

**УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ТАМБОВСКОЕ ОБЛАСТНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«МНОГООТРАСЛЕВОЙ КОЛЛЕДЖ»**

Методические указания
для дистанционного выполнения практических работ
ОП 08 Материаловедение
2 курс 3 семестр
Специальность 22.02.06 «Сварочное производство»

Автор:

Никифорок Т.А. – преподаватель

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания	3
Практическая работа № 1	4
Практическая работа № 2	11
Практическая работа № 3	20
Практическая работа № 4	33
Список литературы	43

Методические указания для дистанционного выполнения практических работ ОП 08 Материаловедение 2 курс 3 семестр специальности 22.02.0 «Сварочное производство» включает алгоритмы выполнения 4 практических работ. Студенты закрепляют теоретический материал, знакомятся с содержанием и порядком выполнения практических работы.

После выполнения заданий студенты составляют отчет. Методические указания позволяют целенаправленно формировать общие и профессиональные компетенции, закрепление знаний, освоение необходимых умений и способов деятельности, формирование первоначального практического опыта.

Практическая работа №1

«Изучение типов кристаллических решеток и их влияние на структуру и свойства металлов»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

1. Изучить виды кристаллических решеток.
2. Изучить характеристики кристаллических структур.
3. Изучить влияние кристаллических решеток на структуру и свойства металлов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1.1.1 Изучить виды кристаллических решеток.
- 1.1.2. Изучить и зарисовать схему определения координационного числа кристаллической решетки.
- 1.1.3. Изучить и зарисовать элементарные ячейки кристаллических решеток.

1.2. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по практической работе должен содержать следующий материал:

- 1.2.1. Наименование и цель работы.
- 1.2.2. Виды кристаллических решеток.
- 1.2.3. Описание аллотропических модификаций металлов.

АТОМНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

Металлические материалы. 83 из известных 112 химических элементов таблицы Менделеева Д. И. являются металлами. Они обладают рядом характерных свойств:

- высокой тепло- и электропроводностью;
- положительным коэффициентом электросопротивления (с повышением температуры электросопротивление растёт);
- термоэлектронной эмиссией (испусканием электронов при нагреве);
- хорошей отражательной способностью (блеском);
- способностью к пластической деформации;
- полиморфизмом.

Наличие перечисленных свойств обусловлено металлическим состоянием вещества, главным из которых является наличие легкоподвижных коллективизированных электронов проводимости.

Металлическое состояние возникает в совокупности атомов, когда при их сближении внешние (валентные) электроны теряют связь с отдельными атомами, становятся общими и свободно перемещаются между положительно заряженными,

периодически расположенными ионами. Силы притяжения (силы связи) в твердых телах существенно отличаются по своей природе. Обычно рассматривают четыре основных типа связей в твердых телах: ван-дер-ваальсовы, ковалентные, металлические, ионную.

Под атомно-кристаллической структурой понимают взаимное расположение атомов в кристалле. Кристалл состоит из атомов (ионов), расположенных в определенном порядке, который периодически повторяется в трех измерениях.

Наименьший комплекс атомов, который при многократном повторении в пространстве позволяет воспроизвести пространственную кристаллическую решётку, называют элементарной ячейкой.

Для характеристики элементарной ячейки используют параметры кристаллической решётки:

- три ребра a, b, c , измеряемых в ангстремах ($1 \text{ \AA} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ см}$) или в килоиксах – кХ ($1 \text{ кХ} = 1,00202 \text{ \AA}$) и три угла α, β, γ ;
- компактность структуры η - отношение объема, занимаемого атомами, к объёму ячейки (для решётки ОЦК $\eta = 64 \%$, для решётки ГЦК $\eta = 74 \%$)
- координационное число K - число ближайших соседей данного атома: для решётки ОЦК это число равно 8, т.е. атомы, находящиеся в вершине, принадлежат восьми элементарным ячейкам (рис.1.а), для решётки ГЦК это число равно 12, т.е. атомы, находящиеся в вершине, принадлежат двенадцати элементарным ячейкам (рис. 1.б).

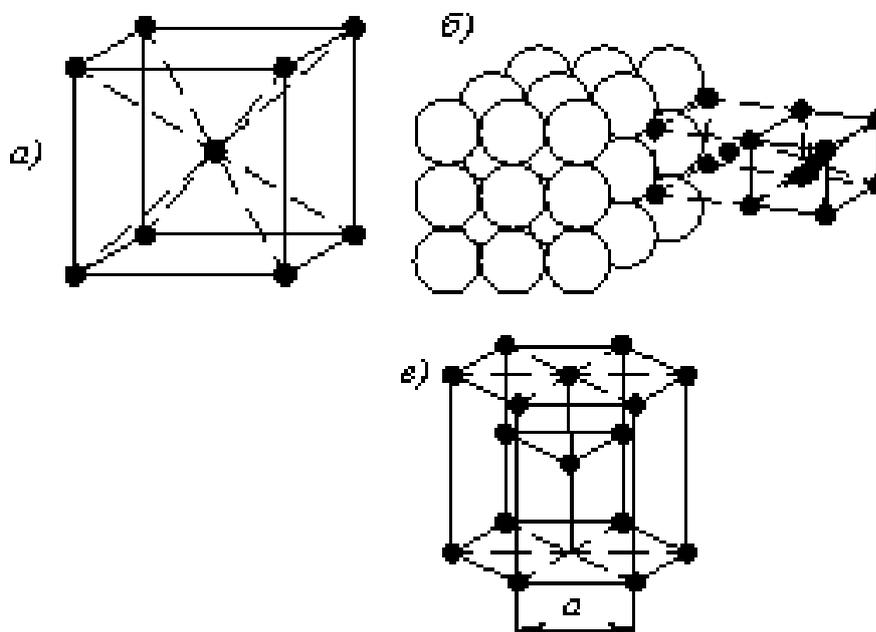


Рис.1. Схема определения координационного числа кристаллической решётки: а – ГЦК; б – ОЦК; в – ГПУ

Простейшим типом кристаллической ячейки является кубическая решётка. В простой кубической решётке атомы расположены (упакованы) недостаточно плотно.

Стремление атомов металла занять места, наиболее близкие друг к другу, приводит к образованию решеток других типов (рис. 2.):

- объемноцентрированной кубической решетки (ОЦК) (рис.2.а) с параметром

$$a = 0,28 - 0,6\text{мм} = 2,8 - 6,0 \text{ \AA}$$

- гранецентрированной кубической решетки (ГЦК) (рис.2.б) с параметром

$$a = 0,25\text{мм}$$

- гексагональной плотно упакованной решетки (ГПУ) (рис.2.в) с параметром

$$c / a \approx 1,633$$

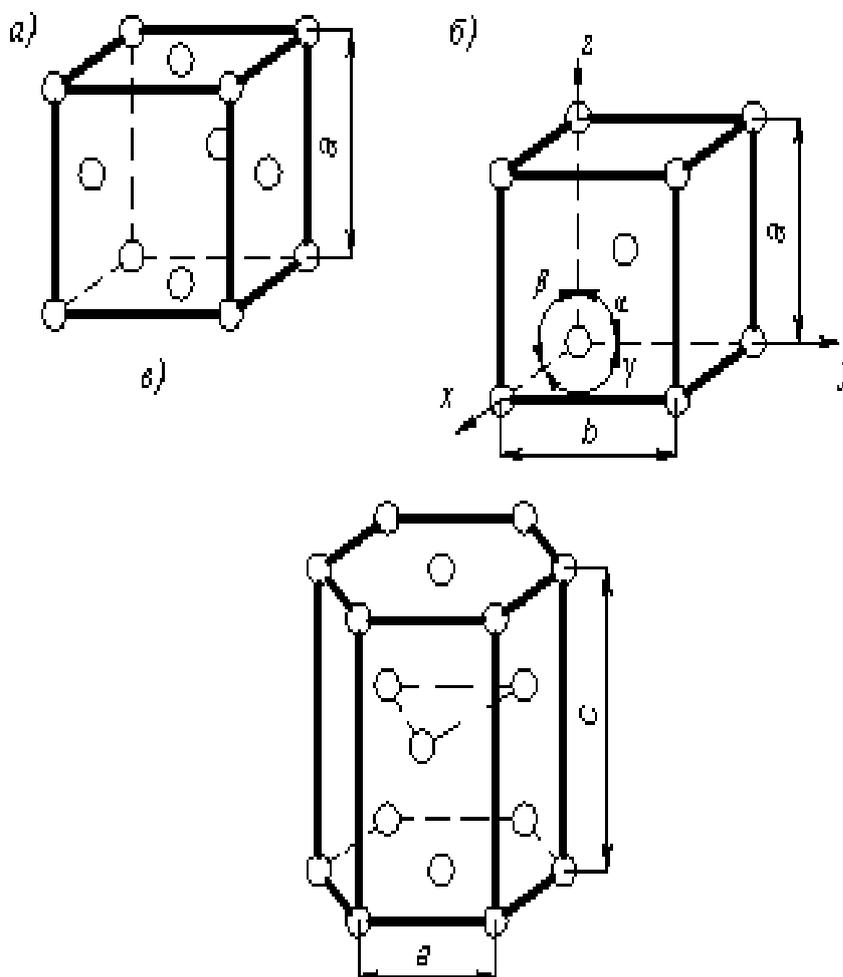


Рис. 2.. Кристаллические решетки: а – гранецентрированный куб (ОЦК); б – объемноцентрированный куб (ГЦК); в- гексагональная плотно упакованная (ГПУ)

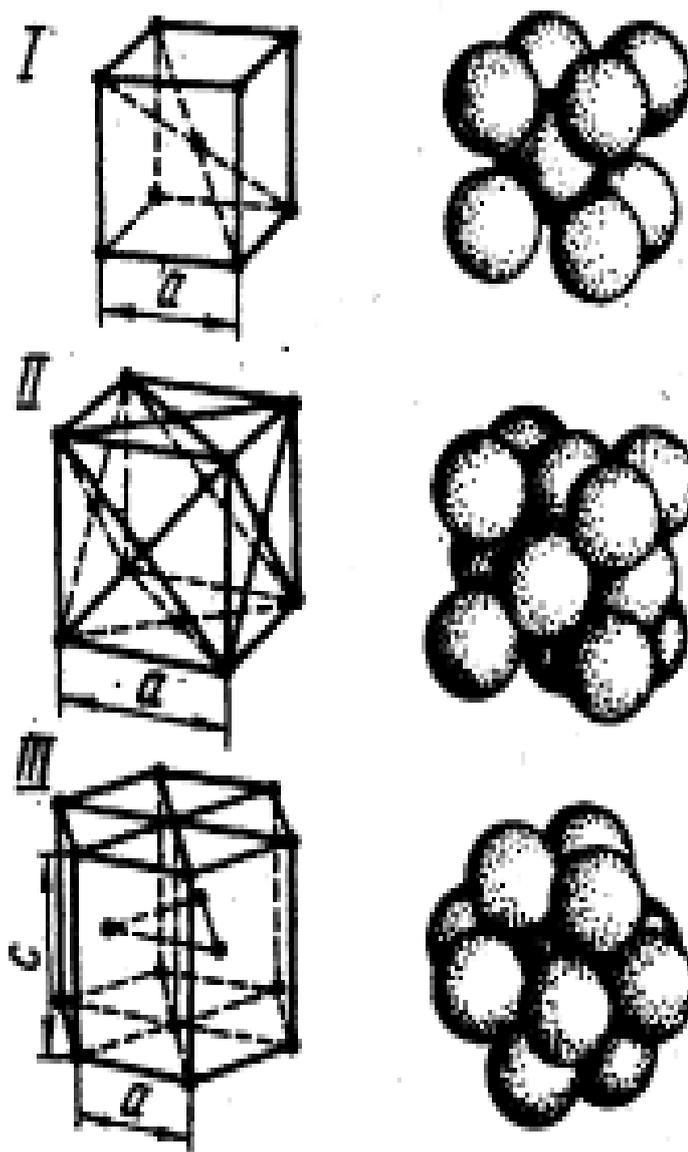


Рис. 2.1. Элементарные ячейки кристаллических решеток:
 I — кубическая объемно-центрированная (α -железо), II — кубическая
 гранецентрированная (медь), III - гексагональная плотноупакованная; a и c —
 параметры решеток

Узлы (положения атомов), направления в плоскости и в пространстве обозначаются с помощью так называемых индексов Миллера (рис.3). Индексы узла записываются - (mnp),
 Индексы направления - [mnp],
 Индекс плоскости - (hkl).

