

Методические указания к лабораторной работе № 2

Изучение диаграммы железо-углерод

Дисциплина Материаловедение »

Цель работы

1. Ознакомиться с диаграммой состояния железоуглеродистых сплавов и изучить природу превращений в углеродистых сталях при медленном непрерывном охлаждении.
2. Изучить микроструктуру углеродистых сталей в равновесном состоянии.
3. Изучить влияние содержания углерода на механические свойства медленно-охлажденных сталей.

I. Основные сведения

Диаграмма состояния — графическое изображение, показывающее фазовый состав сплавов в зависимости от температуры и концентрации химических элементов в условиях равновесия.

Диаграмма железо-углерод, как ясно из названия, должна распространяться от железа до углерода. Железо образует с углеродом химическое соединение – цементит Fe_3C . Следовательно, компонентами данной диаграммы можно считать железо и цементит.

Принципиально важным для железо-углеродистых сплавов является то, что основной компонент - железо существует в двух аллотропических модификациях: объемноцентрированного куба ($Fe\alpha$ - ОЦК) и гранецентрированного куба ($Fe\gamma$ - ГЦК).

Обычно железо никогда не бывает абсолютно чистым, оно всегда содержит примеси. В настоящее время можно получить железо высокой чистоты, минуя доменную плавку, - железо прямого восстановления (примеси ~0, 01%), но чаще используют техническое железо (армко железо), которое

содержит ~ 99,8-99,9% железа и 0,1-0,2% примесей. Железо имеет высокую температуру плавления – 1539° С 5° С.

В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях. Полиморфные превращения происходят при температурах 911° С и 1392° С.

При температуре ниже 911°C существует Fe_{α} с объемно-центрированной кубической решеткой. В интервале температур $911\text{...}1392^{\circ}\text{C}$ устойчивым является Fe_{γ} с гранецентрированной кубической решеткой. Выше 1392°C железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку и называется Fe_{δ} или высокотемпературное Fe_{α} . Высокотемпературная модификация Fe_{α} не представляет собой новой аллотропической формы.

При температуре ниже 768°C железо ферромагнитно, а выше – парамагнитно (немагнитно). Точка Кюри железа 768°C обозначается A_2 .

Железо технической чистоты обладает невысокой твердостью (80 НВ) и прочностью (предел прочности – $\sigma_B = 250\text{МПа}$, предел текучести – $\sigma_T = 120\text{МПа}$) и высокими характеристиками пластичности (относительное удлинение – $\delta = 50\%$, а относительное сужение – $\psi = 80\%$). Свойства могут изменяться в некоторых пределах в зависимости от величины зерна.

Железо характеризуется высоким модулем упругости, наличие которого проявляется и в сплавах на его основе, обеспечивая высокую жесткость деталей из этих сплавов.

Железо со многими элементами образует растворы: с металлами – растворы замещения, с углеродом, азотом и водородом – растворы внедрения.

Цементит – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа Fe_3C), содержит 6,67 % углерода. Температура плавления цементита точно не установлена ($1250\text{-}1550^{\circ}\text{C}$). При низких температурах цементит слабо ферромагнитен, магнитные свойства теряет при температуре около 217°C .

Цементит имеет высокую твердость (более 800 НВ, легко царапает стекло), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность. Такие свойства являются следствием сложного строения кристаллической решетки.

В зависимости от содержания углерода железо-углеродистые сплавы делятся на два класса: стали и чугуны.

На диаграмме состояния железо–углерод (рис. 1) сплавы, относящиеся к сталям, расположены в интервале концентраций углерода до 2,14 %, т.е. левее точки E. Чугуны имеют в своем составе от 2,14 до 6,67% углерода. При

температурах ниже 727 °С все отожженные углеродистые стали состоят из двух фаз – феррита и цементита.

