

Лабораторная
работа №7



Лабораторная работа №7

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ ЖЕЛЕЗО - УГЛЕРОД

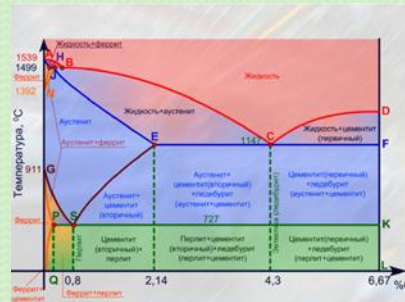
Блок 6 модуль 17

Автор: доц. Глушкова Д.Б.
Lab 7_1M_TKMIM_GDB_25.03.15

Цель работы - изучить структурный и фазовый состав железоуглеродистых сплавов при различных температурах и преобразования, которые происходят при их нагреве и охлаждении. Изучить структуру и фазовый состав сталей и чугунов в равновесном состоянии, их классификацию по содержанию углерода, оценить влияние углерода на их свойства и усвоить принципы маркировки качественных углеродистых сталей и чугунов различных видов

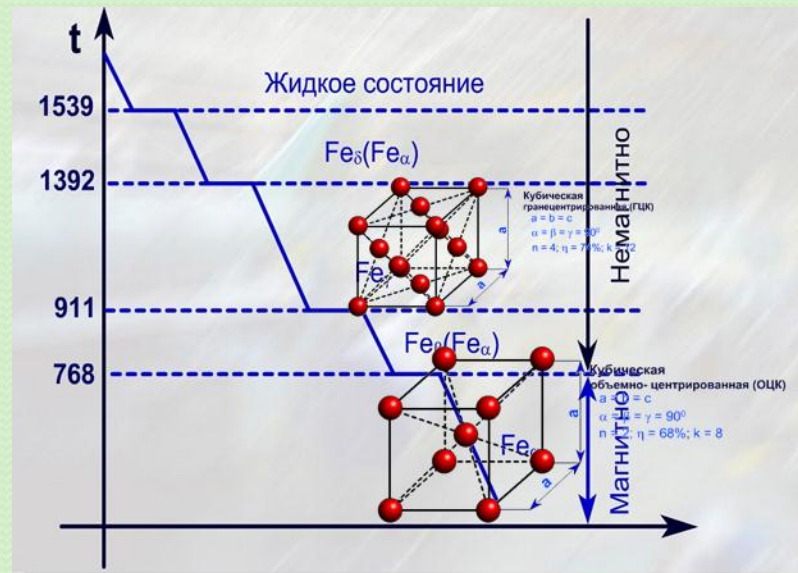
Оборудование, приборы, материалы:

1. Диаграмма состояния железо - цементит.
2. Модели кристаллических решеток модификаций $Fe\alpha$ и $Fe\gamma$.
3. Металлографический микроскоп
4. Образцы сталей с различным содержанием углерода
5. Образцы белого доэвтектического, эвтектического и заэвтектических чугунов.
6. Образцы серого, высокопрочного и высокопрочного чугунов с различной структурой металлической основы
7. Диаграмма состояния $Fe-Fe_3C$
8. Твердомер Роквелла



Сплавы на основе железа - стали и чугуна - самые распространенные в современной технике. Структура и фазовый состав железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии описывается диаграммой фазового равновесия (диаграммой состояния).

Железо - это металл, в котором происходит полиморфное превращение, то есть при температуре изменяется кристаллическая решетка. Железо дважды меняет свою решетку - при 911°C и при 1392°C . Ниже 911°C железо имеет объемноцентрированную кубическую решетку (ОЦК).

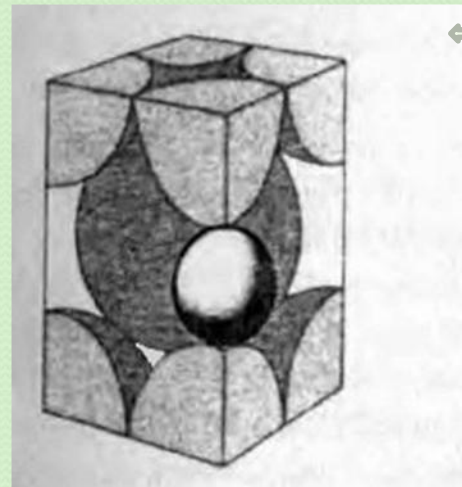
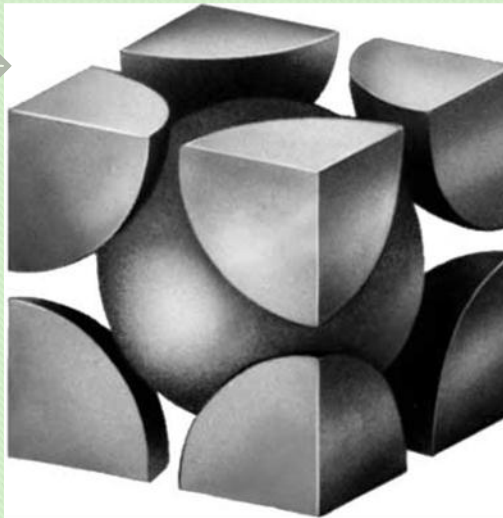


Такое железо называется α -железо и обозначается α -Fe, или Fe α . Выше 911°C решетка железа изменяется на гранецентрированную кубическую (ГЦК). Это α -железо (α -Fe, или Fe α)

При 1392°C відбувається ще одне поліморфне перетворення – ГЦК ґратка знову перетворюється в ОЦК ґратку. Високотемпературне залізо з ОЦК ґраткою називають δ -залізом (δ -Fe, або Fe δ).

Железо с углеродом в твердом состоянии может образовывать три фазы: феррит, аустенит и цементит.

Феррит - это твердый раствор углерода в Fe_α , он обозначается $\text{Fe}_\alpha (\text{C})$.



Аустенит - твердый раствор углерода в Fe_γ , его обозначают $\text{Fe}_\gamma (\text{C})$.

Оба раствора ограничены жесткими растворами проникновения. Растворимость углерода в ОЦК решетке небольшая и даже при высоких температурах (727°C) не превышает 0,03%. Максимальная растворимость углерода в ГЦК решетке достигается при 1147°C и равна 2,14%.

Цементит - это химическое соединение Fe_3C , содержащая 6,67% углерода.

Диаграмма охватывает только небольшую часть всей системы сплавов железо-углерод и ог-ся количеством углерода 6,67%, которая соответствует цементита. Поэтому ее называют "диаграмма железо - цементит». Именно сплавы с содержанием углерода менее 6,67% нашли широкое практическое применение.

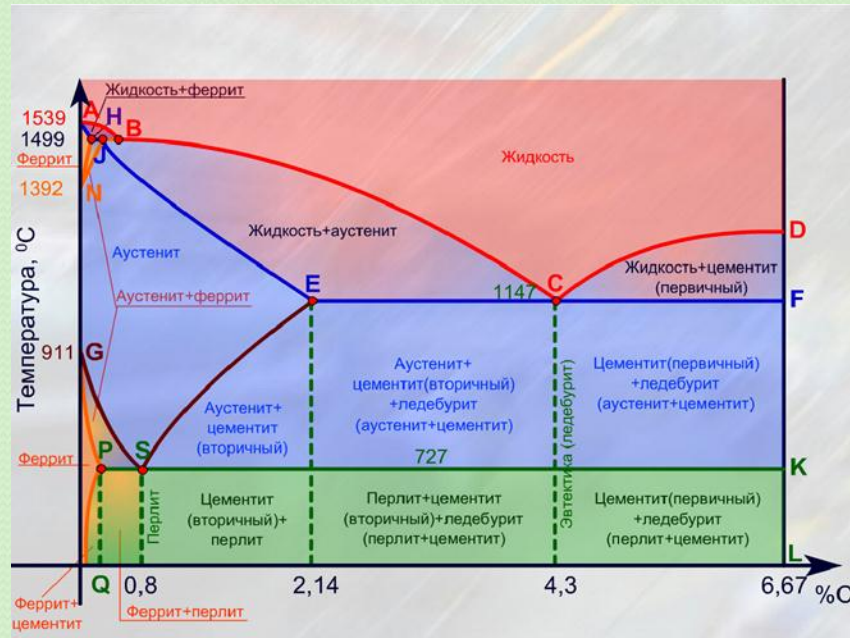


Диаграмма фазового равновесия приведена

По координатам отложена температура, по абсциссе нанесены две шкалы: верхняя характеризует количество углерода от 0% (100% железа) до 6,67% (100% Fe_3C), нижняя - количество цементита.

