Лекция 5

Тема: Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния железо-цементит.

1) Диаграмма железо-цементит

2) Компоненты и фазы железоуглеродистых сплавов

3) Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов

4) Структура железоуглеродистых сплавов

1) Железоуглеродистые сплавы - сплавы углерода с железом, механические свойства которых зависят от содержания углерода. Углерод по отношению к железу является вредной примесью, т.к. с увеличением содержания углерода в сплаве возрастает твердость и хрупкость, а пластичность и вязкость уменьшаются.

Диаграмма состояния железо-цементит является основой для изучения и анализа железоуглеродистых сплавов - сталей и чугунов.

Диаграмма железо-цементит показывает взаимодействие железа с углеродом. Железо образует с углеродом химическое соединение - Fe_3C. Карбид железа (цементит) - это химическое соединение, которое имеет очень высокую твердость, но очень низкую пластичность. Поэтому все практически применяемые железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода до 5%, то есть цементита, имеют такую структуру, которая состоит из феррита и цементита, содержащего 6,67% углерода.

Диаграмма состояния железо-цементит представлена на рис.

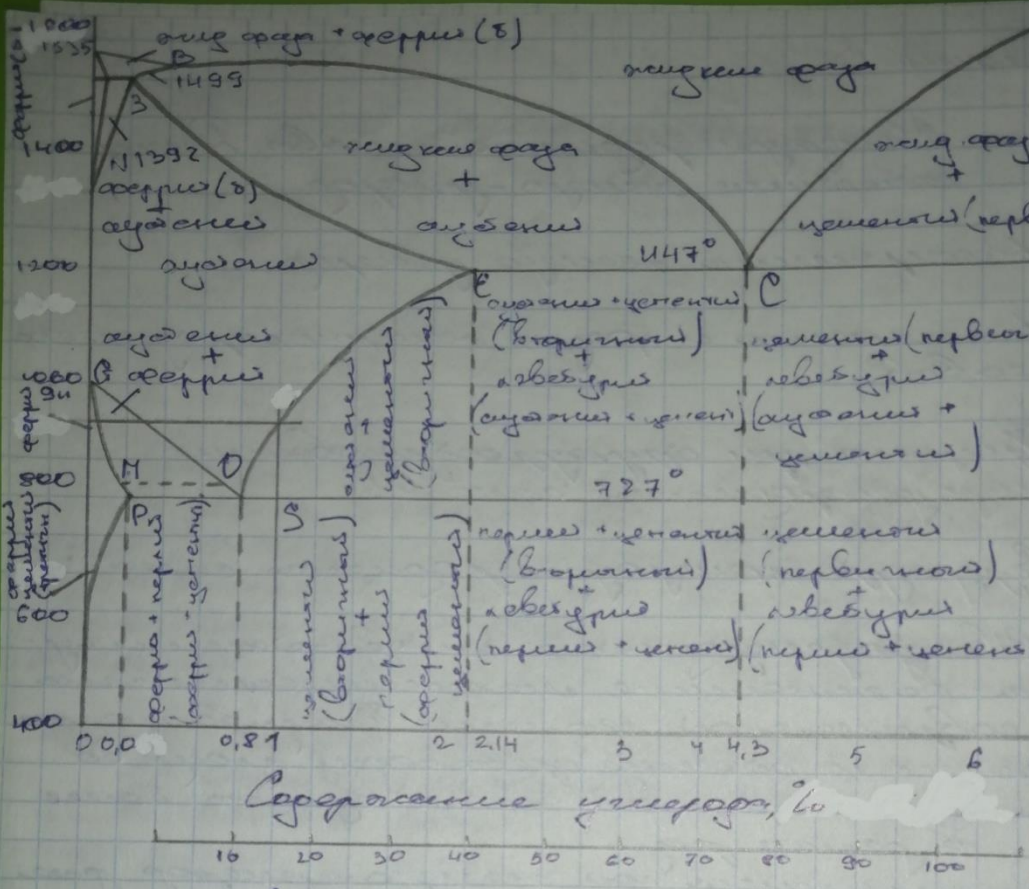


Рис. Диаграмма состояния железо-цементит

② Компоненты однокомпонентны есть сплавы железо, углерод и цементит.

1. Жидкое - однородная смесь железа, углерода и цементита. Имеет высокую температуру плавления - 1539°C / 1535°C.

В твердом сое железо может находиться в двух модификациях. Полиморфное превращение происходит при t 911°C и 1392°C. При t ниже 911°C есть Fe_3C с объемно-центрированной кубической решеткой. В интервале t 911 - 1392°C устойчивая α-Fe, с ограниченной кубической решеткой и называется Fe или высокотемпературное Fe. Высокотемпера

Путем перестройки Fe_α ее превращение в новый аллотропический феррит, характерно в A_4 911^{oo} – превращение $Fe_\alpha \leftrightarrow Fe_\gamma$, обозначают точка A_3, а 1392^oC превращение $Fe_\delta \leftrightarrow Fe_\gamma$ – точка A_4.

