

Ув. студенты! Ознакомьтесь с лекционным материалом и ответить на контрольные вопросы письменно. Ответы предоставить до **01.03** на электронный адрес преподавателя [vika-lnr@mail.ru](mailto:vika-lnr@mail.ru)

Если возникнут вопросы обращаться по телефону 072-106-54-33

## ЛЕКЦИЯ

**Тема: Железоуглеродистые стали. Диаграмма состояния железо-углерод**

**Цель:** изучение железоуглеродистых сталей и диаграммы состояния

### План

1. Структуры железоуглеродистых сплавов
2. Компоненты и фазы железоуглеродистых сплавов
3. Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов

### Структуры железоуглеродистых сплавов

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны – важнейшие металлические сплавы современной техники. Производство чугуна и стали по объему превосходит производство всех других металлов вместе взятых более чем в десять раз.

Диаграмма состояния железо – углерод дает основное представление о строении железоуглеродистых сплавов – сталей и чугунов.

Начало изучению диаграммы железо – углерод положил Чернов Д.К. в 1868 году. Чернов впервые указал на существование в стали критических точек и на зависимость их положения от содержания углерода.

Диаграмма железо – углерод должна распространяться от железа до углерода. Железо образует с углеродом химическое соединение: цементит –  $Fe_3C$ . Каждое устойчивое химическое соединение можно рассматривать как компонент, а диаграмму – по частям. Так как на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода до 5%, то рассматриваем часть диаграммы состояния от железа до химического соединения цементита, содержащего 6,67% углерода.

