

Практическая работа № 3 МИКРОАНАЛИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы: научиться распознавать микроструктуры углеродистых сталей, определять примерное содержание углерода в сталях с помощью микроскопа изучить диаграмму состояния $Fe - Fe_3C$.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сталями называются сплавы железа с углеродом с содержанием последнего до 2,14 %.

Железоуглеродистые сплавы могут существовать в двух **системах: железо - графиты железо - цементит**. При обычных скоростях охлаждения, несколько градусов в минуту, железо образует с углеродом химическое соединение - карбид железа Fe_3C , называемый цементитом. Это соединение может считаться самостоятельным компонентом и данную систему можно рассматривать как систему железо-цементит. В настоящей работе мы знакомимся с диаграммой состояния сплавов системы $Fe - Fe_3C$, показанной на рисунке 10 и со структурой углеродистой стали, соответствующей этой диаграмме.

Диаграмма состояния системы $Fe - Fe_3C$

Компонентами системы являются железо и цементит. Железо кристаллизуется при температуре 1539 °С. В твердом состоянии оно может быть в двух модификациях α и γ .

α - железо имеет кристаллическую решетку объемно-центрированного куба и сохраняется устойчиво при температуре ниже 911°С и в интервале температур (1392...1539) °С.

γ - железо имеет кристаллическую решетку гранецентрированного куба и устойчиво существует в интервале температур (911...1392)°С.

При температуре 768°С железо меняет магнитное состояние: ниже 786 °С - оно ферромагнитно, выше - немагнитно.

Второй компонент - цементит. Он является метастабильным соединением. При высоких температурах и больших концентрациях углерода распадается на графит и твердый раствор углерода в железе α или γ . Цементит имеет ромбическую кристаллическую решетку.

