

Министерство образования и науки РФ  
Тверской государственный технический университет

---

*Кафедра технологии металлов и материаловедения*

## **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы «Микроструктура сталей и чугунов»  
для студентов технических специальностей

Тверь 2012

Изложена методика выполнения лабораторной работы по проведению металлографического анализа углеродистых сталей и чугунов и определению марки стали по микроструктуре. Приведены рекомендации по выполнению и требования к оформлению отчета по лабораторной работе. Даны контрольные вопросы для самостоятельной подготовки студентов по теме работы.

Предназначены для студентов технических специальностей.

Обсуждены на заседании кафедры «Технология металлов и материаловедение» и рекомендованы к печати (протокол № 2 от 25 сентября 2012 г.).

Составители: Л.Е. Афанасьева, Л.В. Давыденко

© Тверской государственный  
технический университет, 2012

## 1. Цель работы

Получение навыков металлографического анализа углеродистых сталей и чугунов и определения марки стали по микроструктуре.

## 2. Теоретическая часть

Наиболее распространенными сплавами на основе железа являются стали и чугуны. Это сплавы железа с углеродом. Углерод в железоуглеродистых сплавах может содержаться как в свободном состоянии в виде графита (стабильная система), так и в связанном состоянии в виде химического соединения с железом – цементита (метастабильная система).

Система  $Fe - Fe_3C$  получается в условиях достаточно быстрого охлаждения, когда кинетически более вероятно образование цементита. В этой системе кристаллизуются стали и белые чугуны.

### 2.1. Микроструктура отожженных углеродистых сталей

#### 2.1.1. Фазы в системе железо – цементит

В системе железо – углерод различают фазы: жидкий сплав, твердые растворы – феррит и аустенит, а также цементит и графит.

На диаграмме состояния системы железо – цементит (рис. 1) стали находятся левее точки  $E$  (2,14 % C).

*Феррит* – это твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha-Fe$  с объемно-центрированной кубической решеткой. Предельная растворимость углерода в  $\alpha-Fe$  составляет 0,02 % C (точка  $P$ ).

*Цементит* – это карбид железа  $Fe_3C$  с ромбической решеткой. Он содержит 6,67 % C.

При температуре выше линии  $GSE$  стабильной фазой является *аустенит* – твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma-Fe$  с гранецентрированной кубической решеткой. Предельная растворимость углерода в  $\gamma-Fe$  составляет 2,14 % C (точка  $E$ ).

Во всех сталях правее точки  $P$  при небольшом переохлаждении до температур ниже 727 °C происходит эвтектоидный распад аустенита состава точки  $S$  (0,8 % C) на ферритоцементитную смесь. Микроструктура медленно охлажденных сталей формируется в результате тех превращений, которые претерпевает аустенит. Сплавы, содержащие менее 0,02 % C (точка  $P$ ), называют техническим железом (рис. 3а). По составу и микроструктуре углеродистые стали подразделяют на доэвтектоидные (0,02...0,8 % C), эвтектоидные (0,8 % C) и заэвтектоидные (0,8...2,14 % C).

Таблица 1. Твердость структурных составляющих в сталях и чугунах

Структурные составляющие	Феррит Ф	Аустенит А	Цементит Ц	Перлит П	Ледебурит Л
НВ	80	200	800	160 ... 200	550

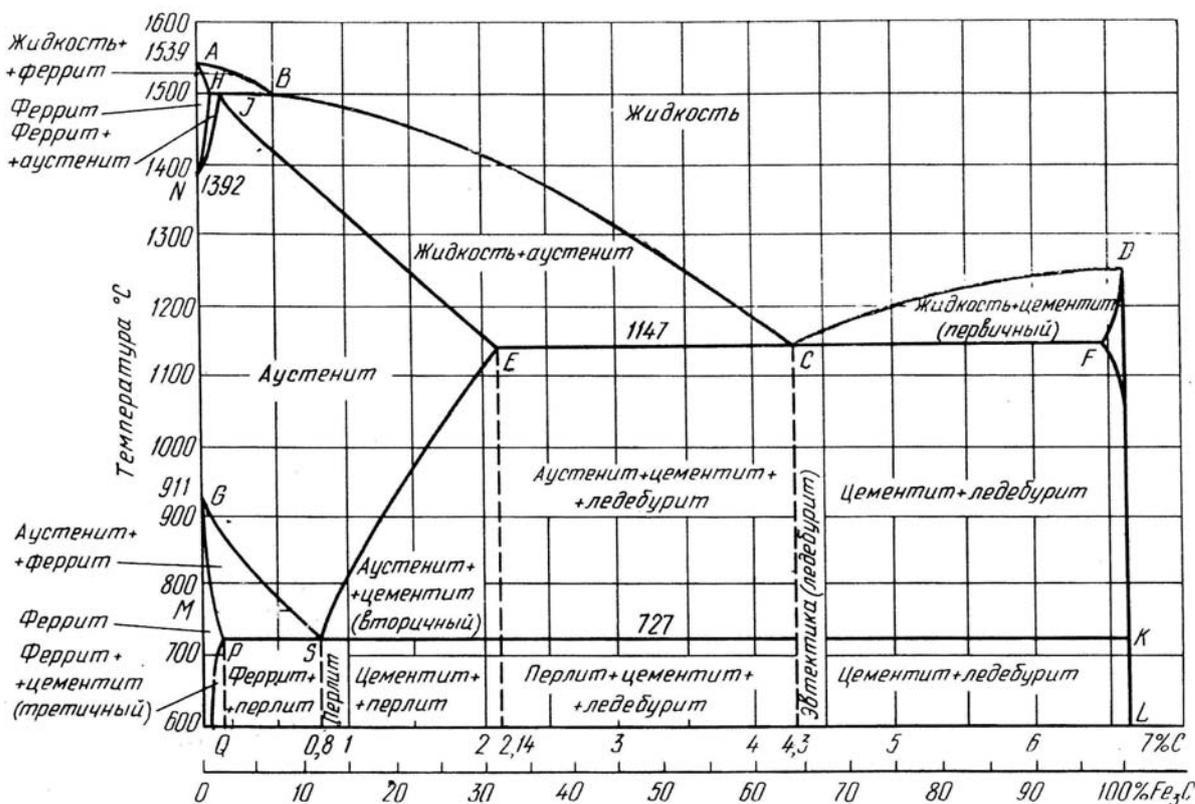


Рис. 1. Диаграмма состояния системы железо – цементит

### 2.1.2. Эвтектоидная сталь

Рассмотрим формирование структуры эвтектоидной стали, используя диаграмму состояния системы железо – цементит (рис. 1). Выше температуры 727°C эвтектоидная сталь состоит из зерен аустенита. При температуре линии PSK происходит эвтектоидное превращение по реакции



в результате которой образуется эвтектоид, состоящий из смеси феррита с содержанием 0,02 % С и цементита. Эвтектоидное превращение идет при постоянных температуре и составе фаз. Так как после травления поверхность шлифа приобретает перламутровый оттенок, ферритоцементитный эвтектоид называют *перлитом*. Доля цементита в эвтектоидной смеси по правилу рычага составляет 12 %.

