

Содержание
Практика № 4. Структура и свойства
углеродистых сталей в равновесном состоянии

Введение.....	4
1. Цель работы.....	6
2. Задачи работы.....	6
3. Теоретическая часть.....	6
3.1. Компоненты и фазы в железоуглеродистых сплавах.....	7
3.2. Диаграмма состояния железо-цементит	8
3.3. Структурные составляющие Fe - C сплавов.....	11
3.4. Влияние содержания углерода на свойства стали....	14
3.5. Углеродистые конструкционные стали.....	15
3.6. Инструментальные углеродистые стали.....	16
4. Практическая часть.....	16
4.1. Оборудование и материалы.....	16
4.2. Задания и последовательность выполнения работы	16
Критерии результативности работы.....	17
Требования к оформлению и содержанию отчёта.....	17
Контрольные вопросы.....	18
Практика № 5. Структура и свойства чугунов	
1. Цель работы.....	20
2. Задачи работы.....	20
3. Теоретическая часть.....	20
3.1. Белые чугуны и их структура.....	20
3.2. Диаграмма состояния «железо – графит» (Fe- C)....	22
3.3. Структура графитизированных чугунов	24
4. Практическая часть.....	33
4.1. Оборудование и материалы.....	33
4.2. Задания и последовательность выполнения работы	34
Критерии результативности работы.....	34
Требования к оформлению и содержанию отчёта.....	34
Контрольные вопросы.....	34
Список литературы.....	36
Приложения.....	37

Введение

Принято считать, что сталь является сплавом железа с содержанием углерода до 2,14 %. Между тем кроме углерода в стали содержатся примеси кремния, марганца, серы и фосфора. Люди научились получать и использовать сталь гораздо раньше, чем узнали ее состав. Ещё до нашей эры было известно, что некоторые сорта железа при погружении в нагретом состоянии в воду увеличивают свою твёрдость, т. е. «принимают закалку», другие – «не принимают». Это свойство стали «принимать закалку» долго ещё служило единственным признаком для разграничения железа и стали.

С течением времени, с появлением таких новых областей применения металла как машиностроение, железнодорожное строительство, потребовались более точные представления о качестве стальных деталей. С целью улучшения стали в её состав вводили всё новые элементы и таким образом создавали новые марки стали с разнообразными свойствами. Тем не менее, в начале XX в. было известно всего несколько марок стали. Например, в 1900 г. в распоряжении строителей паровоза, наиболее сложной машины того времени, имелось всего десять марок стали и цветных металлов. Всего же в настоящее время насчитывается тысячи марок сталей самого различного назначения. Сталь, в зависимости от ее состава, может быть прочным, но пластичным материалом, идущим для изготовления деталей машин или профильного проката, из которого строят мосты и морские суда. Сталь также может быть очень твердым и тугоплавким материалом, используемым для изготовления металло-режущего инструмента.

Сегодня железо – единственный известный недорогой магнитный материал, из которого можно изготовить магнитные сердечники трансформаторов, генераторов тока и электродвигателей. Другой сплав железа – чугун является прочным материалом с довольно низкой температурой плавления, которому путем литья можно придать любую форму. Чугун отличается от стали более высоким содержанием углерода, лучшими литейными свойствами и малой способностью к пластической деформации. Чугун, как правило, дешевле стали. В связи с огромным значением железа и его сплавов для промышленного производства и, для экономики страны в целом, при изучении материаловедения сталям и чугунам уделяется первосте-

пенное значение. В металловедении для лучшего понимания строения сплавов принято начинать их изучение с диаграмм состояния.

Среди большого количества диаграмм состояния различных двойных сплавов, изучаемых в металловедении, диаграмма системы «железо-углерод» занимает особое место, потому что она охватывает наиболее важные и широко применяемые во всех областях техники сплавы – сталь и чугун. Нам уже известны из предыдущих работ различные типы диаграмм состояния сплавов. Но особый познавательный интерес вызывает данная диаграмма потому, что по ней можно проследить и превращения в твёрдом состоянии, которые сопровождаются полиморфизмом железа и переменной растворимостью углерода в α - и γ -железе. Кроме того практический интерес вызывает диаграмма состояния «железо-углерод» тем, что по ней определяются такие важные данные, как температуры нагрева для проведения различных технологических обработок, связанных с фазовыми превращениями в сплавах, например таких, как литьё,ковка, термообработка и т. д.

При выполнении работы у студента формируются профессиональные компетенции – способность распознавать по структуре стали и чугуны, различать их по назначению и свойствам.

Выполнив лабораторную работу, студент должен:

• **знать:**

- классификацию сталей и чугунов по различным признакам;
- свойства железоуглеродистых сплавов в зависимости от содержания углерода;

• **уметь** различать по структуре стали и чугуны и определять их марку.

• **иметь навыки** проведения микроструктурного анализа железоуглеродистых сплавов.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

1. Цель работы – приобретение знаний о структуре, свойствах и диаграмме состояния «железо - цементит».

2. Задачи работы:

1) научиться анализировать формирование структуры сталей при кристаллизации и при фазовых превращениях в твёрдом состоянии по диаграмме состояния «железо-цементит»;

2) изучить микроструктуру углеродистых сталей с различным содержанием углерода в равновесном состоянии;

3) установить зависимость между структурой и механическими свойствами углеродистых сталей;

4) приобрести навыки определения содержания углерода и марки стали по её структуре;

5) усвоить маркировку углеродистых сталей.

3. Теоретическая часть

К сплавам железа с углеродом относятся техническое железо, стали и чугуны. *Техническое железо* может содержать от 0,006 до 0,02 % углерода. К *сталям* относятся сплавы с содержанием углерода от 0,02 до 2,14 %. Сплавы с содержанием углерода от 2,14 до 6,67 % называются *чугунами*.

В зависимости от условий кристаллизации углерод в железо-углеродистых сплавах может находиться в свободном состоянии в виде графита или может войти в состав различных структурных составляющих, в частности может образовать цементит Fe_3C . Соответственно различают диаграммы состояния «железо-графит» (Fe-C) и «железо-цементит» (Fe- Fe_3C). По диаграмме «железо-цементит» происходит формирование структуры сталей и белых чугунов, а по диаграмме «железо-графит» в условиях очень медленного охлаждения (доли градуса в минуту) формируется структура серых чугунов (об этом в практикуме № 5).

3.1. Компоненты и фазы в железоуглеродистых сплавах

Железо плавится при 1539 °С и претерпевает полиморфные превращения, связанные с обязательной перестройкой кристаллической решётки при двух критических температурах: 911 и 1392 °С. При температурах ниже 911 °С железо имеет ОЦК решётку и такое железо называется α -железо (Fe_α). При нагреве выше 911 °С происходит полиморфное превращение, при котором ОЦК решётка Fe_α преобразовывается в ГЦК решётку. Железо с ГЦК решёткой устойчиво до 1392 °С и оно называется γ -железо или Fe_γ . В интервале температур 1392...1539 °С железо вновь приобретает ОЦК решётку и оно обозначается Fe_δ (δ -железо) [1, С.100].

Углерод является неметаллическим элементом и плавится при 3500 °С. Он полиморфен, имеет форму графита или алмаза. Графит в чугунах – это свободно выделившийся углерод. Алмаз образуется из углерода при высоких давлениях и температурах и в железоуглеродистых сплавах присутствовать не может.

В железоуглеродистых сплавах, в зависимости от температуры и концентрации углерода, различают следующие фазы: жидкий раствор; твердые растворы – феррит и аустенит; цементит Fe_3C . Рассмотрим эти фазы.

Жидкая фаза (Ж) представляет собой неограниченный раствор углерода в железе в расплавленном состоянии.

Феррит (Ф) – твердый раствор внедрения углерода в α - и δ -железе. Различают низкотемпературный α -феррит с предельной растворимостью углерода 0,02 % при температуре 727° С и высокотемпературный δ -феррит с предельной растворимостью углерода 0,1 % при температуре 1493 °С [1, С. 101; 2, С. 178]. Феррит имеет хорошие пластические свойства ($\delta = 50$ %, $\psi = 80$ %), но невысокие прочность ($\sigma_B = 250$ МПа) и твердость (80...100 НВ).

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе. Он имеет (как и Fe_γ) ГЦК решетку, межатомные поры в которой больше, чем в ОЦК решетке. При образовании твёрдого раствора атомы углерода располагаются в порах решётки железа и поэтому растворимость углерода в Fe_γ значительно больше, чем в Fe_α и достигает 2,14 % при температуре 1147 °С и 0,8 % – при 727 °С. При температурах ниже 727 °С аустенит в углеродистых сталях в равно-

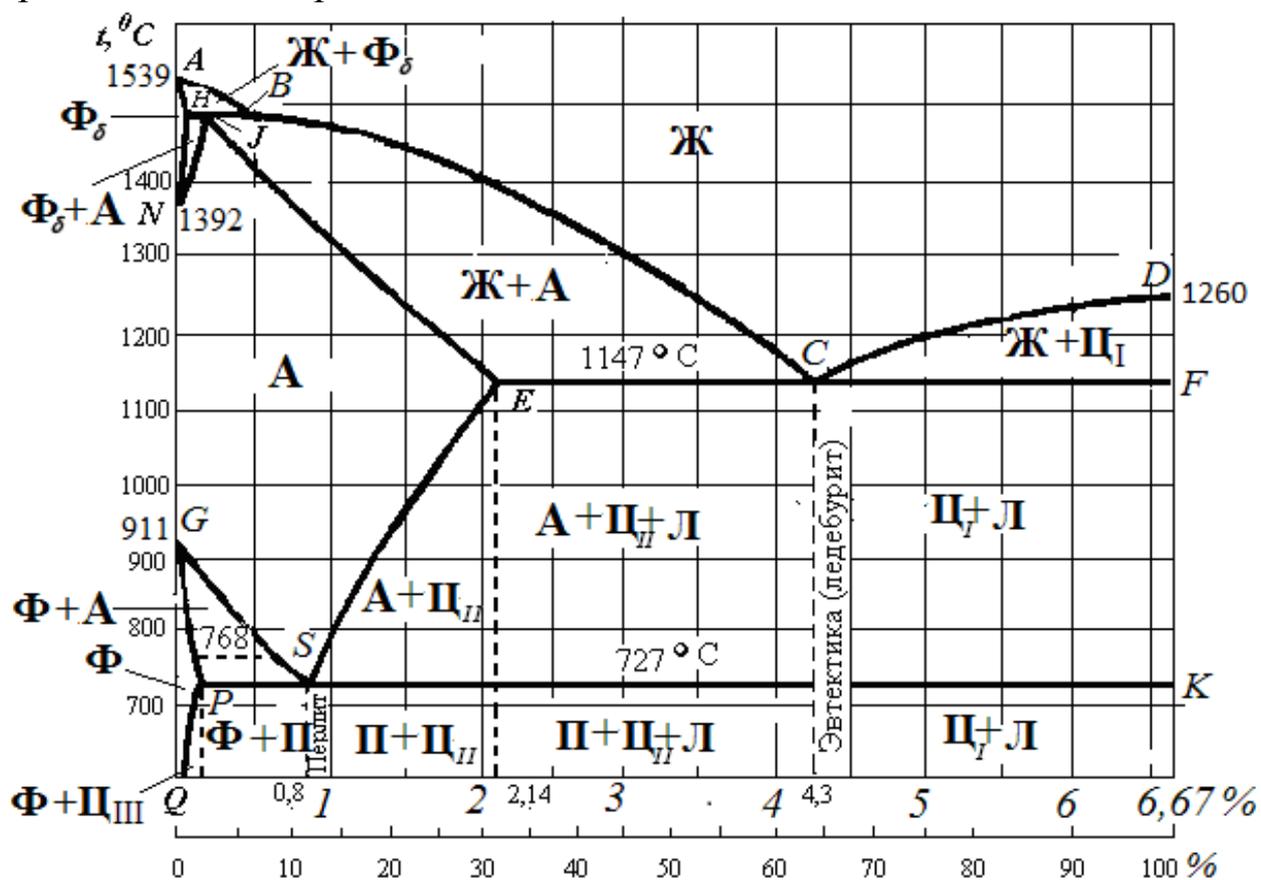
весном состоянии не существует.

Цементит (Ц) является химическим соединением железа с углеродом Fe_3C (карбид железа), содержит 6,67 % С. Для цементита характерна высокая твердость (800 *HBW*) и очень низкая пластичность (хрупок). Из этого следует, что цементит в сплавах железа с углеродом повышает их твердость, но уменьшает вязкость и пластичность.

Температура плавления цементита точно не определена¹: по данным [1, С. 101] она составляет 1260 °С, а в [2, С. 177] приводится значение 1252 °С.

3.2. Диаграмма состояния «железо-цементит» (метастабильное состояние)

Система «железо-цементит» считается не стабильной, так как карбид железа Fe_3C при нагреве распадается с образованием свободного углерода – графита. Диаграмма состояния «железо-цементит» представлена на рис. 4.1.



