные виды и, наконец, стали особых методов выплавки (индукционный нагрев, магнитное перемешивание и т.д.).

По качеству стали классифицируют на обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные.

Критерием качества стали является, главным образом, содержание вредных примесей - серы и фосфора. Стали **обыкновенного качества** содержат до 0,060 % S и 0,070 % P, **качественные** - до 0,040 % S и 0,035 % P, **высококачественные** - не более 0,025 % S и 0,025 % P, а **особо высококачественные** - не более 0,015 % S и 0,025 % P.

Необходимо отметить, что углеродистые стали могут быть обыкновенного качества, качественные и высококачественные (инструментальные углеродистые), а легированные только качественные, высококачественные или особо высококачественные.

По степени раскисления стали делят на **спокойные (сп)** - полностью раскисленные ферромарганцем, феррокремнием и алюминием; **кипящие (кп)** - частично раскисленные только ферромарганцем, в ней сохраняется много окиси железа, которая взаимодействует с углеродом, выделяя газ СО (пузырьки газа создают впечатление “кипения”); **полуспокойные (пс)** – раскисленные ферромарганцем и алюминием – промежуточное положение между кипящей и спокойной сталями. Степень раскисления стали указывается в конце обозначения марки, например, Ст3кп, БСт2пс, ВСт1сп, 10_{кп}.

По назначению стали подразделяют на **конструкционные** (для изготовления деталей машин и конструкций), **инструментальные** (для различного рода инструмента) и специальные стали с **особыми свойствами** (с низким коэффициентом расширения, для постоянных магнитов, электротехнические и др.).

Для сталей в России принята буквенно-цифровая маркировка. Цифры и буквы указывают на приблизительный химический состав стали.

Маркировка конструкционных сталей

Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества в соответствии с ГОСТ380-88 поставляют трех групп:

- группа А - с гарантируемыми структурой и механическими свойствами;
- группа Б - с гарантируемым химическим составом, допускается наличие хрома, никеля, меди в количестве не более 0,30 % каждого элемента;
- группа В - с гарантируемыми механическими свойствами и химическим составом.

Маркируют стали обыкновенного качества буквами Ст и условным номером от 0 до 6, как правило, чем больше цифра, тем выше содержание углерода в стали (БСт6 содержит 0,38-0,49%С).

Если сталь относится к группе А, то обозначение группы в марке не указывают: СтО, Ст1, Ст2...Ст6.

Если сталь относится к группе Б, то в начале марки ставят букву "Б": БСтО, БСт1 ... БСт6.

Стали группы В маркируют: ВСт1, ВСт2 ... ВСт5.

Стали всех групп с номером марок 1 - 4 производят кипящими, полуспокойными и спокойными (для спокойных сталей индекс может не указываться), а с номерами 5 и 6 - только полуспокойными и спокойными - Ст2, Ст3_{кп}, Ст5_{пс}.

Стали обыкновенного качества используют для строительных конструкций и изготовляют в виде листов, полос, прокатных профилей, труб, а также для деталей в мостостроении и судостроении.

Углеродистые качественные конструкционные стали (ГОСТ1050-88) обозначают двужначным числом, показывающим среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента. Например, стали марок 08, 20, 45 содержат в среднем соответственно 0,08%; 0,20%; 0,45% углерода. В этих сталях допускается не более 0,04 % S, 0,035 % P.

Углеродистые качественные стали производят спокойными, кипящими и полуспокойными (05 кп, 20 пс)..

Из них может быть изготовлена большая номенклатура деталей от шайб, втулок, шестерён, шпинделей, шатунов до деталей, работающих в условиях трения (рессоры и пружины).

Легированные конструкционные стали (качественные и высококачественные) (ГОСТ 4543-71) маркируют двухзначным числом, показывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента, далее следуют буквы и цифры.

Буквы обозначают легирующие элементы:

А – азот (если буква стоит в середине марки стали), Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, П – фосфор, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий, Ю – алюминий.

Цифры после букв показывают примерное содержание соответствующего легирующего элемента в целых процентах. Если цифра после буквы отсутствует, это означает, что содержание данного легирующего элемента в стали составляет примерно 1 %. **Для высококачественных сталей** в конце обозначения марки ставят букву А. Например, сталь марки 12Х2Н4А содержит в среднем 0,12 % С, 2 % Cr, 4 % Ni и является высококачественной.

Конструкционные легированные стали широко применяются в автомобильной промышленности, строительстве и тяжёлом машиностроении для деталей машин и механизмов, работающих в условиях сложного нагружения под действием статических, динамических и знакопеременных нагрузок.

Маркировка инструментальных сталей

Углеродистые качественные инструментальные стали (ГОСТ 1435-90) маркируют следующим образом: впереди ставят букву У, за ней цифру (от 7 до 13), указывающую среднее содержание углерода в десятых долях процента. Например, сталь марки У9 содержит в среднем 0,9 % С; У12 – 1,2 % С и т.д.

Для *высококачественных углеродистых инструментальных сталей* в конце обозначения марки стали ставят букву А. Например, У7А, У13А.

Из этих сталей может быть изготовлен режущий инструмент – резцы, напильники и др., работающий с небольшими скоростями резания, а также штампы для холодного деформирования для обработки малопрочных материалов.

Легированные инструментальные стали (ГОСТ 5950-73) маркируют однозначным числом, показывающим среднее содержание углерода в десятых долях процента, далее следуют буквы и цифры. Принцип обозначения легирующих элементов и их содержание в этих сталях аналогичен с маркировкой конструкционных. Если же сталь начинается с буквы (кроме буквы У), то в стали около 1 % С. Например, сталь марки 9ХС содержит в среднем 0,9 % С, 1 % Cr, 1 % Si; сталь марки ХВГ содержит 1 % С, 1 % Cr, 1 % W, 1 % Mn.

