

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

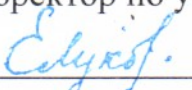
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра машиностроения и транспорта

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

 Е.И. Луковникова

«29» мая 2020 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

**Б1.В.08**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Технология машиностроения**

Программа прикладного бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств от 11 августа 2016 г № 1000 и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» от 03.02.2020 г. № 46 для очной формы обучения для набора 2020 года

<b>СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ</b>		<b>Стр.</b>
<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>		3
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>		3
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>		4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....		4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....		4
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>		5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....		5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....		6
4.3 Лабораторные работы.....		25
4.4 Семинары / практические занятия.....		25
4.5 Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....		25
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>		26
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>		27
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>		27
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>		27
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>		28
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ		28
9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта (курсовой работы), контрольной работы, РГР, реферата .....		31
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>		32
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>		32
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>		33
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>		37
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>		38
<b>Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....</b>		39

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является – научить обучающихся, применять основные методы управления конструкционной прочностью материалов и проводить обоснованный выбор материала для изделий с учетом условий их эксплуатации.

Задачами изучения дисциплины является:

- развитие способности использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-25	способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования	<b>знать:</b> - законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; <b>уметь:</b> - использовать методы теоретического и экспериментального исследования; <b>владеть:</b> - навыками использования законов естественнонаучных дисциплин при проведении теоретических и экспериментальных исследований.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.08 Материаловедение относится к вариативной части.

Дисциплина Материаловедение базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как:

- Физика;
- Химия.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Материаловедение представляет основу для изучения дисциплин:

- Процессы и операции формообразования;
- Режущий инструмент;
- Резание материалов;
- Контроль качества изделий в машиностроении.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Семинары / Практические занятия	Самостоятельная работа		
<b>Очная</b>	2	3	144	68	34	34	-	40	-	экзамен
<b>Заочная</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Заочная (ускоренное обучение)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Очно-заочная</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			3
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	<b>68</b>	<b>34</b>	<b>68</b>
Лекции (Лк)	34	34	34
Лабораторные работы (ЛР)	34	-	34
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	<b>40</b>	<b>-</b>	<b>40</b>
Подготовка к лабораторным работам	24	-	24
Подготовка к экзамену в течение семестра	16	-	16
<b>III. Промежуточная аттестация экзамен</b>	<b>36</b>	<b>-</b>	<b>36</b>
Общая трудоемкость дисциплины ..... час.	<b>144</b>	<b>-</b>	<b>144</b>
зач. ед.	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>4</b>

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоёмкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоёмкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	
<b>1.</b>	<b>Материаловедение. Особенности атомно-кристаллического строения металлов</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
1.1	Введение	2	1	-	1
1.2	Металлы, особенности атомно-кристаллического строения	2	1	-	1
1.3	Понятие об изотропии и анизотропии	2	1	-	1
1.4	Аллотропия или полиморфные превращения	1	0,5	-	0,5
1.5	Магнитные превращения	1	0,5	-	0,5
<b>2.</b>	<b>Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
2.1	Точечные дефекты	4	2	-	2
2.2	Линейные дефекты	5	3	-	2
<b>3.</b>	<b>Кристаллизации металлов. Методы исследования металлов</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
3.1	Механизм и закономерности кристаллизации металлов	2,5	1,5	-	1
3.2	Условия получения мелкозернистой структуры	2,5	1,5	-	1
3.3	Строение металлического слитка	2	1	-	1
3.4	Методы исследования металлов: структурные и физические	2	1	-	1
<b>4.</b>	<b>Общая теория сплавов. Строение, кристаллизация и свойства сплавов. Диаграмма состояния.</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
4.1	Понятие о сплавах и методах их получения	1,5	1	-	0,5
4.2	Особенности строения, кристаллизации и свойств сплавов: механических смесей, твердых растворов, химических соединений	1,5	1	-	0,5
4.3	Классификация сплавов твердых растворов	2	1	-	1
4.4	Кристаллизация сплавов	2	1	-	1
4.5	Диаграмма состояния	2	1	-	1
<b>5.</b>	<b>Механические свойства. Технологические и эксплуатационные свойства.</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>8</b>
5.1	Механические свойства и способы определения их количественных характеристик: твердость, вязкость, усталостная прочность	1,5	0,5	0,5	0,5
5.2	Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012)	1,75	0,25	1	0,5
5.3	Метод Роквелла ГОСТ 9013	1,75	0,25	1	0,5
5.4	Метод Виккерса	2	0,5	1	0,5
5.5	Метод царапания	2,5	0,5	1	1
5.6	Динамический метод (по Шору)	2,5	0,5	1	1
5.7	Влияние температуры	2	0,5	0,5	1
5.8	Оценка вязкости по виду излома	2	0,5	0,5	1
5.9	Основные характеристики	2,5	0,5	1	1
5.10	Технологические свойства	2	0,5	1	0,5
5.11	Эксплуатационные свойства	1,5	0,5	0,5	0,5
<b>6.</b>	<b>Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния железо – углерод.</b>	<b>29</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>8</b>
6.1	Диаграмма состояния железо	19	1	16	2
6.2	Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов	5	2	-	3
6.3	Структуры железоуглеродистых сплавов	5	2	-	3
<b>7.</b>	<b>Виды термической обработки металлов. Основы теории термической обработки стали.</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>8</b>
7.1	Виды термической обработки металлов	3,5	0,5	2	1
7.2	Превращения, протекающие в структуре стали при нагреве и охлаждении	2,5	0,5	1	1
7.3	Механизм основных превращений	3	1	1	1
7.4	Закономерности превращения	2,5	0,5	1	1
7.5	Превращение аустенита в мартенсит при высоких скоростях охлаждения	2,5	0,5	1	1
7.6	Превращение мартенсита в перлит	3	1	1	1
7.7	Технологические возможности и особенности отжига, нормализации, закалки и отпуска	2,5	0,5	1	1
7.8	Отжиг и нормализация. Назначение и режимы	2,5	0,5	1	1
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>40</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

### Раздел 1. Материаловедение. Особенности атомно-кристаллического строения металлов

#### Тема 1.1 Введение (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Материаловедение - это наука о взаимосвязи электронного строения, структуры материалов с их составом, физическими, химическими, технологическими и эксплуатационными свойствами.

Создание научных основ металловедения по праву принадлежит Чернову Д.К., который установил критические температуры фазовых превращений в сталях и их связь с количеством углерода в сталях. Этим были заложены основы для важнейшей в металловедении диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов.

Открытием аллотропических превращений в стали, Чернов заложил фундамент термической обработки стали. Критические точки в стали, позволили рационально выбирать температуру ее закалки, отпуска и пластической деформации в производственных условиях.

В своих работах по кристаллизации стали, и строению слитка Чернов изложил основные положения теории литья, не утратившие своего научного и практического значения в настоящее время.

Великий русский металлург Аносов П.П. впервые применил микроскоп для исследования структуры металлов. Ему принадлежит приоритет в создании легированных сталей. Разработал теорию и технологию изготовления клинков из булатной стали. Из его работ стало ясно, что так называемый булатный узор на поверхности стали, непосредственно зависит от ее внутренней структуры.

В 1873-1876 г.г Гиббс изложил основные законы фазового равновесия и, в частности, правило фаз, основываясь на законах термодинамики. Для решения практических задач знание фазового равновесия в той или иной системе необходимо, но не достаточно для определения состава и относительного количества фаз. Обязательно знать структуру сплавов, то есть атомное строение фаз, составляющих сплав, а также распределение, размер и форму кристаллов каждой фазы.

Определение атомного строения фаз стало возможным после открытия Лауэ (1912 г), показавшего, что атомы в кристалле регулярно заполняют пространство, образуя пространственную дифракционную решетку, и что рентгеновские лучи имеют волновую природу. Дифракция рентгеновских лучей на такой решетке дает возможность исследовать строение кристаллов.

В последнее время для структурного анализа, кроме рентгеновских лучей, используют электроны и нейтроны. Соответствующие методы исследования называются электронографией и нейтронографией. Электронная оптика позволила усовершенствовать микроскопию. В настоящее время на электронных микроскопах полезное максимальное увеличение доведено до 100000 раз.

В пятидесятых годах, когда началось исследование природы свойств металлических материалов, было показано, что большинство наиболее важных свойств, в том числе сопротивление пластической деформации и разрушению в различных условиях нагружения, зависит от особенностей тонкого кристаллического строения. Этот вывод способствовал привлечению физических теорий о строении реальных металлов для объяснения многих непонятных явлений и для конструирования сплавов с заданными механическими свойствами. Благодаря теории дислокаций, удалось получить достоверные сведения об изменениях в металлах при их пластической деформации.

Особенно интенсивно развивается материаловедение в последние десятилетия. Это объясняется потребностью в новых материалах для исследования космоса, развития электроники, атомной энергетики.

Основными направлениями в развитии материаловедения является разработка способов производства чистых и сверхчистых металлов, свойства которых сильно отличаются от свойств металлов технической чистоты, с которыми преимущественно работают. Генеральной задачей материаловедения является создание материалов с заранее рассчитанными свойствами применительно к заданным параметрам и условиям работы. Большое внимание уделяется изучению металлов в экстремальных условиях (низкие и высокие температуры и давление).

До настоящего времени основной материальной базой машиностроения служит черная металлургия, производящая стали и чугуны. Эти материалы имеют много положительных качеств и в первую очередь обеспечивают высокую конструкционную прочность деталей машин. Однако эти классические материалы имеют такие недостатки как большая плотность, низкая коррозионная стойкость. Потери от коррозии составляют 20% годового производства стали и чугуна. Поэтому, по данным научных исследований, через 20...40 лет все развитые страны перестроятся на массовое использование металлических сплавов на базе титана, магния, алюминия. Эти легкие и прочные сплавы позволяют в 2-3 раза облегчить станки и машины, в 10 раз уменьшить расходы на ремонт.

По данным института имени Байкова А.Н. в нашей стране есть все условия, чтобы в течение 10...15 лет машиностроение могло перейти на выпуск алюминий-титановой подвижной техники, которая отличается легкостью, коррозионной стойкостью и большим безремонтным ресурсом.

Важное значение имеет устранение отставания нашей страны в области использования новых материалов взамен традиционных (металлических) – пластмасс, керамики, материалов порошковой металлургии, особенно композиционных материалов, что экономит дефицитные металлы, снижает затраты энергии на производство материалов, уменьшает массу изделий.

Расчетами установлено, что замена ряда металлических деталей легкового автомобиля на углепластики из эпоксидной смолы, армированной углеродными волокнами, позволит уменьшить массу машины на 40%; она станет более прочной; уменьшится расход топлива, резко возрастет стойкость против коррозии.

#### Тема 1.2 Металлы, особенности атомно-кристаллического строения (Лекция – дискуссия – 1 час.)

В огромном ряду материалов, с незапамятных времен известных человеку и широко используемых им в своей жизни и деятельности, металлы всегда занимали особое место.

Подтверждение этому: и в названиях эпох (золотой, серебряный, бронзовый, железный века), на которые греки делили историю человечества: и в археологических находках металлических изделий (кованые медные украшения, сельскохозяйственные орудия); и в повсеместном использовании металлов и сплавов в современной технике.

Причина этого - в особых свойствах металлов, выгодно отличающих их от других материалов и делающих во многих случаях незаменимыми.

Металлы – один из классов конструкционных материалов, характеризующийся определенным набором свойств:

- «металлический блеск» (хорошая отражательная способность);
- Пластичность;
- Высокая теплопроводность;
- Высокая электропроводность.

Данные свойства обусловлены особенностями строения металлов. Согласно теории металлического состояния, металл представляет собой вещество, состоящее из положительных ядер, вокруг которых по орбиталам вращаются электроны. На последнем уровне число электронов невелико и они слабо связаны с ядром. Эти электроны имеют возможность перемещаться по всему объему металла, т.е. принадлежать целой совокупности атомов.

Таким образом, пластичность, теплопроводность и электропроводность обеспечиваются наличием «электронного газа».

Все металлы, затвердевающие в нормальных условиях, представляют собой кристаллические вещества, то есть укладка атомов в них характеризуется определенным порядком – периодичностью, как по различным направлениям, так и по различным плоскостям. Этот порядок определяется понятием кристаллическая решетка.

Другими словами, кристаллическая решетка это воображаемая пространственная решетка, в узлах которой располагаются частицы, образующие твердое тело.

Элементарная ячейка – элемент объема из минимального числа атомов, многократным переносом которого в пространстве можно построить весь кристалл.

Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла.

Основными параметрами кристалла являются:

- размеры ребер элементарной ячейки (a, b, c – периоды решетки. Расстояние между центрами соседних атомов. В одном направлении выдерживаются строго определенными);

- углы между осями ( $\alpha, \beta, \gamma$ );
- координационное число (К) указывает на число атомов расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решетке;
- базис решетки (количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки);
- плотность упаковки атомов в кристаллической решетке – объем занятый атомами, которые условно рассматриваются как жесткие шары. Её определяют как отношение, объема занятого атомами к объему элементарной ячейки (Для объёмно-центрированной кристаллической решетки – 0,68, для гранецентрированной решетки – 0,74).

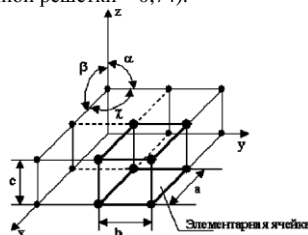


Рис.1.1 . Схема кристаллической решетки

Классификация возможных видов кристаллических решеток была проведена французским ученым О. Браве, соответственно они получили название «решетки Бра ве». Всего для кристаллических тел существует четырнадцать видов решеток, разбитых на четыре типа:

- примитивный – узлы решетки совпадают с вершинами элементарных ячеек;
- базоцентрированный – атомы занимают вершины ячеек и два места в противоположных гранях;
- объемно-центрированный – атомы занимают вершины ячеек и ее центр;
- гранецентрированный – атомы занимают вершины ячейки и центры всех шести граней

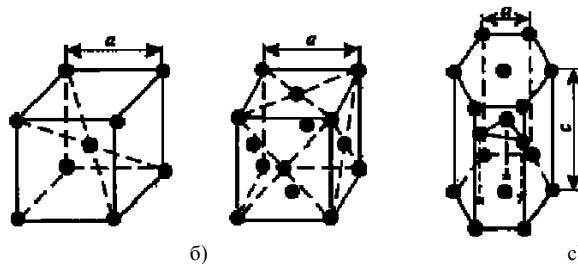


Рис. 1.2. Основные типы кристаллических решеток:

- а – объемно-центрированная кубическая;
- б– гранецентрированная кубическая;
- в – гексагональная плотноупакованная

Основными типами кристаллических решеток являются:

1. Объемно - центрированная кубическая (ОЦК) (см. рис.1.2 а), атомы располагаются в вершинах куба и в его центре (V, W, Ti, Fe<sub>α</sub>)
2. Гранецентрированная кубическая (ГЦК) (см. ри с. 1.2б), атомы располагаются в вершинах куба и по центру каждой из 6 граней (Ag, Au, Fe<sub>γ</sub>)
3. Гексагональная, в основании которой лежит шестиугольник:
  - Простая – атомы располагаются в вершинах ячейки и по центру 2 оснований (углерод в виде графита);
  - Плотноупакованная (ГПУ) – имеется 3 дополни тельных атома в средней плоскости (цинк).

### Тема 1.3 Понятие об изотропии и анизотропии (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Свойства тела зависят от природы атомов, из которых оно состоит, и от силы взаимодействия между этими атомами. Силы взаимодействия между атомами в значительной степени определяются расстояниями между ними. В аморфных телах с хаотическим расположением атомов в пространстве, расстояния между атомами в различных направлениях равны, следовательно, свойства будут одинаковые, то есть аморфные тела изотропны.

В кристаллических телах атомы правильно располагаются в пространстве, причем по разным направлениям расстояния между атомами неодинаковы, что предопределяет существенные различия в силах взаимодействия между ними и, в конечном результате, разные свойства. Зависимость свойств от направления называется анизотропией

Чтобы понять явление анизотропии необходимо выделить кристаллографические плоскости и кристаллографически е направления в кристалле.

Плоскость, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется кристаллографической плоскостью.

Прямая, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется кристаллографическим направлением.

Для обозначения кристаллографических плоскостей и направлений пользуются индексами Миллера. Чтобы установить индексы Миллера, элементарную ячейку вписывают в пространственную систему координат (оси X, Y, Z – кристаллографические оси). За единицу измерения принимается период решетки.

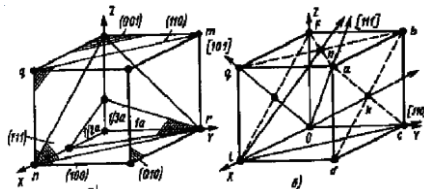


Рис.1.3. Примеры обозначения кристаллографических плоскостей (а) и кристаллографических направлений (б)

Для определения индексов кристаллографической плоскости необходимо:

- Установить координаты точек пересечения плоскости с осями координат в единицах периода решетки;
- Взять обратные значения этих величин;
- Привести их к наименьшему целому кратному, каждому из полученных чисел.

Полученные значения простых целых чисел, не имеющие общего множителя, являются индексами Миллера для плоскости, указываются в круглых скобках. Примеры обозначения кристаллографических плоскостей на рис. 1.3 а.

Другими словами, индекс по оси показывает, на сколько частей плоскость делит осевую единицу по данной оси. Плоскости, параллельные оси, имеют по ней индекс 0 (110)

Ориентация прямой определяется координатами двух точек. Для определения индексов кристаллографического направления необходимо:

- Одну точку направления совместить с началом координат;
- Установить координаты любой другой точки, лежащей на прямой, в единицах периода решетки;

Привести отношение этих координат к отношению трех наименьших целых чисел. Индексы кристаллографических направлений указываются в квадратных скобках [111].

В кубической решетке индексы направления, перпендикулярного плоскости (hkl) имеют те же индексы [hkl].

#### Тема 1.4 Аллотропия или полиморфные превращения (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Способность некоторых металлов существовать в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий (давление, температура) называется аллотропией или полиморфизмом.

Каждый вид решетки представляет собой аллотропическое видоизменение или модификацию.

Примером аллотропического видоизменения в зависимости от температуры является железо (Fe).

Fe:  $t < 911^{\circ}\text{C}$  – ОЦК - Fe<sub>α</sub>

$911 < t < 1392^{\circ}\text{C}$  - ГЦК - Fe<sub>γ</sub>

$1392 < t < 1539^{\circ}\text{C}$  - ОЦК - Fe<sub>δ</sub> (высокотемпературное Fe<sub>α</sub>)

Превращение одной модификации в другую протекает при постоянной температуре и сопровождается тепловым эффектом. Видоизменения элемента обозначаются буквами греческого алфавита в виде индекса у основного обозначения металла.

Примером аллотропического видоизменения, обусловленного изменением давления, является углерод: при низких давлениях образуется графит, а при высоких – алмаз.

Используя явление полиморфизма, можно упрочнять и разупрочнять сплавы при помощи термической обработки.

