

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования -
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра материаловедения и технологии материалов

С.И. БОГОДУХОВ,
А.Д. ПРОСКУРИН

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским
советом Государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования -
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2003

ББК 34.32
Б 73
УДК 620.1(07)

Рецензент
д-р техн. наук, профессор Р.Т. Абдрашитов

Б-73 **Богодухов С.И., Проскурин А.Д.**
Железоуглеродистые сплавы: Методические указания
к лабораторной работе. – Оренбург.: ГОУ ОГУ, 2003. –
23 с.

В методических указаниях изложено содержание лабораторной работы. Приведены краткие теоретические сведения, дан порядок выполнения практической части работы и составления отчета, рекомендуемая литература.

© Богодухов С.И.,
Проскурин А.Д., 2003
© ГОУ ОГУ, 2003

1 Цель работы

- 1.1 Изучить диаграмму состояния железо-углерод.
- 1.2 Изучить микроструктуры железоуглеродистых сплавов.
- 1.3 Научиться по микроструктуре определять вид железо-углеродистого сплава.

2 Основные сведения

Металлический сплав получают сплавлением двух или более элементов. В технике широко применяют сплавы железа с углеродом, кремнием, марганцем, хромом, никелем и другими веществами.

Элементы - металлы и неметаллы, образующие сплав, называются компонентами.

Свойства сплава зависят от многих факторов, но прежде всего они определяются составом фаз и их количественным соотношением.

Фаза – это однородная по химическому составу, строению, свойствам часть сплава, отделенная от других частей (фаз) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура изменяется скачком.

Сплавы могут составлять следующие элементы структуры: механические смеси, твердые растворы и химические соединения.

Твердые растворы образуются в результате проникновения в кристаллическую решетку одного компонента атомов другого компонента. Твердые растворы бывают двух типов: твердые растворы замещения и твердые растворы внедрения.

При образовании химических соединений компоненты вступают в химическое взаимодействие. К химическим соединениям относят карбиды, оксиды, сульфиды и др.

Механические смеси представляют собой смесь двух фаз, когда отсутствует взаимодействие между компонентами, нет взаимного растворения, компоненты не вступают в химические реакции и их кристаллические решетки различны.

Процесс кристаллизации сплавов и связанные с ним закономерности строения сплавов изучают по диаграммам состояния. Диаграммы состояния - это графические изображения, показывающие в условиях равновесия фазовый состав и структуру сплавов в зависимости от температуры и химической концентрации компонентов.

Под равновесным состоянием сплава понимают такое состояние, при котором все фазовые превращения в сплаве полностью в соответствии с диаграммой состояния. Такое состояние наступает при медленном охлаждении сплава. По диаграммам состояния можно определить число фаз в

сплавах, относительное количество каждой фазы, ее состав и природу: компоненты, твердый раствор, химическое соединение, определить температуры плавления, затвердевания и аллотропических превращений в сплавах.

Диаграммы состояния строят на основании результатов термического анализа, при котором для сплавов различного состава вычерчивают кривые охлаждения в координатах температура – время. На кривых охлаждения каждого сплава фиксируют температуры фазовых превращений (критические точки). Затем критические точки различных сплавов переносят на диаграмму состояния, которую строят в координатах температура – концентрация. Точки, соответствующие температурам начала и конца кристаллизации, температурам фазовых превращений, соединяют плавными кривыми.

2.1 Компоненты железоуглеродистых сплавов

Железо обладает температурным полиморфизмом и может существовать в двух аллотропических модификациях α и γ . Fe_α имеет объемно-центрированную кубическую решетку (ОЦК), Fe_γ – гранецентрированную кубическую кристаллическую решетку (ГЦК). В интервале температур 911-1392 °С устойчивой модификацией является модификация Fe_γ . Ниже 911 °С и выше 1392 °С, вплоть до температуры плавления 1539 °С, более низким уровнем энергии обладает модификация Fe_α и, следовательно, устойчивой будет модификация Fe_α .

Для того, чтобы отличать низкотемпературную модификацию Fe_α , существующую при температурах ниже 911°С, от высокотемпературной, существующей выше 1392 °С, последнюю принято называть Fe_δ .

Графит – представляет собой аллотропическую модификацию углерода. Он мягок, малопрочен. В чугунах и в графитизированной стали содержится в виде включений различной формы.

2.2 Структурные составляющие железо-углеродистых сплавов

Структуры могут быть однофазные, двухфазные и многофазные.

К однофазным структурам относят феррит, аустенит, цементит.

Феррит (Ф) - твердый раствор внедрения углерода в α -железе с ОЦК решеткой с максимальной растворимостью углерода 0,02 % при 727 °С (рисунок 1). Характеризуется низкой прочностью ($\sigma_b = 250$ МПа) и твердостью 63 – 130 НВ), высокой пластичностью (относительное удлинение $\delta=40\%$). На диаграмме состояния феррит занимает область GPQ (рисунок 6). Образуется из аустенита. Твердый раствор внедрения углерода в Fe_δ называют высокотемпературным ферритом.

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе с ГЦК решеткой, с предельной растворимостью углерода 2,14 % при температуре 1147 °С (рисунок 2). В железоуглеродистых сплавах в равновесном состоянии аустенит не существует при комнатных температурах. Обладает высокой пластичностью и низкой твердостью, относительное удлинение находится в пределах 40-50 %, твердость 160-200 НВ. Железоуглеродистые сплавы, находящиеся в аустенитном состоянии, легко поддаются обработке давлением. На диаграмме состояния аустенит занимает область NJESG (рисунок 6).



