

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ АРКТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГАОУ ВО «МАУ»)  
«ММРК имени И.И. Месяцева» ФГАОУ ВО «МАУ»

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник ММРК имени И.И. Месяцева  
ФГАОУ ВО «МГТУ»



И.В. Артеменко

«26» мая 2023 года



**ФОНД  
ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

учебной дисциплины ОП.5 Материаловедение  
программы подготовки специалистов среднего звена (ППССЗ)  
специальности 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехрани-  
лищ  
по программе базовой подготовки  
форма обучения: очная,  
Назначение: промежуточная аттестация

Мурманск  
2025

## **Рассмотрено и одобрено на заседании**

методической комиссии преподавателей дисциплин профессионального цикла по специальностям 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) и 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ

Председатель МКо (МО/ ЦК)

Горшкевич Е.В.

Протокол №10 от «30» мая 2025 г.

Автор (составитель): Щорников С.А., преподаватель «ММРК имени И.И.Месяцева» ФГАОУ ВО «МАУ»

## 1. Общие положения

1.1. Фонд оценочных средств (ФОС) дисциплины «Материаловедение», является составной частью нормативно-методического обеспечения системы оценки качества освоения ППССЗ обучающимися СПО.

1.2. В соответствии с требованиями ФГОС СПО фонд оценочных средств (далее по тексту-ФОС), предназначен для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений поэтапным требованиям соответствующей ППССЗ в форме текущего контроля результатов успеваемости и/или промежуточной аттестации.

1.3. ФОС разработан в соответствии с:

- Федеральным законом от 29.12.2012 N 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации";
- федеральными государственными образовательными стандартами среднего профессионального образования (ФГОС);
- Приказом Министерства образования и науки № 464 от 14.06.2013 «Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам среднего профессионального образования» (в редакции Приказа Министерства образования и науки Российской Федерации № 1580 от 15 января 2014 г. и № 31 от 22 января 2014 г.);
- Уставом ФГАОУ ВО «МУРМАНСКИЙ АРКТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»;
- Положением о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ФГАОУ ВО «МАУ» по образовательным программам СПО;
- Положением о фонде оценочных средств по образовательным программам среднего профессионального образования ФГАОУ ВО «МАУ»;
- учебным планом по специальности 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ;
- рабочей программой учебной дисциплины «Материаловедение»;
- методические указания к выполнению практических работ;
- методическими рекомендациями по организации и контролю самостоятельной работы обучающихся по учебной дисциплине «Материаловедение».

## 2. Паспорт фонда оценочных средств УД «Материаловедение».

### 2.1 ФОС позволяет оценивать ОК и ПК:

ОК 1.	Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес
ОК 2.	Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.
ОК 3.	Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.
ОК 4.	Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития
ПК 1.1.	Организовывать и проводить работы по техническому обслуживанию и ремонту автотранспорта.
ПК 1.2.	Осуществлять технический контроль при хранении, эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте автотранспорта.

ПК 1.3.	Разрабатывать технологические процессы ремонта узлов и деталей.
ПК 1.4	Выполнять дефектацию и ремонт узлов и деталей технологического оборудования.
ПК 1.5	Обеспечивать выполнение работ по выводу из эксплуатации и вводу в эксплуатацию объектов трубопроводного транспорта, хранения, распределения газа, нефти, нефтепродуктов.
ПК 2.1.	Выполнять строительные работы при сооружении газонефтепроводов и газонефтехранилищ.
ПК 2.2.	Контролировать и оценивать качество работы исполнителей работ.
ПК 2.3.	Организовывать безопасное ведение работ при техническом обслуживании и ремонте автотранспорта.

## 2.2 ФОС позволяет оценивать освоение умений:

У1 – выбирать материалы на основе анализа их свойств для конкретного применения;

У2 – выбирать способы соединения материалов;

У3 – обрабатывать детали из основных материалов.

## 2.3. ФОС позволяет оценивать освоение знаний:

З1 – строение и свойства машиностроительных материалов;

З2 – методы оценки свойств машиностроительных материалов;

З3 – области применения материалов;

З4 – классификацию и маркировку основных материалов;

З5 – методы защиты от коррозии;

З6 – способы обработки материалов.

## 2.4 Кодификатор оценочных средств

Код ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в КОС
1	2	3	4
1	Устный опрос	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанная на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам/разделам дисциплины
2	Практическое занятие	Средство контроля, организованное как закрепление полученных теоретических знаний и приобретение практических умений по пройденной тематике.	Перечень практических работ. Методические указания к выполнению практических работ. Критерии и шкала оценивания.
3	Экзамен	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной или ответы на экзаменационный билет, рассчитанные на выяснение объема знаний обучающегося по тематике изученной дисциплины.	Вопросы к экзамену по дисциплине «Материаловедение». Экзаменационные билеты

**2.5** Распределение оценочных средств по элементам освоенных умений, усвоенных знаний и их использование в практической деятельности для контроля сформированности компетенций в рамках тем/разделов УД по видам аттестации

Контролируемые разделы (темы) в порядке поэтапного освоения УД в рамках ППСЗ	Текущий контроль																										Промежуточная аттестация			
	Компетенции	Результаты обучения																												
		Освоенные умения:									Усвоенные знания																			
		У 1	У 2	У 3	У 4	У 5	У 6	У 7	У 8	У 9	З- 1	З- 2	З- 3	З- 4	З- 5	З- 6	З- 7	З- 8	З 9	З 10	З 11	З 12	З 13	З 14	З 15	З 16		З 17		
<b>Раздел 1. Физико-химические закономерности формирования структуры материалов</b> Тема 1.1. Строение и свойства материалов. Тема 1.2 Формирование структуры металлов и сплавов. Тема 1.3. Диаграммы состояния металлов и Сплавов. Тема 1.4. Термическая и химико-термическая обработка металлов и сплавов.	ОК 1 – 4, ПК 1.1.-1.5 ПК 2.1-2.3	+	+	+							+	+	+	+	+	+														Экзамен
<b>Раздел 2. Материалы, применяемые в газонефтепроводах и газонефтехранилищах</b> Тема 2.1. Конструкци-	ОК 1 – 4, ПК 1.1.-1.5 ПК 2.1-2.3	+	+	+							+	+	+	+	+	+														

<p>онные материалы.          Тема 2.2. Износостойкие и антифрикционные материалы.          Тема 2.3. Материалы для инструментов.          Тема 2.4. Неметаллические материалы.          Тема 2.5. Порошковые и композиционные материалы.</p>																														
<p><b>Раздел 3. Основные способы обработки материалов</b>          Тема 3.1. Литейное производство.          Тема 3.2 Обработка металлов давлением.          Тема 3.3. Основы сварочного производства.          Тема 3.4. Обработка металлов резанием.          Тема 3.5. Процесс формирования разъемных и неразъемных соединений металлов и неметаллов.          Тема 3.6. Технологические процессы получения заготовок из конструкционных материалов.</p>	<p>ОК 1 – 4,          ПК 1.1.-1.5          ПК 2.1-2.3</p>	+	+	+							+	+	+	+	+	+														