Эвтектоид зарождается на границах зерен аустенита в виде колоний с

пластинчатым строением. Пластины феррита (более широкие) и цементита (более узкие) растут вглубь аустенитного зерна совместно. По окончании полного распада аустенита в эвтектоидной стали образуются перлитные колонии различной ориентации (рис. 2а). Цементит тверже феррита, растворяется в реактиве при травлении слабее, чем феррит. На микрошлифе цементит выступает над ферритом и отбрасывает на себя тень. Она создает впечатление темных полосок, расположенных в светлой основе феррита. Цементит в зависимости от вида обработки стали может выделяться в пластинчатой или зернистой форме. В зернистом перлите цементит выявляется в виде светлых зерен, окруженных темной полоской, распределенных в феррите (рис. 2б). Сталь с такой структурой перлита отличается лучшей пластичностью и обрабатываемостью резанием.

При температуре ниже  $727^{\circ}\text{C}$  в эвтектоидной стали происходит выделение цементита из феррита из-за уменьшения растворимости углерода по линии  $PQ$  (см. рис. 1). Такой цементит называют *третичным*, в отличие от *первичного цементита*, кристаллизующегося из расплава по линии  $CD$ , и *вторичного цементита*, выделяющегося по линии  $ES$ .

Максимальное количество (доля) третичного цементита составляет всего около 0,3 %, поэтому в структуре всех сталей он не виден. При комнатной температуре эвтектоидная сталь состоит из одной структурной составляющей – перлита.

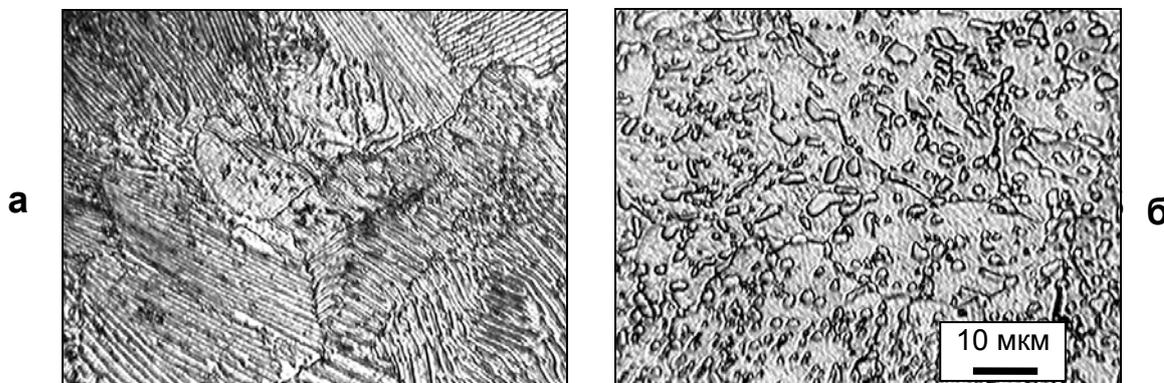


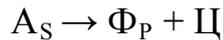
Рис. 2. Микроструктура эвтектоидной стали:  
а - пластинчатый перлит; б - зернистый перлит

### 2.1.3. Доэвтектоидные стали

Эти стали после окончания кристаллизации состоят из аустенита, который не претерпевает изменений вплоть до температур, соответствующих линии  $GS$ .

При охлаждении доэвтектоидной стали ниже линии  $GS$  происходит полиморфное превращение:  $A \rightarrow \Phi$ . Суть этого превращения заключается в изменении типа кристаллической решетки:  $A$  (гцк)  $\rightarrow \Phi$  (оцк).

При температуре 727 °С происходит эвтектоидное превращение:



Таким образом, при комнатной температуре структура доэвтектоидной стали состоит из двух структурных составляющих – феррита и перлита (рис. 3б, в, г). Чем больше углерода в доэвтектоидной стали, тем меньше в ее структуре феррита.

Доля феррита – 100 % в точке *P* и 0 % в точке *S*. Феррит зарождается как на границах аустенитных зерен, так и внутри них в виде равноосных или слегка вытянутых кристаллов с искривленными границами. После травления 1...5 %-м раствором  $\text{HNO}_3$  феррит – светлый, а перлит – темный.