#### Тема 1.5 Магнитные превращения (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Некоторые металлы намагничиваются под действием магнитного поля. После удаления магнитного поля они обладают остаточным магнетизмом. Это явление впервые обнаружено на железе и получило название ферромагнетизма.

К ферромагнетикам относятся железо, кобальт, никель и некоторые другие металлы.

При нагреве ферромагнитные свойства металла уменьшаются постепенно: вначале слабо, затем резко, и при определенной температуре (точка Кюри) исчезают (точка Кюри для железа – 768 °С). Выше этой температуры металлы становятся парамагнетиками. Магнитные превращения не связаны с изменением кристаллической решетки или микроструктуры, они обусловлены изменениями в характере межэлектронного взаимодействия.

## Раздел 2. Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения

Из жидкого расплава можно вырастить монокристалл. Их обычно используют в лабораториях для изучения свойств того или иного вещества.

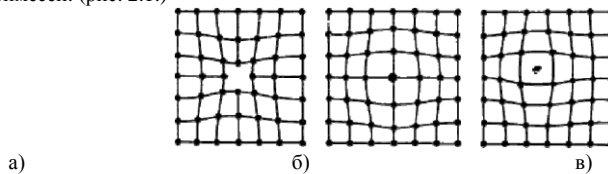
Металлы и сплавы, полученные в обычных условиях, состоят из большого количества кристаллов, то есть, имеют поликристаллическое строение. Эти кристаллы называются зернами. Они имеют неправильную форму и различно ориентированы в пространстве. Каждое зерно имеет свою ориентировку кристаллической решетки, отличную от ориентировки соседних зерен, вследствие чего свойства реальных металлов усредняются, и явления анизотропии не наблюдаются.

В кристаллической решетке реальных металлов имеются различные дефекты (несовершенства), которые нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов. Различают следующие структурные несовершенства:

- Точечные – малые во всех трех измерениях;
- Линейные – малые в двух измерениях и сколь угодно протяженные в третьем;
- Поверхностные – малые в одном измерении.

#### Тема 2.1 Точечные дефекты (Лекция – дискуссия – 2 час.)

Одним из распространенных несовершенств кристаллического строения является наличие точечных дефектов: вакансий, дислоцированных атомов и примесей. (рис. 2.1.)



Вакансия – отсутствие атомов в узлах кристаллической решетки, «дырки», которые образовались в результате различных причин. Образуется при переходе атомов с поверхности в окружающую среду или из узлов решетки на поверхность (границы зерен, пустоты, трещины и т. д.), в результате пластической деформации, при бомбардировке тела атомами или частицами высоких энергий (облучение в циклотроне или нейтронное облучение в ядерном реакторе). Концентрация вакансий в значительной степени определяется температурой тела. Перемещаясь по кристаллу, одиночные вакансии могут встречаться. И объединяться в дивакансии. Скопление многих вакансий может привести к образованию пор и пустот.

Дислоцированный атом – это атом, вышедший из узла решетки и занявший место в междоузлии. Концентрация дислоцированных атомов значительно меньше, чем вакансий, так как для их образования требуются существенные затраты энергии. При этом на месте переместившегося атома образуется вакансия.

Примесные атомы всегда присутствуют в металле, так как практически невозможно выплавить химически чистый металл. Они могут иметь размеры больше или меньше размеров основных атомов и располагаются в узлах решетки или междоузлиях.

Точечные дефекты вызывают незначительные искажения решетки, что может привести к изменению свойств тела (электропроводность, магнитные свойства), их наличие способствует процессам диффузии и протеканию фазовых превращений в твердом состоянии. При перемещении по материалу дефекты могут взаимодействовать.

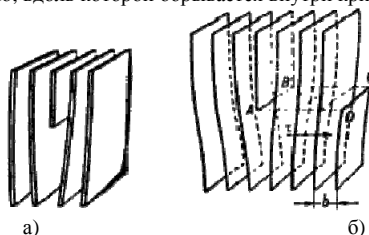
#### Тема 2.2 Линейные дефекты (Лекция – дискуссия – 3 час.)

Основными линейными дефектами являются дислокации. Априорное представление о дислокациях впервые использовано в 1934 году Орована и Тейлером при исследовании пластической деформации кристаллических материалов, для объяснения большой разницы между практической и теоретической прочностью металла.

Дислокация – это дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии, вдоль и вблизи которых нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей.

Простейшие виды дислокаций – краевые и винтовые

Краевая дислокация представляет собой линию, вдоль которой обрывается внутри кристалла край лишней полуплоскости (рис. 2.2)



Неполная плоскость называется экстра плоскостью.



Большинство дислокаций образуются путем сдвигового механизма. Ее образование можно описать при помощи следующей операции. Надрезать кристалл по плоскости ABCD, сдвинуть нижнюю часть относительно верхней на один период решетки в направлении, перпендикулярном АВ, а затем вновь сблизить атомы на краях разреза внизу.

Наибольшие искажения в расположении атомов в кристалле имеют место вблизи нижнего края экстроплоскости. Вправо и влево от края экстроплоскости эти искажения малы (несколько периодов решетки), а вдоль края экстроплоскости искажения простираются через весь кристалл и могут быть очень велики (тысячи периодов решетки) (рис. 2.3).

Если экстроплоскость находится в верхней части кристалла, то краевая дислокация – положительная ( $\perp$ ), если в нижней, то – отрицательная ( $\Uparrow$ ). Дислокации одного знака отталкиваются, а противоположные притягиваются.

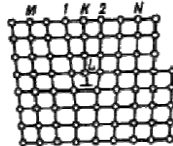


Рис. 2.3. Искажения в кристаллической решетке при наличии краевой дислокации

Другой тип дислокаций был описан Бюргерсом, и получил название винтовая дислокация

Винтовая дислокация получена при помощи частичного сдвига по плоскости Q вокруг линии и EF (рис. 2.4) На поверхности кристалла образуется ступенька, проходящая от точки Е до края кристалла. Такой частичный сдвиг нарушает параллельность атомных слоев, кристалл превращается в одну атомную плоскость, закрученную по винту в виде полого геликоида вокруг линии EF, которая представляет границу, отделяющую часть плоскости скольжения, где сдвиг уже произошел, от части, где сдвиг не начинался. Вдоль линии EF наблюдается макроскопический характер области несовершенства, в других направлениях ее размеры составляют несколько периодов.

Если переход от верхних горизонтов к нижним осуществляется поворотом по часовой стрелке, то дислокация правая, а если поворотом против часовой стрелки – левая.

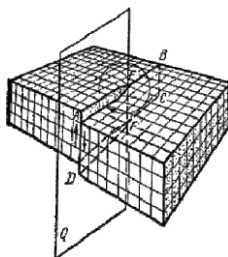


Рис. 2.4. Механизм образования винтовой дислокации

Винтовая дислокация не связана с какой-либо плоскостью скольжения, она может перемещаться по любой плоскости, проходящей через линию дислокации. Вакансии и дислоцированные атомы к винтовой дислокации не стекают.

В процессе кристаллизации атомы вещества, выпадающие из пара или раствора, легко присоединяются к ступеньке, что приводит к спиральному механизму роста кристалла.

Линии дислокаций не могут обрываться внутри кристалла, они должны либо быть замкнутыми, образуя петлю, либо разветвляться на несколько дислокаций, либо выходить на поверхность кристалла.

Дислокационная структура материала характеризуется плотностью дислокаций.

Плотность дислокаций в кристалле определяется как среднее число линий дислокаций, пересекающих их внутри тела площадку площадью  $1 \text{ м}^2$ , или как суммарная длина линий дислокаций в объеме  $1 \text{ м}^3$

Плотность дислокаций изменяется в широких пределах и зависит от состояния материала. После тщательного отжига плотность дислокаций составляет  $10^5 \dots 10^7 \text{ м}^{-2}$ , в кристаллах с сильно деформированной кристаллической решеткой плотность дислокаций достигает  $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$ .

Плотность дислокаций в значительной мере определяет пластичность и прочность материала (рис. 2.5)

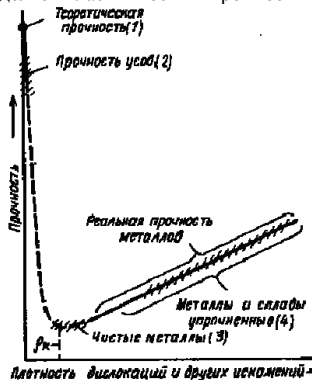


Рис 2.5 Влияние плотности дислокаций на прочность

Минимальная прочность определяется критической плотностью дислокаций  $\rho = 10^5 - 10^7 \text{ м}^{-2}$ .

Если плотность меньше значения  $a$ , то сопротивление деформированию резко возрастает, а прочность приближается к теоретической. Повышение прочности достигается созданием металла с бездефектной структурой, а также повышением плотности дислокаций, затрудняющим их движение. В настоящее время созданы кристаллы без дефектов – нитевидные кристаллы длиной до 2 мм, толщиной  $0,5 \dots 20 \text{ мкм}$  – «усы» с прочностью, близкой к теоретической: для железа  $\sigma_a = 13000 \text{ МПа}$ , для меди  $\sigma_a = 30000 \text{ МПа}$ . При упрочнении металлов увеличением плотности дислокаций, она не должна превышать значений  $10^{15} - 10^{16} \text{ м}^{-2}$ . В противном случае образуются трещины. Дислокации влияют не только на прочность и пластичность, но и на другие свойства кристаллов. С увеличением плотности дислокаций возрастает внутреннее, изменяются оптические свойства, повышается электросопротивление металла. Дислокации увеличивают среднюю скорость диффузии в кристалле, ускоряют старение и другие процессы, уменьшают химическую стойкость, поэтому в результате обработки поверхности кристалла специальными веществами и в местах выхода дислокаций образуются ямки.

Дислокации образуются при образовании кристаллов из расплава или газообразной фазы, при срастании блоков с малыми углами разориентировки. При перемещении вакансий внутри кристалла, они концентрируются, образуя полости в виде дисков. Если такие диски велики, то энергетически выгодно “захлопывание” их с образованием по краю диска краевой дислокации.

Образуются дислокации при деформации, в процессе кристаллизации, при термической обработке.

Поверхностные дефекты – границы зерен, фрагментов и блоков (рис. 2.6).

Размеры зерен составляют до 1000 мкм. Углы разориентации составляют до нескольких десятков градусов ( $\theta$ ).

Граница между зернами представляет собой тонкую в 5 – 10 атомных диаметров поверхностную зону с максимальным нарушением порядка в расположении атомов.

Строение переходного слоя способствует скоплению в нем дислокаций. На границах зерен повышена концентрация примесей, которые понижают поверхностную энергию. Однако и внутри зерна никогда не наблюдается идеального строения кристаллической решетки. Имеются участки, разориентированные один относительно другого на несколько градусов ( $\theta_1$ ). Эти участки называются фрагментами. Процесс деления зерен на фрагменты называется фрагментацией или полигонизацией.

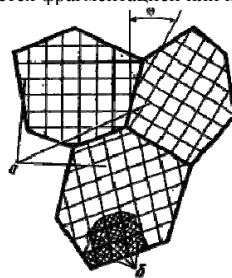


Рис. 2.6. Разориентация зерен и блоков в металле

В свою очередь каждый фрагмент состоит из блоков, размерами менее 10мкм, разориентированных на угол менее одного градуса ( $\theta_2$ ). Такую структуру называют блочной или мозаичной.

### Раздел 3. Кристаллизации металлов. Методы исследования металлов

Любое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном. Возможен переход из одного состояния в другое, если новое состояние в новых условиях является более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

С изменением внешних условий свободная энергия изменяется по сложному закону различно для жидкого и кристаллического состояний. Характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с изменением температуры показан на рис. 3.1.

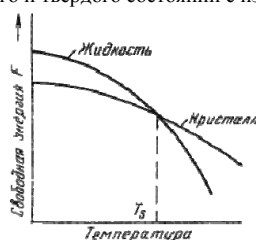


Рис.3.1. Изменение свободной энергии в зависимости от температуры

В соответствии с этой схемой выше температуры  $T_S$  вещество должно находиться в жидком состоянии, а ниже  $T_S$  – в твердом.

При температуре равной  $T_S$  жидкая и твердая фаза обладают одинаковой энергией, металл в обоих состояниях находится в равновесии, поэтому две фазы могут существовать одновременно бесконечно долго. Температура  $T_S$  – равновесная или теоретическая температура кристаллизации.

Для начала процесс кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождался уменьшением свободной энергии системы. Это возможно при охлаждении жидкости ниже температуры  $T_S$ . Температура, при которой практически начинается кристаллизация называется фактической температурой кристаллизации.

Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры кристаллизации называется переохлаждением, которое характеризуется степенью переохлаждения ( $\Delta T$ ):

$$\Delta T = T_{теор} - T_{кр}$$

Степень переохлаждения зависит от природы металла, от степени его загрязненности (чем чище металл, тем больше степень переохлаждения), от скорости охлаждения (чем выше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждения).

Рассмотрим переход металла из жидкого состояния в твердое.

При нагреве всех кристаллических тел наблюдается четкая граница перехода из твердого состояния в жидкое. Такая же граница существует при переходе из жидкого состояния в твердое.

Кристаллизация – это процесс образования участков кристаллической решетки в жидкой фазе и рост кристаллов из образовавшихся центров.

Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с минимумом свободной энергии.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура. Кривая охлаждения чистого металла представлена на рис. 3.2.

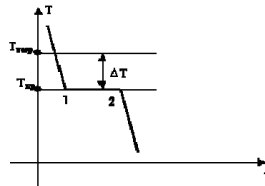


Рис.3.2. Кривая охлаждения чистого металла

$T_{теор}$  – теоретическая температура кристаллизации  
 $T_{кр}$  – фактическая температура кристаллизации

Процесс кристаллизации чистого металла:

До точки 1 охлаждается металл в жидком состоянии, процесс сопровождается плавным понижением температуры. На участке 1 – 2 идет процесс кристаллизации, сопровождающийся выделением тепла, которое называется скрытой теплотой кристаллизации. Оно компенсирует рассеивание теплоты в пространство, и поэтому температура остается постоянной. После окончания кристаллизации в точке 2 температура снова начинает снижаться, металл охлаждается в твердом состоянии.

### Тема 3.1 Механизм и закономерности кристаллизации металлов (Лекция – дискуссия – 1,5 час.)

При соответствующем понижении температуры в жидком металле начинают образовываться кристаллики – центры кристаллизации или зародыши. Для начала их роста необходимо уменьшение свободной энергии металла, в противном случае зародыш растворится.

Минимальный размер способного к росту зародыша называется критическим размером, а зародыш – устойчивым.

Переход из жидкого состояния в кристаллическое требует затраты энергии на образование поверхности раздела жидкость – кристалл. Процесс кристаллизации будет осуществляться, когда выигрыш от перехода в твердое состояние больше потери энергии на образование поверхности раздела. Зависимость энергии системы от размера зародыша твердой фазы представлена на рис. 3.3.

Зародыши с размерами равными и большими критического растут с уменьшением энергии и поэтому способны к существованию.

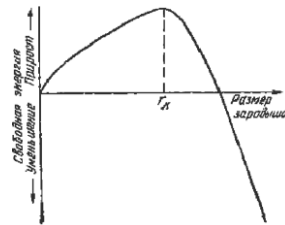


Рис.3.3. Зависимость энергии системы от размера зародыша твердой фазы  
Механизм кристаллизации представлен на рис.3.4.

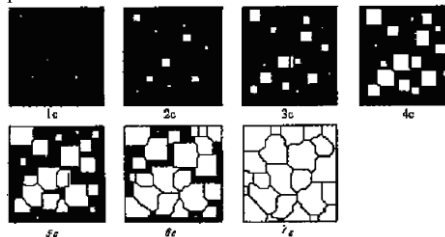


Рис.3.4. Модель процесса кристаллизации

Центры кристаллизации образуются в исходной фазе независимо друг от друга в случайных местах. Сначала кристаллы имеют правильную форму, но по мере столкновения и срастания с другими кристаллами форма нарушается. Рост продолжается в направлениях, где есть свободный доступ питающей среды. После окончания кристаллизации имеем поликристаллическое тело.

Качественная схема процесса кристаллизации может быть представлена количественно кинетической кривой (рис.3.5).

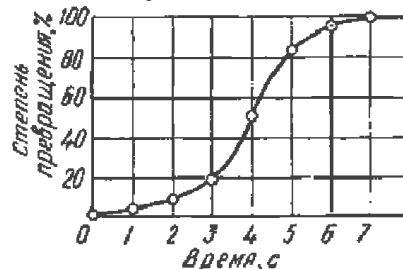


Рис. 3.5. Кинетическая кривая процесса кристаллизации

Процесс вначале ускоряется, пока столкновение кристаллов не начинает препятствовать их росту. Объем жидкой фазы, в которой образуются кристаллы уменьшается. После кристаллизации 50 % объема металла, скорость кристаллизации будет замедляться.

Таким образом, процесс кристаллизации состоит из образования центров кристаллизации и роста кристаллов из этих центров.

В свою очередь, число центров кристаллизации (ч.ц.) и скорость роста кристаллов (с.р.) зависят от степени переохлаждения (рис. 3.6).

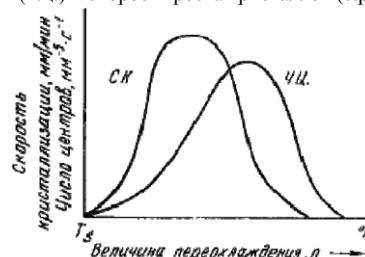


Рис. 3.6. Зависимость числа центров кристаллизации (а) и скорости роста кристаллов (б) от степени переохлаждения

Размеры образовавшихся кристаллов зависят от соотношения числа образовавшихся центров кристаллизации и скорости роста кристаллов при температуре кристаллизации.

При равновесной температуре кристаллизации  $T_s$  число образовавшихся центров кристаллизации и скорость их роста равняются нулю, поэтому процесса кристаллизации не происходит.

Если жидкость переохладить до температуры, соответствующей т.а, то образуются крупные зерна (число образовавшихся центров небольшое, а скорость роста — большая).

При переохладении до температуры соответствующей т.в — мелкое зерно (образуется большое число центров кристаллизации, а скорость их роста небольшая).

Если металл очень сильно переохладить, то число центров и скорость роста кристаллов равны нулю, жидкость не кристаллизуется, образуется аморфное тело. Для металлов, обладающих малой склонностью к переохладению, экспериментально обнаруживаются только восходящие ветви кривых.

### Тема 3.2 Условия получения мелкозернистой структуры (Лекция – дискуссия – 1,5 час.)

Стремятся к получению мелкозернистой структуры. Оптимальными условиями для этого являются: максимальное число центров кристаллизации и малая скорость роста кристаллов.

Размер зерен при кристаллизации зависит и от числа частичек нерастворимых примесей, которые играют роль готовых центров кристаллизации – оксиды, нитриды, сульфиды.

Чем больше частичек, тем мельче зерна закристаллизовавшегося металла. Стенки изложниц имеют неровности, шероховатости, которые увеличивают скорость кристаллизации.