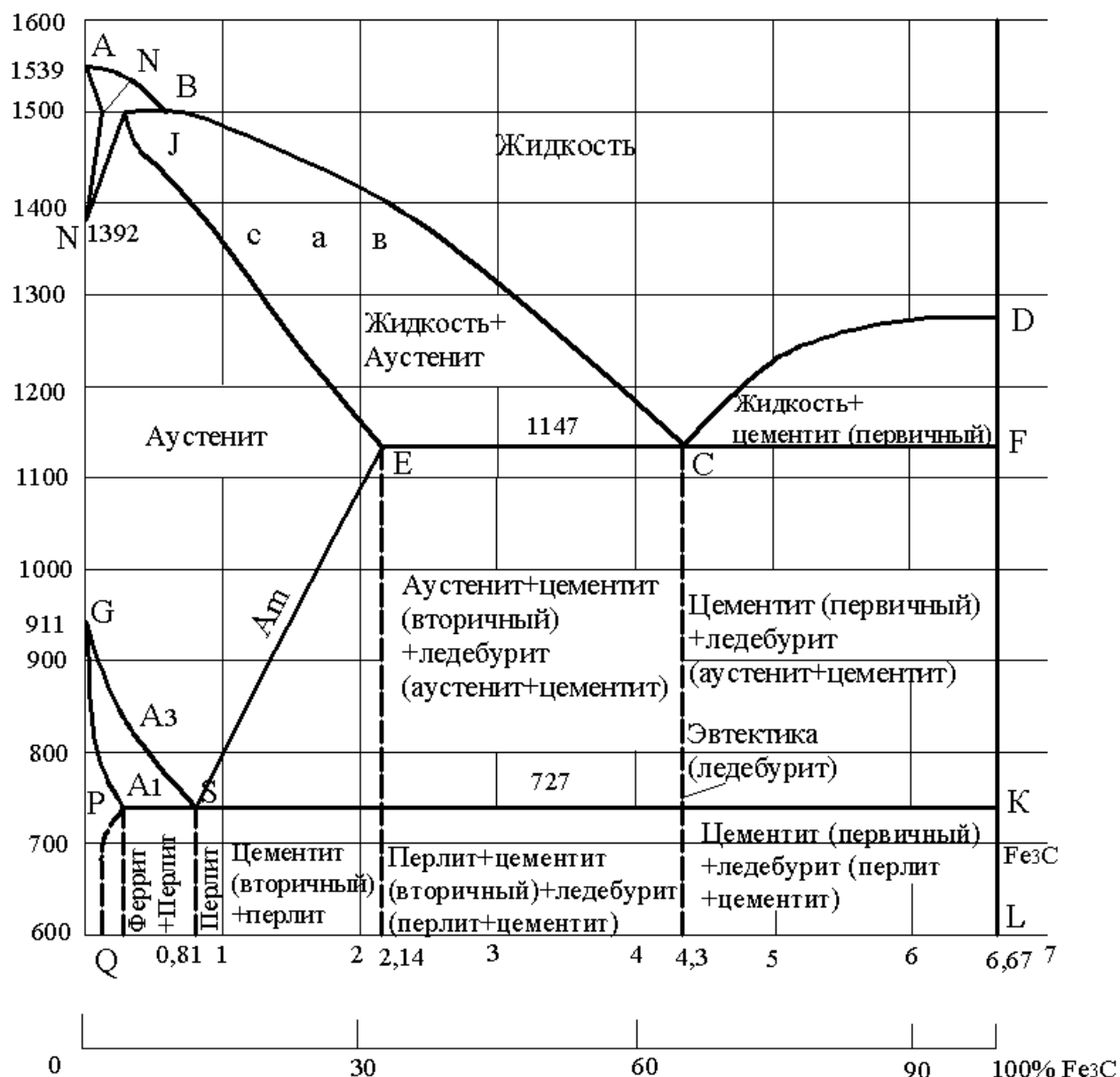


Рис. Диаграмма состояний железо - углерод

Анализ диаграммы

Линия ABCD - линия ликвидус. При температурах выше ее все сплавы в жидком состоянии.

Линия BC соответствует температуре начала кристаллизации аустенита из жидкого сплава. Линия CD соответствует температуре начала кристаллизации первичного цементита из жидкого сплава. Поэтому в области ACE существует жидкий раствор и кристаллы аустенита, а в области CDF - жидкий раствор и кристаллы цементита.

Точка E диаграммы показывает максимальную растворимость углерода в аустените при температуре 1147°C, она принята границей деления железоуглеродистых сплавов на стали и чугуны. Линия AECF - линия солидус. Ниже этой линии все сплавы твердые. Она также является началом вторичной кристаллизации (перекристаллизации), характерной для твердой фазы. Прямая ECF- называется линией эвтектических превращений.

При охлаждении сплавов ниже линии солидус происходит изменение структуры в связи с изменением растворимости углерода в железе α и γ и в связи с аллотропическим превращением железа.

Точка G соответствует температуре аллотропического превращения чистого железа (911°C). Линия GS соответствует началу выкристаллизовывания *феррита* из аустенита при охлаждении, следствии перехода γ в α железо. Выделившийся феррит содержит очень мало углерода, поэтому аустенит постепенно обогащается им до 0,8% при температуре 727°C . Линия GP - конец превращения аустенита в феррит, поэтому область GPQ характеризует феррит.

В точке S (с концентрацией углерода 0,8% и температурой 727°C) протекает реакция распада аустенита, продуктом которой является эвтектоидная смесь, называемая перлитом. Поэтому прямая PSK называется прямой эвтектоидных превращений. В области GSP существует аустенит и феррит, а в области QPS0,8 - перлит и феррит. При охлаждении феррита, содержащего углерода от 0,008 % до 0,025 % выкристаллизовывается цементит третичный.

Линия SE соответствует пределу растворимости углерода в γ - железе. При понижении температуры от 1147°C до 727°C растворимость углерода уменьшается от 2,14 до 0,8 %. При охлаждении сплавов ниже этой линии из аустенита выделяется цементит вторичный, а оставшейся аустенит обедняется углеродом.

Все сплавы, содержащие до 2,14 % углерода, после окончания кристаллизации имеют структуру аустенита. Поэтому пользуются более упрощенной диаграммой $Fe - Fe_3C$, где линия солидус представлена в виде простой линии AE.

На рисунке 11 изображена левая часть диаграммы, соответствующая сталям.