Рисунок 1 – Феррит

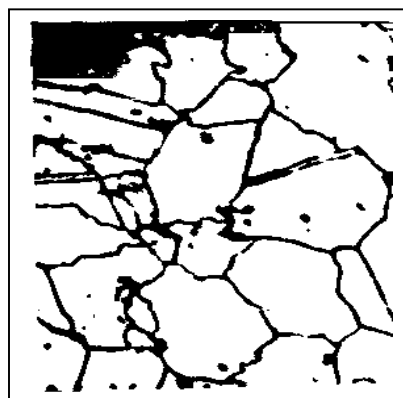


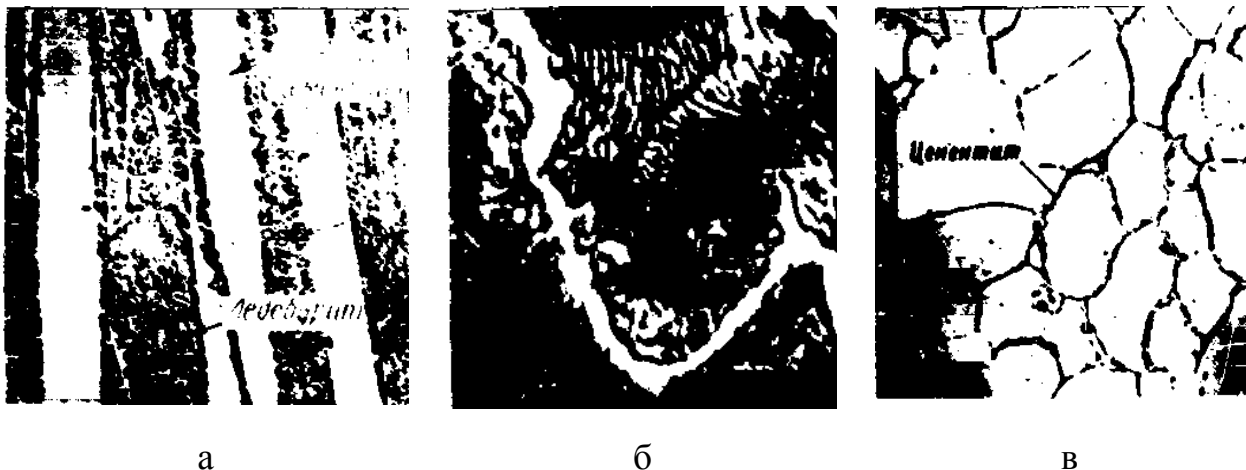
Рисунок 2 – Аустенит

Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом Fe_3C (карбид железа) (рисунок 3). Имеет сложную кристаллическую решетку. В Fe_3C содержится 6,67% С. Характеризуется высокой твердостью (800 НВ), но очень хрупок. Чем больше цементита в сплавах, тем большей твердостью и меньшей пластичностью они обладают.

В зависимости от условий образования различают цементит первичный (Ц_I) (рисунок 3а), который образуется при кристаллизации заэвтектических чугунов (ниже линии CD).

Цементит вторичный (Ц_{II}) (рисунок 3б) – образуется у сплавов с содержанием 0,9-2,0 % С при охлаждении аустенита в результате изменения растворимости углерода в аустените (ниже линии ES в интервале температур от 1147 °С до 727 °С).

Цементит третичный (Ц_{III}) (рисунок 3в) образуется у сплавов с содержанием 0,01-0,025 % С, при охлаждении феррита в результате изменения растворимости углерода в феррите (линия PQ), ниже температуры 727 °С.



- а - цементит первичный (пластинчатые светлые кристаллы);
 б – цементит вторичный (светлая сетка по границам зерен);
 в – цементит третичный (мелкие светлые включения на границе феррита)

Рисунок 3 – Виды цементита

К двухфазным составляющим относят перлит и ледебурит.

Перлит (П) – механическая смесь (эвтектоид), состоящая из двух фаз: феррита и цементита, содержит 0,8 % С (рисунок 4). Образуется в результате распада аустенита в процессе его охлаждения при температурах ниже 727 °С. Перлит в зависимости от формы частичек цементита бывает пластинчатым или зернистым, что определяет его механические свойства. Перлит чаще всего имеет пластинчатое строение и является прочной структурной составляющей ($\sigma_b = 800-900$ МПа, $\delta \leq 16$ %, 180-220 НВ).



Рисунок 4 – Перлит.
 Эвтектоидная смесь,
 состоящая
 из пластинок феррита и
 цементита



Рисунок 5 – Ледебурит.
 Эвтектическая смесь,
 состоящая из округлых
 темных включений перлита
 на светлой основе цементита

Ледебурит (Л) – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита, образующаяся из жидкого расплава при температуре 1147 °С и содержащая 4,3%С (рисунок 5). Так как при температуре ниже 727 °С

аустенит превращается в перлит, то ледебурит состоит из цементита и перлита. В этой структурной составляющей цементит образует сплошную матрицу, в которой размещен перлит. Такое строение ледебурита служит причиной его большой твердости (> 600 НВ) и хрупкости.

2.3 Диаграммы состояний $Fe - C$ и $Fe - Fe_3C$

Диаграммы отражают в координатах температура – массовая доля элемента (C) в виде линий и точек границы областей устойчивости фаз в сплавах железа с углеродом. Они охватывает области твердого и твердо-жидкого состояний. Жидкое состояние чугуна, как наименее изученное, на этой диаграмме условно показано однородным. В связи с этим последние годы предпринимаются попытки расширить диаграмму состояния сплава главным образом в области жидкого состояния.

Взаимодействие железа с углеродом описывается двумя диаграммами:

- 1) стабильной $Fe-C$ - железо-углерод (рисунок 6, пунктирные линии).
- 2) метастабильной $Fe-Fe_3C$ железо-цементит (рисунок 6, сплошные линии).

Фазовые превращения в сталях отражает диаграмма состояния $Fe-Fe_3C$. Фазовые превращения в высокоуглеродистых сплавах – чугунах – развиваются согласно диаграмме $Fe-C$.

Так как при практических скоростях охлаждения углерод в системе $Fe-C$ находится в виде цементита, наибольшее практическое применение имеет диаграмма $Fe - Fe_3C$. Обычно в железоуглеродистых сплавах отмечают концентрацию не цементита, а углерода, в связи с чем ее принято называть диаграммой железо-углерод.

Диаграмма состояния $Fe-C$ нанесена на диаграмме $Fe-Fe_3C$. Такой способ изображения системы $Fe-C$ дает возможность сравнивать обе диаграммы. Чтение диаграммы $Fe-C$ принципиально не отличается от чтения диаграммы $Fe-Fe_3C$, но во всех случаях из сплавов выпадает не цементит, а графит.