¹ Точно определить температуру плавления цементита затруднительно, так как в процессе нагрева он распадается, что искажает результаты опыта.

Рис. 4.1. Диаграмма состояния системы «железо-цементит» (Fe-Fe₃C)

Особенностью данной диаграммы является то, что по оси абсцисс откладывается содержание углерода от 0 до 6,67 % и цементита Fe₃C от 0 до 100 %. Характерные точки диаграммы состояния приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Характерные точки диаграммы «железо-цементит»

Обозначение	Координаты точки			Характеристика точек
	t, °C	C, %	Fe ₃ C, %	
A	1539	0	0	Температура кристаллизации (плавления) чистого железа
D	1260	6,67	100	Температура кристаллизации (распада) цементита
N	1392	0	0	Температура полиморфного превращения железа Fe _δ ↔ Fe _γ
E	1147	2,14	32,1	Предельная растворимость углерода в аустените (граница между сталями и чугунами) при 1147 °C
C	1147	4,3	64,5	Эвтектическая точка сплава, где идёт превращение Ж ↔ Л (А + Ц)
G	911	0	0	Температура полиморфного превращения железа: Fe _α ↔ Fe _γ
P	727	0,02	0,3	Предельная растворимость углерода в феррите при 727 °C
S	727	0,8	12,0	Предельная растворимость углерода в аустените при 727 °C; эвтектоидная точка сплава: А ↔ П (Ф + Ц)
Q	20	0,006	0,09	Предельная растворимость (концентрация) углерода в феррите при 20 °C

Линии на диаграмме состояния разделяют области с различным фазовым составом. Линия ABCD соответствует температурам начала кристаллизации сплавов и называется линией *ликвидус*. Линия ANJESF соответствует температурам окончания кристаллизации сплавов и называется *солидус*. При охлаждении сплавов, содержащих до 0,51 % углерода (т. В), из жидкого сплава по линии АВ выделяется высокотемпературный феррит Ф_δ. На линии NB при 1493 °C происходит *перитектическое превращение*², при котором

² Перитектика (от греч. periteko - плавлю - расплавляю, разжигаю), равновесие трех фаз в системе, состоящей из компонентов А и В: двух твердых растворов на основе А и В и

кристаллы феррита взаимодействуют с жидкой фазой и образуют кристаллы аустенита. Левее точки J (0,15 % углерода) структура состоит из феррита и аустенита, правее – из жидкого расплава и аустенита. Затвердевание сплавов, содержащих до 4,3 % углерода, начинается по линии BC с выделением из расплава аустенита и заканчивается на линии $АНJE$. Ниже линии NJE структура сплавов состоит из аустенита. Часто пользуются упрощённой диаграммой (без перитектики), так как стали после завершения кристаллизации имеют аустенитную структуру и эта часть диаграммы не имеет практического значения (применения) [2, С. 178].

В сплавах, содержащих от 4,3 до 6,67 % углерода, по линии CD начинают выделяться кристаллы цементита. Так как цементит выделяется из жидкого сплава, его называют *первичным* ($Ц_I$). При температуре 1147 °С, соответствующей линии ECF , происходит эвтектическое превращение, при котором жидкий раствор состава, соответствующего точке C (4,3 % углерода) кристаллизуется с одновременным образованием двух фаз: аустенита состава точки E (2,14 % углерода) и цементита, содержащего 6,67 % углерода: $Ж_C \leftrightarrow A_E + Ц_F$. Полученная смесь двух фаз называется *ледебуритом* $Л(A+Ц)$. Сплав, соответствующий 4,3 % углерода называют *эвтектическим*. Чугуны, содержащие менее 4,3 % углерода, называют *доэвтектическими*, более 4,3 % углерода – *заэвтектическими*.

По линии ES (от 1147 °С до 727 °С) начинается выделение цементита вторичного ($Ц_{II}$) из аустенита, обусловленное снижением растворимости углерода в аустените при понижении температуры³. Ниже линии ES находятся в равновесии две структурные составляющие – аустенит и цементит вторичный.

В зоне ниже линии EC сплав состоит из аустенита, вторичного цементита и ледебурита, в зоне ниже линии CF – из первичного цементита и ледебурита. Линия ECF называется эвтектической, так как в любой точке этой линии происходит образование эвтектики–ледебурита. Линии GS и GP соответствуют температурам начала и конца полиморфного превращения аустенита в феррит при охлаждении и феррита в аустенит при нагревании сплавов. При этом

жидкого раствора (расплава).

³ Под принятым в металловедении выражением «выделение $Ц_{II}$ из аустенита» понимается образование $Ц_{II}$ при взаимодействии углерода, выделившегося из решётки аустенита, с железом (основой сплава). На самом деле цементита в аустените нет и поэтому он выделиться не может.

концентрация углерода в феррите меняется по линии GP , а в аустените – по линии GS .

При температуре $727\text{ }^{\circ}\text{C}$, соответствующей линии PSK , происходит эвтектоидное превращение, заключающееся в том, что аустенит состава точки S ($0,8\text{ \% C}$), распадается на эвтектоидную смесь феррита состава точки P ($0,02\text{ \% C}$) и цементита ($A_S \leftrightarrow \Phi_P + \Pi_K$), которая называется *перлитом* $\Pi(\Phi+\Pi)$. Линия PSK называется *эвтектоидной*. При температурах ниже линии PQ начинается выделение углерода из феррита, обусловленное снижением растворимости углерода в феррите при понижении температуры. Выделившийся углерод взаимодействует с основой (железом) сплава и образуется *цементит третичный* (Π_{III}).

3.3. Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов

Структурные составляющие, характерные для сталей и белых чугунов при комнатной температуре представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Структурная классификация железоуглеродистых сплавов

Содерж.С, %	Название сплава	Структура	Применение сплавов
< 0,006	Чистое железо	Φ	Ограниченное применение
0,006... 0,02	Техническое железо	$\Phi+\Pi_{III}$	Сердечники трансформаторов
0,02...0,8	Доэвтектоидная сталь	$\Phi+\Pi$	Детали машин и конструкций
0,8	Эвтектоидная сталь	Π	Режущий и измерительный инструмент
0,8...2,14	Заэвтектоидная сталь	$\Pi+\Pi_{II}$	Режущий и измерительный инструмент
2,14... 4,3	Доэвтектический белый чугун	$\Pi+\Pi_{II}+Л$	Детали машин с высокой износоустойчивостью, получаемые литьем
4,3	Эвтектический белый чугун	ледебурит $Л(\Pi+\Pi)$	
4,3...6,67	Заэвтектический белый чугун	$Л+ \Pi_I$	
Примечание: сокращения: $\Phi = Fe_{\alpha}$ – феррит; $\Pi = (\Phi+\Pi)$ – перлит; $\Pi_I, \Pi_{II}, \Pi_{III}$ –цементит (первичный, вторичный, третичный); $Л = (\Pi+\Pi)$ – ледебурит.			

Из табл. 4.2 следует, что в зависимости от содержания углерода при комнатной температуре стали имеют следующие структурные составляющие: феррит, перлит, цементит, а в чугунах содержится ещё ледебурит.

Структура чистого железа – феррит (рис. 4.2, а), технического железа – ферритные зёрна, по границам которых видны частицы третичного цементита Ц_{III} (рис. 4.2, б). Выделения третичного цементита по границам зёрен очень вредны, т. к. снижают прочность и ударную вязкость технического железа.

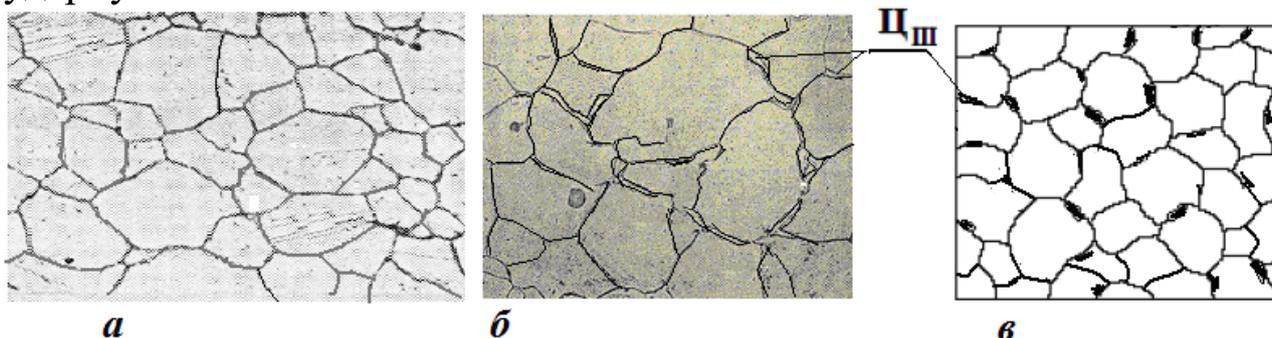


Рис. 4.2. Микроструктура железа : *а* – содержание углерода < 0,006 %, ферритные зёрна, х100; *б*– технического железа (0,01 % С), по границам ферритных зёрен видны частицы Ц_{III}, х300; *в* – схема микроструктуры технического железа

3.3.1. Структура сталей. По содержанию углерода и по структуре в равновесном состоянии стали подразделяются на три группы: доэвтектоидные (0,02...0,8 % С), эвтектоидная (0,8 % С) и заэвтектоидные стали (0,8...2,14 % С).

Доэвтектоидные стали имеют феррито–перлитную структуру (рис. 4.3): светлые зерна представляют собой феррит, а темные – перлит. Здесь феррит также называется избыточным, в отличие от эвтектоидного феррита, входящего в перлит.

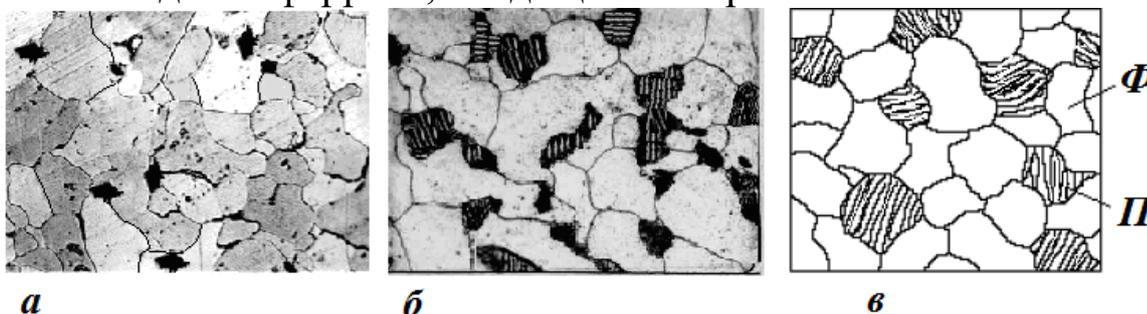


Рис. 4.3. Микроструктура доэвтектоидной стали (х250) с содержанием углерода: *а* – 0,1 %; *б* – 0,3 %; *в* – схема микроструктуры

Поскольку феррит при комнатной температуре содержит очень

мало углерода (менее 0,006 %), то основным носителем углерода в доэвтектоидной стали является перлит, характеризующийся постоянной массовой долей углерода (0,8 %). Поэтому с увеличением в стали содержания углерода доля перлита в структуре увеличивается, а феррита соответственно уменьшается (см. рис. 4.3, а и б).

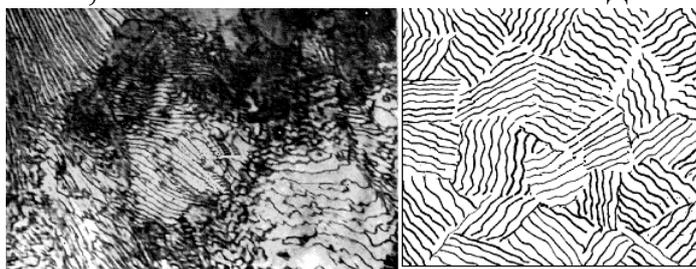
В доэвтектоидных сталях по микроструктуре можно с достаточной точностью определить содержание углерода, считая, что весь углерод находится в перлите. Для определения содержания углерода необходимо установить, какую часть поля зрения на шлифе занимают перлитные участки $F_{\text{п}}$ и умножить полученную величину на 0,8 (содержание углерода в перлите):

$$C = \frac{F_{\text{п}} \cdot 0,8}{100}, \% \quad (4.1)$$

Например, если 25 % всей площади занято перлитом, то содержание углерода в стали будет $C = \frac{0,8 \cdot 25}{100} = 0,20 \%$.

Соотношение площадей, занятых ферритом и перлитом можно определить визуально, используя эталонные шкалы ГОСТ 8233 – 56 (Сталь. Эталоны микроструктуры). Более точно площадь, занятую перлитом $F_{\text{п}}$ можно рассчитать, например, методом точек Глаголева (см. практикум № 2).