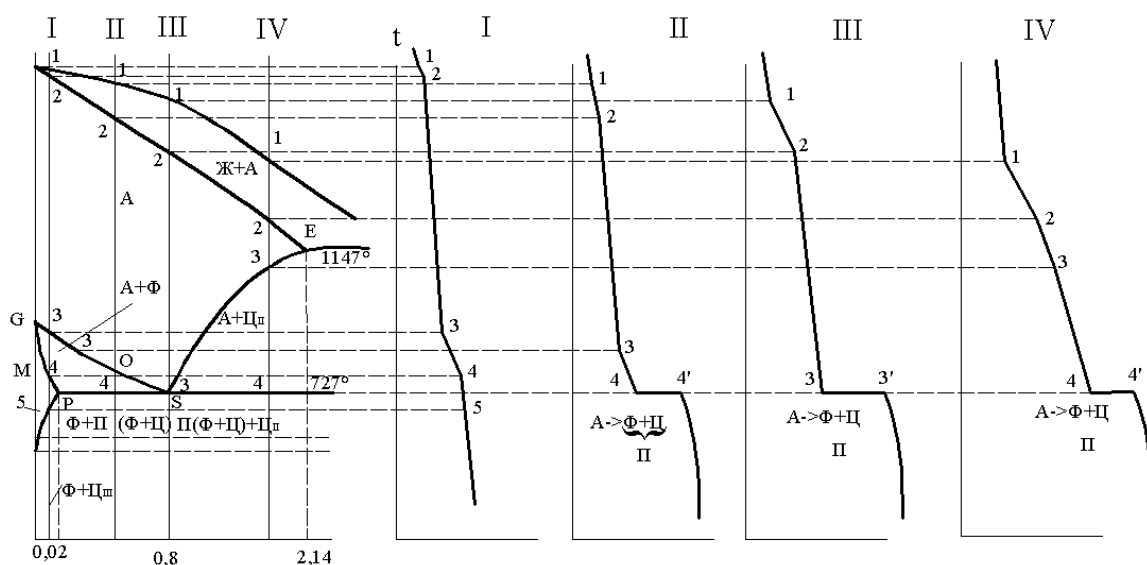


Рис. 11. Часть диаграммы железо - углерод (до 2,14 % C)

Сплав I содержит меньше 0,02% углерода, расположен левее точки P. Это технически чистое железо. Кристаллизация аустенита начинается в точке 1 и заканчивается в точке 2. До точки 3 в сплаве не происходит никаких фазовых превращений: сплав просто охлаждается. В точке 3 начинается перестройка решетки аустенита в решетку феррита с изменением содержания углерода в обоих твердых растворах. В точке 4 это превращение заканчивается и до точки 5 происходит охлаждение феррита. Ниже точки 5 сплав находится в области двухфазного состояния феррит цементит (третичный).

Сплав II имеет типичную кривую охлаждения для всех сплавов, содержащих от 0,2 до 0,8 % углерода, разница только в температурах критических точек. Образование кристаллов аустенита начинается в точке 1 и заканчивается в точке 2. При этом состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус AC, а состав аустенита по линии солидус AE. В точке 3 начинается превращение аустенита в феррит, которое протекает до точки 4. Состав аустенита изменяется по линии GS, состав феррита - по линии GP. В точке 4 при 272°C происходит эвтектоидное превращение.

Чем больше в стали углерода, т. е. чем ближе располагается сплав к точке S, тем необходимо большее время для этого превращения (отрезок 4-4^f на кривой охлаждения будет больше) и в структуре сплава будет больше перлита.

Сплав III содержит 0,8% углерода, т. е. по составу отвечает точке эвтектоидного превращения S. При его охлаждении до 727°C аустенит не испытывает никаких превращений, далее весь аустенит превращается в перлит.

Сплав IV содержит углерода больше 0,8%, но меньше 2,14%. До точки 3 кристаллизация этого сплава протекает также, как и сплавов I и II. При температуре от точки 3 до точки 4 изменяется содержание углерода в аустените по линии ES. Точка E соответствует максимальной растворимости углерода в аустените, т.е. 2,14 %, а точка S - минимальной растворимости: 0,8 % углерода. В точке 4 (727°C) происходит эвтектоидное превращение. После окончательного охлаждения сплав будет иметь структуру перлит и вторичный цементит.

АППАРАТУРА, РЕАКТИВЫ И МЕТАЛЛЫ:

1. Металлографический микроскоп МИМ - 7.
2. Набор микрошлифов.
3. Атлас микроструктур сталей.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить структуру железоуглеродистых сплавов с помощью металлографического микроскопа.

Сплавы, содержащие углерод до 0,02 % называются *техническим железом*. До 0,006 % углерода - это однофазная структура феррит (Ф), от 0,006 % до 0,02 % углерода сплавы имеют структуру феррита с выделением по границам зерен третичного цементита (рис. 12, а).

Стали по структуре при комнатной температуре делятся на *доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные*.

Сплавы с содержанием углерода 0,02 % до 0,8 % называются *доэвтепюидными* сталями, и их структура состоит из двух фаз - феррита и перлита. Перлит (П) представляет собой двухфазную структуру - механическую смесь мелких кристаллов цементита (Ц) и феррита (П = Ц + Ф). Феррит выявляется в микроструктуре в виде светлых полей, а перлит - в виде полей полосчатого строения (рис. 12, б, в), где общий светлый фон - феррит, а темные места - тени от выступающих цементитных пластин.