Мелкозернистую структуру можно получить в результате модифицирования, когда в жидкие металлы добавляются посторонние вещества – модификаторы,

По механизму воздействия различают:

1. Вещества не растворяющиеся в жидком металле – выступают в качестве дополнительных центров кристаллизации.

2. Поверхностно - активные вещества, которые растворяются в металле, и, осажаясь на поверхности растущих кристаллов, препятствуют их росту.

### Тема 3.3 Строение металлического слитка (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Схема стального слитка, данная Черновым Д.К., представлена на рис.3.7.

Кристаллизация корковой зоны идет в условиях максимального переохлаждения. Скорость кристаллизации определяется большим числом центров кристаллизации. Образуется мелкозернистая структура.

Жидкий металл под корковой зоной находится в условиях меньшего переохлаждения. Число центров ограничено и процесс кристаллизации реализуется за счет их интенсивного роста до большого размера.

Рост кристаллов во второй зоне имеет направленный характер. Они растут перпендикулярно стенкам изложницы, образуются древовидные кристаллы – дендриты (рис. 3.8). Растут дендриты с направлением, близким к направлению теплоотвода.

Так как теплоотвод от незакристаллизовавшегося металла в середине слитка в разные стороны выравнивается, то в центральной зоне образуются крупные дендриты со случайной ориентацией.

Зоны столбчатых кристаллов в процессе кристаллизации стыкуются, это явление называется транскристаллизацией.

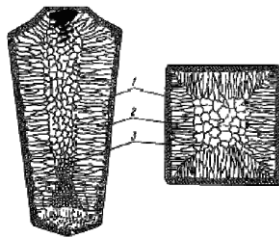


Рис. 3.7. Схема стального слитка. Слиток состоит из трех зон:

1. Мелкокристаллическая корковая зона;
2. Зона столбчатых кристаллов;
3. Внутренняя зона крупных равноосных кристаллов.



Рис.3.8 . Схема дендрита по Чернову Д.К.

Для малопластичных металлов и для сталей это явление нежелательное, так как при последующей прокатке, ковке могут образовываться трещины в зоне стыка.

В верхней части слитка образуется усадочная раковина, которая подлежит отрезке и переплавке, так как металл более рыхлый (около 15...20 % от длины слитка)

### Тема 3.4 Методы исследования металлов: структурные и физические (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Металлы и сплавы обладают разнообразными свойствами. Используя один метод исследования металлов, невозможно получить информацию о всех свойствах. Используют несколько методов анализа.

Определение химического состава Используются методы количественного анализа.

1. Если не требуется большой точности, то используют спектральный анализ.

Спектральный анализ основан на разложении и исследовании спектра электрической дуги или искры, искусственно возбуждаемой между медным электродом и исследуемым металлом.

Зажигается дуга, луч света через призмы попадает в окуляр для анализа спектра. Цвет и концентрация линий спектра позволяют определить содержание химических элементов.

Используются стационарные и переносные стилоскопы.

2. Более точные сведения о составе дает рентгеноспектральный анализ. Проводится на микроанализаторах. Позволяет определить состав фаз сплава, характеристики диффузионной подвижности атомов.

Изучение структуры

Различают макроструктуру, микроструктуру и тонкую структуру.

1. Макроструктурный анализ – изучение строения металлов и сплавов невооруженным глазом или при небольшом увеличении, с помощью лупы.

Осуществляется после предварительной подготовки исследуемой поверхности (шлифование и травление специальными реактивами).

Позволяет выявить и определить дефекты, возникшие на различных этапах производства литых, кованных, штампованных и катаных заготовок, а также причины разрушения деталей.

Устанавливают: вид излома (вязкий, хрупкий); величину, форму и расположение зерен и дендритов литого металла; дефекты, нарушающие сплошность металла (усадочную пористость, газовые пузыри, раковины, трещины); химическую неоднородность металла, вызванную процессами кристаллизации или созданную термической и химико-термической обработкой; волокна в деформированном металле.

2. Микроструктурный анализ – изучение поверхности при помощи

световых микроскопов. Увеличение – 50...2000 раз. Позволяет обнаружить элементы структуры размером до 0,2 мкм.

Образцы – микрошлифы с блестящей полированной поверхностью, так как структура рассматривается в отраженном свете. Наблюдаются микротрещины и неметаллические включения.

Для выявления микроструктуры поверхность травят реактивами, зависящими от состава сплава. Различные фазы протравливаются неодинаково и окрашиваются по-разному. Можно выявить форму, размеры и ориентировку зерен, отдельные фазы и структурные составляющие.

Кроме световых микроскопов используют электронные микроскопы с большой разрешающей способностью.

Изображение формируется при помощи потока быстро летящих электронов. Электронные лучи с длиной волны  $(0,04...0,12) \cdot 10^{-8}$  см дают возможность различать детали объекта, по своим размерам соответствующие межатомным расстояниям.

Просвечивающие микроскопы. Поток электронов проходит через изучаемый объект. Изображение является результатом неодинакового рассеяния электронов на объекте. Различают косвенные и прямые методы исследования.

При косвенном методе изучают не сам объект, а его отпечаток – кварцевый или угольный слепок (реплику), отображающую рельеф микрошлифа, для предупреждения вторичного излучения, искажающего картину.

При прямом методе изучают тонкие металлические фольги, толщиной до 300 нм, на просвет. Фольги получают непосредственно из изучаемого металла. Растровые микроскопы. Изображение создается за счет вторичной эмиссии электронов, излучаемых поверхностью, на которую падает непрерывно перемещающийся по этой поверхности поток первичных электронов. Изучается непосредственно поверхность металла. Разрешающая способность несколько ниже, чем у просвечивающих микроскопов.

3. Для изучения атомно-кристаллического строения твердых тел (тонкое строение) используются рентгенографические методы, позволяющие устанавливать связь между химическим составом, структурой и свойствами тела, тип твердых растворов, микронапряжения, концентрацию дефектов, плотность дислокаций.

Физические методы исследования

1. Термический анализ основан на явлении теплового эффекта. Фазовые превращения в сплавах сопровождаются тепловым эффектом, в результате на кривых охлаждения сплавов при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба или температурные остановки. Данный метод позволяет определить критические точки.

2. Дилатометрический метод.

При нагреве металлов и сплавов происходит изменение объема и линейных размеров – тепловое расширение. Если изменения обусловлены только увеличением энергии колебаний атомов, то при охлаждении размеры восстанавливаются. При фазовых превращениях изменения размеров – необратимы.

Метод позволяет определить критические точки сплавов, температурные интервалы существования фаз, а также изучать процессы распада твердых растворов.

### 3. Магнитный анализ.

Используется для исследования процессов, связанных с переходом из парамагнитного состояния в ферромагнитное (или наоборот), причем возможна количественная оценка этих процессов.

## Раздел 4. Общая теория сплавов. Строение, кристаллизация и свойства сплавов. Диаграмма состояния.

### Тема 4.1 Понятие о сплавах и методах их получения (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Под сплавом понимают вещество, полученное сплавлением двух или более элементов. Возможны другие способы приготовления сплавов: спекания, электролиз, возгонка. В этом случае вещества называются псевдосплавами.

Сплав, приготовленный преимущественно из металлических элементов и обладающий металлическими свойствами, называется металлическим сплавом. Сплавы обладают более разнообразным комплексом свойств, которые изменяются в зависимости от состава и метода обработки.

Основные понятия в теории сплавов.

Система – группа тел выделяемых для наблюдения и изучения.

В металловедении системами являются металлы и металлические сплавы. Чистый металл является простой однокомпонентной системой, сплав – сложной системой, состоящей из двух и более компонентов.

Компоненты – вещества, образующие систему. В качестве компонентов выступают чистые вещества и химические соединения, если они не диссоциируют на составные части в исследуемом интервале температур.

Фаза – однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностного раздела, при переходе через которую структура и свойства резко меняются.

Вариантность (С) (число степеней свободы) – это число внутренних и внешних факторов (температура, давление, концентрация), которые можно изменять без изменения количества фаз в системе.

Если вариантность  $C = 1$  (моновариантная система), то возможно изменение одного из факторов в некоторых пределах, без изменения числа фаз.

Если вариантность  $C = 0$  (инвариантная система), то внешние факторы изменять нельзя без изменения числа фаз в системе

Существует математическая связь между числом компонентов (К), числом фаз (Ф) и вариантностью системы (С). Это правило фаз или закон Гиббса

$$C = K - \Phi + 2$$

Если принять, что все превращения происходят при постоянном давлении, то число переменных уменьшится.

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

где: С – число степеней свободы, К – число компонентов, Ф – число фаз, 1 – учитывает возможность изменения температуры.

### Тема 4.2 Особенности строения, кристаллизации и свойств сплавов: механических смесей, твердых растворов, химических соединений (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Строение металлического сплава зависит от того, в какие взаимодействия вступают компоненты, составляющие сплав. Почти все металлы в жидком состоянии растворяются друг в друге в любых соотношениях. При образовании сплавов в процессе их затвердевания возможно различное взаимодействие компонентов.

В зависимости от характера взаимодействия компонентов различают сплавы:

1. Механические смеси;
2. Химические соединения;
3. Твердые растворы.

Сплавы механические смеси образуются, когда компоненты не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения.

Образуются между элементами значительно различающимися по строению и свойствам, когда сила взаимодействия между однородными и атомами больше чем между разнородными. Сплав состоит из кристаллов входящих в него компонентов (рис. 4.1). В сплавах сохраняются кристаллические решетки компонентов.

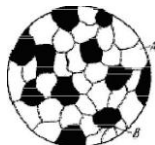


Рис. 4.1. Схема микроструктуры механической смеси

Сплавы химические соединения образуются между элементами, значительно различающимися по строению и свойствам, если сила взаимодействия между разнородными атомами больше, чем между однородными.

Особенности этих сплавов:

1. Постоянство состава, то есть сплав образуется при определенном соотношении компонентов, химическое соединение обозначается  $A_nB_m$ .
2. Образуется специфическая, отличающаяся от решеток элементов, составляющих химическое соединение, кристаллическая решетка с правильным упорядоченным расположением атомов (рис. 4.2)
3. Ярко выраженные индивидуальные свойства
4. Постоянство температуры кристаллизации, как у чистых компонентов

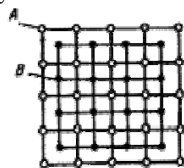


Рис. 4.2. Кристаллическая решетка химического соединения

Сплавы твердые растворы – это твердые фазы, в которых соотношения между компонентами могут изменяться. Являются кристаллическими веществами.

Характерной особенностью твердых растворов является наличие в их кристаллической решетке разнородных атомов, при сохранении типа решетки растворителя.

Твердый раствор состоит из однородных зерен (рис. 4.3).

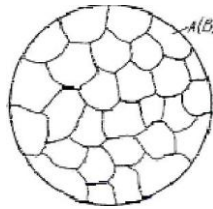


Рис.4.3. Схема микроструктуры твердого раствора

### Тема 4.3 Классификация сплавов твердых растворов (Лекция – дискуссия – 1 час.)

По степеням растворимости компонентов различают твердые растворы:

- С неограниченной растворимостью компонентов;
- С ограниченной растворимостью компонентов.

При неограниченной растворимости компонентов кристаллическая решетка компонента растворителя по мере увеличения концентрации растворенного компонента плавно переходит в кристаллическую решетку растворенного компонента.

Для образования растворов с неограниченной растворимостью необходимы:

1. Изоморфность (однотипность) кристаллических решеток компонентов;
2. Близость атомных радиусов компонентов, которые не должны отличаться более чем на 8...13 %;
3. Близость физико-химических свойств подобных по строению валентных оболочек атомов.

При ограниченной растворимости компонентов возможна концентрация растворенного вещества до определенного предела. При дальнейшем увеличении концентрации однородный твердый раствор распадается с образованием двухфазной смеси.

По характеру распределения атомов растворенного вещества в кристаллической решетке растворителя различают твердые растворы:

- Замещения;
- Внедрения;
- Вычитания.

В растворах замещения в кристаллической решетке растворителя часть его атомов замещена атомами растворенного элемента (рис. 4.4 а). Замещение осуществляется в случайных местах, поэтому такие растворы называют неупорядоченными твердыми растворами.

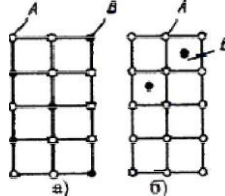


Рис.4.4. Кристаллическая решетка твердых растворов замещения (а), внедрения (б)

При образовании растворов замещения периоды решетки изменяются в зависимости от разности атомных диаметров растворенного элемента и растворителя. Если атом растворенного элемента больше атома растворителя, то элементарные ячейки увеличиваются, если меньше – сокращаются. В первом приближении это изменение пропорционально концентрации растворенного компонента. Изменение параметров решетки при образовании твердых растворов – важный момент, определяющий изменение свойств. Уменьшение параметра ведет к большему упрочнению, чем его увеличение.

Твердые растворы внедрения образуются внедрением атомов растворенного компонента в поры кристаллической решетки растворителя (рис. 4.4 б).

Образование таких растворов, возможно, если атомы растворенного элемента имеют малые размеры. Такими являются элементы, находящиеся в начале периодической системы Менделеева, углерод, водород, азот, бор. Размеры атомов превышают размеры межатомных промежутков в кристаллической решетке металла, это вызывает искажение решетки и в ней возникают напряжения. Концентрация таких растворов не превышает 2-2.5%

Твердые растворы вычитания или растворы с дефектной решеткой образуются на базе химических соединений, при этом возможна не только замена одних атомов в узлах кристаллической решетки другими, но и образование пустых, не занятых атомами, узлов в решетке.

К химическому соединению добавляют, один из входящих в формулу элементов, его атомы занимают нормальное положение в решетке соединения, а места атомов другого элемента остаются, незанятыми.

### Тема 4.4 Кристаллизация сплавов (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Кристаллизация сплавов подчиняется тем же закономерностям, что и кристаллизация чистых металлов. Необходимым условием является стремление системы в состояние с минимумом свободной энергии.

Основным отличием является большая роль диффузионных процессов, между жидкостью и кристаллизующейся фазой. Эти процессы необходимы для перераспределения разнородных атомов, равномерно распределенных в жидкой фазе.

В сплавах в твердых состояниях, имеют место процессы перекристаллизации, обусловленные аллотропическими превращениями компонентов сплава, распадом твердых растворов, выделением из твердых растворов вторичных фаз, когда растворимость компонентов в твердом состоянии меняется с изменением температуры.

Эти превращения называют фазовыми превращениями в твердом состоянии.

При перекристаллизации в твердом состоянии образуются центры кристаллизации, и происходит их рост.

Обычно центры кристаллизации возникают по границам зерен старой фазы, где решетка имеет наиболее дефектное строение, и где имеются примеси, которые могут стать центрами новых кристаллов. У старой и новой фазы, в течение некоторого времени, имеются общие плоскости. Такая связь решеток называется когерентной связью. В случае различия строения старой и новой фаз превращение протекает с образованием промежуточных фаз.

Нарушение когерентности и обособления кристаллов наступает, когда они приобретут определенные размеры.

Процессы кристаллизации сплавов изучаются по диаграммам состояния.

### Тема 4.5 Диаграмма состояния (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния любого сплава изучаемой системы в зависимости от концентрации и температуры (рис. 4.5)

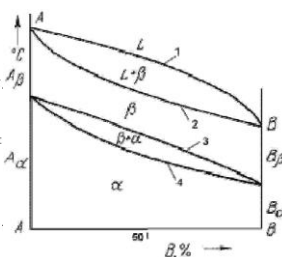


Рис. 4.5. Диаграмма состояния

Диаграммы состояния показывают устойчивые состояния, т.е. состояния, которые при данных условиях обладают минимумом свободной энергии, и поэтому ее также называют диаграммой равновесия, так как она показывает, какие при данных условиях существуют равновесные фазы.

Построение диаграмм состояния наиболее часто осуществляется при помощи термического анализа.

В результате получают серию кривых охлаждения, на которых при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба и температурные остановки.

Температуры, соответствующие фазовым превращениям, называют критическими точками. Некоторые критические точки имеют названия, например, точки отвечающие началу кристаллизации называют точками ликвидус, а концу кристаллизации – точками солидус.

По кривым охлаждения строят диаграмму состава в координатах: по оси абсцисс – концентрация компонентов, по оси ординат – температура.

Шкала концентраций показывает содержание компонента В. Основными линиями являются линии ликвидус (1) и солидус (2), а также линии соответствующие фазовым превращениям в твердом состоянии (3, 4).

По диаграмме состояния можно определить температуры фазовых превращений, изменение фазового состава, приблизительно, свойства сплава, виды обработки, которые можно применять для сплава.

## Раздел 5. Механические свойства. Технологические и эксплуатационные свойства.

### Тема 5.1 Механические свойства и способы определения их количественных характеристик: твердость, вязкость, усталостная прочность (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Твердость – это сопротивление материала проникновению в его поверхность стандартного тела (индентора), не деформирующегося при испытании.

Широкое распространение объясняется тем, что не требуются специальные образцы.

Это неразрушающий метод контроля. Основной метод оценки качества термической обработке изделия. О твердости судят либо по глубине проникновения индентора (метод Роквелла), либо по величине отпечатка от вдавливания (методы Бринелля, Виккерса, микротвердости).

Во всех случаях происходит пластическая деформация материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твердость.

Наибольшее распространение получили методы Бринелля, Роквелла, Виккерса и микротвердости. Схемы испытаний представлены на рис. 7.1.

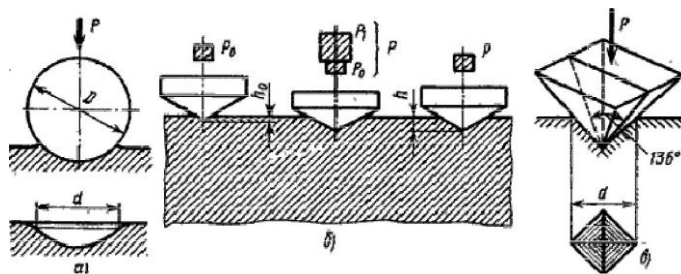


Рис. 7.1. Схемы определения твердости:

а – по Бринеллю; б – по Роквеллу; в – по Виккерсу

### Тема 5.2 Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012) (Лекция – дискуссия – 0,25 час.)

Испытание проводят на твердомере Бринелля (рис.7.1 а)

В качестве индикатора используется стальной закаленный шарик диаметром D 2,5; 5; 10 мм, в зависимости от толщины изделия.

Нагрузка P, в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости: для термически обработанной стали и чугуна  $P=30D^2$ , литой бронзы и латуни  $P=10D^2$ , алюминия и других очень мягких металлов  $P=2,5D^2$ .

Продолжительность выдержки  $\tau$ : для стали и чугуна – 10 с, для латуни и бронзы – 30 с.

Полученный отпечаток измеряется в двух направлениях при помощи лупы Бринелля.

Твердость определяется как отношение приложенной нагрузки P к сферической поверхности отпечатка F:

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

Стандартными условиями являются D = 10 мм; P = 3000 кгс;  $\tau = 10$  с. В этом случае твердость по Бринеллю обозначается HB 250, в других случаях указываются условия: HB D / P /  $\tau$ , HB 5/ 250 / 30 – 80.