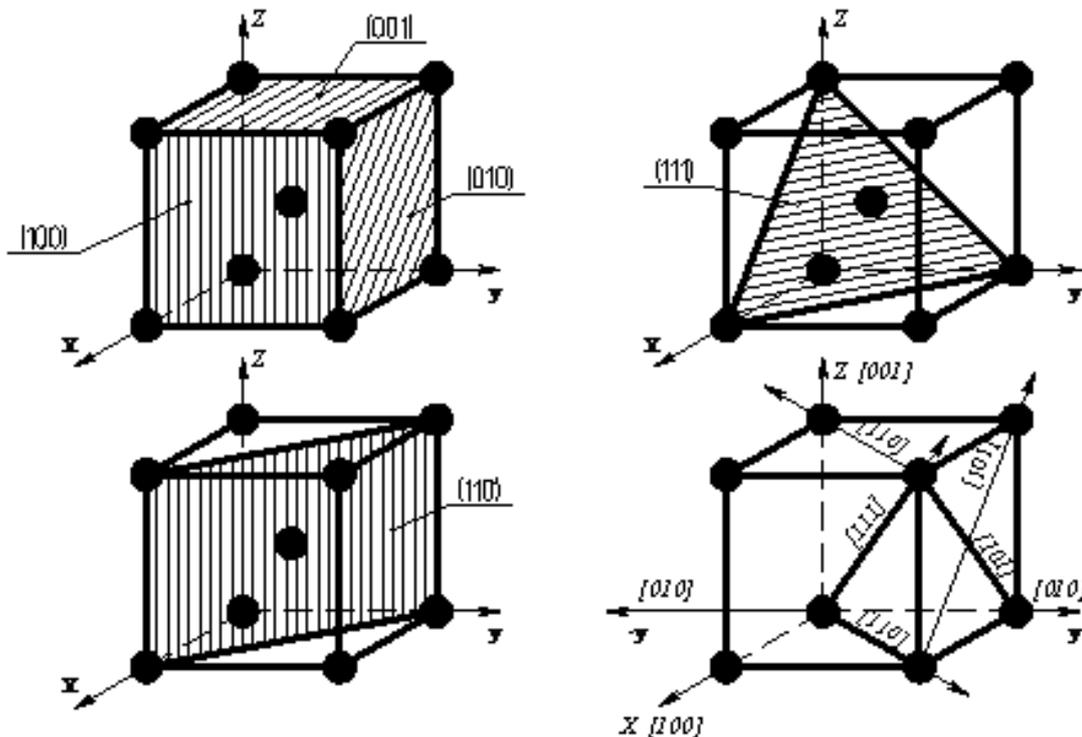


Рис. 3. Символы некоторых важнейших узлов, направлений и плоскостей в кубической решётке

Вследствие неодинаковой плотности атомов в различных плоскостях и направлениях решётки многие свойства отдельно взятого кристалла (химические, физические, механические) по данному направлению отличаются от свойств в другом направлении и, естественно, зависят от того, сколько атомов встречается в этом направлении.

Различие свойств в зависимости от направления испытания называется анизотропией.

Все кристаллы анизотропны.

Анизотропия – особенность любого кристалла, характерная для кристаллического строения.

Технические металлы являются поликристаллами, т.е. состоят из совокупности кристаллитов с различной ориентацией. При этом свойства во всех направлениях усредняются.

Преобразования в твердом состоянии. Полиморфизм

Атомы данного элемента могут образовать, если исходить только из геометрических соображений, любую кристаллическую решетку. Однако устойчивым, а следовательно, реально существующим типом является решетка, обладающая наиболее низким запасом свободной энергии.

Так, разные металлы образуют разные виды кристаллической решетки:

- Li, Na, K, Mo, W – ОЦК;
- Al, Ca, Cu, Au, Pt – ГЦК;
- Mg, Zr, Hf, осмий – ГПУ.

Однако в ряде случаев при изменении температуры или давления может оказаться, что для одного и того же металла более устойчивой будет другая решетка, чем та, которая существует при данной температуре или давлении. Так, например, существует железо с решетками объемно-центрированного и гранецентрированного кубов, обнаружен кобальт с гранецентрированной и с гексагональной решетками.

Существование одного и того же металла (вещества) в нескольких кристаллических формах носит название полиморфизма или аллотропии.

Различные кристаллические формы одного вещества называются полиморфными или аллотропическими модификациями (таблица 1).

Аллотропические формы обозначаются греческими буквами α , β , γ и т.д., которые в виде индексов добавляются к символу, обозначающему элемент. Аллотропическая форма при самой низкой температуре, обозначается буквой α , следующая - β и т. д.

Явление полиморфизма основано на едином законе об устойчивости состояния с наименьшим запасом энергии. Запас свободной энергии зависит от температуры. Поэтому в одном интервале температур более устойчивой является одна модификация, а в другом – другая.

Температура, при которой осуществляется переход из одной модификации в другую, носит название температуры полиморфного (аллотропического) превращения.

Механизм роста кристаллов новой фазы может быть нормальным кристаллизационным и мартенситным.

Нормальный механизм роста – это зарождение новой фазы на границах зерен, блоков, фрагментов при малых степенях переохлаждения ($Sn_\alpha \leftrightarrow Sn_\beta$).

Мартенситный механизм реализуется при низких температурах и большой степени переохлаждения, при малой диффузионной подвижности атомов путем их сдвига (смещения) по определенным кристаллографическим плоскостям и направлениям. Новая фаза имеет форму игл и растет очень быстро ($Co_\alpha \leftrightarrow Co_\beta$).

Аллотропическое превращение сопровождается изменением свойств, объема и появлением внутренних напряжений.

таблица 1. Аллотропические модификации металлов

Металл	Группа	Модификация	Кристаллическая решетка
Кальций	II-A	Ca_{α} до 450 ⁰ C $Ca_{\alpha\beta}$ 450-851 ⁰ C	Кубическая гранецентрированная КГЦ Гексагональная плотноупакованная ГПУ
Галлий	III-B	Ga_{α} Ga_{β}	Ромбическая Тетрагональная
Таллий	III-B	Tl_{α} до 262 Tl_{β} 262-304	Гексагональная плотноупакованная Кубическая объемноцентрированная
Титан	IV-A	Ti_{α} до 882 ⁰ C Ti_{β} 882-1725 ⁰ C	Гексагональная плотноупакованная ГПУ Кубическая объемноцентрированная КОЦ
Цирконий	IV-A	Zr_{α} до 862 Zr_{β} 862-1830	Гексагональная плотноупакованная Кубическая объемноцентрированная
Гафний	IV-A	Hf_{α} до 1610 Hf_{β} 1610-1952	Гексагональная Кубическая объемноцентрированная
Олово	IV-B	Sn_{α} до 18 - Sn_{β} 18-232	Алмазная Тетрагональная объемноцентрированная
Вольфрам	VI-A	W_{α} до 650 W_{β} 650-3400	Кубическая объемноцентрированная Сложная (нерасшифрованная)
Уран	VI-A	U_{α} до 660 U_{β} 660-770 U_{γ} 770- 1133	Ромбоэдрическая Тетрагональная Кубическая объемноцентрированная
Марганец	VII-A	Mn_{α} до 742 Mn_{β} 742-1080 Mn_{γ} 1080-1180 Mn_{δ} 1180-1242	Кубическая сложная « « Тетрагональная гранецентрированная Неизвестна
Железо	VIII	Fe_{α} до 910 1401-1539 Fe_{γ} 910-1401	Кубическая объемноцентрированная КОЦ Кубическая гранецентрированная КГЦ
Кобальт	VIII	Co_{α} до 477 ⁰ C Co_{β} 477-1490 ⁰ C	Гексагональная плотноупакованная ГПУ Кубическая гранецентрированная КГЦ

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ;

1. Виды кристаллических решеток.
2. Анизотропия кристаллов.
3. Характеристика кристаллических структур.
4. Полиморфизм (аллотропия).

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ И МИКРОСТУРНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

Цель работы

1. Ознакомиться с диаграммой состояния железоуглеродистых сплавов и изучить природу превращений в углеродистых сталях при медленном непрерывном охлаждении.
2. Изучить микроструктуру углеродистых сталей в равновесном состоянии.
3. Изучить влияние содержания углерода на механические свойства медленно-охлажденных сталей.

Задание

1. Построить диаграмму состояния системы Fe-Fe₃C.
2. Построить кривую охлаждения для сплава с содержанием углерода, указанным преподавателем.
3. Исследовать с использованием микроскопа контрольные шлифы сталей, определить их фазовый состав, структуру и примерное содержание углерода. Зарисовать микроструктуры исследованных сталей.

Порядок оформления отчета

В отчете приводятся:

1. Цель работы и задание по ее выполнению.
2. Кривая охлаждения для стали с заданной концентрацией углерода.
3. Рисунки микроструктур - доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной углеродистой стали и их анализ.

Основные сведения

Принципиально важным для железо-углеродистых сплавов является то, что основной компонент - железо существует в двух аллотропических модификациях: объемноцентрированного куба (Fe_α) и гранецентрированного куба (Fe_γ).

Из кривой охлаждения чистого железа (рис.1) видно, что Fe_α существует в двух интервалах температур : ниже 911°C и от 1392 до 1539°C. Достигнув при охлаждении температуры 1392°C, Fe_α претерпевает аллотропическое превращение, в процессе которого кристаллическая решетка объемно-центрированного куба при постоянной температуре перестраивается в решетку гранецентрированного куба Fe_γ.

Второе аллотропическое превращение в процессе охлаждения происходит при температуре 911°C, когда Fe_γ (решетка гранецентрированного куба) перестраивается в объемноцентрированную кубическую решетку Fe_α.

При температуре 768°C , называемой точкой Кюри, железо испытывает магнитное превращение: ниже 768°C железо становится магнитным. Магнитное превращение есть особый вид превращения и имеет ряд особенностей, отличающих его от аллотропического превращения.

Железо с углеродом образует твердые растворы внедрения и химические соединения.

В зависимости от содержания углерода железо-углеродистые сплавы делятся на два класса: стали и чугуны.

Сталями называются сплавы, содержащие до 2,14% углерода.

Чугуны имеют в своем составе от 2,14 до 6,67% углерода.

В зависимости от содержания углерода и структуры сталей различают:

- техническое железо - сплавы, содержащие до 0,02% углерода.
- доэвтектоидные стали - сплавы, содержащие от 0,02 до 0,8% углерода,
- эвтектоидные стали - сплавы, содержащие 0,8% углерода,
- заэвтектоидные стали - сплавы, содержащие от 0,8 до 2,14% углерода.

Первичная и вторичная кристаллизация стали

При изучении превращений в железо-углеродистых сплавах в процессе медленного охлаждения и их микроструктуры в равновесном состоянии пользуются диаграммой состояния "железо-цементит" (рис.2), основы для разработки которой были впервые даны Д.К.Черновым в 1886 г.