Диаграмма состояния Fe- Fe_3C , приведена на рис. 8.1, не учитывает полиморфного $\gamma \leftrightarrow \delta$ -преобразование, которое происходит при высоких температуре (левый верхний угол диаграммы) и практически не влияет на структуру и свойства большинства железоуглеродистых сплавов.

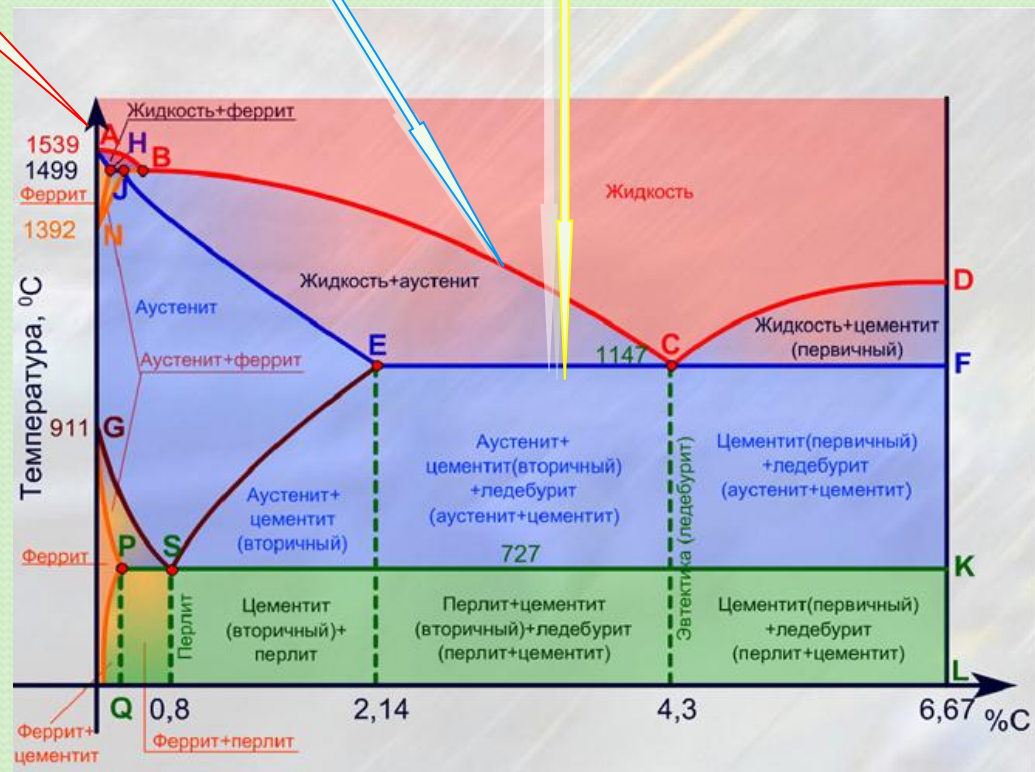
Сплавы с большим количеством углерода не используются из-за своей хрупкости.

ПЕРВИЧНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Точка А на левой ординате - это температура плавления чистого железа (1539°C), точка D на правой ординате - температура плавления цементита (1252°C), ACD - линия ликвидуса, выше которой все сплавы находятся в жидком состоянии, AECF - линия солидуса, ниже которой все сплавы находятся в твердом состоянии.

Верхняя часть диаграммы соответствует первичной кристаллизации (кристаллизации из жидкого состояния). Рассмотрим процессы, которые при этом происходят.

При охлаждении ниже линии AC из жидкого раствора починается выделение кристалликов твердой фазы. Поскольку при температуре $> 911^{\circ}\text{C}$ железо существует в модификации Fe γ , этой фазой является твердый раствор углерода в Fe γ - аустенит (A).

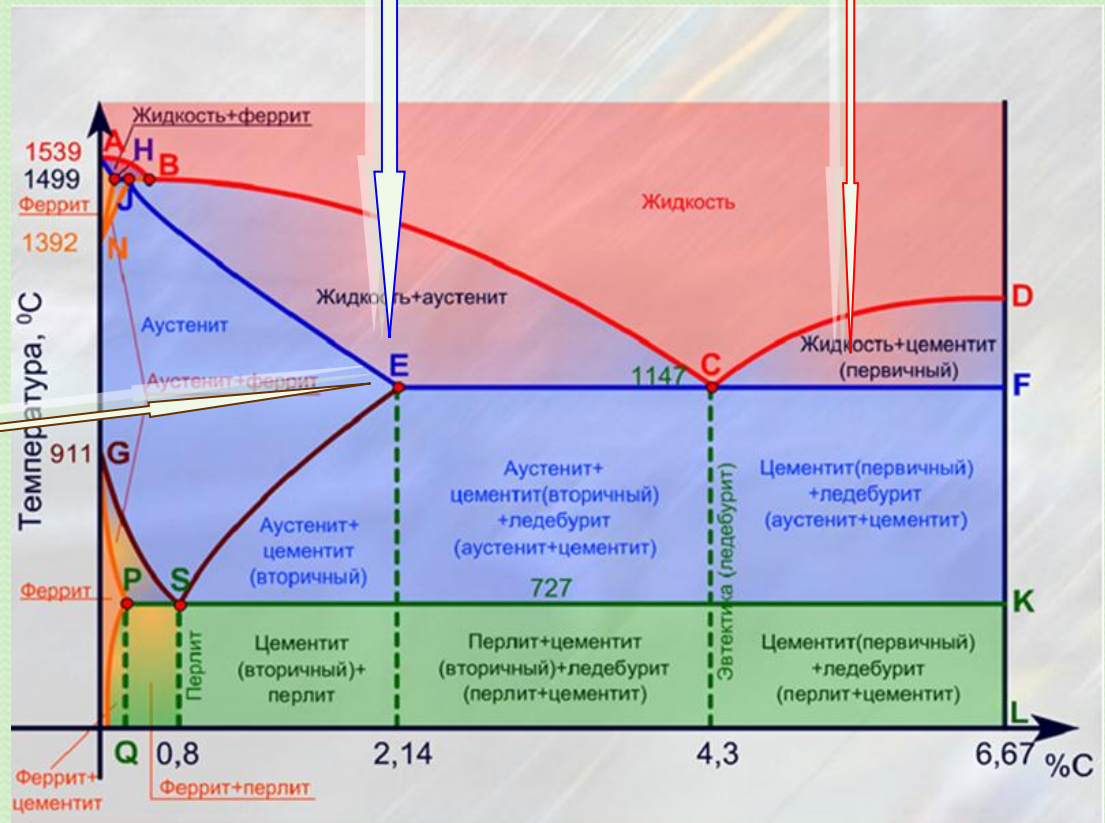


Ниже линии CD из жидкого раствора вы- отводится цементит, который называют первичным(ЦИ)

ПЕРВИЧНАЯ КРИСТАЛИЗАЦИЯ

Между линиями ликвидус и солидус существуют двухфазные области, в которых одновременно присутствуют жидкий раствор и кристаллики аустенита (между линиями AC и AЭC) или цементита (между линиями CD и CF).

