

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Диаграмма состояния железо - углерод.

Структура и свойства углеродистых сталей и чугунов

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1.1. Изучить диаграмму состояния железо-углерод.
- 1.2. Изучить микроструктуры углеродистых сталей в равновесном (отожженном) состоянии. Установить зависимость между структурами и механическими свойствами углеродистых сталей.
- 1.3. Изучить микроструктуры белых, серых, высокопрочных и ковких чугунов. Установить зависимость между составом, условиями получения, структурами и механическими свойствами чугунов.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

- 2.1. Ознакомиться с диаграммой состояния железо-углерод.
- 2.2. Ознакомиться с построением кривых охлаждения отдельных сплавов системы железо-углерод.
- 2.3. Ознакомиться с зависимостью механических свойств углеродистых сталей от содержания углерода.
- 2.4. Изучить и зарисовать микроструктуры углеродистых сталей и чугунов. Обозначить названия структурных составляющих.
- 2.5. Оформить отчет к лабораторной работе.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Компоненты и фазы в сплавах железа с углеродом

Железо - металл сероватого цвета. Температура плавления - 1539 °С. Железо имеет две полиморфные модификации α , γ и δ . Модификация α существует при температурах ниже 911 °С. Кристаллическая решетка α -железа - объемно центрированный куб (ОЦК) с периодом решетки 0,28606 нм. Плотность α -железа 7,68 Мг/м³. Вторая модификация γ -железо (Fe_γ) существует при температуре 911 - 1392 °С. Кристаллическая решетка - гранецентрированная кубическая (ГЦК) с периодом 0,3645 нм. В интервале 1392 - 1539 °С существует δ -железо с кристаллической решеткой объемно центрированного куба (ОЦК) с периодом решетки 0,293 нм.

Углерод - неметаллический элемент II периода IV группы периодической системы, атомный номер 6, плотность 2,5 Мг/м³, температура плавления 3500 °С, атомный радиус 0,077 нм. В обычных условиях углерод находится в виде модификации графита, но может существовать в виде алмаза.

В системе *железо - углерод* различают следующие фазы: жидкий расплав, твердые растворы – α -феррит, δ -феррит и аустенит, а также цементит и графит.

Феррит (Ф) - твердый раствор углерода и других примесей в ОЦК-железе. Атом углерода располагается в решетке феррита в центре грани куба, где помещается сфера радиусом 0,031 нм, а также в дефектах кристаллической решетки. Предельная растворимость углерода в α -феррите 0,02% при температуре 727 °С и менее 0,01% при комнатной температуре, растворимость в δ -феррите - 0,1 %. Под микроскопом феррит выявляется в виде однородных полиэдрических (многогранных) зерен. Твердость и прочность феррита невысоки ($\sigma_b=250$ МПа, $HV=800$ МПа).

Аустенит (А) - твердый раствор углерода и других примесей в γ -железе. Предельная растворимость углерода в γ -железе - 2,14 % при температуре 1147°С и 0,8% при 727 °С. Атом углерода располагается в центре куба, в котором может разместиться сфера радиусом 0,051 нм, и в дефектных областях кристалла.

Цементит (Ц) - химическое соединение железа с углеродом - карбид железа Fe_3C , содержащий 6,67% С. Цементит имеет сложную ромбическую решетку с плотной упаковкой атомов. Температура плавления цементита точно не определена (около 1260°С). К характерным особенностям цементита относятся высокая твердость ($HV - 8000$ МПа) и очень малая пластичность (δ около 0%).

Графит (Гр) имеет гексагональную слоистую кристаллическую решетку. Межатомные расстояния в слоях небольшие (0,142 нм), расстояние между плоскостями - 0,340 нм. Графит мягок, обладает низкой прочностью.

3.2. Диаграмма состояния железо-углерод

Наличие двух высокоуглеродистых фаз (графита и цементита) приводит к появлению двух диаграмм состояния: метастабильной - *железо-цементит* и стабильной - *железо-графит*. Свободная энергия цементита всегда больше, чем свободная энергия графита.

Кристаллические структуры цементита и аустенита близки, тогда как кристаллические структуры аустенита и графита существенно различны. По составу аустенит и цементит ближе друг к другу и составу жидкой фазы, чем аустенит и графит (аустенит содержит до 2,14 % С, цементит - 6,67 % С, жидкая фаза - от 2,14 до 6,67 % С, графит – 100 %С. Поэтому образование цементита из жидкости или из аустенита происходит легче, работа образования зародыша, как и необходимые диффузионные изменения, меньше в случае кристаллизации цементита, чем при кристаллизации графита, несмотря на меньший выигрыш свободной энергии.

Диаграмма состояния железо-цементит приведена на рис.3.1.

Линии диаграммы: *ABCBD* (линия ликвидус - место точек начала кристаллизации) и *АНJECF* (линия солидус - место точек конца кристаллизации) характеризуют начало и конец первичной кристаллизации, происходящей при затвердевании жидкой фазы. Линии *ES* и *PQ* показывают предельную растворимость углерода соответственно в аустените и феррите. При понижении температуры растворимость уменьшается и из-

Диаграмма железо-цементит (Fe – Fe₃C)