Диаграмма состояния "железо-цементит", как и другие диаграммы состояния для двухкомпонентных систем, построена в координатах "температура-концентрация углерода в %". Максимальная концентрация углерода на диаграмме состояния составляет 6,67 %, что соответствует 100% цементита.

Первичная кристаллизация - это переход металла из жидкого состояния в твердое, т.е. процесс образования твердых кристаллов непосредственно из жидкого расплава.

Для углеродистых сталей этот процесс начинается при охлаждении, когда температура достигает значений, соответствующих линии ABC, и заканчивается на линии HJE. После окончания первичной кристаллизации и достижения температуры, соответствующей линии HJE, сталь, независимо от содержания в ней углерода, имеет полиэдрическую структуру аустенита, который при дальнейшем медленном охлаждении сохраняется до линии GS — в доэвтектоидных сталях и до линии SE - в заэвтектоидных.

В отличие от первичной кристаллизации процесс выделения вторичных кристаллов из твердой фазы носит название вторичной кристаллизации.

Сущность вторичной кристаллизации для углеродистых сталей состоит в распаде аустенита при охлаждении стали и образовании новых фаз: феррита и цементита.

Вторичная кристаллизация в доэвтектоидных сталях начинается

выделением феррита при достижении уровня температур при охлаждении, соответствующих линии GS. Из диаграммы состояния видно, что температура начала вторичной кристаллизации не постоянна. В доэвтектоидных сталях она понижается с увеличением содержания углерода.

В области GSP структура состоит из двух фаз: аустенита и феррита. По мере охлаждения от линии GS к линии PS количество феррита постепенно увеличивается, а количество аустенита уменьшается; при этом в оставшемся аустените концентрация углерода увеличивается по линии GS в направлении к точке S и достигнет 0,8 % при 727°C (линия PS).

При охлаждении заэвтектоидных сталей из аустенита по линии ES начинает выделяться вторичный цементит. При дальнейшем охлаждении между линиями ES и SK структура стали состоит из аустенита и вторичного цементита, количество которого непрерывно возрастает. Охлаждаясь, аустенит обедняется углеродом и достигает эвтектоидного состава (0,8 %C) при температуре 727° С (линия SK).

Таким образом в доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных сталях при температуре 727°C аустенит содержит 0,8 %C и распадается при постоянной температуре на две фазы: феррит и цементит:



а структура образующейся механической смеси называется перлитом.

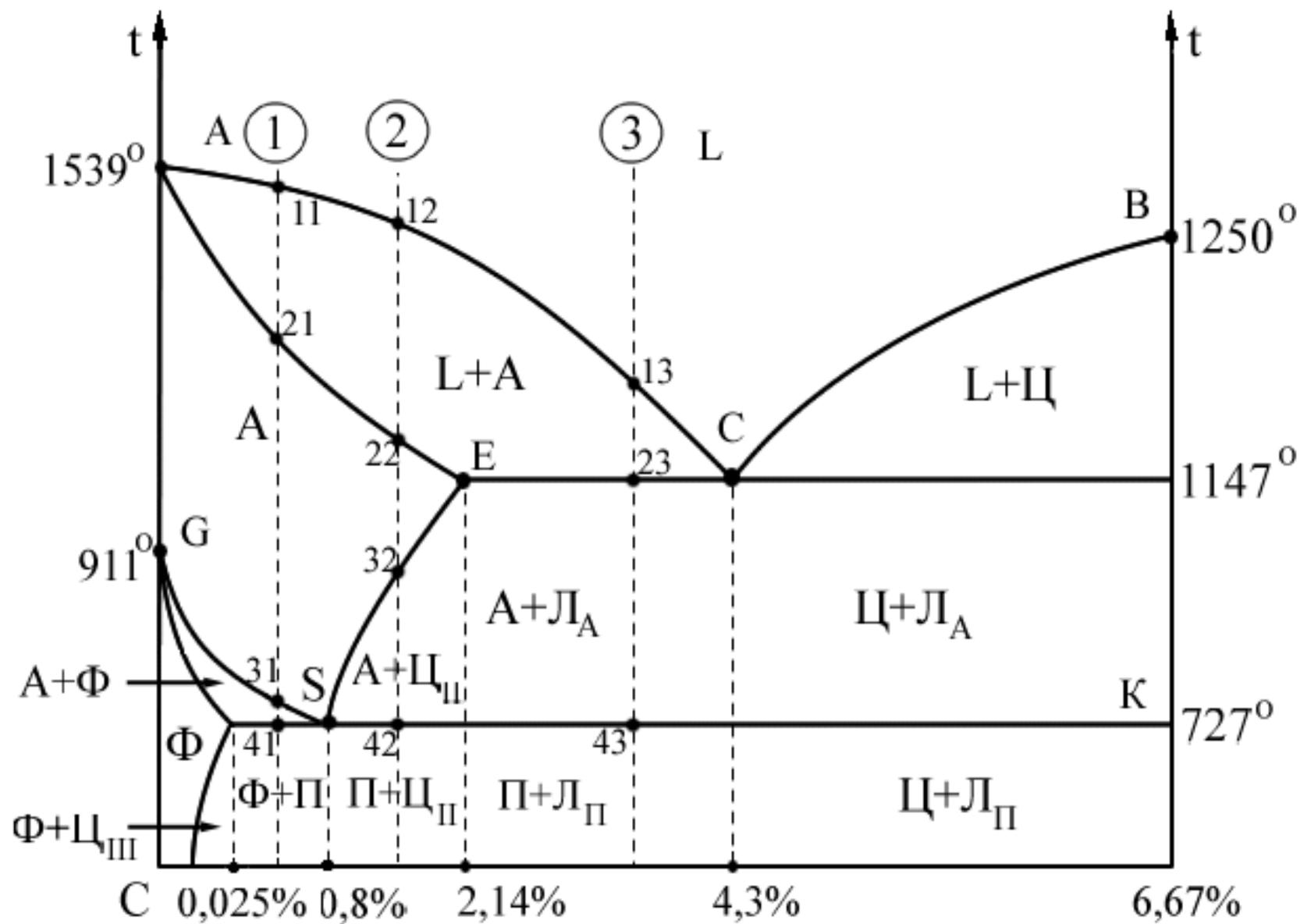


Рисунок 2.

Структура углеродистой стали в равновесном состоянии

Согласно диаграмме состояния сплавы, содержащие до 0,01% углерода, являются однофазными сплавами и имеют структуру чистого феррита. При содержании углерода от 0,01% до 0,02% структура сплавов состоит из феррита и третичного цементита, выделяющегося из феррита по линии PQ. Ввиду очень малого количества третичного цементита в структуре он обычно не наблюдается.

Структура доэвтектоидной стали, содержащей углерода более 0,02 %, состоит из феррита и перлита. С увеличением содержания углерода количество перлита увеличивается, а количество феррита уменьшается.

В доэвтектоидных сталях по микроструктуре можно с достаточной точностью определить содержание углерода, считая, что весь углерод находится в перлите. Для определения содержания углерода необходимо определить, какую часть поля зрения на шлифе занимают перлитные участки, и умножить полученную величину на 0,8. Например, если 40% всей площади занято перлитом, то содержание углерода в стали

$$40: 100 \times 0,8 = 0,32 \%$$

Структура эвтектоидной стали - перлит, т.е. механическая смесь двух фаз - феррита и цементита, в которой частицы цементита равномерно распределены в массе феррита. В зависимости от формы выделений цементита различают пластинчатый и зернистый перлит.

Структура заэвтектоидной стали состоит из перлита и вторичного цементита. С увеличением содержания углерода в стали количество вторичного цементита также увеличивается, в заэвтектоидной стали вторичный цементит выделяется главным образом в виде тонкой сетки по границам зерен перлита. При обычном травлении четырехпроцентным раствором азотной кислоты в спирте цементитная сетка имеет такую же светлую окраску, как и ферритная сетка в доэвтектоидных сталях. Для того, чтобы в сомнительных случаях убедиться, что включениями является цементит, шлиф заново полируется и подвергается травлению специальным раствором пикрата натрия, который окрашивает в темный цвет цементит и не окрашивает феррит.

Механические свойства медленноохлажденных сталей

Увеличение содержания углерода приводит к увеличению перлита в структуре доэвтектоидных сталей и вторичного цементита в структуре заэвтектоидных сталей.

Таким образом, с увеличением содержания углерода в структуре медленноохлажденных сталей количество цементита в них увеличивается, а количество феррита уменьшается. Такие изменения в структуре стали приводят к изменению ее механических свойств. Феррит имеет невысокую прочность ($\sigma \approx 250$ МПа), небольшую твердость (НВ ≈ 80) и высокую пластичность ($\delta \approx 50\%$).

Цементит имеет высокую твердость ($HV \approx 800$) и практически не обладает пластическими свойствами.

На рис.3 приведены зависимости механических свойств горячекатаной стали, для которой окончательное формирование структуры, а следовательно и свойств, определяется относительно медленным охлаждением после горячей прокатки, от содержания углерода. Приведенные значения механических свойств являются осредненными и могут колебаться в пределах 10 % в зависимости от условий охлаждения после прокатки, содержания примесей и др.

Из приведенных зависимостей видно, что с увеличением содержания углерода в медленноохлажденной стали ее твердость и прочность возрастают, а пластичность (относительное удлинение и относительное сужение) – понижается.

Понижение предела прочности при увеличении содержания углерода выше 1% связано с появлением в структуре стали хрупкой сетки вторичного цементита по границам зерен перлита.

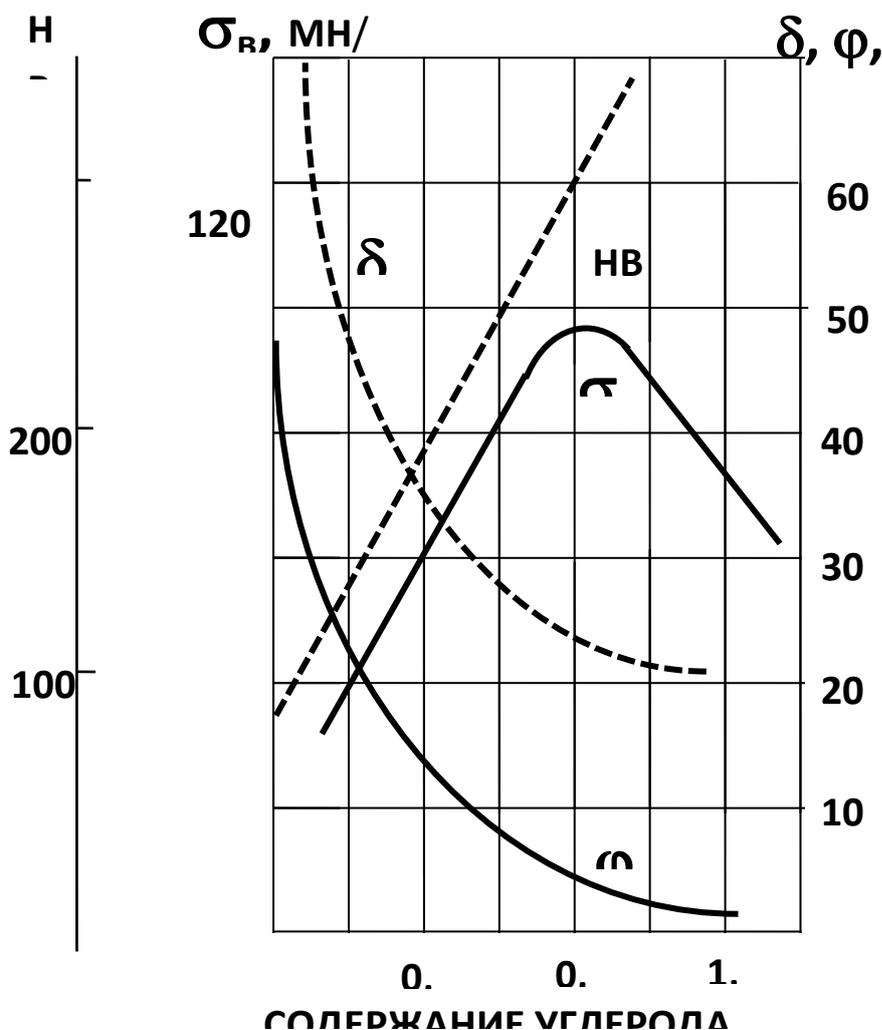


Рис. 3. Влияние содержания углерода на механические

Влияние массовой доли углерода на структуру и механические свойства стали.

