

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Набережночелнинский институт (филиал)

**МИКРОСТРУКТУРА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В
РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ**

Методические указания

*к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Материаловедение»*

Набережные Челны
2019

УДК 669.14.018 (075.8)

Микроструктура углеродистых сталей в равновесном состоянии: Методические указания по дисциплине «Материаловедение» / Составители: **В.И. Астащенко, Г.Ф. Мухаметзянова, О.К. Абдуллина** – Набережные Челны: НЧИ (ф) КФУ, 2019. – 15с.

В данной работе рассматриваются структуры сталей в равновесном состоянии в зависимости от содержания в них углерода. Приведена классификация углеродистых сталей по диаграмме “железо – углерод”, характеризуются фазовые составляющие. Сформулированы цель работы, задание и контрольные вопросы. Для самоконтроля знаний приводятся задания для самостоятельной работы студентов. Работа предназначена для студентов машиностроительных, автомеханических специальностей и технических направлений бакалавриата очной, заочной и дистанционной форм обучения.

Рецензент: д. т. н. **М. С. Колесников.**

Печатается в соответствии с решением научно-методического совета Набережночелнинского института (филиала) Казанского Федерального Университета

© НЧИ (ф) КФУ
2019 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

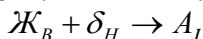
МИКРОСТРУКТУРА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

Цель работы: Изучить микроструктуры углеродистых сталей с различным содержанием углерода, установить связь между структурами в отожженном состоянии и диаграммой состояния системы «железо – углерод».

Приборы, инструмент и материалы: Металлографический микроскоп, циркуль, линейка, набор микрошлифов углеродистых сталей.

Микроструктура углеродистых сталей для равновесных условий характеризуется нижней левой частью диаграммы состояния “железо-углерод” (рис. 1). Указанная диаграмма показывает фазовый состав и структуру сплавов с концентрацией от чистого железа до цементита Fe_3C (6,67% углерода). На диаграмме Fe – Fe_3C показаны характерные точки и линии. Линия ABCD (линия ликвидус) показывает температуру начала кристаллизации из жидкого сплава кристаллов твердой фазы. Линия ANJEF (линия солидус) является температурной границей, ниже которой сплавы находятся только в твёрдом состоянии.

Характерными линиями являются также линия HJB, ECF и PSK. При температуре (1499⁰C) (линия HJB) в сплавах протекает перитектическая реакция с образованием аустенита, состав которого по углероду соответствует точке «J».

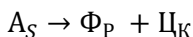


При температуре 1147⁰C (линия ECF) в процессе охлаждения в сплавах протекает эвтектическая реакция с образованием ледебурита (Л) - смеси состоящей из аустенита (А) и цементита (Ц).



Ледебурит

Линия PSK – линия эвтектоидного превращения, которая при охлаждении соответствует распаду аустенита с образованием эвтектоида – феррито - цементитной структуры, получившей название перлит.



Перлит

По диаграмме состояния «Fe – Fe₃C» сплавы с содержанием до 0,02%С называются техническим железом, от 0,02 до 0,8%С – доэвтектоидными сталями, с содержанием углерода 0,8% - эвтектоидными и от 0,8 до 2,14%С – заэвтектоидными.

Фазовыми и структурными составляющими железа и углеродистых сталей является феррит, аустенит, цементит и перлит.

ФЕРРИТ – твердый раствор углерода в альфа-железе. Растворяет незначительное количество углерода. Растворимость углерода в феррите переменная (линия PQ). При температуре 727°С в альфа-железе растворяется 0,02%С, а с понижением температуры растворимость его уменьшается до тысячных долей процента – 0,006%С. Кристаллическая решетка – ОЦК – кубическая объемно-центрированная. Феррит – мягкая (НВ 80), пластичная составляющая сталей. Под микроскопом она обычно имеет вид светлых зерен неправильной, преимущественно округлой формы с тонкими темными границами. Окраска зерен может быть различной. Одни выглядят более светлыми, а другие более темными, что объясняется различной кристаллографической ориентировкой осей зерен к плоскости микрошлифа. Поэтому зерна неодинаково отражают световые лучи (рис. 2).

ЦЕМЕНТИТ – химическое соединение железа с углеродом, имеет химическую формулу Fe₃C. Образуется при содержании углерода 6,67%. Цементит тверд (НВ 800) и хрупок, слабо травится кислотами. При обычном травлении цементит, подобно ферриту, под микроскопом имеет светлый цвет. Но цементит более устойчив против кислот по сравнению с ферритом, поэтому он всегда возвышается над

окружающим ферритом. И даже при сильном травлении поверхность цементита сохраняется гладкой и блестящей. Ферритные же зерна, из-за разъедания кислотой, становятся “шероховатыми” и частично окрашиваются.