### 3. Комплекты контрольно - оценочных средства по видам аттестации

#### 3.1 Наполнение КОС для текущего контроля

Код ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в КОС
1	2	3	4
1	Устный опрос	Средство контроля, организованное как беседа преподавателя с обучающимся на изученные темы изучаемой дисциплины, и рассчитанная на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам/разделам дисциплины.
2	Практическое занятие	Средство контроля, организованное как закрепление полученных теоретических знаний и приобретение практических умений по пройденной тематике.	Перечень практических работ. Методические указания к выполнению практических работ. Критерии и шкала оценивания

**Комплект вопросов к собеседованию/ опросу**  
по учебной дисциплине «Материаловедение»

Составитель \_\_\_\_\_ /Ф.И.О /  
( \_\_\_\_\_ )  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

## 1. Вопросы к собеседованию/опросу по разделам.

### Раздел 1. Физико-химические закономерности формирования структуры материалов

1. Строение стального слитка. Перечислить несовершенства кристаллической решетки.
2. Объяснить кристаллизацию металлов. Сформулировать законы кристаллизации.
3. Описать полиморфное и магнитные превращения в металлах.
4. Изложить методы исследования металлов и сплавов.
5. Описать свойства металлов: физические, механические, технологические, эксплуатационные.
6. Объяснить физическую природу деформации: наклеп, возврат, рекристаллизация.
7. Описать диаграммы состояния и их экспериментальное построение. Объяснить, что понимают под сплавом, системой, компонентом и фазой.
8. Описать связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния. Объяснить закон Курнакова.
9. Описать диаграмму состояния железо-цементит. Объяснить структурные составляющие железистых сплавов, их характеристики, условия образования и свойства.
10. Описать виды термической обработки. Объяснить основное назначение отжига и нормализации стали.
11. Описать виды термической обработки. Объяснить основное назначение закалки и отпуска стали.
12. Описать виды химико-термической обработки. Объяснить основное назначение цементации стали.
13. Описать виды химико-термической обработки. Объяснить основное назначение азотирования стали.
14. Описать виды химико-термической обработки. Объяснить основное назначение цианирования и нитроцементации.
15. Описать виды химико-термической обработки. Объяснить основное назначение диффузионной металлизации.

### Раздел 2. Материалы, применяемые при Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ

1. Описать классификацию и маркировку углеродистых сталей. Объяснить влияние углерода и примесей.
2. Описать чугуны: серые литейные, высокопрочные, ковкие. Объяснить влияние примесей на литейные свойства чугунов.
3. Описать классификацию и маркировку легированных сталей. Назвать какими буквами обозначают легирующие элементы.
4. Назвать свойства и назначение конструкционных легированных сталей. Перечислить основные марки сталей.
5. Описать инструментальные стали: углеродистые, быстрорежущие и твердые сплавы. Перечислить какой инструмент изготавливают из этих сталей.
6. Описать нержавеющие стали: хромистые и хромоникелевые. Объяснить, как повысить коррозионную стойкость стали.
7. Описать жаропрочные и жаростойкие материалы. Объяснить, что понимают под теплоустойчивостью, жаропрочностью и жаростойкостью.
8. Описать магнитные стали. Перечислить ферромагнетики и назвать сплавы на их основе.

9. Описать цветные металлы и сплавы на основе меди. Назвать маркировку, свойства и область применения бронз.
10. Описать цветные металлы и сплавы на основе меди. Назвать маркировку, свойства и область применения латуней.
11. Описать цветные металлы и сплавы на основе алюминия. Назвать маркировку, свойства и область применения деформируемых алюминиевых сплавов.
12. Описать цветные металлы и сплавы на основе алюминия. Назвать маркировку, свойства и область применения литейных алюминиевых сплавов.
13. Описать цветные металлы и сплавы на основе магния и титана. Назвать маркировку, свойства и область применения антифрикционных сплавов.
14. Описать неметаллические материалы, их классификацию и свойства. Перечислить простые, термопластичные и сложные пластмассы.
15. Описать материалы на основе резины. Объяснить процесс вулканизации.
16. Назвать состав и общие свойства стекла. Объяснить, что такое ситаллы: структура и применение.
17. Описать основные свойства древесины. Перечислить разновидности древесных материалов.
18. Описать свойства и применение металлических порошковых материалов. Перечислить основные металлокерамические материалы.

### **Раздел 3. Основные способы обработки материалов**

1. Описать технологический процесс получения отливок. Перечислить литейные сплавы и их свойства.
2. Перечислить основные механические свойства формовочных смесей. Назвать дефекты отливок.
3. Перечислить специальные способы литья. Описать назначение и применяемое оборудование.
4. Описать технологический процесс обработки давлением. Перечислить виды обработки давлением.
5. Описать прокатное производство. Перечислить продукцию прокатного производства.
6. Описать процесс волочения металла. Перечислить продукцию волочения.
7. Описать процесс прессования металла. Перечислить продукцию прессования.
8. Описать процессковки и штамповки. Перечислить применяемое оборудование при ковке и штамповке.
9. Описать процесс дуговой сварки. Объяснить, почему электрическая дуга является источником тепла для сварки.
10. Перечислить требования к источникам питания дуговой сварки. Назвать основные параметры режима ручной дуговой сварки.
11. Описать классификацию электродов и электросварочной проволоки. Объяснить влияние покрытия (обмазки) электрода на сварочный шов.
12. Перечислить основные типы сварных соединений при ручной дуговой сварке. Объяснить в чём заключается подготовка кромок свариваемых заготовок.
13. Описать процесс газовой сварки и резки. Назвать применяемое оборудование, перечислить основные характеристики.
14. Описать процесс контактной сварки. Перечислить виды и способы контактной сварки.
15. Описать процесс наплавки металлов. Перечислите основные группы сплавов для нанесения износостойких и жаропрочных покрытий.
16. Описать процесс пайки. Объяснить назначение припоя и флюса.

17. Описать виды обработки металлов резанием. Объяснить характер относительных движений инструмента и заготовки.
18. Описать основные элементы режущей части и геометрии (углы) резца, их конструкции.
19. Описать режимы резания и размеры срезаемого слоя: скорость резания, подача, глубина резания, основное технологическое время.
20. Перечислить физические процессы резания и виды стружки. Объяснить последовательность выбора режима резания.
21. Перечислить и описать классификацию металлорежущих станков.
22. Описать устройство токарно-винторезного станка. Перечислить виды работ, применяемые приспособления и инструмент.
23. Описать устройство вертикально-сверлильного станка. Перечислить виды работ, применяемые приспособления и инструмент.
24. Описать устройство фрезерного станка. Перечислить виды работ, применяемые приспособления и инструмент.
25. Перечислить и описать методы профилирования зубьев зубчатых колес при зубонарезании.
26. Объяснить особенности процесса резания на строгальных и протяжных станках. Перечислить виды работ и применяемый инструмент.
27. Объяснить особенности процесса шлифования. Перечислить виды шлифования и абразивные материалы для шлифования.
28. Объяснить методы отделочной обработки поверхностей: тонкое шлифование, хонингование, суперфиниширование, притирка.