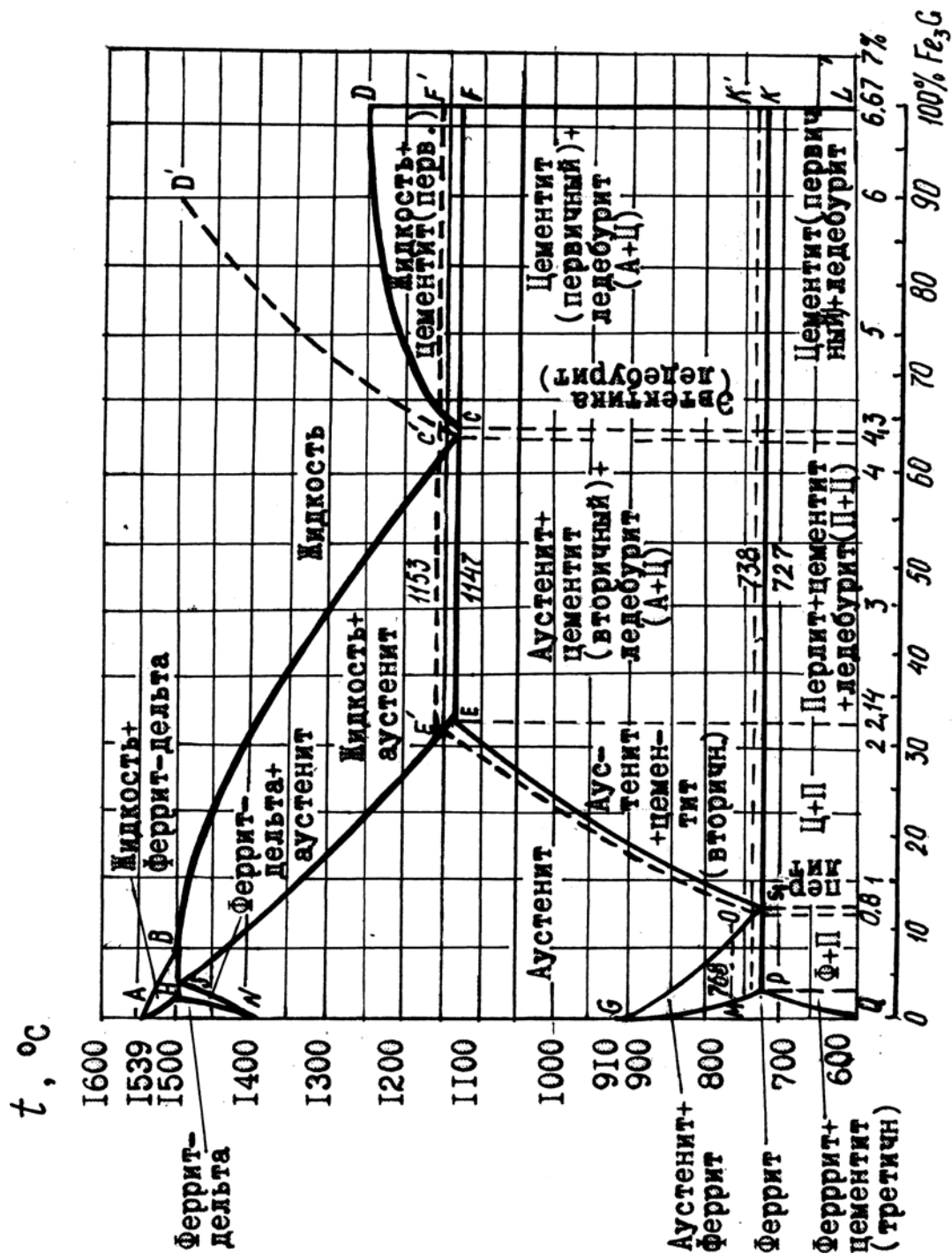


Рисунок 6 - Диаграммы состояний железо - цементит и железо - углерод
Сплошные линии - метастабильная система железо - цементит ($\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$)
пунктирные линии - стабильная система железо - углерод ($\text{Fe}-\text{C}$)

Каждая точка диаграммы состояния характеризует строго определенный состав сплава при соответствующей температуре. Точка А (1539 °С) отвечает температуре плавления железа, точка D (≈ 1250 °С) – температуре плавления цементита, точки N (1392 °С) и G (910 °С) соответствуют полиморфному превращению $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$.

Концентрация углерода (по массе) для характерных точек диаграммы состояния (рисунок 4) следующая: В – 0,51 % С в жидкой фазе, находящейся в равновесии с δ -ферритом ($Fe_{\delta}(C)$) и аустенитом ($Fe_{\gamma}(C)$), при перитектической реакции и при 1499 °С; Н – 0,1 % С в δ -феррите при 1490 °С; J – 0,16 % С - в аустените-перитектике при 1490 °С; Е – 2,14 % предельное содержание в аустените при 1147 °С; S – 0,8 % С в аустените при реакции эвтектоидного превращения 727 °С; Р – 0,02 % С – предельное содержание в феррите ($Fe_{\alpha}(C)$) при 727 °С.

Линия, соединяющая точки ABCD на диаграмме – линия ликвидус. Выше этой линии все железоуглеродистые сплавы находятся в жидком состоянии. Линия ANJECF – линия солидус. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии и при дальнейшем охлаждении происходят только процессы, связанные с изменением растворимости углерода в Fe_{α} и Fe_{γ} , а также процессы, которые обуславливаются аллотропическим (полиморфным) превращением железа.

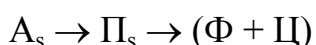
Линия АВ указывает температуру начала кристаллизации δ -феррита из жидкого сплава; линия ВС - температуру начала кристаллизации аустенита; линия CD – температуру начала кристаллизации первичного цементита.

При достижении температуры 1147°С ECF (эвтектики) состав жидкой фазы любого сплава, расположенного между точками Е и F диаграммы, будет соответствовать точке С (4,3 %С). При этой температуре оставшаяся часть жидкой фазы состава 4,3 % углерода кристаллизуется с образованием эвтектики – механической смеси кристаллов аустенита и цементита, называемой ледебуритом.

Ниже линии GS происходит полиморфное превращение аустенита в феррит.

Линия SE является линией насыщения и показывает, как изменяется растворимость углерода Fe_{γ} с изменением температуры. Вследствие уменьшения растворимости углерода в Fe_{γ} при понижении температуры из пересыщенного аустенита будет выделяться вторичный цементит Π_{II} .

Линия PSK 727 °С является линией эвтектоидного превращения. При этой температуре аустенит (A_s) состава точки S (0,8 %С) распадается с образованием перлита (Π_s):



2.4 Углеродистые стали

2.4.1 Структура углеродистых сталей

Сталями называются сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,02 % до 2,14 % углерода. При содержании углерода до 0,006 % сплавы однофазные и имеют структуру феррита, например, электролитическое железо.

Сплавы, содержащие от 0,006 % до 0,02 % углерода называются техническим железом (рисунок 7).