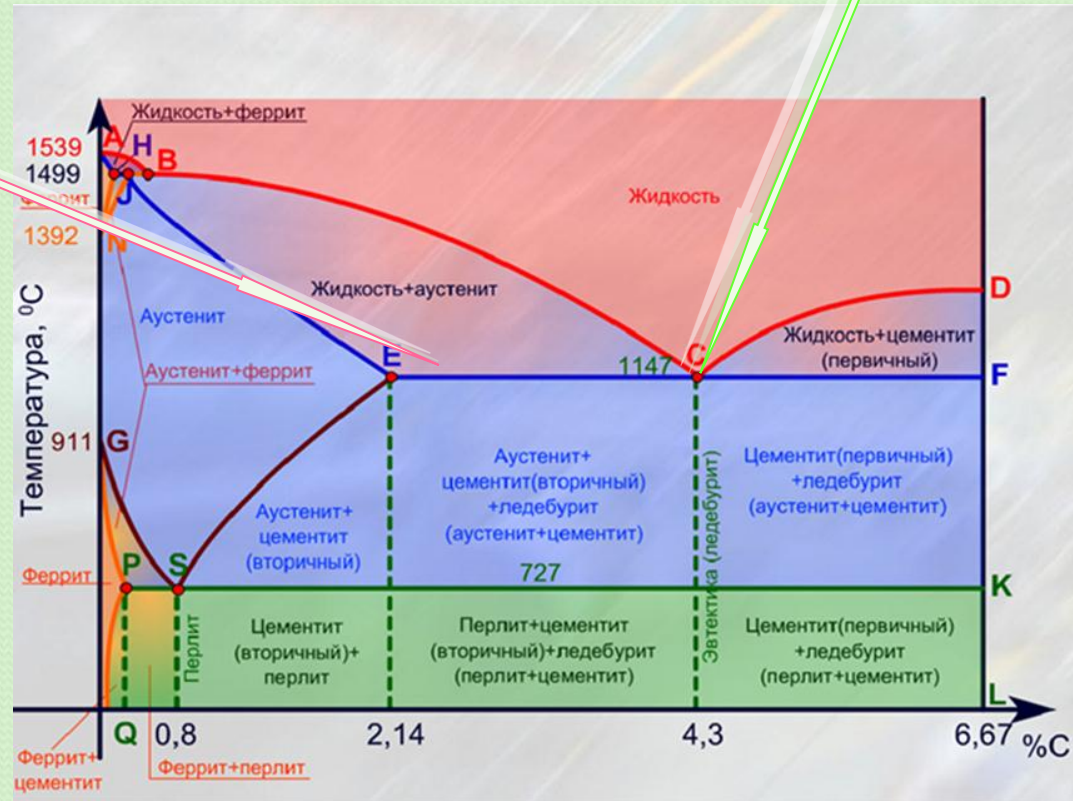
В процессе кристаллизации происходит изменение концентрации жидкого раствора (согласно линиями AC и CD) и аустенита (согласно линией AE). При 1147°C для сплавов любого состава концентрация углерода в аустените равна $2,14\%$ (точка E, характеризующая максимальную растворимость углерода в аустените). Концентрация углерода при этом тем температура равна $4,3\%$ (точка C).



ПЕРВИЧНАЯ КРИСТАЛИЗАЦИЯ

При кристаллизации сплава, состав которого соответствует точке С, с редкого раствора одновременно выделяются кристаллы аустенита и цементита, то есть образуется эвтектика (А + ЭТИ), которая называется ледебуритом.

Линия ЕСF
эвтектическая
горизонталь. При
такой температуре во
всех сплавах с
концентрацией
углерода более 2,14%
кристаллизация
заканчивается
образованием
ледебурита,
поскольку при этой
температуре
концентрация
углерода в жидком
растворе для всех
сплавов равна 4,3%.

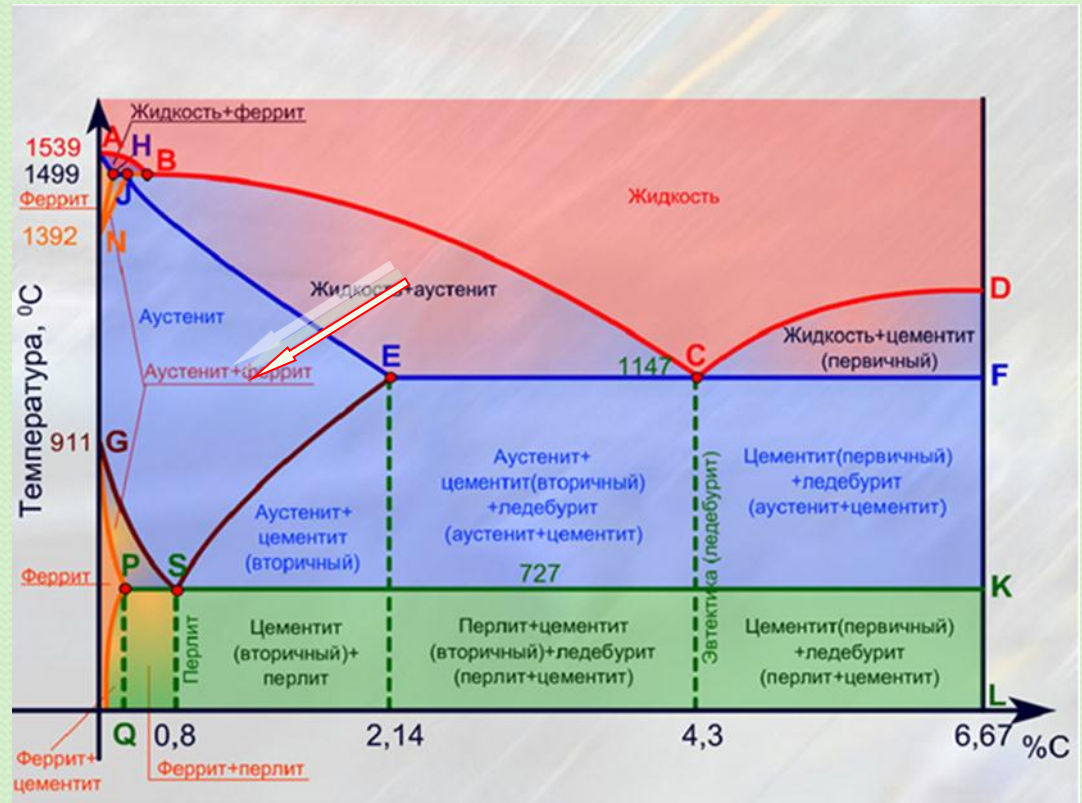


Точка С - эвтектическая точка (4,3% С). Итак, ледебурит (Л) - это однородная механическая смесь аустенита и цементита, которая образуется при постоянной температуре (1147 ° С).

ПЕРВИЧНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Таким образом, после окончания первичной кристаллизации сплавы с содержанием углерода $< 2,14\%$ имеют структуру аустенита, который выделялся из жидкого раствора в интервале температур между линиями AC и AE.