В зависимости от содержания углерода и структуры сталей различают:

- техническое железо - сплавы, содержащие до 0,02% углерода.
- доэвтектоидные стали - сплавы, содержащие от 0,02 до 0,8% углерода,
- эвтектоидные стали - сплавы, содержащие 0,8% углерода,
- заэвтектоидные стали - сплавы, содержащие от 0,8 до 2,14% углерода.

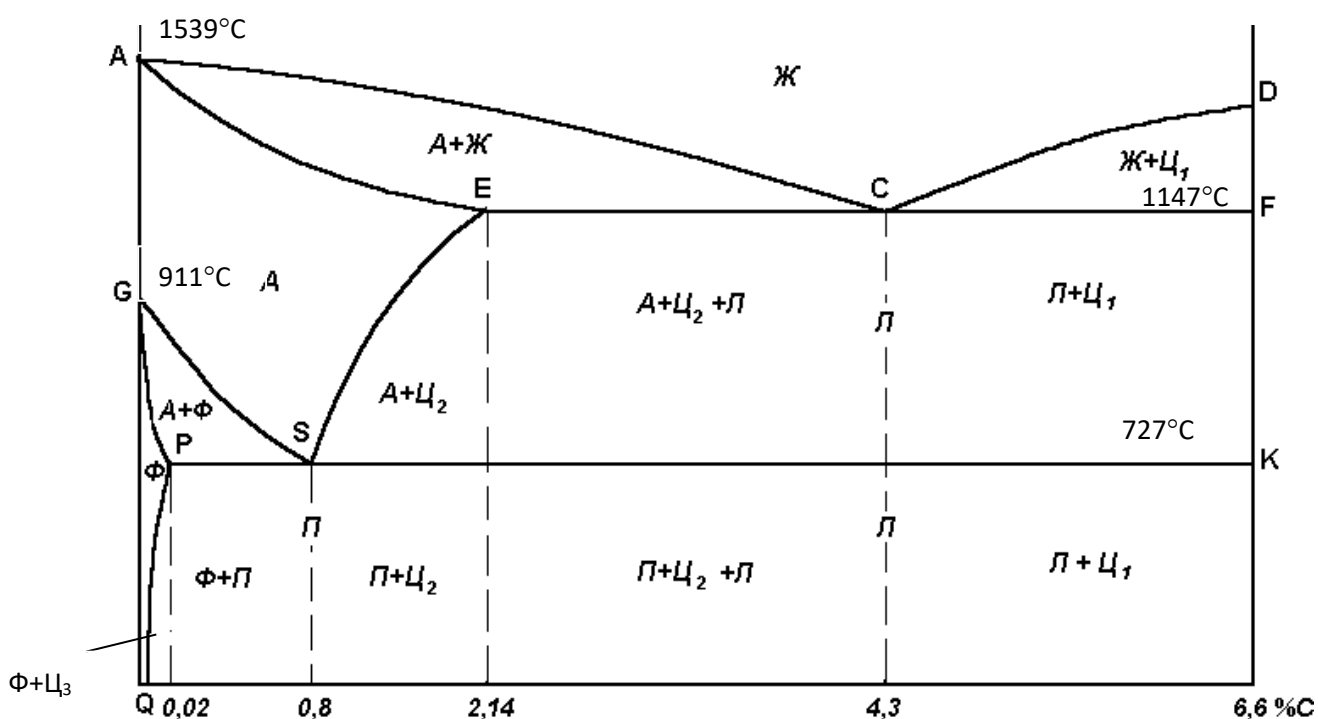


Рис. 1. Диаграмма железо-углерод

В системе железо – углерод существуют следующие фазы: жидкая фаза, феррит, аустенит, цементит.

1. Жидкая фаза представляет собой неограниченный раствор железа и углерода, распространяющийся выше линии ликвидус ACD – от 0 до 6,67 %С. В жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях с образованием однородной жидкой фазы.

2. Твердые растворы. В данной системе имеются твердые растворы железа с углеродом на основе двух кристаллических модификаций железа. Они являются твердыми растворами внедрения, т.е. атомы железа занимают узлы пространственной решетки, а атомы углерода размещаются в междуузлиях.