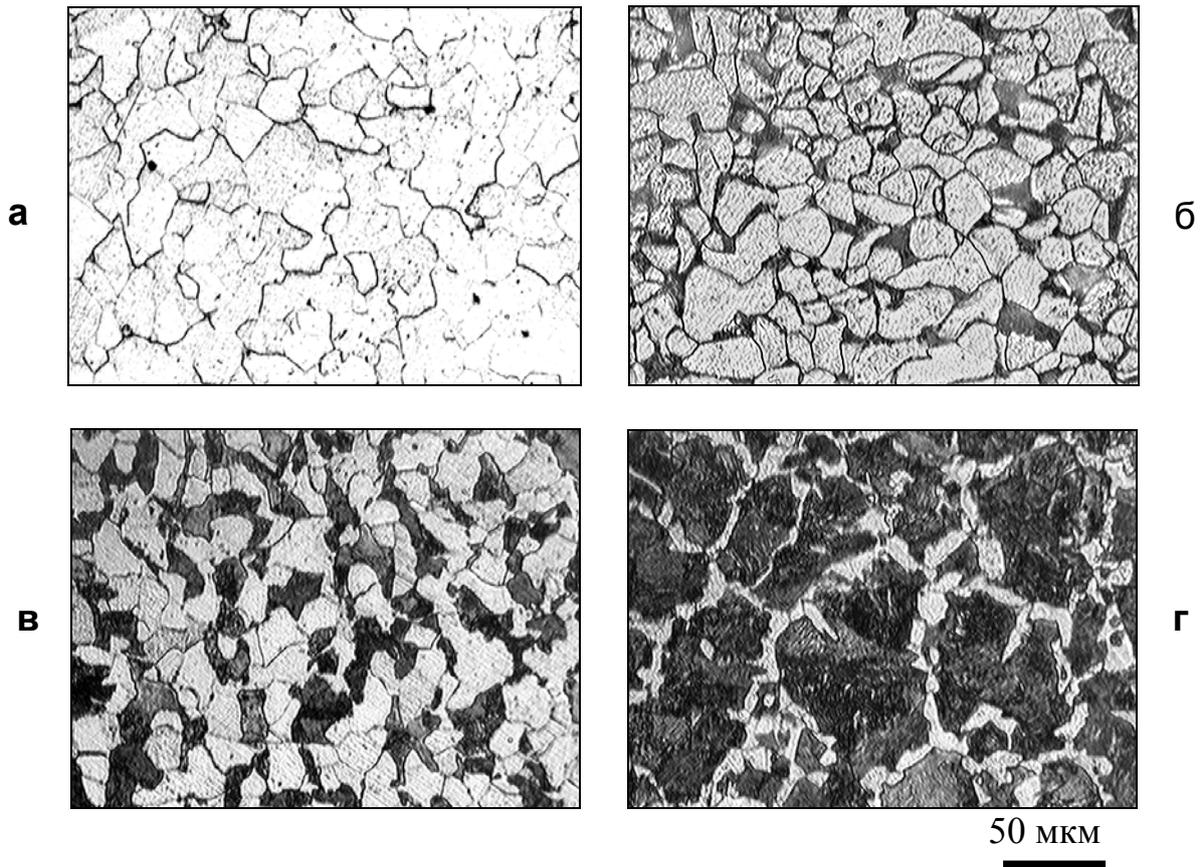
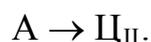


Рис. 3. Микроструктура железоуглеродистых сплавов:  
а – техническое железо; б, в, г – доэвтектоидные стали с различным содержанием углерода

#### 2.1.4. Заэвтектоидные стали

При медленном охлаждении заэвтектоидной стали из аустенитной области ниже линии *ES* из аустенита происходит выделение вторичного цементита в виде тонкой сетки по границам аустенитных зерен:



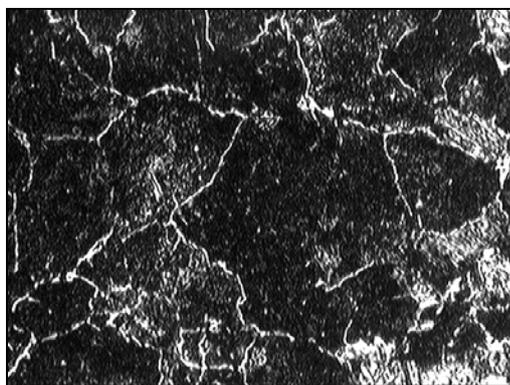
При переохлаждении аустенита до температур ниже 727 °С происходит

эвтектоидный распад аустенита с образованием перлита:



В результате в структуре заэвтектоидных сталей при комнатной температуре имеем две структурные составляющие: вторичный цементит (светлая сетка) и перлит (темные участки) (рис. 4). Чем больше углерода в заэвтектоидной стали, тем больше в ней вторичного цементита. Относительная доля вторичного цементита в заэвтектоидных сталях может изменяться в узких пределах: от 0 % до 20 %.

В связи с тем, что перлит присутствует как в доэвтектоидной, так и в заэвтектоидной стали, отличить при микроанализе одну сталь от другой можно только по избыточным выделениям: если в структуре находится феррит, то сталь доэвтектоидная, а если вторичный цементит, то сталь заэвтектоидная.



50 мкм

Рис. 4. Микроструктура заэвтектоидной стали

Сетка из вторичного цементита возвышается над более мягким перлитом. Вторичный цементит может выделяться из аустенита также в виде изолированных игл как по границам, так и внутри колоний перлита.

### 2.1.5. Металлографическое определение содержания углерода в отожженных сталях

Если углеродистая сталь хорошо отожжена, т.е. приведена в равновесное состояние, то микроструктурным анализом можно определить содержание в ней углерода.

Углерод в доэвтектоидной стали распределен между ферритом и перлитом. В феррите содержатся сотые доли процента углерода, которыми можно пренебречь и считать, что практически весь углерод в доэвтектоидной стали находится в перлите. В перлите содержится 0,8 % С. В доэвтектоидной стали на перлит приходится только часть сплава, и содержание углерода (в процентах по массе) пропорционально площади шлифа, занимаемой перлитом. Эта

пропорция вытекает из примерного равенства плотностей феррита и перлита; в противном случае по микроструктуре можно было бы судить только об объемных соотношениях.

Содержание углерода в доэвтектоидной стали определяют по формуле

$$X_c = 0,8F / 100,$$

где  $F$  – площадь шлифа, занятая перлитом, %.

Последнюю чаще всего оценивают на глаз. Такой метод может показаться слишком грубым, но в действительности он дает хорошие результаты. Если абсолютная ошибка в оценке площади, занимаемой перлитом, составляет 10 %, то абсолютная ошибка в определении содержания углерода – всего 0,08 %.

## 2.2. Стандартные марки углеродистых сталей

Конструкционные стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-88) маркируют буквами Ст и цифрами от 0 до 6, которым соответствуют определенные содержания углерода (табл. 2):

Таблица 2. Марки углеродистых конструкционных сталей обыкновенного качества (ГОСТ 380-88)

Марка	Ст0	Ст1	Ст2	Ст3	Ст4	Ст5	Ст6
C, %	0,23	0,06...0,12	0,09...0,15	0,14...0,22	0,18...0,27	0,28...0,37	0,38...0,49

Степень раскисления обозначают добавлением в конце марки букв кп – для кипящих сталей, пс – для полуспокойных и сп – спокойных сталей. Концентрация марганца в разных марках составляет от 0,25 до 0,8 %. Буква Г в марке стали указывает на повышенное содержание марганца (0,8...1,1 %). Например, Ст3Гпс. При переходе от марки Ст1 к марке Ст6 временное сопротивление возрастает от 300 до 600 МПа, а пластичность снижается. Стали этой группы широко используют для производства различных деформированных полуфабрикатов: листов, прутков, труб и т.д.