При t около 768^oC железо ферромагнитно, а выше парамагнитно. Так, при 768^oC обозначается A_2.

Железо технической чистоты обладает невысокой твердостью (80 НВ) и прочностью (предел прочности – $\sigma_в = 250$ МПа, предел текучести – $\sigma_т = 120$ МПа) и высокими пластическими характеристиками (относительное удлинение – $\delta = 50\%$, а относительное сужение – $\psi = 80\%$), что позволяет штамповать и холодной прокаткой получать из него листы.

Железо ферромагнитно, теряет свои магнитные свойства при нагреве выше точки Кюри (768°C).

Железо не имеет значительной растворимости углерода, с азотом, кислородом и водородом – растворимость.

2. Углерод в чистом и технических. Обладает полиморфизмом аллотропией, в зависимости от условий образования идет в форме цементита (с кристаллической решеткой ромбической – 5500°C, плотность – 7,6 г/см³) или в форме графита (с гексагональной кристаллической решеткой 4/6 – 3000°C).

В сплавах железа с углеродом углерод частично входит в состав твердого раствора с железом и в виде химического соединения – цементита (Fe_3C), а часть в свободном состоянии в виде графита (в серых чугунах).

3. Цементит (Fe_3C) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа). Содержит 6,67% С.

Аллотропических превращений не испытывает. Имеет решетку цементита сам по себе очень твердый, но хрупкий.

так цементита только на уч. (1050, 1550 °С). При переходе к цементиту сильно ферромагнитен, теряет св-ва при t около 217 °С.

Цементит имеет высокую твердость (более 800 НВ, почти царапает стекло), но чрезвычайно хрупкую, практически нулевую пластичность. Более св-ва дают возможность сложного строения углеродистых сталей.

Цементит способен образовывать твердые р-ра замещения. Атомы углерода имеют тенденцию во основном междоузлиях: одного, второго; атомы Fe - замещения, искривления, дислокации, и др. Такой твердый р-р на базе решетки цементита тоже неограниченно растворяется.

Цементит - соединение неустойчивое и при опред условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита. Это очень имеет большое практическое значение при структурообразовании сталей.

В сплавах железо-углерод при сплаве фазы: жидкая фаза, феррит, аустенит, цементит.

1. Жидкая фаза. В жидком сост Fe хорошо растворяет углерод в любом соотношении с образованием однородных жидких фаз.

2. Феррит (Ф) Fea (С) - твердый р-р внедрения С в α-железо.

Феррит имеет ограниченную растворимость углерода: мин - 0,006% при комнатной t (точка Q), макс - 0,02% при t 727 °С (точка P). Углерод растворяется в решетке железа.

При t выше 1392 °С сущ высокот феррит (δ) ($Fe_н$) (С), с предельной раств-ю углерода 0,1% при t 1499 °С (точка J).

Св-ва феррита близки к св-м Fe. Относительная (твердость - 130 НВ, предел прочности - $\sigma_в$ = 300 МПа) и ангельская (относительное удлинение - δ = 50%) снижается до 768 °С.

3. Аустенит (А) $Fe_γ$ (С) - твердый р-р внедрения углерода в γ-железо

Чугуном называется сплав в системе железо-цементит, содержащий углерода свыше 2,14%.

Чугуны имеют эвтектическую структуру (Р-та углерода, имеет - 0,8% при t 727°C (точка S), имеет - 2,14% при t 1147°C (точка E).

Чугуны имеют твердость 200...250 НВ, имеют (относительное удлинение - δ = 40...50%), хорошие литейные.

При охлаждении в структуре ж-ов изменяется ов-ва и t-ра фазовых сущ-ий.

4. Изменения - кар-та ниже выше.

В зависимости от состава структура бывает: цементит первичный ($Ц_I$), цементит вторичный ($Ц_{II}$), цементит третичный ($Ц_{III}$). Хотя и фаз ов-ва эти фазы одинаковы. Выделение из аустенитных ов-в сплавов фазы различно в зависимости, кол-во и расположение 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 аустенита). Цементит третичный выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зерен

⑤ Линии ABCD - ликвидус сплавов. На участке AB начинается кристаллизация феррита (δ), на участке BC начинается кристаллизация аустенита, на участке CD - кристаллизация цементита первичного.

Линии AHJECF - линия солидус. На участке AH заканчивается кристаллизация феррита (δ). На линии HJB при постоянной t 1499°C идет перитектическое превращение, суть в том, что жидкая фаза реагирует с ранее образовавшимся кристаллом феррита (δ), в результате чего образуется аустенит.

$$L + F(\delta) \rightarrow A$$

На участке JE заканчивается кристаллизация аустенита. На участке ECF при постоянной t 1147°C идет эвтектическое превращение, суть в том, что жидкость, содержащая 4,3% углерода превращается в эвтектическую смесь аустенита и цементита первичного:

$$L_{4,3} \rightarrow {}_{эв}(A + Ц_1).$$

Эвтектика смеси Fe - цементит называется ледебуритом (Л), по линии нижнего участка ледебурита, содержит 4,3% C.

