Лабораторная работа №9

Лабораторная работа №7

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ ЖЕЛЕЗО -УГЛЕРОД

Блок 6 модуль 17

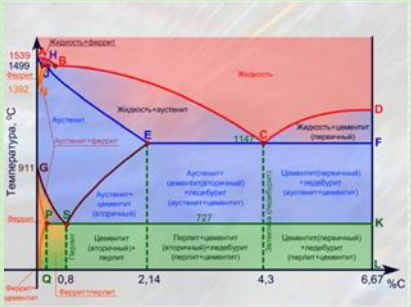
Автор: доц. Глушкова Д.Б.

Lab 9_1M_TKMIM_GDB_01.04.15

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

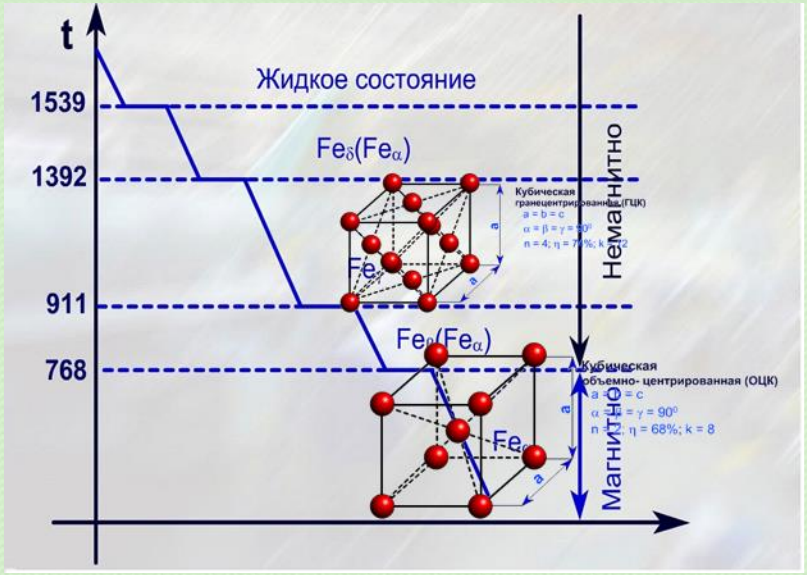
Оборудование, приборы, материалы:

1. Диаграмма состояния железо - цементит.
2. Модели кристаллических решеток модификаций Feα и Feγ.
3. Металлографический микроскоп
4. Образцы сталей с различным содержанием углерода
5. Образцы белого доэвтектический, 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 пла-вов в равновесном состоянии описывается диаграммой фазового равновесия (диаграммой состояния).

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

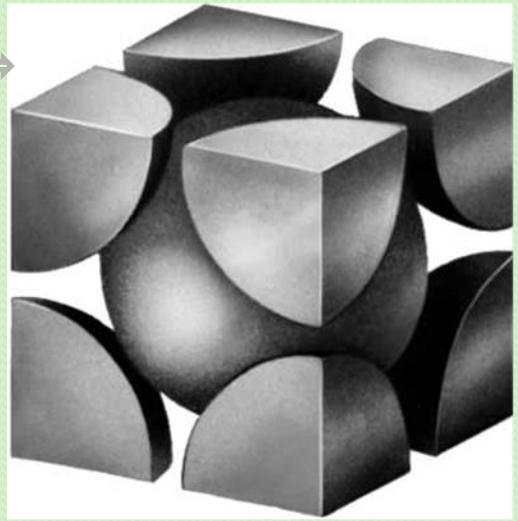


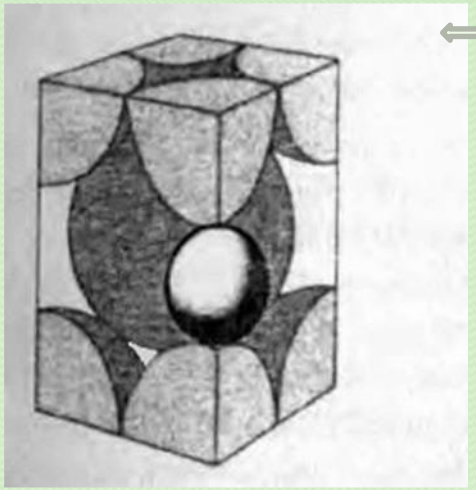
Такое железо называется α-железо и обозначается α - Fe, или Fe α. Выше 911 ° С решетка железа изменяется на гранецентрированную кубическую (ГЦК). Это α - железо (α -Fe, или Fe α)

При 1392 °С 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 Feα, он обозначается Feα (C).