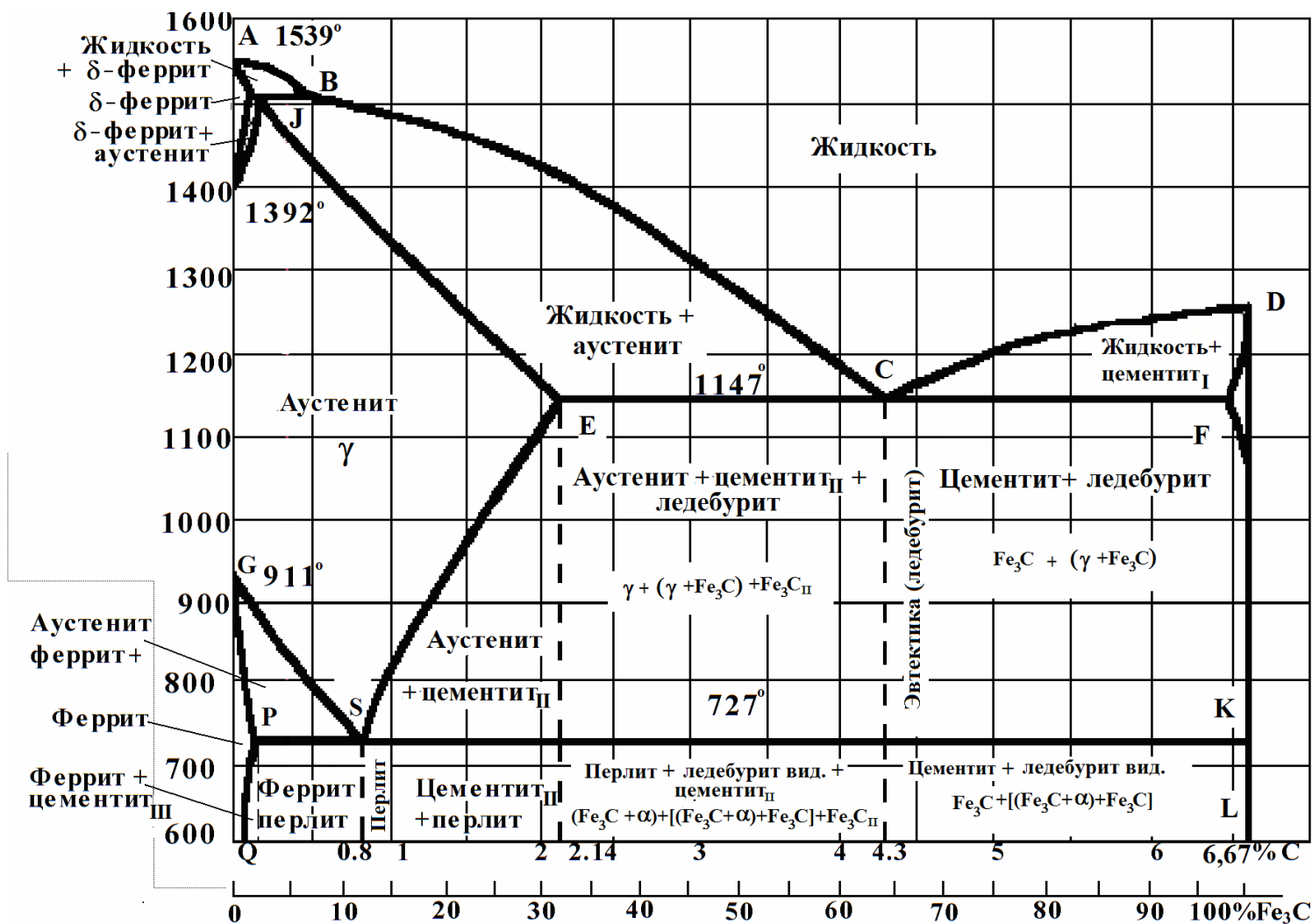


Рис.3.1.

быток углерода выделяется в виде цементита. Цементит, выделяющийся из жидкого сплава, принято называть первичным, из аустенита - вторичным, из феррита - третичным.

Три горизонтальные линии HJB , ECF и PSK указывают на протекание трех превращений при постоянной температуре. При $1499\text{ }^{\circ}\text{C}$ (горизонталь HJB) происходит перитектическая реакция $L_B + \Phi_H \rightarrow A_J$. В результате реакции образуется аустенит.

При $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ (горизонталь ECF) протекает эвтектическая реакция $L_C \rightarrow A_E + \Psi$ (жидкость, состав которой соответствует точке C , превращается в эвтектическую смесь аустенита, состав которого соответствует точке E , и цементита, называемую ледебуритом).

При $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ (горизонталь PSK) протекает эвтектоидная реакция $A \rightarrow \Phi_P + \Psi$ (в отличие от эвтектики, образующейся из жидкости, эвтектоид возникает из твердых фаз). Продукт превращения - эвтектоидная смесь феррита и цементита, называемая перлитом. Перлит чаще имеет пластинчатое строение, т.е. состоит из чередующихся пластинок феррита и цементита. После специальной термической обработки перлит может иметь зернистое строение.

Однофазные области диаграммы $Fe - Fe_3C$: жидкий расплав (L) - выше линии $ABCD$, феррит (Φ) - области ANH и GPQ , аустенит (A) - область $JESGN$.

Двухфазные области диаграммы: AHB - в равновесии находится жидкий расплав и кристаллы δ -феррита, NHJ - в равновесии кристаллы δ -феррита и аустенита, $JECB$ - в равновесии жидкий расплав и кристаллы аустенита, CDF - в равновесии жидкий расплав и кристаллы цементита, $SECFK$ - в равновесии кристаллы аустенита и цементита, GSP - в равновесии кристаллы аустенита и α -феррита, $QPSKL$ - в равновесии кристаллы α -феррита и цементита.

Сплавы железа с углеродом, содержащие до $0,02\%$ C , называют техническим железом.

Сплавы железа с углеродом при содержании углерода от $0,02$ до $2,14\%$ носят название сталей (от $0,02$ до $0,8\%$ - доэвтектоидные стали, от $0,8$ до $2,14\%$ - заэвтектоидные стали).

Сплавы железа с углеродом, содержащие от $2,14$ до $6,67\%$ C называются чугунами (от $2,14$ до $4,3\%$ C - доэвтектические, от $4,3$ до $6,67\%$ C - заэвтектические чугуны).

В двухфазных областях в любой точке можно определить количество фаз и их концентрацию, используя правило отрезков. Например, определим химический состав и количество фаз для сплава системы *железо-цементит* в точке a , находящейся в области GSP (рис.3.2). В этой области структурные составляющие феррит и аустенит. Проведем горизонтальную линию через точку a до пересечения с линиями GP (точка b) и GS (точка c). Проекция точки b (b') указывает химический состав феррита, а проекция точки c (c') - состав аустенита. Массовое содержание аустенита $m_A = \frac{ba}{bc} \times 100\%$, а феррита $m_\Phi = \frac{ac}{bc} \times 100\%$.

Рассмотрим кристаллизацию некоторых сплавов, содержащих различное количество углерода. При анализе кристаллизации доэвтектоидной стали проведем для примера расчет числа степеней свободы по формуле $s = k - f + 1$, где s - число степеней свободы, k - количество компонентов, f - число фаз.

Использование правила отрезков для анализа диаграммы.

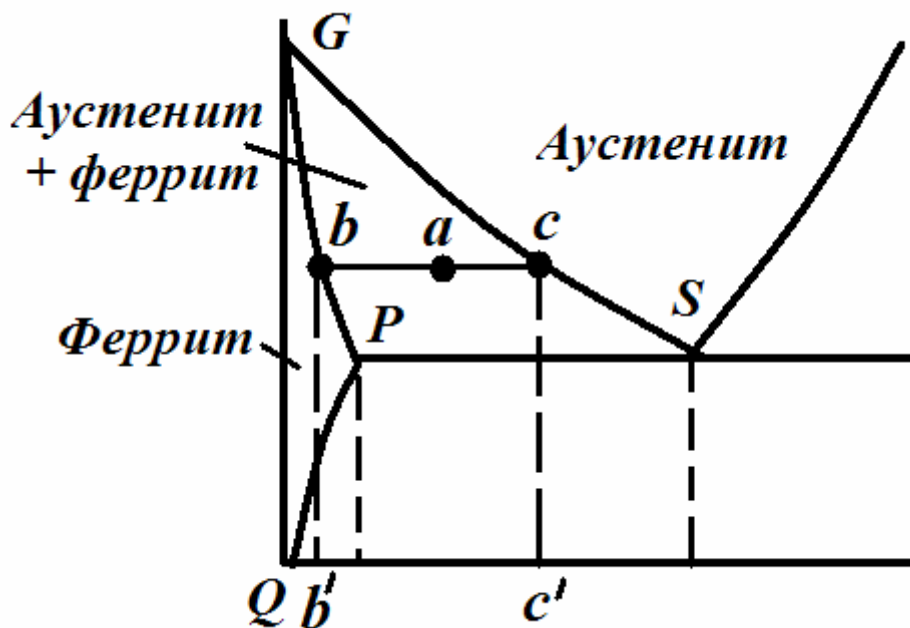


Рис.3.2.

Кристаллизация доэвтектоидной стали, содержащей более 0,51 %С (рис. 3.3), начинается в точке 1, где в жидкой фазе зарождаются первые зерна аустенита, и заканчивается в точке 2. В процессе кристаллизации состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус BC , а аустенита - по линии солидус JE . Между точками 1 и 2 число степеней свободы $s = 2 - 2 + 1 = 1$ (два компонента – железо и углерод, две фазы – жидкость и аустенит), следовательно, процесс может идти со снижением температуры. После затвердевания сплав имеет однофазную структуру аустенита. Между точками 2 и 3 идет охлаждение аустенита. Между точками 2 и 3 число степеней свободы $s = 2 - 1 + 1 = 2$ (два компонента – железо и углерод, одна фаза – аустенит), следовательно, процесс может идти со снижением температуры. В интервале от точки 3 до точки 4 происходит превращение аустенита - выделяя низкоуглеродистый феррит, аустенит обогащается углеродом в соответствии с линией GS и в точке 4 концентрация углерода в нем достигает эвтектоидной - 0,8%С. Между точками 3 и 4 число степеней свободы $s = 2 - 2 + 1 = 1$ (два компонента – железо и углерод, две фазы – аустенит и цементит), следовательно, процесс может идти со снижением температуры. При постоянной температуре 727 °С (площадка 4-4') происходит эвтектоидное превращение $A \rightarrow \Phi_P + \Psi$ аустенита в мелкодисперсную механическую смесь феррита и цементита, называемую перлитом. В точке 4 число степеней свободы $s = 2 - 3 + 1 = 0$ (два компонента – железо и углерод, три фазы – аустенит, феррит и цементит), что подтверждает выделение перлита при постоянной температуре. При дальнейшем охлаждении до точки 5 происходит выделение из феррита избыточного углерода (в связи с понижением растворимости по линии диаграммы PQ) в виде третичного цементита. Между точками 4 и 5 число степеней свободы $s = 2 - 2 + 1 = 1$ (два компонента – железо и углерод,

две фазы – феррит и цементит), следовательно, процесс может идти со снижением температуры. Конечная структура $\Phi + П + Ц_{III}$ (феррито-перлитная).