Отличить цементит от феррита можно специальным травлением нитратом натрия. Он окрашивает цементит в черный цвет, феррит же остается светлым. Различают первичный цементит, выделяющийся из жидкой фазы, вторичный цементит, который выпадает с понижением температуры из аустенита (линия SE), вследствие переменной растворимости в нем углерода, и третичный цементит, выделяющийся из феррита (линия PQ), из-за снижения растворимости углерода в альфа-железе.

ПЕРЛИТ – механическая смесь феррита с цементитом (эвтектоид). Образуется при распаде аустенита с 0,8%С на линии перлитного превращения диаграммы (A_1). Цементит в перлите может располагаться в форме пластинок из зерен, поэтому различают пластинчатый (рис. 4а) или зернистый перлит (рис. 4б). Зернистый перлит получают в результате специального сфероидизирующего отжига углеродистых сталей. Перлит пластинчатый состоит из последовательно чередующихся пластинок феррита и цементита. После обычного травления на микрошлифе образуются микрорельеф из-за большой кислотоустойчивости цементита. Поэтому падающий в микроскопе на микрошлиф свет будет давать тени от выступов цементных пластинок на углубленные места (ферритные пластины). На микроструктуре пластинчатого перлита общей светлый фон – феррит, выступающие пластины – цементит, светлые места – тени. В зависимости от скорости охлаждения при отжиге дисперсность пластинок феррита и цементита в перлите может быть разной. Поэтому по степени дисперсности феррито-карбидной смеси различают ГРУБЫЙ, СРЕДНИЙ и ТОНКИЙ перлит. Средний и тонкий перлит называют, соответственно, СОРБИТОМ и ТРООСТИТОМ. Они образуются при больших скоростях охлаждения, чем перлит. Структуры сорбита и троостита

плохо разрешаются под микроскопом при обычных увеличениях.

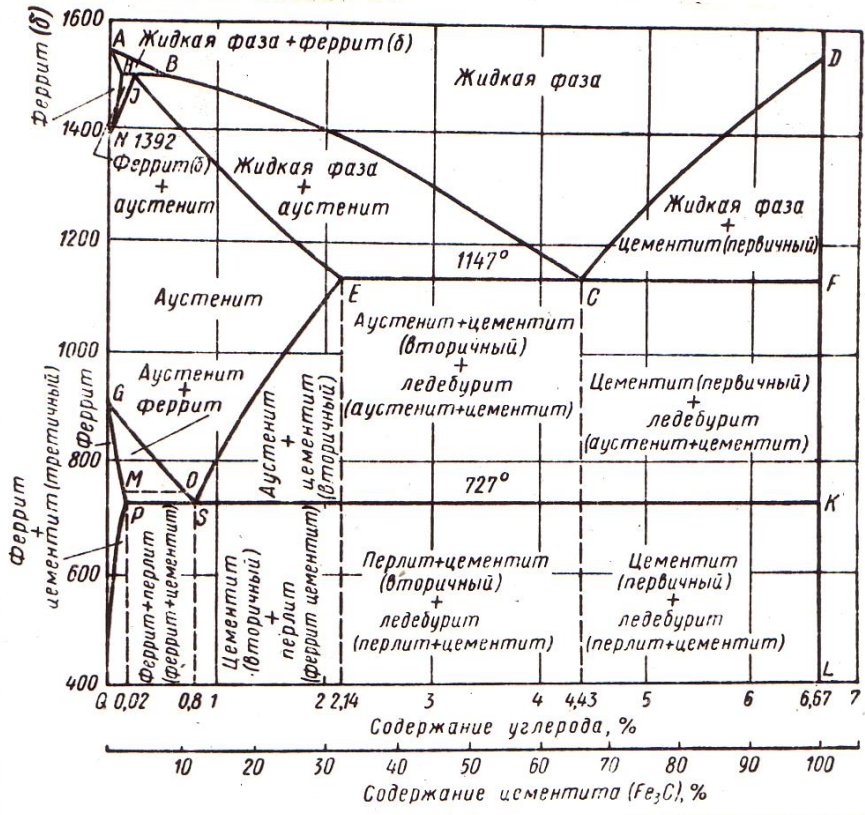


Рис. 1. – Диаграмма состояния “железо – углерод”

ДОЭВТЕКТОИДНЫЕ СТАЛИ

Микроструктура доэвтектоидных сталей (до 0,8%С) состоит из феррита и перлита (рис. 3). По мере увеличения содержания углерода в стали количество перлита возрастает, а феррита уменьшается. Поэтому по микроструктуре доэвтектоидной стали можно ориентировочно определить содержания в ней углерода. Для этого необходимо определить площадь в процентах, занимаемую ферритом и перлитом.