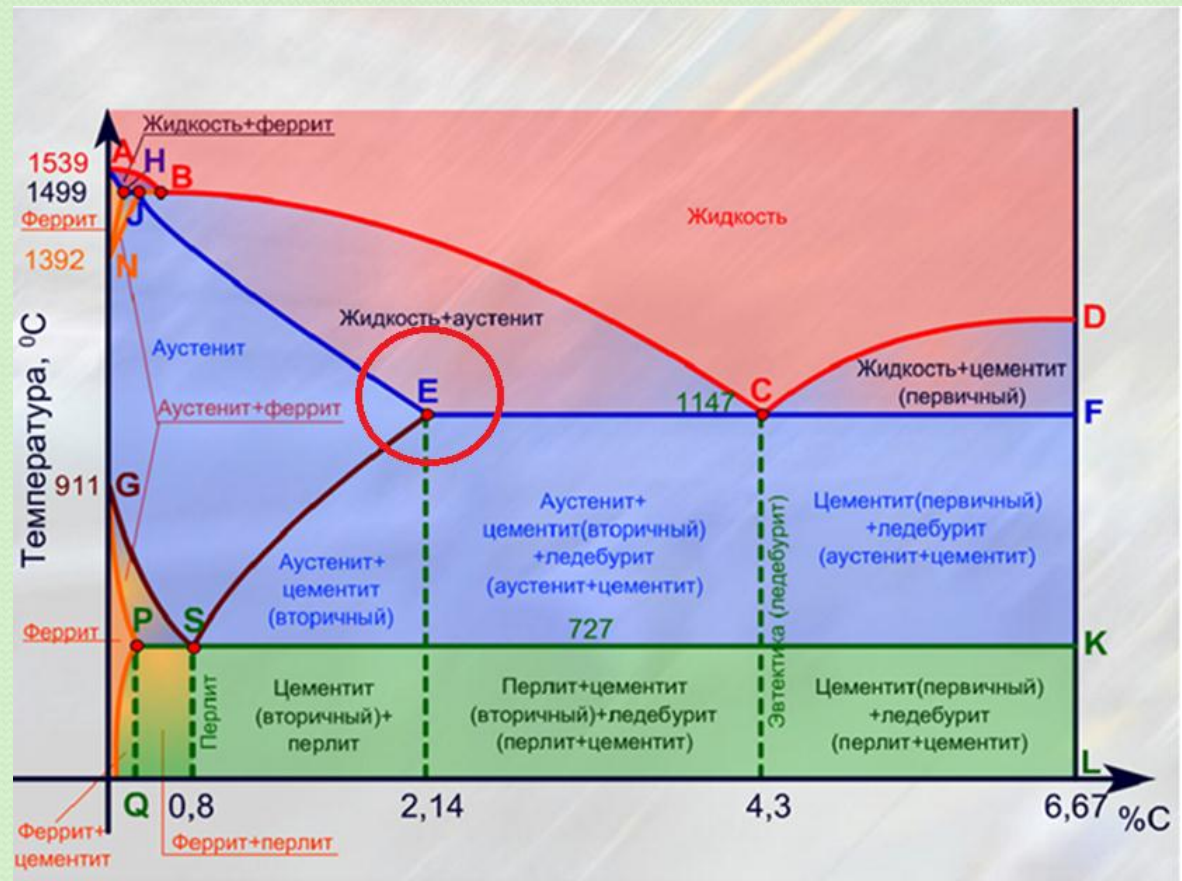
Сплавы с концентрацией углерода от $2,14$ до $4,3\%$ состоят из аустенита, который выделялся из жидкого раствора в интервале температур AC и EC, и ледебурита, образовавшийся при постоянной температуре 1147°C (линия ECF). Структура сплавов с содержанием $\text{C} = 4,3\%$ - ледебурит, с $\text{C} > 4,3\%$ - ледебурит и цементит, который выделялся в интервале температур между линиями CD и CF.



ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

Структурные и фазовые превращения, происходящие в железо-углеродистых сплавах в твердом состоянии (вторичная кристаллизация), обусловленные полиморфизмом железа и уменьшением растворимости углерода в твердых растворах (аустените и феррите) при снижении температуры.

Поскольку аустенит является твердым раствором проникновения, углерод в нем растворяется ограничено. Максимальная растворимость равна 2,14% (точка E, $t = 1147^\circ \text{C}$). При понижении температуры растворимость углерода в Fe γ уменьшается соответственно с линией ES и при 727°C достигает 0,8% (точка S

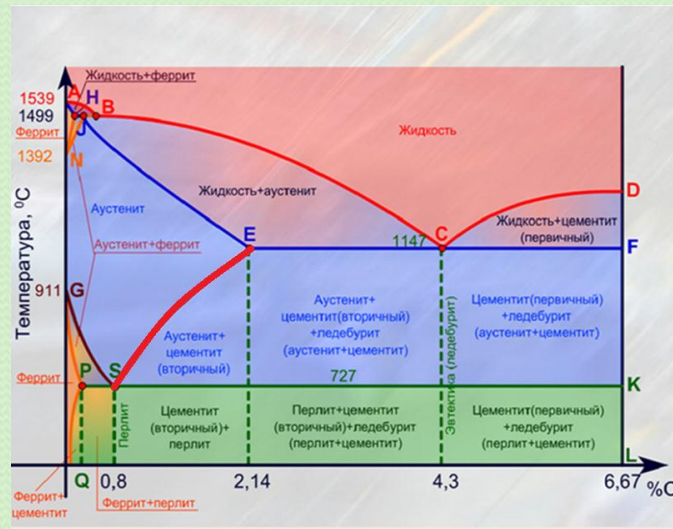


ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

Линия ES является линией ограниченной растворимости углерода в Fe γ и при каждой температуре характеризует максимальное содержание этого элемента в аустените. При 727 °С максимальное количество углерода, который может раствориться в аустените, равна 0,8%.

Уменьшение растворимости вызывает выделение из аустенита над-остаточного углерода в виде химического соединения Fe $_3$ C, есть цементита. Цементит, который выделяется из аустенита (с твердой фазы), называют вторичным (ЦII) в честь от первичного, что выделяется из жидкой фазы.

Следует подчеркнуть, что первичный и вторичный цементит имеет одинаковые свойства, и поэтому при рассмотрении реальных структур вид (происхождения) цементита чаще всего не детализуется.

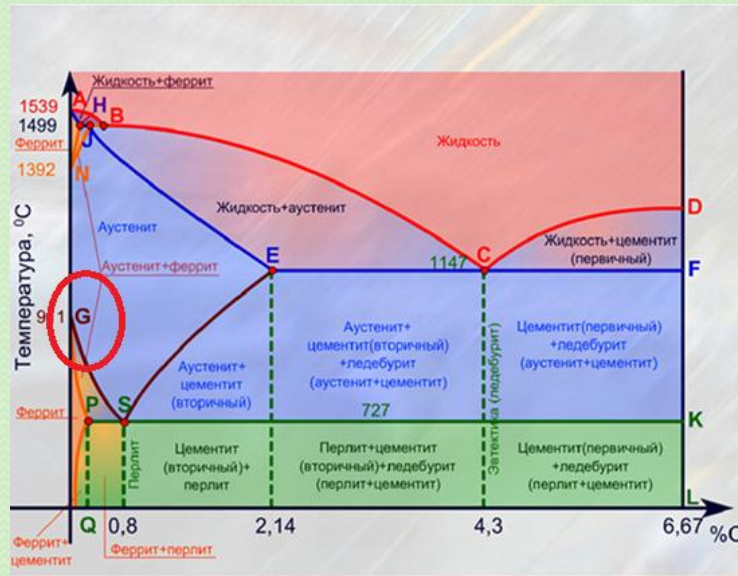


В сплавах с концентрацией C от 2,14 до 4,3% уменьшения раз-в силу углерода в аустените с понижением температуры также вызывает выделение вторичного цементита, поэтому при температурах ниже линии ЕС структура состоит из аустенита, ледебурита и вторичного цементита.

ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

При достижении температуры 727°C концентрация углерода в аустените во всех сплавах равна 0,8% (точка S).

Если бы в железе при охлаждении не происходило $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение, линия ES доходила бы до комнатной температуры. Однако вследствие полиморфного превращения появляется нижняя часть диаграммы.