Количественное соотношение между ферритом и перлитом в доэвтектоидных сталях определяется содержанием углерода (чем выше содержание углерода, тем больше перлита).

Кристаллизация заэвтектоидных сталей (рис.3.4) начинается в точке 1 выделением из жидкого расплава аустенита и заканчивается в точке 2. Состав жидкого расплава изменяется по линии BC , а аустенита - по линии JE . После затвердевания сплав имеет однофазную структуру аустенита. При дальнейшем охлаждении от точки 2 до точки 3 структурных превращений сталь не претерпевает, идет простое охлаждение. В интервале точек 3-4 происходит выделение вторичного цементита в связи с уменьшением растворимости углерода в аустените согласно линии ES диаграммы. При медленном охлаждении цементит выделяется по границе аустенитных зерен. Состав аустенита изменяется согласно линии ES и в точке 4 при температуре $727\text{ }^\circ\text{C}$ аустенит содержит $0,8\%$ С. На линии SK (на кривой - площадка 4-4') происходит эвтектоидное превращение аустенита в перлит. При дальнейшем охлаждении ниже точки 4 из феррита, входящего в перлит, выделяется третичный цементит. Третичный цементит, наслаиваясь на кристаллы вторичного цементита и цементита перлита, не оказывает заметное влияние на свойства. Поэтому при рассмотрении структур заэвтектоидных сталей о третичном цементите обычно не упоминают. Конечная структура $П + Ц_{II} + Ц_{III}$ - перлито-цементитная.

Доэвтектические чугуны (рис.3.5) начинают кристаллизацию в точке 1, где при последующем охлаждении происходит выделение из жидкой фазы кристаллов аустенита переменного состава, концентрация которого определяется линией JE , а жидкого расплава - линией ликвидус BC . В точке 2 содержание углерода в расплаве достигает $4,3\%$ и при постоянной температуре $1147\text{ }^\circ\text{C}$ оставшийся расплав кристаллизуется в эвтектику (дисперсную смесь аустенита, содержащего $2,14\%$ С, и цементита), называемая ледебуритом $L_C \rightarrow A_E + Ц$. Ледебурит имеет сотовое или пластинчатое строение. При дальнейшем охлаждении (участок 2 - 3) аналогично заэвтектоидной стали из аустенита (структурно свободного и входящего в состав ледебурита) выделяется избыточный углерод в виде вторичного цементита. Аустенит при этом обедняется углеродом и при температуре $727\text{ }^\circ\text{C}$ приобретает состав, соответствующий эвтектоидному. В точке 3 начинается эвтектоидное превращение аустенита в перлит при постоянной температуре $727\text{ }^\circ\text{C}$ (площадка 3-3*). Перлит образуется из структурно свободного аустенита и из аустенита, входящего в состав ледебурита. Ледебурит, состоящий из смеси цементита и перлита, носит название видоизмененного ледебурита $L_{вид}$ ($П + Ц$) в отличие от ледебурита состава L ($A + Ц$). При дальнейшем охлаждении от точки 3' до точки 4 происходит выделение избыточного углерода из феррита, входящего в перлит и видоизмененный ледебурит, в виде третичного цементита, наслаивающегося на цементит перлита и ледебурита. Третичный цементит не влияет на свойства чугунов из-за незначительного количества, по сравнению с общим количеством цементита в чугунах. Конечный состав доэвтектического чугуна $П + L_{вид} + Ц_{III}$, поэтому такой чугун называют перлито-ледебурито-цементитным чугуном.

Кристаллизация заэвтектических чугунов (рис.3.6) начинается в точке 1 выделением из

жидкого расплава первичного цементита. При этом состав расплава изменяется по линии DC . Выделяя высокоуглеродистую фазу - цементит, расплав обедняется углеродом и при температуре 1147°C содержит $4,3\% \text{C}$. При постоянной температуре расплав кристаллизуется с образованием ледебурита. При дальнейшем охлаждении из аустенита, входящего в ледебурит, выделяется избыточный углерод в виде вторичного цементита, и состав аустенита изменяется по линии ES . При достижении температуры 727°C аустенит, содержащий $0,8\% \text{C}$, превращается в перлит $A \rightarrow \Phi_P + \text{Ц}$ и образуется видоизмененный ледебурит. При дальнейшем охлаждении от точки $3'$ до точки 4 из феррита, входящего в состав перлита видоизмененного ледебурита, выделяется избыточный углерод согласно кривой PQ в виде третичного цементита, наслаивающегося на цементит перлита. Конечная структура заэвтектического чугуна $L_{\text{вид}} + \text{Ц}_I + \text{Ц}_{II}$ носит название ледебуритно-цементитного чугуна.

Таким образом, у всех сталей, содержащих менее $2,14\% \text{C}$, в результате первичной кристаллизации получается структура аустенита, а после затвердевания не содержится хрупкой структурной составляющей - ледебурита; у всех чугунов, содержащих более $2,14\% \text{C}$, структура первичной кристаллизации состоит из ледебурита с первичным аустенитом или цементитом, а при комнатной температуре структура состоит из видоизмененного ледебурита, цементита и, у доэвтектического чугуна, перлита.

Стали при высоком нагреве имеют аустенитную структуру, обладающую высокой пластичностью, поэтому они легко деформируются при нормальных и повышенных температурах.

Чугуны обладают лучшими литейными свойствами, в том числе более низкой температурой плавления и имеют меньшую усадку.

3.3. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей.

Углерод - основной легирующий элемент, оказывающий определяющее влияние на свойства и структуру стали. Увеличение содержания углерода в стали до $0,8\%$ приводит к повышению прочностных свойств, твердости и снижению пластичности (рис.3.8) за счет замены мягкого феррита на более прочный перлит. Снижение прочности при содержании углерода свыше $0,8\%$ в сталях, не подвергнутых термической обработке, связано с появлением хрупкой цементитной сетки по границам перлитных зерен. Структура сталей в равновесном состоянии при различном содержании углерода показана на рис.3.9.

Постоянными примесями в сталях считают марганец, кремний, фосфор, серу, а также газы (водород, азот, кислород).

Сплав 1 (доэвтектоидная сталь)

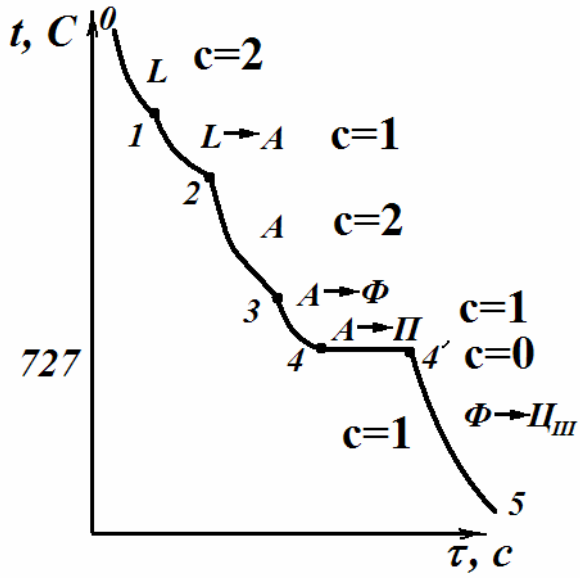


Рис.3.3

Сплав 2 (заэвтектоидная сталь)

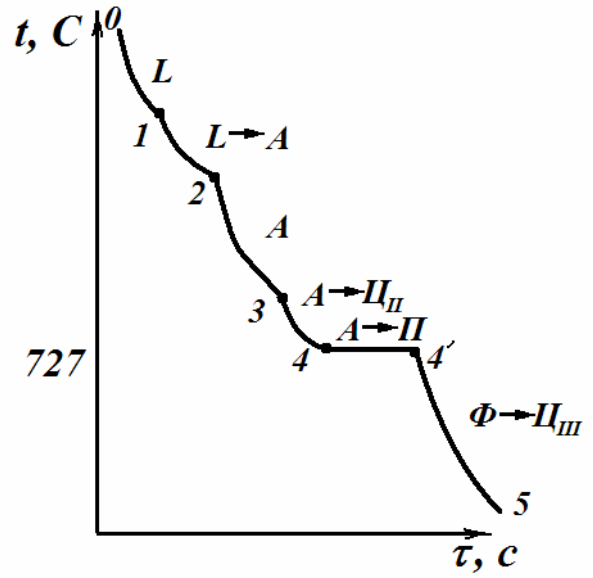


Рис.3.4.

Сплав 3 (доэвтектический чугун)

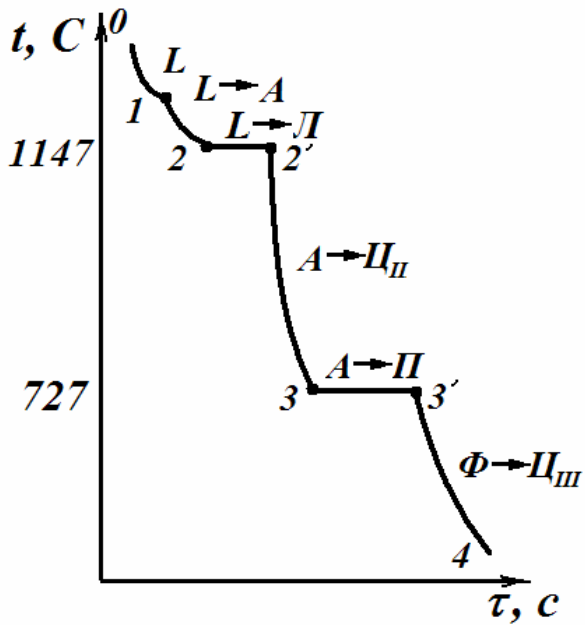


Рис.3.6

Сплав 4 (заэвтектический чугун)

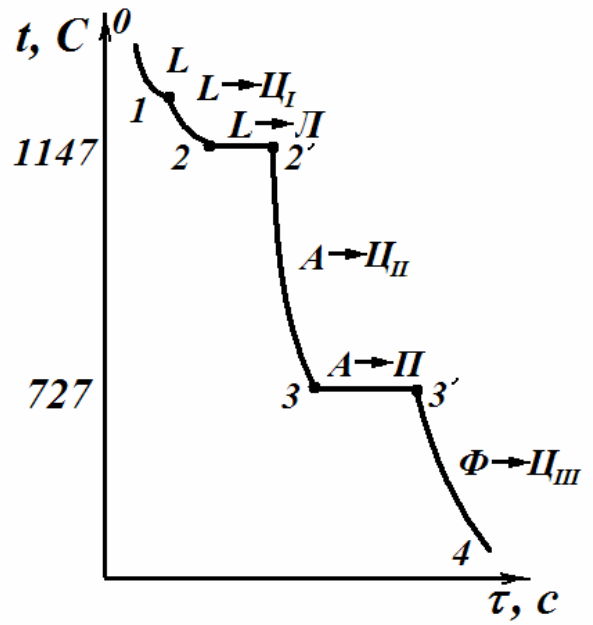
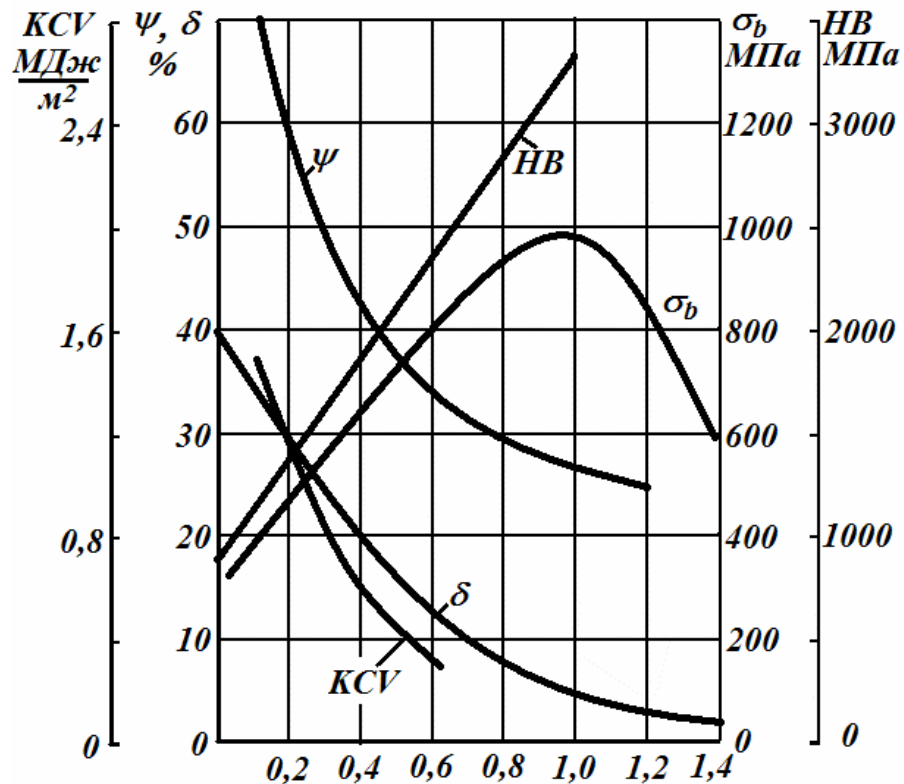


Рис.3.7

Влияние углерода на механические свойства сталей



σ_b – временное сопротивление разрыву; НВ – твердость по Бринеллю; KCV – ударная вязкость (характеристика надежности); δ – относительное удлинение; ψ – относительное сужение

Рис. 3.8.

Марганец вводится в сталь для раскисления (удаления кислорода) и устранения вредного влияния сернистых соединений железа. Марганец повышает прочность горячекатанной стали. Содержание марганца в стали 0,3 - 0,8%.

Кремний раскисляет сталь и сохраняется в ней до 0,4%.

Фосфор - вредная примесь, содержащаяся в рудах железа и топливе. Растворяясь в феррите, фосфор вызывает хладоломкость стали, т.е. хрупкость при низких температурах.

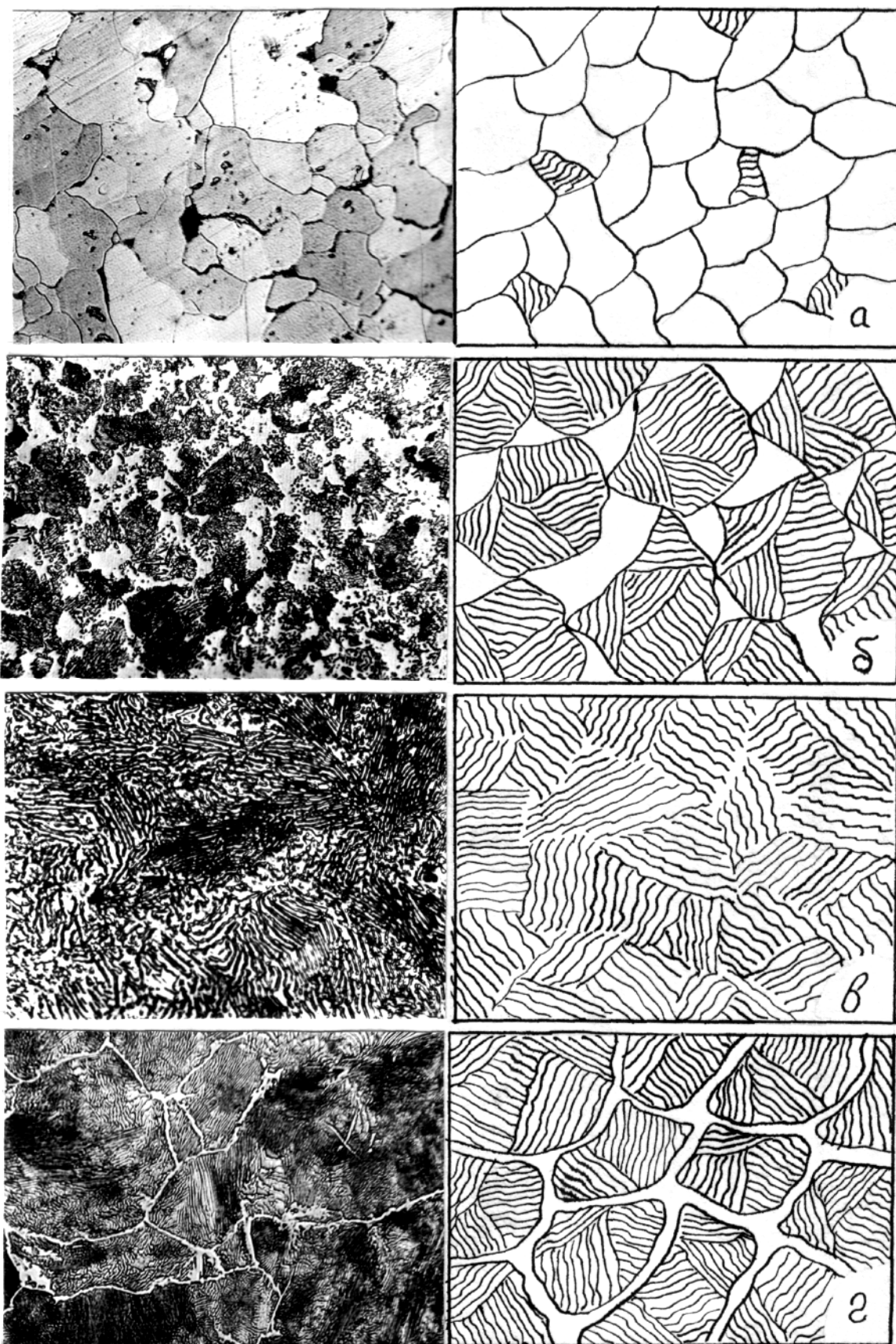
Сера - вредная примесь, попадающая в металл из руды и топлива и вызывающая красноломкость - хрупкость при 800°C и выше, что препятствует горячей обработке давлением.

Водород, азот, кислород могут растворяться в металле или образовывать неметаллические включения (нитриды, оксиды). И в том, и в другом случае стали охрупчиваются.

3.4. Классификация углеродистых сталей

Углеродистые стали классифицируются по химическому составу, качеству, степени раскисления, структуре и назначению.

Микроструктура углеродистой стали



а - доэвтектоидная сталь (0,1%С); б - доэвтектоидная сталь (0,6%С); в - эвтектоидная сталь (0,8%С); г - заэвтектоидная сталь (1,2%С)

Рис. 3.9.

По химическому составу выделяют низкоуглеродистые ($\leq 0,3\%C$), среднеуглеродистые

(0,3-0,7%С) и высокоуглеродистые (> 0,7%С) стали.

По качеству стали классифицируют на стали обыкновенного качества и качественные. Под качеством стали имеют в виду совокупность свойств, определяемых металлургическим процессом ее производства. Стали обыкновенного качества содержат вредных примесей до 0,055%S и 0,045 %P, качественные - не более 0,04%S и 0,035 %P.

По степени раскисления и характеру затвердевания стали классифицируют на спокойные, полуспокойные и кипящие (соответственно в конце марки стали ставится индекс сп, пс и кп). Раскисление - процесс удаления из жидкого металла кислорода, проводимый для предотвращения хрупкого разрушения стали при горячей деформации. Спокойные стали раскисляют марганцем, кремнием и алюминием. Они содержат мало кислорода, затвердевают спокойно, без газовыделения и образуют сосредоточенную

усадочную раковину. Кипящие стали раскисляют только марганцем. Перед разливкой они содержат повышенное количество кислорода, который при затвердевании жидкого металла частично взаимодействует с углеродом с образованием угарного газа СО. Выделение СО создает впечатление кипения стали. Кипящие стали более дешевые, низкоуглеродистые, практически без кремния, но с повышенным количеством газообразных примесей. Полуспокойные стали по степени раскисленности занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими.

При классификация по структуре учитывают структуру в отожженном (равновесном) состоянии. Углеродистые стали разделяют на три класса - доэвтектоидные (имеющие перлитно-ферритную структуру), эвтектоидные (структура - перлит), заэвтектоидные (имеющие перлитно-цементитную структуру).

По назначению углеродистые стали делятся на конструкционные, используемые для изготовления деталей машин, и инструментальные.

3.5. Углеродистые конструкционные стали

Широкое применение углеродистых сталей объясняется их относительной дешевизной и удовлетворительными механическими свойствами. Эти стали выпускают обыкновенного качества и качественные.

3.5.1. Углеродистые стали обыкновенного качества

Это наиболее дешевые стали, изготавливаемые в виде проката (прутки, листы, швеллеры, трубы и др.) и поковок. Углеродистые стали обыкновенного качества предназначены для изготовления различных металлоконструкций, а также слабонагруженных деталей машин и приборов. Состав и свойства сталей определяются ГОСТ 380-71. В зависимости от гарантируемых свойств их поставляют трех групп - А, Б и В.

Стали маркируются сочетанием букв Ст, цифрой (от 0 до 6), показывающей номер марки, и индексами, указывающими степень раскисленности стали (сп, пс, кп).

Стали группы «А» поставляются с гарантированными механическими свойствами. С увеличением номера марки повышается прочность и снижается пластичность стали. Стали этой группы используют для изделий, производство которых не сопровождается горячей обработкой, а, следовательно, в них сохраняется исходная прочность. Группа «А» в обозначении стали не указывается. Пример обозначения: Ст5 сп.

Сталь группы «Б» поставляется с гарантированным химическим составом и предназначена для изделий, изготавливаемых с применением горячей деформации или термической обработки. Высокотемпературная обработка приводит к изменению первоначальных механических свойств, а для выбора режимов нагрева необходимо знание содержания углерода. Содержание углерода в стали повышается при увеличении номера стали. Первая буква марки указывает способ получения стали (М – мартеновская, К – конверторная) и степень раскисленности. Пример обозначения: МСт5 пс.