Феррит – твердый раствор внедрения углерода в α -железо. В феррите сохраняется кристаллическая решетка α -железа – объемно-центрированный куб. Феррит занимает на диаграмме узкую область, примыкающую к железу QPG, имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,006 % при комнатной температуре (точка Q), максимальную – 0,025 % при температуре 727° C (точка P). Углерод располагается в дефектах решетки.

Свойства феррита близки к свойствам железа. Твердость феррита около 800–1000 МПа, предел прочности σ_B 250 МПа; σ_T 120 МПа, относительное удлинение (δ) до 50 %, а поперечное сужение φ – до 80 %. До температуры 768° C феррит ферромагнитен, выше – парамагнитен.

Аустенит – твердый раствор внедрения углерода в γ -железо. Значительно большую область на диаграмме железо-углерод занимает твердый раствор углерода в γ -железе с ГЦК-решеткой, который называется аустенитом. Углерод занимает место в центре гранецентрированной кубической ячейки.

Аустенит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,8 % при температуре 727° C (точка S), максимальную – 2,14 % при температуре 1147° C (точка E).

Аустенит имеет твердость 1700 – 2000 МПа (200...250 HB), σ_B 50 – 80 МПа, пластичен (относительное удлинение – $\delta = 40...50\%$). При растворении в аустените других элементов могут изменяться свойства и температурные границы существования.

3. Цементит – характеристика дана выше.

В результате фазовых превращений в твердом состоянии при малых скоростях охлаждения в стали образуются следующие структуры: перлит, феррит, вторичный цементит C_2 и третичный цементит C_3 . Влияние на механические свойства сплавов оказывает различие в размерах, количестве и расположении этих выделений. C_1 выделяется из жидкой фазы в виде крупных пластинчатых кристаллов. C_2 выделяется из аустенита и располагается в виде сетки вокруг зерен аустенита (при охлаждении – вокруг зерен перлита). C_3

выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зерен.

Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов

Все линии диаграммы можно разделить на следующие группы: линии *ликвидус* – начало затвердения при охлаждении или конец плавления при нагревании; линии *солидус* – конец затвердевания при охлаждении и начало плавления при нагревании; линии превращения в твердом состоянии. Из них особо выделяются горизонтальные линии (параллельные оси составов).

В табл.1 приведены основные характеристики линий диаграммы.

Таблица 1-Характеристики линий диаграммы

Индекс линий	Температурный интервал, °С	Интервал концентраций (% углерода)	Основная характеристика линии
<i>Линия ликвидуса</i>			
AC	1539° – 1147°	0 – 4,3	Линия ликвидус (начало затвердевания А). Линия ликвидус (начало затвердевания Ц ₁)
CD	1147° – 1600°	4,3 – 6,67	
<i>Линия солидуса</i>			
AE	1539° – 1147°	0 – 2,14	Конец затвердевания А
ECF	1147°	2,14 – 6,67	Линия эвтектического равновесия
<i>Линии превращения в твердом состоянии</i>			
SE	727° – 1147°	0,8 – 2,14	Линия ограниченной растворимости углерода в А. Начало выделения вторичного цементита.
GS	911° – 727°	0 – 0,8	Начало аллотропического превращения А в Ф
GP	911° – 727°	0 – 0,025	Конец аллотропического превращения (А в Ф)
PSK	727°	0,025 – 6,67	Линия эвтектоидного равновесия А, Ф, Ц
PQ	727° – комн.	0,025 – 0,006	Линия выделения Ц _{III}

Таблица 2- Концентрация углерода в характерных точках диаграммы

Индекс	Содержание	Температура, °С	Характеристика
--------	------------	-----------------	----------------

точки	углерода, %		
A	0	1539	Точка затвердевания жидкого железа
C	4,3	1147	Состав жидкой фазы при эвтектическом равновесии с А и Ц
E	2,14	1147	Предельное содержание углерода в аустените. Состав А при эвтектическом равновесии с жидкой фазой и Ц
S	0,8	727	Состав А при эвтектоидном равновесии с Ф и Ц
P	0,025	727	Предельное содержание углерода в Ф. Состав Ф при эвтектоидном равновесии с А и Ц
Q	0,006	Комнатная	Предельное содержание углерода в Ф при комнатной температуре

Эвтектика системы железо – цементит называется ледебуритом (Л), по имени немецкого ученого Ледебура, содержит 4,3 % углерода.