### Тема 5.3 Метод Роквелла ГОСТ 9013 (Лекция – дискуссия – 0,25 час.)

Основан на вдавливании в поверхность наконечника под определенной нагрузкой (рис. 7.1 б)

Индикатор для мягких материалов (до HB 230) – стальной шарик диаметром 1/16" (1,6 мм), для более твердых материалов – конус алмазный

Нагружение осуществляется в два этапа. Сначала прикладывается предварительная нагрузка P<sub>0</sub> (10 кгс) для плотного соприкосновения наконечника с образцом. Затем прикладывается основная нагрузка P<sub>1</sub>, в течение некоторого времени действует общая рабочая нагрузка P. После снятия основной нагрузки определяют значение твердости по глубине остаточного вдавливания наконечника h под нагрузкой P<sub>0</sub>.

В зависимости от природы материала используют три шкалы твердости (табл. 7.1)

Таблиц а 7.1.

Шкалы для определения твердости по Роквеллу

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка, кг			Область применения
			P0	P1	P2	
A	HRA	Алмазный конус < 1200	10	50	60	Для особо твердых материалов
B	HRB	Стальной закаленный шарик Ø1/16"	10	90	100	Для относительно мягких материалов
C	HRC	Алмазный конус < 1200	10	140	150	Для относительно твердых материалов

### Тема 5.4 Метод Виккерса (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Твердость определяется по величине отпечатка (рис.7.1 в) .

В качестве индикатора используется алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136°.

Твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки P к площади поверхности отпечатка F:

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

Нагрузка Р составляет 5...100 кгс. Диагональ отпечатка d измеряется при помощи микроскопа, установленного на приборе. Преимущество данного способа в том, что можно измерять твердость любых материалов, тонкие изделия, поверхностные слои. Высокая точность и чувствительность метода.

Способ микротвердости – для определения твердости отдельных структурных составляющих и фаз сплава, очень тонких поверхностных слоев (сотые доли миллиметра).

Аналогичен способу Виккерса. Индентор – пирамида меньших размеров, нагрузки при вдавлении Р составляют 5...500 кгс.

$$H_{200} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

### Тема 5.5 Метод царапания (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Алмазным конусом, пирамидой или шариком наносится царапина, которая является мерой. При нанесении царапин на другие материалы и сравнении их с мерой судят о твердости материала.

Можно нанести царапину шириной 10 мм под действием определенной нагрузки. Наблюдают за величиной нагрузки, которая дает эту ширину.

### Тема 5.6 Динамический метод (по Шору) (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Шарик бросают на поверхность с заданной высоты, он отскакивает на определенную величину. Чем больше величина отскока, тем тверже материал.

В результате проведения динамических испытаний на ударный изгиб специальных образцов с надрезом (ГОСТ 9454) оценивается вязкость материалов и устанавливается их склонность к переходу из вязкого состояния в хрупкое.

Вязкость – способность материала поглощать механическую энергию внешних сил за счет пластической деформации.

Является энергетической характеристикой материала, выражается в единицах работы. Вязкость металлов и сплавов определяется их химическим составом, термической обработкой и другими внутренними факторами.

Также вязкость зависит от условий, в которых работает металл (температуры, скорости нагружения, наличия концентраторов напряжения).

### Тема 5.7 Влияние температуры (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

С повышением температуры вязкость увеличивается (см. рис. 7. 2). Предел текучести  $\sigma_T$  существенно изменяется с изменением температуры, а сопротивление отрыву  $\sigma_{OT}$  не зависит от температуры. При температуре выше  $T_B$  предел текучести меньше сопротивления отрыву. При нагружении сначала имеет место пластическое деформирование, а потом – разрушение. Металл находится в вязком состоянии.

При температуре ниже  $T_B$  сопротивление отрыву меньше предела текучести. В этом случае металл разрушается без предварительной деформации, то есть находится в хрупком состоянии. Переход из вязкого состояния в хрупкое осуществляется в интервале температур  $T_B - T_H$ .

Хладоломкостью называется склонность металла к переходу в хрупкое состояние с понижением температуры.

Хладоломкими являются железо, вольфрам, цинк и другие металлы, имеющие объемноцентрированную кубическую и гексагональную плотноупакованную кристаллическую решетку.

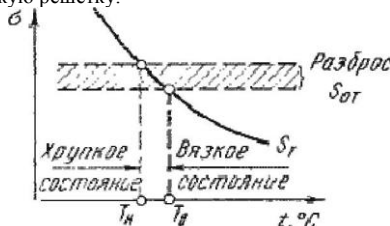


Рис. 7.2. Влияние температуры на пластическое и хрупкое состояние

Способы оценки вязкости

Ударная вязкость характеризует надежность материала, его способность сопротивляться хрупкому разрушению.

Испытание проводят на образцах с надрезами определенной формы и размеров. Образец устанавливают на опорах копра надрезом в сторону, противоположную удару ножа маятника, который поднимают на определенную высоту (рис. 7.3).

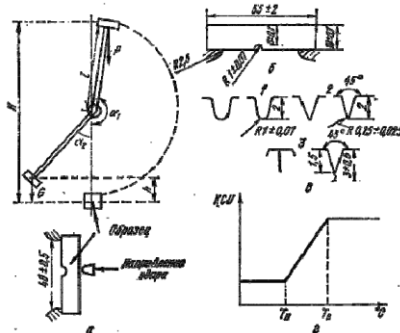


Рис. 7.3. Схема испытания на ударную вязкость:

а – схема маятникового копра; б – стандартный образец с надрезом; в – виды концентраторов напряжений; г – зависимость вязкости от температуры

На разрушение образца затрачивается работа:

$$A = P(H - h)$$

где: P – вес маятника, H – высота подъема маятника до удара, h – высота подъема маятника после удара.

Характеристикой вязкости является ударная вязкость (ан), - удельная работа разрушения.

$$a_n = \frac{A}{F_0}$$

где: F<sub>0</sub> - площадь поперечного сечения в месте надреза.

ГОСТ 9454 – 78 ударную вязкость обозначает KCV, KCU, KCT, KC – символ ударной вязкости, третий символ показывает вид надреза: острый (V), с радиусом закругления (U), трещина (T) (рис. 7.3 в)

Серийные испытания для оценки склонности металла к хладоломкости и определения критических порогов хладоломкости.

Испытывают серию образцов при различных температурах и строят кривые ударная вязкость – температура (ан – T) (рис. 7.3 г), определяя пороги хладоломкости.

Порог хладоломкости - температурный интервал изменения характера разрушения, является важным параметром конструкционной прочности. Чем ниже порог хладоломкости, тем менее чувствителен металл к концентраторам напряжений (резкие переходы, отверстия, риски), к скорости деформации.



### Тема 5.8 Оценка вязкости по виду излома (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

При вязком состоянии металла в изломе более 90 % волокон, за верхний порог хладоломкости  $T_v$  принимается температура, обеспечивающая такое состояние. При хрупком состоянии металла в изломе 10 % волокон, за нижний порог хладоломкости  $T_n$  принимается температура, обеспечивающая такое состояние. В технике за порог хладоломкости принимают температуру, при которой в изломе 50 % вязкой составляющей. Причем эта температура должна быть ниже температуры эксплуатации изделий не менее чем на 40°C.

Испытания на выносливость (ГОСТ 2860) дают характеристики усталостной прочности.

Усталость – разрушение материала при повторных знакопеременных напряжениях, величина которых не превышает предела текучести.

Усталостная прочность – способность материала сопротивляться усталости.

Процесс усталости состоит из трех этапов, соответствующие этим этапам зоны в изломе показаны на рис.7.4.

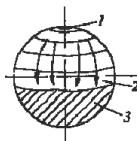


Рис 7.4. Схема зарождения и развития трещины при переменном изгибе круглого образца

1 – образование трещины в наиболее нагруженной части сечения, которая подвергалась микродеформациям и получила максимальное упрочнение

2 – постепенное распространение трещины, гладкая притертая поверхность

3 – окончательное разрушение, зона “долома”, живое сечение уменьшается, а истинное напряжение увеличивается, пока не происходит разрушение хрупкое или вязкое.

Характеристики усталостной прочности определяются при циклических испытаниях “изгиб при вращении”. Схема представлена на рис. 7.5.

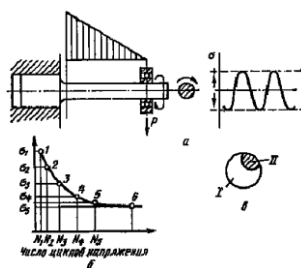


Рис. 7.5. Испытания на усталость (а), кривая усталости (б)

### Тема 5.9 Основные характеристики (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Предел выносливости ( $\sigma_{-1}$  – при симметричном изменении нагрузки,  $\sigma_0$  – при несимметричном изменении нагрузки) – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за произвольно большое число циклов нагружения  $N$ .

Ограниченный предел выносливости – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за определенное число циклов нагружения или время.

Живучесть – разность между числом циклов до полного разрушения и числом циклов до появления усталостной трещины.

### Тема 5.10 Технологические свойства (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться различным способам холодной и горячей обработки.

Литейные свойства.

Характеризуют способность материала к получению из него качественных отливок.

Жидкотекучесть – характеризует способность расплавленного металла заполнять литейную форму.

Усадка (линейная и объемная) – характеризует способность материала изменять свои линейные размеры и объем в процессе затвердевания и охлаждения. Для предупреждения линейной усадки при создании моделей используют нестандартные метры.

Ликвация – неоднородность химического состава по объему.

Способность материала к обработке давлением.

Это способность материала изменять размеры и форму под влиянием внешних нагрузок не разрушаясь.

Она контролируется в результате технологических испытаний, проводимых в условиях, максимально приближенных к производственным.

Листовой материал испытывают на перегиб и вытяжку сферической лунки. Проволоку испытывают на перегиб, скручивание, на навивание. Трубы испытывают на раздачу, сплющивание до определенной высоты и изгиб.

Критерием годности материала является отсутствие дефектов после испытания.

Свариваемость.

Это способность материала образовывать неразъемные соединения требуемого качества. Оценивается по качеству сварного шва.

Способность к обработке резанием.

Характеризует способность материала поддаваться обработке различным режущим инструментом. Оценивается по стойкости инструмента и по качеству поверхностного слоя.

### Тема 5.11 Эксплуатационные свойства (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Эксплуатационные свойства характеризуют способность материала работать в конкретных условиях.

Износостойкость – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.

Коррозионная стойкость – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.

Жаростойкость – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.

Жаропрочность – это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах.

Хладостойкость – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.

Антифрикционность – способность материала прирабатываться к другому материалу.

Эти свойства определяются специальными испытаниями в зависимости от условий работы изделий.

При выборе материала для создания конструкции необходимо полностью учитывать механические, технологические и эксплуатационные свойства.

## Раздел 6. Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния железо – углерод.

### Тема 6.1 Диаграмма состояния железо (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны – важнейшие металлические сплавы современной техники. Производство чугуна и стали по объему превосходит производство всех других металлов вместе взятых более чем в десять раз.

Диаграмма состояния железо – углерод дает основное представление о строении железоуглеродистых сплавов – сталей и чугунов.

Начало изучению диаграммы железо – углерод положил Чернов Д.К. в 1868 году. Чернов впервые указал на существование в стали критических точек и на зависимость их положения от содержания углерода.

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% углерод а.

Диаграмма состояния железо – цементит представлена на рис. 9.1.

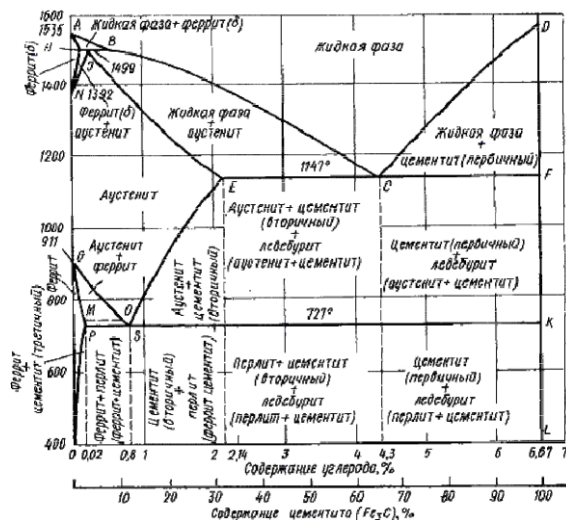


Рис. 9.1. Диаграмма состояния железо - цементит

Компоненты и фазы железоуглеродистых сплавов Компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо, углерод и цементит.

1. Железо – переходный металл серебристо-светлого цвета. Имеет высокую температуру плавления –  $1539 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях. Полиморфные превращения происходят при температурах 911 °C и 1392 °C. При температуре ниже 911° C существует  $Fe_\alpha$  с объемно-центрированной кубической решеткой. В интервале температур 911...1392 °C устойчивым является  $Fe_\gamma$  с гранцентрированной кубической решеткой. Выше 1392 °C железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку и называется  $Fe_\beta$  или высокотемпературное  $Fe_\alpha$ . Высокотемпературная модификация  $Fe_\alpha$  представляет собой новой аллотропической формы. Критическую температуру 911°C превращения  $Fe_\alpha \leftrightarrow Fe_\gamma$  обозначают точкой  $A_3$ , а температуру 1392°C превращения  $Fe_\gamma \leftrightarrow Fe_\beta$  - точкой  $A_4$ . При температуре ниже 768 °C железо ферромагнитно, а выше – парамагнитно. Точка Кюри железа 768° C обозначается  $A_2$ .

Железо технической чистоты обладает невысокой твердостью (80 НВ) и прочностью (предел прочности –  $\sigma_b$ , предел текучести –  $\sigma_t$ ) и высокими характеристиками пластичности (относительное удлинение  $\delta=50\%$ , а относительное сужение  $\Psi = 80\%$ ). Свойства могут изменяться в некоторых пределах в зависимости от величины зерна.

Железо характеризуется высоким модулем упругости, наличие которого проявляется и в сплавах на его основе, обеспечивая высокую жесткость деталей из этих сплавов.

Железо со многими элементами образует растворы: с металлами – растворы замещения, с углеродом, азотом и водородом – растворы внедрения.

2. Углерод относится к неметаллам. Обладает полиморфным превращением, в зависимости от условий образования существует в форме графита с гексагональной кристаллической решеткой (температура плавления – 3500 0C, плотность – 2,5 г/см3) или в форме алмаза со сложной кубической решеткой с координационным числом равным четырем (температура плавления – 5000 °C).

В сплавах железа с углеродом углерод находится в состоянии твердого раствора с железом и в виде химического соединения – цементита ( $Fe_3C$ ), а также в свободном состоянии в виде графита (в серых чугунах).

3. Цементит ( $Fe_3C$ ) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа), содержит 6,67 % углерода.

Аллотропических превращений не испытывает. Кристаллическая решетка цементита состоит из ряда октаэдров, оси которых наклонены друг к другу.

Температура плавления цементита точно не установлена (1250, 1550 °C). При низких температурах цементит слабо ферромагнитен, магнитные свойства теряет при температуре около 217 °C.

Цементит имеет высокую твердость (более 800 НВ, легко царапает стекло), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность. Такие свойства являются следствием сложного строения кристаллической решетки.

Цементит способен образовывать твердые растворы замещения. Атомы углерода могут замещаться атомами неметаллов: азотом, кислородом; атомы железа – металлами: марганцем, хромом, вольфрамом и др. Такой твердый раствор на базе решетки цементита называется легированным цементитом.

Цементит – соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита. Этот процесс имеет важное практическое значение при структурообразовании чугунов.

В системе железо – углерод существуют следующие фазы: жидкая фаза, феррит, аустенит, цементит.

1. Жидкая фаза. В жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях с образованием однородной жидкой фазы.

2. Феррит (Ф)  $Fe_\alpha$  (С) – твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железо. Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,006 % при комнатной температуре (точка Q) , максимальную – 0,02 % при температуре 727 °C ( точка P). Углерод располагается в дефектах решетки. При температуре выше 1392 °C существует высокотемпературный феррит ( $Fe_\beta$ ) с предельной растворимостью углерода 0,1 % при температуре 1499° C (точка J).

Свойства феррита близки к свойствам железа. Он мягок (твердость – 130 НВ, предел прочности –  $\sigma_b$  300 Мпа, и пластичен (относительное удлинение –  $\delta = 30\%$ ), магнитен до 768 °C.

Аустенит (А)  $Fe_\gamma$  (С) – твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железо.

Углерод занимает место в центре гранцентрированной к кубической ячейки. Аустенит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,8 % при температуре 727 °C (точка S), максимальную – 2,14 % при температуре 1147° C ( точка E).

Аустенит имеет твердость 200...250 НВ, пластичен (относительное удлинение –  $\delta = 40\text{-}50\%$

При растворении в аустените других элементов могут изменяться свойства и температурные границы существования.

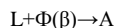
Цементит – характеристика дана выше.

В железоуглеродистых сплавах присутствуют фазы: цементит первичный ( $\Pi_1$ ), цементит вторичный ( $\Pi_2$ ), цементит третичный ( $\Pi_3$ ). Химические и физические свойства этих фаз одинаковы. Влияние на механические свойства сплавов оказывает различие в размерах, количестве и расположении этих выделений. Цементит первичный выделяется из жидкой фазы в виде крупных пластинчатых кристаллов. Цементит вторичный выделяется из аустенита и располагается в виде сетки вокруг зерен аустенита (при охлаждении – вокруг зерен перлита). Цементит третичный выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зерен.

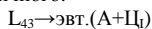
## Тема 6.2 Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов (Лекция – дискуссия – 2 час.)

Линия ABCD – ликвидус системы. На участке АВ начинается кристаллизация феррита ( $\beta$ ), на участке ВС начинается кристаллизация аустенита, на участке CD – кристаллизация цемента первичного.

Линия АНЖЕСF – линия солидус. На участке АН заканчивается кристаллизация феррита ( $\beta$ ). На линии НЖВ при постоянной температуре 1499°C идет перетектическое превращение, заключающееся в том, что жидкая фаза реагирует с ранее образовавшимися кристаллами феррита ( $\beta$ ), в результате чего образуется аустенит:



На участке JE заканчивается кристаллизация аустенита. На участке ECF при постоянной температуре 1147° С идет эвтектическое превращение, заключающееся в том, что жидкость, содержащая 4,3 % углерода превращается в эвтектическую смесь аустенита и цемента первичного:



Эвтектика системы железо – цементит называется ледебуритом (Л), по имени немецкого ученого Ледебура, содержит 4,3 % углерода.

При температуре ниже 727°C в состав ледебурита входят цементит первичный и перлит, его называют ледебурит превращенный (ЛП).

По линии HN начинается превращение феррита ( $\beta$ ) в аустенит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии NJ превращение феррита ( $\beta$ ) в аустенит заканчивается.

По линии GS превращение аустенита в феррит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии PG превращение аустенита в феррит заканчивается.

По линии ES начинается выделение цемента вторичного из аустенита, обусловленное снижением растворимости углерода в аустените при понижении температуры.

По линии MO при постоянной температуре 768°C имеют место магнитные превращения.

По линии PSK при постоянной температуре 727°C идет эвтектоидное превращение, заключающееся в том, что аустенит, содержащий 0,8 % углерода, превращается в эвтектоидную смесь феррита и цемента вторичного.

По механизму данное превращение похоже на эвтектическое, но протекает в твердом состоянии.

Эвтектоид системы железо – цементит называется перлитом (П), содержит 0,8 % углерода.

Название получил за то, что на полированном и протравленном шлифе наблюдается перламутровый блеск.

Перлит может существовать в зернистой и пластинчатой форме, в зависимости от условий образования.

По линии PQ начинается выделение цемента третичного из феррита, обусловленное снижением растворимости углерода в феррите при понижении температуры.

Температуры, при которых происходят фазовые и структурные превращения в сплавах системы железо – цементит, т.е. критические точки, имеют условные обозначения.

Обозначаются буквой А (от французского *arrêt* – остановка):

A<sub>1</sub> - линия PSK (727 °C) – превращение П ↔ А;

A<sub>2</sub> - линия MO (768 °C, т. Кюри) – магнитные превращения;

A<sub>3</sub> - линия GOS (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение Ф ↔ А;

A<sub>4</sub> - линия NJ (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение А ↔ Ф(β);

A<sub>cm</sub> – линия SE (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – начало выделения цемента вторичного (иногда обозначается АЗ).

Так как при нагреве и охлаждении превращения совершаются при различных температурах, чтобы отличить эти процессы вводятся дополнительные обозначения. При нагреве добавляют букв у с, т.е. А<sub>с1</sub>, при охлаждении – букву г, т.е. А<sub>г1</sub>.

## Тема 6.3 Структуры железоуглеродистых сплавов (Лекция – дискуссия – 2 час.)

Все сплавы системы железо – цементит по структурному признаку делят на две большие группы: стали и чугуны.

Особую группу составляют сплавы с содержанием углерода менее 0,02% (точка Р), их называют техническое железо. Микроструктуры сплавов представлены на рис.9.2. Структура таких сплавов после окончания кристаллизации состоит или из зерен феррита (рис.9.2 а), при содержании углерода менее 0,006 %, или из зерен феррита и кристаллов цемента третичного, расположенных по границам зерен феррита (рис.9.2.б), если содержание углерода от 0,006 до 0,02 %.

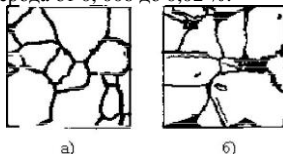


Рис.9.2. Микроструктуры технического железа:  
а – содержание углерода менее 0,006%; б – содержание углерода 0,006...0,02 %

Углеродистыми сталями называют сплавы железа с углеродом, содержащие 0,02...2,14 % углерода, заканчивающие кристаллизацию образованием аустенита.

Они обладают высокой пластичностью, особенно в аустенитном состоянии.

Структура сталей формируется в результате перекристаллизации аустенита. Микроструктуры сталей представлены на рис. 9.3.

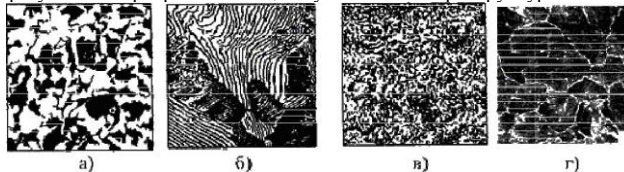


Рис. 9.3. Микроструктуры сталей:

а – доэвтектоидная сталь (Ф+П); б – эвтектоидная сталь (пластинчатый перлит); в – эвтектоидная сталь (зернистый перлит); г – заэвтектоидная сталь (П+Ц<sub>п</sub>)

По содержанию углерода и по структуре стали подразделяются на:

- доэвтектоидные (0,02%<C<0,8%), структура феррит + перлит Рис. 9.3 а;

- эвтектоидные (C = 0,8%), структура перлит (перлит может быть пластинчатым Рис 9,3 б или зернистым Рис. 9.3 в);

- заэвтектоидным (0,8%<C<2,14%), структура перлит + цементит вторичный (цементитная сетка располагается вокруг зерен перлита).

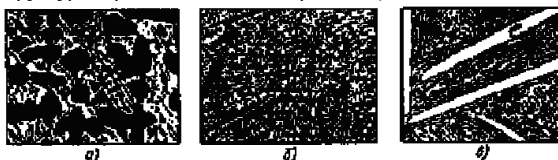


Рис. 9.4. Микроструктуры белых чугунов:

а – доэвтектический белый чугун (П+Л+Ц<sub>п</sub>); б – эвтектический белый чугун (Л); в – заэвтектический белый чугун (Л+Ц<sub>п</sub>).

По количеству углерода и по структуре белые чугуны подразделяются на:

- доэвтектические ( $2,14\% < C < 4,3\%$ ) – структура перлит + ледебурит + цементит вторичный Рис. 9.4 а;
- эвтектоидный ( $C - 4,3\%$ ) – структура ледебурит Рис. 9.4 б;
- заэвтектоидный ( $4,3\% < C < 6,67\%$ ) – структура ледебурит + цементит первичный Рис. 9.4 в.

В структуре доэвтектических белых чугунов присутствует цементит вторичный, который образуется в результате изменения состава аустенита при охлаждении (по линии ES). В структуре цементит вторичный сливается с цементитом, входящим в состав ледебурита.

Фазовый состав сталей и чугунов при нормальных температурах один и тот же, они состоят из феррита и цементита. Однако свойства сталей и белых чугунов значительно различаются. Таким образом, основным фактором, определяющим свойства сплавов системы железо – цементит является их структура.

## Раздел 7. Виды термической обработки металлов. Основы теории термической обработки стали

### Тема 7.1 Виды термической обработки металлов (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Свойства сплава зависят от его структуры. Основным способом, позволяющим изменять структуру, а, следовательно, и свойства является термическая обработка.

Основы термической обработки разработал Чернов Д.К. В дальнейшем они развивались в работах Бочвара А.А., Курдюмова Г.В., Гуляева А.П.

Термическая обработка представляет собой совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения, выполняемых в определенной последовательности при определенных режимах, с целью изменения внутреннего строения сплава и получения нужных свойств (представляется в виде графика в осях температура – время, см. рис. 12.1).

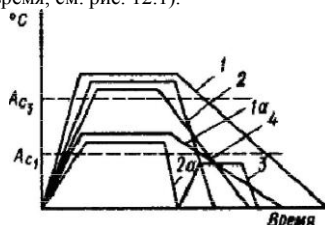


Рис.12.1. Графики различных видов термообработки: отжига (1, 1а), закалки (2, 2а), отпуска (3), нормализации (4)

Различают следующие виды термической обработки:

1. Отжиг 1 рода – возможен для любых металлов и сплавов.

Проводят отжиг второго рода с целью получения более равновесной структуры и подготовки ее к дальнейшей обработке. В результате отжига измельчается зерно, повышаются пластичность и вязкость, снижаются прочность и твердость, улучшается обрабатываемость резанием.

Характеризуется нагревом до температур выше критических и очень медленным охлаждением, как правило, вместе с печью (рис. 12.1 (1, 1а)).

3. Закалка – проводится для сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии при нагреве и охлаждении, с целью повышения твердости и прочности путем образования неравновесных структур (сорбит, троостит, мартенсит).

Характеризуется нагревом до температур выше критических и высокими скоростями охлаждения (рис. 12.1 (2, 2а)).

4. Отпуск – проводится с целью снятия внутренних напряжений, снижения твердости и увеличения пластичности и вязкости закаленных сталей.

Характеризуется нагревом до температуры ниже критической  $A_1$  (рис. 12.1 (3)). Скорость охлаждения роли не играет. Происходят превращения, уменьшающие степень неравновесности структуры закаленной стали.

Термическую обработку подразделяют на предварительную и окончательную.

Предварительная – применяется для подготовки структуры и свойств материала для последующих технологических операций (для обработки давлением, улучшения обрабатываемости резанием).

Окончательная – формирует свойство готового изделия.

### Тема 7.2 Превращения, протекающие в структуре стали при нагреве и охлаждении (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Любая разновидность термической обработки состоит из комбинации четырех основных превращений, в основе которых лежат стремления системы к минимуму свободной энергии (рис 12.2).

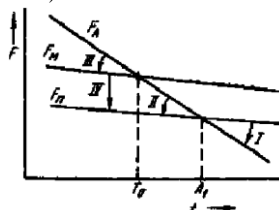
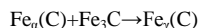
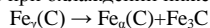


Рис. 12.2. Зависимость свободной энергии структурных составляющих сталей от температуры: аустенита ( $F_A$ ), мартенсита ( $F_M$ ), перлита ( $F_P$ )

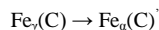
1. Превращение перлита в аустенит  $P \rightarrow A$ , происходит при нагреве выше критической температуры  $A_1$ , минимальной свободной энергией обладает аустенит.



2. Превращение аустенита в перлит  $A \rightarrow P$ , происходит при охлаждении ниже  $A_1$ , минимальной свободной энергией обладает перлит:

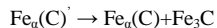


3. Превращение аустенита в мартенсит  $A \rightarrow M$ , происходит при быстром охлаждении ниже температуры неустойчивого равновесия.



(мартенсит - это зерна игольчатой формы в микроструктуре металла, представляющие собой перенасыщенный твердый раствор углерода в альфа-железе. Такая структура характерна для сталей, прошедших процедуру закалки, а также для некоторых чистых металлов, обладающих полиморфизмом. Своим названием мартенсит обязан Адольфу Мартенсу – немецкому ученому, посвятившему большую часть своей жизни вопросам изучения металлов и их свойств. Следует отметить, что мартенситные стали из-за особенностей своей структуры отличаются самой высокой твердостью среди подобных материалов.)

4. Превращение мартенсита в перлит  $M \rightarrow P$ ; – происходит при любых температурах, т.к. свободная энергия мартенсита больше, чем свободная энергия перлита.



### Тема 7.3 Механизм основных превращений (Лекция – дискуссия – 1 час.)

1. Превращение перлита в аустенит.

Превращение основано на диффузии углерода, сопровождается полиморфным превращением  $Fe_\alpha \rightarrow Fe_\gamma$ , а так же растворением цементита в аустените.

Для исследования процессов строят диаграммы изотермического образования аустенита (рис.12.3). Для этого образцы нагревают до температуры выше  $A_1$  и выдерживают, фиксируя начало и конец превращения.

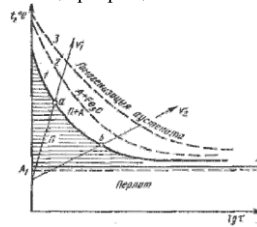


Рис. 12.3. Диаграмма изотермического образования аустенита:  
1 - начало образования аустенита; 2 - конец преобразования перлита в аустенит;  
3 - полное растворение цементита.

С увеличением перегрева и скорости нагрева продолжительность превращения сокращается. Механизм превращения представлен на рис.12.4.

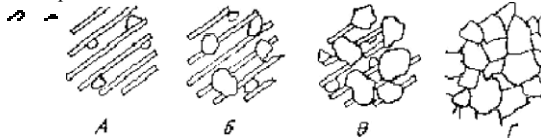


Рис. 12.4. Механизм превращения перлита в аустенит.

Превращение начинается с зарождения центров аустенитных зерен на поверхности раздела феррит – цементит, кристаллическая решетка перестраивается в решетку  $Fe_\gamma$ .

Время превращения зависит от температуры, так как с увеличением степени перегрева уменьшается размер критического зародыша аустенита, увеличиваются скорость возникновения зародышей и скорость их роста.

Образующиеся зерна аустенита имеют вначале такую же концентрацию углерода, как и феррит. Затем в аустените начинает растворяться вторая фаза перлита – цементит, следовательно, концентрация углерода увеличивается. Превращение  $Fe_\alpha$  в  $Fe_\gamma$  идет быстрее. После того, как весь цементит растворится, аустенит неоднороден по химическому составу: там, где находились пластинки цементита концентрация углерода более высокая. Для завершения процесса перераспределения углерода в аустените требуется дополнительный нагрев или выдержка.

Величина образовавшегося зерна аустенита оказывает влияние на свойства стали.

Рост зерна аустенита. Образующиеся зерна аустенита получаются мелкими (начальное зерно). При повышении температуры или выдержке происходит рост зерна аустенита. Движущей силой роста является разность свободных энергий мелкозернистой (большая энергия) и крупнозернистой (малая энергия) структуры аустенита.

Стали различают по склонности к росту зерна аустенита. Если зерно аустенита начинает быстро расти даже при незначительном нагреве выше температуры  $A_1$ , то сталь наследственно крупнозернистая. Если зерно растет только при большом перегреве, то сталь наследственно мелкозернистая.

Склонность к росту аустенитного зерна является плавочной характеристикой. Стали одной марки, но разных плавок могут различаться, так как содержат неодинаковое количество неметаллических включений, которые затрудняют рост аустенитного зерна.

Ванадий, титан, молибден, вольфрам, алюминий – уменьшают склонность к росту зерна аустенита, а марганец и фосфор – увеличивают ее.

Заэвтектоидные стали менее склонны к росту зерна.

При последующем охлаждении зерна аустенита не измельчаются. Это следует учитывать при назначении режимов термической обработки, так как от размера зерна зависят механические свойства. Крупное зерно снижает сопротивление отрыву, ударную вязкость, повышает порог хладломкости.

Различают величину зерна наследственного и действительного.

Для определения величины наследственного зерна, образцы нагревают до  $930^\circ C$  и затем определяют размер зерна.

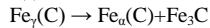
Действительная величина зерна – размер зерна при обычных температурах полученный после той или иной термической обработки.

Неправильный режим нагрева может привести либо к перегреву, либо к пережогу стали.

Перегрев. Нагрев доэвтектоидной стали значительно выше температуры  $A_3$  приводит к интенсивному росту зерна аустенита. При охлаждении феррит выделяется в виде пластинчатых или игольчатых кристаллов. Такая структура называется видманштеттовой структурой и характеризуется пониженными механическими свойствами. Перегрев можно исправить повторным нагревом до оптимальных температур с последующим медленным охлаждением.

Пережог имеет место, когда температура нагрева приближается к температуре плавления. При этом наблюдается окисление границ зерен, что резко снижает прочность стали. Излом такой стали камневидный. Пережог – неисправимый брак.

## 2. Превращение аустенита в перлит при медленном охлаждении



Превращение связано с диффузией углерода, сопровождается полиморфным превращением  $Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$ , выделением углерода из аустенита в виде цементита, разрастанием образовавшегося цементита.

В зависимости от степени переохлаждения различают три области превращения. Вначале, с увеличением переохлаждения скорость превращения возрастает, а затем убывает. При температуре  $727^\circ C$  и ниже  $200^\circ C$  скорость равна нулю. При температуре  $200^\circ C$  равна нулю скорость диффузии углерода.

## Тема 7.4 Закономерности превращения (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Образцы нагревают до температуры, при которой структура состоит из однородного аустенита ( $770^\circ C$ ). Затем переносят в термостаты с заданной температурой (интервал  $25 - 50^\circ C$ ). Превращение аустенита можно легко обнаружить с помощью наблюдений за изменением магнитных характеристик, так как аустенит парамагнитен, а феррит и цементит обладают магнитными свойствами.

Получают серию кинетических кривых (рис. 12.5 а), которые показывают количество образовавшегося перлита в зависимости от времени, прошедшего с начала превращения.

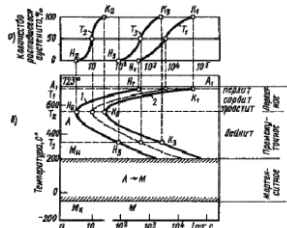


Рис. 12.5. Кинетические кривые превращения аустенита при охлаждении (а);  
диаграмма изотермического превращения аустенита (б)

Вначале наблюдается инкубационный подготовительный период, время, в течение которого сохраняется переохлажденный аустенит. Превращение протекает с различной скоростью и достигает максимума при образовании 50 % продуктов распада.

Затем скорость начинает уменьшаться и постепенно затухает. С увеличением степени переохлаждения устойчивость аустенита уменьшается, а затем увеличивается.

Горизонтальная линия  $M_s$  показывает температуру начала бездиффузного мартенситного превращения. Такие диаграммы называются диаграммами изотермического превращения аустенита (рис. 12.5 б).

При малых степенях переохлаждения, в области температур 727...550 °С, сущность превращения заключается в том, что в результате превращения аустенита образуется механическая смесь феррита и цементита, состав которой отличается от состава исходного аустенита. Аустенит содержит 0,8 % углерода, а образующиеся фазы: феррит – 0,02 %, цементит – 6,67 % углерода.

Время устойчивости аустенита и скорость его превращения зависят от степени переохлаждения.

Максимальная скорость превращения соответствует переохлаждению ниже температуры  $A_1$  на 150...200 °С, то есть соответствует минимальной устойчивости аустенита.

Механизм превращения представлен на рис. 12.6.

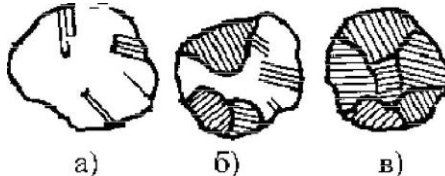


Рис. 12.6. Механизм превращения аустенита в перлит

При образовании перлита из аустенита ведущей фазой является цементит. Зарождение центров кристаллизации цементита облегчено на границе аустенитных зерен. Образовавшаяся пластинка цементита растет, удлиняется и обедняет соседние области углеродом. Рядом с ней образуются пластинки феррита. Эти пластинки растут как по толщине, так и по длине. Рост образовавшихся колоний перлита продолжается до столкновения с кристаллами перлита, растущими из других центров.

Свойства и строение продуктов превращения аустенита зависят от температуры, при которой происходит процесс его распада.

Толщина соседних пластинок феррита и цементита определяет дисперсность структуры и обозначается  $\Delta_0$ . Она зависит от температуры превращения. В зависимости от дисперсности продукты распада имеют различное название.

$\Delta_0 \approx (0,5 \dots 0,7) \cdot 10^{-3}$  мм – перлит.

Образуется при переохлаждении до температуры  $T = 650 \dots 700$  °С, или при скорости охлаждения  $V_{\text{охл.}} = 30 \dots 60$  °С/ч. Твердость составляет 180...200 НВ.

$\Delta_0 = 0,25 \cdot 10^{-3}$  мм – сорбит.

Образуется при переохлаждении до температуры  $T = 600 \dots 650$  °С, или при скорости охлаждения  $V_{\text{охл.}} = 60$  °С/с. Твердость составляет 250...350 НВ. Структура характеризуется высоким пределом упругости, достаточной вязкостью и прочностью.

$\Delta_0 = 0,1 \cdot 10^{-3}$  мм – тростит.

Образуется при переохлаждении до температуры  $T = 550 \dots 600$  °С, или при скорости охлаждения  $V_{\text{охл.}} = 150$  °С/с. Твердость составляет 350...450 НВ. Структура характеризуется высоким пределом упругости, малой вязкостью и пластичностью.

Твердость ферритно-цементитной смеси прямо пропорциональна площади поверхности раздела между ферритом и цементитом.

Если температура нагрева незначительно превышала температуру  $A_1$  и полученный аустенит неоднороден по составу, то при малой степени переохлаждения образуется зернистый перлит.

Промежуточное превращение

При температуре ниже 550 °С самодиффузия атомов железа практически не происходит, а атомы углерода обладают достаточной подвижностью.

Механизм превращения состоит в том, что внутри аустенита происходит перераспределение атомов углерода и участки аустенита, обогащенные углеродом превращаются в цементит.

Превращение обедненного углеродом аустенита в феррит происходит по сдвиговому механизму, путем возникновения и роста зародышей феррита. Образующиеся при этом кристаллы имеют игольчатую форму.

Такая структура, состоящая из цементита и феррита, называется бейнитом. Особенностью является повышенное содержание углерода в феррите (0,1...0,2%).

Дисперсность кристаллов феррита и цементита зависят от температуры превращения.

При температуре 550°  $\Delta_0 = 0,12 \cdot 10^{-3}$  мм – верхний бейнит. Структура характеризуется недостаточной прочностью, при низких относительном удлинении и ударной вязкости.

При температуре 300°  $\Delta_0 = 0,08 \cdot 10^{-3}$  мм – нижний бейнит. Структура характеризуется высокой прочностью в сочетании с пластичностью и вязкостью.

### Тема 7.5 Превращение аустенита в мартенсит при высоких скоростях охлаждения (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Данное превращение имеет место при высоких скоростях охлаждения, когда диффузионные процессы подавляются. Сопровождается полиморфным превращением  $Fe_\gamma$  в  $Fe_\alpha$ .

При охлаждении стали со скоростью, большей критической ( $V > V_k$ ), превращение начинается при температуре начала мартенситного превращения ( $M_s$ ) и заканчивается при температуре окончания мартенситного превращения ( $M_f$ ). В результате такого превращения аустенита образуется продукт закалки – мартенсит.

Минимальная скорость охлаждения  $V_k$ , при которой весь аустенит переохлаждается до температуры  $t_{M_s}$  и превращается, называется критической скоростью закалки.

Так как процесс диффузии не происходит, то весь углерод аустенита остается в решетке  $Fe_\alpha$  и располагается либо в центрах тетраэдров, либо в середине длинных ребер (рис. 13.1).

Мартенсит – пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в  $Fe_\alpha$ .

При образовании мартенсита кубическая решетка  $Fe_\alpha$  сильно искажается, превращаясь в тетрагональную (рис. 13.1 а). Искажение решетки характеризуется степенью тетрагональности:  $c/a > 1$ . Степень тетрагональности прямо пропорциональна содержанию углерода в стали (рис. 13.1 б).

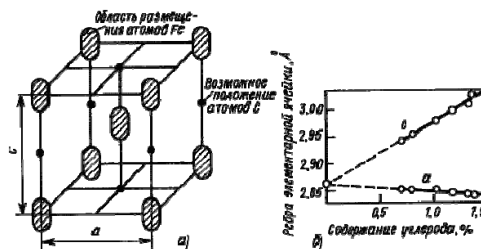


Рис. 13.1. Кристаллическая решетка мартенсита (а); влияние содержания углерода на параметры а и с решетки мартенсита (б)



Механизм мартенситного превращения имеет ряд особенностей.

1. Бездиффузионный характер.

Превращение осуществляется по сдвиговому механизму. В начале превращения имеется непрерывный переход от решетки аустенита к решетке мартенсита (когерентная связь). При превращении гранецентрированной кубической решетки в объемно-центрированную кубическую атомы смещаются на расстояния меньше межатомных, т.е. нет необходимости в самодиффузии атомов железа.

2. Ориентированность кристаллов мартенсита.

Кристаллы имеют форму пластин, сужающихся к концу, под микроскопом такая структура выглядит как игольчатая. Образуюсь мгновенно, пластины растут либо до границы зерна аустенита, либо до дефекта. Следующие пластины расположены к первым под углами  $60^\circ$  или  $120^\circ$ , их размеры ограничены участками между первыми пластинами (рис. 13.2).



Рис. 13.2. Ориентированность кристаллов мартенсита

Ориентированный (когерентный) рост кристаллов мартенсита обеспечивает минимальную поверхностную энергию. При когерентном росте, из-за различия объемов аустенита и мартенсита, возникают большие напряжения. При достижении определенной величины кристаллов мартенсита, эти напряжения становятся равными пределу текучести аустенита. В результате этого нарушается когерентность и происходит отрыв решетки мартенсита от решетки аустенита. Рост кристаллов прекращается.

3. Очень высокая скорость роста кристалла, до 1000 м/с.

4. Мартенситное превращение происходит только при непрерывном охлаждении. Для каждой стали начинается и заканчивается при определенной температуре, независимо от скорости охлаждения. Температуру начала мартенситного превращения называют мартенситной точкой  $M_N$ , а температуру окончания превращения –  $M_K$ . Температуры  $M_N$  и  $M_K$  зависят от содержания углерода и не зависят от скорости охлаждения. Для сталей с содержанием углерода выше 0,6 % уходит в область отрицательных температур (рис.13.3).

Мартенситное превращение чувствительно к напряжениям, и деформация аустенита может вызвать превращение даже при температурах выше  $M_N$ .

В сталях с  $M_K$  ниже  $200^\circ\text{C}$  присутствует аустенит остаточный, его количество тем больше, чем ниже  $M_N$  и  $M_K$  (при содержании углерода 0,6...1,0 % количество аустенита остаточного – 10 %, при содержании углерода 1,5 % - до 50 %). В микроструктуре наблюдается в виде светлых полей между иглами мартенсита.

5. Превращение не обратимое. Получить аустенит из мартенсита невозможно.

Свойства мартенсита обусловлены особенностями его образования. Он характеризуется высокой твердостью и низкой пластичностью, что обуславливает хрупкость.

Твердость составляет до 65 HRC. Высокая твердость вызвана влиянием внедренных атомов углерода в решетку  $\alpha$ -фазы, что вызывает ее искажение и возникновение напряжений. С повышением содержания углерода в стали возрастает склонность к хрупкому разрушению.

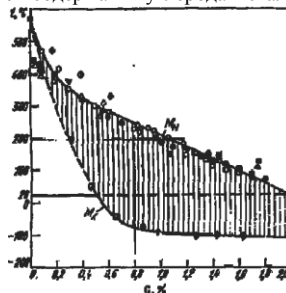


Рис. 13.3. Зависимость температур начала ( $M_N$ ) и конца ( $M_K$ ) мартенситного превращения от содержания углерода в стали

### Тема 7.6 Превращение мартенсита в перлит (Лекция – дискуссия – 1 час.)

Имеет место при нагреве закаленных сталей. Превращение связано с диффузией углерода.

Мартенсит закалки неравновесная структура, сохраняющаяся при низких температурах. Для получения равновесной структуры изделия подвергают отпуску.

При нагреве закаленной стали происходят следующие процессы.

При нагреве до  $200^\circ\text{C}$  происходит перераспределение углерода в мартенсите. Образуются пластинки  $\epsilon$  – карбидов толщиной несколько атомных диаметров. На образование карбидов углерод расходуется только из участков мартенсита, окружающих кристаллы выделившихся карбидов. Концентрация углерода на этих участках резко падает, тогда, как удаленные участки сохраняют концентрацию углерода. В стали присутствуют карбиды и два  $\alpha$  -твердых раствора мартенсита (с высокой и низкой концентрацией углерода). Такой тип распада мартенсита называется прерывистым. Скорость диффузии мала, карбиды не увеличиваются, распад мартенсита сопровождается зарождением новых карбидных частиц. Таким образом имеем структуру с неравномерным распределением углерода – это мартенсит отпуска. При этом несколько снижается тетрагональность решетки.

При нагреве до  $300^\circ\text{C}$  идет рост образовавшихся карбидов. Карбиды выделяются из мартенсита и он обедняется углеродом. Диффузия углерода увеличивается и карбиды растут в результате притока углерода из областей твердого раствора с высокой его концентрацией. Кристаллическая решетка карбидов когерентно связана с решеткой мартенсита.

В высокоуглеродистых сталях аустенит остаточный превращается в мартенсит отпуска. Наблюдается снижение тетрагональности решетки и внутренних напряжений. Структура – мартенсит отпуска:

При нагреве до  $400^\circ\text{C}$  весь избыточный углерод выделяется из  $\text{Fe}_\alpha$ . Карбидные частицы полностью обособляются, приобретают строение цементита, и начинают расти. Форма карбидных частиц приближается к сферической.

Высокодисперсная смесь феррита и цементита называется троостит отпуска;

При нагреве выше  $400^\circ\text{C}$  изменение фазового состава не происходит, изменяется только микроструктура. Имеет место рост и сфероидизация цементита. Наблюдается растворение мелких и рост крупных карбидных частиц.

При температуре  $550...600^\circ\text{C}$  имеем сорбит отпуска. Карбиды имеют зернистое строение. Улучшаются свойства стали.

При температуре  $650...700^\circ\text{C}$  получают более грубую ферритно-цементитную смесь – перлит отпуска (зернистый перлит).

### Тема 7.7 Технологические возможности и особенности отжига, нормализации, закалки и отпуска (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

При разработке технологии необходимо установить:

- Режим нагрева деталей (температуру и время нагрева);
- Характер среды, где осуществляется нагрев и ее влияние на материал стали;
- Условия охлаждения.

Режимы термической обработки назначают в соответствии с диаграммами состояния и диаграммой изотермического распада аустенита.

Нагрев может осуществляться в нагревательных печах, топливных или электрических, в соляных ваннах или в ваннах с расплавленным металлом, пропусканием через изделие электрического тока или в результате индукционного нагрева.

С точки зрения производительности, нагрев с максимальной скоростью уменьшает окалинообразование, обезуглероживание и рост аустенитного зерна. Однако необходимо учитывать перепад температур по сечению, что ведет к возникновению термических напряжений. Если растягивающие напряжения превысят предел прочности или предел текучести, то возможно коробление или образование трещин.

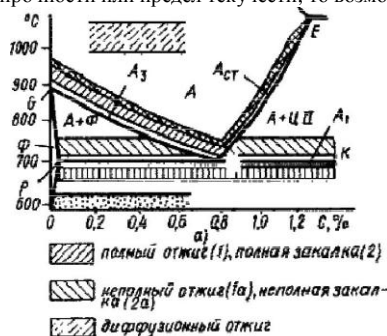


Рис. 13. 4. Левый угол диаграммы состояния железо – цементит и температурные области нагрева при термической обработке сталей. Скорость нагрева тем выше, чем менее легирована сталь, однороднее ее структура, проще конфигурация. Скорость нагрева принимается 0,8...1 мин на 1 мм сечения. Время выдержки принимается около 20 % от времени нагрева. Среда нагрева при нагреве в печи с газовой средой.

Составляющие могут оказывать на сталь различное действие:

- Окисляющее (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O);
- Восстанавливающее (CO, CH<sub>4</sub>);
- Обезуглероживающее (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>);
- Науглероживающее (CO, CH<sub>4</sub>);
- Нейтральное (N<sub>2</sub>, инертные газы).

Окисление с образованием окалины Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> препятствует получению высокой и равномерной твердости при закалке, приводит к изменению размеров, требует увеличения припусков на механическую обработку.

Обезуглероживание (выгорание углерода в поверхностном слое металла) способствует появлению мягких пятен при закалке и возникновению растягивающих напряжений в поверхностном слое, снижающих усталостную прочность.

На рис. 13.4 показаны температурные области нагрева при термической обработке сталей.

### Тема 7.8 Отжиг и нормализация. Назначение и режимы (Лекция – дискуссия – 0,5 час.)

Отжиг, снижая твердость и повышая пластичность и вязкость за счет получения равновесной мелкозернистой структуры, позволяет:

1. Улучшить обрабатываемость заготовок давлением и резанием;
2. Исправить структуру сварных швов, перегретой при обработке давлением и литые стали;
3. Подготовить структуру к последующей термической обработке.

Характерно медленное охлаждение со скоростью 30...100 °С/ч.

Отжиг первого рода

1. Диффузионный (гомогенизирующий) отжиг. Применяется для устранения ликвации, выравнивания химического состава сплава.

В его основе – диффузия. В результате нагрева выравнивается состав, растворяются избыточные карбиды. Применяется, в основном, для легированных сталей.

Температура нагрева зависит от температуры плавления,  $T_H = 0,8 T_{пл}$ .

Продолжительность выдержки:  $\tau = 8...20$  часов.

2. Рекристаллизационный отжиг проводится для снятия напряжений после холодной пластической деформации.

Температура нагрева связана с температурой плавления:  $T_H = 0,4 T_{пл}$ . Продолжительность зависит от габаритов изделия.

3. Отжиг для снятия напряжений после горячей обработки (литья, сварки, обработки резанием, когда требуется высокая точность размеров).

Температура нагрева выбирается в зависимости от назначения, находится в широком диапазоне:  $T_H = 160...700$  °С.

Продолжительность зависит от габаритов изделия.

Детали прецизионных станков (ходовые винты, вы соконагруженные зубчатые колеса, червяки) отжигают после основной механической обработки при температуре 570...600 °С в течение 2...3 часов, а после окончательной механической обработки, для снятия шлифовочных напряжений – при температуре 160...180 °С в течение 2...2,5 часов.

Отжиг второго рода предназначен для изменения фазового состава. Температура нагрева и время выдержки обеспечивают нужные структурные превращения. Скорость охлаждения должна быть такой, чтобы успели произойти обратные диффузионные фазовые превращения.

Является, подготовительной операцией, которой подвергают отливки, поковки, прокат. Отжиг снижает твердость и прочность, улучшает обрабатываемость резанием средне- и высокоуглеродистых сталей. Измельчая зерно, снижая внутренние напряжения уменьшая структурную неоднородность способствует повышению пластичности и вязкости.

В зависимости от температуры нагрева различают отжиг:

1. Полный, с температурой нагрева на 30...50 °С выше температуры A<sub>3</sub>.

$$T_H = A_3 + (30...50)^\circ\text{C}$$

Проводится для доэвтектоидных сталей для исправления структуры.

При такой температуре нагрева аустенит получается мелкозернистый, и после охлаждения сталь имеет также мелкозернистую структуру.

2. Неполный, с температурой нагрева на 30...50 °С выше критической температуры A<sub>1</sub>.

$$T_H = A_1 + (30...50)^\circ\text{C}$$

Применяется для заэвтектоидных сталей. При таком нагреве в структуре сохраняется цементит вторичный, в результате отжига цементит приобретает сферическую форму (с фероидизация). Получению зернистого цементита способствует предшествующая отжигу горячая пластическая деформация, при которой дробится цементитная сетка. Структура с зернистым цементитом лучше обрабатывается и имеют лучшую структуру после заковки. Неполный отжиг является обязательным для инструментальных сталей.

Иногда неполный отжиг применяют для доэвтектоидных сталей, если не требуется исправление структуры (сталь мелкозернистая), а необходимо только понизить твердость для улучшения обрабатываемости резанием.

Циклический или маятниковый отжиг применяют, если после проведения неполного отжига цементит остается пластинчатым. В этом случае после нагрева выше температуры A<sub>1</sub> следует охлаждение до 680 °С, затем снова нагрев до температуры 750...760 °С и охлаждение. В результате получают зернистый цементит.



Изотермический отжиг – после нагрева до требуемой температуры, изделие быстро охлаждают до температуры на 50...100 °С ниже критической температуры  $A_1$  и выдерживают до полного превращения аустенита в перлит, затем охлаждают на спокойном воздухе (рис. 13.5). Температура изотермической выдержки близка к температуре минимальной устойчивости аустенита.

В результате получают более однородную структуру, так как превращение происходит при одинаковой степени переохлаждения. Значительно сокращается длительность процесса. Применяют для легированных сталей.

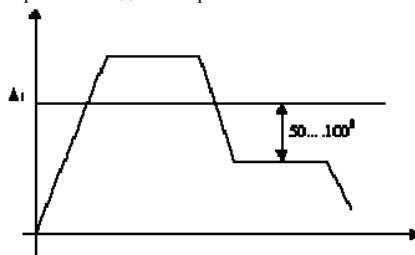


Рис. 13.5. Режимы изотермического отжига

### 3. Нормализация. – разновидность отжига.

Термическая обработка, при которой изделие нагревают до аустенитного состояния, на 30...50 °С выше  $A_3$  или  $A_{сг}$  с последующим охлаждением на воздухе.

$$T_n = A_3 + (30...50)^\circ\text{C}$$

Или

$$T_n = A_{сг} + (30...50)^\circ\text{C}$$

В результате нормализации получают более тонкое строение эвтектоида (тонкий перлит или сорбит), уменьшаются внутренние напряжения, устраняются пороки, полученные в процессе предшествующей обработки. Твердость и прочность несколько выше чем после отжига.

В заэвтектоидных сталях нормализация устраняет грубую сетку вторичного цементита.

Нормализацию чаще применяют как промежуточную операцию, улучшающую структуру. Иногда проводят как окончательную обработку, например, при изготовлении сортового проката.

Для низкоуглеродистых сталей нормализацию применяют вместо отжига. Для среднеуглеродистых сталей нормализацию или нормализацию с высоким отпусканием применяют вместо закалки с высоким отпусканием. В этом случае механические свойства несколько ниже, но изделие подвергается меньшей деформации, исключаются трещины.

## 4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	5.	Механические свойства сплавов	9	-
2	6.	Изучение диаграмм состояния двойных систем	8	-
3	6.	Изучение диаграммы состояния и микроструктур сплавов железа с углеродом	8	-
4	7.	Термообработка углеродистых сталей	9	-
<b>ИТОГО</b>			<b>34</b>	-

### 4.4. Семинары / практические занятия

Учебным планом не предусмотрено.

### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено.