Эвтектоидная сталь имеет полосчатую структуру перлита (рис. 4.4), которая хорошо просматривается при увеличениях более $\times 450$. *Перлит* – механическая смесь (эвтектоид), состоящая из двух фаз: чередующихся белых полос (пластин) феррита и темных полос цементита⁴. Причем в каждом зерне перлита ориентировка полосок своя, отличная от полосок в соседнем зерне.



а

б

Рис. 4.4. Микроструктура эвтектоидной стали (0,8 % С):
а – фотография, $\times 500$;
б – схема микроструктуры

Структура заэвтектоидной стали – перлит с сеткой вторичного цементита по границам зерен (рис. 4.5). Чем больше содержание углерода от 0,8 %, тем толще становится сетка цементита. Максимальное количество структурно свободного цементита (~20 %)

⁴ Пластина феррита \approx в 7 раз толще пластины цементита

будет в сплаве с содержанием углерода 2,14 %. При определении содержания углерода в заэвтектоидной стали необходимо учитывать его содержание не только в перлите, но и в цементите. Содержание углерода в заэвтектоидной стали вычисляется по формуле

$$C = \frac{F_n \cdot 0,8 + 6,67(100 - F_n)}{100}, \%, \quad (4.2)$$

где $(100 - F_n)$ – площадь, занятая цементитной сеткой, %.

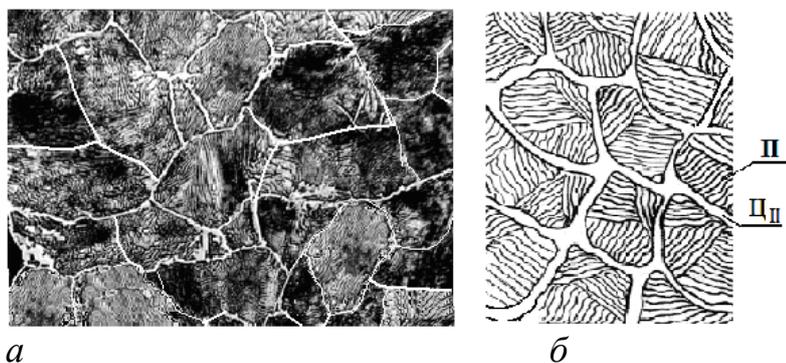


Рис. 4.5. Микроструктура заэвтектоидной стали У12 (1,2 % С):
 а – фотография, х300;
 б – схема микроструктуры

Рассчитав содержание углерода по формулам (4.1) и (4.2), и округлив его до ближайшего числа кратного пяти для конструкционных сталей или десяти для инструментальных сталей, можно установить марку стали (см. раздел 3.6).

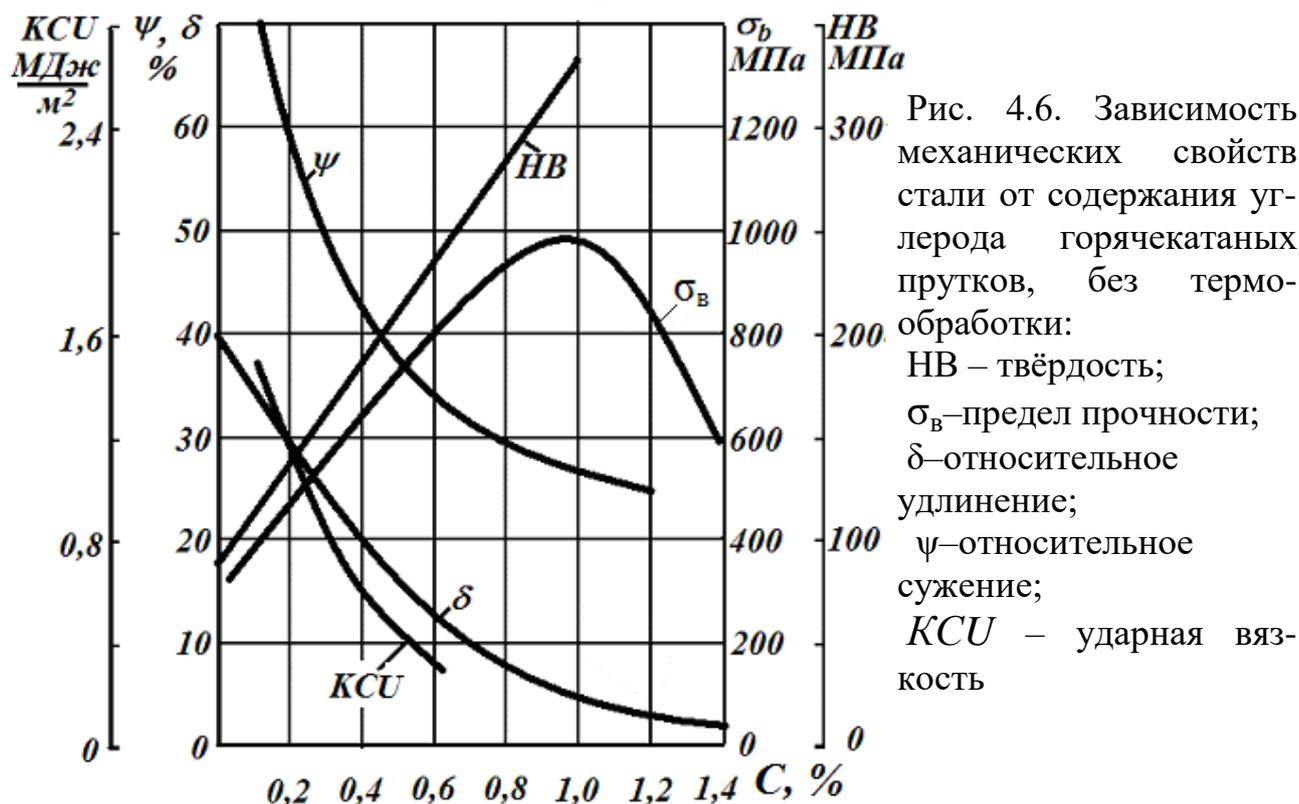
3.4. Влияние содержания углерода на свойства стали

При увеличении доли перлитных зёрен в структуре доэвтектоидных сталей по мере увеличения содержания в них углерода происходит повышение количества твёрдого и хрупкого цементита, что приводит к повышению прочности σ_b , твёрдости HB и одновременному снижению пластичности (δ , ψ) и ударной вязкости (KCU) сталей (рис. 4.6).

В случае заэвтектоидных сталей грубые выделения цементита вокруг зерен перлита в виде непрерывной сетки (см. рис. 4.5) приводят к снижению прочности и к ещё большему снижению пластичности стали.

Углеродистые стали с содержанием углерода до 0,6 % С имеют оптимальное сочетание прочности, твёрдости, пластичности и ударной вязкости. Они благодаря дешевизне и удовлетворительным механическим свойствам широко применяются для изготовления деталей машин, используются в различных конструкциях. Поэтому такие стали получили название *конструкционных*. Кроме углерода в

сталих всегда присутствуют *постоянные примеси*. К ним относятся: 1) *марганец* и *кремний*. Они вводятся при разливке стали для её раскисления (удаления кислорода); 2) вредные примеси – *сера* и *фосфор* поступают в сталь из руды и топлива при её выплавке. Наличие серы приводит к образованию легкоплавкой эвтектики Fe+FeS. Она при горячей обработке давлением, при температурах ~ 988 °С, расплавляясь образует жидкую фазу и вызывает хрупкость в стали. Это явление называется *красноломкостью*.



Образование фосфидов (соединений фосфора с металлами) или образование твёрдого раствора фосфора в железе способствует резкому снижению пластичности при пониженных температурах и появлению *хладноломкости*.

3.5. Углеродистые конструкционные стали

По *качеству* (в зависимости от содержания серы и фосфора) стали делятся на: 1) обыкновенного качества с содержанием не более 0,05 % S и не более 0,04 % P; 2) качественные с содержанием не более 0,04 % S и не более 0,035 % P и 3) высококачественные – не более 0,025 % S и 0,025 % P и особо высококачественные – не более 0,015 % S и 0,025 % P [1, С. 238].

Стали конструкционные обыкновенного качества. Они по степени раскисления и характеру затвердевания классифицируются на стали *спокойные (сп)*, *полуспокойные (пс)* и *кипящие (кп)*. Обозначают их буквами «Ст» и цифрами от 0 до 6: Ст 0; Ст 1...Ст 6. Буквы «Ст» обозначают «Сталь», цифры – условный номер марки в зависимости от её химического состава, буквы около цифры «кп», «пс», «сп» показывают степень раскисления (например, Ст 1кп, Ст 5сп). Сталь Ст 0 по степени раскисления не различают. Спокойными и полуспокойными производят стали Ст 1...Ст 6, кипящими – Ст 1...Ст 4.

Содержание углерода в сталях обыкновенного качества изменяется от 0,1 % до 0,5 %. Это наиболее дешевые стали и предназначены для получения проката (прутки, листы, швеллеры, трубы и др.) и изготовления различных металлоконструкций, а также слабонагруженных деталей машин и приборов. Состав и свойства сталей обыкновенного качества определяются ГОСТ 380-2005.

Качественные конструкционные стали маркируются по ГОСТ 1050-2006 записью «Сталь» и числами 08, 10, 15,..., 60. Они используются для изготовления деталей ответственного назначения. Цифры показывают среднее содержание углерода в сталях в сотых долях процента. Спокойные стали маркируются без индекса (например, Сталь 20). Полуспокойные и кипящие стали с индексами соответственно «пс» и «кп» (Сталь 20пс или Сталь 30кп).

По *содержанию углерода* качественные углеродистые стали подразделяются на низкоуглеродистые (до 0,25 % С), среднеуглеродистые (0,3...0,5 % С) и высокоуглеродистые конструкционные (0,55... 0,6 % С) [2, С. 189].

3.6. Инструментальные углеродистые стали

Инструментальные углеродистые стали содержат 0,65...1,2 % углерода и отличаются высокой твердостью и прочностью. Эти стали содержат меньшее количество вредных примесей и они делятся на качественные и высококачественные. Марки качественной стали по ГОСТ 1435-99 следующие: У7, У8, У8Г, У9, У10, У11, У12. К высококачественным сталям относятся: У7А, У8А, У8ГА, У9А, У10А, У12А. Цифры в марке показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента, буква Г – повышенное содержание марганца в марке стали. Особо высококачественными выплавляются стали специального назначения.

4. Практическая часть

4.1. Приборы и материалы для выполнения работы

1. Автоматизированный металлографический комплекс на базе оптического микроскопа «Olimpus GX-41» с видеокамерой.
2. Набор микрошлифов углеродистых сталей в равновесном состоянии с различной массовой долей углерода.
3. Атлас типичных микроструктур (кафедральное пособие).

4.2. Задания и последовательность выполнения работы

1. Изучить диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов.
2. Изучить под микроскопом или выводом на экран микроструктуру технического железа и доэвтектоидных, эвтектоидных, заэвтектоидных углеродистых сталей.
3. Зарисовать микроструктуру сталей с указанием структурных составляющих.
4. По структуре доэвтектоидной стали, приведённой в альбоме, определить содержание углерода (воспользоваться формулой 4.1) и установить марку стали. Структуру стали для каждого студента указывает преподаватель.
5. По количеству углерода в (установленного в п. 4), пользуясь рис. 4.6, определить механические свойства стали в состоянии поставки в виде горячекатаных прутков, без термообработки.
6. Сделать вывод о влиянии углерода на свойства железоуглеродистых сплавов.
7. Оформить отчет и защитить работу (защита работы проводится в форме собеседования с преподавателем).

Критерии результативности выполнения работы

Работа считается успешно выполненной, если:

- отчет на бумажном носителе содержит все необходимые пункты согласно требованиям;
- студент дает аргументированные пояснения по всем приведенным в отчете пунктам задания;
- студент правильно отвечает на контрольные вопросы преподавателя при защите работы.

Требования к оформлению и составлению отчёта

Отчет должен включать:

- а) титульный лист;
 - б) формулировку цели и задачи работы;
 - в) зарисовки всех изученных структур сталей с пояснениями структурных составляющих;
 - г) вывод, согласованный с задачами работы.
- Форма отчёта приведена в **прил. 1**.

Контрольные вопросы

1. Какие железоуглеродистые сплавы Вы знаете?
2. Какими диаграммами состояния описывается структура и фазовый состав железоуглеродистых сплавов?
3. Какие типы решеток имеют Fe_α , Fe_γ и Fe_δ ?
4. Какой сплав называется техническим железом?
5. Какова причина наличия двух твёрдых растворов углерода в железе?
6. Какое превращение формирует окончательную структуру углеродистых сталей?
7. Какие структурные составляющие образуются в сталях согласно диаграммы состояния «железо-цементит»? Дайте им определение и краткую характеристику.
8. Что обозначают характерные точки и линии диаграммы состояния «железо-цементит»?
9. Какие сплавы диаграммы Fe-Fe₃C относят к сталям и какие к чугунам?
10. Какие стали относятся к доэвтектоидным, эвтектоидной и заэвтектоидным сталям и какую структуру они имеют при комнатной температуре?
11. Какую предельную растворимость имеет углерод в феррите и аустените и по каким линиям диаграммы состояния это можно установить?
12. Какая линия диаграммы Fe-Fe₃C соответствует началу превращения аустенита в феррит в доэвтектоидных сталях?
13. Как определяется по структуре содержание углерода и марка доэвтектоидных и заэвтектоидной сталей?