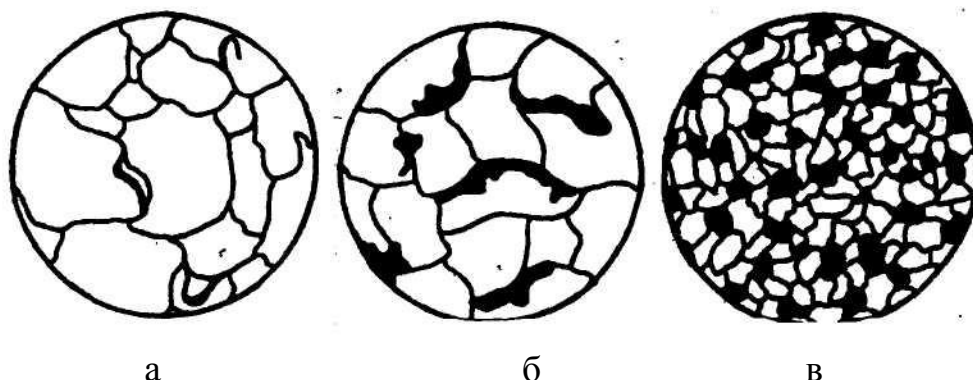


Рис. 12. Микроструктуры технического железа (а) и доэвтектоидной стали с содержанием углерода 0,3 % (б) и 0,45 % (в)

Количество перлита в структуре стали возрастает пропорционально увеличению содержания углерода, это происходит до содержания углерода 0,8 %; когда он становится единственной структурной составляющей *эвтектоидной* стали и занимает все 100% поверхности шлифа (рис. 13, а, б).

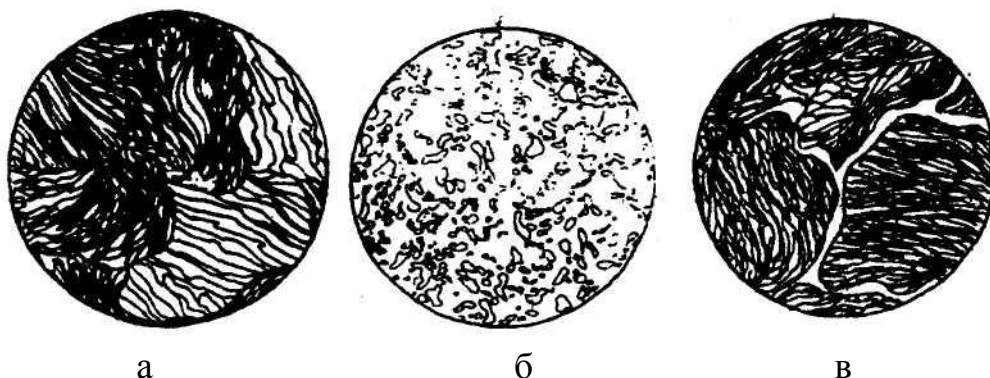


Рис. 13. Микроструктуры эвтектоидной: (а) пластинчатый и (б) зернистый перлит и (в) заэвтектоидной сталей

Микроструктура *заэвтектоидной* стали, содержащей от 0,8 % до 2,14 % углерода, состоит из перлита и цементита вторичного, который при медленном охлаждении выделяется в виде сетки по границам зерен перлита (рис. 13, в). Чем больше содержится углерода в заэвтектоидной стали, тем более толстой получается цементитная сетка.

2. По микроструктуре сплавов можно приблизительно определить содержание углерода в составе сплава, учитывая следующие обстоятельства:

Количество углерода в перлите составляет 0,8 %, в цементите 6,67 %, а в феррите (ввиду малой растворимости в нем углерода - 0,006 %) принимается, что углерод отсутствует.

В этом случае содержание углерода в доэвтектоидной стали можно вычислить по формуле (10):

$$\%C = \frac{S_{\text{П}} \cdot 0,8}{100}, \quad (10)$$

а в заэвтектоидной стали по формуле (11):

$$\%C = \frac{S_{\text{П}} \cdot 0,8}{100} + \frac{S_{\text{Ц}} \cdot 6,67}{100}, \quad (11)$$

где $S_{\text{П}}$ - видимая в микроскоп площадь шлифа, занимаемая перлитом;

$S_{\text{Ц}}$ - видимая в микроскоп площадь шлифа, занимаемая цементитом вторичным.

С ростом содержания углерода уменьшается количество феррита и пропорционально возрастает количество цементита. Так как цементит самая твердая фаза, то повышаются прочностные свойства стали (предел прочности при растяжении и твердость), снижается пластичность и ударная вязкость.