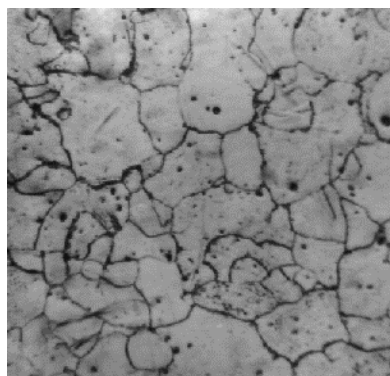


Рисунок 7 - Микроструктура технического железа

Увеличение содержания углерода вследствие его незначительной растворимости в феррите вызывает появление второй фазы - цементита третичного. При содержании углерода до 0,025% структурно свободный цементит выделяется, главным образом, по границам зерен феррита. Это существенно понижает пластичность и вязкость стали, особенно, если цементит располагается цепочками или образует сетку вокруг зерен феррита.

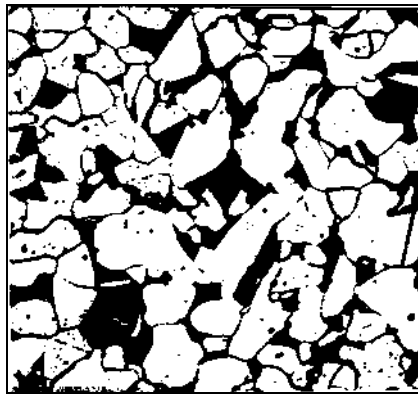
При увеличении содержания углерода выше 0,025% в структуре стали образуется перлит; одновременно еще до 0,10 - 0,15 %C в стали появляются включения структурно свободного (третичного) цементита. С дальнейшим повышением содержания углерода третичный цементит входит в состав перлита.

За превращениями, протекающими в сталях в процессе их нагрева и охлаждения, можно проследить, пользуясь левой частью диаграммы состояния (рисунок 6).

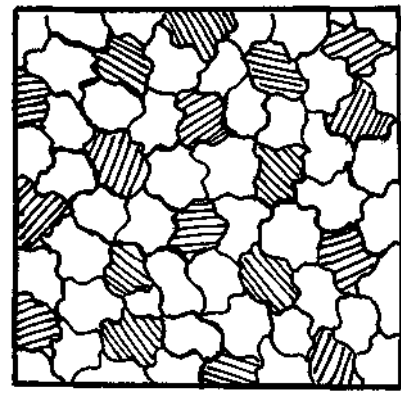
По микроструктуре стали делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные (рисунки 8, 9, 10). Стали с содержанием углерода от 0,02 до 0,8 % называют доэвтектоидными; с содержанием 0,8 % углерода – эвтектоидными; с содержанием от 0,8 % до 2,14 % – заэвтектоидными.

Как следует из диаграммы Fe-Fe₃C, при комнатной температуре в равновесном состоянии микроструктура доэвтектоидной стали состоит из

феррита и перлита (рисунок 8). Количественное соотношение между структурными составляющими (Ф и П) в доэвтектоидных сталях определяется содержанием углерода. Чем ближе содержание углерода к эвтектоидной концентрации, тем больше в структуре перлита.



а

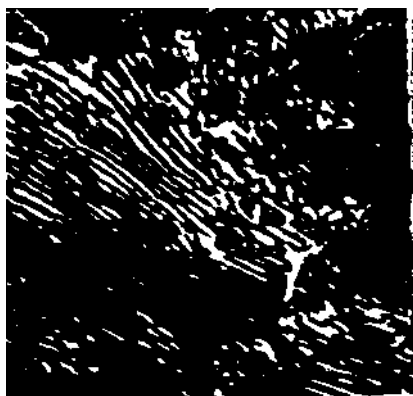


б

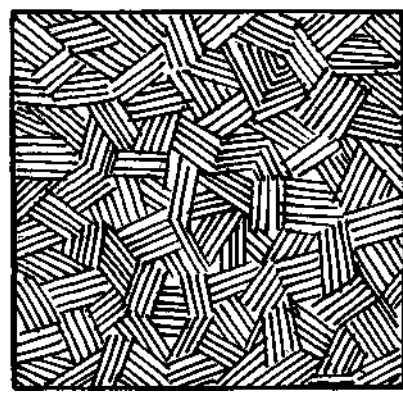
а – микроструктура малоуглеродистой стали (0,15 % С): феррит (светлая составляющая) + перлит (темная составляющая);
б – схема микроструктуры

Рисунок 8 – Доэвтектоидная сталь

Микроструктура эвтектоидной стали (0,8 %С) состоит только из перлита (рисунок 9). Образуется из аустенита при охлаждении стали У8 (линия PSK). Строение перлита вследствие его значительной дисперсности (мелкозернистости) может быть детально различимо только при сравнительно больших увеличениях ($\times 600$).



а



б

а - микроструктура стали У8: перлит пластинчатый; б – схема микроструктуры

Рисунок 9 – Эвтектоидная сталь

Микроструктура заэвтектоидной стали (рисунок 10) состоит из перлита и вторичного цементита. Образуется у стали У9-У13 из аустенита при охлаждении. Сетка цементита начинает образовываться на линии ES, перлит – на линии PSK. Максимальное количество структурно свободного цементита (~ 20%) будет в сплаве с содержанием углерода 2,14%.



а – микроструктура: перлит+цементит_{II}; б – схема микроструктуры

Рисунок 10 – Заэвтектоидная сталь

Чтобы отличить микроструктуру цементита от феррита, имеющего также светлую окраску, необходимо шлиф, протравленный 4%-ным раствором азотной кислоты, заново перешлифовать, переполлировать и заново протравить раствором пикрата натрия, который окрашивает цементит в темный цвет.

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно приблизительно определить содержание в ней углерода, для чего нужно ориентировочно определить площадь (в процентах), занимаемую перлитом, в связи с тем, что в феррите растворено очень небольшое количество углерода, практически можно считать, что в доэвтектоидной стали весь углерод находится в перлите.

$$C = \frac{S_{II} \cdot 0,8}{100},$$

где C – концентрация углерода в сплаве, в процентах;

S_{II} - видимая часть площади микроструктуры, занимаемая перлитом в процентах.

По количественному соотношению перлита и феррита, согласно ГОСТ 8233-56 Сталь. Эталоны микроструктуры, феррито-перлитовые структуры классифицируются по десятибальной шкале (таблица 1). Оценка

производится визуально при 100-кратном увеличении по средней площади, занимаемой перлитом на микрошлифе.