Качественные стали (ГОСТ 1050-74) маркируют двумя цифрами, которые указывают на среднее содержание углерода в сотых долях процента: 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58, 60.

Концентрация марганца в этих сталях составляет 0,35 – 0,8%, а кремния – менее 0,3 %. Механические свойства качественных сталей выше, чем у сталей обыкновенного качества, что обуславливает их применение для деталей более ответственного назначения: стали марок 08 – 25 используют для сварных конструкций, марки 30 – 45 – для производства деталей машин и стали марок 50 – 60 – для изготовления жестких (силовых) упругих элементов.

Инструментальные углеродистые стали (ГОСТ 1435-74) маркируют буквой У и цифрой, указывающей на среднее содержание углерода в десятых долях процента (табл. 3).

Таблица 2. Марки углеродистых инструментальных сталей (ГОСТ 1435-74)

Марка	У7	У8	У9	У10	У11	У12	У13
С, %	0,66...0,73	0,75...0,84	0,85...0,94	0,95...1,04	1,05...1,14	1,15...1,24	1,25...1,35

Концентрация примесей составляет:  $Mn < 0,3 \%$ ,  $Si < 0,3 \%$ ,  $S < 0,028 \%$ ,  $P < 0,03 \%$ . Углеродистые стали обладают высокой твердостью и износостойкостью, поэтому их используют для изготовления ударно-штампового (У7 – У9) и режущего инструмента (У10 – У11). Структура всех рассмотренных сталей в отожженном состоянии определяется концентрацией углерода и, следовательно, может быть проанализирована по диаграмме железо – цементит.

### 2.3. Разновидности чугунов

Чугунами называются железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14 % С. Благодаря сочетанию высоких литейных свойств, достаточной прочности, износостойкости, а также относительной дешевизне чугуны получили широкое распространение в машиностроении. Их используют для производства качественных отливок сложной формы при отсутствии жестких требований к габаритам и массе деталей.

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

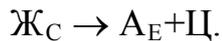
### 2.4. Белые чугуны

Белые чугуны на диаграмме состояния системы железо – цементит (метастабильная диаграмма Fe – С) (см. рис. 1) находятся правее точки *E* (2,14% С). В них, в отличие от сталей, обязательно кристаллизуется эвтектика аустенит – цементит, называемая *ледебуритом*. В отличие от серых чугунов, содержащих структурно свободный углерод – графит, в белых чугунах углерод, не вошедший в твердый раствор на основе железа, образует с железом карбид  $Fe_3C$  (цементит). Чугуны с таким фазовым составом имеют светлый излом, и поэтому их называют белыми. По химическому составу и структуре белые чугуны подразделяют на эвтектические (4,3% С), доэвтектические (менее 4,3% С) и заэвтектические (более 4,3% С).

### 2.4.1. Эвтектический белый чугун

С использованием диаграммы состояния системы железо – цементит проанализируем структурообразование эвтектического чугуна при кристаллизации расплава и последующих фазовых превращениях в твердом состоянии.

Эвтектический белый чугун кристаллизуется при эвтектической температуре изотермически с одновременным выделением двух фаз (аустенита и цементита) по реакции



Образующаяся смесь этих фаз (эвтектика) называется ледебуритом. Соотношение аустенита и цементита в ледебурите, согласно правилу рычага, равно примерно 50 : 50.

Структура ледебурита обычно состоит из хорошо выраженных эвтектических колоний (рис. 5б). Каждая эвтектическая колония в ледебурите – это двухфазный бикристалл, сросток двух разветвленных кристаллов цементита и аустенита. Каждая эвтектическая колония растет из одного центра.

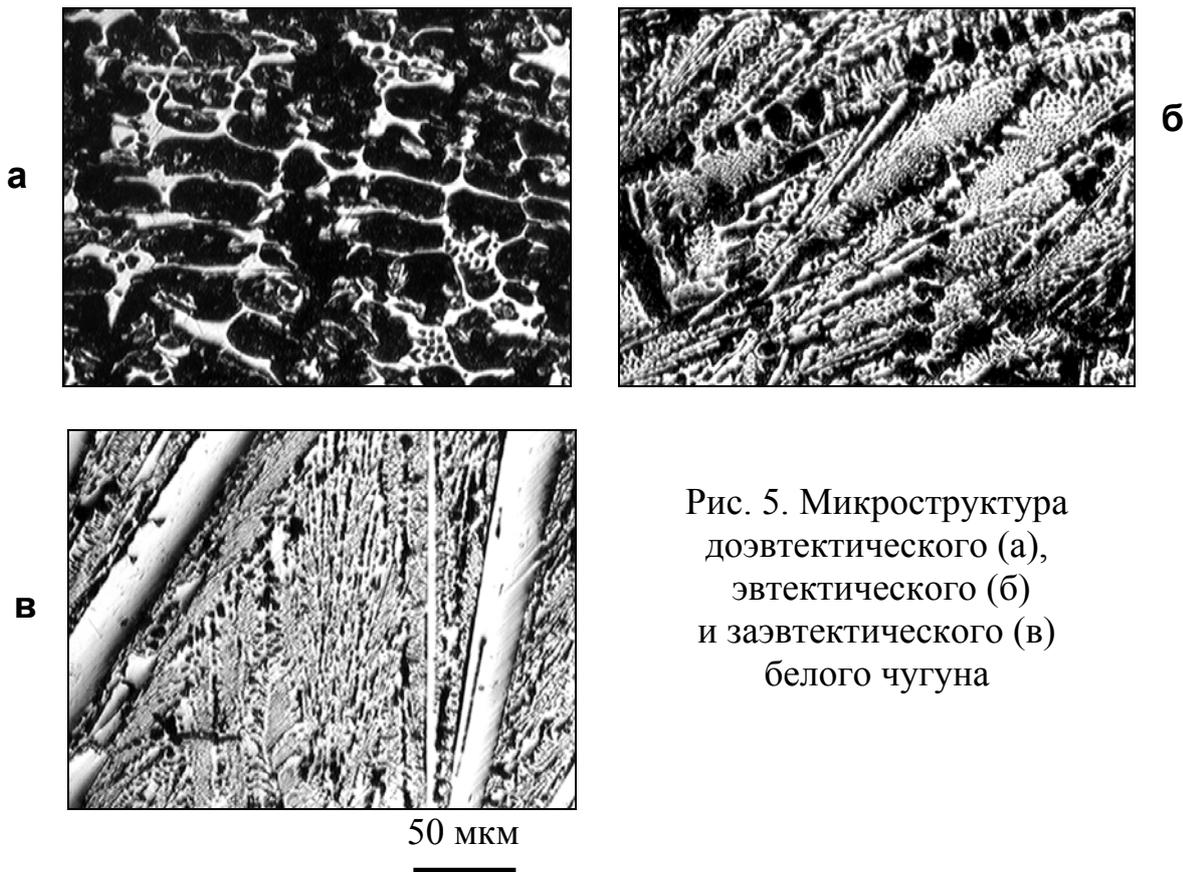


Рис. 5. Микроструктура доэвтектического (а), эвтектического (б) и заэвтектического (в) белого чугуна