При t ниже 727°C в состав ледебурита входит цементит первичный и перлит, его называют ледебурит превращенный (ЛП).

По линии HN начинается превращение феррита (δ) в аустенит, обусловленное полиморфным превращением Fe. По линии NJ превращение феррита (δ) в аустенит заканчивается

По линии GS превращение аустенита в феррит, обусловленное полиморфным превращением Fe. 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 t.

По линии HD при постоянной t 768°C идет магнитное превращение.

По линии PSK при постоянной t 727°C идет эвтектоидное превращение, суть в том, что аустенит, содержащий 0,8% углерода, превращается в эвтектоидную смесь феррита и цементита вторичного.

$$A_{0,8} \rightarrow {}_{эв}(F + Ц_{II}).$$

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

Эвтектоид смеси Fe - цементит называется перлитом (П), содержит 0,8% углерода.

Название получил за то, что под микроскопом и при травлении шлифа наблюдается перламутровый блеск.

Перлит может существовать в зернистой и пластинчатой форме, в зависимости от условий образования.
По линии PQ происходит выделение цементита третичного из феррита, образовавшегося снижением раствор-ти углерода в феррите при понижении t.
t, при которых происходят фазовые и структурные превращения в сплавах системы железо-цементит, т.е. критические точки, имеют условные обозначения.
Обозначаются буквой A (от франц-го arret - остановка)
A1 - линия PSK (727°C) - превращение П ↔ А;
A2 - линия MO (768°C, т. Кюри) - магнитные превращения.
A3 - линия GOS (перемещение, зависящее от содержания углерода в сплаве) - превращение Ф ↔ А;
A4 - линия NJ (перемещение t, зависящее от содержания углерода в сплаве) - превращение А ↔ Ф(δ);
Acm - линия SE (перемещение t, зависящее от содержания углерода в сплаве) - конечное выделение цементита вторичного (иногда обозначается A3).
Т.к. при нагреве и охлаждении превращения совершаются при разных t, чтобы отличить эти процессы вводятся доп. обозначения. При нагреве добавляется буква c, т.е Ac1, при охлаждении - буква r, т.е Ar1.

④ Все сплавы системы железо-цементит по структурному признаку делят на две большие группы: стали и чугуны.
Особую группу составляют сплавы с содержанием углерода менее 0,02% (точка P), их называют техническое железо. Микроструктура сплавов представлена на рис. Структура часть сплавов после окончания кристаллизации состоит или из зерен феррита, при содержании углерода менее 0,008% или из зерен феррита и кристаллов цементита третичного, расположенных по границам зерен феррита, если содержание углерода от 0,008 до 0,02%.
Углеродистыми сталями называют сплавы железа

с углеродом, содержание 0,02 ... 2,14% углерода, заканчивающиеся эвтектоидным превращением

Они богаты высокой пластичностью, особенно в аустенитном состоянии

Структура сталей формируется в результате перекристаллизации аустенита.

По содержанию углерода и по структуре стали подразделяются на доэвтектоидные ($0,02\% < C < 0,8\%$), структура феррит + перлит (Ф+П); эвтектоидные ($C = 0,8\%$), структура перлита (П), перлит может быть пластинчатый или зернистый; заэвтектоидные ($0,8\% < C < 2,14\%$), структура перлит + цементит вторичный (П + ЦII), цементит как бы расположен вокруг зерен перлита

По микроструктуре сплавов можно приближенно определ кол-во углерода в составе сплава, учитывая средн. кол-во углерода в перлите соот. 0,8%, в цементите - 6,67%. Ввиду малой раствор. углерода в феррите, принимается, что в нем углерода нет

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода более 2,14% (до 6,67%), заканчивающиеся эвтектической кристаллизацией образованием эвтектики (ледебурита), называются.

Наличие неметаллического ледебурита в структуре чугунов повышает их хрупкие св-ва

Чугуны, кристаллизующиеся в соответствии с диаграммой состояния железо - цементит, отличаются высокой хрупкостью. Цвет их излома - серебристо-белый. Такие чугуны называются белыми чугунами.

По кол-ву углерода и по структуре белые чугуны подразделяются на: доэвтектические ($2,14\% < C < 4,3\%$), структура перлит + ледебурит + цементит вторичный (П + Л + $Ц_{II}$); эвтектические ($C = 4,3\%$), структура ледебурит (Л), заэвтектические ($4,3\% < C < 6,67\%$), структура ледебурит + цементит первичный (Л + $Ц_{I}$).

В структуре доэвтектических белых чугунов присутствует цементит вторичный, который образуется в результате уменьшения растворимости аустенита при охлаждении (по линии ES). В

структуре цемента вторичная связана с цементным, входящим в состав недебурита.

Фазовый состав бакен и кусков при норм ± один и тот же, они состоят из феррита и цементита. Однако св-ва стали и белого чугунов значительно различаются. Таким образом, основным фактором, опред св-ва стали является содержание Fe-цементита, а не его структура