14. На чём основана классификация углеродистых сталей по качеству?

15. Как влияет содержание углерода на количественное соотношение фаз и механические свойства стали?

16. Как влияет на свойства заэвтектонидной стали расположение вторичного цементита по границам зерен перлита?

17. Какие постоянные примеси встречаются в сталях?

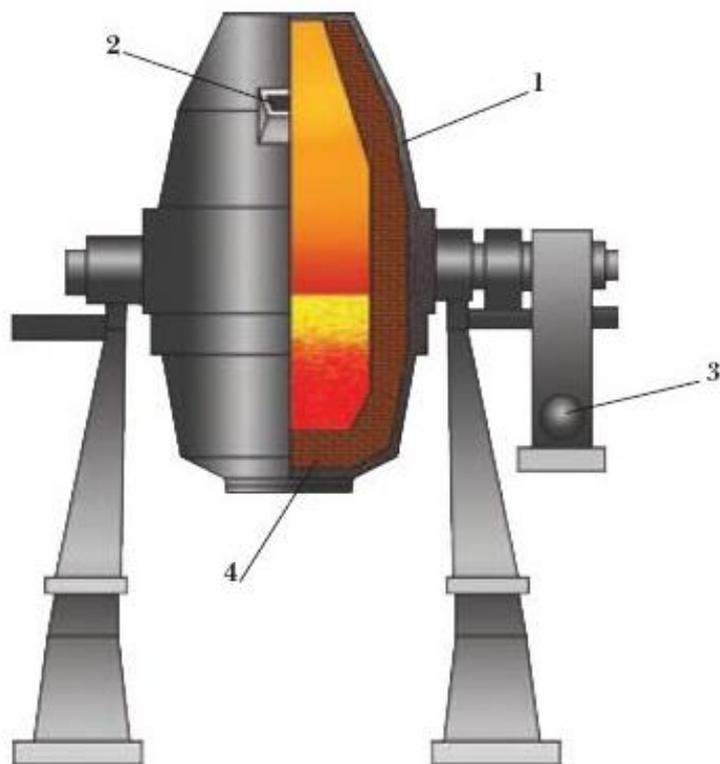
18. Что понимается под красноломкостью и хладноломкостью сталей?

19. Как маркируются конструкционные и инструментальные углеродистые стали?

20. Как подразделяются углеродистые и инструментальные стали по качеству?

Тесты для самоконтроля приведены в **прил. 2**.

Производство стали в конверторах – основная технологическая схема производства стали в мире



Процесс отличается высокой интенсивностью: периодичность плавки обычно составляет менее 40...45 мин. при массе продукции 100...350 т. Классический кислородно-конверторный процесс заключается в выплавке стали из жидкого чугуна с добавкой лома, шлакообразующих материалов (известь, плавиковый шпат) и продувкой кислородом сверху. Тепло создается за счёт окислительных реакций при продувке кислородом.

- 1 – корпус из листовой стали;
- 2 – сталевыпускное отверстие;
- 3 – привод наклона конвертора;
- 4 – внутренняя огнеупорная футеровка до 1 м

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ

1. Цель работы – формирование знаний о структуре, маркировке, свойствах чугунов и диаграмме состояния «железо - графит».

2. Задачи работы:

- 1) изучить диаграмму состояния «железо - графит» (Fe-C);
- 2) исследовать микроструктуру белых и графитизированных чугунов;
- 3) усвоить маркировку графитизированных чугунов и изучить их практическое применение.

3. Теоретическая часть

В машиностроении более 70 % всех отливок по массе получают из чугунов – железоуглеродистых сплавов с содержанием углерода более 2,14 %. Такое широкое применение чугунов обусловлено высокими литейными свойствами из-за присутствия в их структуре эвтектики. В зависимости от состояния углерода в структуре чугуны делят на *белые и графитизированные*.

3.1. Белые чугуны и их структура

Фазовое состояние белых чугунов определяется метастабильной диаграммой Fe-Fe₃C в области концентраций углерода от 2,14 до 6,67 % (см. работу № 4, рис. 4.1). *Белым* называется чугун, в котором при комнатной температуре практически весь углерод находится в химически связанном состоянии в виде цементита Fe₃C. Из-за присутствия большого количества цементита белый чугун обладает высокой твердостью (450...550 HB), он хрупок и практически не поддается обработке резанием. Поэтому белый чугун, как конструкционный материал, имеет ограниченное применение. Обычно доэвтектические белые чугуны после специальной термической обработки превращаются в ковкие чугуны, а заэвтектические идут на переплавку. Для изготовления трущихся изделий (прокатные валки, колеса, шары для мельниц и т. д.) применяют так называемые

отбеленные чугуны, в которых поверхностные слои имеют структуру белого, а сердцевина – серого чугуна. Высокая твердость поверхности отбеленного чугуна обеспечивает сопротивляемость износу.

Основной структурной составляющей белых чугунов, определяющей их механические, технологические и эксплуатационные свойства, является цементит (рис. 5.1). Цементит является фазой, инициирующей зарождение ледебурита⁵. При комнатной температуре ледебуритом называется эвтектическая смесь перлита и цементита.

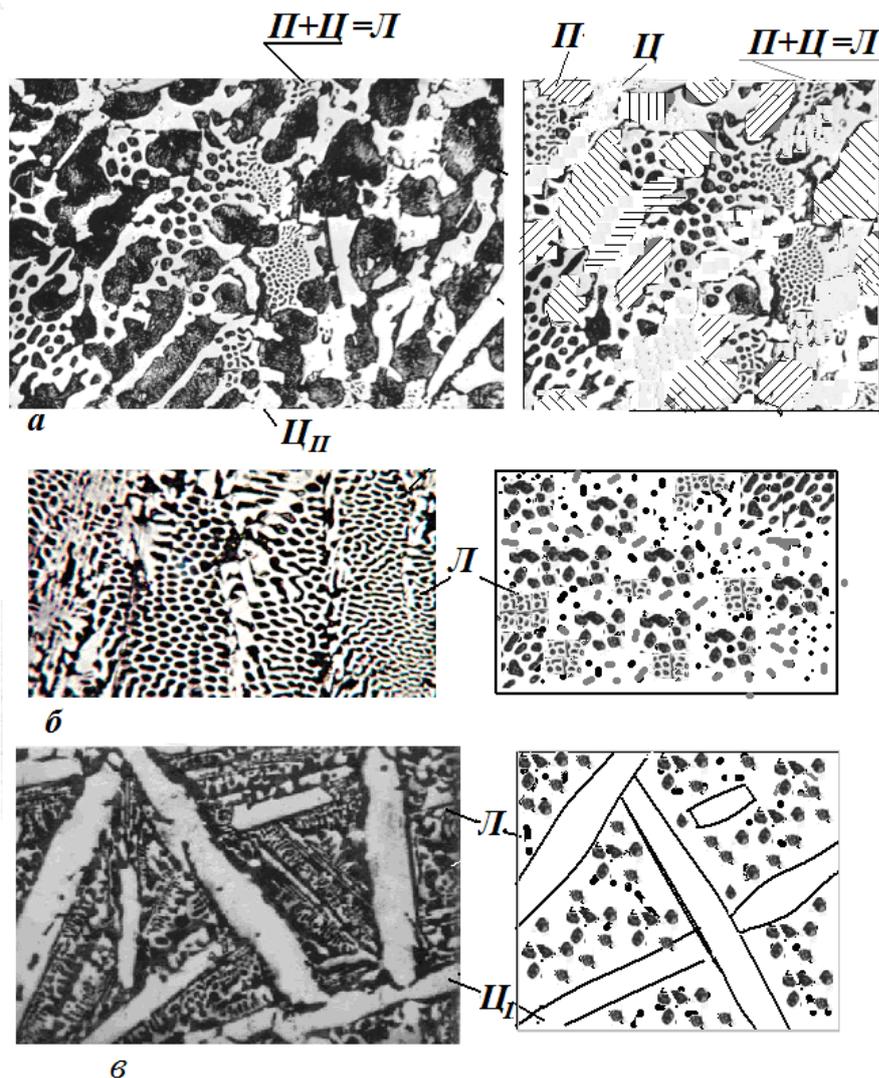


Рис. 5.1. Микроструктура белого чугуна: а – доэвтектического; б – эвтектического; в – заэвтектического; слева – фотография, х450; справа – рисунок

Структура доэвтектического белого чугуна состоит из перлита, избыточного вторичного цементита $Ц_{II}$ и ледебурита. Причем

⁵ Ледебурит – назван в честь немецкого металлурга Адольфа Ледебура (А. Ledebur, 1837...1906). Издал книгу «Металлургия чугуна, железа и стали». Более известен среди металлургов тем, что дал впервые соотношение размеров доменной печи, далее эти размеры были уточнены академиком Павловым М. А. Другая его книга «Технология металлов» была переведена в 1905 г. на русский язык

вторичный цементит местами сливается в белое поле с цементитом ледебурита, на фоне которого просматриваются крупные темные участки перлита.

В эвтектическом чугуне цементит входит в состав ледебурита (рис. 5.1, б), а в структуре заэвтектического чугуна он присутствует как в виде цементита, входящего в состав ледебурита, так и в виде крупных выделений (пластин) первичного цементита (рис. 5.1, в).

3.2. Диаграмма состояния «железо – графит» (Fe-C)

На рис. 5.2 стабильная диаграмма (штриховая линия) Fe- C нанесена на нестабильную Fe- Fe₃C (сплошные линии). Такой способ изображения даёт возможность сравнивать обе диаграммы.

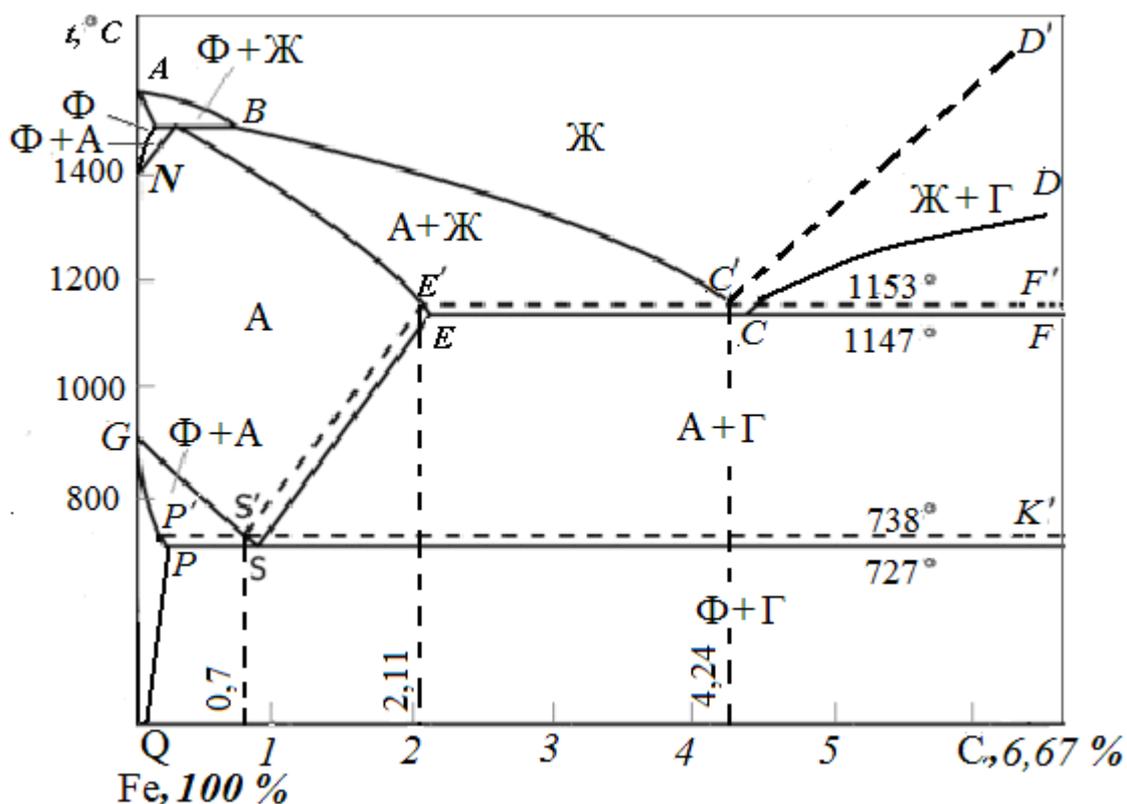


Рис. 5. 2. Диаграмма состояния “железо- графит” (стабильная - штриховые линии), нанесённая на диаграмму состояния “железо - цементит”

Точки этих диаграмм имеют одинаковые обозначения и одинаковый физический смысл. Линии стабильной диаграммы находятся выше линий метастабильной диаграммы, а точки C', E', S' – сдвинуты влево, и находятся при концентрациях углерода 4,24; 2,11 и 0,7 %, соответственно. Процесс образования графита при кристал-

лизации или охлаждении железоуглеродистых сплавов называется *графитизацией*. Чугуны, в которых весь углерод или большая часть, находится в свободном состоянии в виде графитных включений, называются *графитизированными*. В них основным компонентом, кроме железа, является графит. Основная масса графита в серых чугунах образуется при кристаллизации из жидкой фазы ниже линии $C'D'$.