При достижении температуры 727 °С аустенит в эвтектическом чугуне приобретает состав точки *S* (0,8 %С). При переохлаждении ниже этой температуры происходит эвтектоидный распад с образованием смеси феррита и

цементита, называемой перлитом. Теперь уже ледебурит состоит не из аустенита и цементита, а из перлита, образовавшегося на месте эвтектического аустенита, и цементита, который не претерпевает никаких превращений. Ледебурит по окончании эвтектической кристаллизации, состоящий из аустенита и цементита, можно условно обозначать как Л (А + Ц). Ледебурит после эвтектоидного (перлитного) превращения называют превращенным. Он состоит из перлита и эвтектического цементита, причем сам перлит состоит из феррита и эвтектоидного цементита. *Превращенный ледебурит* можно обозначать как  $L_{пр} [П (Ф + Ц) + Ц]$ .

При металлографическом анализе мы имеем дело только с превращенным ледебуритом. Двухфазное строение перлита в колониях превращенного ледебурита обычно при средних увеличениях не выявляется, и темные включения в превращенном ледебурите (см. рис. 5б) выглядят как принадлежащие одной фазе, хотя в действительности они являются эвтектоидной смесью феррита и цементита: П (Ф + Ц).

#### 2.4.2. Заэвтектические белые чугуны

Структурообразование заэвтектического белого чугуна отличается от рассмотренного структурообразования эвтектического чугуна только тем, что перед эвтектической кристаллизацией ледебурита при температурах ниже линии CD протекает кристаллизация первичного цементита. Первичный цементит кристаллизуется в форме пластин. Попадание пластины первичного цементита своей большой плоскостью в плоскость шлифа – это, естественно, чрезвычайно редкий случай. Произвольные сечения пластин первичного цементита на шлифе имеют вид узких светлых полос (рис. 5в).

Поскольку базовой фазой ледебуритной колонии является цементит, то колонии ледебурита зарождаются на кристаллах первичного цементита: цементит эвтектической колонии является продолжением кристалла первичного цементита.

После окончания эвтектической кристаллизации ледебурита Л (А + Ц) при охлаждении в твердом состоянии происходят те же процессы фазовых превращений, что и в эвтектическом белом чугуне.

При переохлаждении ниже температуры 727°C происходит эвтектоидный распад эвтектического аустенита с образованием перлита, двухфазное строение которого на шлифе обычно не выявляется.

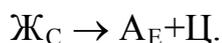
В результате всех рассмотренных процессов структурообразования заэвтектический белый чугун состоит из двух структурных составляющих: кристаллов первичного цементита  $Ц_1$  превращенного ледебурита  $L_{пр}[П(Ф+Ц)+Ц]$ . Здесь уместно подчеркнуть, что первичный цементит,

цементит эвтектического происхождения и цементит эвтектоидного происхождения – это одна и та же фаза с одинаковым химическим составом ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) и одинаковой структурой.

### 2.4.3. Доэвтектические белые чугуны

В доэвтектических белых чугунах кристаллизация сплава начинается с выделения аустенита из жидкого раствора:  $\text{Ж} \rightarrow \text{А}$ .

Первичный аустенит кристаллизуется в виде дендритов с округлыми ветвями. На рис. 5а большие темные округлые участки – это дендритные ячейки, являющиеся сечениями ветвей дендритов первичного аустенита. После первичной кристаллизации аустенита происходит эвтектическая кристаллизация ледебурита:



Колонии ледебурита зарождаются независимо от первичного аустенита, так как его кристаллы не являются базовой фазой для формирования этих колоний. Строение колоний ледебурита в доэвтектическом чугуне такое же, как и в эвтектическом.

По окончании выделения вторичного цементита внутри первичного аустенита и аустенита эвтектического происхождения происходит эвтектоидный распад:



Дендриты первичного аустенита, превратившиеся в перлит, сохраняют свои первоначальные очертания.

При комнатной температуре в доэвтектическом белом чугуне можно увидеть три структурные составляющие: перлит, вторичный цементит (часто не виден) и превращенный ледебурит.

В заключение следует заметить, что независимо от сочетания структурных составляющих как стали, так и белые чугуны при комнатной температуре состоят из одних и тех же двух фаз: феррита и цементита. В сталях цементит образуется только при превращениях в твердом состоянии (эвтектоидный распад аустенита, а также выделение вторичного цементита).

В белых чугунах цементит всегда образуется при кристаллизации расплава (при эвтектической кристаллизации ледебурита, а также в виде первичных кристаллов в заэвтектических чугунах). Поскольку в белых чугунах цементита больше, чем в сталях, и к тому же кристаллы цементита, образовавшиеся из расплава, более грубые, чем образовавшиеся из аустенита, то белые чугуны отличаются большой хрупкостью.

## 2.5. Серые чугуны

Высокоуглеродистой фазой в чугунах может быть не только цементит, но и графит. Если в структуре чугуна содержится графит, то излом имеет серый цвет, и такой чугун называют серым.

На нетравленном полированном шлифе графит обнаруживается в виде темных пластинок, расположенных в металлической основе чугуна. Пластинки графита могут быть различной величины и формы (рис. 6а). Механические свойства чугуна прежде всего зависят от формы и размеров выделений графита, так как пластинки графита действуют как надрезы, являясь концентраторами напряжений. Чугун лишен пластичности, относительное удлинение  $\delta$  почти равно нулю.