В связи с малой растворимостью углерода в феррите, практически можно допустить, что весь углерод в доэвтектоидной стали находится в перлите. Отсюда, содержание углерода “С” стали можно определить по

формуле:

$$C = \frac{P \times 0,8}{100} \%$$

где: P – площадь, занимаемая перлитом, %.

0,8 – содержание углерода в перлите, %.

Например, предположим, что 40% всей площади микрошлифа, видимой под микроскопом, занято ферритом, а 60% - перлитом. Такая сталь содержит углерода:

$$C = \frac{60 \times 0,8}{100} = 0,48\%$$

ЭВТЕКТОИДНЫЕ СТАЛИ

В эвтектоидных сталях содержится 0,8%С. В отожженном состоянии имеют однородную перлитную структуру (рис. 4). Первичная кристаллизация этих сталей заканчивается образованием аустенита и выше критической точки A_1 (727⁰С) эвтектоидные стали полностью состоят из аустенита.

АУСТЕНИТ – твердый раствор внедрения углерода в гамма-железе. Кристаллическая решетка – ГЦК– кубическая гранцентрированная. Предельная растворимость углерода в аустените равна 2.14% (при 1147⁰С). Аустенит парамагнитен.

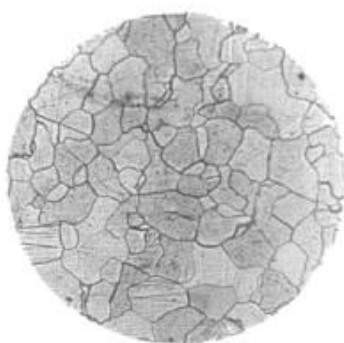
ЗАЭВТЕКТОИДНЫЕ СТАЛИ

Стали, содержащие углерода от 0,8 до 2,14%, называются заэвтектоидными. Их структура состоит из перлита и вторичного цементита (рис. 5). Вторичный цементит выделяется из аустенита при охлаждении стали от линии ES до линии PSK (727°C), вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените с понижением температуры.

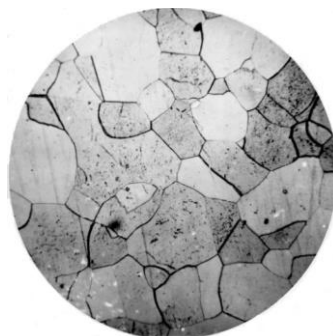
Вторичный цементит может располагаться в виде светлой (при обычном травлении) сетки вокруг перлитных зерен или в виде отдельных включений в зависимости от условий нагрева и охлаждения. При перегреве выше критической точки A_3 в процессе отжига и последующем медленном охлаждении вторичный цементит выделяется в виде сетки по границам зерен. Чем больше углерода в заэвтектоидной стали, тем более толстой получается цементитная сетка. При незначительном перегреве выше A_1 и несколько ускоренном охлаждении после выдержки образуется зернистый цементит.

Контрольное задание

1. Изучить микроструктуры углеродистых сталей (доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной) по подготовленным микрошлифам.
2. Результаты микроанализа оформить в виде протокола.
3. Определить по площади перлита содержание углерода в доэвтектоидной стали; по содержанию углерода определить марку стали.
4. Вычертить «стальную» часть диаграммы «железо – углерод». Построить кривые охлаждения для заданных сплавов с содержанием углерода (табл. 1.), с описанием процессов превращений, происходящих в них при охлаждении. Проверить правильность построения кривых по правилу фаз.
5. В соответствии с п.п 1 – 4 подготовить письменный отчет.



а)



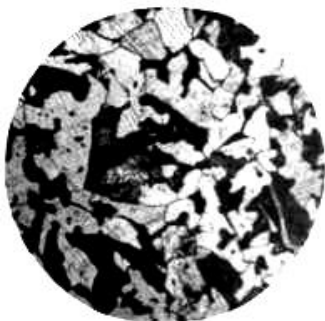
б)

Рис.2 – Микроструктура технического железа, $\times 340$:

а) техническое железо до 0,006% С, феррит;

б) техническое железо от 0,006% до 0,02% С,

феррит + цементит_{III}



а)



б)

Рис.3 - Микроструктуры доэвтектоидной стали, $\times 340$:

феррит + перлит.



а)



б)

Рис.4 – Микроструктуры эвтектоидной стали, $\times 340$:

а) 0,8% С, перлит пластинчатый;

б) 0,8% С, перлит зернистый.



Рис.5 – Микроструктура заэвтектоидной стали, $\times 340$:

перлит + цементит_{II} (в виде сетки).

Протокол микроанализа стали

п/ п	Наименование и марка стали	Содержание углерода, %	Микроструктура	
			Зарисовка	Наименование
1	2	3	4	5

Примечание

Микроструктуры зарисовывать в квадратах размером 40x40 мм либо в кругах диаметром 30 - 40 мм. При зарисовке микроструктур уловить характерные особенности их и отразить на рисунке. Допускается схематическое изображение микроструктур. Все структурные составляющие сталей указать стрелками, названия их вынести в графу 5 протокола.

Контрольные вопросы

1. Определение сталей.
2. Классификация сталей по диаграмме “железо-углерод”.
3. Определение основных фаз системы – феррит, аустенит, цементит. Определение перлита.
4. Методика определения содержания углерода по микроструктуре в доэвтектоидной стали.
5. Сущность полиморфных превращений железа.
6. Проанализировать характер превращений в системе железо-углерод при нагреве и охлаждении с применением правила фаз для сплавов, указанных в таблице 1.
7. Проиллюстрировать применение правила отрезков на диаграмме «железо – углерод».

Таблица 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,5	0,8	0,1	0,14	0,16	0,3	0,35	0,4	0,45	1,3	1,8	0,95	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,5	0,8	1,7	1,6	0,6	0,50	0,40	0,45	0,35	0,3	0,16	0,25	0,1	0,8	0,05

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

для самопроверки

1. Каково максимальное (теоретически) содержание углерода в сталях (в %):

1. 6,67;
2. 0,8;
3. 2,14;
4. 1,2;
5. 4,3.

2. Какова основная *структурная* составляющая углеродистых сталей в равновесном (отожженном) состоянии при комнатной температуре:

1. феррит;
2. цементит;
3. перлит;
4. аустенит;
5. ледебурит.

3. Какова концентрация углерода (%) в доэвтектоидной стали, если площадь перлита составляет 50%:

1. 0,3;
2. 0,2;
3. 0,8;
4. 0,4;
5. 0,7.

4. Химическое соединение железа с углеродом называется:

1. феррит;
2. аустенит;
3. перлит;
4. цементит;
5. ледебурит.

5. Укажите все кристаллические *фазы*, присутствующие в железоуглеродистых сплавах:

1. перлит;
2. феррит;
3. цементит;
4. ледебурит;
5. аустенит.

6. Твердый раствор внедрения углерода в гамма-железе называется:

1. ледебурит;
2. аустенит;
3. перлит;
4. цементит;
5. феррит.

7. Механическая смесь феррита и вторичного цементита называется:

1. цементит;
2. аустенит;
3. перлит;
4. ледебурит;
5. феррит.

8. Твердый раствор внедрения углерода в альфа-железе называется:

1. ледебурит;
2. аустенит;
3. перлит;
4. цементит;
5. феррит.

9. С увеличением концентрации углерода твердость стали...

1. не изменяется;
2. уменьшается;
3. увеличивается;
4. сначала увеличивается, затем уменьшается;
5. сначала уменьшается, затем увеличивается.

10. Какова концентрация углерода (%) в эвтектоидной углеродистой стали в равновесном (отожженном) состоянии при комнатной температуре:

1. 6,67;
2. 4,3;
3. 2,14;
4. 1,5;
5. 0,8.

Литература

Основная:

1. Тарасенко Л. В. Материаловедение: учебное пособие для вузов / Л. В. Тарасенко, С. А. Пахомова и др.; под ред. Л. В. Тарасенко. - Москва: НИЦ Инфра-М, 2012. - 475 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-004868-0. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=257400>.

2. Материаловедение и технология материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / под ред. А.И. Батышева, А.А. Смолькина. - Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 288 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - В пер. - ISBN 978-5-16-004821-5. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=397679>.

3. Токмин А. М. Выбор материалов и технологий в машиностроении [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.М. Токмин, В. И. Темных, Л. А. Свечникова. - Москва: НИЦ ИНФРА-М; Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013. - 235 с. - В пер.- ISBN 978-5-16-006377-5. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=374609>.

Дополнительная:

4. Стуканов В. А. Материаловедение: учебное пособие [Электронный ресурс] / В. А. Стуканов. - Москва: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.: ил. - В пер. - ISBN 978-5-8199-0352-0. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=430337>.

5. Горохов В. А. Материалы и их технологии: В 2 ч.: учебник [Электронный ресурс] / В. А. Горохов, Н. В. Беляков, А. Г. Схиртладзе; под ред. В. А. Горохова. - Москва: НИЦ ИНФРА-М; Минск: Новое знание, 2014. Ч. 1. - 589 с.- (Высшее образование). - В пер.- ISBN 978-5-16-009531-8. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=446097>.

6. Тимофеев В. Л. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Л. Тимофеев, В. П. Глухов и др.; под общ. ред. В. Л. Тимофеева. - 3-е изд., испр. И доп. - Москва: ИНФРА-М, 2011. - 272 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-004749-2. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=220150>.