При 1153 °С (линия $E'S'F'$) образуется эвтектический графит в виде смеси аустенита и графита (А+Г). Теоретически по линии $E'S'$ выделяется вторичный графит, а при 738 °С (линия $P'S'K'$) образуется эвтектоидный графит (Ф+Г). Графитизацию в этих случаях принято считать как продукт распада вторичного цементита, образовавшегося из аустенита по линии $E'S'$ или цементита перлита, полученного ниже линии $P'S'K'$ по реакциям: $Fe_3C \rightarrow A + \Gamma$ и $Fe_3C \rightarrow \Phi + \Gamma$. Графит, полученный при распаде аустенита или цементита не создаёт самостоятельных выделений, а наслаивается на уже имеющиеся кристаллах графита, увеличивая их размеры.

Степень графитизации зависит от скорости охлаждения, химического состава и специальных примесей. Образование графита – медленно протекающий процесс, так как для образования зародыша графита и для его роста требуется значительная диффузия атомов углерода. Поэтому непосредственно из жидкого расплава графит в виде первичной фазы может образоваться только при очень медленном охлаждении в узком интервале температур 1153...1147 °С между линиями стабильной и метастабильной диаграмм. Чем медленнее охлаждается сплав, тем полнее происходит графитизация. Наоборот, ускоренное охлаждение частично подавляет кристаллизацию графита и способствует образованию цементита.

В жидком чугуне кроме графита могут присутствовать различные включения в виде окислов SiO_2 , Al_2O_3 и др., которые облегчают образование и рост графитных зародышей. При наличии таких готовых зародышей графитизация может протекать и при температурах ниже 1147 °С. Легирование чугуна Si приводит к такому же эффекту.

3.3. Структура графитизированных чугунов (со свободным углеродом)

Структуру графитизированных чугунов различают по строению

металлической основы и форме графита (рис. 5.3). В зависимости от формы выделений графита различают чугуны: серые (пластинчатая форма графита), ковкие (графит в форме хлопьев), высокопрочные (шаровидный графит) и чугуны с вермикулярным (червевидным) графитом. Все они широко используются в машиностроении.

По строению металлической основы чугуны бывают ферритными, феррито-перлитными и перлитными. Структура ферритных чугунов может быть представлена как структура чистого железа с включениями одной из форм графита: пластинчатой, шаровидной, хлопьевидной или вермикулярной.

В феррито-перлитных чугунах количество связанного углерода находится от 0,1 до 0,7 % углерода, а в перлитных чугунах – 0,7...0,8 % углерода. Механические свойства чугуна обусловлены его структурой и прежде всего, зависят от количества, величины и характера распределения включений графита.

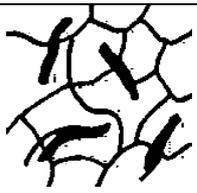
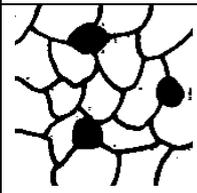
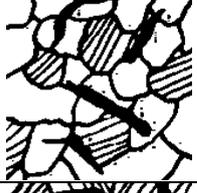
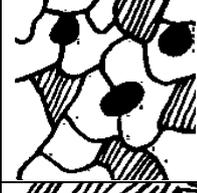
Металлическая основа	Форма графитовых включений			
	пластинчатая	вермикулярная	хлопьевидная	шаровидная
Ф				
Ф+П				
П				
Тип чугуна	СЧ	ЧВГ	КЧ	ВЧ

Рис. 5.3. Классификация чугуна по структуре металлической основы и форме графита (схемы)

3.3.1. Серый чугун. Серые чугуны, как и белые, получают непосредственно при литье. Изменяя содержание углерода и кремния, а также скорость охлаждения, можно получить различную структуру металлической основы серого чугуна: ферритную, перлитную и феррито-перлитную. В сером чугуне углерод образует графитные включения, имеющие форму крупных заострённых пластин.

Их концы являются концентраторами напряжений и очагами зарождения трещин в металлической матрице при нагружении. Поэтому графитовые частицы в чугунах можно рассматривать как дефект, подобный внутренним трещинам, которые существенно снижают при растяжении прочность и пластичность серых чугунов (относительное удлинение менее 1 %). Влияние этих дефектов при изгибе и сжатии значительно меньше, чем при растяжении. Установлено, что прочность серых чугунов при изгибе в 1,5...2 раза выше, а прочность при сжатии в 3...4 раза выше, чем при растяжении. Поэтому серые чугуны рекомендуется использовать в основном для изделий, испытывающих сжатие. Они не используются для деталей машин, работающих при ударных нагрузках из-за низкой пластичности.

С другой стороны, графит оказывает и полезное действие: он улучшает обрабатываемость резанием, литейные свойства, гасит вибрации и резонансные колебания, играет роль смазки (благодаря чему серые чугуны являются хорошим антифрикционным материалом). Серые чугуны имеют высокую жидкотекучесть, что позволяет получать тонкостенные отливки (с толщиной стенки 3...4 мм) и малую усадку (0,9... 1,3 %).

Структура феррито-перлитного серого чугуна представлена на рис. 5.4.

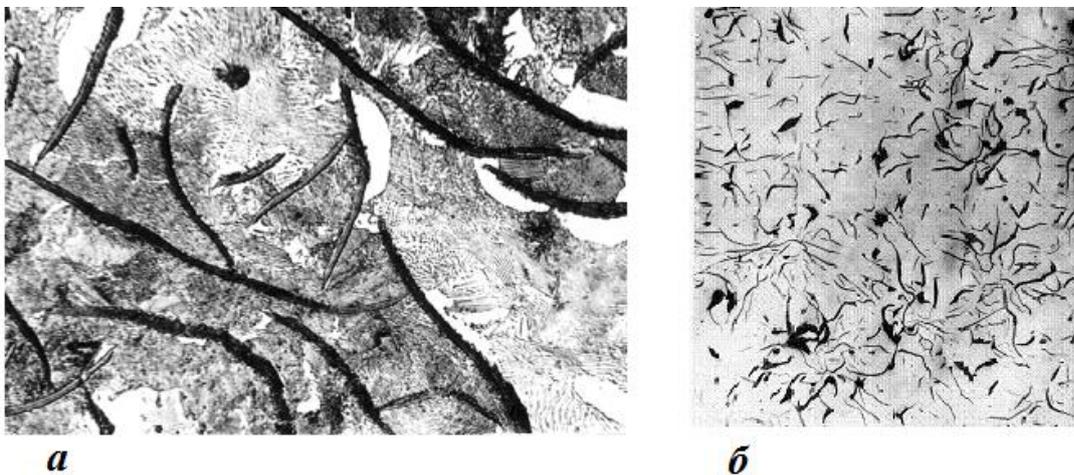


Рис. 5.4. Микроструктура серого чугуна: *а* – СЧ20 на феррито-перлитной основе, х 300; *б* – без травления, х 100

Химический состав. Структура чугуна в отливках зависит от химического состава и скорости кристаллизации. Наиболее широкое применение нашли доэвтектические серые чугуны. Химический состав серого чугуна колеблется в пределах: 2,9...3,7 % С; 1,2...3,5 % Si; 0,5...0,9 % Mn; 0,2...0,3 % P; до 0,12...0,15 % S. Из этих

элементов способствуют графитизации С и Si, а Mn и S наоборот препятствуют графитизации и увеличивают склонность чугуна к отбеливанию. Изменяя в чугуне содержание кремния при постоянном количестве марганца, получают различную степень графитизации. Фосфор не влияет на графитизацию. Сера увеличивает толщину графитных пластинок и ухудшает механические и литейные свойства.

При данном содержании углерода и кремния графитизация протекает тем полнее, чем медленнее охлаждение. В производственных условиях охлаждения в одной отливке с разной толщиной стенок, которые охлаждаются с различными скоростями, чугун может иметь разную структуру. В тонких частях отливки, где быстрее охлаждение и в меньшей степени протекает графитизация образуется больше цементита, чем в более массивных частях и в сердцевине. Отсюда также следует, что содержание кремния надо увеличивать в отливках небольшого сечения, охлаждающейся ускоренно. И, наоборот, в толстых сечениях отливок, охлаждающихся медленнее, графитизация протекает полнее и содержание кремния может быть уменьшено.

Маркировка и применение серых чугунов. Серый чугун является наиболее распространенным и дешевым литейным сплавом. Он характеризуется высокими литейными и удовлетворительными механическими свойствами, хорошей обрабатываемостью резанием, высокой износостойкостью, нечувствительностью к поверхностным дефектам. Согласно ГОСТ 1412–85 для изготовления отливок предусматриваются *ферритные* (СЧ 10, СЧ 15), *феррито-перлитные* (СЧ 20, СЧ 25), перлитные (СЧ 30, СЧ 35, СЧ 40) серые чугуны. Цифры в обозначении марок соответствуют среднему значению временного сопротивления на растяжение, кгс/мм².

Ферритные серые чугуны применяются для слабо – и средне-нагруженных деталей типа корпусов редукторов и насосов, фланцев, тормозных барабанов и др. Феррито-перлитные серые чугуны применяются для изготовления деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках (блоки и поршни цилиндров, картеры двигателей, станины станков и др.).

Перлитные модифицированные серые чугуны СЧ30, СЧ35 обладают наиболее высокими механическими свойствами из-за измельчения графитных включений. Их получают подачей в струю

жидкого чугуна при разливке порошковых модификаторов (ферросилиция и силикокальция в количестве 0,3...0,8 % от массы отливки). Перлитные модифицированные серые чугуны применяются для деталей, работающих при высоких нагрузках в тяжёлых условиях износа: зубчатые колёса, распределительные валы, шпиндели станков и др. Структура модифицированного серого чугуна приведена на рис. 5.5.



Рис. 5.5. Микроструктура модифицированного перлитного серого чугуна СЧ 30, х500

Влияние скорости охлаждения на структуру в модифицированном сером чугуне значительно меньше, чем в не модифицированном, что обеспечивает однородность свойств в различных сечениях отливки. Серые чугуны имеют высокую жидкотекучесть. Их применяют при высоких нагрузках: зубчатые колеса, гильзы цилиндров двигателей, шпиндели, распределительные валы и пр.

3.3.2. Ковкий чугун. Получение отливок из ковкого чугуна принципиально отличается от технологии получения отливок из серого и высокопрочного чугунов. Сначала изготавливают отливку из доэвтектического белого чугуна, при этом используются его высокие литейные свойства, позволяющие получить плотные отливки сложной формы. Затем отливки подвергают длительному нагреву при высоких температурах в нейтральной среде. Для этого отливки укладывают в специальные ящики, засыпают песком для защиты от окисления и производят нагрев и охлаждение по схеме, приведённой на рис. 5.6. Отжиг проводят в две стадии. Вначале нагревают отливки до температуры 950...970 °С. При этом в структуре чугуна образуются аустенит и цементит. При значительной выдержке при данной температуре (около 15 часов) цементит распадается с образованием хлопьевидного графита (углерода

отжига) и структура преобразуется в А+Гр. Затем отливки охлаждают до температур, соответствующих интервалу эвтектоидных превращений.

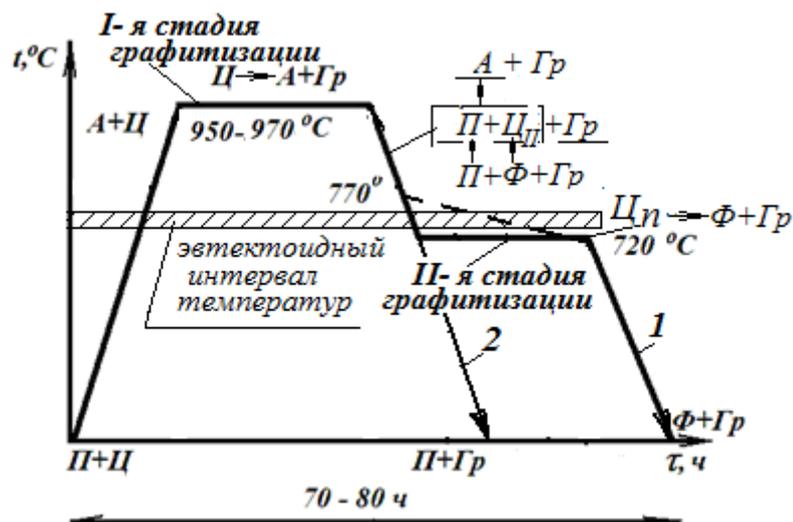


Рис. 5.6. Схема отжига белого чугуна на ковкий:
1 – на ферритный;
2– на перлитный

При охлаждении происходит выделение из аустенита вторичного цементита и одновременный его распад, что приводит к росту графитных частиц. Затем при достижении температур ниже эвтектоидного интервала (740...720 °C) дают длительную выдержку (около 30 часов) или медленно охлаждают в интервале температур от 770 до 720 °C (штриховая линия на рис. 5.7), что обуславливает вторую стадию графитизации. При этом происходит разложение цементита, входящего в эвтектоидный перлит.