3. Пользуясь диаграммой состояния, можно для любой температуры определить не только число фаз, но и их состав и количественное соотношение, применив правило отрезков. Это правило может быть использовано только для тех областей диаграммы, в которых сплавы находятся в двухфазном состоянии.

Например, следует определить состав фаз для сплава в точке *a*. Для этого через точку надо провести горизонтальную линию (коноду) до пересечения с линиями диаграммы состояния, ограничивающими данную двухфазную область (линия *c - в*). Точки пересечения проектируют на ось концентраций. Концентрация жидкой фазы определится проекцией точки *в*, а твердой фазы проекцией точки *с*. Проекции точек покажут состав фаз.

Второе положение правила отрезков позволяет определять количественное соотношение фаз при любой температуре. Для этого также проводят через точку *a* коноду.

Количество (масса) фаз обратно пропорционально отрезкам проведенной коноды. Если принять, что отрезок *ев* выражает количество всего сплава, то количество выделившегося аустенита (твердая фаза) соответствует отрезку *ав*, жидкой фазы - отрезку *са*.

Для определения относительного весового количества фаз пользуются отношениями (12), (13), (14):

$$Q_{\text{ж}}/Q_{\text{т.ф.}} = av/ca \quad (12)$$

$$Q_{\text{ж}}/Q_{\text{сн}} = cv/ca \quad (13)$$

$$Q_{\text{т.ф.}}/Q_{\text{сн}} = cv/fv \quad (14)$$

где $Q_{\text{ж}}$ - количество жидкого расплава; $Q_{\text{т.ф.}}$ - количество твердой фазы; $Q_{\text{сн}}$ - количество всего сплава.

4. Разобрать диаграмму состояния $Fe - Fe_3C$. Просмотреть микроструктуру сталей на микрошлифах и зарисовать с указанием структурных составляющих.

5. Оформить отчет и сделать необходимые выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Диаграмма состояния $Fe - Fe_3C$.
2. Построение кривых охлаждения сплавов.
3. Как классифицируются стали по структуре?
4. Определение содержания углерода в стали по микроструктуре?
5. Что и как можно определить на диаграмме с помощью правила отрезков?

1. МИКРОАНАЛИЗ ЧУГУНОВ

Цель работы: научиться определять вид чугуна по наблюдаемой микроструктуре, познакомиться с маркировкой и областью применения чугунов.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Чугуном называют железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14% углерода.

В зависимости от формы выделения углерода чугун подразделяют на **белый, половинчатый и серый**, цвет излома которых соответственно изменяется от матово-белого до пепельно-серого.

В белом чугуне практически весь углерод находится в химически связанном состоянии в виде *цементита*, который и обуславливает белый цвет. Он получается при быстром охлаждении жидкого расплава.

Микроструктура белых чугунов для равновесных условий характеризуется правой частью диаграммы состояния $Fe - Fe_3C$ (рис. 10). У эвтектического белого чугуна с содержанием углерода 4,3 % микроструктура представлена *ледебуритом* (Л), образующимся при температуре 1147°C в результате эвтектической реакции (кристаллизации) и состоящим из цементита точки F (содержание углерода 6,67 %) и аустенита точки E (содержание углерода 2,14 %). При охлаждении доэвтектического белого чугуна из аустенита выделяется вторичный цементит, который сливается с эвтектическим цементитом. После полного охлаждения в результате эвтектоидного превращения аустенит переходит в перлит и белый чугун приобретает следующие структуры:

- доэвтектический чугун (содержание углерода 2,14 - 4,3 %) - имеет состав **Перлит + Цементит (вторичный) + Ледебурит** (перлит и цементит);
- эвтектический чугун (содержание углерода 4,3 %) - имеет состав **Ледебурит** (перлит и цементит);
- заэвтектический чугун (содержание углерода 4,3 - 6,6 %) - имеет состав **Ледебурит** (перлит и цементит) + **Цементит** (первичный).

На рисунке 14 представлена микроструктура белых чугунов.



Рис. 14. Микроструктура белых чугунов: (а) доэвтектического, (б) эвтектического и (в) заэвтектического

Рассмотрим кривые охлаждения белых чугунов на части диаграммы железо - углерод (рис. 15).