## 2. Критерии и шкала оценивания

<i>Оценка</i>	<i>Критерии оценки</i>
<b><i>Отлично</i></b>	Обучающийся полностью раскрыл содержание материала в объеме, предусмотренном программой, изложил материал грамотным языком в определенной логической последовательности, точно используя профессиональную терминологию; продемонстрировал сформированность и устойчивость полученных знаний. Возможны одна-две неточности при ответе на дополнительные вопросы, которые обучающийся легко исправил по замечанию преподавателя.
<b><i>Хорошо</i></b>	Ответ обучающегося имеет один из недостатков: в изложении вопроса допущены небольшие пробелы, не искажившие смысловой составляющей ответа; допущены один-два недочета при освещении основного содержания ответа, не исправленные по замечанию преподавателя; допущены ошибки или более двух недочетов при освещении дополнительных вопросов, легко исправленные по замечанию преподавателя.
<b><i>Удовлетворительно</i></b>	Обучающийся неполно раскрыл содержание вопроса, но показал общее понимание материала и продемонстрировал знания, достаточные для дальнейшего усвоения программного материала; имеет затруднения или допустил ошибки в определении понятий, использовании терминологии и исправил их после нескольких наводящих вопросов преподавателя.
<b><i>Неудовлетворительно</i></b>	Обучающийся обнаружил полное незнание и непонимание изучаемого материала по дисциплине или не смог ответить ни на один из дополнительных вопросов по изучаемому материалу.

**Практические занятия**  
по учебной дисциплине «Материаловедение»

Составитель \_\_\_\_\_ / Ф.И.О. /  
( \_\_\_\_\_ )  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МУРМАНСКИЙ АРКТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

структурное подразделение

Мурманский морской рыбопромышленный колледж имени И.И.Месяцева

УТВЕРЖДАЮ

Начальник ММРК имени И.И. Месяцева  
ФГАОУ ВО «МГТУ»



И.В. Артеменко

«26» мая 2023 года



**Методические указания по практическим работам обучающихся  
учебной дисциплины «Материаловедение»**

программы подготовки специалистов среднего звена (ППССЗ)

21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ

по программам базовой подготовки

форма обучения: **очная,**

Мурманск  
2025

**Рассмотрено и одобрено на заседании**  
методической комиссии преподавателей дисциплин профессионального цикла по специальностям 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) и 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ

Председатель МКо (МО/ ЦК)  
Порубова В.А

«30» мая 2025г.

Автор (составитель): Шорников В.П., преподаватель, «ММРК имени И.И.Месяцева» ФГАОУ ВО «МАУ»








## Содержание

Введение .....	___
Перечень практических работ.....	___
Порядок выполнения практической работы .....	___

## 1. Введение

1.1 Методические указания по практическим работам обучающихся по учебной дисциплине «Материаловедение» разработаны в соответствии с ФГОС СПО по специальности 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ базовой подготовки, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 26.07.2022 г. № 610, рабочей программой учебной дисциплины «Материаловедение» и учебного плана очной, заочной формам обучения.

1.2 Цели и задачи практической работы - обеспечить более высокий уровень технической подготовки обучающихся.

1.3. Требования к результатам освоения:

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен

- **уметь:**

У1 – выбирать материалы на основе анализа их свойств для конкретного применения;

У2 – выбирать способы соединения материалов;

У3 – обрабатывать детали из основных материалов

-**знать:**

31 – строение и свойства машиностроительных материалов;

32 – методы оценки свойств машиностроительных материалов;

33 – области применения материалов;

34 – классификацию и маркировку основных материалов;

35 – методы защиты от коррозии;

36 – способы обработки материалов.

1.4. Компетенции, формируемые дисциплиной «Материаловедение» в соответствии с ФГОС СПО

Таблица 1

Код компетенции	Содержание компетенции	Требования к знаниям, умениям, практическому опыту
ОК 1.	Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.	У1 – У3 31 – 36.
ОК 2.	Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.	У1 – У3 31 – 36.
ОК 3.	Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.	У1 – У3 33,35,36.
ОК 4.	Осуществлять поиск и использование	У1 – У3

	информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.	31 – 36.
ПК 1.1.	Организовывать и проводить работы по техническому обслуживанию и ремонту автотранспорта.	У2. 32, 36
ПК 1.2.	Осуществлять технический контроль при хранении, эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте автотранспорта.	У3. 32
ПК 1.3.	Разрабатывать технологические процессы ремонта узлов и деталей	У2. 33
ПК 1.4.	Выполнять дефектацию и ремонт узлов и деталей технологического оборудования.	У2. 32, 36
ПК 1.5.	Обеспечивать выполнение работ по выводу из эксплуатации и вводу в эксплуатацию объектов трубопроводного транспорта, хранения, распределения газа, нефти, нефтепродуктов.	У2., 32, 36
ПК 2.1.	Выполнять строительные работы при сооружении газонефтепроводов и газонефтехранилищ.	У1 – У3, 33,35,36.
ПК 2.2.	Обеспечивать техническое обслуживание газонефтепроводов и газонефтехранилищ, контролировать их состояние.	У3. 32.
ПК 2.3.	Обеспечивать проведение технологического процесса транспорта, хранения и распределения газонефтепродуктов.	У2-У3. 32.

## 2. Перечень практических работ

Таблица 2

№ раздела, дисциплины	Наименование практической работы	Цель работы	Формы текущего контроля
-----------------------	----------------------------------	-------------	-------------------------

<p><b>Раздел 1.</b> Физико-химические закономерности формирования структуры материалов</p> <p><b>Тема 1.1.</b> Строение и свойства материалов</p> <p><b>Тема 1.3.</b> Диаграммы состояния металлов и сплавов</p>	<p><b>Практическая работа № 1:</b> Определение твердости металлов и сплавов способами Бринелля и Роквелла</p> <p><b>Практическая работа № 2:</b> Изучение диаграмм состояния двухкомпонентных систем</p>	<p>Сформировать навыки определения твердости металлов и сплавов различными способами. Сформировать навыки расчета твердости металлов и сплавов</p> <p>Сформировать навыки построения диаграмм состояния двухкомпонентных сплавов</p>	<p>Защита практической работы</p> <p>Защита практической работы</p>
	<p><b>Практическая работа № 3:</b> Анализ диаграммы состояния сплавов железо-цементит</p>	<p>Сформировать навыки построения кривых охлаждения и нагрева с использованием диаграммы состояния сплавов железо-цементит.</p>	<p>Защита практической работы</p>
<p><b>Раздел 2.</b> Материалы, применяемые в машиностроении</p> <p><b>Тема 2.1.</b> Конструкционные материалы</p>	<p><b>Практическая работа № 4:</b> Изучение микроструктуры чугунов</p> <p><b>Практическая работа № 5:</b> Изучение микроструктуры углеродистых сталей</p>	<p>Сформировать навыки работы с металломикроскопом и микрошлифами чугунов</p> <p>Сформировать навыки работы с металломикроскопом и микрошлифами.</p>	<p>Защита практической работы</p> <p>Защита практической работы</p>

### 3. Порядок выполнения практических работ обучающимся

#### Раздел 1. Физико-химические закономерности формирования структуры материалов

## Тема 1.1. Строение и свойства материалов

### Практическая работа № 1.

Тема работы: Определение твердости металлов и сплавов способами Бринелля и Роквелла

#### Цель работы:

1. Научится определять твердость металлов и сплавов методом вдавливания.
2. Освоить методику выполнений измерений на приборах Бринелля и Роквелла.

#### Оборудование:

1. Твердомер ТШ (прибор Бринелля).
2. Твердомер ТК (прибор Роквелла).
3. Линейка, лупа.
4. Образцы для испытаний.

#### Задание:

1. Ознакомиться с устройством твердомеров Бринелля и Роквелла.
2. Изучить способы определения твердости, методом вдавливания.
3. Подготовить образцы.
4. Определить твердость на приборе Бринелля.
5. Определить твердость на приборе Роквелла.
6. Сравнить по приближенной зависимости показания измерения твердости по двум методам.

#### Содержание и порядок выполнения работы:

##### Определение твердости прибором Бринелля

Испытание производится вдавливанием стального шарика определенного диаметра в испытуемый образец под действием заданной нагрузки в течение некоторого времени.

В результате на поверхности исследуемого образца образуется отпечаток – лунка.

Твердость по Бринеллю измеряется отношением приложенной нагрузки  $P$  (кгс или Н) к поверхности полученного отпечатка (шарового сегмента)  $F$  ( $\text{мм}^2$ ) и обозначается  $HB$ :

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d_{cp}^2})}$$

##### Подготовка образца:

Для получения отпечатка с четкими краями образец перед испытанием обрабатывают наждачным камнем или напильником для того, чтобы поверхность была ровной и гладкой, не было окалины или других дефектов.

##### Подготовка прибора и проведение испытания

Испытания проводят следующим образом. В соответствии с таблицей 1 выбирают условия испытания (нагрузку, диаметр шарика). Устанавливают образец на предметный столик и поворачивая маховик по часовой стрелке поднимают до соприкосновения с шариком, пока шарик не будет плотно прижат к образцу (при этом создается предварительная нагрузка усилием 100Н). Нажатием на кнопку включают электродвигатель. После автоматического отключения электродвигателя, поворачивая маховик против часовой стрелки, опускают столик и снимают образец. В результате вдавливания в образце остается отпечаток – лунка. Диаметр отпечатка измеряют и по измеренному значению определяют по таблице 2 твердость по Бринеллю.

Таблица 3

Толщина испытуемого образца, мм	Диаметр шарика, мм	Нагрузка, кгс			
		Сталь, 30D <sup>2</sup>	чугун	Медные сплавы 10D <sup>2</sup>	Олово, свинец 2,5D <sup>2</sup>
Более 6	10	3000		1000	250
3-6	5	750		250	62,5
1,6-3	2,5	187,5		62,5	15,6

1,3-1,6	2	120	40	10
0,6-1,3	1	30	10	2,5

Таблица 4

Определение числа твердости НВ (ГОСТ 9012)

Диаметр отпечатка, d, мм	Число твердости по Бринеллю при нагрузке Р (кгс), равной			Диаметр отпечатка, d, мм	Число твердости по Бринеллю при нагрузке Р (кгс), равной		
	30D <sup>2</sup>	10D <sup>2</sup>	2,5D <sup>2</sup>		30D <sup>2</sup>	10D <sup>2</sup>	2,5D <sup>2</sup>
2,90	444	-	-	4,45	183	60,9	15,2
2,95	429	-	-	4,50	179	59,5	14,9
3,00	415	-	34,6	4,55	174	58,1	14,5
3,05	401	-	33,4	4,60	170	56,8	14,2
3,10	388	129	32,3	4,65	167	55,5	13,9
3,15	375	125	31,3	4,70	163	54,3	13,6
3,20	363	121	30,3	4,75	159	53	13,3
3,25	352	117	29,3	4,80	156	51,9	13,0
3,30	341	114	28,4	4,85	152	50,7	12,7
3,35	331	110	27,6	4,90	149	49,6	12,4
3,40	321	107	26,7	4,95	146	48,6	12,2
3,45	311	104	25,9	5,00	143	47,5	11,9
3,50	302	101	25,2	5,05	140	46,5	11,6
3,55	293	97,7	24,5	5,10	137	45,5	11,4
3,60	285	95	23,7	5,15	134	44,6	11,2
3,65	277	92,3	23,1	5,20	131	43,7	10,9
3,70	269	89,7	22,4	5,25	128	42,8	10,7
3,75	262	87,2	21,8	5,30	126	41,9	10,5
3,80	255	84,9	21,2	5,35	123	41	10,3
3,85	248	82,6	20,7	5,40	121	40,2	10,1
3,90	241	80,4	20,1	5,45	118	39,4	9,86
3,95	235	78,3	19,6	5,50	116	38,6	9,66
4,00	229	76,3	19,1	5,55	114	37,9	9,46
4,05	223	74,3	18,6	5,60	111	37,1	9,27
4,10	217	72,4	18,1	5,65	109	36,4	9,10
4,15	212	70,6	17,6	5,70	107	35,7	8,93
4,20	207	68,8	17,2	5,75	105	35	8,76
4,25	201	67,1	16,8	5,80	103	34,3	8,59
4,30	197	65,5	16,4	5,85	101	33,7	8,43
4,35	192	63,9	16	5,90	99,2	33,1	8,26
4,40	187	62,4	15,6	5,95	97,3	32,4	8,11

**Определение твердости прибором Роквелла**

Испытание производится вдавливанием в испытываемый образец наконечника (стальной или алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной шарик диаметром 1,59 мм) под действием заданной нагрузки (600, 1000, 1500 Н).

Число твердости *HR* выражается формулой

$$HR = \frac{K - H}{c}$$

где

$H$  – глубина внедрения наконечника под действием общей нагрузки, мм;

$K$  – постоянная величина, равная для шарика 0,26 и для конуса 0,2;

$c$  – цена деления циферблата индикатора 0,002 мм.

Твердость по Роквеллу – число отвлеченное и выражается в условных единицах.

Каждому условию испытания соответствует шкала А (алмазный конус), В (шарик) или С (стальной конус). Число твердости обозначается HRA, HRB, HRC.