Инструментальные легированные стали применяют для изготовления всех видов инструментов: режущего (резцы, развёртки, протяжки), штампованного (штампы для холодного и горячего деформирования), измерительного (калибры, меры, шаблоны).

Специальные стали это высоколегированные стали, в которых содержание легирующих элементов более 10 %, обладающие особыми свойствами, например, коррозионностойкие стали (ГОСТ 5632-72), обладающие высокой химической стойкостью в агрессивных средах. В состав коррозионностойкой стали обязательно входят хром и никель, причём содержание хрома должно быть более 12 %, а маркировка сохраняет принципы маркировки легированных сталей: сталь марки 17Х18Н9 содержит 0,17 % С, 18 % Cr, 9 % Ni.

Коррозионностойкие стали применяют для изготовления клапанов гидропрессов, лопаток турбин, карбюраторных игл и других деталей машин, подвергающихся действию атмосферных осадков, воды, водных растворов солей и других агрессивных сред при комнатной температуре или до 400⁰ С.

Некоторые **специальные стали** имеют маркировку, отличающуюся от вышеизложенных правил:

Углеродистые автоматные стали (конструкционные) (ГОСТ 1414-75) с повышенным содержанием серы и фосфора, а иногда с добавлением небольшого количества Pb, Ca, Mn и

др., обладающие хорошей обрабатываемостью резанием, применяют для изготовления деталей на металлорежущих станках-автоматах. Автоматные стали маркируют буквой А и цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента; например, А12 - автоматная сталь с содержанием углерода в среднем 0,12%;

Шарикоподшипниковые стали (конструкционные) (ГОСТ 801-83) применяют для изготовления подшипников качения и других деталей, работающих в условиях трения, должны обладать высокой контактной прочностью и износостойкостью, содержат около 1 % С с обязательным наличием хрома (0,4-1,9 %). Шарикоподшипниковые стали маркируются буквой “Ш”, далее буква “Х” – хром, содержание которого указывается в десятых долях процента. Из этих сталей изготавливают шарики и ролики подшипников, подшипниковые кольца, корпуса и направляющие;

Быстрорежущие стали (инструментальные) (ГОСТ 19265-73) применяют для изготовления режущего инструмента (резцы, свёрла, фрезы и т.д.), работающего при высоких скоростях резания. Марки этих сталей обозначают русской буквой Р (rapid - быстрый), а следующая за ней цифра указывает среднее содержание основного легирующего элемента вольфрама в процентах. Например, Р18 - быстрорежущая сталь, содержащая около 1 % С и 18 % W, а также 4 % Cr и около 2,5 % V, но это не внесено в марку;

Стали, применяемые для получения отливок (ГОСТ 977-88), имеют в своем обозначении букву Л. Например, 15Л - сталь для отливок, содержащая в среднем 0,15 % С. Из этих сталей отливают втулки, шестерни и т.д.

Классификация и маркировка чугунов

Как уже отмечалось выше, по сравнению со сталью, чугун имеет более высокое содержание углерода (более 2,14 и как правило до 4,5 %). Углерод в чугуне может находиться в двух состояниях: в связанном - в виде химического соединения Fe_3C , которое называется цементит, либо в свободном - в виде графита.

В зависимости от состояния углерода в чугуне различают:

- **белый чугун**, в котором весь углерод находится в связанном состоянии. Название он получил по цвету излома. Имеет высокую твердость, хрупкость, практически не поддается обработке резанием и поэтому не нашел применения в качестве конструкционного материала и используется для передела в сталь и ковкий чугун.

- **серый чугун**, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии в виде графита пластинчатой формы, а остальная часть - в связанном состоянии в виде карбида железа Fe_3C . В изломе имеет темно-серый цвет. Серый чугун маркируется (ГОСТ 1412-85) буквами СЧ с добавлением цифры, которая указывает предел прочности чугуна при растяжении σ_B . Например, СЧ20 - серый чугун, имеющий $\sigma_B=200\text{МПа}$ или 20кгс/мм^2 .

Серый чугун широко применяется в машиностроении как конструкционный материал для изготовления станин станков, тормозных барабанов, поршневых колец и т.д.

- **ковкий чугун**, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии в виде графита хлопьевидной формы. Ковкий чугун маркируют (ГОСТ 1215-59) буквами КЧ и двумя числами. Первое обозначает предел прочности при растяжении σ_B в кг/мм^2 , второе - относительное удлинение δ , %. Например, КЧ35-10 - ковкий чугун, имеющий $\sigma_B=350\text{МПа}$ (35кгс/мм^2) и $\delta=10\%$;

Ковкие чугуны имеют более высокие характеристики пластичности по сравнению с другими чугунами (но это не значит, что его можно ковать). Применяется ковкий чугун для изготовления деталей, работающих при средних и высоких статических нагрузках (картеры автомобиля, ступицы, кронштейны, муфты и т.д.).

- **высокопрочный чугун**, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии в виде графита шаровидной формы. Имеет самые высокие прочностные свойства по сравнению с другими чугунами. Применяется для деталей машин, работающих в тяжелых условиях (в тяжёлом машиностроении – шабот молота, траверс пресса, прокатные валки и т.д.). Высокопрочный чугун маркируется (ГОСТ 7293-85) буквами ВЧ и цифрами,

обозначающими предел прочности чугуна при растяжении σ_B , например, ВЧ50 – высокопрочный чугун, имеющий $\sigma_B = 500 \text{ МПа}$ (50 кгс/мм^2).