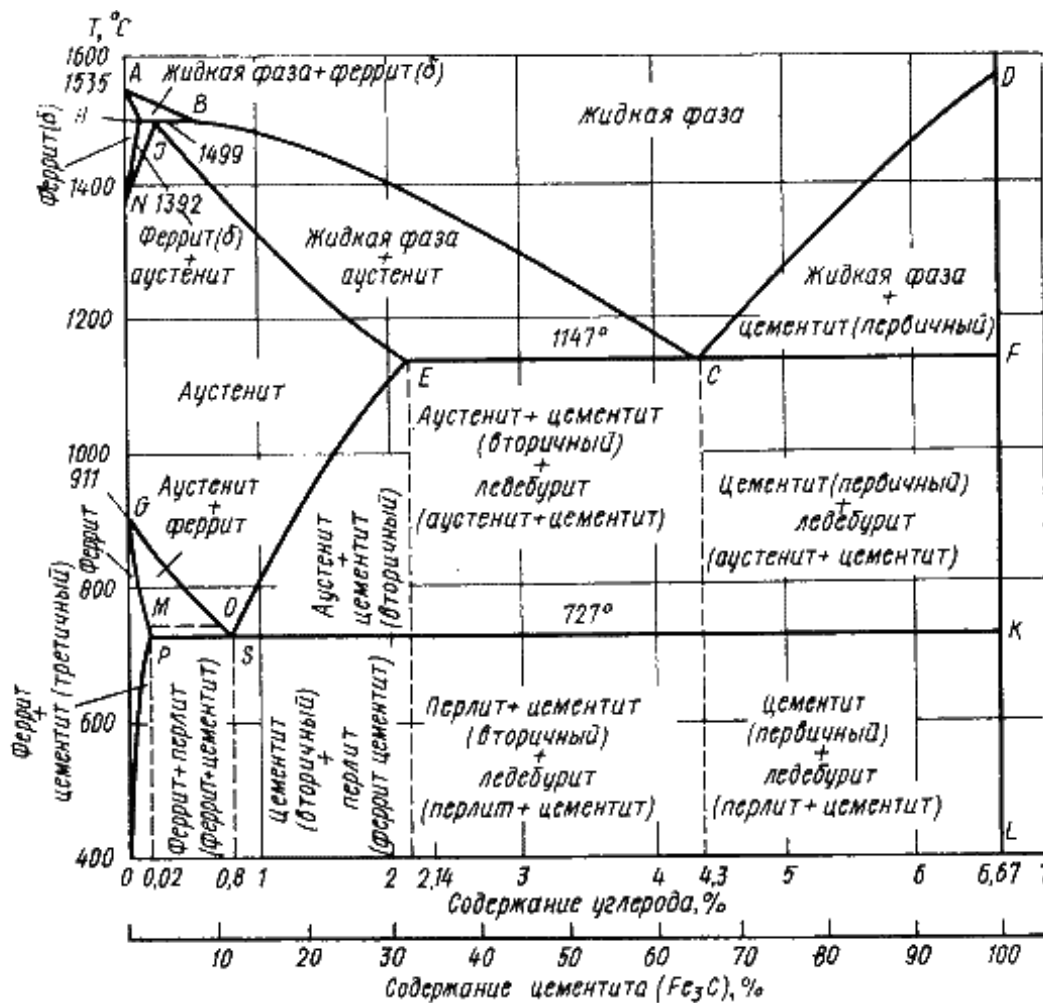


Диаграмма состояния железо – цементит представлена на рис. 9.1.

Рис. 9.1. Диаграмма состояния железо – цементит

### Компоненты и фазы железоуглеродистых сплавов

Компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо, углерод и цементит.

1. Железо – переходный металл серебристо-светлого

цвета. Имеет высокую температуру плавления –  $1539^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях. Полиморфные превращения происходят при температурах  $911^{\circ}\text{C}$  и  $1392^{\circ}\text{C}$ . При температуре ниже  $911^{\circ}\text{C}$  существует  $Fe_{\alpha}$  с объемно-центрированной кубической решеткой. В интервале температур  $911...1392^{\circ}\text{C}$  устойчивым является  $Fe_{\gamma}$  с гранецентрированной кубической решеткой. Выше  $1392^{\circ}\text{C}$  железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку и называется  $Fe_{\delta}$  или высокотемпературное  $Fe_{\alpha}$ . Высокотемпературная модификация  $Fe_{\alpha}$  не представляет собой новой аллотропической формы. Критическую температуру  $911^{\circ}\text{C}$  превращения  $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$  обозначают точкой  $A_3$ , а температуру  $1392^{\circ}\text{C}$  превращения  $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\delta}$  - точкой  $A_4$ .

При температуре ниже  $768^{\circ}\text{C}$  железо ферромагнитно, а выше – парамагнитно. Точка Кюри железа  $768^{\circ}\text{C}$  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.

2. *Углерод* относится к неметаллам. Обладает полиморфным превращением, в зависимости от условий образования существует в форме графита с гексагональной кристаллической решеткой (температура плавления –  $3500^{\circ}\text{C}$ , плотность –  $2,5 \text{ г/см}^3$ ) или в форме алмаза со сложной кубической решеткой с координационным числом равным четырем (температура плавления –  $5000^{\circ}\text{C}$ ).

В сплавах железа с углеродом углерод находится в состоянии твердого раствора с железом и в виде химического соединения – цементита ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), а также в свободном состоянии в виде графита (в серых чугунах).

3. *Цементит* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа), содержит 6,67 % углерода.

Аллотропических превращений не испытывает. Кристаллическая решетка цементита состоит из ряда октаэдров, оси которых наклонены друг к другу.

Температура плавления цементита точно не установлена ( $1250, 1550^{\circ}\text{C}$ ). При низких температурах цементит слабо ферромагнитен, магнитные свойства теряет при температуре около  $217^{\circ}\text{C}$ .

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

Цементит способен образовывать твердые растворы замещения. Атомы углерода могут замещаться атомами неметаллов: азотом, кислородом; атомы железа – металлами: марганцем, хромом, вольфрамом и др. Такой твердый раствор на базе решетки цементита называется *легированным цементитом*.

Цементит – соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита. Этот процесс имеет важное практическое значение при структурообразовании чугунов.

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

1. Жидкая фаза. В жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях с образованием однородной жидкой фазы.

2. *Феррит* ( $\Phi$ )  $\text{Fe}_\alpha(\text{C})$  – твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железо.

Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,006 % при комнатной температуре (точка  $Q$ ), максимальную – 0,02 % при температуре  $727^{\circ}\text{C}$  (точка  $P$ ). Углерод располагается в дефектах решетки.

При температуре выше  $1392^{\circ}\text{C}$  существует высокотемпературный феррит ( $\delta$ ) ( $\text{Fe}_\delta(\text{C})$ ), с предельной растворимостью углерода 0,1 % при температуре  $1499^{\circ}\text{C}$  (точка  $L$ )

Свойства феррита близки к свойствам железа. Он мягок (твердость –  $130 \text{ НВ}$ , предел прочности –  $\sigma_B = 300 \text{ МПа}$ ) и пластичен (относительное удлинение –  $\delta = 30\%$ ), магнитен до  $768^{\circ}\text{C}$ .