По сопоставлению с эвтектоидным составом углеродистые стали подразделяются на: доэвтектоидные, эвтектоидную и заэвтектоидные.

Эвтектоидная сталь содержит 0,8% С и имеет перлитную структуру (рис.4б). Перлит –эвтектоидная смесь феррита и цементита. Перлит любой углеродистой стали содержит 0,8% С. Строение перлита таково, что дисперсные частицы цементита равномерно расположены в ферритной основе. В литой, горячекатанной и ковальной стали присутствует пластинчатый перлит, состоящий из перемежающихся пластинок феррита и цементита. В отожженной стали присутствует зернистый перлит, где цементит находится в форме зернышек. На рис. 2б схематически изображено пластинчатое строение перлита, в котором темные полосы представляют тени на светлом фоне феррита от выступающих после травления шлифа цементитных частиц. При микроскопическом исследовании для случая большой степени дисперсности цементитных частиц или малых увеличений микроскопа двухфазное строение перлита может не выявляться. В таких случаях перлит выявляется и виде сплошного темного фона.

Доэвтектоидные стали содержат от 0,02 до 0,8% С и имеют ферритно-перлитную структуру (рис. 4а). Здесь светлые зерна – это феррит, а темные (штрихованные) участки представляют собой перлит, являющийся двухфазной структурной составляющей, состоящей из пластинок феррита и цементита.

Количественное соотношение этих структурных составляющих зависит от массовой доли углерода в стали. Поскольку феррит содержит очень мало углерода (0,006 %), то основным носителем углерода в доэвтектоидной стали является перлит, характеризующийся постоянной массовой долей углерода (0,8%). Поэтому с увеличением в стали массовой доли углерода доля перлита и структуре увеличивается, а феррита соответственно уменьшается. Изменение структуры влечет за собой изменения механических свойств. Направление этих изменений можно определить на основе сопоставления свойств структурных составляющих. Перлит содержит 88% ферритной фазы и 12% цементитной и поэтому, по сравнению с ферритной структурной составляющей, обладает большей твердостью и прочностью. Следовательно, с увеличением массовой доли углерода в доэвтектоидной стали увеличивается доля перлита в ее структуре, что приводит к увеличению твердости и прочности и уменьшению пластичности и ударной вязкости.

Заэвтектоидные стали содержат углерода от 0,8 до 2,14% и имеют структуру, которая состоит из перлита и цементита (рис. 4в).

Структурно-свободный цементит (цементит вторичный) в объеме медленно охлажденной стали располагается вокруг перлитных зерен и металлографически это

проявляется в виде цементитной сетки. Такое расположение вторичного цементита способствует повышению хрупкости и снижению вследствие этого, прочности. Поэтому от цементитной сетки избавляются путем отжига на зернистый перлит, добиваясь более равномерного распределения зерен цементита в стали.

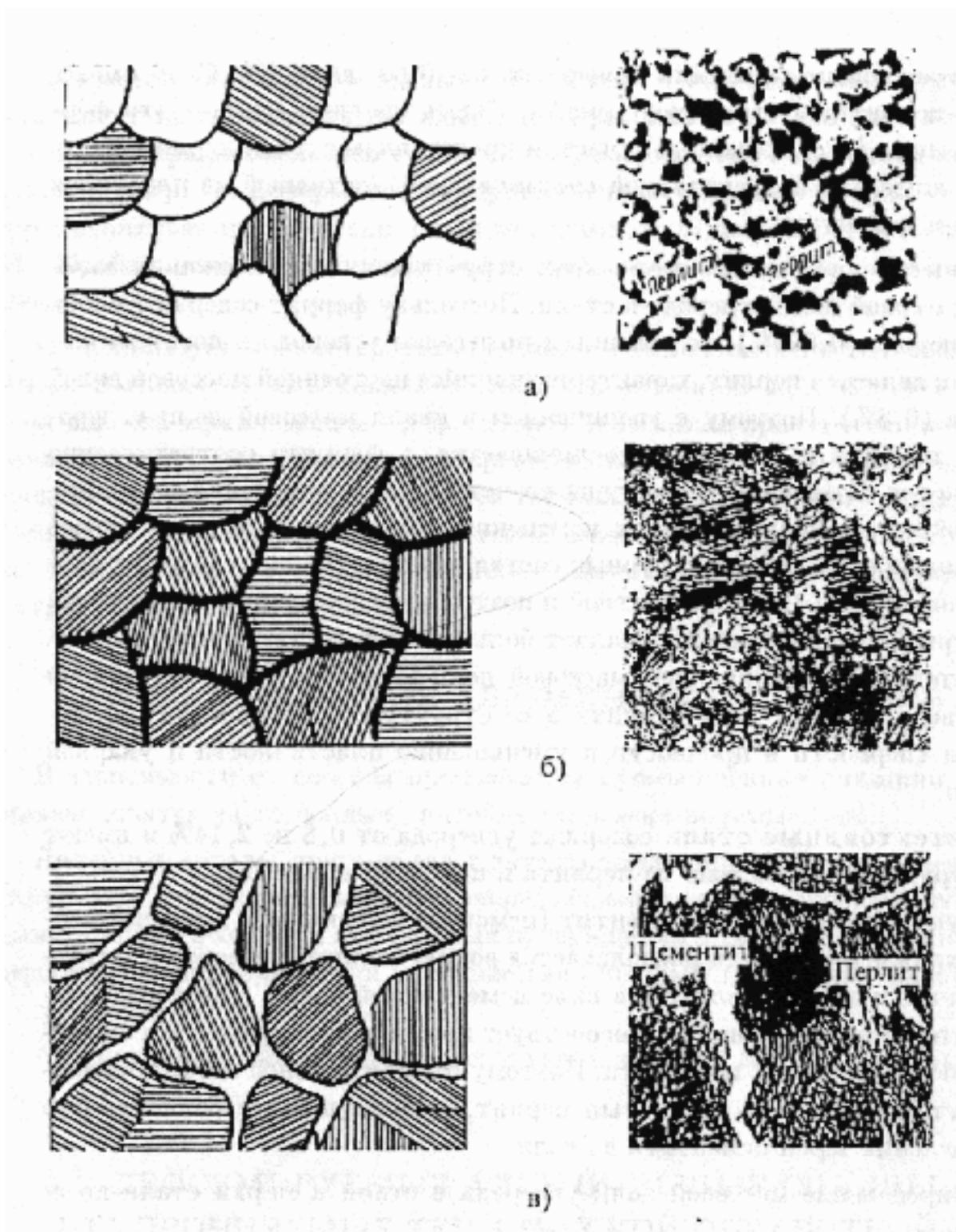


Рис.4. Микроструктура углеродистых сталей:
а) доэвтектоидной; б) эвтектоидной; в) заэвтектоидной

Сталь с концентрацией углерода 0,1 %



x200

Рисунок 1

Рисунок 5

Сталь с концентрацией углерода 0,3 %



x100

Рисунок 2

Рисунок 6

Сталь с концентрацией углерода 0,4 %

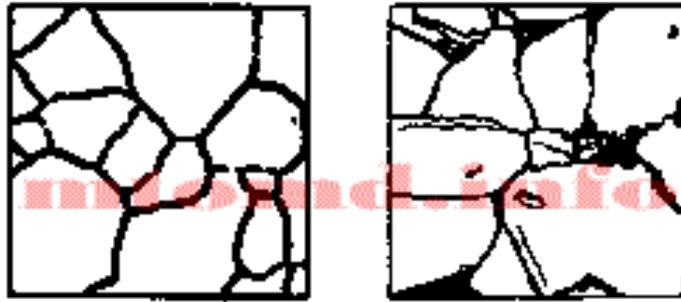


x100

Рисунок 3

Рисунок 7

Рисунок 8 — Микроструктуры технического железа



а)

б)

а – содержание углерода менее 0,006%;

б – содержание углерода 0,006...0,02 %

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что такое сталь?
2. Компоненты углеродистых сталей?
3. Дать определение фаз углеродистых сталей (феррита, цементита, аустенита)?
4. Охарактеризовать механические свойства феррита и цементита?
5. Влияние массовой доли углерода на количественное соотношение фаз и механические свойства стали?
6. Что такое перлит?
7. Структурные составляющие углеродистых сталей и особенности их механических свойств?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА СТАЛИ

Цель работы: Изучить влияние температурно-временных условий нагрева и режимов охлаждения при термической обработке на свойства стали.

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Металлопродукция с металлургических предприятий поступает на машиностроительные заводы обычно в виде различного проката, поковок, в литом состоянии. Из них изготавливают заготовки деталей машин, которые подвергают предварительной термической обработке. Последующей механической обработкой резанием. получают детали заданной геометрической формы и размеров. Эти детали далее проходят упрочняющую термическую обработку и, в случае сложных машин, направляются на сборку отдельных частей машины, а из сборочных единиц собирается сама машина. Схема обработки и изготовления на машиностроительных заводах объемных деталей машин (рычаги, коленчатые валы и шатуны двигателей внутреннего сгорания, зубчатые колеса и др.) из деформируемых металлических материалов представлена на рис. 1. Как видно, в процессе изготовления деталей машин два раза проводится термическая обработка.

Термическая обработка - процесс обработки изделий из технических материалов путем теплового воздействия (нагрева и охлаждения) с целью изменения их структуры и свойств в заданном направлении.

Термическую обработку применяют как окончательную для получения заданных механических, физических, эксплуатационных свойств деталей машин, а также промежуточную (предварительную) с целью улучшения технологических свойств (обрабатываемости режущими инструментами, обрабатываемости давлением и др.).

Основными видами предварительной термической обработки заготовок из конструкционных сталей в машиностроении являются нормализационный или

полный отжиг. Для их проведения заготовки нагревают в случае использования конструкционных доэвтектоидных сталей выше температуры фазового превращения t_{AC3} на 30...50°C и получают структуру аустенита. После некоторой выдержки при температуре нагрева проводят охлаждение на воздухе (нормализационный отжиг) или вместе с печью (полный отжиг), получая структуру из феррита и перлита.

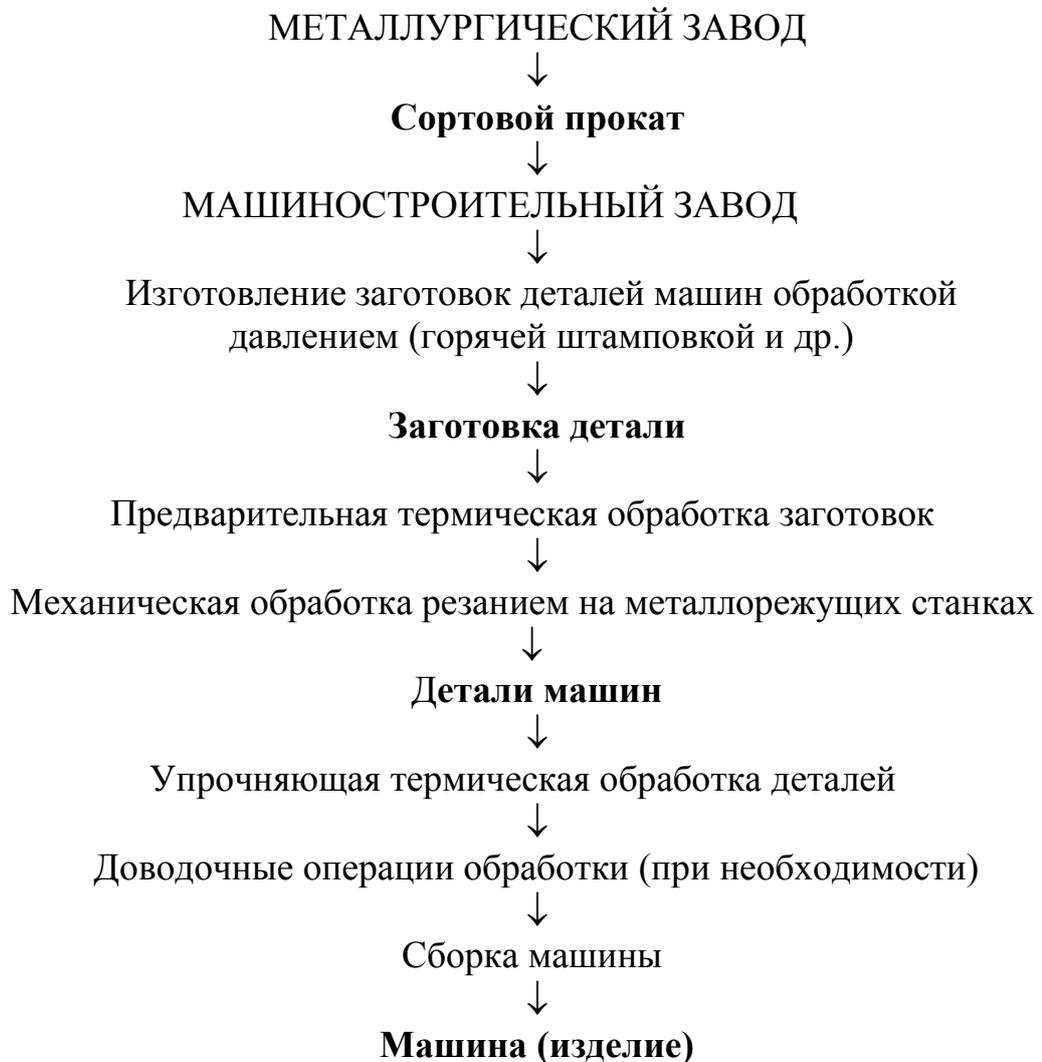


Рисунок 1. Типовая укрупненная схема обработки и изготовления объемных деталей машин на машиностроительном заводе

Предварительная термическая обработка снижает твердость стали и улучшает обрабатываемость резанием. За показатель обрабатываемости при резании принимается обычно численное значение скорости резанием при точении резцами из быстрорежущей стали на токарном станке, которой соответствует стойкость резцов 60 минут (время между двумя переточками режущей кромки инструмента).

При содержании углерода в конструкционных углеродистых и низколегированных сталях менее 0,5% проводят обычно для заготовок нормализационный отжиг, а для сталей, имеющих более 0,5% углерода – полный отжиг.

Типовая окончательная термическая обработка деталей машин и инструментов состоит из двух операций: 1 - закалки с получением на этапе охлаждения с большой скоростью (для углеродистых сталей в воде и других средах) из аустенита структуры мартенсита ($A \rightarrow M$); 2 - отпуска закаленной стали с нагревом до температуры не выше температуры фазового превращения A_{c1} . Применение термической обработки значительно изменяет механические свойства стали. Схемы основных видов термической обработки для конструкционных доэвтектоидных сталей представлены на рис. 2.

Данные о механических свойствах конструкционных среднеуглеродистых (улучшаемых) сталей различного химического состава после закалки и высокого отпуска приведены в табл. 1.

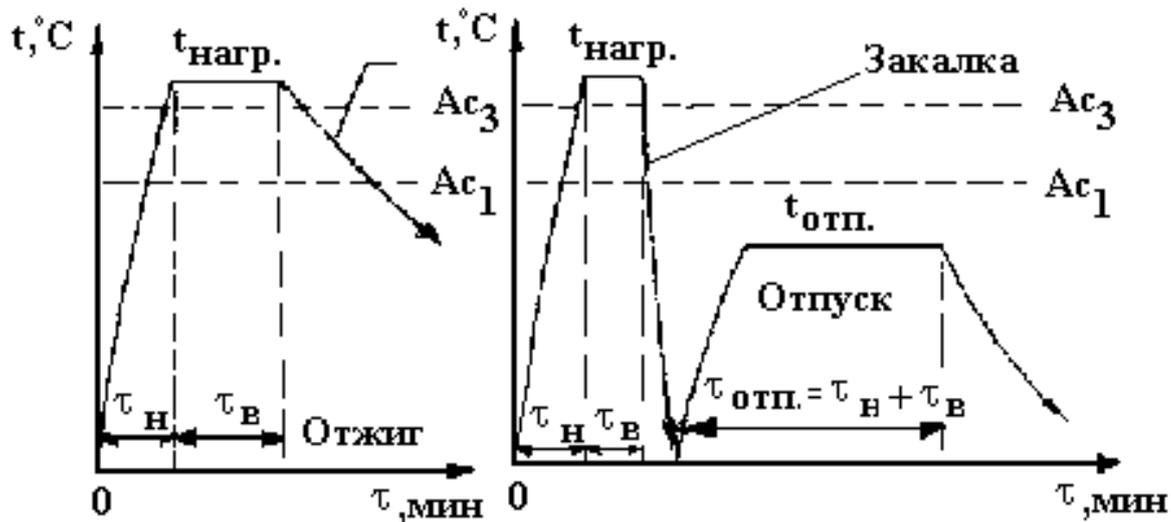


Рисунок 2. Схемы термической обработки конструкционных сталей

Таблица 9. Механические свойства некоторых типовых конструкционных среднеуглеродистых сталей после закалки и высокого отпуска

Марка стали	Критический диаметр, мм	Для деталей с поперечным размером, мм	Механические свойства	
			$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа
45	12	15...20	490	730
40X	15	25...35	800	900
40XH	25	50...75	800	1000
40XH2MA	100	75...100	950	1050
38XH3MФА	100	100...200	1070	1150

2. МАТЕРИАЛЬНО – ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

В работе используются лабораторные электрические печи, автоматические потенциометры для регулирования температуры нагрева в печи, бачки с водой и маслом для охлаждения, заточный станок (точило) для зачистки образцов от заусенцев и окалины, твердомеры, щипцы для загрузки образцов в печь и выгрузки, образцы сталей разных марок, линейка для измерения размеров образцов или штангенциркуль.

Работа выполняется в лаборатории термической обработки. Для нагрева образцов применяются электрические лабораторные камерные или муфельные печи. Примером камерной печи является печь СНОЛ-1.6.2. 5. I/II-M1^X) мощностью 3 кВт. Рабочая камера, в которой проводится нагрев, выполнена из жаростойкой керамики. Нагревательные элементы в виде спиралей расположены в углублениях по боковым стенкам, на поду и в своде печи. Для предохранения спиралей от повреждений и расположения нагреваемых образцов имеется на поду печи плоская керамическая плитка. С целью измерения температуры в рабочую зону печи вставляется термопара. Рабочая камера печи спереди закрывается крышкой. Максимальная температура в рабочей зоне составляет 1100°C. Печь снабжена милливольтметром типа МП-64-02.

Для точного измерения и автоматического поддержания заданной температуры применен особый прибор - автоматический электромеханический потенциометр типа КСП4, к которому с помощью электрических проводов присоединена термопара. Прибор может автоматически записывать данные о температуре в печи на ленточную бумажную диаграмму в прямоугольных координатах.

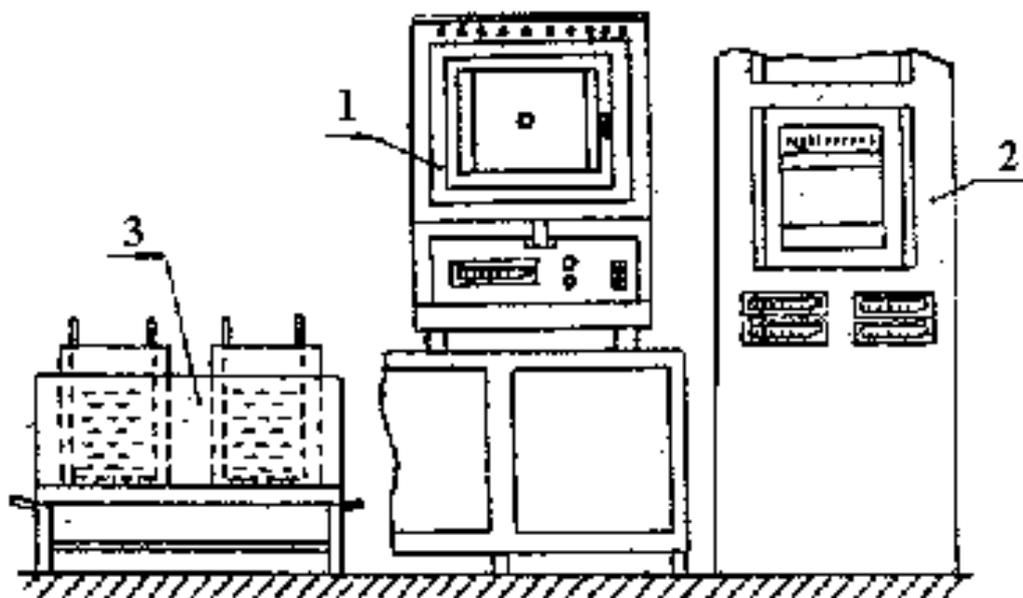


Рисунок 2. Схема установки для проведения термической обработки:

- 1 – печь; 2 – шкаф с потенциометрами;
- 3 – бачки с охлаждающими жидкостями.

Рядом с печами располагаются на подставке бачки с водой и минеральным маслом. Бачки имеют "корзинки" с отверстиями, посредством которых образцы после завершения охлаждения вынимаются из охлаждающей среды. Схема установки для термической обработки показана на рис. 2.

Оценка механических свойств образцов проводится в данной работе по численному значению твердости.

Твердость - свойство материала оказывать сопротивление пластической деформации при вдавливании под постоянной нагрузкой в плоскую поверхность материала шарика из закаленной твердой стали, алмазного конуса или пирамиды.

Имеются различные методы измерения твердости: метод Бриннеля, Роквелла, Виккерса и др.

3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.

Практическая часть работы выполняется в следующем порядке:

1. Преподаватель назначает марку стали, определяется ее структурный класс.
2. Определяется по заданию вид термической обработки: закалка, отжиг, закалка с отпуском.
3. Далее переходят к назначению режимов термической обработки: температуры нагрева, времени нагрева и выдержки, охлаждающей среды. Некоторые показатели режима в зависимости от конкретного задания указываются преподавателем.

Температура нагрева подсчитывается по формулам, приведенным в таблице 2.

Численные значения температур фазовых превращений A_{c1} и A_{c3} принимаются по данным таблицы 3.