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>	$\Sigma$ <i>комп.</i>	<i>t<sub>ср</sub>, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<i>ПК</i>				
			<i>25</i>				
1. Материаловедение. Особенности атомно-кристаллического строения металлов		8	+	1	8	Лк, СР	Экзамен
2. Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения		9	+	1	9	Лк, СР	Экзамен
3. Кристаллизации металлов. Методы исследования металлов		9	+	1	9	Лк, СР	Экзамен
4. Общая теория сплавов. Строение, кристаллизация и свойства сплавов. Диаграмма состояния.		9	+	1	9	Лк, СР	Экзамен
5. Механические свойства. Технологические и эксплуатационные свойства.		22	+	1	22	Лк, ЛР, СР	Экзамен
6. Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния железо – углерод.		29	+	1	29	Лк, ЛР, СР	Экзамен
7. Виды термической обработки металлов. Основы теории термической обработки стали.		22	+	1	22	Лк, ЛР, СР	Экзамен
<b><i>всего часов</i></b>		<b>108</b>	<b>108</b>	<b>1</b>	<b>108</b>	-	-

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Сухоруков, Г. И. Материаловедение: учебное пособие для вузов / Г. И. Сухоруков. - Братск: БрГУ, 2008. - 161 с. – ISBN 5816601733 : Б. ц. УДК 621.7
2. Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Под ред. Г. П. Фетисова. - 6-е изд., доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 877 с. – ISBN 9785060044188
3. Косых, А. В. Материаловедение. Современные строительные и отделочные материалы : учебно-методическое пособие / А. В. Косых, Е. Н. Куванова. - Братск : БрГУ, 2009. - 116 с. - Б. ц.
4. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 535 с. – ISBN 978506005950.
5. Термореактивные полимерные композиты в машиностроении: монография / А. Н. Бобрышев, Д. Е. Жарин [и др.]. - Старый Оскол: ТНТ, 2008. - 152 с. – ISBN 978-5-94178-1 70-6.
6. Сапунов, С.В. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.В. Сапунов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2015. — 208 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/56171>.
7. Материаловедение для транспортного машиностроения [Электронный ресурс]: учебное пособие / Э.Р. Галимов [и др.]. - Электрон. дан. - Санкт-Петербург: Лань, 2013. - 448 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/30195>.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование издания	Вид занятия	Кол-во экз. в библи., шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
<b>Основная литература</b>				
1.	Сухоруков, Г. И. Материаловедение : учебное пособие для вузов / Г. И. Сухоруков. - Братск : БрГУ, 2008. - 161 с. – ISBN 5816601733 : Б. ц. УДК 621.7	Лк, СР	154	1
2.	Материаловедение и технология металлов : учебник для вузов / Под ред. Г. П. Фетисова. - 6-е изд., доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 877 с. – ISBN 9785060044188	Лк, ЛР, СР	10	0,5
3.	Сапунов, С.В. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.В. Сапунов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 208 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/56171">https://e.lanbook.com/book/56171</a> .	Лк, СР	ЭР	1
<b>Дополнительная литература</b>				
4.	Косых, А. В. Материаловедение. Современные строительные и отделочные материалы : учебно-методическое пособие / А. В. Косых, Е. Н. Куванова. - Братск : БрГУ, 2009. - 116 с. - Б. ц.	Лк, СР	73	1
5.	Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 535 с. – ISBN 978506005950	Лк, ЛР, СР	50	1
6.	Термореактивные полимерные композиты в машиностроении : монография / А. Н. Бобрышев, Д. Е. Жарин [и др.]. - Старый Оскол : ТНТ, 2008. - 152 с. – ISBN 978-5-94178-1 70-6	Лк, СР	19	1
7.	Материаловедение для транспортного машиностроения [Электронный ресурс] : учебное пособие / Э.Р. Галимов [и др.]. - Электрон. дан. - Санкт-Петербург : Лань, 2013. - 448 с. - Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/30195">https://e.lanbook.com/book/30195</a> .	Лк, СР	ЭР	1

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ [http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).
2. Электронная библиотека БрГУ <http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» <http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ) <https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ <http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Рекомендуемый режим и характер учебной работы по проработке лекционного материала заключается в углублении знаний обучающихся при изучении теоретических разделов, ознакомиться со структурами углеродистых и легированных сталей, чугунов, алюминиевых сплавов, применяемых в машиностроении, изучить их свойства и рассмотреть закономерности изменения этих свойств при термической обработке.

При оформлении отчётов по лабораторным работам следует особое внимание обращать именно на то, что свойства сплава зависят от многих факторов, но прежде всего они определяются составом фаз и их количественным соотношением. Эти сведения можно получить из анализа диаграмм состояния, изучению которых посвящена лабораторная работа.

Желательно знание диаграммы состояния сплава железо-углерод так как, зная её, можно представить полную картину формирования структуры любого сплава, определить оптимальную температуру заливки сплава для получения литых деталей, оценить жидкотекучесть выбранного сплава, сделать заключение о возможности и условиях обработки давлением. Диаграммы состояния позволяют также определить режим термической обработки, необходимый для данного сплава.

### 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ

#### Лабораторная работа №1 Механические свойства сплавов

##### Цель работы

Изучить маркировку сталей. Познакомиться с механическими свойствами, научиться определять твердость.

##### Задание:

1. Изучить маркировки сталей.
2. Изучить механические свойства металлов и сплавов и методы их измерения
3. Оформить отчёт по лабораторной работе.

##### Порядок выполнения:

1. Получить образцы для испытаний;
2. Провести испытания образцов на твердость;
3. По результатам испытаний и табличным данным построить графики, отражающие зависимость твердости, прочности и пластичности от содержания углерода;
4. Составить письменный отчет по работе.

##### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Лабораторная работа выполняется на базе информации по выбранной тематике исследования, собранной магистрантом самостоятельно. Полученные результаты обсуждаются и согласовываются с ведущим преподавателем.

##### Рекомендуемые источники

##### Основная литература

1. Материаловедение и технология металлов : учебник для вузов / Под ред. Г. П. Фетисова. - 6-е изд., доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 877 с. – ISBN 9785060044188

##### Дополнительная литература

2. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 535 с. – ISBN 978506005950
3. Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1982. – 400 с.

##### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Как маркируют стали обыкновенного качества, качественные, легированные?
2. Что такое прочность? Методы измерения, характеристики, единицы измерения.
3. Чем отличается упругая деформация от пластической?
4. Что такое пластичность? Методы измерения, характеристики, единицы измерения.
5. Что такое твердость? Методы определения твердости.
6. Что такое ударная вязкость?
7. Чем отличаются статические методы испытаний от динамических?

#### Лабораторная работа №2 Изучение диаграмм состояния двойных систем

##### Цель работы

Ознакомиться с основными типами диаграмм состояния двойных систем; научиться распознавать фазовый состав сплава и структуру в зависимости от температуры и концентрации компонентов.

##### Задание:

1. Изучить основные понятия.
2. Освоить правило фаз
3. Изучить основные типы диаграмм.
4. Освоить правило отрезков.
5. Оформить отчёт по лабораторной работе.

##### Порядок выполнения:

1. Изучить сложные диаграммы состояний двойных систем;

Большая часть двойных сплавов имеет более сложные (комбинированные) диаграммы состояния. Зная основные типы диаграмм состояний, каждую сложную диаграмму можно мысленно разбить на составляющие части, соответствующие основным типам, и в зависимости от состава сплава, рассматривать соответствующую часть диаграммы.

В качестве примера разберем диаграмму состояния сплавов «алюминий-кальций». На рис. Представлена фазовая диаграмма состояния и кривая охлаждения сплава с 25% кальция, на рис. – структурная диаграмма состояния сплавов «алюминий-кальций».

При общем рассмотрении диаграммы необходимо выделить ее части, соответствующие типовым диаграммам состояния; область существования жидкой фазы, твердой и жидкой фаз, области твердых растворов; найти эвтектические, эвтектоидные и перитектические точки и линии; линии ликвидус и солидус, выяснить, какие фазы существуют в данной системе. Фазами могут быть: твердые растворы, химические соединения, чистые компоненты и жидкость. Для нашего примера область жидкой фазы лежит выше линии ABCDEF, а область одновременного существования жидкой и твердой фаз – между линиями ликвидус ABCDEF и солидус AKBLGHMEN.

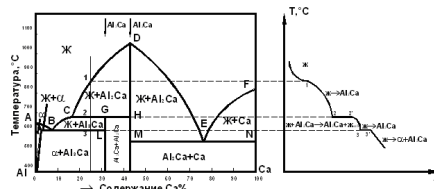
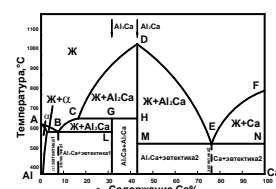


Рис 2.7 Фазовая диаграмма состояния системы Al-Ca и кривая охлаждения Рис 2.8 Структурная диаграмма состояния системы Al-Ca

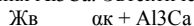


В рассматриваемой системе существует один твердый раствор  $\alpha$ , соответствующий области АКS. Это твердый раствор кальция в алюминии. Точка К – точка максимальной растворимости, KS – линия предельной растворимости кальция в алюминии. Алюминий в кальции не растворяется.

Таким образом, фазами в данной системе являются: жидкость,  $\alpha$ -твердый раствор, химические соединения  $Al_3Ca$ ,  $Al_2Ca$ , кристаллы Ca.

Для диаграммы алюминий-кальций характерно следующее:

1. Линия KBL – линия эвтектического превращения, тогда В - эвтектическая точка. Эвтектика представляет собой механическую смесь кристаллов  $\alpha$ -твердого раствора и химического соединения  $Al_3Ca$ . Эвтектическое превращение протекает по уравнению

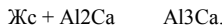


В соответствии с правилом фаз эвтектическое превращение протекает при постоянной температуре, т.к. сплав находится в трехфазном равновесном состоянии. В этих условиях число степеней свободы будет равно нулю:  $C = K - \varphi + 1 = 2 - 3 + 1 = 0$ , где К – число компонентов (Al и Ca), и  $\varphi$  – число фаз (ж,  $\alpha$ ,  $Al_3Ca$ ).

Сплавы, в структуре которых есть эвтектика, делятся на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические.

У сплавов, расположенных ниже линии KB структура будет состоять из  $\alpha$ -твердого раствора и эвтектики, у сплавов ниже линии BL – из хим. соединения  $Al_3Ca$  и эвтектики; эвтектический сплав в т. В состоит из одной эвтектики.

2. Линия CGH – линия образования неустойчивого химического соединения  $Al_3Ca$ . Точка G – перитектическая точка. Реакция перитектического превращения:



Перитектическое превращение заключается в образовании кристаллов  $Al_3Ca$  при взаимодействии жидкой и твердой фазы определенных химических составов. Для сплава в точке G в результате завершения перитектического превращения весь сплав будет состоять из химического соединения  $Al_3Ca$ . Для сплавов, расположенных левее т. G (т. G до т. C) в избытке будет оставаться жидкая фаза; для сплавов, расположенных правее т. G (от т. G до т. H) в избытке будет оставаться соединение  $Al_2Ca$ . В соответствии с правилом фаз перитектическое превращение так же протекает при постоянной температуре.

3. Линия MEN – линия второго эвтектического превращения:



Эвтектика будет состоять из мелкодисперсных кристаллов Ca и хим. соединения  $Al_2Ca$ . Сплавы, расположенные ниже линии ME являются доэвтектическими, структура их состоит из эвтектики и  $Al_2Ca$ ; сплавы, расположенные ниже линии EN являются заэвтектическими, структура состоит из Ca и эвтектики.

2. Ознакомится с методами получения кривых охлаждения;

Кривая охлаждения строится в координатах «температура – время». Процесс рассматривается при охлаждении сплава из жидкого состояния до комнатной температуры. Рассмотрим кристаллизацию сплава с 25% кальция. Для этого необходимо провести вертикальную линию сплава и обозначить критические точки индексами 1, 2, 3.

До т. 1 жидкость охлаждается без фазовых превращений, кривая имеет вогнутый вид. От т. 1 до т. 2 из жидкости выделяются кристаллы  $Al_2Ca$ , на кривой охлаждения образуется перегиб. В т. 2 происходит перитектическое превращение:



На кривой охлаждения образуется площадка. От т.2 до т. 3 кристаллизация продолжается, т.е. из жидкости выделяются кристаллы  $Al_3Ca$ , при этом химический состав жидкости изменяется от т. С до т. В.

В т. 3 кристаллизация заканчивается образованием эвтектики:



На кривой охлаждения образуется горизонтальная площадка. Таким образом, ниже т. 3 структура сплава состоит из химического соединения  $Al_3Ca$  и эвтектики.

4. Составить письменный отчет по работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Лабораторная работа выполняется на базе информации по выбранной тематике исследования, собранной магистрантом самостоятельно. Полученные результаты обсуждаются и согласовываются с ведущим преподавателем.

Рекомендуемые источники

Основная литература

1. Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Под ред. Г. П. Фетисова. - 6-е изд., доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 877 с. – ISBN 9785060044188

Дополнительная литература

2. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 535 с. – ISBN 978506005950

3. Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1982. – 400 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое диаграмма состояния сплава? Для чего она используется?
2. В каких координатах строится диаграмма состояния?
3. Что позволяет определить диаграмма состояния?
4. Что такое линия ликвидус и линия солидус?
5. Начертите и проанализируйте диаграмму состояния для случая полной нерастворимости компонентов в твердом состоянии.
6. Начертите и проанализируйте диаграмму состояния для случая образования непрерывного ряда твердых растворов.
7. Начертите и проанализируйте диаграмму состояния для случая образования эвтектики, состоящей из ограниченных твердых растворов.
8. В чем различие между эвтектической и перитектической кристаллизациями?

## Лабораторная работа №3

### Изучение диаграммы состояния и микроструктур сплавов железа с углеродом

Цель работы

Дать обучающимся знания по данной диаграмме, необходимый для понимания сути процессов, происходящих при кристаллизации и последующем охлаждении железоуглеродистых сплавов, а в дальнейшем – при их термообработке. Изучить классификацию железоуглеродистых сплавов по химическому составу и структуре; ознакомиться со свойствами и применением наиболее употребительных

марок сталей и чугунов, изучить их микроструктуры.

Задание:

1. Изучить основные свойства железа.
2. Ознакомиться с диаграммой фазового равновесия «железо – углерод».
3. Изучить основные фазы, области, линии и точки диаграммы.
4. Освоить построение кривой охлаждения сплава заданной концентрации с использованием диаграммы
5. Изучить углеродистые стали
6. Изучить чугуны.
7. Оформить отчет по лабораторной работе.

Порядок выполнения:

1. Вычертить диаграмму состояния (с указанием температур превращения и концентрации углерода) характерных точек.
2. Указать фазы и структурные составляющие в различных областях диаграммы.
3. Написать реакции, происходящие при охлаждении сплавов на изотермах.
4. Изучить основные теоретические сведения о структуре углеродистых сталей и их свойствах.
5. Изучить микроструктуры сталей 20, 40, У8 и У12 под микроскопом и в альбоме микроструктур.
6. Изучить основные теоретические сведения о структурах чугунов и их свойствах.
7. Изучить микроструктуры белых, серых, высокопрочных и ковких чугунов под микроскопом и в альбоме микроструктур.
8. Составить письменный отчет.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Диаграмма состояния железо-углерод.
3. Основные теоретические сведения об углеродистых сталях и их свойствах.
4. Микроструктуры сталей 20, 40, У8, У12 в равновесном состоянии (после полного отжига).
5. Основные теоретические данные о чугунах и их свойствах.
6. Микроструктуры белого, серого, высокопрочного и ковкого чугунов (по одной каждого).
7. Схема – классификация чугунов.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Лабораторная работа выполняется на базе информации по выбранной тематике исследования, собранной магистрантом самостоятельно. Полученные результаты обсуждаются и согласовываются с ведущим преподавателем.

Рекомендуемые источники

Основная литература

1. Материаловедение и технология металлов : учебник для вузов / Под ред. Г. П. Фетисова. - 6-е изд., доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 877 с. – ISBN 9785060044188

Дополнительная литература

2. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 535 с. – ISBN 978506005950
3. Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1982. – 400 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Показать на диаграмме Fe, А, Ф, П, Ц, Л. Что из данных фаз и структурных составляющих изображено на диаграмме линиями, что областями?
2. Показать на диаграмме чистый металл, химическое соединение, твердые растворы, механические смеси.
3. Что происходит в чистом железе при температуре 910<sup>o</sup>C?
4. Укажите точки максимальной растворимости углерода в А и Ф. Линии предельной ограниченной растворимости углерода в А и Ф.
5. Указать эвтектическую, эвтектоидную, перитектическую точки, записать реакции, происходящие в этих точках.
6. Что такое полиморфизм (аллотропия)?
7. Почему А в точке s (727<sup>o</sup>C) распадается на ферритно-цементитную смесь – перлит?
8. Назовите основные фазы и структурные составляющие железоуглеродистых сплавов и их свойства.
9. Как классифицируют стали по содержанию углерода?
10. Как зависят свойства сталей от содержания углерода?
11. Как изменяются структуры сталей от содержания углерода?
12. Какие виды чугунов и их основные различия вы знаете?
13. Как классифицируют чугуны по структуре металлической основы и форме графитовых включений?

## Лабораторная работа №4

### Изучение диаграммы состояния и микроструктур сплавов железа с углеродом

Цель работы

Научиться с помощью теплового воздействия получать у одной и той же стали различные сочетания свойств, необходимые для условий эксплуатации.

Задание:

1. Изучить основные параметры термообработки.
2. Освоить технологию закалки сталей.
3. Освоить технологию отпуска сталей.
4. Оформить отчет по лабораторной работе.

Порядок выполнения:

1. Вся работа выполняется за 4 часа. На первом занятии проводится закалка образцов различных марок сталей. На втором – отпуск закаленных образцов этих сталей.
2. Для проведения закалки группа разбивается на три подгруппы, из которых первая проводит закалку трех образцов низкоуглеродистой стали, вторая – среднеуглеродистой, третья – стали У8.
3. На следующем занятии первая подгруппа проводит низкий отпуск при 200<sup>o</sup>C ранее закаленных образцов сталей трех различных марок (У8, средне- и низкоуглеродистой) по одному каждой марки, вторая проводит при температуре 400<sup>o</sup>C средний отпуск таких же образцов, третья – при 600<sup>o</sup>C высокий отпуск.
4. В процессе выполнения работы происходит знакомство с лабораторным оборудованием, используемым при выполнении задания: термическими электрическими печами, прессами Бринелля и Роквелла.
5. При проведении закалки, отпуска, замера твердости необходимо соблюдать инструкцию по технике безопасности для работы в термической лаборатории.
  - 5.1. Практическая часть
    - а) Каждая группа получает по 4 образца отожженной стали определенной марки и замеряет на прессе Бринелля твердость стали в исходном состоянии (до закалки). Результаты замеров заносят в табл. 5.1.
    - б) Пользуясь диаграммой Fe – Fe<sub>3</sub>C, необходимо выбрать оптимальную температуру закалки для своей стали.
    - в) Длительность нагрева и выдержки образцов в печи можно определить приблизительно из расчета 2,0 – 2,5 мин на 1 мм сечения образца.

- d) После определения режимов закалки (tзак,ОС; твйд) образцы поместить в нагретую до нужной температуры печь, выдержать требуемое время при заданной температуре и затем быстро охладить в воде.
- e) С закаленных образцов фильтровальной бумагой удалить остатки влаги и зачистить с торцов для удаления окалины.
- f) Замерить твердость закаленных образцов на прессе Роквелла (по шкале С). Результаты замера занести в табл. 5.1. Замер твердости закаленных образцов на прессе Бринелля не допускается!

Таблица 5.1

Марка стали	Твердость до закалки, НВ	Температура закалки, ОС	Твердость после закалки	
			HRC	НВ
Сталь 20 Сталь 40 Сталь У8				

- g) По данным сводной таблицы построить график зависимости твердости стали до и после закалки от содержания углерода
- h) Провести отпуск закаленных сталей при температурах 200, 400, 600ОС (низкий, средний, высокий) в течение часа. После извлечения из печи образцы охлаждаются на воздухе.
- j) Все отпущенные образцы подвергают зачистке с торцов наждачной бумагой и проверке на твердость на прессе РОКВЕЛЛА (шкала С).
- k) Результаты измерения твердости образцов закаленных отпущенных сталей трех марок заносят в табл. 5.2.
- l) На основании данных сводной таблицы построить график зависимости твердости сталей от температуры отпуска.
- m) Провести анализ полученных результатов. Сделать вывод о влиянии содержания углерода на твердость закаленной стали, о влиянии температуры отпуска и содержания углерода на твердость закаленных и отпущенных углеродистых сталей.