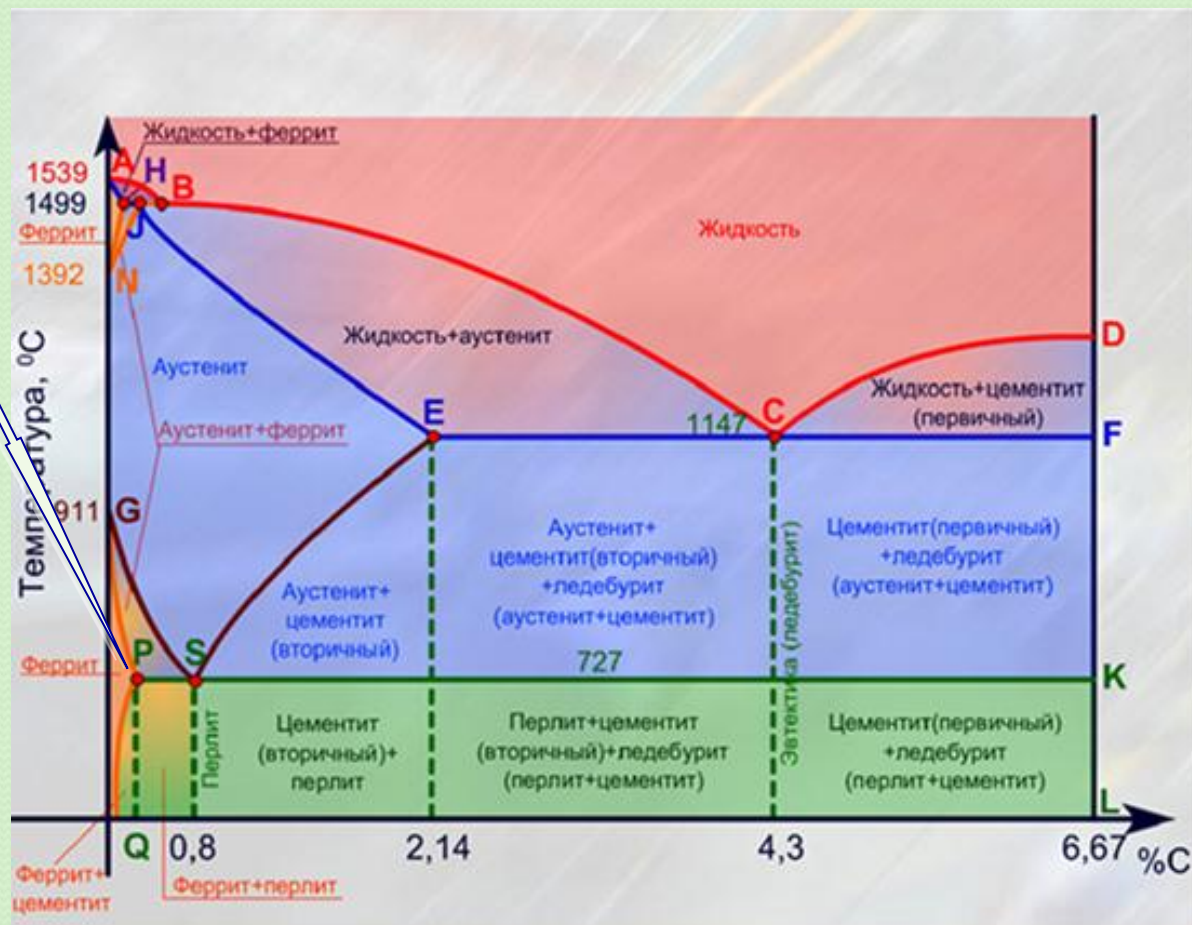


Точка G на левой ординате соответствует температуре полиморфного-го преобразования чистого железа (911°C). С увеличением содержания уг-лецю температура полиморфного превращения снижается. Линия GS соответствует началу преобразования решетки для сплавов с различной концентрацией углерода

В результате преобразования решетки ниже линии GS в структуре появляется феррит (Ф), который сосуществует с аустенитом в области, ограниченной линиями GS и GPS. При этом процесс выделения феррита, который содержит мало углерода, сопровождается повышением его концентрации в аустените по линии GS. При температуре 727°C она для всех сплавов достигает 0,8% (точка S).

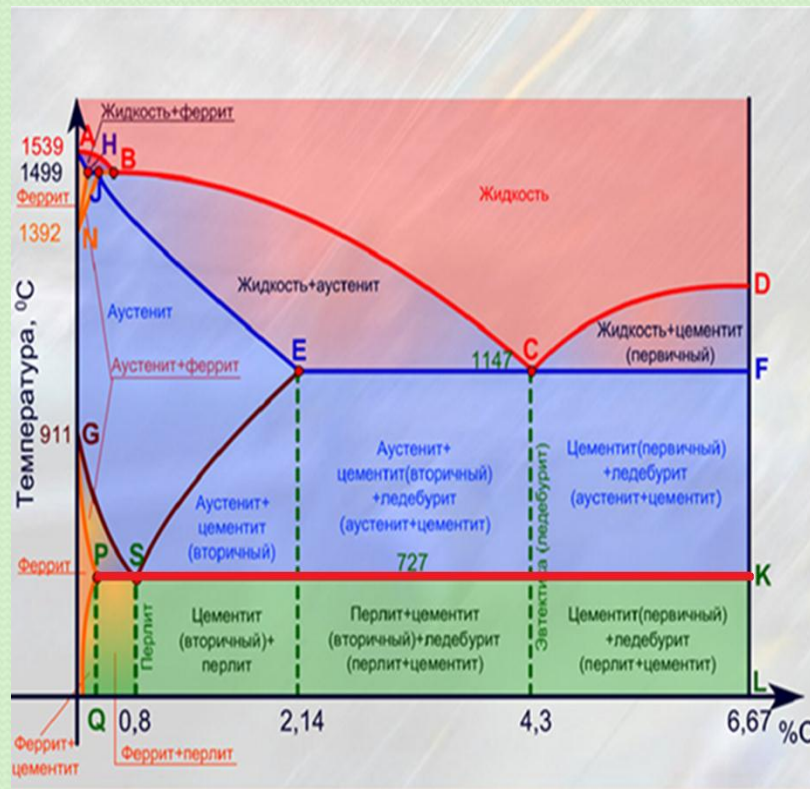
Линия GP соответствует окончанию $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения в сплавах с концентрацией $C < 0,03\%$. Ниже этих температур существует чистый феррит (Ф). Точка P показывает максимальную растворимость в нем углерода (0,03% при температуре 727 °C)

С понижением температуры растворимость уменьшается, и при комнатной становится равной 0,006% (точка Q). Таким образом, PQ - линия ограниченной растворимости углерода в Fe α . В результате снижения растворимости из феррита также выделяется избыточный (цементит (третичный), но его количество невелико, и мы его не будем рассматривать



Горизонталь PSK (727 ° C) соответствует окончанию $\gamma \rightarrow \alpha$ пре-ния в сплавах с содержанием углерода $> 0,03\%$. Как уже говорилось, при этой температуре аустенит содержит 0,8% C.

При такой концентрации из него одновременно выделяются две фазы - кристаллы феррита, которые образовались в результате полиморфного превращения, и цементита, выделившегося в результате уменьшения растворимости углерода в Аустените



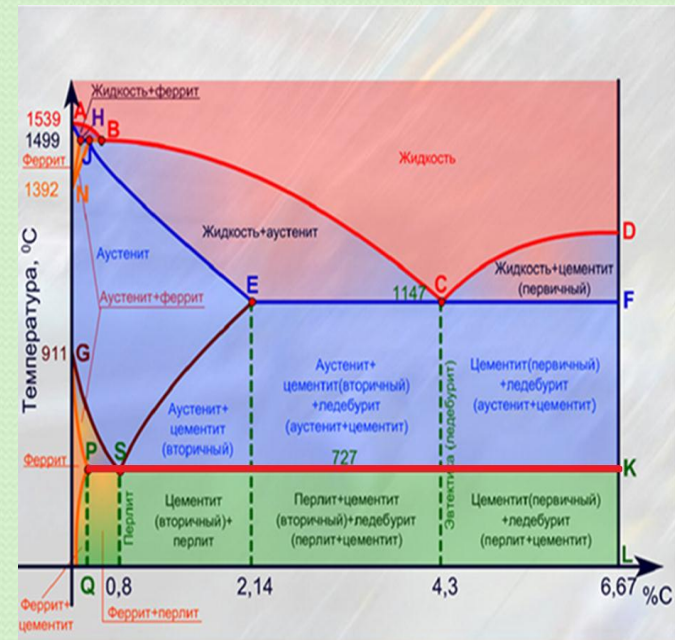
Однородная механическая смесь феррита и цементита, которая образуется при постоянной температуре 727 ° C за счет их одновременного выделения из аустенита, называется перлитом. Эта структура подобна эвтектики, но она формируется не из жидкого состояния, а при распаде твердого раствора, и ее называют евтектоидом.