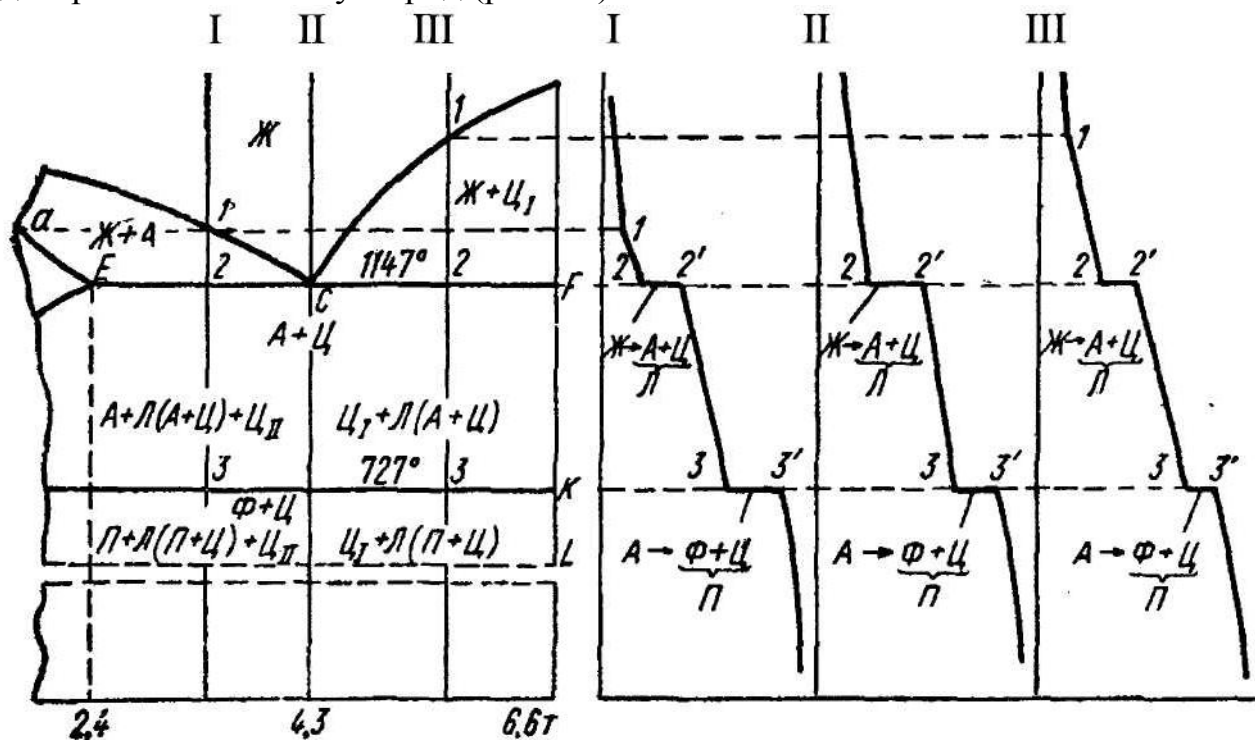


Рис. 15. Часть диаграммы железо – углерод

Кривая I типична для всех сплавов, содержащих углерод от 2,14 до 4,3 % (расположенных от точки Е до точки С). Кристаллизация зерен аустенита начинается в точке 1 и заканчивается в точке 2.

При температуре 1147°C оставшееся жидкость претерпевает эвтектическое превращение. Между линиями ECF и PSK сплав имеет структуру $A + C_{II} + L(A + C)$.

При 727°C (линия PSK) происходит эвтектоидное превращение аустенита в перлит (феррит + цементит) и ниже этой температуры сплав будет иметь структуру $\Pi + C_{II} + L(\Pi + C)$.

При охлаждении **сплава II** (содержание углерода 4,3 %) при температуре 1147°C (точка С) вся жидкость превращается в ледебурит, который с понижением температуры испытывает превращения, аналогичные сплаву I.

В сплавах, содержащих углерод от 4,3 до 6,67 % (**сплав III**), в точке 1 начинается образование кристаллов цементита. В точке 2 происходит эвтектическое превращение. Между линиями ECF и PSK сплав имеет структуру $C_I + L(A + C)$.

При 727°C (линия PSK) происходит эвтектоидное превращение аустенита. Окончательная структура сплава $C_I + L(\Pi + C)$.

В **половинчатом чугуне** часть углерода находится в виде графита, но при этом не менее- 2 % углерода присутствует в виде цементита.

Серыми чугуном и называют чугуны, у которых весь углерод или большая его часть находится *в виде графита*, а в связанном состоянии (в форме цементита) углерода содержится не более 0,8 %. Большое количество графита обуславливает серый цвет излома таких чугунов.

В зависимости от формы включений графита и условий его образования различают особенно *серый, ковкий и высокопрочный* чугуны.

Металлическая основа чугунов, в которой содержатся включения графита, очень сходна с микроструктурой сталей и в зависимости от количества связанного углерода (в виде цементита) может **быть ферритной** ($C_{св} = 0 \%$), **ферритно-перлитной** ($C_{св} < 0,8 \%$) и **перлитной** ($C_{св} = 0,8 \%$).