Таблица 2. Температуры нагрева и охлаждающие среды при термической обработке стали

Вид термической обработки стали	Температура нагрева, °С		Типовая охлаждающая среда
	Стали доэвтектоидные (менее 0,8 %С)	Стали эвтектоидные и заэвтектоидные (от 0,7...0,8 до 2,14%)	
Отжиг	$t_{отж} = t_{Ac3} + (30...50 \text{ } ^\circ\text{C})$	$t_{отж} = t_{Ac1} + (30...70 \text{ } ^\circ\text{C})$	С печью
Нормализационный отжиг	$t_{н.о.} = t_{Ac3} + (50...80 \text{ } ^\circ\text{C})$	$t_{н.о.} = t_{Acм} + (30...50 \text{ } ^\circ\text{C})$	На спокойном воздухе
Закалка	$t_{зак} = t_{Ac3} + (30...50 \text{ } ^\circ\text{C})$	$t_{зак} = t_{Ac1} + (70...100 \text{ } ^\circ\text{C})$	Углеродистые стали – в воде, легированные – в масле
Отпуск закаленной стали	Ниже A_{c1} (в зависимости от заданных свойств при 160...650 °С)		Для большинства сталей – на воздухе

Таблица 3. Температуры критических точек A_{c1} , A_{c3} , A_{cm} некоторых сталей

Марка стали	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$A_{c1}, ^\circ C$	735	735	735	730	727	725	750	727	727
$A_{c3}, ^\circ C$	854	840	812	802	788	770	760	774	766
Марка стали	У7	У8	У10		У12	У13			
$A_{c1}, ^\circ C$	730	730	730		730	730			
$A_{cm}, ^\circ C$	-	-	800		820	820			

При этом вычисляют два численных значения температуры: минимальное t_{min} и максимальное t_{max} . Эти значения температуры характеризуют оптимальный интервал температуры нагрева. Фактическая величина температуры в печи должна находиться в этом интервале (не ниже t_{min}).

Пример. Закалка стали У12 ($A_{c1}=730^\circ C$): $t_{min} = 730 + 70 = 800^\circ C$;

$$t_{max} = 730 + 100 = 830^\circ C.$$

Время нагрева образцов до заданной температуры вычисляют по следующей эмпирической зависимости:

$$\tau_H = 1,5 D, \text{ мин,}$$

где D - диаметр или толщина образца мм.

Время выдержки при заданной температуре

$$\tau_B = 0,2 \tau_H, \text{ мин.}$$

Общее время от загрузки образцов в рабочую камеру печи до их выгрузки из печи составляет сумму времени нагрева и выдержки:

$$\tau = \tau_H + \tau_B$$

Пример. Диаметр образца равен 12 мм:

$$\tau_H = 1,5 \cdot 12 = 18 \text{ мин;}$$

$$\tau_B = 0,2 \cdot 18 = 3,6 \text{ мин;}$$

$$\tau = 18,0 + 3,6 = 21,6 \text{ мин.}$$

Охлаждающая среда при термической обработке стали назначается по таблице 2.

Студенты получают образцы стали заданной марки и зачищают их от заусенцев на заточном станке (точиле). Далее измеряют твердость образцов до термообработки методом Роквелла по шкале HRB. Полученное число твердости переводится по таблице в шкалу HB. Величину твердости записывают в таблицу.

После этого образцы с помощью щипцов загружаются в печь под руководством лаборанта. Предварительно печь отключается от электрической сети. После загрузки образцов в печь дверца закрывается, и печь включается в электрическую сеть. По истечении времени нагрева и выдержки печь отключается от электрической сети, образцы с помощью щипцов быстро выгружаются из печи и помещаются в заданную охлаждающую среду.

После завершения охлаждения образцы зачищаются на заточном станке (точиле) и лаборант измеряет твердость в зависимости от вида термической обработки по шкале HRC или HRB. Полученные числа твердости переводятся по таблице в шкалу HB. Величины твердости записывают в таблицу.

Форма таблицы 4 для записи результатов термической обработки по всему заданию дана ниже:

Таблица 4. Влияние термической обработки на твердость стали

Марка стали. Вид термообработки (т.о.)	Режим термообработки			Твердость стали				
	t, °C	τ, мин	Среда охлаждения	до т.о.		после т.о.		
				HRB	HB	HRB	HRC	HB

В работе несколько человек студентов выполняют одно из практических заданий по термической обработке сталей с заданным содержанием углерода. На небольших образцах сталей в лабораторных условиях имитируется реальная термическая обработка заготовок, деталей машин и инструментов. Практические задания даны ниже.

ЗАДАНИЕ 1. Изучение влияния охлаждающей среды (скорости охлаждения) на твердость стали.

Четыре образца углеродистой стали заданной марки нагреть, выдержать и охладить:

первый образец в воде (полная закалка),
второй - в минеральном масле (частичная закалка),
третий - на воздухе (нормализационный отжиг),
четвертый - в печи (полный отжиг).

Измерить твердость образцов до и после термической обработки.

Таблица 5. Скорость охлаждения в различных средах

Охлаждающая среда	вода	масло	воздух	с печью
Примерная скорость охлаждения, градусов /с	600	100	1	0,05

По полученным данным строится график зависимости твердости стали от скорости охлаждения. Сделать выводы: после каких видов термической обработки достигается максимальная и минимальная твердость стали; - о влиянии скорости охлаждения на твердость стали.

ЗАДАНИЕ 2. Изучение влияния закалки на твердость стали с различным содержанием углерода.

Для нескольких образцов углеродистых сталей разных марок проводится закалка.

Измеряется твердость образцов до и после закалки.

По полученным данным строятся два графика зависимости твердости от содержания углерода (до закалки для сталей марок У7, У8, У10 и после закалки для всех изученных сталей).

Сделать выводы:

- о влиянии закалки одной марки стали на твердость;
- о влиянии содержания углерода на твердость закаленной стали.

ЗАДАНИЕ 3. Изучение влияния температуры отпуска на твердость закаленной стали .

Три образца стали одной марки подвергнуть закалке. Измерить твердость каждого образца до и после закалки.

Провести отпуск закаленных образцов при температуре:

первого—200°С,

второго - 400°С,

третьего - 600°С.

Время нагрева и выдержки 30 мин.

Измерить твердость после отпуска.

По полученным данным построить график зависимости твердости от температуры отпуска.

Сделать выводы:

-о влиянии температуры отпуска закаленной стали на твердость;

-после отпуска при какой температуре достигается наиболее высокая и наименьшая твердость исследуемой стали.

По полученным данным на доске проводят построение графиков зависимостей твердости НВ от изменяемых факторов: содержания углерода в стали; скорости охлаждения при термической обработке; температуры отпуска закаленных образцов. Для этого каждый студент отмечает в соответствующих координатах экспериментальные точки.

Далее студенты по заданиям формулируют выводы, которые записываются в отчет. Выводы в отчете каждого студента приводятся по всем трем заданиям.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Итоги проведенной работы оформляют в отчете, который должен содержать следующие разделы:

1. Цель работы.

2. Оборудование, приборы и материалы, использованные при выполнении работы.

3. Теоретические положения: понятие термической обработки, типовые виды предварительной и окончательной термической обработки конструкционных сталей, графики термической обработки.

4. Методика проведения работы и полученные результаты. Задание по термической обработке, марка стали, вид термической обработки, выбор режима

термической обработки, таблица результатов по всему заданию. Три графика зависимости твердости от изучаемых факторов по всем заданиям.

5. Выводы по работе.

В конце занятия преподаватель путем устного опроса проверяет усвоение знаний по вопросам для самопроверки. Оформленные отчеты проверяются и подписываются преподавателем.

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ И САМОПРОВЕРКИ

1. Понятие термической обработки.

2. Какие основные виды термической обработки применяются в машиностроении?

3. Какое влияние оказывают полный отжиг и полная закалка с отпуском на механические свойства конструкционной стали?

4. Какие печи применяются для термической обработки в лаборатории материаловедения?

5. Для каких целей применяются потенциометры?

6. Понятие твердости материалов.

7. Как определяется температура нагрева при закалке и отжиге?

8. Какая охлаждающая среда применяется в случае нормализационного отжига?

ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ И УКАЗАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Для выполнения этой работы необходимо иметь прибор для определения твердости, муфельные лабораторные печи, оснащенные приборами для контроля температур, закалочные баки с охлаждающими средами, шлифовальный станок, образцы стали в отожженном состоянии.

При работе с электрическими печами сопротивления необходимо помнить, что они могут явиться источниками поражения электрическим током и термических ожогов.

Запрещается начинать работу с печами без разрешения преподавателя или лаборанта.

Во избежание поражения электрическим током загрузку образцов в печь и их выгрузку производить только при выключенном электропитании печи, для чего переключатель регулятора опустить вниз (при этом сигнальная лампочка на печи должна погаснуть).

Во избежание термических ожогов запрещается прикасаться к корпусу печей и работать без специальных клещей.

При закалке в воде или масле следует быстро погружать щипцами образец под поверхность ванны и вращать его для интенсификации охлаждения.

При работе на твердомере необходимо помнить, что он может явиться источником поражения электрическим током.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И СВОЙСТВА ЧУГУНА

Цель работы: изучить структуру чугунов общего назначения. Проанализировать формирование структуры сплавов при кристаллизации и фазовых превращениях в твердом состоянии. Установить связь между диаграммой состояния железо-цементит (железо-графит) и структурой сплавов.

Порядок выполнения работы

1. На световом микроскопе просмотреть микроструктуру образцов из белого, серого, высокопрочного и ковкого чугуна. Зарисовать изучаемую структуру, указать фазы и структурные составляющие сплавов.

2. Изобразить метастабильную и стабильную диаграммы состояния Fe-C. Для сплавов указать критические точки, проанализировать формирование структуры при кристаллизации из жидкости и на разных этапах развития фазовых превращений в твердом состоянии.

3. Определить фазовые и структурные составляющие чугунов, сопоставить их с диаграммами состояний и условиями охлаждения сплавов.

Теоретическое введение

Белые чугуны относятся к высокоуглеродистым сплавам системы железо-углерод. В белых чугунах не присутствует С (графит) в свободном состоянии, а только в виде соединения Fe_3C - цементита.

Фазовое состояние белых чугунов определяется метастабильной диаграммой Fe- Fe_3C в области концентраций углерода от 2,14 до 6,67 % (рис.1).

В белых чугунах, в отличие от сталей, реализуется эвтектическое превращение при температуре 1147 °С: $J_C \text{---} 1147 > \gamma_E + Fe_3C$, эвтектику ($\gamma_E + Fe_3C$)_Э называют ледебуритом.

Ледебурит - это эвтектическая физико-химическая смесь аустенита и цементита, образующаяся в результате эвтектической кристаллизации из жидкости, содержащей 4,3 % углерода.

Ледебурит представляет собой колониюную структуру, основу которой составляют пластины цементита, проросшие разветвленными кристаллами аустенита. На шлифе колония ледебурита в зависимости от направления поверхности шлифа относительно аустенитных ветвей может выглядеть либо в виде «зернистой» смеси при поперечном сечении колонии, либо «пластинчатой» - при продольном сечении. При сечении колонии под углом к плоскости базиса цементита

сечения аустенитных ветвей в составе ледебурита будут эллиптической конфигурации.