Таким образом, для получения структуры феррит + графит (углерод отжига) в процессе отжига должен быть разложен цементит ледебурита, вторичный цементит и цементит, входящий в перлит.

При относительно быстром охлаждении (режим 2, рис. 5.6) вторая стадия полностью устраняется, и получается перлитный ковкий чугун. Отжиг является длительной 70...80 часов и дорогостоящей операцией. Для ускорения отжига принимают различные меры: чугун модифицируют алюминием, повышают температуру нагрева чугуна перед разливкой или графитизации I-й стадии до 1080 °C.

Металлической основой ковкого чугуна чаще является феррит (ферритный ковкий чугун) и реже перлит (перлитный ковкий чугун). Более высокой пластичностью обладает ферритный ковкий чугун, который применяют в машиностроении. Феррито-перлитный ковкий чугун для получения отливок не используется. Это связано с тем, что присутствие феррита в структуре перлитного ковкого чугуна

ухудшает его свойства, так как влечет за собой резкое снижение прочности при незначительном увеличении пластичности. Микроструктура ковкого чугуна приведена на рис. 5.7.

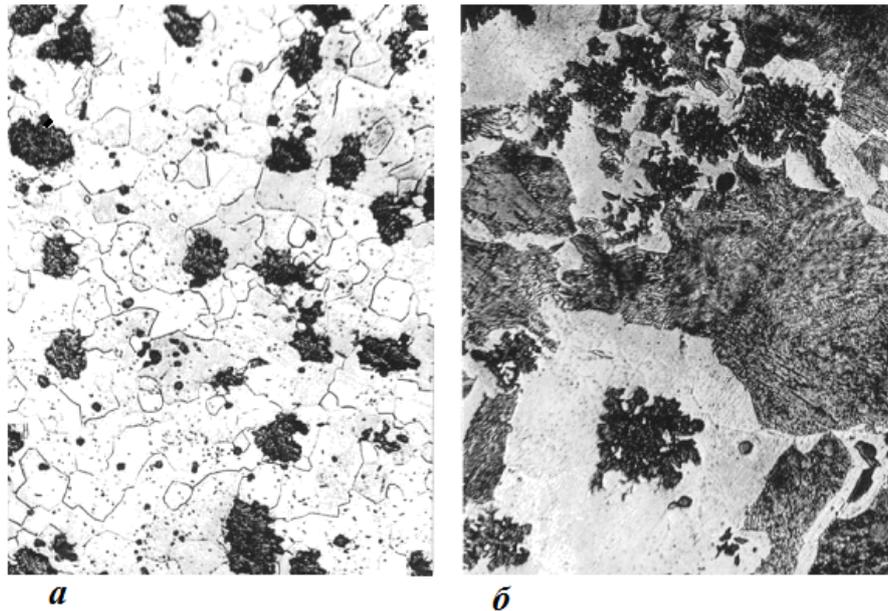


Рис. 5.7. Микроструктура ковких чугунов:
а – ферритный; *б* – феррито-перлитный

Ковкий чугун – название условное, в действительности он не подвергается ковке, хотя и имеет по сравнению с серым чугуном некоторую пластичность и вязкость благодаря хлопьевидной форме графита. Из него, как и из серого чугуна, изготавливаются лишь фасонные отливки для машиностроения массой от нескольких граммов до 250 кг с толщиной стенок 3...50 мм. При этом толщина стенок отливок не должна превышать 40...50 мм, так как при большей толщине после отжига, вместо хлопьевидного, образуется пластинчатый графит. Отсутствие литейных напряжений, снятых во время отжига, благоприятная форма и изолированность графитных включений обуславливают высокие механические свойства ковкого чугуна.

Химический состав. Ковкий чугун по составу отличается от серого и высокопрочного чугунов. Он имеет более низкое содержание углерода и кремния, что способствует меньшему выделению графита и повышению пластичности, а низкое содержание кремния исключает образование **пластинчатого** графита в структуре отливок при их охлаждении. Обычный состав белого чугуна, отжигаемого на ковкий чугун, выбирают в зависимости от требуемой структуры металлической основы в пределах: 2,2...2,8 % C; 0,8...1,4 % Si; ≤ 1 % Mn; $\leq 0,1$ % S; $\leq 0,2$ % P.

Маркировка и применение ковких чугунов. В соответствии с ГОСТ 1215-79 ковкий чугун маркируют буквами КЧ и цифрами. Первые две цифры указывают временное сопротивление, кгс/мм², вторая—относительное удлинение (в %). Например, КЧ 30-6; КЧ 33-8; КЧ 35-10; КЧ 37-12 ферритного класса, КЧ 45-7; КЧ 50-5; КЧ 55-4; КЧ 60-3; КЧ 65-3; КЧ 70-2; КЧ 80-1,5 перлитного класса.

Из ковкого чугуна изготавливают детали высокой прочности, работающие в тяжелых условиях износа, способные воспринимать ударные и знакопеременные нагрузки, в том числе клапаны, муфты, картеры редукторов, коленчатые валы и др.

3.3.3. Высокопрочные чугуны. *Высокопрочными* называются чугуны, имеющие шаровидную форму графита. Такая форма графита как концентратор напряжений в меньшей степени ослабляет металлическую основу, чем пластинчатый графит в сером чугуне, и не оказывает на нее надрезающего действия. Благодаря этому высокопрочный чугун имеет хорошие механические свойства.

Для получения шаровидного графита в жидкий серый чугун вводят модификаторы в виде добавок магния и ферросилиция FeSi. На рис. 5.8 показана микроструктура высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Особенности структуры матрицы высокопрочного чугуна с шаровидным графитом являются: а) расположение феррита преимущественно в виде оторочек вокруг включений шаровидного графита, что объясняется разложением некоторой части цементита перлита; б) более тонкое, чем у серого чугуна, строение пластинчатого перлита, часто напоминающее сорбит.

Химический состав. Состав высокопрочного чугуна, как и серого, выбирается в зависимости от требуемых свойств и толщины отливок. По содержанию углерода он почти не отличается от серых чугунов (от 2,7 до 3,8 %), кремния – 1,6...2,9 %, но содержание вредных примесей является более низким: серы до 0,01...0,1 % и фосфора до 0,04...0,10 %.

Жидкотекучесть высокопрочного чугуна такая же, как у серого, что позволяет получать фасонные отливки с минимальной толщиной стенок 3...4 мм.

Маркировка и применение высокопрочных чугунов. ГОСТ 7293-85 устанавливает восемь марок высокопрочного чугуна. Их маркируют буквами ВЧ (высокопрочный чугун) и числа, соответствующего временному сопротивлению чугуна при растяжении

σ_v , кгс/мм². К ферритным чугунам относятся марки ВЧ 35, ВЧ 40, к феррито-перлитным ВЧ 45, ВЧ 50, ВЧ 60, а к перлитным ВЧ 70, ВЧ 80, ВЧ 100. Благодаря более высоким механическим свойствам высокопрочный чугун может использоваться вместо поковок и отливок из углеродистой стали для деталей машин, работающих в тяжелых условиях. Из него изготавливают коленчатые валы и поршни автомобильных и тракторных двигателей, шестерни, тормозные диски, детали прокатных станков, корпуса насосов, вентили и т. д. Однако высокая усадка (1,25...1,7 %) вызывает необходимость создания условий направленной кристаллизации для предупреждения образования усадочных раковин и пористости.

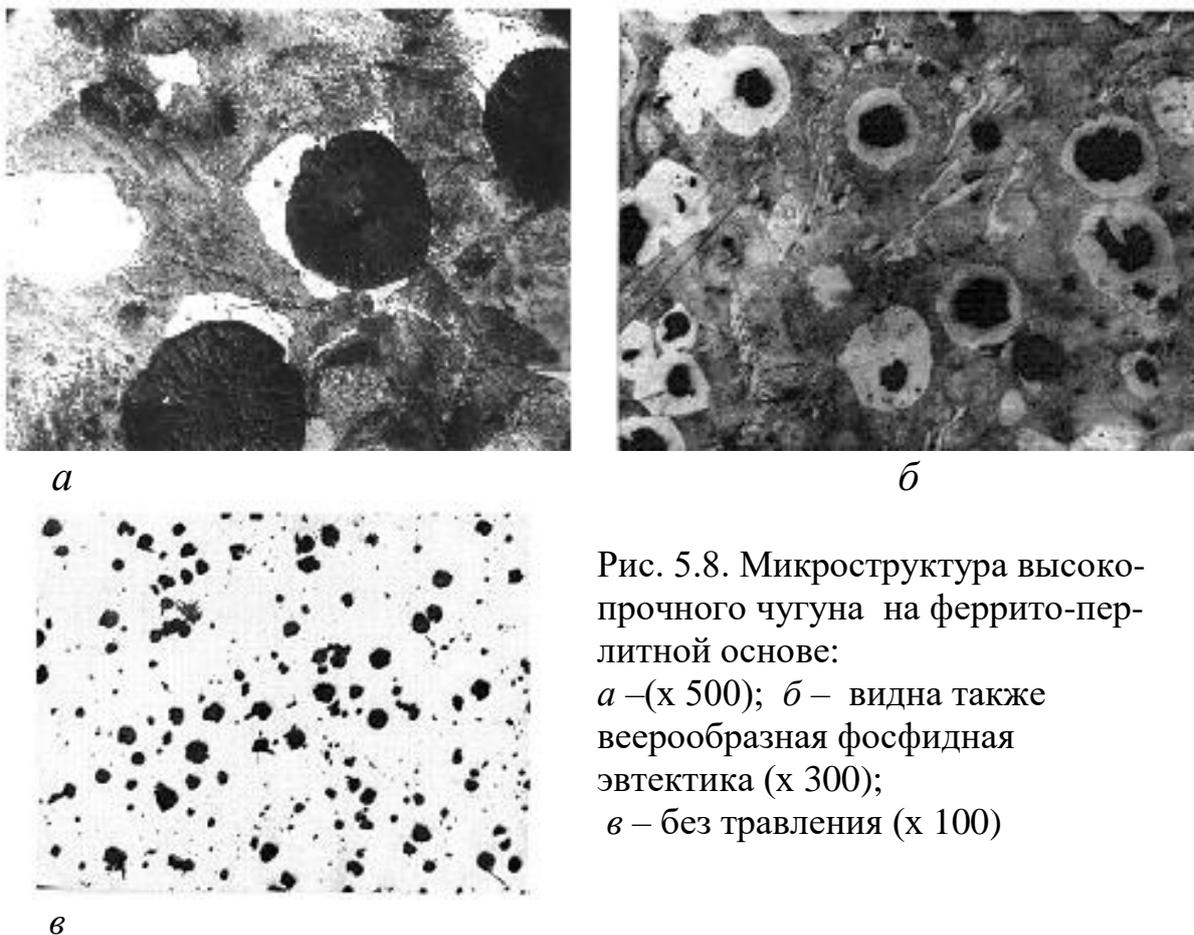


Рис. 5.8. Микроструктура высокопрочного чугуна на феррито-перлитной основе:
а – (х 500); *б* – видна также веерообразная фосфидная эвтектика (х 300);
в – без травления (х 100)

3.3.4. Чугун с вермикулярным⁶ графитом (ЧВГ). Чугун с вермикулярным графитом – это относительно новый литейный чугун. Структура ЧВГ может содержать до 40 % сфероидального графита и до 60 % вермикулярного (червевидного). Получают совместным введением с магнием (0,01...0,03 %) в жидкий чугун титана в количестве 0,08...0,12 % и в небольших количествах церия

⁶ (лат. *vermiculus* — червячок)

или иттрия. Такое модифицирование обеспечивает более равномерное расположение вермикулярного графита как в тонких так и в массивных сечениях отливки. Вермикулярный графит подобно пластинчатому графиту виден на металлографическом шлифе в форме прожилок, но они меньшего размера, утолщенные, с округлыми краями (рис. 5.9). Структура металлической основы ЧВГ может быть ферритной, перлитной и феррито-перлитной. На рис. 5.9 приведена микроструктура феррито-перлитного чугуна с вермикулярным графитом. Содержится также до 30 % шарообразного графита.