Таблица 1 - Классификация феррито-перлитовых структур по десятибальной шкале

Балл	Содержание, %		Балл	Содержание, %	
	Перлита	феррита		перлита	феррита
1	100	0	6	50	50
2	95	5	7	35	65
3	85	15	8	20	80
4	75	25	9	5	95
5	65	35	10	0	100

2.4.2 Зависимость механических свойств углеродистых сталей от содержания углерода

Изменение содержания углерода вызывает изменения в структуре стали, что, в свою очередь, оказывает определяющее влияние на свойства стали.

В соответствии с диаграммой состояния структура стали в равновесном состоянии представляет собой смесь феррита и цементита, причем количество цементита увеличивается пропорционально содержанию углерода. Феррит малопрочен и пластичен, феррит тверд и хрупок. Поэтому увеличение феррита приводит к повышению твердости, прочности и снижению пластичности.

На механические свойства заэвтектоидных сталей сильное влияние оказывает вторичный цементит, образующий хрупкий каркас вокруг зерен перлита. Под нагрузкой этот каркас преждевременно разрушается, вызывая снижение прочности, пластичности. Из-за этого заэвтектоидные стали применяют после специального отжига со структурой зернистого перлита, отличающегося от пластинчатого перлита меньшей твердостью и большей пластичностью.

Углерод изменяет технологические свойства стали: обрабатываемость резанием, давлением, свариваемость. Увеличение содержания углерода ведет к снижению обрабатываемости резанием. Лучшей обрабатываемостью резанием обладают стали с содержанием 0,3 - 0,4 % С.

С увеличением содержания углерода снижается технологическая пластичность – способность деформироваться в горячем и, особенно, в холодном состоянии. Для сложной холодной штамповки содержание углерода ограничивается 0,1 %.

Углерод затрудняет свариваемость сталей. Хорошей свариваемостью обладают низкоуглеродистые стали.

Для иллюстрации на рисунке 11 приведен график зависимости механических свойств стали от содержания углерода.

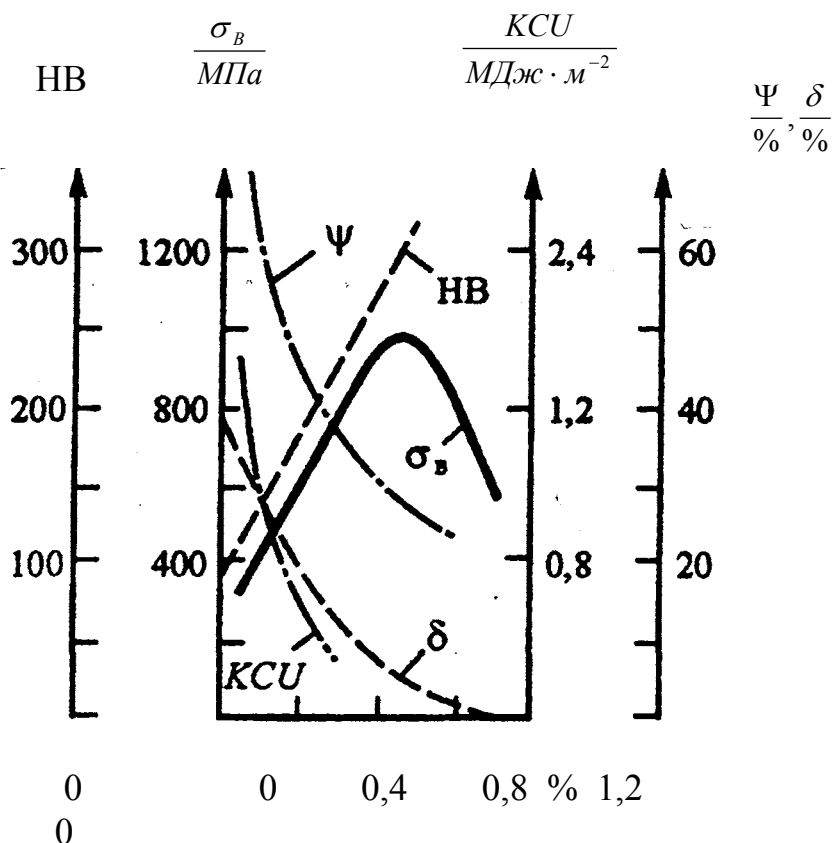


Рисунок 11 - График зависимости механических свойств стали от содержания углерода

2.4.3 Классификация и маркировка углеродистых сталей

Углеродистые стали подразделяют на низкоуглеродистые до 0,25 % С, среднеуглеродистые (0,3 - 0,6 % С), высокоуглеродистые (более 0,6 % С). По применению углеродистые стали подразделяются на конструкционные и инструментальные. Конструкционные стали классифицируют на стали обыкновенного качества и качественные.

Конструкционная углеродистая сталь обыкновенного качества обозначается буквами Ст, после которых стоит цифра от 0 до 6, обозначающая номер марки стали (с увеличением номера возрастает содержание углерода), например: Ст1, Ст2, ..., Ст6. Чем больше номер, тем выше прочность и твердость, но ниже пластичность (таблица 2). Наиболее пластичные и наименее твердые - Ст0, Ст1, Ст2 - идут на изготовление кровельных листов, крепежных изделий; наиболее твердая и прочная сталь

этой группы - Ст6 применяется, например, в производстве рельсов, рессор. Стали обыкновенного качества выпускают в виде проката (прутки, балки, листы, уголки, швеллеры и т.п.).

Углеродистые качественные стали характеризуются более низким, чем у сталей обыкновенного качества содержанием вредных примесей и неметаллических включений.

Таблица 2 – Механические свойства углеродистых сталей обыкновенного качества

Марка стали	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	Марка стали	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %
Ст0	до 310	-	23-20	Ст4	420-540	270-240	24-22
Ст1	320-420	-	34-31	Ст5	500-640	290-260	20-17
Ст2	340-440	230-240	32-29	Ст6	до 600	320-300	15-12
Ст3	380-490	250-210	26-23				

Качественную сталь маркируют двузначным числом, обозначающим среднее содержание углерода в сотых долях процента. Низкоуглеродистую сталь марок 08, 10, 15, 20, 25 применяют для изготовления метизов и деталей, от которых не требуется высокой прочности. Среднеуглеродистые стали 30, 35, ..., 55 отличаются большей прочностью, меньшей пластичностью, чем низкоуглеродистые. Высокоуглеродистые стали марок 60, 65, ..., 85 имеют большую твердость и прочность и применяются для изготовления ответственных деталей машин.

Качественные инструментальные стали маркируют буквой У и цифрой, указывающей на содержание углерода в десятых долях процента: У7, У8 и т.д. Высококачественные инструментальные стали маркируют так же, как и качественные, но в конце марки ставят букву А: У7А, У8А...У12А.