Прибор Роквелла дает возможность испытывать материалы любой твердости (пластичные, твердые, после отжига, закалки, а также тонкие).

**Подготовка образца**

Образец перед испытанием обрабатывают наждачным камнем или напильником для того, чтобы поверхность была ровной и гладкой, не было окалины или других дефектов.

**Подготовка прибора и проведение испытания**

Нагрузку и наконечник выбирают в зависимости от твердости испытываемого образца согласно таблице 3.

Таблица 5

Примерная твердость, НВ	Шкала	Наконечник	Нагрузка, Н	Обозначение твердости
60-230	В	Стальной шарик	1000	HRB
230-700	С	Стальной конус	1500	HRC
Свыше 700	А	Алмазный конус	600	HRA

Перемещением тумблера в верхнее положение включить прибор. Установить образец на предметный столик и поворотом маховика по часовой стрелке вдавливать наконечник в образец, пока малая стрелка на циферблате индикатора не примет вертикальное положение, указанное красной точкой. Это означает, что наконечник вдавился в образец под действием предварительной нагрузки, равной 100 Н. Установить большую стрелку индикатора на «0» по черной шкале. После этого нажатием на педаль привода прибора сообщить испытываемому образцу основную нагрузку. Время приложения основной нагрузки 5-7 с. Цифра на шкале циферблата, на которую указывает большая стрелка, и есть число твердости. Показание единицы твердости записывают и поворачивая маховик против часовой стрелки, опускают столик с образцом, снимая нагрузку. Затем прибор выключают, если не требуется повторных испытаний.

**Форма контроля:** оценка за выполнение практического задания.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое твердость?
2. В чем заключается испытание на твердость?
3. В чем сущность метода Бринелля?
4. Как производится измерение твердости на приборе Бринелля?
5. В чем сущность метода Роквелла?
6. Как производятся измерения твердости на приборе Роквелла?
7. Перечислить механические свойства сплавов.
8. Дать определение твердости, прочности, пластичности, вязкости.
9. По какой формуле определяется относительное удлинение и сужение?
10. Что понимают под временным сопротивлением на разрыв?
11. Что понимают под пределом текучести?
12. Почему величина твердости измеренная на приборе Роквелла - безразмерная?

**Рекомендуемая литература и источники:**

1. Никифоров В.М. Технология металлов других конструкционных материалов. – СПб.,: Политехника, 2000.-382 с.
2. Плошкин В.В. Материаловедение.- Москва., Изд. «Юрайт», 2017.-464 с.
3. Черепяхин А.А. Материаловедение.- Москва., Изд. «Юрайт», 2017.-336 с
4. Программный комплекс «Экзаменатор», разработанный Центром информационных технологий МАУ для обеспечения организации и поддержки процесса тестирования знаний обучающихся ММРК имени И.И. Месяцева ФГАОУ ВО «МАУ» по любым дисциплинам учебных планов специальностей всех форм обучения;
5. Электронный каталог научной, учебной литературы и периодических изданий.

**Тема 1.3. Диаграммы состояния металлов и сплавов****Практическая работа № 2.**

Тема работы: Изучение диаграмм состояния двухкомпонентных систем.

**Цель работы:**

1. Ознакомиться с методикой построения диаграмм состояния двухкомпонентных сплавов.
2. Изучить изменение свойств сплавов в зависимости от изменения концентрации компонентов для основных типов диаграмм состояния.

**Оборудование:**

1. Плакаты диаграмм.
2. Линейка, карандаш.

**Задания:**

1. Изучить теоретические сведения о строении металлических сплавов.
2. Усвоить методику экспериментального построения диаграмм состояния сплавов.
3. Научиться практическому использованию правила фаз и правила отрезков.
4. Изучить связь между свойствами сплавов и типом диаграмм

**Содержание и порядок выполнения работы:****Понятие о диаграммах состояния**

Основными конструкционными материалами являются металлические сплавы - вещества, полученные сплавлением двух или более элементов (компонентов).

К основным понятиям в теории сплавов относятся: система, компонент, фаза.

Система - группа тел, выделяемых для наблюдения и изучения. В металловедении системами являются металлы и металлические сплавы. Чистый металл является простой (однокомпонентной) системой.

Компонентами называют вещества, образующие систему (сплав).

В металлических сплавах компонентами могут быть элементы (металлы и неметаллы) и химические соединения (не диссоциирующие при нагревании).

Фазой называется однородная часть системы, отделенная от другой части системы (фазы) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура вещества изменяется скачком.

Следовательно, однородная жидкость является однофазной системой, а механическая смесь двух видов кристаллов - двухфазной, т.к. каждый кристалл отличается от другого по составу или по строению и они отделены один от другого поверхностью раздела.

В твердых сплавах фазами могут быть зерна чистого металла, зерна твердого раствора или зерна химического соединения.

Механическая смесь двух компонентов А и В образуется тогда, когда они не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения. При этих условиях сплав будет состоять из кристаллов А и В, отчет-

ливо выявляемых на микроструктуре. Рентгенограмма сплава покажет наличие двух решеток компонентов А и В.

Твердыми растворами называют такие твердые фазы, в которых соотношения между компонентами могут изменяться. Рентгеновский анализ обнаруживает в твердом растворе, как и у чистого металла, только один тип решетки. Следовательно, в отличие от механической смеси твердый раствор является однофазным, состоит из одного вида кристаллов, имеет одну кристаллическую решетку; в отличие от химического соединения твердый раствор существует не при определенном соотношении компонентов, а в интервале концентраций.

В твердом растворе одно из входящих в состав сплава веществ сохраняет присущую ему кристаллическую решетку, а второе вещество, утратив свое кристаллическое строение, в виде отдельных атомов распределяется в кристаллической решетке первого. Первое вещество является растворителем, второе - растворимым.

В зависимости от характера распределения атомов растворимого элемента различают твердые растворы внедрения, замещения и вычитания. Независимо от типа твердого раствора общим для них является то, что они однофазны и существуют в интервале концентраций. Для твердых растворов характерен металлический тип связи.

В твердых растворах внедрения атомы растворимого элемента распределяются в кристаллической решетке металла-растворителя, занимая места между его атомами.

В твердых растворах замещения атомы растворимого элемента занимают места атомов основного металла. Посторонние атомы могут замещать атомы растворителя в любых местах, поэтому такие растворы называют неупорядоченными твердыми растворами. Твердые растворы замещения могут быть ограниченными и неограниченными. Одно из условий неограниченной растворимости - размерный фактор: чем больше различие в атомных радиусах, тем меньше растворимость. Неограниченная растворимость компонентов присуща системам, в которых атомные радиусы элементов различаются не более чем на 8-15 %. С понижением температуры в твердых растворах замещения может произойти процесс перераспределения атомов, в результате которого атомы растворенного элемента займут строго определенные места в решетке растворителя. Такие твердые растворы называют упорядоченными твердыми растворами, а их структуру - сверхструктурой. Температуру перехода неупорядоченного состояния в упорядоченное называют точкой Курнакова.