Линия PSK (727°C), которая соответствует образованию евтектоида, - это линия эвтектоидного (перлитного) преобразования (эвтектоидная горизонталь).

При температурах $<727^{\circ}\text{C}$ аустенит в равновесном состоянии не существует.

Ниже 727°C сплавы в зависимости от содержания углерода имеют следующие структуры:

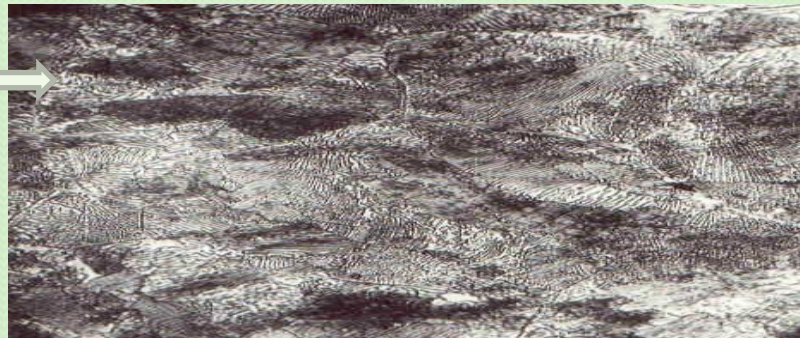
- $<0,8\%\text{C}$ - феррит и перлит;
- $0,8\%\text{C}$ - перлит;
- От $0,8$ до $2,14\%\text{C}$ - перлит и цементит;
- От $2,14$ до $4,3\%\text{C}$ - перлит, ледебурит, цементит;
- $4,3\%\text{C}$ - ледебурит
- $> 4,3\%\text{C}$ - ледебурит и цементит.



Подчеркнем, что выше 727°C ледебурит - это смесь аустенита и цементита, ниже этой температуры - смесь перлита и цементита.

Железоуглеродистые сплавы, которые содержат углерода $\leq 2,14$ %, называются сталями. Железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода $> 2,14$ %, называются чугунами.

Стали в зависимости от содержания углерода делятся на доэвтектоидные ($C < 0,8$ %), эвтектоидную ($C = 0,8$ %) и заэвтектоидные ($C > 0,8$ %).

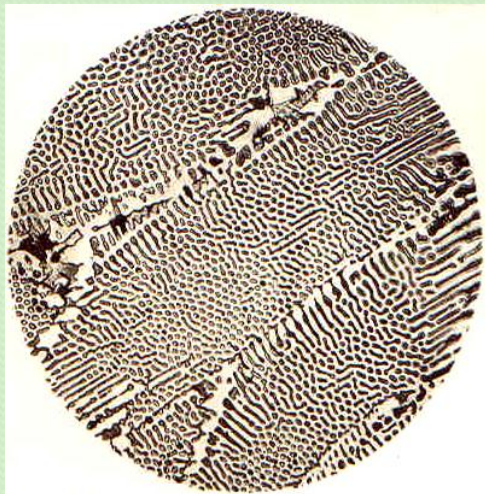


Различают *белые* и *графитизированные* чугуны. В белых чугунах весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита.



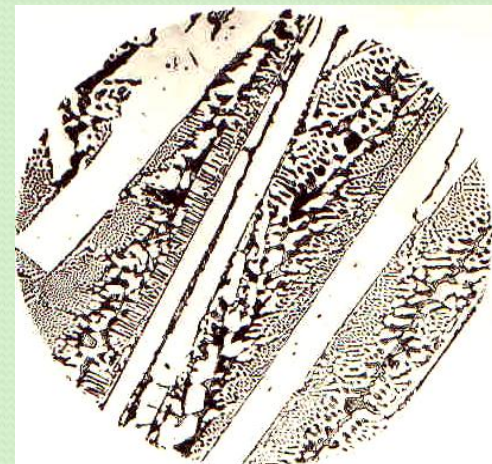
$C < 4,3\%$

ДОЭВТЕКТИЧЕСКИЙ



$C = 4,3\%$

ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ



$C > 4,3\%$

ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИЙ

Сплавы содержащие менее 0,025% С, представляют собой техническое железо и имеют структуру феррита- твердого раствора углерода в α железе

Феррит это мягкая и пластичная структурная составляющая (НВ-700, σ_b -200 МПа, δ -40%, ψ -60%)



Перлит-это механическая смесь феррита и цементита пластинчатого строения.



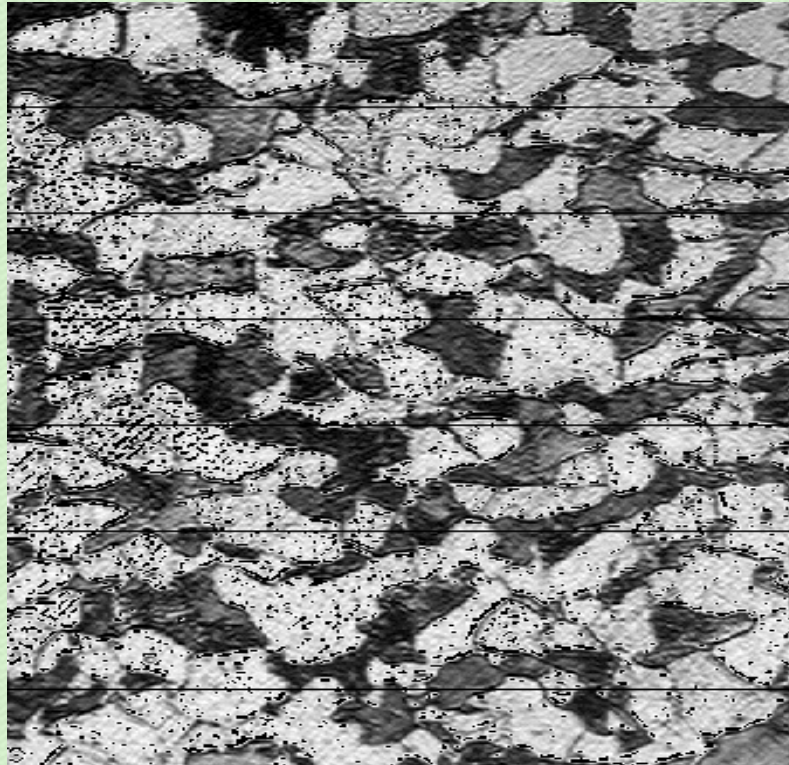
Цементит (карбид железа Fe_3C) имеет высокую твердость (НВ-870), тогда как пластичность практически равна нулю

При исследовании в микроскопе феррит имеет вид светлых зерен, отделенных друг от друга границами.

В доэвтектоидной стали по микроструктурой можно ориентировочно оценить место углерода, подсчитав площадь, которую занимает на шлифе перлит.

Можно считать, что в доэвтектоидной стали практически весь углерод находится в перлите. Исходя из этого и учитывая, что в эвтектоидной стали с содержанием углерода 0,8% структура состоит полностью из перлита, концентрацию углерода в стали можно определить по формуле

$$C = \frac{F_n \bullet 0,8}{100} \%$$



Количество углерода в стали- это один из основных факторов ,что влияют на свойства сталей

Где F_n - площадь, которую занимает перлит %

С увеличением в стали содержание углерода возрастает количество твердого и хрупкого цементита, который в доэвтектоидных и эвтектоидной стали, кроме перлита, в структурно свободном состоянии по границам зерен.