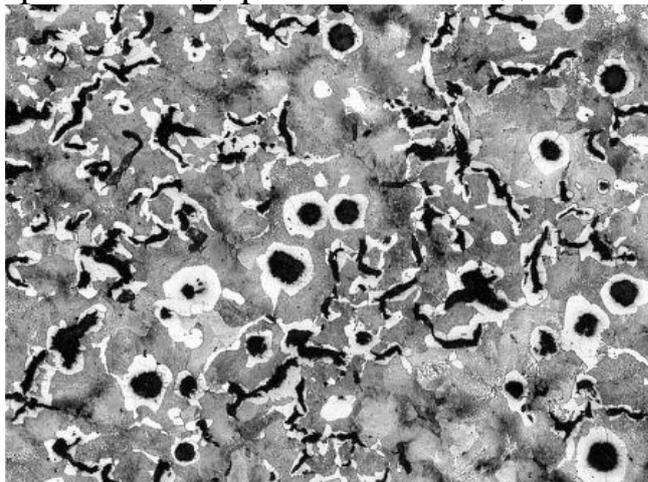


Рис. 5.9. Микроструктура феррито-перлитного чугуна с вермикулярным графитом (x 200)

Химический состав. Типичные номинальные составы чугуна с вермикулярным графитом содержат: 3,5...3,8 % С; 1,9...2,5 % Si; 0,1... 0,6 % Mn.

Маркировка и применение чугунов с вермикулярным графитом. Маркируют чугуны с вермикулярным графитом буквами ЧВГ и далее следует цифра, обозначающая минимальное значение временного сопротивления разрыву при растяжении, в кг/мм². Для изготовления отливок ГОСТ 28394-89 устанавливает четыре марки чугуна с вермикулярным графитом: ЧВГ 30, ЧВГ 35, ЧВГ 40, ЧВГ 45.

По механическим свойствам чугуны с вермикулярным графитом превосходят серые чугуны и близки к высокопрочным чугунам, а демпфирующая способность и теплофизические свойства ЧВГ выше, чем у высокопрочных чугунов. Они более технологичны, чем высокопрочные и по жидкотекучести соперничают с серыми чугунами. Для них характерны также высокая обрабатываемость резанием, малая усадка. Благодаря этим качествам ЧВГ широко используются в мировом и отечественном автомобилестроении, тракторостроении, судостроении, дизелестроении, энергетическом и металлургическом машиностроении для деталей, работающих при значи-

тельных механических нагрузках в условиях трения и износа, переменном повышении температуры. Например, ЧВГ используется взамен СЧ для производства головок цилиндров крупных морских и тепловозных дизельных двигателей внутреннего сгорания. Механические свойства графитизированных чугунов по сравнению со стальным литьем могут изменяться в определённых соотношениях (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Сравнение механических свойств графитизированных чугунов и стали

	Матрица	Прочность [МПа]	Твердость [НВ]	Относительное удлинение δ , %	Относительная стоимость
СЧ	Ферритная	100...180	130...150	1	1
	Перлитная	300...400	175...230	0...1	
ЧВГ	Ферритная	330...410	130...190	5...10	1,1
	Перлитная	420...580	200...250	2...5	
ВЧ	Ферритная	400...600	140 ... 200	15...25	1,1
	Перлитная	600...700	230...300	3...10	
КЧ	Ферритная	350...370	150...163	6...12	1,2
	Перлитная	500...630	241...269	2...4	
Сталь 15Л		330	150	31	1,6...1,8

Отливки, предназначенные для работы в узлах трения, которые должны обладать низким коэффициентом трения, изготавливаются из антифрикционного чугуна (ГОСТ 1585- 85). В обозначениях стандартных марок таких чугунов ставится буква *A* (антифрикционный); например, *AЧС-2*, *AЧВ-1*, *AЧК-2* и др.

4. Практическая часть

4.1. Оборудование и материалы для выполнения работы

1. Автоматизированный металлографический комплекс на базе оптического микроскопа «Olimpus GX-41» с видеокамерой.
2. Набор микрошлифов чугунов в равновесном состоянии с различной массовой долей углерода и формой графита.
3. Атлас типичных микроструктур (кафедральное пособие).

4.2. Задания и последовательность выполнения работы

1. Изучить диаграмму состояния «железо-графит».
2. Изучить с помощью микроскопа микроструктуру чугунов.
3. Зарисовать микроструктуру чугунов с указанием структурных составляющих.
4. Привести схему отжига белого чугуна на ковкий.
6. Оформить отчет по предложенному шаблону (приложение 3).
7. Защита работы (проводится в форме собеседования с преподавателем).

Требования к оформлению и содержанию отчёта

Отчет должен включать:

- а) титульный лист;
- б) формулировку цели и задачи работы;
- в) зарисовки всех изученных структур чугунов с пояснениями структурных составляющих;
- г) выводы, согласованные с задачами работы.

Критерии результативности выполнения работы

Работа считается успешно выполненной, если:

- отчет на бумажном носителе содержит все необходимые пункты согласно требованиям;
- студент дает аргументированные пояснения по всем приведенным в отчете пунктам задания;
- студент правильно отвечает на контрольные вопросы преподавателя при защите работы.

Контрольные вопросы

1. Чем вызвано широкое использование чугуна в машиностроении?
2. Какие сплавы относятся к чугунам?
3. В чём разница между белыми и отбеленными чугунами? Где они применяются?
4. На какие группы подразделяют чугуны в зависимости от состояния углерода в них?

5. В какие структурные составляющие в белых чугунах входит цементит?
6. Каково основное назначение чугунов?
7. Какую диаграмму состояния используют при анализе микроструктуры белых чугунов?
8. Какие различия имеются между диаграммами метастабильного и стабильного состояний железоуглеродистых сплавов?
9. Объясните по диаграмме состояния как происходит образование графита из жидкой и твёрдой фазы?
10. При каких условиях происходит выделение графита из жидкого чугуна?
11. Какой процесс протекает в белых чугунах при переохлаждении расплава ниже $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$?
12. Какой процесс называется графитизацией?
13. Сколько углерода содержится в эвтектическом белом чугуне и какие чугуны называются до – и заэвтектическими? Какова их структура при комнатной температуре?
14. По каким признакам классифицируют микроструктуру графитизированных чугунов?
15. Каким методом получают серый чугун?
16. Могут ли работать изделия из серого чугуна при ударных нагрузках? Почему могут или не могут?
17. Как получают ковкий чугун?
18. Каким методом получают высокопрочный чугун?
19. Каким методом получают чугун с вермикулярным графитом?
20. Как маркируются чугуны?
21. От каких факторов зависит степень графитизации?
22. Сколько структурных составляющих содержит чугун, если графитизация в твердом состоянии прошла полностью?
23. Чем отличаются микроструктуры графитизированных чугунов на одинаковой основе?
24. В чем сущность эвтектического превращения в чугунах?
25. Какова структура белых чугунов?

Тесты для самоконтроля знаний приведены в **прил. 4.**

Список литературы

1. Материаловедение: Учебник для вузов // Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина, Н. М. Рыжова. – 6-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с.

2. Солнцев Ю. П., Пряхин Е. И. Материаловедение: Учебник для вузов /Под ред. Ю. П. Солнцева – 4-е изд., стереотип. – СПб., Химиздат, 2007. – 784 с.

3. Гуляев А. П., Гуляев А. А. Металловедение: Учебник для вузов. 7-е изд., перераб. и доп. –М.: ИД Альянс, 2011. –644 с.



Чугун в искусстве

Форма отчёта

ФГБОУ ВПО «УГАТУ»
Кафедра материаловедения и физики металлов

ОТЧЕТ
к практике № 4

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В
РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ**

Студент (ка) _____
Группа _____
Дата _____
Преподаватель _____

1. Цель работы:

2. Основные теоретические сведения

2.1. Компоненты и фазы в железоуглеродистых сплавах

Описать:

2.2. Диаграмма состояния железо-цементит
(метастабильное состояние)

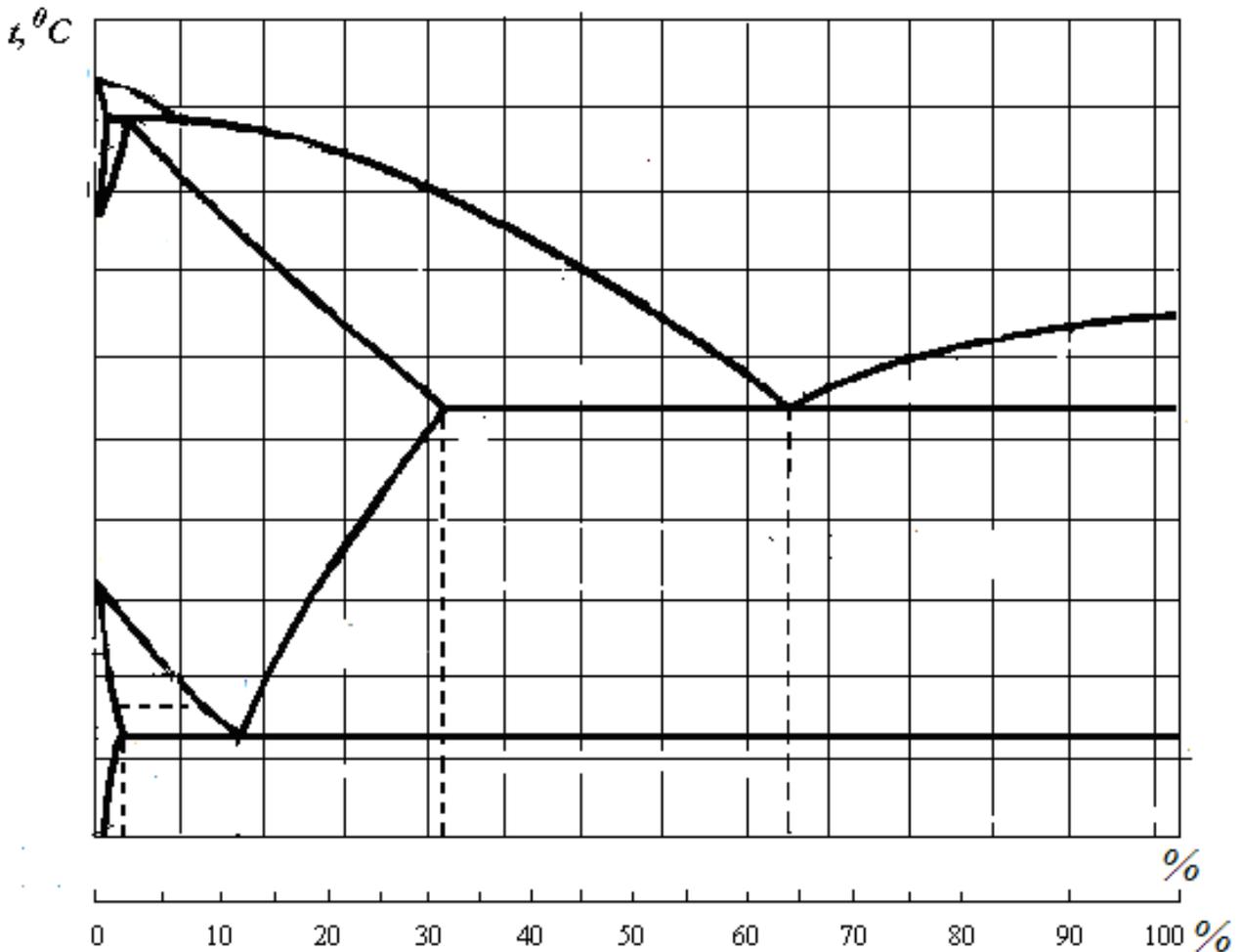


Рис. 1. Диаграмма состояния «железо-цементит»

(обозначить на рис. все характерные точки и линии диаграммы и дать пояснения, что они обозначают)

Привести результаты расчётов по определению содержания углерода по фотографии микроструктуры, установлению марки стали и её свойств.

2.3. Структура сталей

Рисунки изучаемых структур

техническое железо	доэвтектоидная сталь
эвтектоидная сталь	заэвтектоидная сталь

2.4. Определение содержания углерода в доэвтектоидной стали и её марки

Схема определения площади перлитной (ферритной) фазы

Формула для вычисления содержания углерода:

2.5. Влияние содержания углерода на свойства стали

Пояснения:

Рис. Зависимость механических свойств стали от содержания углерода (на рис. отметить схему определения механических свойств в виде вертикальной штриховой линии, проведённой от вычисленного значения содержания углерода).