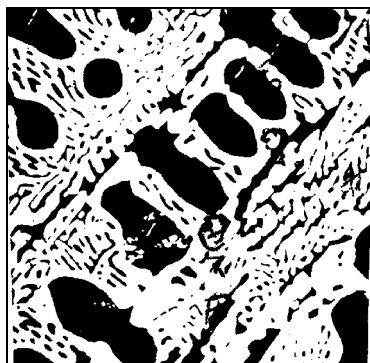
2.5 Чугуны

2.5.1 Белые чугуны

Чугуном называется сплав железа с углеродом, содержание которого от 2,14 % до 6,67 %. Чугуны, присутствующие на диаграмме Fe-Fe₃C, называют белыми. Такое название они получили в виду излома, имеющего матово - белый цвет. Весь углерод, содержащийся в белых чугунах, находится в химически связанном состоянии в виде цементита Fe₃C.

В зависимости от содержания углерода белые чугуны подразделяют на доэвтектические (2,14% < C < 4,3%), эвтектические (C = 4,3%) и заэвтектические (C > 4,3 %) (рисунки 12, 13, 14).

Микроструктура доэвтектического белого чугуна состоит из перлита, цементита вторичного и ледебурита (рисунок 12).



а



б

а - микроструктура доэвтектического чугуна: перлит (более крупные зерна), цементит вторичный (светлые участки, сливающиеся с цементитом), ледеburит; б - схема микроструктуры

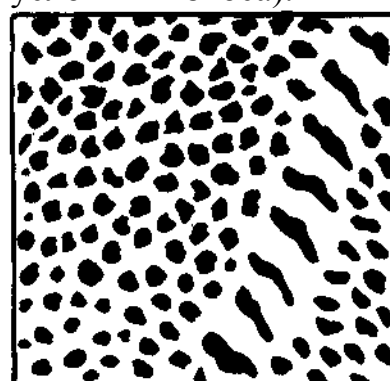
Рисунок 12 - Доэвтектический белый чугун

Структура эвтектического белого чугуна состоит целиком из ледебурита и представляет собой эвтектическую смесь перлита и цементита (рисунок 13).

Микроструктура заэвтектического белого чугуна состоит из цементита первичного и ледебурита (рисунок 14). Чем больше в структуре белого чугуна цементита, тем выше его твердость и хрупкость, тем труднее он обрабатывается резанием. Он используется главным образом для производства деталей от которых требуется высокая твердость и износоустойчивость (шары размолочных мельниц, валки прокатных станов, лемехи плугов и другие детали, работающие в условиях износа).



а

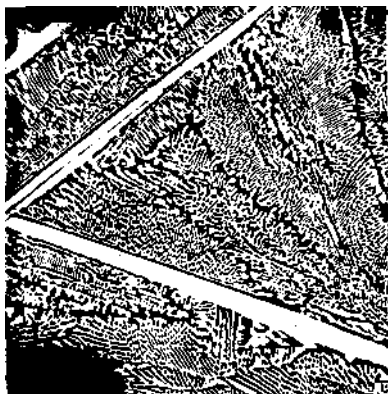


б

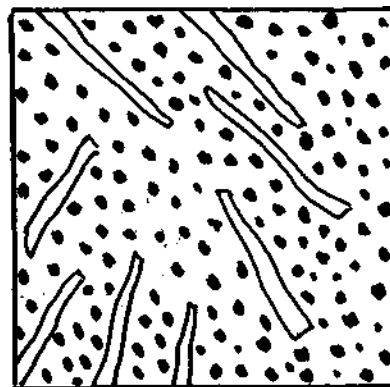
а - микроструктура эвтектического чугуна: цементит первичный (крупные светлые иглы) и ледеburит (участки с точечными темными вкраплениями);

б - схема микроструктуры

Рисунок 13 - Эвтектический белый чугун



а



б

а - микроструктура заэвтектического чугуна: цементит первичный (крупные светлые иглы) и ледебурит (участки с точечными темными вкраплениями);
б - схема микроструктуры

Рисунок 14 - Заэвтектический белый чугун

2.5.2 Чугуны со структурно свободным углеродом

Помимо белых чугунов, в которых весь углерод находится в химически связанном состоянии, существуют чугуны со структурно свободным углеродом, выделяющимся в виде графита различной формы. Графит обеспечивает пониженную твердость, хорошую обрабатываемость резанием, а также высокие антифрикционные свойства вследствие низкого коэффициента трения. Вместе с тем, включения графита снижают прочность и пластичность, так как нарушают сплошность металлической основы сплава. Серые, высокопрочные и ковкие чугуны различаются условием образования графитовых включений и их формой, что отражается на металлических свойствах отливок.

По форме графита различают серые чугуны с графитовыми частицами в виде пластинок, ковкие чугуны с графитом хлопьевидной формы и высокопрочные чугуны с шаровидным графитом.

В микроструктуре чугунов следует различать металлическую основу и включения графита в ней. Свойства чугунов определяются как структурой металлической основы, так и количеством, и формой графитных включений.

При одинаковой металлической основе наиболее высокими механическими свойствами обладают высокопрочные чугуны, наиболее низкими – серые. Ковкие чугуны занимают промежуточное положение. Это объясняется тем, что пустоты, в которых находятся графитовые частицы, играют роль концентраторов напряжений. Пустоты шаровидной формы (высокопрочный чугун) концентрируют напряжения в меньшей степени, чем пустоты пластинчатой формы.

Механические свойства чугунов приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Механические свойства чугунов

Марка чугуна	σ_B	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$	НВ	Структура металлической основы
	МПа				
1	2	3	4	5	6
Серые чугуны (ГОСТ 1412-85)					
СЧ10	100	-	-	1900	Ф
СЧ15	150	-	-	163- 210	Ф
СЧ 25	250	-	-	180- 245	Ф+П
СЧ 35	350	-	-	220- 275	Ф
Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293-85)					
ВЧ 35	350	220	22	140- 170	Ф
ВЧ 45	450	310	10	140- 225	Ф+П
ВЧ 60	600	370	3	192- 227	Ф+П
ВЧ 80	800	490	2	248- 351	П
ВЧ 100	1000	700	2	270- 360	Б
Ковкие чугуны (ГОСТ 1215-79)					
КЧ 30-6	300	-	6	100- 163	Ф + до 10% П
КЧ 35-8	350	-	8	100- 163	
КЧ 37-12	370	-	12	110- 163	
КЧ 45-7	450	-	7	150- 207	
КЧ 60-3	600	-	3	200- 269	П + до 10% Ф
КЧ 80-1,5	800	-	1,5	270- 320	

Структурный состав и свойства чугунов зависят, главным образом, от условий получения отливки (температуры жидкого металла, введения модификаторов и особенно от условий охлаждения при литье.)