Серый чугун. Пластинчатая структура графита образуется в результате сплава с повышением содержания кремния (рис. 16). Графитовые включения могут иметь различную толщину, протяженность и завихренность. Серый чугун содержит в среднем (3,2...3,5) % углерода, (1,9...2,5) Si и в зависимости от прочности делится на 10 марок. Марка чугуна складывается из букв СЧ (серый чугун) и числа, которое показывает предел прочности на разрыв (растяжение).

Учитывая, что серый чугун плохо переносит ударные и растягивающие нагрузки, его используют для изготовления деталей, подвергающихся при эксплуатации сжимающим и, в худшем случае, изгибающим нагрузкам.

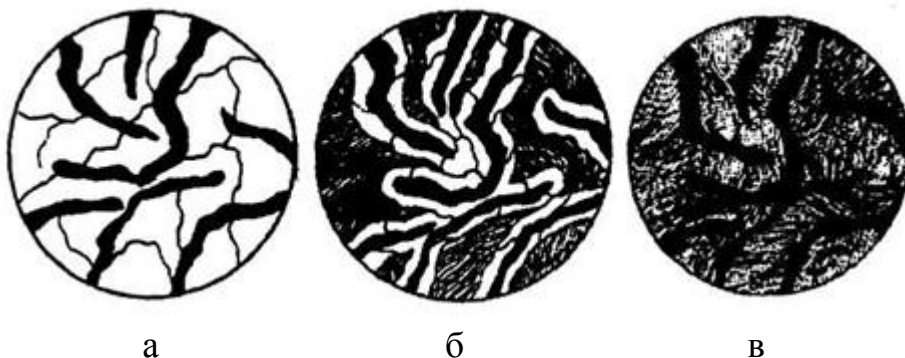


Рис.16. Микроструктура серых чугунов: (а) ферритный, (б) ферритно-перлитный и (в) перлитный

Из серого чугуна делают станины, базовые детали, зубчатые колеса, блоки и головки цилиндров для двигателей внутреннего сгорания, диски сцепления и многое другое.

Высокопрочный чугун. Шарообразная форма графита в чугуне образуется при модифицировании жидкого чугуна перед разливкой магнием в количестве 0,5 % к массе металла (рис. 17).

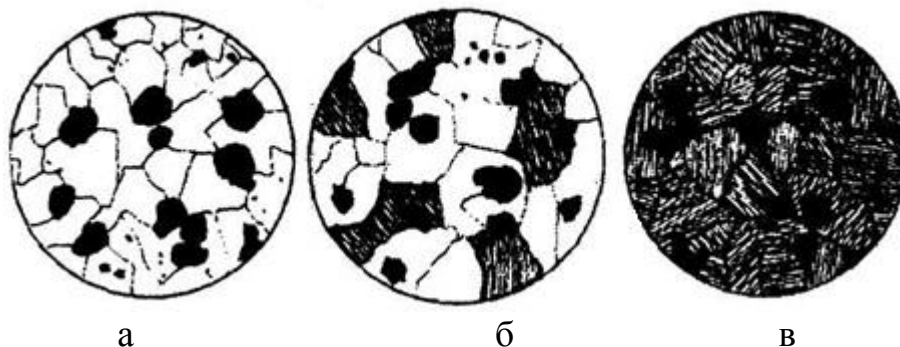


Рис. 17. Микроструктура высокопрочных чугунов: (а) ферритный, (б) ферритно-перлитный и (в) перлитный

Различают 9 марок высокопрочных чугунов, часть из которых приведена в таблице 1. Маркируются эти чугуны буквами ВЧ и двумя цифрами: первая показывает предел прочности на растяжение, а вторая - относительное удлинение.

Высокопрочный чугун обладает хорошими механическими свойствами и во многом заменяет сталь. Из него отливают станины и рамы прессов, коленчатые валы массой до 3 тонн, трубы, валки прокатных станков, детали турбин. Изложницы, различные детали машин и станков. Высокопрочный чугун хорошо обрабатывается резанием и обладает удовлетворительной свариваемостью.

Ковкий чугун. Получают отжигом белого чугуна в течение 15-20 часов при температуре (950...1000)°С с последующим медленным или относительно медленным охлаждением. В первом случае из разложившегося цементита образуется хлопьевидный графит отжига в металлической основе феррита (черносердечный - ферритный ковкий чугун), а во втором - хлопьевидный графит отжига в перлитной основе (светлосердечный - ковкий перлитный чугун). Микроструктуры ковких чугунов показаны на рис. 18.