Стали группы «В» поставляются с гарантированными механическими свойствами и химическим составом для производства сварных конструкций. Механические свойства сталей этой группы соответствуют нормам для сталей группы «А», а химический состав – нормам для тех же марок стали группы «Б». Знание химического состава необходимо для подбора сварочных материалов и режимов сварки, а гарантированные механические свойства стали сохраняются на ненагреваемых участках. Группу стали указывает буква В в начале марки стали. Пример обозначения – ВСт4 сп.

В соответствии с ГОСТ 380-94 стали углеродистые обыкновенного качества на группы не подразделяются и маркируются только в соответствии с содержанием углерода.

3.5.2. Углеродистые качественные стали

Эти стали характеризуются более низким содержанием вредных примесей и неметаллических включений. Они поставляются в виде проката, поковок с гарантированным химическим составом и механическими свойствами. Стали маркируются словом «сталь» и двухзначными числами 05, 08, 10, 15, 20 ...85, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента (ГОСТ 1050-74). Спокойные углеродистые качественные стали маркируются без индекса, полуспокойные и кипящие с добавлением соответственно «пс» и «кп». Например, сталь 20кп.

Низкоуглеродистые стали типа 05, 08, 10 – малопрочные, высокопластичные, применяются для холодной штамповки различных изделий. Стали 10, 20, 25 – пластичны, хорошо штампуются и свариваются, применяются для изготовления крепежных деталей, втулок, осей, кулачков и др. Низкоуглеродистые стали могут насыщаться с поверхности углеродом (цементация).

Среднеуглеродистые стали 30, 35, 45, 50 имеют повышенную прочность, но меньшую вязкость и пластичность. Применяют эти стали для изготовления небольших валов, шатунов, зубчатых колес и др. Изделия после механической обработки подвергают закалке и высокому отпуску (термическому улучшению).

Стали 60, 65, 70, 75, 80 и 85 применяют для изготовления рессорно-пружинных изделий.

3.6 Инструментальные углеродистые стали

Инструментальные углеродистые стали содержат более 0,7 %С и отличаются высокой твердостью и прочностью. Эти стали делятся на качественные и высококачественные. Марки качественной стали по ГОСТ 1437-74 следующие: У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13; высококачественной: У7А, У8А, У13А. Цифры в марке показывают среднее содержание

углерода в десятых долях процента.

Стали У7, У8, У9 имеют достаточно высокую вязкость и применяются для инструментов, подвергающихся ударам: столярного, слесарного, кузнечного инструмента, матриц, пуансонов и др.

Стали У10, У11, У12 применяют для инструмента с высокой твердостью на рабочих гранях (HRC 62...64). Это напильники, пилы, метчики, резцы, калибры и т.д.

Сталь У13 используют для инструментов, требующих наиболее высокую твердость: шаберов, гравировального инструмента.

Высококачественные стали имеют то же назначение, что и качественные, но из-за большей вязкости их применяют для инструментов с тонкой режущей кромкой.

3.7 Чугуны

Чугунами называют железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14 %С и затвердевающие с образованием эвтектики, называемой ледебуритом.

Чугун отличается от стали составом (более высоким содержанием углерода), лучшими литейными качествами, малой величиной пластической деформации. Чугун дешевле стали.

Благодаря сочетанию высоких литейных свойств (жидкотекучести, температуры плавления), достаточной прочности и износостойкости, а также относительной дешевизне чугуны получили широкое распространение в машиностроении. Их используют для производства качественных отливок сложной формы.

В зависимости от того, в какой форме присутствует углерод в этих сплавах, различают белые, серые, высокопрочные и ковкие чугуны.

3.7.1. Белый чугун

Белыми называют чугуны, у которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита. Эти чугуны, фазовые превращения в которых происходят согласно диаграммы $Fe-Fe_3C$, подразделяют на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические. При цеховой температуре структура белого доэвтектического чугуна состоит из ледебурита, перлита и вторичного цементита (рис.3.10 а).

Ледебуритная составляющая на металлографическом шлифе имеет вид светлых цементитных полей с равномерно расположенными на них относительно мелкими темными перлитными участками. Перлит занимает также крупные темные области. Вторичный цементит часто виден в виде светлых выделений по границам перлитных областей, а частично сливается с цементитом ледебурита.

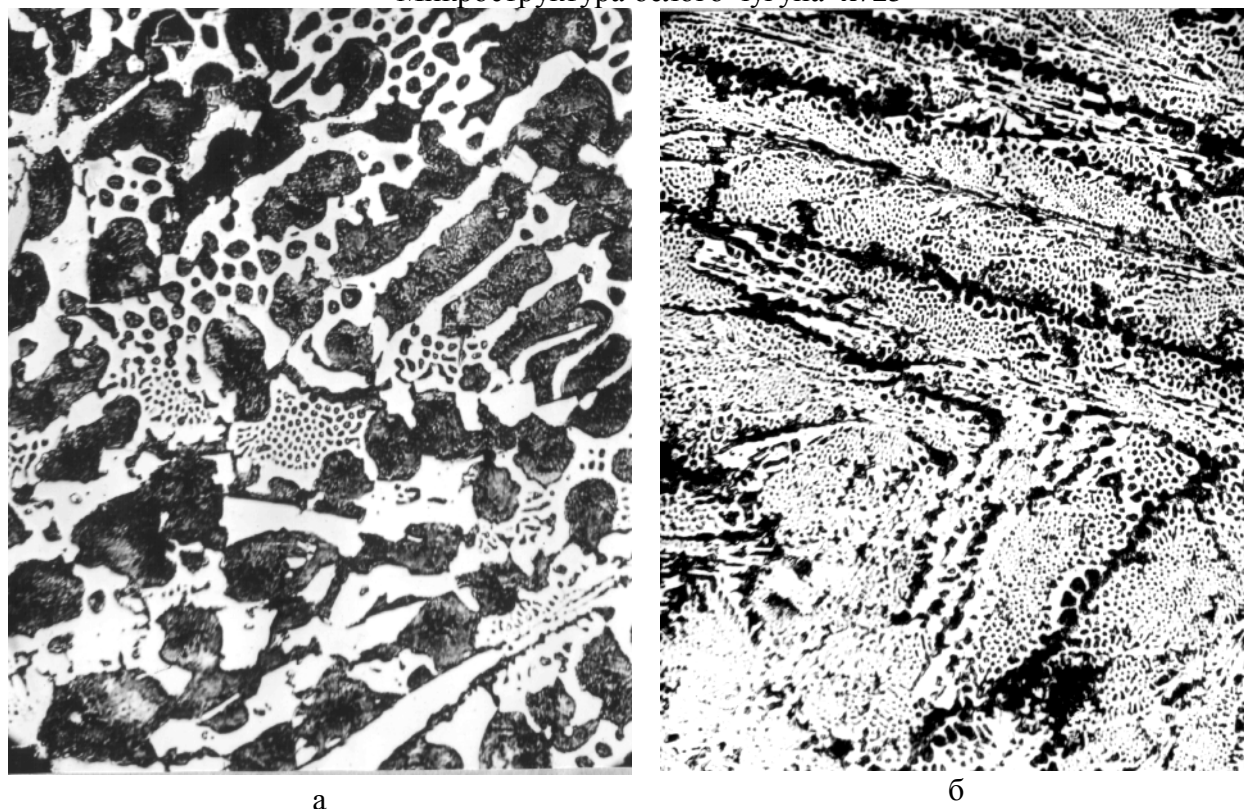
Эвтектический белый чугун имеет в своей структуре один ледебурит (рис.3.10 б).

Из-за большого количества цементита белые чугуны тверды (НВ 4500 -5500 МПа), хрупки и для изготовления деталей машин почти не используются.