Аустенит - твердый раствор углерода в Feγ, его обозначаю т Fe_{γ} (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 Fe3C, 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.

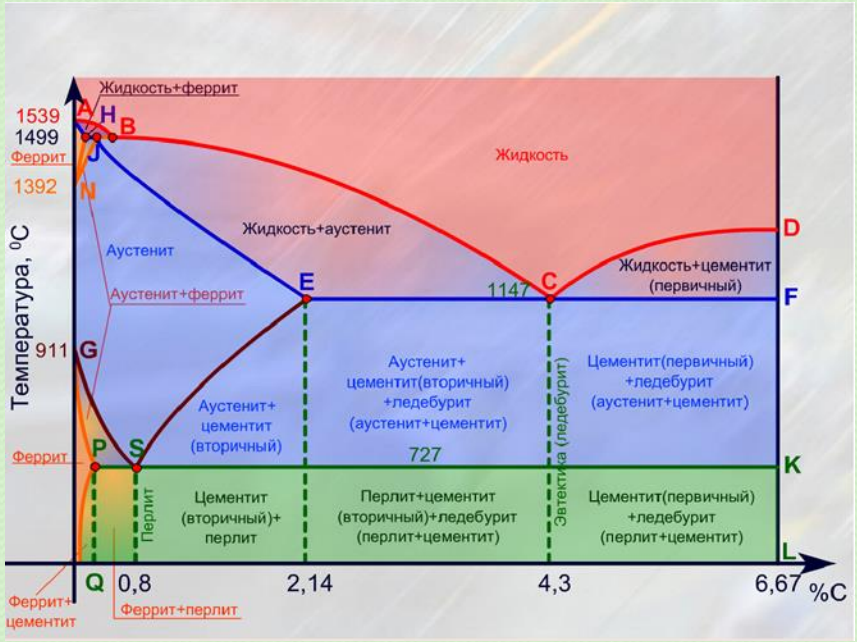


Диаграмма фазового равновесия приведена

По координатах отложена температура, по абсциссе нанесены две шкалы: верхняя характеризует количество углерода от 0% (100% железа) до 6,67% (100% Fe3C), нижняя - количество цементита.

Диаграмма состояния Fe-Fe3C, приведена на рис. 8.1, не учитывает по-лиморфного γ↔δ-преобразование, которое происходит при высоких темпе-ратуре (левый верхний угол диаграммы) и практически не влияет на структуру и свойства большинства железоуглеродист ых сплавов.

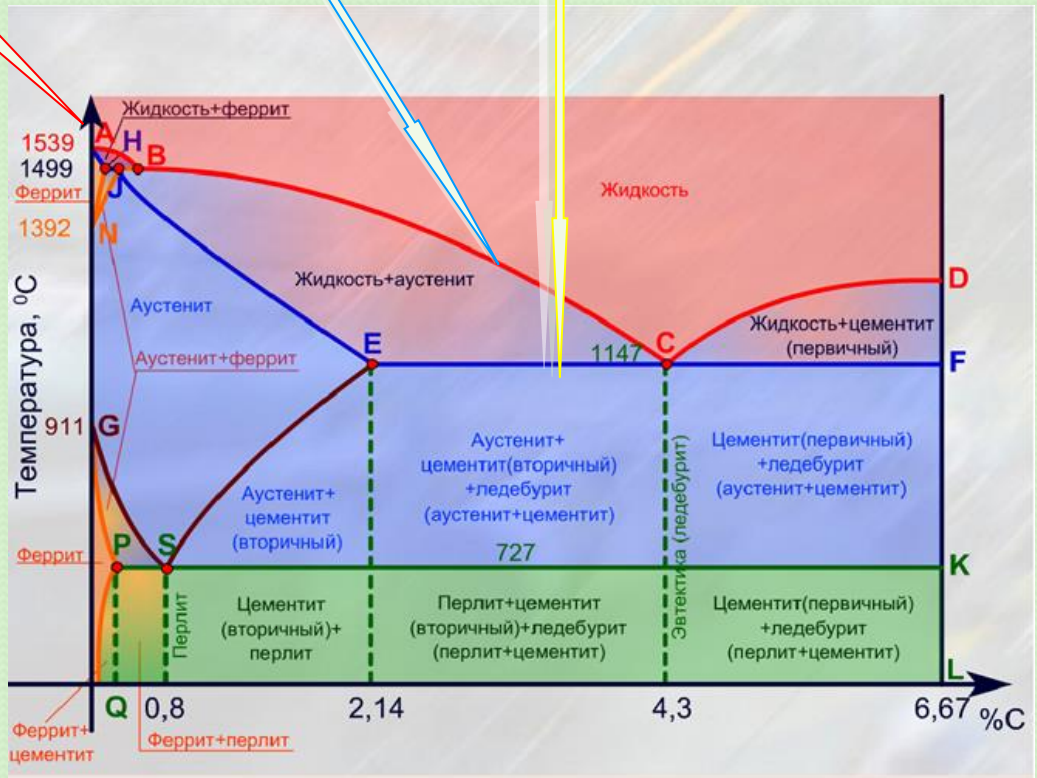
Сплавы с большим количеством углерода не используются из-за своей хрупкости.