Твердые растворы вычитания образуются на основе некоторых химических соединений, когда к химическому соединению добавляется один из входящих в его формулу элементов. Атомы этого элемента занимают нормальное положение в решетке соединения, а места, где должны были бы находиться атомы второго компонента, оказываются незаполненными, пустыми (поэтому эти растворы иногда называют растворами с дефектной решеткой).

Образование любого типа твердых растворов сопровождается изменением параметров решетки и металла-растворителя. Это важный момент, определяющий изменение свойств твердого раствора.

Химическое соединение чаще всего образуется между элементами, расположенными далеко друг от друга в таблице Д.И.Менделеева, т.е. существенно различающимися по строению и свойствам, если сила взаимодействия между разнородными атомами больше, чем между атомами однородными.

Химические соединения имеют ряд особенностей, отличающих их от твердых растворов:

- а) соотношение чисел атомов элементов, образующих соединение, строго определенное, соответствующее стехиометрической пропорции, выраженной формулой вида  $A_nB_m$ ;
- б) они имеют свою кристаллическую решетку, отличную от решеток элементов, образовавших это соединение, с правильным упорядоченным расположением атомов компонентов в кристаллической решетке;
- в) свойства соединения заметно отличаются от свойств исходных элементов;

г) как и чистые металлы, они имеют постоянную температуру плавления (диссоциации). Как правило, химические соединения обладают большой твердостью и очень хрупки.

Диаграмма состояния - это графическое изображение состояния любого сплава изучаемой системы в зависимости от его концентрации и температуры.

Диаграммы состояния показывают равновесные, стойкие состояния т.е. такие, которые при данных условиях обладают минимальной свободной энергией. Они имеют большое теоретическое и практическое значение, т.к. изучение любого сплава начинается с построения и анализа диаграммы состояния с целью изучения фаз и структурных составляющих сплава.

С помощью диаграммы состояния можно установить возможность проведения термической обработки и ее режимы, температуры литья, горячей пластической деформации и т.д.

В любой системе число фаз, находящихся в равновесии, зависит от внутренних и внешних условий, закономерности всех изменений, происходящих в системе, подчиняют систему закону равновесия, который называется правилом фаз или законом Гиббса, который выражает зависимость между числом степеней свободы  $S$  (вариантностью) системы, числом компонентов  $K$  и числом фаз системы  $\Phi$ , находящихся в равновесии.

Правило фаз записывают в виде:  $S = K - \Phi + 1$  (при постоянном атмосферном давлении).

Под числом степеней свободы (вариантностью) системы понимают число внешних и внутренних факторов (температура, давление и концентрация), которое можно изменять без изменения числа фаз в системе.

Построение диаграммы состояния осуществляют различными экспериментальными методами. Чаще всего используют метод термического анализа, сущность которого заключается в отборе нескольких сплавов данной системы с различным соотношением масс входящих в них компонентов. Сплавы помещают в огнеупорные тигли и нагревают в печи. После расплавления сплавов тигли со сплавами медленно охлаждают и фиксируют скорость охлаждения. По полученным данным строят кривые охлаждения в координатах время - температура. В результате измерений получают серию кривых охлаждения, на которых при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба и температурные остановки.

Температуры, соответствующие фазовым превращениям, называются критическими точками.

Точки, отвечающие началу кристаллизации, называют точками **ликвидус** (жидкий), а конца кристаллизации точками **солидус** (твердый).

По полученным кривым охлаждения (критическим точкам) для различных сплавов изучаемой системы строят диаграмму состояния в координатах: по оси абсцисс - концентрация компонентов, по оси ординат - температура.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое сплав, компонент, фаза, система сплавов, диаграмма?
2. Основные типы сплавов, образуемые при взаимодействии компонентов.
3. Основные типы диаграмм равновесного состояния.
4. Правило фаз и правило отрезков.
5. Что называется критическими точками?
6. Основные методы построения диаграммы состояния.
7. Принцип построения кривых охлаждения и диаграмм состояния систем сплавов.
8. Что такое ликвидус, солидус?
9. Дать определение эвтектики и эвтектической реакции.
10. Дать определение эвтектическому, доэвтектическому и заэвтектическому сплавам.
11. Особенности кристаллизации эвтектического сплава и сплава твердого раствора.

12. Построение кривых охлаждения с применением имеющейся диаграммы и правил отрезков и фаз.

#### **Рекомендуемая литература и источники:**

1. Никифоров В.М. Технология металлов других конструкционных материалов. – СПб.,: Политехника, 2000.-382 с.
2. Плошкин В.В. Материаловедение.- Москва., Изд. «Юрайт», 2017.-464 с.
3. Черепяхин А.А. Материаловедение.- Москва., Изд. «Юрайт», 2017.-336 с
4. Программный комплекс «Экзаменатор», разработанный Центром информационных технологий МАУ для обеспечения организации и поддержки процесса тестирования знаний обучающихся ММРК имени И.И. Месяцева ФГАОУ ВО «МАУ» по любым дисциплинам учебных планов специальностей всех форм обучения;
5. Электронный каталог научной, учебной литературы и периодических изданий.

#### **Тема 1.3. Диаграммы состояния металлов и сплавов**

##### **Практическая работа № 3.**

Тема работы: Анализ диаграммы состояния сплавов железо-цементит

##### **Цель работы:**

1. Изучить диаграмму состояния железо – цементит.
2. Научиться строить кривые охлаждения для любого сплава.

##### **Оборудование:**

1. Плакаты с диаграммой.
2. Линейка, карандаш.

#### **Содержание и порядок выполнения работы:**

##### **Краткие теоретические сведения**

Диаграммы состояния представляет собой графическое изображение фазового состояние сплавов, в зависимости от температуры и концентрации компонентов. Диаграммы достояния строят для условий равновесия, т.е. такого состояние сплавов, которое достигается при очень малых скоростях охлаждения или длительном нагреве.

К системе железоуглеродистых сплавов относятся стали и чугуны, для изучения которых в равновесном состоянии пользуются диаграммой состояния.

Диаграмма рассматривается только до содержания углерода 6,67 %, т.к. сплавы с большим содержанием углерода не имеют практического применения, вследствие высокой твердости и хрупкости.

Если основными компонентами диаграммы состояния являются железо и цементит (химическое соединение  $Fe_3C$ ) то такую диаграмму называют цементитной (метастабильной).

Равновесными фазами в системе железо - цементит являются:

феррит (Ф), аустенит (А), цементит (Ц), жидкость (Ж).