Ограниченное применение имеют отбеленные чугуны (отливки из серого чугуна с поверхностным слоем белого чугуна). Из них изготавливают прокатные валки, лемеха плугов, тормозные колодки, вагонные колеса и др. детали, работающие в условиях износа. Белый чугун используется также как передельный для получения с помощью

графитизирующего отжига ковкого чугуна.

Микроструктура белого чугуна x725



а – доэвтектический, б – эвтектический белый чугун

Рис.3.10.

3.7.2. Серый чугун

Серыми называют чугуны, у которых весь углерод или часть его присутствует в свободном состоянии в форме графита. Термины: белый и серый чугуны связаны с видом излома, определяемым наличием либо светлых кристаллов цементита, или темных кристаллов графита. Графит имеет практически нулевую прочность и пластичность. Он обеспечивает пониженную твердость, хорошую обрабатываемость резанием, высокие антифрикционные свойства вследствие низкого коэффициента трения, а также способствует гашению вибрации и резонансных колебаний. Кроме того, графит способствует при охлаждении отливки некоторому увеличению ее объема, чем обеспечивается хорошее заполнение формы.

Вместе с тем, включения графита снижает прочность и пластичность, т.к. нарушают сплошность металлической основы сплава.

В зависимости от формы графита различают обыкновенный серый чугун (графит пластинчатой формы), высокопрочный чугун (графит сферической формы) и ковкий чугун (графит хлопьевидной формы).

Обыкновенный серый чугун - это сплав сложного состава. Химический состав серого чугуна колеблется в пределах: 3,2 - 3,8 % C, 1 - 5 % Si, 0,5 - 0,9 % Mn, 0,2 - 0,4 % P, до 0,12 % S. Факторами, способствующими графитизации (выделению углерода в свободном состоянии), являются низкая скорость охлаждения и наличие в химическом составе чугуна

графитизирующих элементов Si, Ni, Cu (препятствуют графитизации Mn, S, Cr, W).

Практически, изменяя в чугуна содержание кремния при постоянном количестве марганца, получают различную степень графитизации.

На рис.3.11 показана микроструктура обыкновенного серого чугуна на феррито-перлитной основе.

На свойства серого чугуна оказывают большое влияние вид графитовых включений, их размеры, характер металлической основы. От формы и количества графита зависит прочность и пластичность чугуна (от 0,5% относительного удлинения при пластинчатой форме графита до 20% - при шаровидной форме). Вытянутые пластинки графита фактически являются трещинами в металлической основе и сильными концентраторами напряжений, на их концах при приложении нагрузки напряжения быстро достигают разрушающих величин. Твердость и износостойкость чугунов растет с увеличением перлита в металлической основе серого чугуна (различают чугуны с ферритной, феррито-перлитной и перлитной основой).

Обыкновенный серый чугун является одним из важнейших литейных машиностроительных материалов и характеризуется высокими литейными и удовлетворительными механическими свойствами, хорошей обрабатываемостью резанием, высокой износостойкостью, нечувствительностью к поверхностным дефектам.

Согласно ГОСТ 1412-85 установлены марки отливок из серого чугуна. Серый чугун маркируется буквами СЧ и двузначным числом, показывающим минимальное значение предела прочности на растяжение. Например, у чугуна марки СЧ25 временное сопротивление при растяжении $\sigma_b = 250$ МПа; твердость HB = 1800 - 2500 МПа и структура металлической основы - феррит + перлит.

Ферритные и феррито-перлитные серые чугуны СЧ10, СЧ15, СЧ18 используют для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, корпуса редукторов и др.

Перлитные серые чугуны СЧ21, СЧ25 применяют для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: блоки цилиндров, картеры двигателей, поршни цилиндров, станины станков и пр.

Перлитные модифицированные серые чугуны СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45 обладают наиболее высокими механическими свойствами. Их применяют при высоких нагрузках: зубчатые колеса, гильзы двигателей, шпиндели, распределительные валы и пр. Структура модифицированных чугунов - перлитная основа с небольшим количеством изолированных пластинок графита.

Микроструктура серого чугуна на феррито-перлитной основе



Рис. 3.11

3.7.3. Высокопрочный чугун

Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. Их получают модифицированием магнием, церием, иттрием, которые вводят в жидкий чугун в количестве 0,02-0,08%. По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть ферритным (допускается до 20% перлита) или перлитным (допускается до 20% феррита). Шаровидный графит является более слабым концентратором напряжений, чем пластинчатый графит, поэтому меньше снижает механические свойства чугуна (рис.3.12). Высокопрочный чугун обладает более высокой прочностью и некоторой пластичностью.

Маркируют высокопрочные чугуны по ГОСТ 7293-85 буквами ВЧ и двузначным числом, показывающим минимальное значение предела прочности на растяжение в десятках мегапаскалей. Например, высокопрочный чугун ВЧ 40 имеет временное сопротивление при растяжении 400 МПа, относительное удлинение - не менее 10%, твердость HB = 1400-2200 МПа, структура перлитно-ферритная. Маркировка по предшествующему ГОСТу 7293-79 предусматривала дополнительное указание относительного удлинения в процентах, например, ВЧ 40-10.

Обычный состав высокопрочного чугуна: 2,7-3,8%С; 1,6-2,7%Si; 0,2-0,7%Mn; \leq 0,02%S; \leq 0,1%P.

Из высокопрочных чугунов изготавливают прокатные валки, кузнечно-прессовое оборудование, корпуса паровых турбин, коленчатые валы и другие ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания.

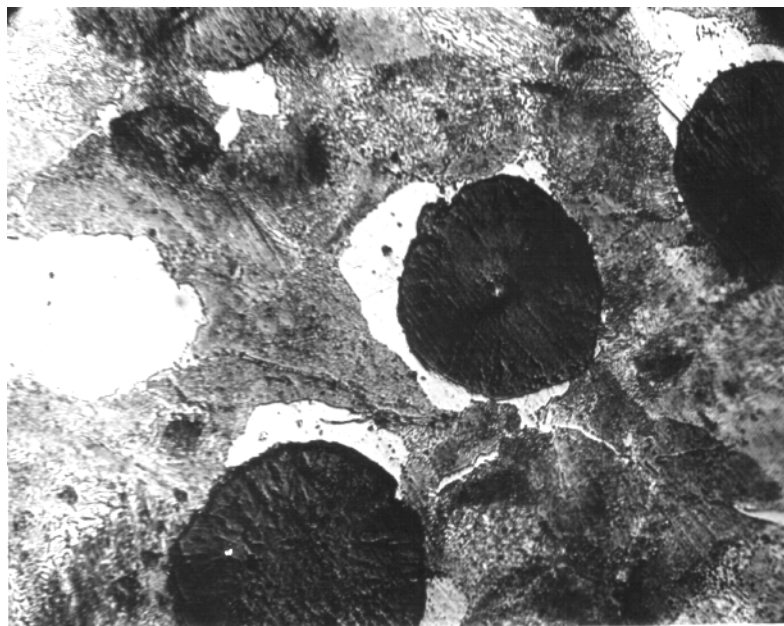


Рис. 3.12

3.7.4. Ковкий чугун

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают путем специального графитизирующего отжига (томления) отливок из белых доэвтектических чугунов. Отливки загружают в специальные ящики, засыпают песком или стальными стружками для защиты от окисления и производят нагрев и охлаждение по схеме (рис.3.13). При температуре 950 -1000°C происходит графитизация эвтектического и избыточного цементита (превращение метастабильного цементита в стабильный графит и аустенит). При второй выдержке при температуре 720 - 740°C графитизируется цементит образовавшегося перлита (иногда вместо выдержки проводят медленное охлаждение от 770°C до 700°C в течение 30 часов, при этом происходит кристаллизация по стабильной диаграмме с выделением углерода в свободном состоянии).

В результате продолжительного отжига весь углерод выделяется в свободном состоянии.