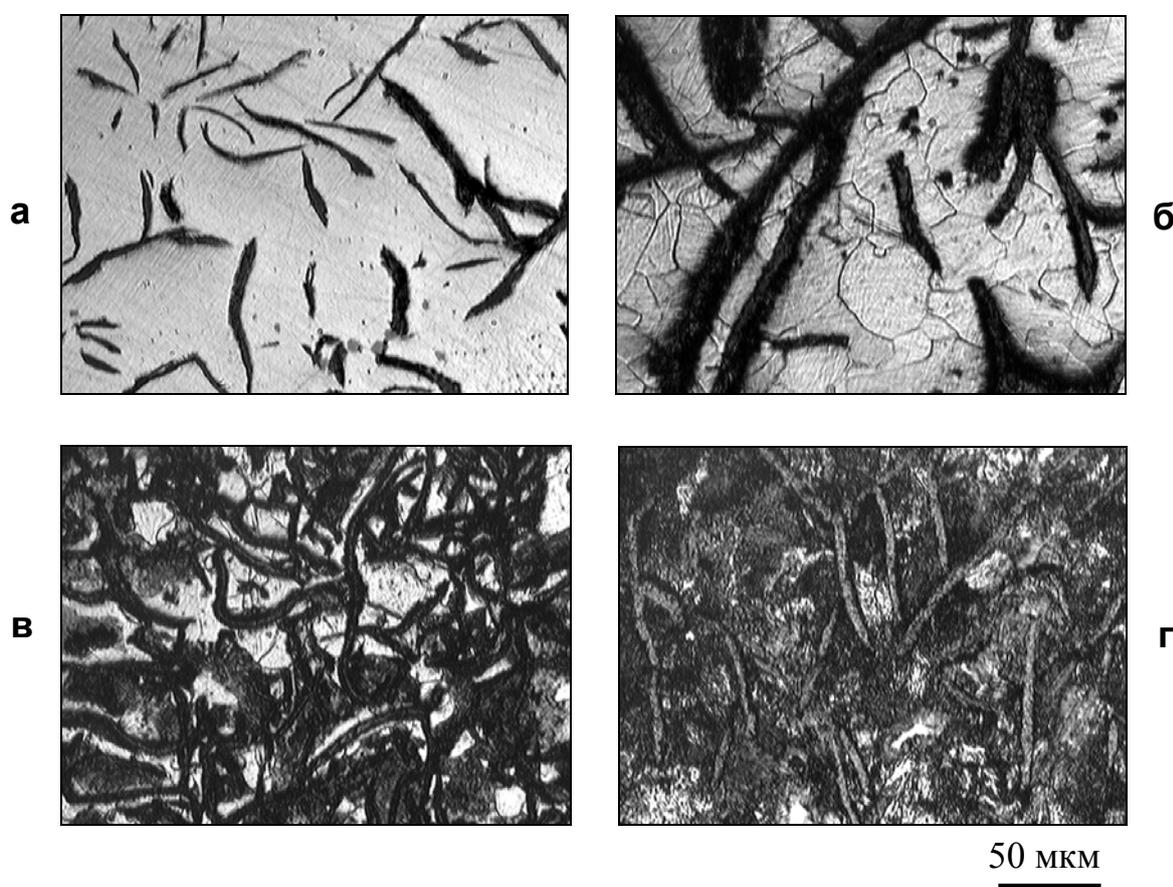


Рис. 6. Микроструктура серого чугуна: а – нетравленный шлиф; б – ферритный; в – ферритно-перлитный; г – перлитный

После травления серого чугуна выявляются различные структуры металлической основы в зависимости от того, насколько полно прошел процесс графитизации. По количеству связанного углерода возможны следующие типы структуры серых чугунов:

1. Ферритный. Структура – феррит и графит. Количество связанного

углерода практически равно нулю ( $C < 0,02\%$ ). На рис. 6б темные пластинки – графит, светлые зерна – феррит.

2. Ферритно-перлитный. Структура – феррит, перлит, графит. Количество связанного углерода меньше эвтектоидной концентрации ( $C = 0,02 \dots 0,8 \%$ ). На рис. 6в темные пластинки – графит, основное поле состоит из светлых участков феррита и темных участков пластинчатого перлита.

3. Перлитный. Структура – перлит и графит. Количество связанного углерода равно эвтектоидной концентрации ( $0,8 \%C$ ). На рис. 6г темные пластинки – графит, основное поле – пластинчатый перлит.

Механические свойства серого чугуна определяются металлической основой и размерами графитных включений. Наибольшей прочностью обладают чугуны с перлитной основой и мелкими включениями графита.

Марка серого чугуна состоит из букв СЧ (серый чугун) и цифры, показывающей уменьшенное в 10 раз значение (в мегапаскалях) временного сопротивления при растяжении  $\sigma_b$ , например, СЧ 10, СЧ 15, СЧ 25, СЧ 35. Серые чугуны предназначены для слабо - и средненагруженных деталей (крышки, фланцы, печная арматура и т. д.).

## 2.6. Высокопрочные чугуны

Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. Их получают модифицированием магнием, который вводят в жидкий чугун в количестве  $0,02 \dots 0,08 \%$ . По микроструктуре металлической основы высокопрочные чугуны могут быть ферритные, ферритно - перлитные и перлитные (рис. 7).

Шаровидный графит – менее сильный концентратор напряжений, чем пластинчатый, поэтому он меньше снижает механические свойства металлической основы. Чугуны с шаровидным графитом обладают более высокой прочностью и некоторой пластичностью. Марка высокопрочного чугуна состоит из букв ВЧ и числа, обозначающего уменьшенное в 10 раз значение его временного сопротивления при растяжении  $\sigma_b$ . Например: ВЧ 35, ВЧ 45, ВЧ 60, ВЧ 80, ВЧ 100.

Высокопрочные чугуны применяют в различных отраслях техники, эффективно заменяя сталь во многих изделиях и конструкциях: коленчатых валах, поршнях и других деталях машин.

## 2.7. Чугуны с вермикулярным графитом

В чугунах с вермикулярным графитом структура формируется под действием комплексного модификатора, содержащего магний и редкоземельные металлы. Графит приобретает шаровидную (до 40 %) и

вермикулярную – в виде мелких тонких прожилок – форму.