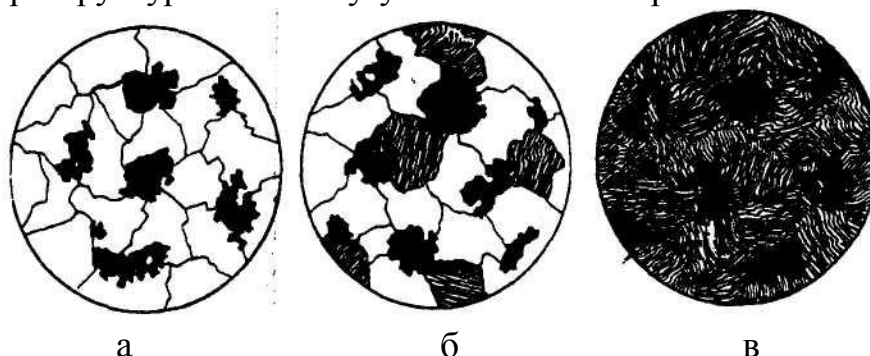


Рис. 18. Микроструктура ковких чугунов: (а) ферритный, (б) ферритно-перлитный и (в) перлитный

Различают семь марок ковкого чугуна, маркируется буквами КЧ и двумя цифрами: первая показывает предел прочности на растяжение, вторая - относительное удлинение. По механическим характеристикам ковкий чугун находится между сталью и серым чугуном. Из него изготавливают картеры редукторов, корпуса подшипников, звездочки приводных: цепей и многое другое.

Легируемый чугун. Эти чугуны наряду с обычными примесями содержат легирующие элементы: хром, никель, медь, молибден и др. Легируют, главным образом, серые чугуны, а в некоторых случаях и белые.

Легирующие элементы улучшают механические свойства чугуна и придают ему особые физико-химические свойства. Из них делают коленчатые валы, детали компрессоров, поршни двигателей и другие детали. Например, чугуны с содержанием хрома 2% и никеля 1% идут на изготовление зубчатых колес, деталей автомобилей, дизелей, штампов, т.к. имеют высокую прочность.

Широко применяют и белые легированные чугуны: высокохромистый износостойкий; чугун (ИЧХЗТД, ИЧХ28Н2), никель-хромистый чугун для отливок, подвергающихся абразивному износу. В таблице 2 представлены некоторые марки серых, ковких и высокопрочных чугунов.

Таблица 2 - Маркировка чугунов

Марка чугуна	σ_b , кгс/мм ² , (МПа)	Механические свойства		Структура основы
		δ , %	НВ	
Серые чугуны				
СЧ 15	15 (150)	До 0,5	143 – 229	Ф, Ф+П
СЧ 20	20 (200)	До 0,5	170 – 246	П
СЧ 35	35 (350)	До 0,5	185 – 255	П (модиф.)
Ковкие чугуны				
КЧ 30 – 6	29,4 (294)	6	100 – 163	Ф
КЧ 37 – 12	36,2 (362)	12	110 – 163	Ф
КЧ 50 – 5	49,0 (490)	5	170 – 230	П
КЧ 65 – 3	63,7 (637)	3	212 – 269	П
Высокопрочные чугуны				
ВЧ 35-22	35 (350)	22	140 – 170	Ф
ВЧ 45 – 10	45 (450)	10	140 – 225	Ф+П
ВЧ 60 – 3	60 (600)	3	192 – 277	П
ВЧ 80 – 2	80 (800)	2	248 – 351	П

АППАРАТУРА, РЕАКТИВЫ И МЕТАЛЛЫ:

1. Металлографический микроскоп МИМ - 7.
2. Набор микрошлифов.
3. Атлас микроструктур чугунов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Разобрать диаграмму состояния сплавов $Fe - Fe_3C$ (часть чугунов).
2. Изучить кривые охлаждения доэвтектических, эвтектических и заэвтектических чугунов.
3. Изучить характеристики белого, серого, ковкого, высокопрочного чугунов.
4. Просмотреть на металлографическом микроскопе микроструктуры чугунов. Зарисовать микроструктуры чугунов. Записать наименование чугуна, форму графитовых включений и структуру металлической основы.
5. Оформить отчет и сделать необходимые выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как классифицируются белые чугуны по структуре в зависимости от содержания углерода?

2. Охарактеризуйте кривые охлаждения чугунов.
3. Как классифицируется серые чугуны в зависимости от формы графитных включений и структуры металлической основы?
4. Каковы области применения белого, серого, высокопрочного и ковкого чугунов?
5. Маркировка чугунов.
6. Как получают белый, серый, ковкий и высокопрочный чугуны?