Доля же мягкого и пластичного феррита уменьшается. При количестве углерода 2,14% сталь содержит 32% цементита. Вследствие этого с увеличением содержания углерода твердость (НВ) и прочее и прочность (σ_B , $\sigma_{0,2}$) стали увеличиваются, а пластичность (ψ , δ) и ударная вязкость (КСУ) уменьшается.

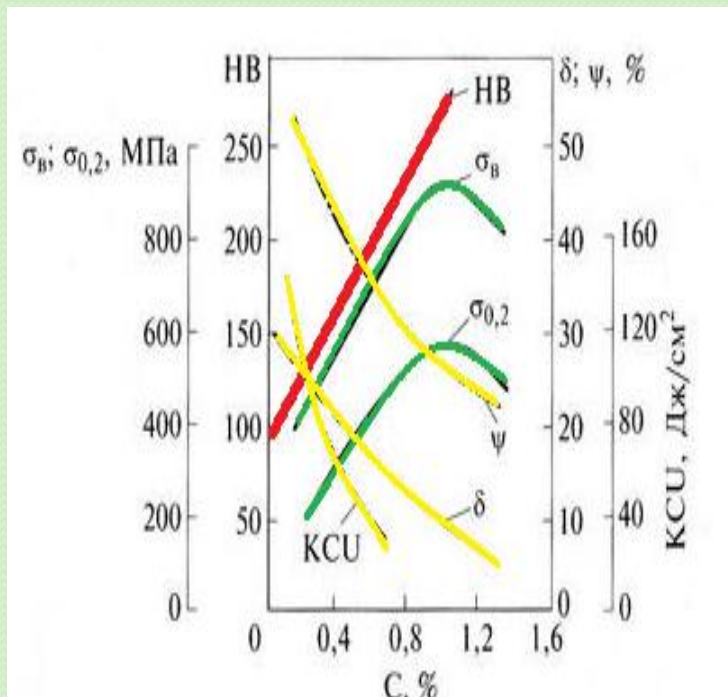


График показывает что доэвтектонидные стали соединяют высокую пластичность и ударную вязкость с достаточным показателем твердости и прочности

При количестве углерода выше – 0,9% начинают снижаться и показатели прочности, которые обусловлены присутствием на границах зерен сетки хрупкого цементита. Количество углерода положено в основу классификации качественных сталей, в которых цифрами обозначают содержание углерода у сотых процента (сталь 20-0,20%, сталь 45-0,45%)

Эвтектоидные та заэвтектоидные стали при высокой твердости и прочности имеют низкие показатели пластичности и ударной вязкости.

Области применения
углеродистых инструментальных сталей

Наименование стали	Марка стали	Применение
Углеродистая инструментальная	У7 У7А	Слесарные зубила, молотки, кузнечный инструмент, керны, отвертки, косы
Углеродистая инструментальная	У8 У8А	Ручной столярный инструмент, ножницы, рамные пилы, ножи рубильных машин
Углеродистая инструментальная, высокой твердости	У10 У10А	Ручной инструмент, ленточные пилы, фрезы малого диаметра сверла. развертки
Углеродистая инструментальная, повышенной твердости	У12 У13	Слесарные напильники, надфили, ножовочные полотна по металлу, токарные резцы по дереву, граверный инструмент

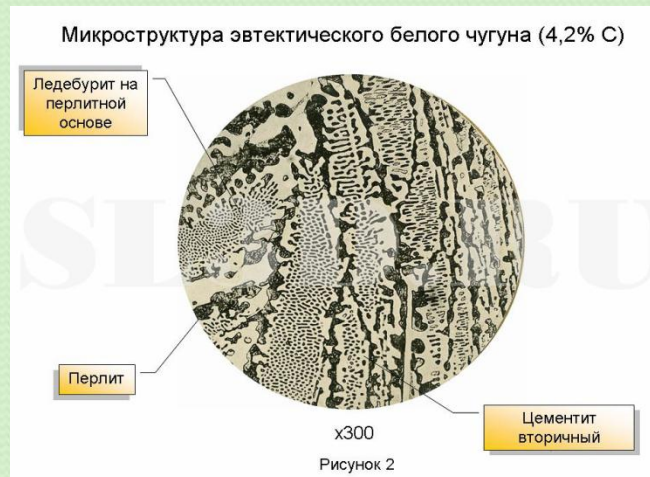
По своему назначению они инструментальные. Их маркируют буквой У и цифрами , которые указывают количество углерода в десятых процента(У8-0,8% У12-1,2%)

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ

Углерод в чугунах может находиться в связанном состоянии (в виде цементита) или в свободном состоянии (графит). Зависимо от состояния углерода различают белые и графитизированные чугуны

Белые чугуны

В этих чугунах весь углерод находится в виде цементита. По содержанию углерода они делятся на **доэвтектические** ($<4,3\%C$), **эвтектический** ($4,3\%C$), **заэвтектические** ($>4,3\%C$). Соответственно с диаграммой состояния Fe-Fe₃C эвтектически белый чугун имеет структуру ледебурита (механическая смесь перлита и цементита)



Структура доэвтектического белого чугуна складывается из перлита, ледебурита и вторичного цементита, который при металлографических исследованиях не проявляется как отдельная фаза, поскольку объединяется с цементитом ледебурита

Структура заэвтектичного белого чугуна представляет собой ледебурит и первичный цементит

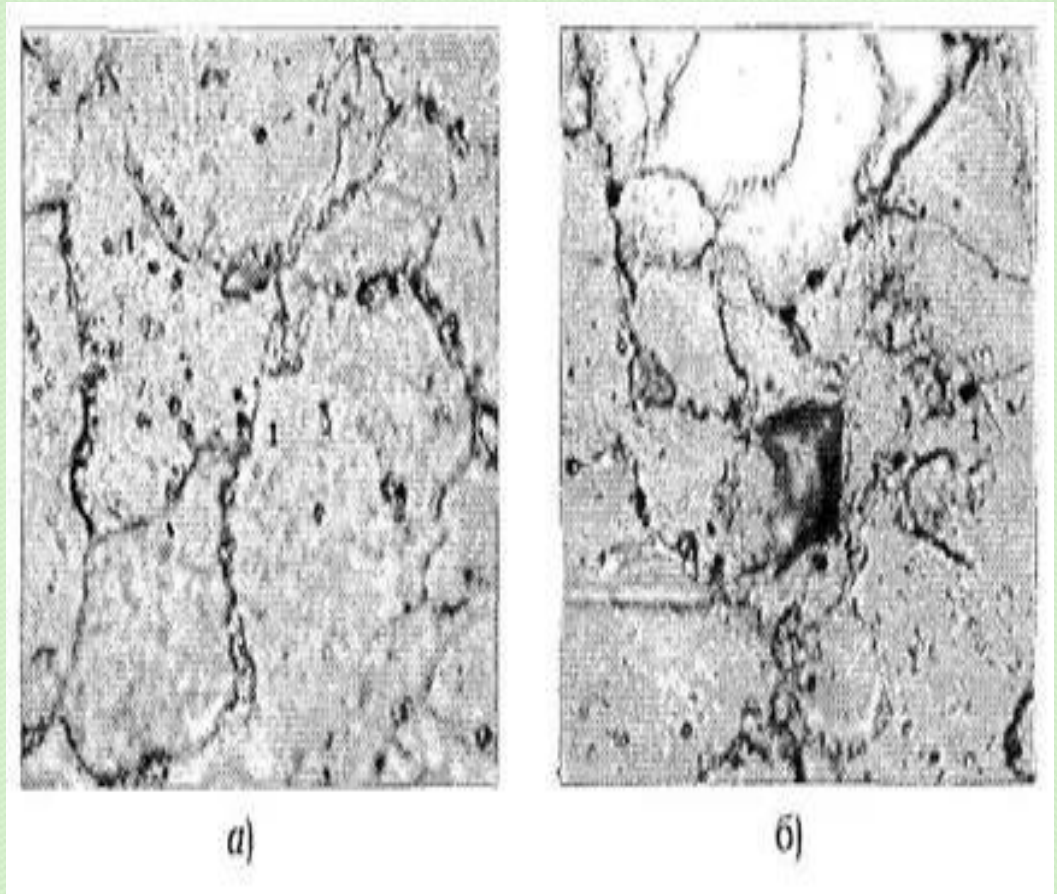
В зависимости от содержания углерода в доэвтектических чугунах изменяется количественное соотношение перлита и ледебурита. В заэвтектических чугунах с повышением количества углерода увеличивается доля цементита