Выводы по работе

Тесты для самоконтроля к работе № 4

Вопросы	Ответы
1	2
4.1. Фазовый состав сплава, содержащего 0,8 % С, при температуре 900 °С	1) аустенит; 2) феррит; 3) аустенит и цементит; 4) феррит и цементит.
4.2. Содержание углерода (в процентах) в сплаве эвтектоидного состава	1) 0,8; 2) 4,3; 3) 2,14; 4) 6,67.
4.3. Сталь, имеющая структуру перлит и цементит вторичный	1) У8А; 2) сталь 08кп; 3) У10; 4) У7
4.4. Примесь, вызывающая хладноломкость стали, это	1) фосфор; 2) марганец; 3) сера; 4) кремний.
4.5. Укажите марку качественной конструкционной стали	1) сталь 30; 2) Ст 3; 3) У7А; 4) У10.
4.6. Структура сплава, содержащего < 0,006 % углерода, при комнатной температуре	1) ферритная; 2) перлитная; 3) феррито-перлитная; 4) феррито-цементитная.
4.7. Сталь, которая имеет максимальный предел прочности	1) сталь 20; 2) сталь 40; 3) У8А; 4) сталь 08кп.
4.8. В эвтектоидных сталях содержание углерода составляет:	1) 2,14 %; 2) 0,80%; 3) Углерод полностью отсутствует; 4) 10 %.
4.9. Марка конструкционной стали обыкновенного качества	1) сталь 10; 2) Ст1; 3) У10; 4) сталь 30.
4.10. Марка инструментальной высококачественной стали	1) сталь 30; 2) Ст3; 3) У7А; 4) У8.
4.11. Качество стали зависит от	1) содержания углерода; 3) способа раскисления; 2) содержания серы и фосфора; 4) содержания марганца.
4.12. Критические точки полиморфного превращения железа	1) А; 2) S; 3) G; 4) N.
4.13. Вредное явление, развивающееся из-за повышенного содержания примесей серы в стали	1) горячеломкость; 2) хладноломкость (красноломкость); 3) образуются флокены; 4) хрупкость.
4.14. Какое вредное явление вызывает в стали повышенное содержание фосфора?	1) хладноломкость; 2) горячеломкость (красноломкость); 3) образуются флокены; 4) хрупкость.
4.15. Марка качественной конструкционной стали	1) У7; 2) Ст3; 3) сталь 30; 4) У10А.

Окончание прил. 2	
1	2
4.30. В доэвтектоидных сталях содержание углерода менее	1) 0,10 %; 2) 0,80 %; 3) Углерод полностью отсутствует; 4) 0,001 %.
4.31. В эвтектоидных превращениях одновременно участвуют фазы	1) аустенит, перлит и феррит; 2) феррит, цементит и аустенит; 3) ледебурит, перлит и феррит; 4) феррит, аустенит и жидкий расплав.
4.32. Твердый раствор внедрения углерода в Fe _γ называют	1) цементит; 2) феррит; 3) аустенит; 4) перлит.
4.33. Эвтектоидная смесь феррита и цементита называется	1) ледебуритом; 2) ферритом; 3) аустенитом; 4) перлитом.
4.34. Третичный цементит образуется при	1) кристаллизации эвтектического расплава; 2) при перетектических превращениях аустенита; 3) при охлаждении сплавов ниже температуры A ₁ ; 4) при охлаждении сплавов ниже A ₃ .
4. 35. Цифра в марке Ст3 указывает	1) содержание углерода; 2) номер сплава; 3) предел прочности; 4) содержание серы.
4.36. Цифра в марке Сталь 30 показывает	1) содержание углерода; 2) номер сплава; 3) предел прочности; 4) содержание серы.
4.37. Сплав Ст4сп является сталью	1) обыкновенного качества; 2) качественной; 3) особо высококачественной; 4) высококачественной.
4.38. Способность металлов образовывать различные типы кристаллических решёток называется:	1) текстурой; 2) анизотропией; 3) полиморфизмом; 4) изотропностью.
4.39. Состав и количество фаз в двухфазных областях диаграммы равновесия определяют по правилу	1) Курнакова С. Н.; 2) отрезков; 3) Гиббса; 4) фаз.

Форма отчёта

ГОУ ВПО «УГАТУ»
Кафедра материаловедения и физики металлов

ОТЧЕТ
по практике № 5

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ

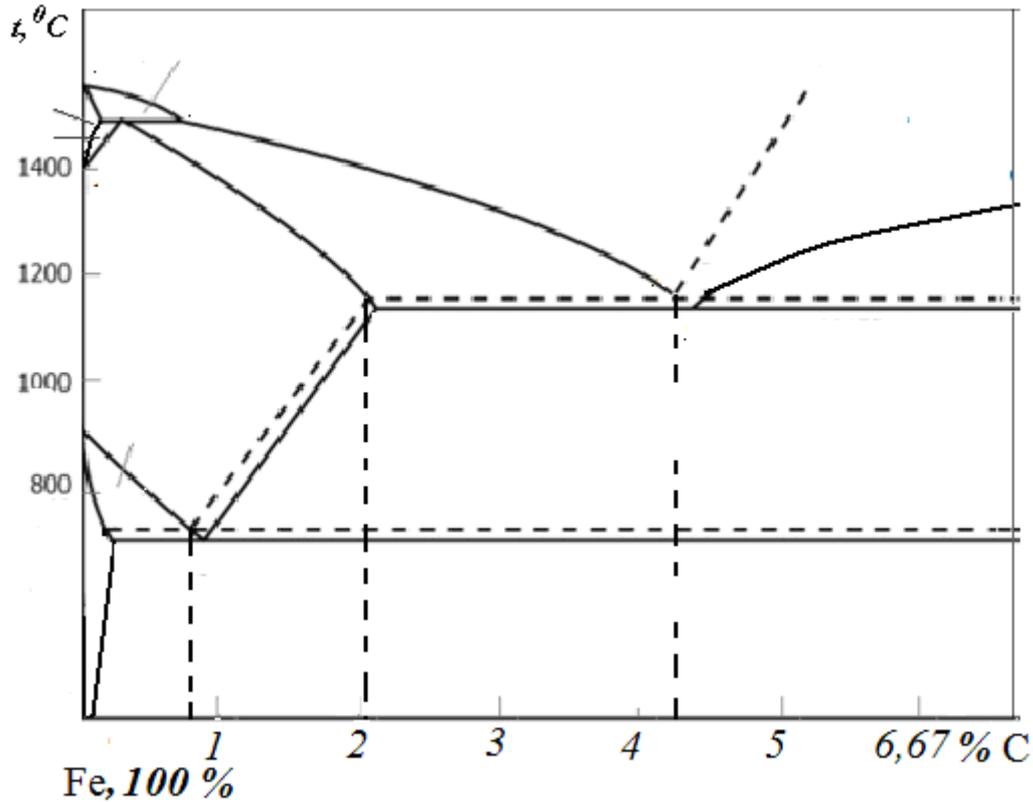
Студент (ка) _____
Группа _____
Дата _____
Преподаватель _____

Продолжение прил. 3

1. Цель работы:

2. Основные теоретические сведения

На диаграмме состояния Fe-C, проставить все характерные точки и линии, а также обозначить структурные области



Дать определение белым и графитизированным чугунам. Привести объяснения какие факторы влияют на процесс графитизации, как получают различные графитизированные чугуны и для изготовления каких деталей они применяются.

Привести схему отжига белого чугуна на ковкий.

2.1. Структура чугунов

Рисунки изученных структур белых чугунов		
доэвтектический	эвтектический	заэвтектический

Рисунки структуры графитизированных чугунов			
Чугун серый	Чугун ковкий	Чугун ВЧ	Чугун ЧВГ

Выводы по работе

Тесты для самоконтроля к практике № 5

Вопросы	Ответы
5.1. Фазы, из которых состоит ледебурит при комнатной температуре	1) феррит и аустенит; 2) цементит; 3) перлит и цементит; 4) аустенит и цементит.
5.2. Фазовый состав сплава, содержащего 3 % С, при температуре 900 °С	1) аустенит; 2) ледебурит; 3) аустенит и цементит; 4) аустенит+цементит+ледебурит.
5.3. Чугун, в котором углерод образует графитные включения пластинчатой формы	1) серый чугун; 2) ковкий чугун; 3) с вермикулярным графитом; 4) высокопрочный.
5.4. Фазовый состав сплавов, содержащих > 4,3 % углерода, после завершения первичной кристаллизации	1) аустенит; 2) ледебурит; 3) аустенит и цементит; 4) цементит и ледебурит.
5.5. Фазы, из которых состоит ледебурит (при температуре 900 °С)	1) феррита и аустенита; 2) феррита и цементита; 3) аустенита и цементита; 4) аустенита и феррита.
5.6. Форма графита в чугуне марки КЧ30-6	1) шаровидная; 2) пластинчатая; 3) хлопьевидная; 4) вермикулярная.
5.7. Способ получения шаровидной формы графита в высокопрочном чугуне	1) введение кремния; 2) модифицирование; 3) отжигом белого чугуна; 4) введение серы.
5.8. Количество углерода, находящегося в ферритном сером чугуне в связанном состоянии	1) менее 0,02 %; 2) 2,14 %; 3) 0,8 %; 4) 3,0 %.
5.9. Содержание углерода в перлитном сером чугуне в связанном состоянии	1) до 4 %; 2) 2,14 %; 3) 0,8 %; 4) 4,3 %.
5.10. Чугун рекомендуется использовать преимущественно для изделий, работающих на	1) растяжение; 2) сжатие; 3) схема нагружения значения не имеет; 4) изгиб.
5.11. Графит имеет вермикулярную “червеобразную” форму в чугуне	1) КЧ30-6; 2) ВЧ100; 3) ЧВГ30; 4) СЧ25.
5.12. Чугуны, получаемые модифицированием	1) ковкие; 2) высокопрочные и вермикулярные; 3) белые и графитизированные; 4) серые.
5.13. Если отношение длины графитного включения к его ширине больше 10, то чугун	1) серый; 2) ковкий; 3) вермикулярный; 4) высокопрочный.

Продолжение прил. 4	
1	2
5.14. Цифра в марке сплава СЧ30 показывает	1) содержание углерода; 3) номер сплава; 2) предел прочности; 4) содержание фосфора.
5.15. Содержание углерода в чугунах	1) более 2,14 %; 2) менее 2,14 %; 3) от 0,8 до 2,14 %; 4) более 4,3 %
5.16. В белых чугунах при комнатной температуре углерод содержится в виде	1) пластинчатого графита; 2) глобулярного графита; 3) хлопьевидного графита; 4) цементита.
5.17. Сплав марки СЧ10 представляет собой	1) сталь углеродистую, содержащую 0,1 % углерода; 2) серый чугун с минимальным значением предела прочности при растяжении 100 МПа; 3) серый чугун с минимальным относительным удлинением 10 %; 4) серый чугун с содержанием 3 % С.
5.18. Какой серый чугун ферритный?	1) СЧ25; 2) СЧ40; 3) СЧ30; 4) СЧ10.
5.19. Какой серый чугун перлитный?	1) СЧ15; 2) СЧ30; 3) СЧ18; 4) СЧ20.
5.20. Какой чугун перлитный модифицированный?	1) СЧ18; 2) СЧ35; 3) СЧ25; 4) СЧ21.
5.21. Серый чугун получают	1) модифицированием; 2) отжигом белого чугуна; 3) термообработкой высокопрочного чугуна; 4) медленным охлаждением из жидкого состояния.
5.22. Высокопрочный чугун получают	1) модифицированием; 2) отжигом белого чугуна; 3) термообработкой высокопрочного чугуна; 4) медленным охлаждением из жидкого состояния.
5.23. Ковкий чугун получают	1) отжигом отливок из белого чугуна; 2) длительной выдержкой ниже эвтектической линии; 3) при кристаллизации из жидкого состояния; 4) при длительном отжиге в интервале температур 727...738 °С.
5.24. Ковкий чугун по составу отличается от других	1) низким содержанием углерода и кремния; 2) низким содержанием углерода и марганца; 3) низким содержанием кремния и марганца; 4) высоким содержанием углерода.

1	2
5.25. В заэвтектических белых чугунах кристаллизация начинается с выделения из жидкого раствора кристаллов	1) первичного цементита; 2) вторичного цементита; 3) аустенита; 4) перлита.
5.26. В доэвтектических белых чугунах (< 4,3 % С) кристаллизация сплава начинается с выделения из жидкого раствора	1) аустенита; 2) вторичного цементита; 3) феррита; 4) перлита.
5.27. Структура заэвтектического белого чугуна при комнатной температуре состоит	1) из ледебурита и первичного цементита; 2) из перлита, ледебурита и вторичного цементита; 3) из перлита и вторичного цементита; 4) из перлита и цементита; 5) из перлита.
5.28. Сплав, обладающий лучшими литейными свойствами	1) доэвтектический; 2) заэвтектический; 3) эвтектический; 4) твёрдый раствор.
5.29. Фазовый состав сплавов, содержащих > 2,14 % углерода, после завершения первичной кристаллизации	1) аустенит; 2) ледебурит; 3) аустенит и цементит; 4) феррит и цементит.
5.30. Процент углерода (по массе) в последней капле жидкой фазы при кристаллизации сплава, содержащего 4 % углерода	1) 4 %; 2) 6,67 %; 3) 2,14 %; 4) 4,3 %.
5.31. Структура доэвтектического белого чугуна при комнатной температуре состоит из	1) Л+Ц _I ; 2) П+Л+Ц _{II} ; 3) П+Ц _{II} ; 4) П %.
5.32. Эвтектической смесью является	1) аустенит; 2) цементит; 3) перлит; 4) ледебурит