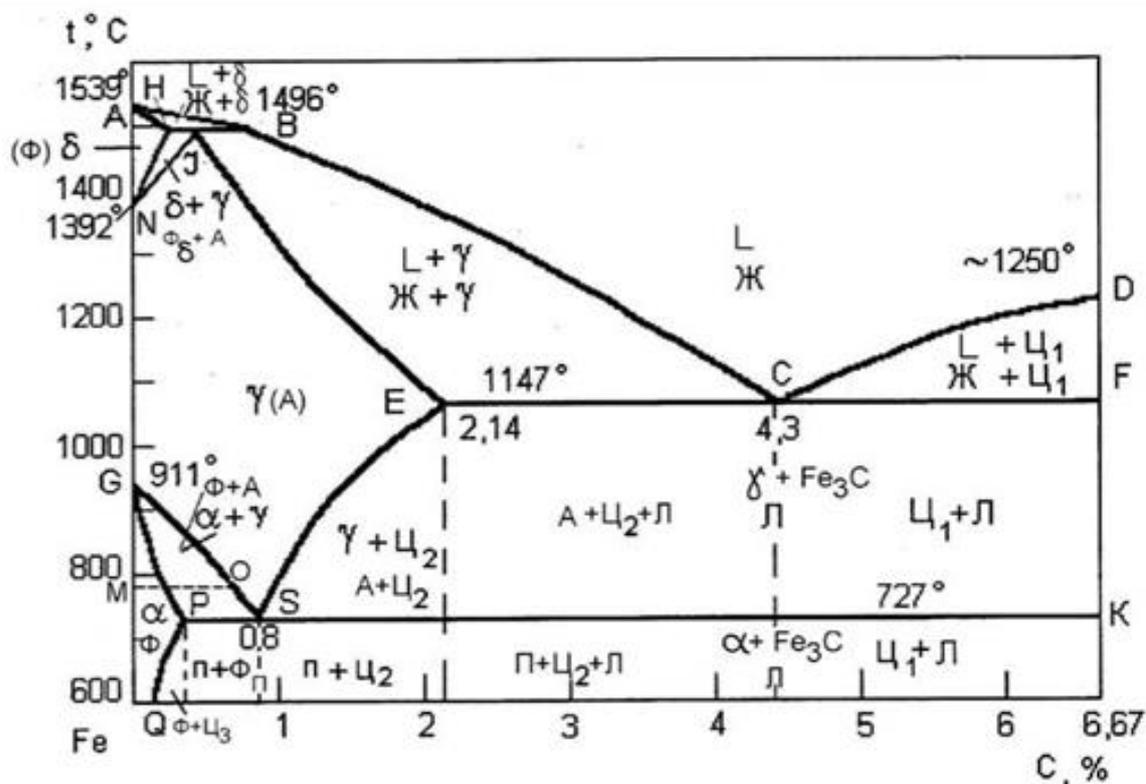


Рисунок 1. Фазово – структурная метастабильная диаграмма железо - цементит

Кроме колонийного (сотового) ледебурита эвтектическая смесь аустенита и цементита может встречаться в виде пластинчатой эвтектики, представляющей собой пакет тонких цементитных пластинок, разделенных аустенитом. Чаще всего пакет пластинчатого ледебурита составляет основу, на которой зарождается и растет колония сотового ледебурита.

Ледебурит, состоящий из эвтектической смеси аустенита и цементита, устойчив в температурном интервале от эвтектической до эвтектоидной линии на диаграмме Fe-Fe₃C. При понижении температуры ниже 727 °С аустенит в составе ледебурита претерпевает эвтектоидное превращение $\gamma_s \rightarrow \alpha_p + \text{Fe}_3\text{C}$, и при комнатной температуре *превращенный ледебурит* представляет собой эвтектическую смесь перлита с цементитом $[(\alpha_p + \text{Fe}_3\text{C}) + \text{Fe}_3\text{C}]$. Строение перлита в ледебурите такое же, как и в сталях.

Ледебурит, как и цементит, образующий его основу, тверд, износостоек и обладает практически нулевой пластичностью. Эти свойства ледебурита лежат в основе использования такой структуры в белых чугунах, которые применяются в качестве одних из наиболее износостойких материалов.

Стабильная диаграмма состояния железо-графит используется для описания фазовых и структурных превращений в железоуглеродистых сплавах, содержащих в структуре свободный углерод (*графит*). В сплавах диаграммы состояния Fe-C

происходит эвтектическое превращение $\text{Ж}_C \rightarrow \gamma_s + \Gamma$ при температуре 1153 °С с образованием аустенито-графитной эвтектики.

Аустенито-графитная эвтектика представляет собой смесь кристаллов аустенита и графита, сформировавшуюся при одновременном выделении из жидкости состава 4,25 % С обеих фазовых составляющих. При малых степенях переохлаждения графит эвтектики имеет, как и первичный графит, разветвленную пластинчатую форму.

В условиях очень медленного охлаждения при температуре ниже 738 °С аустенит, содержащий 0,69 % С, распадается по реакции $\gamma_s \rightarrow \alpha_p + \Gamma$ на эвтектоидную физико-химическую смесь - феррито-графитный эвтектоид ($\alpha_p + \Gamma$).

Феррито-графитный эвтектоид - это дисперсная смесь феррита, составляющего основу структуры сплава, и дисперсных разветвленных или сферических частиц графита, распределенных в феррите статистически равномерно. Однако в большинстве случаев эвтектоидный графит при распаде аустенита осаждается на ранее образовавшихся первичных и эвтектических кристаллах графита. Эвтектоидное превращение с образованием ферритографитного эвтектоида используется при термической обработке чугунов и графитизированной стали для получения феррито - графитной структуры, обладающей хорошими антифрикционными свойствами при сохранении достаточно высокой пластичности сплавов.

Структура чугунов

Образец 42 - эвтектический белый чугун (С = 4,3 %). Структура: превращенный ледебурит, состоящий из перлита и цементита.

Образец 41- доэвтектический белый чугун (сплав с содержанием углерода от 2,14 до 4,3 %). Структура: перлит, превращенный ледебурит (перлит + цементит) и вторичный цементит.

Образец 43 - заэвтектический белый чугун ($4,3 < C < 6,67$ %). Структура: первичный цементит и превращенный ледебурит.

Образец 44а - серый чугун на ферритной основе. Структура: пластинчатый графит, феррит.

Образец 44 - серый чугун на перлитной основе. Структура: пластинчатый графит, перлит, фосфидная эвтектика.

Образец 45 - серый чугун на феррито-перлитной основе. Структура: пластинчатый графит, феррит, перлит и фосфидная эвтектика.

Образец 46 - ковкий чугун. Структура: феррит и хлопьевидный графит.

Белый чугун с содержанием углерода 4,3 % называется эвтектическим. На кривой охлаждения эвтектического чугуна имеются две критические точки. Формирование структуры эвтектического чугуна можно описать структурной цепочкой согласно таблице 1.

Таблица 1. Схема фазовых и структурных превращений в эвтектическом чугуне с содержанием углерода 4,3 % С

Условия развития превращения		t = cost в точке С		t = cost на линии PSK	
Фазовый состав	L	→	$(\gamma + \text{Fe}_3\text{C})_3$	→	$[(\alpha + \text{Fe}_3\text{C})_3 + \text{Fe}_3\text{C}]_3$
Структура	Ж	→	Л	→	Л

При охлаждении жидкого чугуна эвтектического состава до точки С жидкий раствор, являющийся ненасыщенным железом и углеродом, по достижении температуры 1147 °С становится насыщенным, а при последующем переохлаждении - пересыщенным как по железу, так и по углероду. В связи с этим при переохлаждении ниже точки С будет идти одновременная кристаллизация аустенита и цементита в виде взаимно прорастающих и разветвляющихся кристаллов с характерным регулярным строением, основу которого составляет цементитный кристалл, пронизанный ветвями аустенита. Такая эвтектическая структура носит название ледебурит. Переохлаждение ледебурита ниже 727 °С приводит к распаду аустенита в составе ледебурита на перлит. Поэтому после охлаждения ниже указанной температуры ледебурит оказывается состоящим из перлита и цементита с прежним внешним эвтектическим строением, сформировавшимся при кристаллизации.

Структура эвтектического чугуна (образец 42) представлена превращенным ледебуритом, который состоит из перлита и цементита. Ледебурит в чугуне может иметь пластинчатое (пакетное) или, наиболее часто, сотовое строение (рис. 2).

В ряде случаев эвтектические колонии ледебурита на периферии имеют весьма грубое строение, так что распавшийся аустенит кажется обособленным от эвтектики и его можно принять ошибочно за первичные выделения аустенита, как в доэвтектических чугунах.

В доэвтектическом белом чугуне содержится углерода менее 4,3 %. Формирование структуры доэвтектического чугуна определяется превращениями (табл.2).

В доэвтектических чугунах из жидкой фазы по механизму кристаллизации

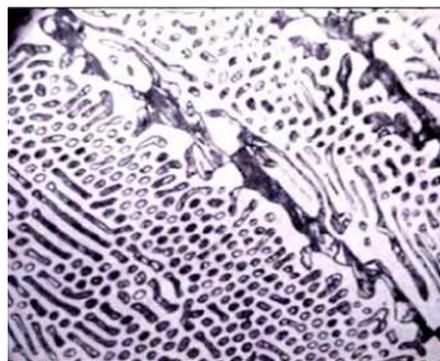


Рисунок 2. Структура эвтектического чугуна (ледебурит)

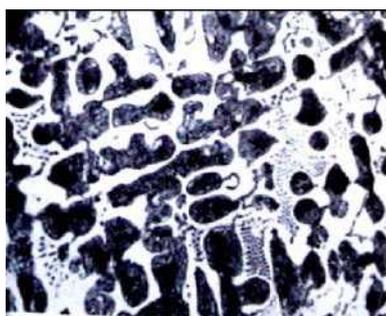
твердых растворов выделяется первичный аустенит в форме дендритов. Это приводит к обогащению оставшейся жидкости углеродом, концентрация которого в ней при температуре 1147 °С достигает 4,3 %.

Таблица 2. Схема фазовых и структурных превращений в доэвтектическом чугуна с содержанием углерода 2,14-4,3 % С.

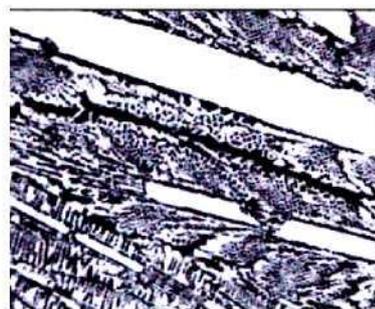
Условия развития превращения		Δt ниже линии BC		t=cost на линии ECF		Δt ниже линии ECF		t=cost на линии PSK	
Фазовый состав	L	→	L	→	$(\gamma+Fe_3C)_3$	→	$(\gamma+Fe_3C)_3$	→	$[(\alpha+Fe_3C)_3+Fe_3C]$
			+		+		+		+
		↓	γ		γ	→	γ	→	$(\alpha+Fe_3C)_3$
							+		+
						↓	Fe_3C_{II}	→	Fe_3C_{II}
Структура	Ж	→	Ж+А	→	Л+А	→	Л+А+Ц _{II}	→	Л+П+ Ц _{II}

Дальнейшее переохлаждение сплава ниже 1147 °С вызывает развитие эвтектической кристаллизации жидкости. При охлаждении в интервале температур 1147-727 °С аустенит обедняется углеродом и его состав изменяется по линии ES, что приводит к выделению вторичного цементита. При переохлаждении ниже 727 °С аустенит точки S распадается на эвтектоидную смесь, которая имеет внешние очертания аустенита. Чем больше в чугуне углерода, тем меньше в его структуре перлита и больше ледебурита.

Вторичный цементит, выделяющийся по границам зерен первичного аустенита, сливается с цементитом ледебурита. Под микроскопом можно увидеть только иглы вторичного цементита, пронизывающие распавшийся аустенит (перлит).



a



б

Рисунок 3. Структура белого чугуна:

a - доэвтектического; *б* - заэвтектического

Итак, в доэвтектических белых чугунах (образец 41) (рис.3) можно увидеть три структурные составляющие - распавшийся первичный аустенит (перлит), вторичный цементит и превращенный ледебурит (перлит и цементит) (рис.3, *a*).

Внутри превращенного ледебурита при малых увеличениях трудно рассмотреть эвтектоидные колонии в бывшем аустените. В микроскопе они

представляют собой хорошо травящиеся темные включения.