При температуре ниже 727° С в состав ледебурита входят Ц₁ и П.

По линии МО при постоянной температуре 768° С имеют место магнитные превращения.

По линии PSK при постоянной температуре 727° С идет эвтектоидное превращение, заключающееся в том, что А, содержащий 0,8 % углерода, превращается в эвтектоидную смесь Ф и Ц₂:

По механизму данное превращение похоже на эвтектическое, но протекает в твердом состоянии.

Эвтектоид системы железо – цементит называется перлитом (П), содержит 0,8 % углерода (П=Ц₂+Ф).

Таблица 3-Линии трехфазного равновесия

Индекс линии	Температура равновесия, °С	Фазы, находящиеся в равновесии	Название превращения
ECF	1147	Ж+А+Ц	эвтектическое
PSK	727	А+Ф+Ц	эвтектоидное

Название получил за то, что на полированном и протравленном шлифе наблюдается перламутровый блеск. Перлит может существовать в зернистой и пластинчатой форме, в зависимости от условий образования.

Температуры, при которых происходят фазовые и структурные превращения в сплавах системы железо – цементит, т.е. критические точки, имеют условные обозначения.

Обозначаются буквой А (от французского *arret* – остановка):

A_1 – линия PSK (727 0С) – превращение $\Pi \rightleftharpoons \text{А}$;

A_2 – линия MO (768 0С, т. Кюри) – магнитные превращения;

A_3 – линия GOS (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение $\Phi \rightleftharpoons \text{А}$;

A_4 – линия NJ (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение $A \leftrightarrow \Phi(\delta)$;

A_{cm} – линия SE (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – начало выделения цементита вторичного (иногда обозначается A_3).

Так как при нагреве и охлаждении совершаются различные превращения, чтобы отличить эти процессы вводятся дополнительные обозначения. При нагреве добавляют букву с, т.е. Ac_1 , при охлаждении – букву r, т.е. Ar_1 .

Микроструктура фаз диаграммы железо-углерод.

При охлаждении доэвтектоидной стали из аустенита вначале выделяется феррит. Размер Φ -зерен в значительной степени зависит от скорости охлаждения А. При рассмотрении в микроскоп Φ наблюдается в виде светлых зерен неодинаковой яркости (Приложение, рис. 1). По мере увеличения концентрации углерода в доэвтектоидной стали количество зерен Φ убывает (Приложение, рис. 2), а количество Π увеличивается.

В сплавах, содержащих 0,5-0,75 % С зерна Φ располагаются по границам зерен другой структурной составляющей – П – в виде разорванной сетки (Приложение, рис. 3).

В доэвтектоидной стали П в большинстве случаев имеет пластинчатое строение. Темные пластинки, видимые в П, представляют собой тени, отбрасываемые на участки Φ выступающими после травления участка Ц. *Форма выделения перлита в доэвтектоидных и заэвтектоидных сталях определяется условиями выполнения отжига. Форма и размер частиц цементита в перлите существенно влияют на свойства стали. Так, например, зернистый перлит более пластичен и имеет меньшую твердость, чем пластинчатый. Твердость зернистого перлита 160-220 НВ, а пластинчатого – 200-250 НВ. С уменьшением размера цементитных частиц твердость и прочность перлита возрастает. Форма цементитных частиц влияет на обрабатываемость стали резанием. Доэвтектоидные стали хорошо обрабатываются резанием, если имеют структуру пластинчатого перлита, а эвтектоидные и заэвтектоидные – зернистого.*

В заэвтектоидных сталях возможно выделение Ц_2 в виде сетки по границам зерен П (Приложение, рис. 5). Это происходит в результате окончания горячей обработки при излишне высокой температуре и является значительным дефектом заэвтектоидной стали, ухудшает ее прочность и вязкость. Еще одной, но более редко встречающейся формой выделения Ц, также сильно ухудшающей механические свойства, является образование его в виде игл (вследствие значительного перегрева).