1. Феррит (Ф) - твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе. Максимальное содержание углерода в феррите при температуре 727°C составляет 0,02 %. Феррит имеет незначительную твердость 60-100 НВ и прочность ( $\sigma_B = 250 \text{ Н/мм}^2$ ), но высокую пластичность ( $\delta = 50 \%$ )
2. Аустенит (А) - твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе. Максимальное содержание углерода в аустените при температуре 1147°C составляет 2,14 % и 0,8 % - при температуре 727°C. Аустенит имеет кристаллическую решетку гранцентрированного куба, немагнитен. Твердость аустенита 160 — 220 НВ, пластичность довольно высокая:  $\delta = 40-50 \%$ .
3. Цементит (Ц) - химическое соединение железа с углеродом (карбид железа  $Fe_3C$ ). В цементите содержится 6,67 % углерода. Температура плавления цементита около 1250 °С. Цементит очень тверд (800 НВ), хрупок и практически не обладает пластичностью. Цементит неустойчив

и в определенных условиях распадается, выделяя свободный углерод в виде графита по реакции  $Fe_3C = 3 Fe + C$

4. Жидкость (Ж) - раствор углерода в жидком железе с неограниченной растворимостью.

Кроме вышеперечисленных равновесных фаз в системе железоуглеродистых сплавов присутствуют следующие структурные составляющие: графит, перлит, ледебурит.

5. Графит (Г) - это свободный углерод, мягкий (3 НВ), обладает низкой прочностью, в чугунах и графитизированной стали содержится в виде включений различной формы (пластинчатой, шаровидной, хлопьевидной). С изменением формы графитовых включений меняются механические и технологические свойства сплава.

6. Перлит (П) - механическая смесь феррита и цементита (эвтектоид), содержащая 0,8 % углерода. Перлит имеет предел прочности  $\sigma_B = 800 \text{ Н/мм}^2$ , относительное удлинение  $\delta = 15 \%$  и твердость 160 НВ.

7. Ледебурит (Л) - механическая смесь аустенита и цементита первичного (эвтектика), содержащая 4,3 % углерода и образующаяся при кристаллизации жидкого расплава при температуре 1147 °С. В процессе дальнейшего охлаждения строение ледебурита меняется: при температуре 727 °С ледебурит состоит из перлита и цементита первичного. Ледебурит тверд (600 - 700 НВ) и очень хрупок.

### Диаграмма состояния железо - цементит

На диаграмме Fe - Fe<sub>3</sub>C точка А (1539 °С) соответствует температуре плавления чистого железа, а точка D - температуре плавления цементита.

Концентрация углерода в точке Р 0,02 %. Предельное содержание углерода в аустените, при эвтектоидной температуре 727°С (точка S) 0,8 %. При эвтектической температуре 1147°С (точка С) содержание углерода в ледебурите 4,3%.

Линия АСD - линия ликвидуса, соответствующая температуре начала кристаллизации сплава из жидкого состояния.

Линия АЕСF - линия солидуса, соответствует температуре конца кристаллизации сплав.

Линия ЕСF - линия эвтектического превращения. При температуре 1147 °С жидкость точки С распадается на две твердые фазы: аустенит состава точки Е и цементит состава точки F. При этой температуре существует невариантное равновесие (число степеней свободы равно нулю). В равновесии находятся три фазы: аустенит (А<sub>Е</sub>), цементит (Ц<sub>F</sub>), жидкость (Ж<sub>С</sub>).

Линия PSK - линия эвтектоидного превращения. При температуре 727°С аустенит точки S распадается на две твердые фазы: феррит состава точки Р и цементит состава точки К. При этой температуре существует невариантное равновесие (число степеней свободы равно нулю). В равновесии находятся три фазы: феррит (Ф<sub>Р</sub>) аустенит (А<sub>S</sub>) и цементит (Ц<sub>К</sub>).

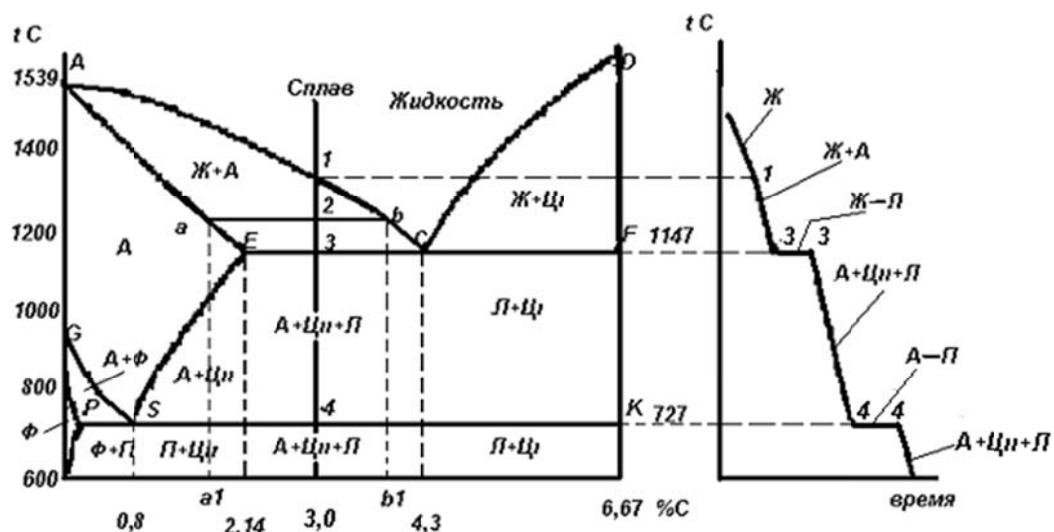


Диаграмма состояния железо - цементит  
и кривая охлаждения для сплава содержащего 3 % углерода

### Кристаллизация сплавов

Процесс кристаллизации сплава описывается кривой охлаждений, которая строится в координатах температура-время. Рассмотрим кристаллизацию сплавов содержащих от 2,14 до 4,3 % углерода. В качестве примера возьмем сплав который содержит 3 % углерода. Кристаллизация этого сплава начинается при температуре в точке 1. Несколько ниже температуры точки 1 из жидкой фазы начинают выделяться кристаллы аустенита. Сплав становится двухфазным (жидкость и кристаллы аустенита). Число степеней свободы  $C = K - \Phi + I = 2 - 2 + 1 = 1$ ,  $K = 2$  (железо и углерод).

Состав жидкой фазы при понижении температуры меняется по линии ликвидуса AC, а аустенита - по линии AE. Процесс кристаллизации закончится при температуре 1147°C соответствующей линии солидуса AECF.

При температуре 1147 °C аустенит достигает предельной концентрации, соответствующей точке E (2,14 % углерода), а жидкость - эвтектического состава точки C (4,3 % углерода). При температуре эвтектики (линия ECF) существует инвариантное равновесие аустенита состава точки E ( $A_E$ ) и цементита состава точки F ( $C_F$ ) и жидкой фазы состава точки C ( $Ж_C$ ):  $Ж_C \leftrightarrow A_E + C_F$  - образуется эвтектика ледебурит. Число степеней свободы  $C = 2 - 3 + 1 = 0$ . На кривой охлаждения при постоянной температуре 1147°C образуется площадка (3-3) которая показывает что для превращения всей жидкости в твердые кристаллы необходимо определенное время.