Большое количество цементита в структуре белых чугунов (60% при содержании 4,3% С) предопределяет их высокую твердость и хрупкость, низкую пластичность, невозможность обработки резанием, что очень ограничивает их использование. Белые чугуны НЕ маркируются

В зависимости от формы графита различают серый, ковкий и высокопрочный чугун.

Металлическая основа этих чугунов может быть ферритой, перлитной и феррито-перлитной. Это зависит от количества углерода, который остался в аустените после выделения графита. В том случае, когда содержание углерода в аустените равно 0,8% формируется перлитная структура. Если практически весь углерод выделяется в виде графита, матрица имеет ферритную структуру. При содержании углерода в аустените меньше 0,8% структура будет феррито-перлитной



феррито-перлитная структура

В серых и высокопрочных чугунах графит выделяется при первичной кристаллизации непосредственно из жидкого состояния. Шаровидная форма графита в высокопрочных чугунах достигается модифицированием жидкого чугуна такими элементами как магний, церий, иттрий. Ковки чугуна получают термической обработкой (отжигом) белого чугуна, в процессе которого выделяется графит пластичастой формы

Степень графитизации, то есть количество углерода, выделившегося в виде графита, в первую очередь зависит от химического состава чугуна. Графитизации способствуют углерод и кремний. Кроме того, на выделение графита при кристаллизации влияет скорость охлаждения: чем она ниже, тем больше выделится графита при одном и том же химическом составе



термической обработкой

Механические свойства графитизированных чугунов зависят как от структуры металлической матрицы, так и от формы, размеров графитных включений и их количества. Свойства металлической матрицы в первую очередь обусловлены соотношением феррита и перлита. при одинаковом количестве графита высочайшую прочность имеют чугуны с перлитной структурой, самую низкую из ферритной.

Графит значительно влияет на свойства чугуна. По сути чугун можно рассматривать как сталь, в которой расположены графитовые частицы.

Поскольку прочность графита очень низкая, эти включения играют роль надрезов, снижающие сопротивление металла разрушению. При одинаковой металлической матрицы чем меньше графитных включений и чем они мельче, тем выше прочность чугуна.



Форма графита обуславливает пластичность чугуна. Наибольшее негативное влияние на пластичность создает графит пластинчатой формы. Такой графит является интенсивным концентратором напряжений, поэтому в сером чугуне независимо от структуры металлической матрицы пластичность приближается к нулю $\delta \approx 0,5\%$

У высокопрочного и ковкого чугуна пластичность зависит от структуры металлической матрицы: с увеличением количества перлитной составляющей в структуре, то есть с повышением прочности, пластичность снижается. Но следует иметь в виду, что даже при невысокой прочности пластичность чугуна ниже, чем у стали. Поэтому чугун лучше работает на сжатие или на изгиб, чем на растяжение.



Сжатие трубы из высокопрочного чугуна

. Предел его прочности при растяжении составляет 100–350 МПа, относительное удлинение – 0,2–0,8 %.



Структура серого чугуна

Маркируется серый чугун следующим образом: СЧ15, СЧ20 и т.д. (ГОСТ 1412-87). Буквы означают принадлежность к серому чугуну, цифры показывают предел прочности в МПа·10⁻¹. Например, чугун марки СЧ15: $\sigma_B = 150$ МПа.

Механические свойства такого чугуна значительно лучше: предел прочности достигает 1000 МПа, относительное удлинение находится в пределах 2–22 %. Такой чугун в ряде случаев является полноценным заменителем стали.



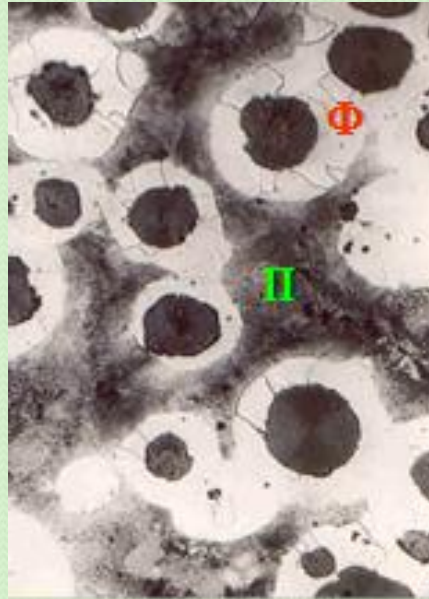
Маркируется высокопрочный чугун так: ВЧ350-22, ВЧ400-15...ВЧ1000-2 (ДСТУ 3925-99). Буквы обозначают принадлежность к высокопрочному чугуну, первые числа (до дефиса) указывают на предел прочности σ_B в МПа, а число через дефис – относительное удлинение δ в процентах.

Например, чугун марки
ВЧ 350-22: $\sigma_B = 350$ МПа, $\delta = 22$ %.

КОВКИЙ ЧУГУН

Ковкий чугун имеет хлопьевидную форму графитных включений. Получают его длительной выдержкой белого чугуна при высокой температуре ($\sim 1000^\circ\text{C}$).

Такая термическая обработка называется графитизирующим отжигом. Цементит распадается с выделением графита в виде хлопьев. Такие включения меньше разобщают основу по сравнению с серым чугуном. Поэтому ковкий чугун прочнее и пластичнее серого чугуна.



. Микроструктура феррито-перлитного высокопрочного чугуна

Предел прочности его находится в пределах 300–800 МПа, относительное удлинение $\delta = 2\text{--}12\%$. Обозначают ковкие чугуны буквами КЧ, первые две цифры указывают на предел прочности σ_B в $\text{МПа} \cdot 10^{-1}$ (ГОСТ 1215-79).

Другие две или одна – относительное удлинение δ в процентах. Например, чугун марки КЧ30-6: $\sigma_B = 300$ МПа, $\delta = 6\%$.

Порядок выполнения работы

1. Исследовать под микроскопом и схематически зарисовать структуру сталей с разной концентрацией углерода. Определить за структурой, которые из образцов есть техническим железом, доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталью
2. В доэвтектоидной стали подсчитать площадь, которую занимает перлит на рассмотренном участке поверхности шлифа, ориентировано определить концентрацию углерода и марку стали.
3. Измерять твердость сталей разных марок
4. Изучить микроструктуру белых чугунов, определить, который из образцов есть доэвтектическим, эвтектическим, заэвтектическим чугуном

Литература

Гладкий И.П. Технология конструкционных материалов и материаловедение /И.П. Гладкий,В.И.Мощенок,В.П.Тарабанова - Х.:ХНАДУ,2014.-576с.

Лахтин Ю.М. Материаловедение: учебн. для машиностроительных вузов/Ю.М.Лахтин,В.П.Леонтьева.-М.:Машиностроение,1990.-528с.

Бондаренко С.И Матеріалознавство лабораторний практикум ХНАДУ
2006.стор.73-80



Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Автор: доц. Глушкова Д.Б.

Lab 7_1M_TKMIM_GDB_25.03.15