Итак, можно выделить четыре типа структур сталей.

Первый тип структуры – $\Phi+\text{Ц}_3$ – наблюдается в низкоуглеродистых сталях, содержащих до 0,02 % С (т. Р). Такие стали называются **техническим железом**.

Второй тип структуры – $\Phi+\text{П}$ – наблюдается в доэвтектоидных сталях, содержащих от 0,02 до 0,8 % С (т. S). Чем больше в доэвтектоидной стали углерода, тем больше в ней перлита.

Третий тип структуры – Π – наблюдается в эвтектоидной стали, содержащей 0,8 % С.

Четвертый тип структуры – $\Pi + \text{Ц}_2$ – наблюдается в заэвтектоидной стали с содержанием углерода от 0,8 до 2,14 % (т. E).

Требования к отчету

Отчет должен включать следующие разделы:

- Цель работы.
- Зарисовать диаграмму состояния железо-углерод, микроструктуру всех фаз.
- Записать ответы на контрольные вопросы

К защите лабораторной работы допускаются студенты, предъявившие полностью оформленный отчет, содержащий выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какое содержание углерода в эвтектоидной стали?
2. Какую кристаллическую решетку имеют α - и γ -железо?
3. Что такое аустенит, феррит, перлит, цементит?
4. Укажите название областей на стальной части диаграммы.
5. Какие процессы протекают в стали при ее охлаждении в области 727 °С?
6. Покажите линии ликвидус и солидус на Вашей диаграмме. Что они обозначают?
7. Что показывает фазовый состав сплава?
8. Опишите структуру сплава.
9. Какое максимальное содержание углерода в аустените?
10. Какое максимальное содержание углерода в феррите?
11. Как влияет содержание углерода на свойства стали?

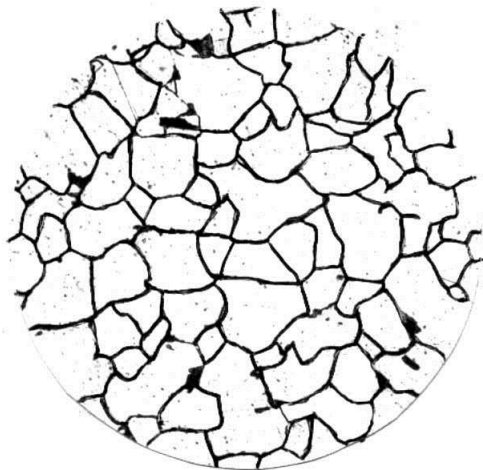


Рис.1

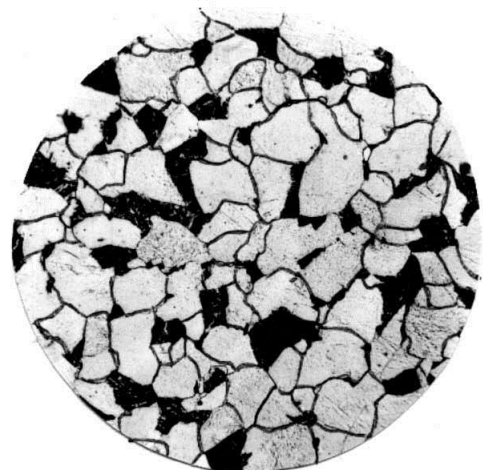


Рис.2



Рис.3



Рис.4



Рис.5