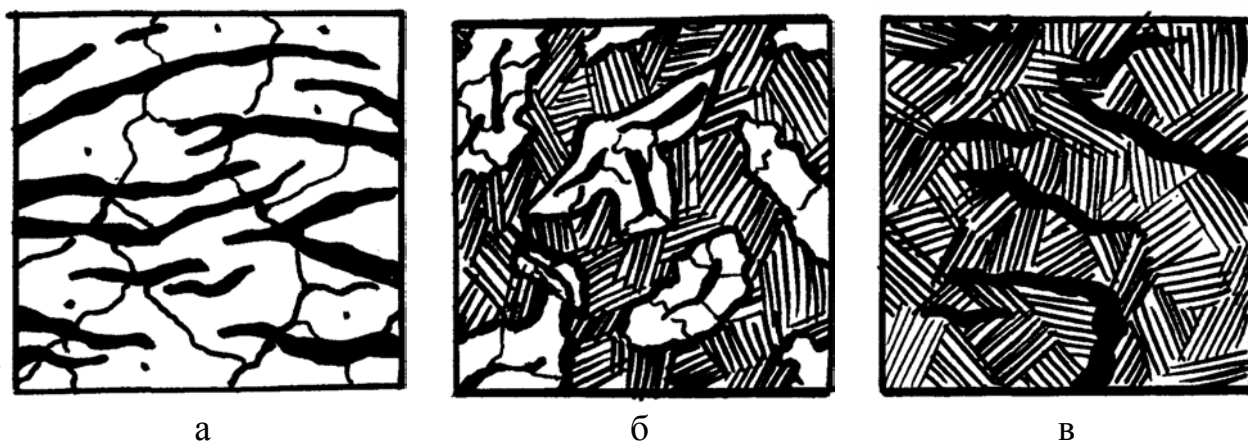
Серый чугун получил такое название из-за серого цвета излома. Серый цвет излому придает графит, содержащийся в чугуне в свободном состоянии в виде пластинок. Серые чугуны, как и белые, получают непосредственно при отливке.

В зависимости от количества графитизатора (кремния), вводимого в расплав, можно получать три вида серых чугунов, различающихся по структуре: ферритный, перлитный, ферритно-перлитный (рисунок 15).

Ферритные серые чугуны (рисунок 15а) (марки СЧ10, СЧ15; $\sigma_b=150$ МПа) используются для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, суппорты, тормозные барабаны, диски сцепления и т.д.

Ферритно-перлитные серые чугуны (рисунок 15б) (марки СЧ20, СЧ25; $\sigma_b=250$ МПа) применяются для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: картеры двигателя, поршни цилиндров, барабаны сцепления, станины станков и другие отливки разного назначения.

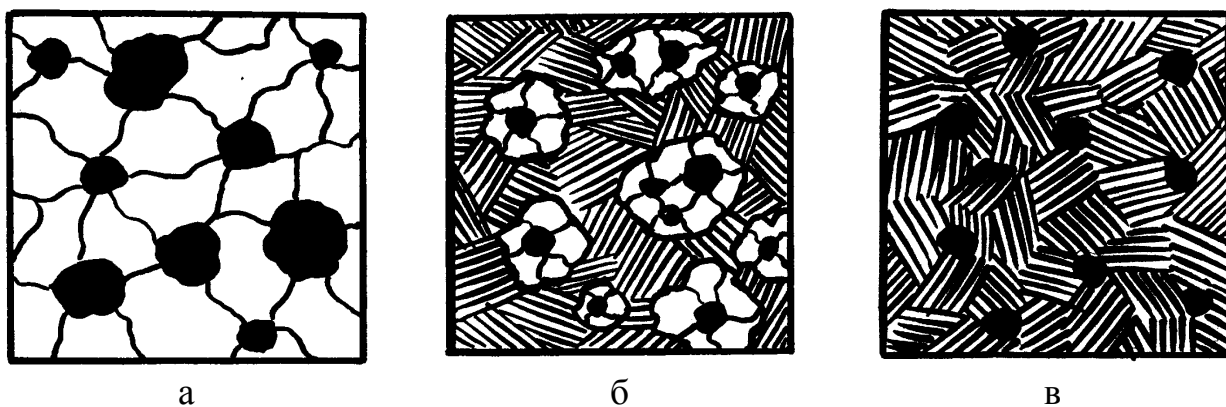
Перлитные серые чугуны (рисунок 15в) (марки СЧ40, СЧ45) применяют для отливки станин мощных станков и механизмов. Часто используют перлитные сырые модифицированные чугуны. Такие чугуны получают при добавлении в жидкий чугун перед разливкой специальных добавок – ферросилиция (0,3-0,6% от массы шихты) или силикокальция (0,3-0,5 % от массы). Обладают более высокими механическими свойствами из-за измельчения формы графитных включений ($\sigma_b=400-450$ МПа). Эти марки чугунов применяются для корпусов насосов, компрессоров и гидроприводов.



а – ферритный; б - ферритно-перлитный; в – перлитный

Рисунок 15 - Схемы микроструктур серых чугунов

Высокопрочные чугуны получают модифицированием расплава серого чугуна обычно магнием и ферросилицием для получения мелких включений графита шаровидной формы. По структуре высокопрочный чугун может быть ферритным, ферритно-перлитным или перлитным (рисунок 16).

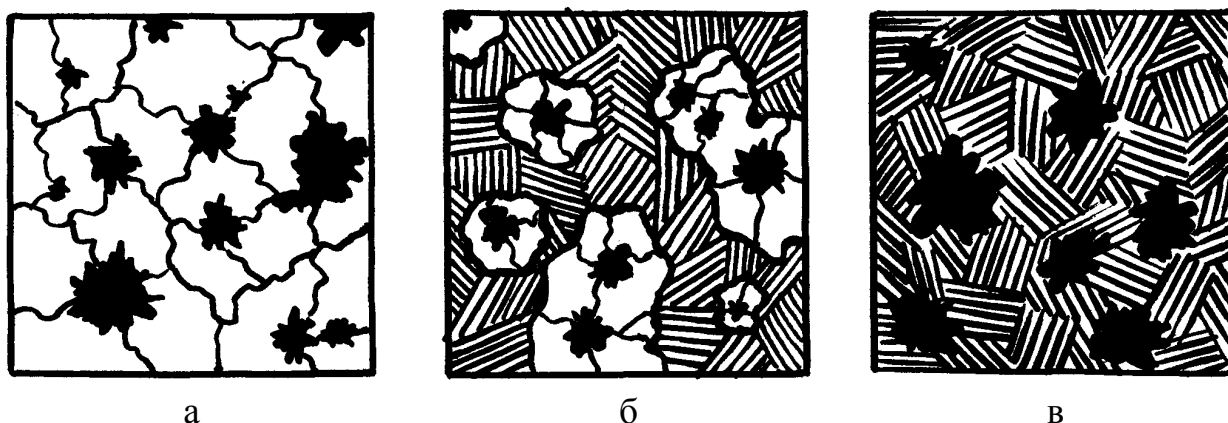


а – ферритный; б - ферритно-перлитный; в – перлитный

Рисунок 16 - Схемы микроструктур высокопрочных чугунов

Механические свойства высокопрочного чугуна позволяют применять его для изготовления деталей машин, работающих в тяжелых условиях, вместо поковок или отливок из стали. Из высокопрочного чугуна изготавливают оборудование прокатных станов, кузнечно-прессового оборудования, корпуса паровых турбин, детали тракторов, автомобилей (коленчатые валы, поршни) и другие детали, работающие при циклических нагрузках и в условиях сильного износа.

Ковкий чугун – условное название вязкого и мягкого чугуна (не куется, но достаточно пластичен). Ковкий чугун получают длительным отжигом доэвтектического белого чугуна. При этом цементит белого чугуна распадается с образованием графита хлопьевидной формы. Металлическая основа в ковких чугунах такая же, как и в литейных серых (рисунок 17).



а – ферритный; б - ферритно-перлитный; в – перлитный

Рисунок 17 - Схемы микроструктур ковких чугунов

Перлитные ковкие чугуны (КЧ 45-7; КЧ 50-5; КЧ 60-3) более прочные, ферритные – более пластичные. Ковкий чугун широко применяют в

автомобильном, сельскохозяйственном, текстильном машиностроении, в судостроении, котло-, вагоно- и дизелестроении. Ковкий чугун идет на изготовление деталей высокой прочности, которые подвержены сильному истиранию и ударным знакопеременным нагрузкам.

Серые и высокопрочные чугуны маркируют буквами СЧ и ВЧ соответственно, а также двумя цифрами, обозначающими предел прочности сплава при растяжении, уменьшенный в 10 раз (в МПа). Например, СЧ 35, ВЧ 80. Ковкие чугуны маркируют буквами КЧ и двумя группами цифр, первая из которых указывает значение уменьшенного в 10 раз предела прочности при растяжении (в МПа), а вторая – значение относительного удлинения (в %), например, КЧ 37-12.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Изучите по диаграмме состояния Fe – Fe₃C превращения, происходящие в железоуглеродистых сплавах при охлаждении.

3.2 Ознакомьтесь со структурными составляющими железоуглеродистых сплавов. Найдите на диаграмме состояния области существования этих структур.

3.3 Получите у лаборанта микрошлифы образцов различных сталей и чугунов. С помощью металлографического микроскопа изучите структурные составляющие железоуглеродистых сплавов. Определите вид сплава: сталь (доэвтектоидная, эвтектоидная, заэвтектоидная); чугун (белый, серый, ковкий, высокопрочный).

3.4 Зарисуйте все просмотренные структуры с указанием фазовых и структурных составляющих. Микроструктуры зарисовать в квадратах размером 50 × 50 мм. Основное при зарисовке микроструктуры – уловить характерные особенности микроструктуры и передать их на рисунке. Нет необходимости передавать на рисунке фотографически точное изображение. Фазы и структурные составляющие указывать стрелками, на полях писать их наименование.

4 Содержание отчета

4.1 Цель работы

4.2 Краткое описание структурных составляющих железоуглеродистых сплавов

4.3 Рисунок диаграммы состояния Fe – Fe₃C

4.4 Схемы и описание микроструктуры сталей и чугунов

4.5 Выводы по работе. В выводах указывается влияние содержания углерода на структуру и механические свойства; влияние формы графитовых включений и структуры металлической основы на свойства чугунов.

5 Контрольные вопросы

5.1 Какие железоуглеродистые сплавы относятся к техническому железу, сталям и чугунам?

5.2 Каковы фазовые и структурные составляющие системы Fe-C. Характеристика структурных составляющих.

5.3 Какая из структур железоуглеродистых сплавов является механической смесью феррита и цементита?

5.4 Что такое ледебурит?

5.5 Как классифицируют по структуре стали и чугуны?

5.6 Какие существуют виды чугунов? В какой форме присутствует в них углерод?

5.7 Как влияет на свойства серого чугуна форма графитовых включений и структура металлической матрицы?

5.8 Как получают ковкий и высокопрочный чугун? Как различаются по свойствам серый, ковкий и высокопрочный чугуны?

6 Литература, рекомендуемая для изучения темы

6.1 Материаловедение: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Рахштадта. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1989. – 454 с.

6.2 Гуляев А.П. Металловедение. - М.: Металлургия, 1986. - 544с.

6.3 Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1990. - 527с.

6.4 Материаловедение: Учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 3 изд., переработ. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.:ил.

6.5 Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи). - М.: Металлургия, 1989.

Приложение А (справочное)

Приобретение навыков работы с диаграммой состояния железо-углерод

Исходные данные:

Сплав содержит 0,7 % углерода. Заданная температура 600 °С.

Номера температурных интервалов	Температурные границы интервалов, °С		Концентрация углерода в фазовых состояниях, %			Структурный состав	Вариантность системы
	Верхние границы	Нижние границы	Наименование фазы	На верхней границе температурного интервала	На нижней границе температурного интервала		
1	1495	1388	Ж А	0,7 0,2	2,25 0,7	Ж+А	1
2	1388	745	А	0,7	0,7	А	2
3	745	727	А Ф	0,7 0,016	0,8 0,02	А+Ф	1
4	727	727	Ф А Fe ₃ C	0,8 0,02 6,67	0,8 0,02 6,67	А+Ф+ П	0
5	727	600	Ф Fe ₃ C	0,02 6,67	0,01 6,67	Ф+П	1
Ж - жидкость, А - аустенит, Ф - феррит, П - перлит, Fe ₃ C - цементит							