Таблица 4.1 – Варианты заданий на практическую работу

Вариант	Марки сталей и чугунов
1, 2, 3	Ст2, 08 _{кп} , 09Г2С, У7А, 9ХС, Р6АМ5, СЧ10
4, 5, 6,	Ст2пс, 40, 38ХА, У13, ХВГ, А20, КЧ 63-2
7, 8, 9	ВСт5, 10 _{кп} , 60С2, У12А, Х12Ф1, ШХ15, ВЧ50
10, 11, 12	БСт4пс, 05, 01ЮТБ, У10, Х, 35Л, СЧ 30
13, 14, 15	Ст3 _{кп} , 80, 50ХФА, У8, Х6ВФ, Р12Ф3, КЧ 45-6
16, 17, 18	ВСт5сп, 15, 25Г2С, У9А, 5ХНМ, Р18, ВЧ60
19, 20, 21	Ст1, 20 _{пс} , 12Х2Н4А, У11, Х12М, 50Л, КЧ 30-6
22, 23, 24	БСт6сп, 60, 35ГС, У13А, 5ХВ2С, А15, СЧ40
25, 26, 27	Ст5, 10 _{пс} , 38ХН3МА, У7, 9Х2, ШХ4, ВЧ45
28, 29, 30	Ст1 _{кп} , 30, 20ХН3А, У9, Х12, 45ФЛ, КЧ 45-6

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание, в ходе работы должны быть отражены теоретические положения (перечисленные в порядке выполнения работы), расшифрованы марки сталей и чугунов, согласно вашего варианта, результаты выполнения задания занесены в таблицу 5.2. По результатам работы необходимо сделать выводы.

Таблица 5.2 – Результаты расшифровки марок сталей и чугунов

Марка	Название сплава	Классификация по качеству, по содержанию углерода и легирующих элементов, по степени раскисления	Химический состав (если он зашифрован в марке) Свойства (если зашифрованы в марке)	Назначение

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Как классифицируются стали по химическому составу?

2. Как классифицируются стали по содержанию углерода и степени легированности?
3. Как можно подразделить стали по назначению?
4. Как классифицируются стали по способу производства, степени раскисления?
5. Как маркируются углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества и качественные стали?
6. Как маркируются углеродистые инструментальные стали?
7. Что такое легированная сталь?
8. Как маркируются легированные стали?
9. Что такое белый, серый, высокопрочный и ковкий чугуны, их характеристики, назначение?
10. Как маркируются серые, высокопрочные и ковкие чугуны?
11. В чём заключается основное отличие структуры белых и серых чугунов, причины этого отличия?

Практическая работа №5

Тема: Выбор материалов для конструкций по их назначению и условиям эксплуатации

Цель: Определять свойства сталей по их маркировке и выбирать марку стали для конкретных условий эксплуатации изделий из нее.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить основные области применения различных видов стали и влияние химического состава на их свойства.

2. Выбрать материал для изготовления изделий работающих в разных условиях эксплуатации. Задания на практическую работу приведены в таблице 5.1. Свой выбор обосновать. (При выполнении задания желательно использовать справочную литературу, марочник сталей и сплавов).

Теоретическая часть

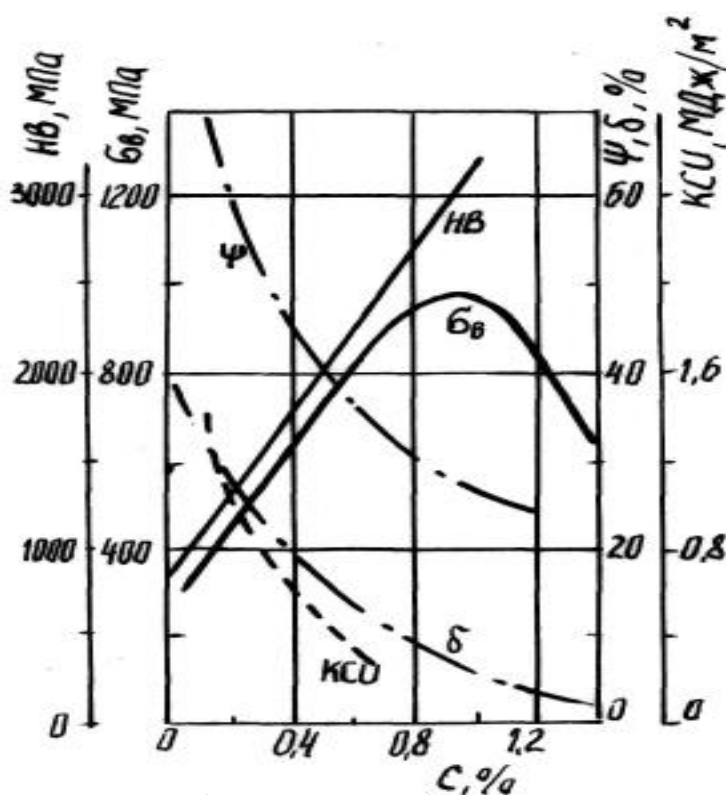


Рисунок 5.1 - Зависимость механических свойств углеродистых сталей в равновесном состоянии от содержания углерода

Классификация сталей по назначению определяет возможность использования той или иной стали для конкретных изделий. Основой такой классификации является зависимость механических свойств сталей от содержания углерода, показанная на рис. 5.1.