3. *Аустенит* ( $A$ )  $Fe_3(C)$  – твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железо.

Углерод занимает место в центре гранцентрированной кубической ячейки.

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

Аустенит имеет твердость 200...250 *НВ*, пластичен (относительное удлинение –  $\delta = 40...50\%$ ), парамагнитен.

При растворении в аустените других элементов могут изменяться свойства и температурные границы существования.

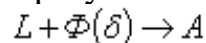
4. *Цементит* – характеристика дана выше.

В железоуглеродистых сплавах присутствуют фазы: цементит первичный ( $Ц_I$ ), цементит вторичный ( $Ц_{II}$ ), цементит третичный ( $Ц_{III}$ ). Химические и физические свойства этих фаз одинаковы. Влияние на механические свойства сплавов оказывает различие в размерах, количестве и расположении этих выделений. Цементит первичный выделяется из жидкой фазы в виде крупных пластинчатых кристаллов. Цементит вторичный выделяется из аустенита и располагается в виде сетки вокруг зерен аустенита (при охлаждении – вокруг зерен перлита). Цементит третичный выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зерен.

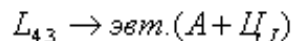
### Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов

Линия  $ABCD$  – ликвидус системы. На участке  $AB$  начинается кристаллизация феррита ( $\delta$ ), на участке  $BC$  начинается кристаллизация аустенита, на участке  $CD$  – кристаллизация цементита первичного.

Линия  $АНЕСF$  – линия солидус. На участке  $АН$  заканчивается кристаллизация феррита ( $\delta$ ). На линии  $НJB$  при постоянной температуре 1499°С идет перетектическое превращение, заключающееся в том, что жидкая фаза реагирует с ранее образовавшимися кристаллами феррита ( $\delta$ ), в результате чего образуется аустенит:



На участке  $JE$  заканчивается кристаллизация аустенита. На участке  $ЕСF$  при постоянной температуре 1147°С идет эвтектическое превращение, заключающееся в том, что жидкость, содержащая 4,3 % углерода превращается в эвтектическую смесь аустенита и цементита первичного:



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

При температуре ниже 727°С в состав ледебурита входят цементит первичный и перлит, его называют ледебурит превращенный ( $LП$ ).

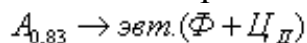
По линии  $HN$  начинается превращение феррита ( $\delta$ ) в аустенит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии  $NJ$  превращение феррита ( $\delta$ ) в аустенит заканчивается.

По линии  $GS$  превращение аустенита в феррит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии  $PG$  превращение аустенита в феррит заканчивается.

По линии ES начинается выделение цементита вторичного из аустенита, обусловленное снижением растворимости углерода в аустените при понижении температуры.

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

По линии PSK при постоянной температуре 727° С идет эвтектоидное превращение, заключающееся в том, что аустенит, содержащий 0,8 % углерода, превращается в эвтектоидную смесь феррита и цементита вторичного:



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

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

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.

По линии PQ начинается выделение цементита третичного из феррита, обусловленное снижением растворимости углерода в феррите при понижении температуры.

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 *arrêt* – остановка):

A1 – линия PSK (7270С) – превращение  $\text{П} \leftrightarrow \text{А}$ ;

A2 – линия MO (7680С, т. Кюри) – магнитные превращения;

A3 – линия GOS (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение  $\Phi \leftrightarrow \text{А}$ ;

A4 – линия NJ (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение  $\text{А} \leftrightarrow \Phi(\delta)$ ;

Acm – линия SE (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – начало выделения цементита вторичного (иногда обозначается A3).

Так как при нагреве и охлаждении превращения совершаются при различных температурах, чтобы отличить эти процессы вводятся дополнительные обозначения. При нагреве добавляют букву с, т.е.  $A_{c1}$ , при охлаждении – букву r, т.е.  $A_{r1}$ .

### Контрольные вопросы:

1. Структуры железоуглеродистых сплавов
2. Компоненты и фазы железоуглеродистых сплавов
3. Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов