

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ»

УНК пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ

Кафедра [пожарной, аварийно-спасательной техники и специальных технических средств](https://uigps.ru/ob-institute/struktura/kafedry/kafedra-pozharnoy-tekhniki/)

**Научные материалы**

**Строение железоуглеродистых сплавов и диаграмма состояния железо-углерод. Маркировка жаропрочных и огнестойких сплавов.**

Выполнил:

студент группы СЭв-121 М.П. Рябков

Проверил:

К.ф.-м.н., доцент кафедры В.А. Калентьев

Екатеринбург

2022

Оглавление

[**Введение** 3](#_Toc119356619)

[**1.Структуры железоуглеродистых сплавов 4**](#_Toc119356620)

[**2. Компоненты и фазы железоуглеродистых сплавов** 6](#_Toc119356621)

[**3. Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов** 10](#_Toc119356622)

[**4. Структуры железоуглеродистых сплавов** 13](#_Toc119356623)

[**5. Маркировка сплавов** 16](#_Toc119356624)

[**Заключение** 17](#_Toc119356632)

**Список источников …………………………………………………**18

**Введение**

Разнообразие  применяемых материалов, в настоящее  время, не знает границ. Благодаря  современным технологиям появляются новейшие материалы. Но остаются и такие, которыми люди пользуются из покон веков. К таким относятся металлы.

Металлы – наиболее распространенные и широко используемые материалы в производстве и в быту человека. Особенно велико значение металлов в наше время, когда большое их количество используют в машиностроительной промышленности, на транспорте, в промышленном, жилищном и дорожном строительстве, а также в других отраслях народного хозяйства.

Железоуглеродистые  сплавы, это сплавы железа с углеродом, на основе железа. Различают чистые железоуглеродистые сплавы (со следами  примесей), получаемые в небольших  количествах для исследовательских  целей, технические железоуглеродистые сплавы — стали (до 2% C) и чугуны (свыше 2% C), содержащие примеси, легирующие элементы, а иногда и модифицирующие добавки.

# 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 – https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-_JklcD.png. Каждое устойчивое химическое соединение можно рассматривать как компонент, а диаграмму – по частям. Так как на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода доhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-fD1pin.png, то рассматриваем часть диаграммы состояния от железа до химического соединения цементита, содержащегоhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-kWFDUV.pngуглерода.

Диаграмма состояния железо – цементит представлена на рис. 1.1.

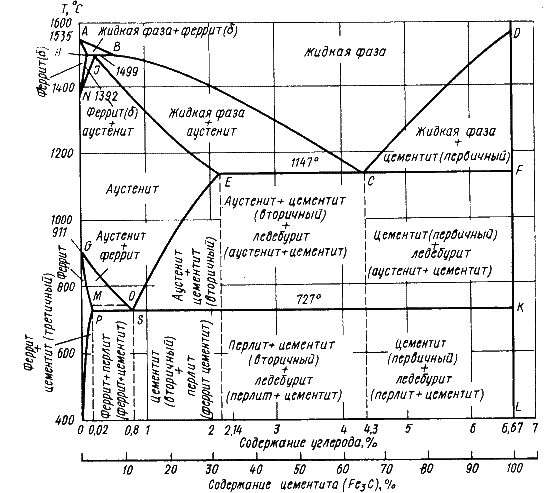


Рис. 1.1. Диаграмма состояния железо - цементит

# 

# Компоненты и фазы железоуглеродистых сплавов

Компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо, углерод и цементит.

*1. Железо*– переходный металл серебристо-светлого цвета. Имеет высокую температуру плавления – 1539o*С*https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-dxS9Qc.png5o*С*.

В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях. Полиморфные превращения происходят при температурах 911o*С*и 1392o*С*. При температуре ниже 911o*С*существуетhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-XzxLdc.pngс объемно-центрированной кубической решеткой. В интервале температур 911…1392o*С*устойчивым являетсяhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-HnwjE2.pngс гранецентрированной кубической решеткой. Выше 1392o*С*железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку и называетсяhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-DU_BeZ.pngили высокотемпературноеhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-kxdTuC.png. Высокотемпературная модификацияhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-ZBkVp1.pngне представляет собой новой аллотропической формы. Критическую температуру 911oС превращенияhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-7GNIiX.pngобозначаютточкойhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-R8tm3g.png, а температуру 1392o*С*превращенияhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-Jtgtae.png- точкой*А4*.

При температуре ниже 768o*С*железо ферромагнитно, а выше – парамагнитно. Точка Кюри железа 768o*С*обозначается*А2.*

Железо технической чистоты обладает невысокой твердостью (80 НВ) и прочностью (предел прочности – https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-4AX30Y.png, предел текучести –https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-rtEEPQ.png) и высокими характеристиками пластичности (относительное удлинение –https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-MEMN5Q.png, а относительное сужение –https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-ZkSv2l.png). 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*0*С*, плотность –*2,5 г/см3*) или в форме алмаза со сложной кубической решеткой с координационным числом равным четырем (температура плавления –*5000*0*С*).

В сплавах железа с углеродом углерод находится в состоянии твердого раствора с железом и в виде химического соединения – цементита (*Fe3C*), а также в свободном состоянии в виде графита (в серых чугунах).

*3. Цементит (Fe3C) –*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, 1550o*С*). При низких температурах цементит слабо ферромагнитен, магнитные свойства теряет при температуре около 217o*С*.

Цементит имеет высокую твердость (более *800 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 (Ф)* https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-oNSKKJ.png*(C) –*твердый раствор внедрения углерода в https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-mdYMCu.png-железо.

Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – *0,006 %*при комнатной температуре (точка *Q*), максимальную –*0,02 %*при температуре 727o*С* (точка *P*). Углерод располагается в дефектах решетки.

При температуре выше 1392o*С* существует высокотемпературный феррит (https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-Uy_Mgj.png) (https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-0QlGsu.png(C), с предельной растворимостью углерода *0,1 %* при температуре 1499o*С* (точка *J*)

Свойства феррита близки к свойствам железа. Он мягок (твердость – *130 НВ*, предел прочности –https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-vPGTYU.png) и пластичен (относительное удлинение –https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-ptrRMj.png), магнитен до 768o*С.*

3*. Аустенит (А)* https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-7tJUnx.png*(С)* – твердый раствор внедрения углерода в https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-yQwAGC.png-железо.

Углерод занимает место в центре гранецентрированной кубической ячейки.

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

Аустенит имеет твердость *200…250 НВ*, пластичен (относительное удлинение –https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-ONRYbF.png), 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 *(ЦI),*цементит вторичный*(ЦII),*цементит третичный (*ЦIII*). 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.

# 3. Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов

Линия *АВСD*– ликвидус системы. На участке *АВ*начинается кристаллизация феррита (https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-iIjXkA.png), на участке *ВС*начинается кристаллизация аустенита, на участке *СD*– кристаллизация цементита первичного. Рис. 1.1.

Линия AHJECF – линия солидус. На участке АН заканчивается кристаллизация феррита (https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-WJTGlm.png). На линии HJB при постоянной температуре 1499oС идет перитектическое превращение, заключающееся в том, что жидкая фаза реагирует с ранее образовавшимися кристаллами феррита (https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-X0a6Iv.png), в результате чего образуется аустенит:

https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-H52r3i.png

На участке JЕ заканчивается кристаллизация аустенита. На участке ECF при постоянной температуре 1147oС идет эвтектическое превращение, заключающееся в том, что жидкость, содержащая 4,3 % углерода превращается в эвтектическую смесь аустенита и цементита первичного:

https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-ujVV0Z.png

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

При температуре ниже 727oС в состав ледебурита входят цементит первичный и перлит, его называют ледебурит превращенный (ЛП).

По линии HN начинается превращение феррита (https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-F9on0D.png) в аустенит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии NJ превращение феррита (https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-IxYtiA.png) 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 МО при постоянной температуре 768oС имеют место магнитные превращения.

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

https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-n7NGjQ.png

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 arret – остановка):

А1 – линия PSK (727 0С) – превращение П https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-RgmGek.pngА;

A2 – линия MO (768 0С, т. Кюри) – магнитные превращения;

A3 – линия GOS ( переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение Ф https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-1zdoog.pngА;

A4 – линия NJ (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-MpSctR.png;

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 https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-mtK2_x.png, при охлаждении – букву r, т.е.https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-rFQw7C.png.

# 4. Структуры железоуглеродистых сплавов

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 Р), их называют техническое железо. Микроструктуры сплавов представлены на рис.2.1 Структура таких сплавов после окончания кристаллизации состоит или из зерен феррита (рис.2.1 а), при содержании углерода менее 0,006 %, или из зерен феррита и кристаллов цементита третичного, расположенных по границам зерен феррита (рис.2.1 б), если содержание углерода от 0,006 до 0,02 %.

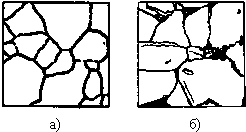


Рис.2.1. Микроструктуры технического железа: а) – содержание углерода менее 0,006%; б) – содержание углерода 0,006…0,02 %

Углеродистыми сталями называют сплавы железа с углеродом, содержащие 0,02…2,14 % углерода, заканчивающие кристаллизацию образованием аустенита.

Они обладают высокой пластичностью, особенно в аустенитном состоянии.

Структура сталей формируется в результате перекристаллизации аустенита. Микроструктуры сталей представлены на рис. 2.2.

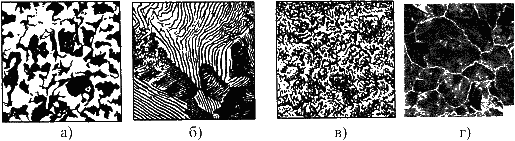


Рис. 2.2. Микроструктуры сталей: а – доэвтектоидная сталь https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-4OhbFn.png; б – эвтектоидная сталь (пластинчатый перлит); в – эвтектоидная сталь (зернистый перлит); г – заэвтектоидная стальhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-YQ9XR8.png.

По содержанию углерода и по структуре стали подразделяются на доэвтектоидные *https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-gYhwW5.png*, структура феррит + перлитhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-Umi4vw.png(рис.2.2 а); эвтектоидные*https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-HQSXRL.png*, структура перлит (П), перлит может быть пластинчатый или зернистый (рис. 2.2 б и 2.2 в); заэвтектоидные*https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-xfJ2l1.png*, структура перлит + цементит вторичный (П + ЦII), цементитная сетка располагается вокруг зерен перлита.

По микроструктуре сплавов можно приблизительно определить количество углерода в составе сплава, учитывая следующее: количество углерода в перлите составляет 0,8 %, в цементите – 6,67 %. Ввиду малой ратворимости углерода в феррите, принимается, что в нем углерода нет.

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода более 2,14 % (до 6,67 %), заканчивающие кристаллизацию образованием эвтектики (ледебурита), называют чугунами.

Наличие легкоплавкого ледебурита в структуре чугунов повышает их литейные свойства.

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

Микроструктуры белых чугунов представлены на рис. 2.3.

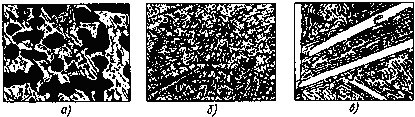


Рис. 2.3. Микроструктуры белых чугунов: а – доэвтектический белый чугунhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-7JgMu0.png; б – эвтектический белый чугун (Л); в – заэвтектический белый чугунhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-PTIX5S.png.

По количеству углерода и по структуре белые чугуны подразделяются на: доэвтектические *https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-IGXTzD.png*, структура перлит + ледебурит + цементит вторичныйhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-zQux9v.png; эвтектические*https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-vgDogI.png*, структура ледебурит (Л) (рис. 2.3 б); заэвтектические*https://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-RfZRse.png*, структура ледебурит + цементит первичныйhttps://studfile.net/html/2706/253/html_vUM5BtFCqw.CybG/img-ewfYkO.png(рис. 2.3 в).

В структуре доэвтектических белых чугунов присутствует цементит вторичный, который образуется в результате изменения состава аустенита при охлаждении (по линии ES). В структуре цементит вторичный сливается с цементитом, входящим в состав ледебурита.

Фазовый состав сталей и чугунов при нормальных температурах один и тот же, они состоят из феррита и цементита. Однако свойства сталей и белых чугунов значительно различаются. Таким образом, основным фактором, определяющим свойства сплавов системы железо – цементит является их структура.

# 5. Маркировка сплавов

**Примеры расшифровки маркировки**

Для того чтобы расшифровка была понятнее, следует привести некоторые, наиболее яркие примеры маркировки. На основании примеров, определение марки стали в сравнении с уже известными, будет являться несложной задачей. Вот некоторые виды стали с расшифровкой условных обозначений:

* 30ХГСА – расшифровка марки стали говорит о том, что в сплаве содержится 0,3 % углерода, о чем свидетельствует цифра в начале обозначения. Сталь содержит хром (Х), марганец (Г), кремний (С), но их содержание менее 1,5 %. Символ «А» в конце обозначения говорит о том, что сталь высококачественная.
* У8ГА – инструментальная сталь с содержанием углерода 0,8 %. Высококачественная с добавлением марганца.
* Р6М5Ф2К8 – быстрорежущая сталь. Содержит 5 % молибдена, 2 % ванадия, 8 % кобальта. Хром содержится во всех быстрорежущих сталях в количестве около 4 %, поэтому в обозначение не входит. Вольфрам также всегда присутствует, но его содержание может изменяться, поэтому в данной марке его количество составляет 6 %.
* Ст3сп5 – сталь конструкционная нелегированная, полностью раскисленная – спокойная, 5-й категории, то есть может применяться для изготовления несущих сварных конструкций.
* ХВГ – сталь ХВГ имеет в составе хром, вольфрам и марганец в количестве около 1 % и дополнительные легирующие элементы, но их содержание меньше 0,5 %.

**Заключение**

Железоуглеродистые  сплавы – это материалы с целой гаммой свойств, и в зависимости от количества примесей обладают теми или иными качествами, как например, прочность, износостойкость, твёрдость, хрупкость. К тому же они сравнительно недороги.

    Благодаря этим достоинствам железоуглеродистые сплавы, такие как чугуны и стали — основной металлический материал промышленности.

**Список источников**

1. Арзамасов Б. Н. «Материаловедение». М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 648 с.
2. Домокеев А.Г. «Строительные материалы». М.: Высшая школа, 1989. – 412 с.
3. Колесов С.Н. «Материаловедение и технология конструкционных материалов». М.: Высшая школа, 2004. – 519 с.
4. <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=8383> (02.12.2022 г.)