Чугуны с вермикулярным графитом производят четырех марок: ЧВГ 30, ЧВГ 35, ЧВГ 40, ЧВГ 45. Число в марке обозначает уменьшенное в 10 раз значение временного сопротивления. По механическим свойствам чугуны с вермикулярным графитом занимают промежуточное положение между серыми и высокопрочными чугунами.

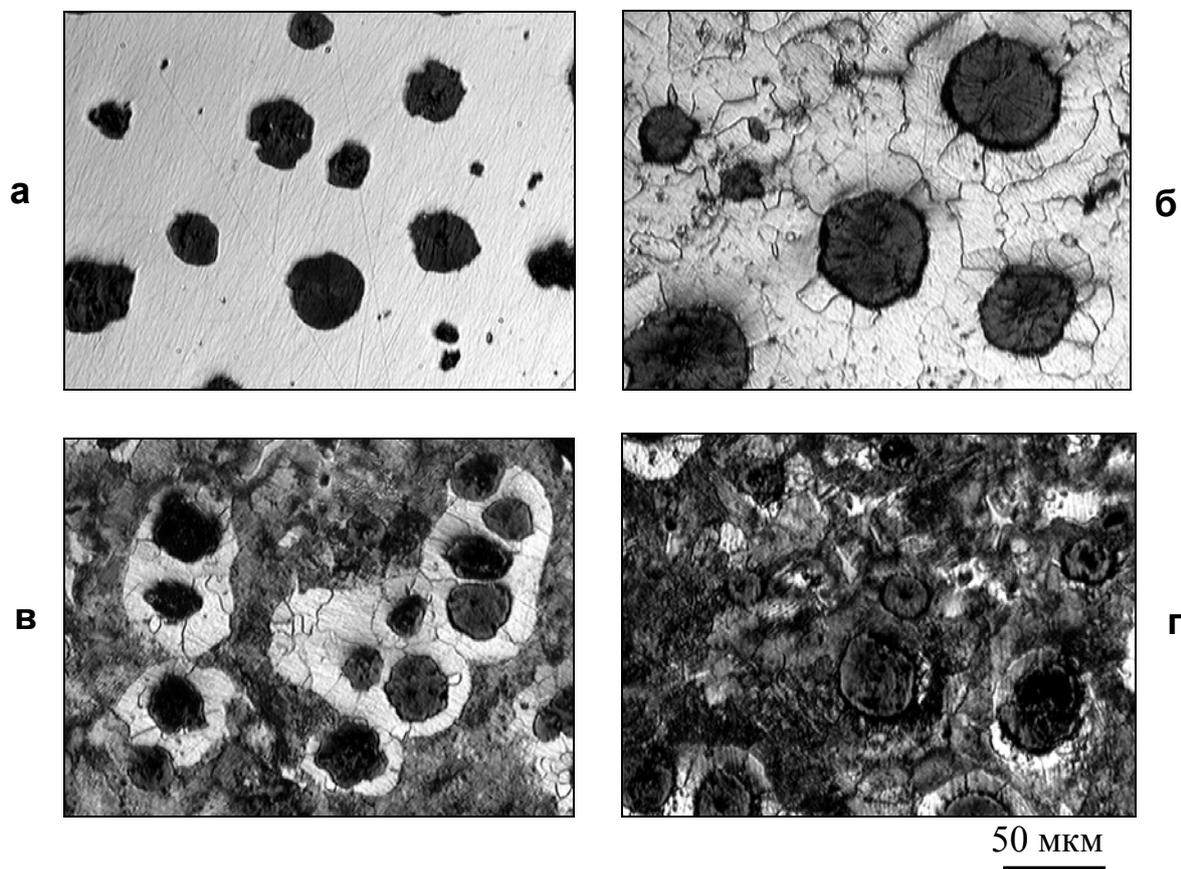


Рис. 7. Микроструктура высокопрочного чугуна: а – нетравленный шлиф, б – ферритный, в – ферритно - перлитный, г – перлитный

## 2.8. Ковкие чугуны

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают продолжительным отжигом (70 ... 80 ч) белых доэвтектических чугунов. По структуре металлической основы, которая определяется режимом отжига, ковкие чугуны бывают ферритными, ферритно-перлитными и перлитными (рис. 8).