Видно, что достоинством сталей с большим содержанием углерода ($\geq 0,7\% \text{C}$) является высокая твердость, поэтому такие стали относятся к группе **инструментальных** (т.к. основное требование для большинства видов инструмента — именно высокая твердость). **Конструкционные стали** используют для разнообразных по назначению изделий, работающих при сложных, в том числе, динамических нагрузках. Такие стали должны обладать оптимальным сочетанием прочности и ударной вязкости, поэтому, в основном, это мало — и

среднеуглеродистые стали.

Содержание углерода в **конструкционных углеродистых сталях обыкновенного качества** (Ст1, БСтЗпс, ВСт6 и т.д) изменяется от $\approx 0,1\%$ до $0,5\%$ и в среднем возрастает с увеличением цифры от 1 до 6 в марке (соответственно изменяются свойства согласно рис. 6.1). Эти стали всех трех групп (А, Б, В) применяют в сварных, клепаных, соединенных болтами металлических конструкциях и сооружениях, а также для изготовления слабонагруженных деталей машин.

Свариваемость — одно из главных технологических требований, предъявляемых к строительным сталям, так как большинство строительных конструкций сварные.

Свариваемость зависит в первую очередь от содержания в стали углерода. С увеличением содержания углерода свариваемость ухудшается. Поэтому хорошо свариваются стали с низким содержанием углерода ($C < 0,22—0,25 \%$).

Для строительных конструкций и машин, эксплуатируемых в северных районах, где температура зимой бывает ниже -40°C , большое значение имеет температура перехода стали в хрупкое состояние (порог хладноломкости). Эта температура для кипящей стали выше, чем для спокойной (это объясняется повышенным содержанием вредных примесей P, S, O, N в кипящей стали). Полуспокойная сталь занимает по склонности к хладноломкости промежуточное положение между кипящей и спокойной. Поэтому строительные конструкции и машины северного исполнения необходимо изготавливать из спокойной стали.

Углеродистые конструкционные качественные стали. Низкоуглеродистые стали 05 кп; 0,8; 08 кп; 10 и 10кп обладают малой прочностью и высокой пластичностью. Их применяют без термической обработки для изготовления малонагруженных деталей (шайб, прокладок и др.), элементов сварных конструкций, изготавливаемых холодной деформацией.

Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45, 50, 55 применяют после нормализации, термического улучшения, поверхностной закалки. Эти стали по сравнению с низкоуглеродистыми обладают большей прочностью, но меньшей пластичностью. После термического улучшения достигается наилучшее сочетание механических свойств. После поверхностной закалки сталей 40, 45, 50 обеспечивается высокая поверхностная твердость деталей (HRC 40—58) и сопротивление износу. Среднеуглеродистые стали применяют для изготовления самых разнообразных деталей во всех отраслях машиностроения.

Стали с высокой концентрацией углерода 60, 65, 70, 75, 80, 85 используют в основном как **ресорно-пружинные**. В нормализованном состоянии эти стали также применяют для прокатных валков, шпинделей станков и других крупных деталей.

Достоинствами углеродистых качественных сталей являются дешевизна и технологичность. Однако вследствие малой прокаливаемости углеродистые стали не обеспечивают требуемого комплекса механических свойств в деталях сечением более 15—20 мм.

Автоматные стали (A15, A20)— это стали, обладающие высокой обрабатываемостью резанием. Они предназначены для массового изготовления деталей на металлорежущих станках автоматах. Для улучшения обрабатываемости резанием в стали вводят повышенное по сравнению с обычными углеродистыми сталями количество серы и фосфора. При обработке резанием богатых серой и фосфором сталей образуется короткая и ломкая стружка, условия резания облегчаются, так как стружка легко отделяется, устраняется налипание обрабатываемого материала на инструмент. Поверхность обрабатываемой детали получается гладкой, что особенно важно для деталей с мелкой резьбой (болтов, гаек, винтов и пр.)

Применение **низколегированных строительных сталей**, обладающих повышенной прочностью и пониженной склонностью к хрупкому разрушению по сравнению с углеродистыми, позволяет уменьшить массу строительных конструкций и повысить их надежность. Химический состав сталей и нормы механических свойств определяются соответственно ГОСТ 19281—73 и ГОСТ 19282 – 73. 09Г2, 09Г2С, 15ГФ, 15ХСНД - типичных низколегированных сталей повышенной прочности.

Высокопрочные стали представляют особый интерес, потому что, имея наиболее высокую прочность, они в то же время обладают малой склонностью к хрупкому разрушению. Типичным представителем такой стали является 08Г2МФБ ($0,08 \%$ C; $\sim 1,6 \%$ Мп; $-0,2 \%$ Мо; $-0,06 \%$ V; $-0,05 \%$ Nb). Пониженное содержание углерода (до $0,10 \%$), способствует в структуре этих сталей уменьшению количества перлита. Это приводит к повышению ударной вязкости стали, снижению порога хладноломкости и улучшению свариваемости (например, сталь 09ГФБ с $0,09 \%$ C).

В машиностроении большое количество деталей, изготавливают из листовой стали методом холодной штамповки. Для **холодной штамповки** преимущественно применяют тонколистовую холоднокатаную качественную низкоуглеродистую сталь 08кп. Стали 08кп, 08Ю, 08Фкп используют в машиностроении для холодной штамповки деталей сложного

профиля, от которых не требуется высокой прочности (например, детали кузова автомобиля). Для штамповки более простых деталей могут быть использованы стали 10кп, 15кп, 20кп, а также полуспокойные и спокойные стали тех же марок.

Цементуемые стали применяют для изготовления деталей, работающих на износ и подвергающихся действию переменных и ударных нагрузок. Хромоникелевые стали 20ХН, 12ХНЗА, 20ХНЗА, 20Х2Н4А и др. применяют для изготовления деталей средних и больших размеров, работающих на износ при высоких нагрузках (зубчатые колеса, шлицевые и другие валы, поршневые пальцы и др.). Они являются лучшими конструкционными сталями, но из-за дефицитности никеля их применение ограничено. Во всех случаях, когда это возможно, хромоникельные стали заменяют безникелевыми.

Хромомарганцовистые стали с небольшими добавками (0,03—0,09 %) титана (18ХГТ; 25ХГТ; 30ХГТ) или 0,20—0,30 % молибдена (25ХГМ) экономно легированны и их широко используют для замены хромоникелевых сталей. Вместо никеля в них введен марганец. Стали 18ХГТ и 30ГТ используют для замены стали 12Х2Н4А.

Хромоникельмолибденовую (вольфрамовую) сталь 18Х2Н4МА (18Х2Н4ВА) применяют для изготовления наиболее ответственных высоконагруженных деталей.

Стали, подвергаемые термическому улучшению — закалке и высокому отпуску, обеспечивающему получение структуры сорбит отпуска, широко применяют для изготовления разных деталей, работающих в сложных напряженных условиях (при действии разнообразных нагрузок, в том числе переменных и динамических).

Улучшаемые стали — среднеуглеродистые. Нелегированные стали 35, 40, 45 дешевы. Легированные улучшаемые стали применяют для более крупных и более нагруженных ответственных деталей.

Хромокремнистые и хромокремнемарганцевые стали 33ХС, 38ХС, 25ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА и др. не содержат дорогих элементов, обладают высокой прочностью и умеренной вязкостью. Широко распространенной сталью, особенно в авиационной промышленности, является сталь 30ХГСА (хромансиль), обладающая хорошей свариваемостью. Из этой стали изготавливают стыковочные сварные узлы, кронштейны, крепежные и другие детали. Стали хромансиль могут заменять более дорогие хромоникелевые и хромомолибденовые стали.

Хромоникелевые стали 40ХН, 45ХН, 50ХН, 30ХНЗА обладают хорошим сочетанием прокаливаемости и вязкости (влияние никеля). Они прокаливаются в сечениях до 40—50 мм, а сталь 30ХНЗА — до 100 мм.

Пружины и рессоры изготавливают из углеродистых (0,65—0,85 % С) и легированных (0,5—0,7 % С) конструкционных сталей 65, 85, 65Г, 60С2. Наиболее высокими механическими свойствами обладают стали марок: 50ХФА, 70СЗА, 60С2ХА, 60С2Н2А.

Шарикоподшипниковые стали составляют особую группу конструкционных сталей. Характерным для них является высокое содержание углерода (~1 %) и наличие хрома. Шарикоподшипниковые стали должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, высокой прочностью и иметь высокий предел выносливости, так как детали подшипника (шарики, ролики, кольца) воспринимают значительные знакопеременные нагрузки. Для подшипников применяют следующие марки стали: ШХ6, ШХ9, ШХ15, и ШХ15СГ.

Стали, обладающие высоким сопротивлением электрохимической коррозии, называются коррозионностойкими (нержавеющими). Основными легирующими элементами, обеспечивающими коррозионную стойкость сталей, являются хром и никель.

Хромистые коррозионностойкие стали содержат от 13 до 30 % хрома. Это обеспечивает им высокую коррозионную стойкость во влажной атмосфере, водопроводной и речной воде, удовлетворительную стойкость в азотной кислоте и ряде других агрессивных сред. С повышением содержания хрома круг сред, в котором хромистая сталь сохраняет коррозионную стойкость, расширяется.

Стали 12Х13 и 20Х13 являются хорошим конструкционным коррозионностойким материалом для работы в условиях ударного нагружения, для работы с нагревом до 450—550 °С. Из них изготавливают клапаны гидравлических прессов, лопатки гидравлических и паровых турбин, предметы домашнего обихода и пр.

Сталь 12X17 и подобные ей стали применяют для изготовления технологического оборудования в химической (для производства азотной кислоты) пищевой и легкой промышленности. Она может также использоваться как окалиностойкая (до 900 °С).

Хромоникелевые коррозионностойкие стали обладают более высокой коррозионной стойкостью по сравнению с хромистыми сталями. Особенно хорошо они сопротивляются коррозии в атмосферных условиях, в том числе и в загрязненной атмосфере промышленных районов, содержащей сернистые газы. Никель повышает коррозионную стойкость сталей во многих органических кислотах и в H₂SO₄. В эту группу входят стали 12X18H9T; 08X18H10; 08X18H10T.

Для изготовления различного рода высокотемпературных установок, деталей печей и газовых турбин применяют **жаростойкие** ферритные (12X17, 15X25T и др.) и аустенитные (20X23H13, 12X25H16Г7AP, 36X18H25C2 и др.) стали, обладающие жаропрочностью.

Жаропрочные стали благодаря сравнительно невысокой стоимости (по сравнению со стоимостью других жаропрочных сплавов) широко применяют в высокотемпературной технике. Для выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания применяют хромкремнистые стали мартенситного класса, получившие название *сильхромов*. Наиболее известны сильхромы 40X9C2 и 40X10C2M (0,7—0,9 % Mo). Аустенитные жаропрочные стали со структурой твердых растворов, например 10X18H12T, 08X15H24B4TP, 09X14H18B2BP, предназначенные для изготовления пароперегревателей и турбоприводов силовых установок высокого давления, работающих при 600—700 °С

Инструментальными называют углеродистые и легированные стали, обладающие высокой твердостью (60—65 HRC), прочностью и износостойкостью и применяемые для изготовления различного инструмента.

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435—74) производят качественными: У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13, и высококачественными У7А, У8А, У9А, У13А. эти стали применяют для изготовления мелких инструментов с поперечным сечением до 25мм с незакаленной сердцевиной.

Легированные инструментальные стали глубокой прокаливаемости (Х, 9ХС, ХВГ) обладают более глубокой прокаливаемостью по сравнению с углеродистыми и низколегированными сталями. Поэтому из этих сталей изготавливают крупный режущий инструмент.

Наибольшую прокаливаемость имеют стали, легированные несколькими элементами: хромом, марганцем, кремнием, вольфрамом. К сталям глубокой прокаливаемости относятся также высокохромистая 9Х5ВФ и сложнелегированная 8Х4В3МФ2, обладающие повышенной устойчивостью к нагреву

Сталь 9Х5ВФ применяют для изготовления ножей для фрезерования древесины и другого деревообрабатывающего инструмента.

Сталь 8Х4В3МФ2 относится к полутеплостойким сталям. Ее применяют для изготовления деревообрабатывающего инструмента, способного работать при повышенных скоростях резания в условиях, когда происходит разогрев режущей кромки

Быстрорежущие стали предназначены для изготовления различного рода режущего инструмента, работающего с большими скоростями резания в тяжелых тепловых условиях.

Стали, легированные вольфрамом и молибденом и с небольшим содержанием ванадия (1—2 %): Р18, Р12, Р9, Р6М5, сохраняют высокую твердость (не ниже HRC 60) при нагреве до 620 °С.

Стали для штампов холодного деформирования (для инструмента деформирующего металл в холодном состоянии).

Для обработки малопрочных материалов используют стали У10, У11, У12.

Более крупные и сложные по форме штампы, предназначенные для работы в более тяжелых условиях, изготавливают из легированных сталей повышенной прокаливаемости (Х, ХВГ, ХВСГ, 7ХГ2ВМ и др.).

Сталь 7ХГ2ВМ сочетает глубокую прокаливаемость (в сечениях диаметром до 100—125 мм) с небольшими объемными изменениями при закалке.

Для изготовления инструмента, который должен иметь высокую твердость и повышенную износостойкость, а также малую деформируемость при закалке (дыропрошивные матрицы и пуансоны, матрицы глубокой высадки листового металла, матрицы и пуансоны глубокой высадки вырубных и просечных штампов сложной конфигурации и др.), применяют *стали высокой прокаливаемости и износостойкости* (ГОСТ 5950—73). Наиболее широко применяемые стали этой группы - высокохромистые стали Х12М и Х12Ф1 по своей природе близки к быстрорежущим.

Для инструментов, работающих *с большими ударными нагрузками* (пневматические зубила, ножи для холодной резки металла, обжимные матрицы и др.), применяют стали повышенной вязкости. В эту группу входят хромокремнистые стали (4ХС, 6ХС) и стали, дополнительно легированные вольфрамом: 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С. Повышение вязкости достигается снижением содержания в сталях углерода (0,4—0,6 %).

Стали для штампов горячего деформирования (для инструмента, деформирующего металл в горячем состоянии).

К инструменту, деформирующему металл в горячем состоянии, относятся штампы для кузнечного производства; которые деформируют металл, предварительно нагретый до высоких температур (1000—1150°C). В процессе работы штампы подвергаются воздействию сложных напряжений (сжатию, растяжению, изгибу) и истирающему действию горячего металла. Кроме того, при пластической деформации рабочая часть штампа значительно нагревается. Поэтому сталь для изготовления кузнечных штампов должна иметь высокие механические свойства (прочность, вязкость, износостойкость), не только при обычных, но и при повышенных температурах, т. е. быть теплостойкой.

Молотовые штампы, для которых характерны большие размеры, работают со значительными ударными нагрузками при умеренном разогреве рабочих поверхностей (примерно до 400 °С). Их изготавливают из полутеплостойких сталей 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ, 5ХНВС

Стали повышенной разгаростойкости содержат 3—5 % Сг, сравнительное небольшое количество вольфрама (до 2 %). Широко распространенной сталью этой группы является 4Х5В2ФС.

Стали повышенной теплостойкости сохраняют высокую прочность и износостойкость до температуры ~700 °С, но уступают сталям с 5 % Сг по вязкости и разгаростойкости. Теплостойкость возрастает наиболее значительно при увеличении содержания в стали вольфрама до 8 %. Вольфрам может быть частично заменен молибденом. Широко распространенной сталью повышенной теплостойкости является сталь 3Х2В8Ф.

В группу сталей повышенной теплостойкости входят также стали: 4Х2В5МФ, 5Х3В3МФС и др.

Измерительный инструмент изготавливают из различных углеродистых и легированных сталей. Для простых по форме измерительных инструментов небольшой точности применяют инструментальные углеродистые стали. Длинные и плоские инструменты (измерительные скобы, шаблоны, линейки и пр.) изготавливают из листовой стали 15, 20, 20Х, 15Х, 12ХНЗА, подвергаемой цементации с последующей закалкой и отпуском. Эти же инструменты получают из среднеуглеродистых сталей 50, 55, закаливаемых в рабочей части с нагревом током высокой частоты и подвергаемых затем низкотемпературному отпуску.

Для изготовления калибров, измерительных плиток и других подобных инструментов наиболее широко применяют заэвтектоидные низколегированные стали Х (0,95—1,1 % С, 1,3—1,65 % Сг) и 12Х1 (1,15 % —1,25 % С, 1,3—1,65 % Сг), обрабатываемые на высокую твердость (не менее HRC62).