Обычный состав ковкого чугуна 2,4-2,8 %C; 0,8-1,4%Si; $\leq 1\%$ Mn; $\leq 0,1\%$ S; $\leq 0,2\%$ P. Структура - ферритная или феррито-перлитная (рис.3.14).

Отсутствие литейных напряжений, снятых во время отжига, благоприятная форма и изолированность графитных включений обуславливают высокие механические свойства ковких чугунов.

Маркируют ковкие чугуны по ГОСТ 1215-79 буквами КЧ и двумя числами, первое из которых - минимальный предел прочности на растяжение в десятках мегапаскалей, а второе - относительное удлинение в %. Например, чугун КЧ 45-6 имеет временное сопротивление при растяжении 450 МПа, относительное удлинение $\delta=6\%$, HB=2400МПа и структуру - феррит+перлит.

Схема отжига белого чугуна на ковкий

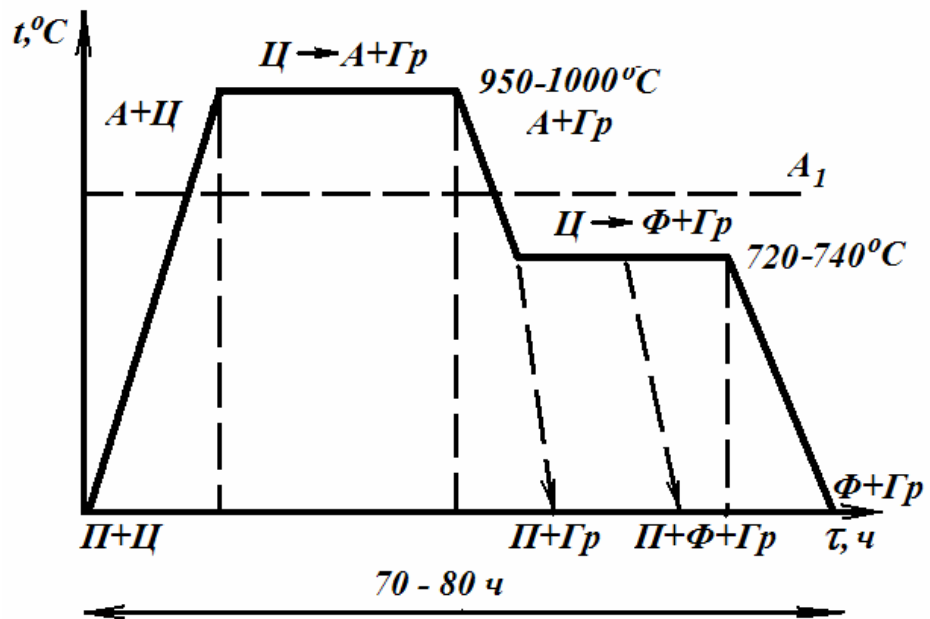
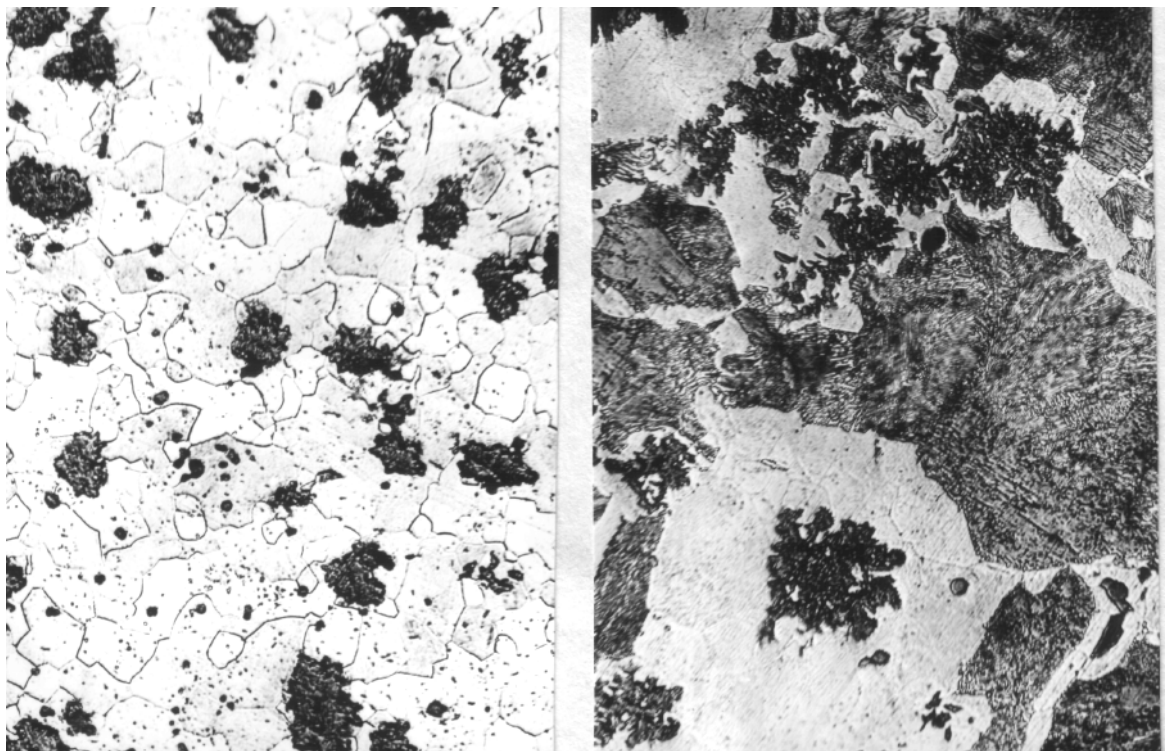


Рис. 3.14

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.

Микроструктура ковкого чугуна



а

б

а – ферритная основа, б – ферритно-перлитная основа.

Рис. 3.14

3.8. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующий материал:

- 1) Диаграмму состояния $Fe - C$ (в масштабе).
- 2) Кривые охлаждения сплавов (содержание углерода задает преподаватель) согласно диаграммы $Fe - C$.
- 3) График зависимости механических свойств стали от содержания углерода.
- 4) Схему отжига белого чугуна на ковкий чугун.
- 5) Микроструктуры углеродистых сталей и чугунов.

3.9. Контрольные вопросы

- 1) Общая характеристика диаграммы $Fe - C$.
- 2) Назовите области диаграммы (однофазные и двухфазные).
- 3) Назовите фазы в диаграмме и охарактеризуйте каждую из них.
- 4) В каких состояниях может находиться углерод в железоуглеродистых сплавах ?
- 5) Объясните, как определяется состав и количество фаз в диаграмме.
- 6) Расскажите о классификации сталей.
- 7) Влияние углерода на механические свойства сталей.
- 8) Структура, свойства, маркировка и применение конструкционных углеродистых сталей.
- 9) Структура, свойства, маркировка и применение углеродистых инструментальных сталей.
- 10) Белый чугун (структура, механические свойства, маркировка и применение).
- 11) Серый чугун (структура, механические свойства, маркировка, и применение).
- 12) Высокопрочный чугун (структура, механические свойства, маркировка, получение и применение).
- 13) Ковкий чугун (структура, механические свойства, маркировка, получение и применение).

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев А.П. Металловедение. - М.: Металлургия, 1986. – 542 с.
2. Арзамасов Б.И. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1986.
3. Лахтин Ю.М., Леонтьева Б.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1990. – 493 с.
4. Основы материаловедения. Под ред. И.И.Сидорина. - М.: Машиностроение, 1976.
5. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. - М.: Металлургия, 1983.
6. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. - М.: Металлургия, 1984. 359 с.
7. Руководство к лабораторным работам по материаловедению. Под ред. И.И.Сидорина. - М.: Высшая школа, 1967.