Таблица 5.2

Марка стали	Твердость после закалки, HRC	Температура отпуска, ОС	Твердость после отжига	
			HRC	НВ
20		200		
		400		
		600		
40		200		
		400		
		600		
У8		200		
		400		
		600		

## 5.2. Содержание отчета

- Цель работы.
- Основные теоретические сведения о закалке и отпуске углеродистых сталей.
- Описание хода работ при закалке стали.
- Сводная таблица результатов закалки.
- График зависимости твердости отожженной и закаленной стали от содержания углерода.
- Вывод о влиянии содержания углерода на твердость отожженной и закаленной стали.
- Описание хода работы при отпуске стали.
- Сводная таблица результатов отпуска.
- График зависимости закаленной и отпущенной стали от температуры отпуска и содержания углерода.
- Вывод о влиянии температуры отпуска на твердость отпущенной стали разных марок.
- Теоретические сведения, необходимые для ответа на контрольные вопросы.

### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Лабораторная работа выполняется на базе информации по выбранной тематике исследования, собранной магистрантом самостоятельно. Полученные результаты обсуждаются и согласовываются с ведущим преподавателем.

### Рекомендуемые источники

#### Основная литература

1. Материаловедение и технология металлов : учебник для вузов / Под ред. Г. П. Фетисова. - 6-е изд., доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 877 с. – ISBN 9785060044188

#### Дополнительная литература

2. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 535 с. – ISBN 9785060059500

3. Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1982. – 400 с.

### Контрольные вопросы для самопроверки

- Показать на диаграмме Fe, А, Ф, П, Ц, Л. Что из данных фаз и структурных составляющих изображено на диаграмме линиями, что областями?
- Показать на диаграмме чистый металл, химическое соединение, твердые растворы, механические смеси.
- Что происходит в чистом железе при температуре 910°С?
- Указать эвтектическую, эвтектоидную, перитектическую точки, записать реакции, происходящие в этих точках.
- Укажите точки максимальной растворимости углерода в А и Ф. Линии предельной ограниченной растворимости углерода в А и Ф.
- Что такое полиморфизм (аллотропия)?
- Почему А в точке s (727°С) распадается на ферритно-цементитную смесь – перлит?
- Назовите основные фазы и структурные составляющие железоуглеродистых сплавов и их свойства.
- Как классифицируют стали по содержанию углерода?
- Как зависят свойства сталей от содержания углерода?
- Как изменяются структуры сталей от содержания углерода?
- Какие виды чугунов и их основные различия вы знаете?
- Как классифицируют чугуны по структуре металлической основы и форме графитовых включений?

## **9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта (курсовой работы), контрольной работы, РГР, реферата**

Учебным планом не предусмотрено.

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникативные технологии (ИКТ) используются для:

- получения информации при подготовке к занятиям;
- создания презентационного сопровождения занятий;
- работы в электронной информационной среде.

Стандартное лицензионное программное обеспечение:

1. Microsoft Imagine Premium: Microsoft Windows Professional 7.
2. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level.
3. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
4. Adobe Reader.

## 11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ Лк, ЛР, ПЗ</i>
Лк	Лекционная / семинарская аудитория	Учебная мебель	-
ЛР	Лаборатория технических средств измерения	Учебная мебель; Многофункциональный электронный программируемый универсальный переносной твердомер ТЭМП-2у; Микроскопы МБС-10, ММУ-3, ИМЦЛ	ЛР №1...4
СР	Читальный зал № 1	Учебная мебель; 10-ПК i5-2500/Н67/4Gb (мониторTFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D	-



**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-25	<p>способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования.</p>	<p><b>1.</b> Материаловедение. Особенности атомно-кристаллического строения металлов  <b>2.</b> Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения  <b>3.</b> Кристаллизации металлов. Методы исследования металлов  <b>4.</b> Общая теория сплавов. Строение, кристаллизация и свойства сплавов. Диаграмма состояния.  <b>5.</b> Механические свойства. Технологические и эксплуатационные свойства.  <b>6.</b> Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния железо – углерод.  <b>7.</b> Виды термической обработки металлов. Основы теории термической обработки стали.</p>	<p><b>1.1.</b> Материаловедение. Определение и история развития.  <b>1.2.</b> Металлы, особенности атомно-кристаллического строения  <b>1.3.</b> Понятие об изотропии и анизотропии  <b>1.4.</b> Аллотропия или полиморфные превращения  <b>1.5.</b> Магнитные превращения  <b>2.1.</b> Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения  <b>2.2.</b> Точечные дефекты  <b>2.3.</b> Линейные дефекты  <b>3.1.</b> Кристаллизации металлов. Методы исследования металлов  <b>3.2.</b> Механизм и закономерности кристаллизации металлов  <b>3.3.</b> Условия получения мелкозернистой структуры  <b>3.4.</b> Строение металлического слитка  <b>3.5.</b> Методы исследования металлов: структурные и физические  <b>4.1.</b> Понятие о сплавах и методах их получения  <b>4.2.</b> Особенности строения, кристаллизации и свойств сплавов: механических смесей, твердых растворов, химических соединений  <b>4.3.</b> Классификация сплавов твердых растворов.  <b>4.4.</b> Кристаллизация сплавов  <b>4.5.</b> Диаграмма состояния  <b>5.1.</b> Механические свойства и способы определения их количественных характеристик: твердость, вязкость, усталостная прочность.  <b>5.2.</b> Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012)  <b>5.3.</b> Метод Роквелла ГОСТ 9013  <b>5.4.</b> Метод Виккерса  <b>5.5.</b> Метод царапания. Динамический метод (по Шору)  <b>5.7.</b> Влияние температуры  <b>5.8.</b> Оценка вязкости по виду излома  <b>5.9.</b> Основные характеристики  <b>5.10.</b> Технологические свойства  <b>5.11.</b> Эксплуатационные свойства  <b>6.1.</b> Диаграмма состояния железо  <b>6.2.</b> Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов  <b>6.3.</b> Структуры железоуглеродистых сплавов  <b>7.1.</b> Виды термической обработки металлов  <b>7.2.</b> Превращения, протекающие в структуре стали при нагреве и охлаждении  <b>7.3.</b> Механизм основных превращений  <b>7.4.</b> Закономерности превращения  <b>7.5.</b> Превращение аустенита в мартенсит при высоких скоростях охлаждения  <b>7.6.</b> Превращение мартенсита в перлит  <b>7.7.</b> Технологические возможности и особенности отжига, нормализации, закалки и отпуска  <b>7.8.</b> Отжиг и нормализация. Назначение и режимы</p>	<p>Экзаменационные вопросы</p>

## 2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1.	ПК-25	способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования.	<p>1.1. Материаловедение. Определение и история развития.</p> <p>1.2. Металлы, особенности атомно-кристаллического строения</p> <p>1.3. Понятие об изотропии и анизотропии</p> <p>1.4. Аллотропия или полиморфные превращения</p> <p>1.5. Магнитные превращения</p> <p>2.1. Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения</p> <p>2.2. Точечные дефекты</p> <p>2.3. Линейные дефекты</p> <p>3.1. Кристаллизации металлов. Методы исследования металлов</p> <p>3.2. Механизм и закономерности кристаллизации металлов</p> <p>3.3. Условия получения мелкозернистой структуры</p> <p>3.4. Строение металлического слитка</p> <p>3.5. Методы исследования металлов: структурные и физические</p> <p>4.1. Понятие о сплавах и методах их получения</p> <p>4.2. Особенности строения, кристаллизации и свойств сплавов: механических смесей, твердых растворов, химических соединений</p> <p>4.3. Классификация сплавов твердых растворов.</p> <p>4.4. Кристаллизация сплавов</p> <p>4.5. Диаграмма состояния</p> <p>5.1. Механические свойства и способы определения их количественных характеристик: твердость, вязкость, усталостная прочность.</p> <p>5.2. Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012)</p> <p>5.3. Метод Роквелла ГОСТ 9013</p> <p>5.4. Метод Виккерса</p> <p>5.5. Метод царапания. Динамический метод (по Шору)</p> <p>5.7. Влияние температуры</p> <p>5.8. Оценка вязкости по виду излома</p> <p>5.9. Основные характеристики</p> <p>5.10. Технологические свойства</p> <p>5.11. Эксплуатационные свойства</p> <p>6.1. Структуры железоуглеродистых сплавов</p> <p>6.2. Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов</p> <p>6.3. Структуры железоуглеродистых сплавов</p> <p>7.1. Виды термической обработки металлов</p> <p>7.2. Превращения, протекающие в структуре стали при нагреве и охлаждении</p> <p>7.3. Механизм основных превращений</p> <p>7.4. Закономерности превращения</p> <p>7.5. Превращение аустенита в мартенсит при высоких скоростях охлаждения</p> <p>7.6. Превращение мартенсита в перлит</p> <p>7.7. Технологические возможности и особенности отжига, нормализации, закалки и отпуска</p> <p>7.8. Отжиг и нормализация. Назначение и режимы</p>	<p>1. Материаловедение. Особенности атомно-кристаллического строения металлов</p> <p>2. Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения</p> <p>3. Кристаллизации металлов. Методы исследования металлов</p> <p>4. Общая теория сплавов. Строение, кристаллизация и свойства сплавов. Диаграмма состояния.</p> <p>5. Механические свойства. Технологические и эксплуатационные свойства.</p> <p>6. Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния железо – углерод.</p> <p>7. Виды термической обработки металлов. Основы теории термической обработки стали.</p>

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<b>Знать</b> <i>ПК-25</i> - законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; <b>Уметь</b> <i>ПК-25</i> - использовать методы теоретического и экспериментального исследования; <b>Владеть</b> <i>ПК-25</i> - навыками использования законов естественнонаучных дисциплин при проведении теоретических и экспериментальных исследований.	<b>отлично</b>	- даны исчерпывающие и обоснованные ответы на все поставленные вопросы; - ответы изложены грамотно, уверенно, логично, последовательно; - опираясь на усвоенные знания, четко увязывает научные положения с практической деятельностью; - свободно владеет основными понятиями дисциплины.
	<b>хорошо</b>	- даны полные, достаточно обоснованные ответы на поставленные вопросы; - твердо усвоил тему, грамотно и по существу излагает ее, опираясь на полученные знания; - не допускает существенных неточностей; - увязывает усвоенные знания с практической деятельностью; - владеет системой основных понятий дисциплины.
	<b>удовлетворительно</b>	- даны в основном правильные ответы на все поставленные вопросы, но без достаточного обоснования; - допускает несущественные ошибки и неточности; - испытывает затруднения в практическом применении полученных знаний; - слабо аргументирует научные положения; - частично владеет системой основных понятий дисциплины.
	<b>неудовлетворительно</b>	- допускает существенные ошибки и неточности при ответе на поставленные вопросы; - испытывает трудности в практическом применении полученных знаний; - не может аргументировать научные положения; - не владеет системой основных понятий дисциплины.

### 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Материаловедение относится к числу основополагающих учебных дисциплин для специальностей машиностроительного профиля. Это связано, прежде всего, с тем, что получение, разработка новых материалов, способы их обработки являются основой современного производства и во многом определяют уровень своего развития научно-технический и экономический потенциал государства.

Производство конкурентоспособных изделий невозможно без должного технологического обеспечения и достаточного уровня знаний в области материаловедения. Материалы обладают отличающимися друг от друга свойствами, причем каждое зависит от особенностей внутреннего строения материала. В связи с этим материаловедение как наука занимается изучением строения материалов в тесной связи с их свойствами.

Изучение дисциплины Материаловедение предусматривает:

- лекции;
- лабораторные работы;
- самостоятельную работу;
- экзамен.

В ходе освоения раздела 1 Изучаются основные определения и история развития материаловедения как науки. Рассматриваются строение различных металлов особенности их особенности атомно-кристаллического строения. Уделяется внимание понятиям об изотропии, анизотропии, аллотропия, полиморфным и магнитным превращениям происходящих в металлах и сплавах.

В ходе освоения раздела 2 Изучается строение и возможные дефекты кристаллической решетки реальных металлов. Причины возникновения и дефектов кристаллической решетки,

влияние их на свойства материалов и методы их исправления.

В ходе освоения раздела 3. Изучаются процесс, механизм и закономерности кристаллизации металлов и сплавов. Структурные и физические методы исследования строения металлов. Условия для получения мелкозернистой структуры, которая обладает высокими эксплуатационными свойствами. Описывается структура металлического слитка.

В ходе освоения раздела 4. Рассматриваются основные понятие о различных сплавах и методах их получения. Особенности строения, процесса кристаллизации и различных свойств сплавов, таких как механических смесей, твердых растворов, химических соединений. Изучается классификация сплавов твердых растворов и диаграммы состояния различных видов сплавов.

В ходе освоения раздела 5. Изучаются механические свойства материалов применяемых в машиностроении и способы определения их количественных характеристик: твердость, вязкость, усталостная прочность. Рассматриваются методы измерения твердости по по Бринеллю, Роквелла, Виккерса, царапания динамический метод (по Шору). Изучается влияние температуры на различные свойства металлов. Основные эксплуатационные характеристики и технологические свойства материалов.

В ходе освоения раздела 6. Изучаются структуры железоуглеродистых сплавов и процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов.

В ходе освоения раздела 7. Рассматриваются назначение, методы и технологии термической обработки материалов на основе железа (конструкционных, легированных, углеродистых сталей и чугунов).

Необходимо овладеть навыками и умениями назначать режимы термической обработки для получения заданных технологических и эксплуатационных свойств материалов применяемых в машиностроении.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется обратить внимание на научные проблемы состояния структуры деталей машин после различных методов термической обработки. Владение ключевыми понятиями, терминами и определениями материаловедения является необходимым для корректного оперирования общепринятыми терминами научного сообщества при подготовке выпускной квалификационной работы.

При подготовке к экзамену рекомендуется особое внимание уделить вопросам, связанным с диаграммой состояния системы «железо-углерод».

В процессе проведения лабораторных работ происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков реализации представления о методах и технологиях в области материаловедения.

Самостоятельную работу необходимо начинать с ознакомления с основными понятиями, терминами и определениями в материаловедение; определения основных задач, решаемых при помощи термической обработке материалов.

В процессе консультации с преподавателем обсуждаются и согласовываются полученные результаты, уточняются и корректируются отчёты по лабораторным работам.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и в Интернете.

**АННОТАЦИЯ**  
**рабочей программы дисциплины**  
**Материаловедение**

**1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является – научить обучающихся, применять основные методы управления конструкционной прочностью материалов и проводить обоснованный выбор материала для изделий с учетом условий их эксплуатации.

Задачами изучения дисциплины является:

- развитие способности использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования.

**2. Структура дисциплины**

2.1. Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: лекции – 34 часа; лабораторные работы – 34 часа; самостоятельная работа – 40 часов.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 144 часа, 4 зачетные единицы.

2.2. Основные разделы дисциплины:

1. Материаловедение. Особенности атомно-кристаллического строения металлов.
2. Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения.
3. Кристаллизации металлов. Методы исследования металлов.
4. Общая теория сплавов. Строение, кристаллизация и свойства сплавов. Диаграмма состояния.
5. Механические свойства. Технологические и эксплуатационные свойства.
6. Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния железо – углерод.
7. Виды термической обработки металлов. Основы теории термической обработки стали.

**3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-25 – способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования.

**4. Вид промежуточной аттестации: Экзамен.**

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры ТМ № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_ г.,

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО  
КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-25	способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности и методы теоретического и экспериментального исследования.	1. Материаловедение. Особенности атомно-кристаллического строения металлов	1.1. Материаловедение. Определение и история развития. 1.2. Металлы, особенности атомно-кристаллического строения 1.3. Понятие об изотропии и анизотропии 1.4. Аллотропия или полиморфные превращения 1.5. Магнитные превращения	Конспект лекций
		2. Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения	2.1. Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения 2.2. Точечные дефекты 2.3. Линейные дефекты	Конспект лекций
		3. Кристаллизации металлов. Методы исследования металлов	3.1. Кристаллизации металлов. Методы исследования металлов 3.2. Механизм и закономерности кристаллизации металлов 3.3. Условия получения мелкозернистой структуры 3.4. Строение металлического слитка 3.5. Методы исследования металлов: структурные и физические	Конспект лекций,
		4. Общая теория сплавов. Строение, кристаллизация и свойства сплавов. Диаграмма состояния.	4.1. Понятие о сплавах и методах их получения 4.2. Особенности строения, кристаллизации и свойств сплавов: механических смесей, твердых растворов, химических соединений 4.3. Классификация сплавов твердых растворов. 4.4. Кристаллизация сплавов 4.5. Диаграмма состояния	Конспект лекций
		5. Механические свойства. Технологические и эксплуатационные свойства.	5.1. Механические свойства и способы определения их количественных характеристик: твердость, вязкость, усталостная прочность. 5.2. Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012) 5.3. Метод Роквелла ГОСТ 9013 5.4. Метод Виккерса 5.5. Метод царапания. Динамический метод (по Шору) 5.7. Влияние температуры 5.8. Оценка вязкости по виду излома 5.9. Основные характеристики 5.10. Технологические свойства 5.11. Эксплуатационные свойства	Конспект лекций, Отчет по ЛР №1
		6. Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния железо – углерод.	6.1. Диаграмма состояния железо 6.2. Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов 6.3. Структуры железоуглеродистых сплавов	Конспект лекций, Отчет по ЛР №2...3
		7. Виды термической обработки металлов. Основы теории термической обработки стали.	7.1. Виды термической обработки металлов 7.2. Превращения, протекающие в структуре стали при нагреве и охлаждении 7.3. Механизм основных превращений 7.4. Закономерности превращения 7.5. Превращение аустенита в мартенсит при высоких скоростях охлаждения 7.6. Превращение мартенсита в перлит 7.7. Технологические возможности и особенности отжига, нормализации, закалки и отпуска 7.8. Отжиг и нормализация. Назначение и режимы	Конспект лекций, Отчет по ЛР №4

## 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b> ПК-25 - законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;</p> <p><b>Уметь</b> ПК-25 - использовать методы теоретического и экспериментального исследования;</p> <p><b>Владеть</b> ПК-25 - навыками использования законов естественнонаучных дисциплин при проведении теоретических и экспериментальных исследований.</p>	<b>зачтено</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- даны исчерпывающие и обоснованные ответы на все поставленные вопросы;</li> <li>- ответы изложены грамотно, уверенно, логично, последовательно;</li> <li>- опираясь на усвоенные знания, четко увязывает научные положения с практической деятельностью;</li> <li>- свободно владеет основными понятиями дисциплины.</li> </ul>
	<b>не зачтено</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- допускает существенные ошибки и неточности при ответе на поставленные вопросы;</li> <li>- испытывает трудности в практическом применении полученных знаний;</li> <li>- не может аргументировать научные положения;</li> <li>- не владеет системой основных понятий дисциплины.</li> </ul>