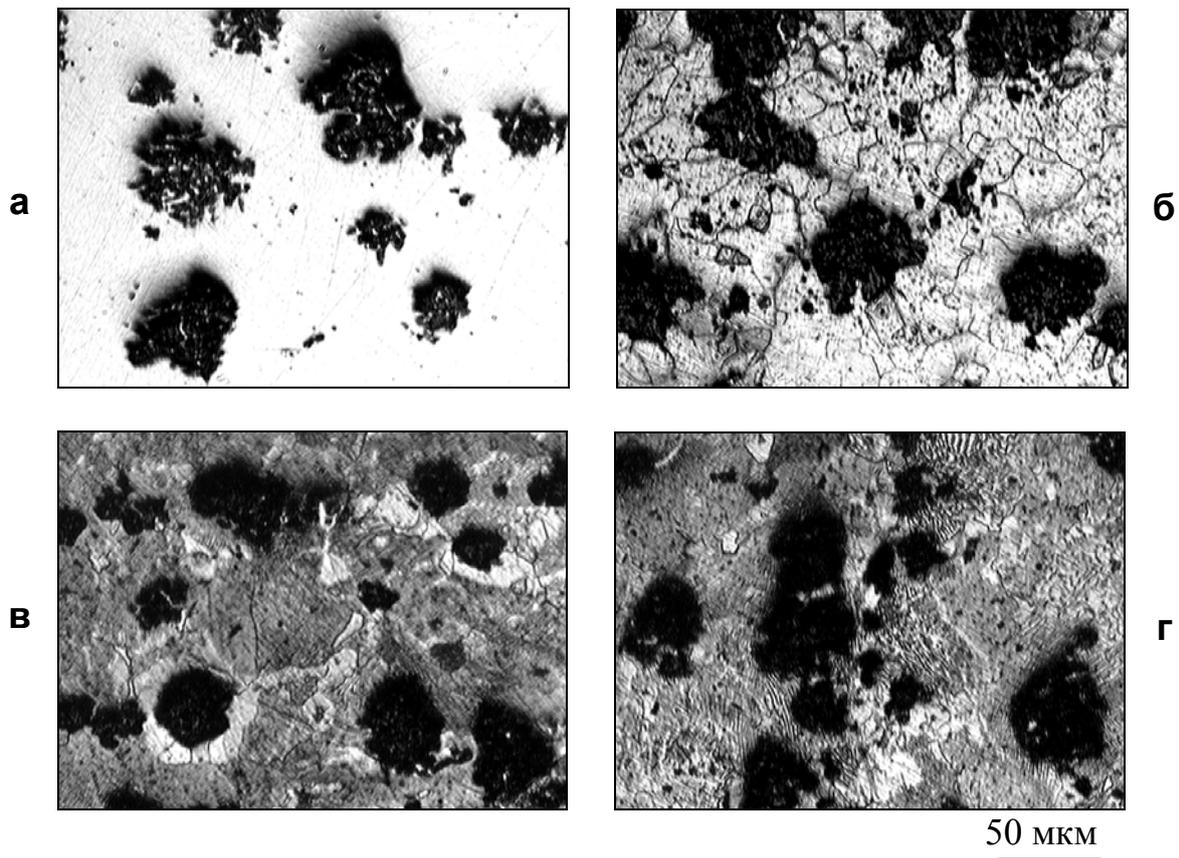


Рис. 8. Микроструктура ковкого чугуна:

а – нетравленный шлиф, б – ферритный, в – ферритно-перлитный, г – перлитный

Маркируют ковкие чугуны буквами КЧ и числами, первое из которых указывает уменьшенное в 10 раз значение  $\sigma_v$ , второе – значение относительного удлинения  $\delta, \%$ . Например, КЧ 30 – 6, КЧ 35 – 8, КЧ 37 – 12, КЧ 45 – 7, КЧ 60 – 3, КЧ 80 – 1,5.

Из них изготавливают детали высокой прочности, работающие в тяжелых условиях износа, способные воспринимать ударные и знакопеременные нагрузки, детали водо- и газопроводных установок.

### 3. Порядок проведения работы

1. Начертить диаграмму состояния системы железо – цементит с обозначениями фазовых областей.
2. Просмотреть набор приготовленных шлифов углеродистых сталей и чугунов при увеличении 250 – 500 раз с помощью оптического микроскопа.
3. Шлиф эвтектоидной стали для выявления строения перлита просмотреть при увеличении не менее, чем в 500 раз.

4. Используя атлас микроструктур (в виде альбома или в электронной форме на компьютере), схематично зарисовать изученные микроструктуры сталей и чугунов, заполнив таблицы 4, 5, 6, 7.

5. По микроструктурам стали определить содержание углерода и марку сплава (табл. 4)

Таблица 4. Микроструктура углеродистых сталей

Наименование сплава	Структурные составляющие	Микроструктура (зарисовка)	Площадь, занимаемая перлитом	Примерное содержание углерода	Марка	Примерное назначение
Техническое железо						
Доэвтектоидная сталь низкоуглеродистая						
Доэвтектоидная сталь среднеуглеродистая						
Доэвтектоидная сталь высокоуглеродистая						
Эвтектоидная сталь (перлит пластинчатый)						
Эвтектоидная сталь (перлит зернистый)						
Заэвтектоидная сталь						

Таблица 5. Микроструктура белых чугунов

Наименование чугуна	Микроструктура	Структурные составляющие
Доэвтектический белый чугун		
Эвтектический белый чугун		
Заэвтектический белый чугун		

Таблица 6. Форма графита в чугунах

Наименование чугуна	Форма графита (название)	Микроструктура (зарисовка)
Серый чугун (СЧ)		
Ковкий чугун (КЧ)		
Высокопрочный чугун (ВЧ)		

Таблица 7. Металлическая основа в чугунах

Наименование чугуна	Структурные составляющие	Микроструктура (зарисовка)	Марка	Примерное назначение
СЧ с Ф основой				
СЧ с Ф-П основой				
СЧ с П основой				
КЧ с Ф основой				
КЧ с Ф-П основой				
КЧ с П основой				
ВЧ с Ф основой				
ВЧ с Ф-П основой				
ВЧ с П основой				

#### 4. Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Основные теоретические положения: диаграмма  $Fe - Fe_3C$ , компоненты и фазы в системе железо – углерод. Характерные точки и линии превращений по диаграмме железо – цементит. Классификация сталей и чугунов по микроструктуре.
3. Обработка результатов (заполнение таблиц 4, 5, 6, 7).
4. Выводы по работе.

## 5. Контрольные вопросы

1. Какие сплавы относятся к сталям?
2. Как классифицируют углеродистые стали?
3. Какова предельная растворимость углерода в  $\alpha$ -Fe и  $\gamma$ -Fe?
4. Какой процесс протекает в сталях при переохлаждении аустенита ниже температуры 727 °С?
5. Что такое перлит, феррит, аустенит, цементит, ледебурит?
6. Сколько углерода содержит эвтектоидная сталь ?
7. Какие структурные составляющие имеет доэвтектоидная сталь при комнатной температуре?
8. Какие структурные составляющие имеет заэвтектоидная сталь?
9. Как по микроструктуре отличить доэвтектоидную сталь от заэвтектоидной?
10. По какой формуле определяют содержание углерода в отожженной углеродистой стали?
11. В каких пределах может изменяться количество феррита в доэвтектоидных сталях разного состава?
12. Из каких фаз состоит заэвтектический серый чугун?
13. Как отличить по микроструктуре заэвтектический белый чугун от доэвтектического?
14. Какие структурные составляющие можно наблюдать в доэвтектическом белом чугуне при комнатной температуре?
15. Характеристика серых, ковких, высокопрочных и вермикулярных чугунов (структура, свойства, маркировка, область применения).
16. Какова температура плавления эвтектического белого чугуна?
17. Какое превращение происходит в железоуглеродистых сплавах при эвтектической температуре?
18. Как маркируют железоуглеродистые сплавы?

## 6. Рекомендуемая литература

1. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. Материаловедение: Учебник. 3 - е изд. М.: Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 648 с.
2. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин. М.: Высшая школа, 2000. 638 с.

## **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
«МИКРОСТРУКТУРА СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ»  
для студентов технических специальностей

Составители: Л.Е. Афанасьева, Л.В. Давыденко

Редактор Е.В. Маняшина

Корректор

Технический редактор Г.В. Комарова

---

Подписано в печать	Формат 60x84/16	Бумага писчая
Физ. печ. л.	Усл.- печ. л.	Уч.-изд. л.
Тираж 100 экз.	Заказ №	Цена

---

Издательство ТГТУ