Задания для выполнения практической работы

1. Выберите из предложенных марку стали для изготовления дешевых сварных строительных конструкций и марку стали для изготовления конструкций повышенной прочности в местности где температура зимой достигает до минус 40 град. Обоснуйте свой выбор.

Ст2, Ст2кп, 10, 30, У10, 09Г2.

2. Выберите из предложенных марку стали для изготовления средненагруженных деталей установки, работающей в условиях закрытого помещения, и для установки, работающей в контакте с агрессивными средами, в том числе и с органическими кислотами. Обоснуйте свой выбор.

40, 40Х13, 08Х18Н10, 12Х1.

3. Выберите из предложенных марку стали для изготовления деталей сложной формы методом холодной штамповки. Обоснуйте свой выбор.

10, 08Ю, 15, У10.

4. Выберите из предложенных марку стали для изготовления инструмента небольшого сечения для обработки малопрочных материалов, подвергающегося ударным нагрузкам, и для инструмента, работающего с большими скоростями резания в тяжелых тепловых условиях. Обоснуйте свой выбор.

У7, У13, 9Х2С, Р18, 70, 40Х.

5. Выберите из предложенных марку стали для инструментов, работающих с большими ударными нагрузками (ножи для холодной резки металла). Обоснуйте свой выбор.

ХВГ, 4ХВ2С, Х12М, Р6АМ5, У10, 60С2.

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание. При выполнении задания нужно обосновывать свой выбор марки стали и объяснять почему другие марки стали не подходят для изготовления изделия.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какое содержание углерода в стали обеспечивает хорошую ее свариваемость?
2. Какие требования предъявляются к стали используемой для изготовления изделий методом холодной штамповки?
3. В чем особенность химического состава коррозионностойких сталей?
4. Приведите марки и химические составы каких-либо рессорно-пружинных и подшипниковых сталей.
5. Как содержание углерода в стали влияет на ее свойства?
6. Приведите несколько марок и химические составы сталей для режущего инструмента?
7. Приведите марку стали для инструмента, используемого при обработке изделий на больших скоростях резания. Каково основное достоинство таких сталей?
8. Приведите по 1-2 марки инструментальных сталей для холодного и горячего деформирования металлов, расшифруйте их?

Практическая работа №6

Тема: Изучение микроструктур цветных металлов и сплавов

Цель работы: Изучить строение латуней и бронз.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить маркировку цветных металлов.
2. Расшифровать марки латуней и бронз, согласно варианта задания из таблицы 7.1. Указать, какой является по содержанию. Результаты расшифровки занести в таблицу 7.
3. Сделать выводы, описав характеристики латуней и бронз, заложенные в маркировке этих сплавов.

Теоретическая часть

Латунь. Сплавы меди с цинком до 39% однофазные и представляют α -твердый раствор цинка в меди; при большой доле цинка в структуре латуни появляются также кристаллы β -твердого раствора.

С увеличением β -фазы (сверх 43% Zn) прочность латуни уменьшается, а хрупкость увеличивается, поэтому применяют латуни, содержащие до 43% цинка.

По сравнению с чистой медью латуни прочнее, пластичнее и тверже. Кроме того, они жидкотекучие и устойчивее к коррозии. Следует также отметить, что цинк, а поэтому и латунь, дешевле меди.

Кроме простой латуни, существуют специальные с добавками железа, марганца, никеля, олова, кремния и др. Доля легирующих компонентов в специальных латунях не превышает 7 – 8%. Некоторые специальные латуни по прочности не уступают среднеуглеродистой стали.

По ГОСТу, сорта латуни обозначаются буквой Л и цифрой, указывающей долю меди в сплаве. Например, марка Л96 обозначает латунь, содержащую около 96% Cu, марка Л62 – латунь, содержащую около 62% Cu, и т.д. Обозначение легирующих компонентов следующее: Ж – железа, Мц – марганца, Н – никеля, О – олова, К – кремния, С – свинца. Количество легирующего компонента указывается цифрами. Например, марка ЛМцЖ52-4-1 обозначает марганцево – железную латунь, содержащую около 52% Cu, 4% Mn и 1% Fe (остальное – цинк).

Латуни, как и все сплавы цветных металлов, принято разделять на литейные (для фасонного литья) и обрабатываемые давлением (прокаткой, прессованием, волочением и др.).

Бронза. Важнейшими бронзами являются оловянные, алюминиевые, кремнистые, никелевые.

Оловянные бронзы, подобно латуни, по структуре бывают однофазными (при очень медленном охлаждении можно получить однофазную структуру в бронзах, содержащих до 14% Sn), представляющими твердый раствор олова в меди, и двухфазными (8 – 22% Sn), содержащими смесь кристаллов названного твердого раствора и кристаллов химического соединения Cu_3Sn . Бронза с содержанием сверх 22% Sn хрупки и теперь редко применяются.

Оловянные бронзы обладают высокой коррозионной стойкостью, жидкотекучестью и повышенными антифрикционными свойствами. Из них изготовляют главным образом отливки. Бронзы с 4 – 7% Sn отливали стволы пушек, поэтому её называли пушечной. Бронза такого состава, но с добавкой 1% Р, идет на отливку вкладышей подшипников и называется подшипниковой или антифрикционной бронзой.

Простые оловянные бронзы применяют в настоящее время сравнительно редко, так как введением дополнительных элементов (цинка, свинца, никеля) можно достигнуть тех же или даже лучших свойств при меньшем содержании дорогого олова.