Заэвтектический чугун содержит углерода более 4,3 %. Структура заэвтектического чугуна (образец 43) представлена пластинами первичного цементита и колониями превращенного ледебурита (рис.3, б). Схема формирования структуры включает, как и в предыдущих случаях, процессы кристаллизации и фазовых превращений в твердом состоянии (табл. 3).

Таблица 3. Схема фазовых и структурных превращений в заэвтектическом чугуне с содержанием углерода 4,3-6,67 % С.

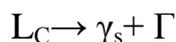
Условия развития превращения		Δt ниже линии CD		t=cost на линии ECF		t=cost на линии PSK	
Фазовый состав	L	→	L	→	$(\gamma+Fe_3C)_9$	→	$[(\alpha+Fe_3C)_9+Fe_3C]_{10}$
			+				
			Fe_3C_I		Fe_3C_I	→	Fe_3C_I
Структура	Ж	→	Ж+Ц _I	→	Л+ Ц _I	→	Л+ Ц _I

Процесс кристаллизации заэвтектического чугуна начинается с выделения из расплава кристаллов первичного цементита в виде плоских дендритов, дающих в сечении шлифа вытянутые пластины, похожие на иглы. Первичная кристаллизация заканчивается образованием пластин цементита. Далее идут процессы такие же, как и в доэвтектическом чугуне. При комнатной температуре в заэвтектическом чугуне определяются две структурные составляющие - первичный цементит и превращенный ледебурит.

Фазовый состав белых чугунов при комнатной температуре такой же, как и у отожженных углеродистых сталей, - феррит и цементит.

Серые (литейные) чугуны получают при меньшей скорости кристаллизации, чем белые чугуны, поэтому процесс формирования их структуры описывается стабильной диаграммой состояния железо-углерод (см. рис. 1), где пунктирные линии показывают фазовые равновесия с графитом.

В сером чугуне жидкость состава точки C' кристаллизуется в виде эвтектики, состоящей из аустенита и графита:



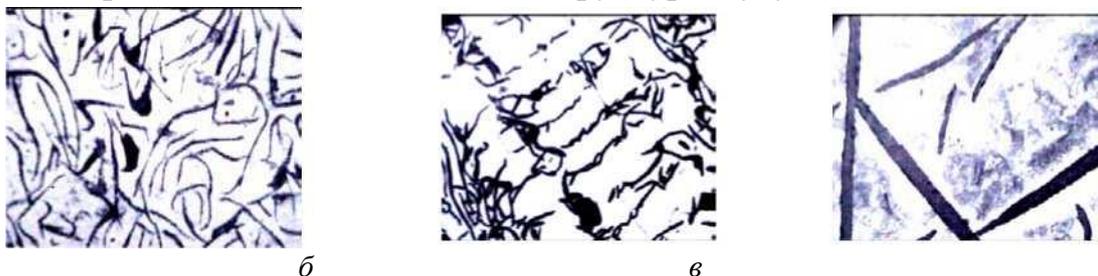
Эвтектические колонии развиваются как бикристалл, состоящий из графита (ведущая фаза), который растет в виде разветвленного крабовидного кристалла, и аустенита, отлагающегося на поверхности графитового скелета. На шлифе сечения разветвленных крабовидных кристаллов графита видны как изолированные включения в аустенитной матрице.

Формы и размеры таких выделений зависят от формы и разветвленности графитного скелета эвтектической колонии (рис.4). С изменением условий кристаллизации изменяется форма графита. На шлифе он выглядит в виде грубых

или дисперсных изогнутых пластин, завихренных включений, точечных выделений. Так как графит мягкий, то он плохо полируется и рассеивает свет, поэтому выглядит в виде темных включений на светлом фоне нетравленного шлифа. По нетравленому шлифу оценивают форму и дисперсность включений графита, которые сильно влияют на механические свойства серого чугуна.

В доэвтектических серых чугунах (сплавы с содержанием углерода от 2,03 до 4,25 %) первично кристаллизуются дендриты аустенита, а затем - аустенито-графитная эвтектика. Цепочки фазовых и структурных превращений, протекающих в стабильной системе, можно самостоятельно проанализировать, опираясь на аналогичные методы, рассмотренные выше для метастабильной диаграммы железо-цементит.

В заэвтектических серых чугунах (сплавы с содержанием углерода более 4,25 %) первично кристаллизуется графит. Он, как и эвтектический, растет в форме разветвленных кристаллов, которые видны на шлифе в виде изогнутых пластин. Оставшаяся после первичной кристаллизации графита жидкость затвердевает, как эвтектическая. Кристаллы первичного графита более грубые по сравнению с эвтектическими. После завершения кристаллизации в твердом состоянии аустенит изменяет свой состав по линии E^1S^1 и из него выделяется вторичный графит, осаждающийся на ранее образовавшихся первичных и эвтектических кристаллах графита, что принципиально не изменяет структуры чугуна.



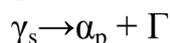
a

б

в

Рисунок 4. Форма и расположение графита в структуре серых чугунов: *a* - эвтектическом; *б* - доэвтектическом; *в* - заэвтектическом

Переохлаждение аустенита состава точки S^1 (0,69 % C) ниже эвтектоидной температуры 738 °C вызывает развитие эвтектоидной реакции с образованием феррито-графитной смеси (эвтектоида - $\alpha_p + \Gamma$):



Феррито-графитная смесь, образующаяся по эвтектоидной реакции, характеризуется более тонким строением по сравнению с эвтектикой. При очень малых степенях переохлаждения эвтектоидный графит может отлагаться на ранее образовавшихся первичных или эвтектических кристаллах графита аналогично вторичному, принципиально не изменяя структуру чугуна. По структуре трудно подразделить серые чугуны на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические.

Серые чугуны подразделяются по микроструктуре металлической основы в

зависимости от полноты графитизации, которую оценивают по количеству свободного выделившегося (не связанного) углерода (рис.5).

Образец 44а - серый чугун на ферритной основе. Структура: пластинчатый графит, феррит (рис. 5, а).



Рисунок 5. Микроструктура серого чугуна на различной металлической основе: а - ферритный; б - перлитный; в - феррито-перлитный

Если графитизация в твердом состоянии прошла полностью, то серый чугун содержит две фазовые и структурные составляющие - графит и феррит и фазовые превращения в чугуне можно рассматривать по стабильной диаграмме Fe-C. Такой чугун называют серым чугуном на ферритной основе

Образец 44 - серый чугун на перлитной основе. Структура: пластинчатый графит, перлит, фосфидная эвтектика (рис. 5, б).

Если эвтектоидный распад аустенита прошел не в соответствии со стабильной диаграммой ($\gamma_s \rightarrow \alpha_p + \Gamma$), а в соответствии с метастабильной ($\gamma_s \rightarrow \alpha_p + \text{Fe}_3\text{C}$) то структура чугуна состоит из графита и перлита. Чугун с такой структурой называют серым чугуном на перлитной основе. Увеличение доли химически связанного углерода в чугуне вызывает рост его прочностных свойств и уменьшение пластичности.

Образец 45 - серый чугун на феррито-перлитной основе. Структура: пластинчатый графит, перлит, феррит и фосфидная эвтектика.

Если при охлаждении серого чугуна аустенит частично распадается ниже 738 °С диаграммы Fe-C по эвтектоидной реакции на феррит и графит, а частично при переохлаждении ниже 727 °С диаграммы Fe-Fe₃C - на феррит и цементит, т.е. перлит, то чугун содержит графит, феррит и перлит. Такой чугун называют серым чугуном на феррито-перлитной основе (рис.5, в).

Полнота графитизации зависит от многих факторов, но, прежде всего, от скорости охлаждения и состава сплава. При быстром охлаждении кинетически более выгодно образование цементита, а не графита. С уменьшением скорости охлаждения возрастает степень графитизации. Кремний в чугуне способствует графитизации аналогично замедлению охлаждения, а марганец затрудняет графитизацию.

Серые чугуны содержат повышенное количество фосфора, который

увеличивает жидкотекучесть, дает тройную эвтектику ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$)э. В металлической основе серого чугуна фосфидная эвтектика (стадит) видна в виде светлых хорошо очерченных участков.

Серые чугуны имеют невысокие механические свойства, потому что пластинчатые ответвления крабовидных образований графита действуют как надрезы в металлической основе.

Для получения высокопрочного чугуна проводят модифицирование серого чугуна магнием или церием, что обеспечивает образование глобулярного графита. В структуре высокопрочного чугуна (образец 48) присутствуют включения графита округлой формы (рис. 6, б). Основа высокопрочного чугуна может быть ферритная, перлитная и феррито-перлитная. Высокие механические свойства чугуна обеспечиваются не только благоприятной формой графита, но и малым количеством вредных примесей серы и фосфора.



Рисунок 6. Микроструктура ферритного ковкого (а) и феррито-перлитного высокопрочного (б) чугунов

Ковкие чугуны. Ковкий чугун получают путем отжига отливок из белого чугуна. При высоких температурах (1000 °С) происходит переход неустойчивого цементита белого чугуна в графит. Такой графитизирующий отжиг идет путем растворения метастабильного цементита в аустените и одновременного выделения из аустенита более стабильного графита. Степень графитизации зависит от температуры отжига белого чугуна, времени выдержки, скорости охлаждения, состава исходного чугуна и других параметров. Чем больше время выдержки при отжиге и меньше скорость охлаждения, тем полнее идет графитизация.

В зависимости от полноты графитизации ковкие чугуны могут иметь три основных типа структур. Различают ковкие чугуны на ферритной, феррито-перлитной и перлитной основах. От серых чугунов ковкие отличаются: по микроструктуре - по форме графита, и по механическим свойствам - более высокой прочностью и пластичностью.

В структуре ковкого чугуна на ферритной основе (образец 46) графит представлен в форме хлопьев, (рис. 6, а). Графит в ковких чугунах в форме компактных хлопьевидных включений называют углеродом отжига.

Ковкий чугун имеет сравнительно однородную по сечению отливки

ферритную структуру металлической основы. Реже он может иметь структуру феррито-перлитную или перлитную. Компактная форма графита придает чугуны повышенные механические свойства по сравнению с серым чугуном. Ковкий ферритный чугун мягче и пластичнее перлитного.

Требования к отчету

1. Сформулировать цель работы.
2. Изобразить метастабильную диаграмму состояния Fe-Fe₃C, указать расположение сплавов и построить кривые охлаждения для белых чугунов. Описать процессы, происходящие при кристаллизации и последующем охлаждении в серых чугунах.
3. Представить в порядке выполнения работы рисунки микроструктур изученных чугунов. Под каждой микроструктурой указать увеличение микроскопа, тип чугуна в зависимости от химического состава, металлической основы и формы графита.
4. На микроструктуре указать структурные составляющие сплава.
5. Сделать выводы об общности и о принципиальных отличиях структур различных чугунов.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие сплавы относят к белым чугунам?
2. Какие структурные составляющие имеют доэвтектические, эвтектические, заэвтектические белые чугуны?
3. Опишите строение ледебурита.
4. Какое превращение происходит в ледебурите ниже 727 °C?
5. Какие белые чугуны по составу и структуре используют для получения ковкого чугуна?
6. Как классифицируют серые чугуны по структуре основы?
7. Назовите особенности эвтектической кристаллизации в белых и серых чугунах.
8. Какая фаза при кристаллизации серых чугунов является ведущей?
9. От чего зависит полнота графитизации серых чугунов и формирование структуры их металлической основы?
10. Какая диаграмма состояния описывает фазовый состав белых чугунов и серых ферритных чугунов?
11. Какие чугуны имеют более высокий комплекс прочности и пластичности: белые, серые или ковкие?

Список литературы

1. О.С. Моряков М. Материаловедение «Академия» 2008
- 2 Ю.П.Солнцев, С.А. Вологжанина Материаловедение М. «Академия» 2008