Несколько ниже температуры точки 3 сплав имеет структуру аустенита, цементита вторичного и ледебурита. Дальнейшее охлаждение сплава до температуры точки 4 не ведет к изменению его структуры. При достижении сплавом температуры 727°C происходит превращение аустенита в перлит. Для полного превращения сплава требуется определенное время которое изображается на кривой охлаждения площадкой 4-4. При этом аустенит состава точки S распадается на две твердые фазы: феррит состава точки P и цементит состава точки K.  $A_S \leftrightarrow \Phi_P + C_K$  - образуется эвтектика перлит. При наличии трех фаз - феррита, аустенита и цементита - система инвариантна, число степеней свободы:  $C = 2 + 3 - 1 = 0$ .

Несколько ниже температуры точки 4 сплав имеет структуру перлита, цементита вторичного и ледебурита (фаз при этом две - феррит и цементит):  $C = 2 - 2 + 1 = 1$ . При дальнейшем охлаждении структура сплава не меняется - идет простое охлаждение сплава.

### Правило отрезков

В процессе кристаллизации сплава меняется не только состав фаз, но и количественное соотношение между ними.

В любой точке диаграммы когда в сплаве одновременно существуют две фазы, можно определить количество обеих фаз и их концентрацию. Для этого служит так называемое правило рычага или правило отрезков.

В качестве примера возьмем сплав , который содержит 3,0 % углерода.

В точке 2, показывавшей состояние сплава при температуре  $t_2$ , сплав состоит из кристаллов аустенита и жидкости.

Первое положение правила отрезков:

Чтобы определить концентрацию компонентов в фазах, через данную точку, характеризующую состояние сплава, необходимо провести горизонтальную линию до пересечения с линиями, ограничивающими данные фазы; проекции точек пересечения на ось концентрации покажут состав фаз.

Следовательно, для сплава при температуре  $t_2$  состав аустенита определится проекцией точки  $a$  на ось концентрации (точки  $a1$ ), состав жидкости - проекцией точки  $b$  на ось концентраций (точка  $b2$ ). Таким образом, аустенит содержит 1,8 %, а жидкость - 3,9 % углерода.

Для определения количества каждой фазы второе положение правила отрезков формулируется так:

Для того чтобы определить количественное соотношение фаз, через заданную точку проводят горизонтальную линию, отрезки этой линии между заданной точкой и точками, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.

Следовательно, если для сплава, содержащего 3,0% углерода (рисунок 3), точка 2 определяет состояние всего сплава, точка *a* состав аустенита, точка *b* - состав жидкости, то отрезок [*ab*] определяет все количество сплава, отрезок [*a2*] - количество жидкости, отрезок [*2b*] - количество аустенита.

Следовательно, в приведенном примере количество аустенита ( $Q_A$ ) в процентах определяется отношением отрезков:

$$Q_A = \frac{[2b]}{[ab]} \cdot Q_{\text{СПЛ}}$$

Количество жидкости ( $Q_J$ ) определяется отношением отрезков:

$$Q_J = \frac{[a2]}{[ab]} \cdot Q_{\text{СПЛ}}$$

Если общая масса сплава ( $Q_{\text{СПЛ}}$ ) дана в килограммах, то количественное соотношение фаз определяют в килограммах. Если масса дана в процентах, то в процентах.

Отсюда

$$Q_J = \frac{[a2]}{[ab]} \cdot Q_{\text{СПЛ}} = \frac{1,2}{2,1} \cdot 100\% = 56\%$$

$$Q_A = \frac{[2b]}{[ab]} \cdot Q_{\text{СПЛ}} = \frac{0,9}{2,1} \cdot 100\% = 44\%$$

Правило отрезков в двойных диаграммах состояния можно применять только в двухфазных областях. В однофазной области имеется лишь одна фаза. Любая точка внутри области характеризует ее концентрацию, а количество данной фазы составляет 100%.

### Задания:

1. Начертить диаграмму состояния железо - цементит с указанием температур фазовых превращений и структурных составляющих в различных областях диаграммы.
2. Построить кривые охлаждения для сплава данной системы (по вариантам).
3. Описать превращения происходящие при охлаждении заданного сплава.
4. Используя правило отрезков, подсчитать весовое количество и концентрацию углерода в фазах, которые присутствуют в исследуемом сплаве.

### Исходные данные для анализа диаграммы состояния железо - цементит.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Содержание углерода, %	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,4	1,6
Интервал темп., °С	1600	750	1300	740	730	1470	1400	1400	1350	1300
	600	100	400	100	200	700	740	750	800	850

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Содержание углерода, %	1,8	2,4	2,6	2,8	3,0	4,3	4,6	5,0	5,5	6,0
Интервал темп., °С	1000	1200	1200	1200	1200	1200	1150	1200	1200	1200
	600	900	600	850	600	900	800	600	900	600

## Вопросы для самоконтроля

1. Что представляет собой цементит?
2. Что представляет собой перлит?
3. Что представляет собой аустенит?
4. Что представляет собой феррит?
5. Что представляет собой ледебурит?
6. Какие превращения происходят в железоуглеродистых сплавах при охлаждении ниже линии АС?
7. Какие превращения происходят в железоуглеродистых сплавах при охлаждении ниже линии СД?

## Рекомендуемая литература и источники:

1. Никифоров В.М. Технология металлов других конструкционных материалов. – СПб.,: Политехника, 2000.-382 с.
2. Плошкин В.В. Материаловедение.- Москва., Изд. «Юрайт», 2017.-464 с.
3. Черепяхин А.А. Материаловедение.- Москва., Изд. «Юрайт», 2017.-336 с
4. Программный комплекс «Экзаменатор», разработанный Центром информационных технологий МАУ для обеспечения организации и поддержки процесса тестирования знаний обучающихся ММРК имени И.И. Месяцева ФГАОУ ВО «МАУ» по любым дисциплинам учебных планов специальностей всех форм обучения;
5. Электронный каталог научной, учебной литературы и периодических изданий.

## Раздел 2. Материалы, применяемые в машиностроении

### Тема 2.1. Конструкционные материалы

#### Практическая работа № 4.

Тема работы: Изучение микроструктуры чугунов.

#### Цель работы:

1. Изучить микроструктуру серых, ковких и высокопрочных чугунов.
2. Установить связь между составом, условиями получения и структурой.

#### Оборудование:

1. Металлографический микроскопом.
2. Комплект микрошлифов чугунов в нетравленном и травленном виде.
3. Линейка, карандаш.

#### Содержание и порядок выполнения работы:

##### Микроструктура серых чугунов

При рассмотрении в микроскоп нетравленного микрошлифа серого чугуна хорошо видны включения пластинчатого графита.