По ГОСТу, оловянные бронзы маркируются буквами БрО и цифрой, показывающей содержание олова; последующие буквы и цифры показывают наличие и количество в бронзе

дополнительных элементов. Для обозначения дополнительных элементов применяют те же буквы, что и при маркировке специальной латуни; кроме того, цинк обозначается буквой Ц, а фосфор –Ф.

Например, маркировка БрОЦС6-6-3 обозначает оловянно-цинково-свинцовую бронзу, содержащую около 6% Sn, 6% Zn и 3% Pb (а остальное – медь).

Олово – дорогой металл, поэтому в практике бронза с повышенным содержанием олова применяют редко. Заменителями оловянной бронзы является алюминиевая, кремнистая, марганцевая и другие бронзы.

В алюминиевой бронзе содержится до 11% Al. По структуре эта бронза в основном (до 9,7% Al) однофазная и представляет собой твердый раствор алюминия в меди. По механическим свойствам она лучше оловянной, пластичнее, устойчива к коррозии и износу. Недостаток алюминиевой бронзы – большая усадка при литье (2,3% вместо 1,0% - 1,3% у оловянных бронз), а также обычная примесь окиси алюминия, взвесь которой в жидкой бронзе ухудшает жидкотекучесть.

Добавка к алюминиевой бронзе железа, марганца и др. еще больше повышает ее механические свойства. Например, предел прочности (σ_b) алюминиевой железо – марганцевой бронзы БрАЖМц10-3-1,5 не менее 50 Н/мм².

Кремнистая бронза содержит 2 – 3% Si; относится к однородным сплавам – твердым растворам. Это бронза прочная, хороша для литья и успешно заменяет во многих случаях оловянную бронзу.

Ее свойства улучшают добавки марганца, никеля и др.

Никелевые бронзы и сплавы. Никель сообщает меди повышенную стойкость против коррозии и упрочняет ее. Бронзы, содержащие только никель, не применяют ввиду высокой стоимости никеля. Обычно с никелем добавляют железо и другие компоненты. Пример, марки высокопрочной бронзы, содержащей алюминий, железо, никель, - БрАЖН10-4-4.

В промышленности распространены также медно-никелевые сплавы: мельхиор (сплав меди с 18 – 20% Ni), имеет белый цвет и высокую коррозионную стойкость; константан – сплав меди 39 – 41% никеля и др. У константана большое электрическое сопротивление. В виде проволоки и лент его применяют в реостатах, электроизмерительных приборах и др.; монель-металл – сплав на основе никеля с медью (28%), железом (2,5%) и марганцем (1,5%), отличается высокой коррозионной стойкостью в агрессивных средах, широко применяется в судостроении, электротехнике, химической и других отраслях промышленности.

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание в таблице 7.1. По окончании работы необходимо сделать вывод и ответить на контрольные вопросы.

Таблица 7.1 –Задание для практической работы

№ варианта	Расшифруйте
1,11,21	Бр.ОФ 6,5-0,15; БрА5
2,12,22	Бр.ОЦ 4-3; БрА7
3,13,23	БрОЦС 4-4-2,5; БрБ2
4,14,24	БрОЦС 5-5-5; БрА6
5,15,25	БрОФ 10-1; БрАМц9-2
6,16,26	БрОЦ 10-2; БрМц5
7,17,27	БрОц СН 3-7-5-1; БрС-30
8,18,28	БрАЖН 10-4-4Л; Бр Б-3
9,19,29	БрАЖ 9-4Л; БрОЦ 8-5
10,20,30	БрАЖН 10-4-4; БрМц-4

Литература

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основная литература

1. Бондаренко, Г. Г. Материаловедение: учебник для среднего профессионального образования / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко; под редакцией Г. Г. Бондаренко. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 381 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-17885-2. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/533908>.
2. Земсков, Ю. П. Материаловедение / Ю. П. Земсков, Е. В. Асмолова. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 228 с. — ISBN 978-5-507-44226-3. — Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/217394>.
3. Материаловедение и технология материалов: учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.]; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 808 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-18153-1. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/568813>.
4. Материаловедение машиностроительного производства: учебник для среднего профессионального образования / А. М. Адашкин, Ю. Е. Седов, А. К. Онегина, В. Н. Климов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 545 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-18303-0. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/534757>.
5. Плошкин, В. В. Материаловедение: учебник для среднего профессионального образования / В. В. Плошкин. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 434 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-18655-0. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/545272>.

Дополнительная литература

1. Адашкин А.М. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие для студентов СПО / А.М. Адашкин, В.М. Зуев – С. Петербург: Лань, 2010. – 336с.
2. Вишневецкий Ю.Т. Материаловедение: учебник для технических колледжей / Ю.Т. Вишневецкий. - 4-е изд. – М: Дашков и КО, 2009. – 670с
3. Двоглазов, Г. А. Материаловедение: учеб. / Г. А. Двоглазов. - Ростов н/Д.: Феникс, 2015. -445с.- (СПО)
4. Материаловедение и технология конструкционных материалов: уч. пособие для вузов / О.С. Комаров, В.Н. Ковалевский, Л.Ф. Керженцева, под общей редакцией О.С. Комарова – 3-е изд., исп. и доп. – Минск: Новое знание, 2009. – 670с.
5. Солнцев Ю.П. Материаловедение: учебник для студентов СПО / Ю.П. Солнцев, С.А. Воложжанина – М: Академия, 2013-496 с.

Периодические издания (отечественные журналы):

1. «Сталь»
2. «Металлы»

Интернет-ресурсы:

1. ЭБС «Юрайт».
2. ЭБС «Лань».