ПЕРВИЧНАЯ КРИСТАЛИЗАЦИЯ

Точка А на левой ординате - это температура плавления чистого железа (1539 ° С), точка D на правой ординате - температура плавления цементита (1252 ° С), 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 АС из жидкого раствора починает-ся выделение кристалликов твердой фазы. Поскольку при температуре> 911 ° С железо существует в модификации Feγ, этой фазой является твердый раствор углерода в Feγ - аустенит (А).

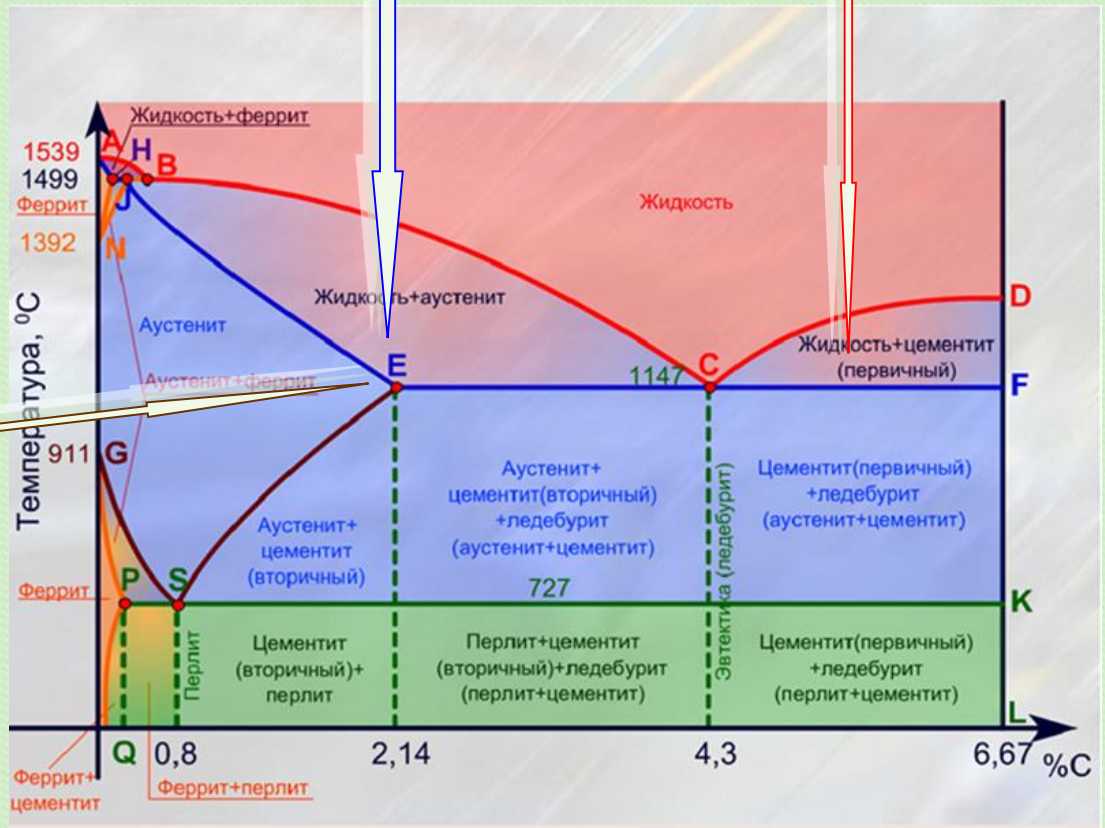


Ниже линии CD из жидкого раствора вы- отводится цементит, который называют первичным(ЦИ)

ПЕРВИЧНАЯ КРИСТАЛИЗАЦИЯ

Между линиями ликвидус и солидус существуют двухфазные области, в которых одновременно присутствуют жидкий раствор и кристаллы аустенита (между линия-ми АС и АЭС) или цементита (между линиями CD и CF).

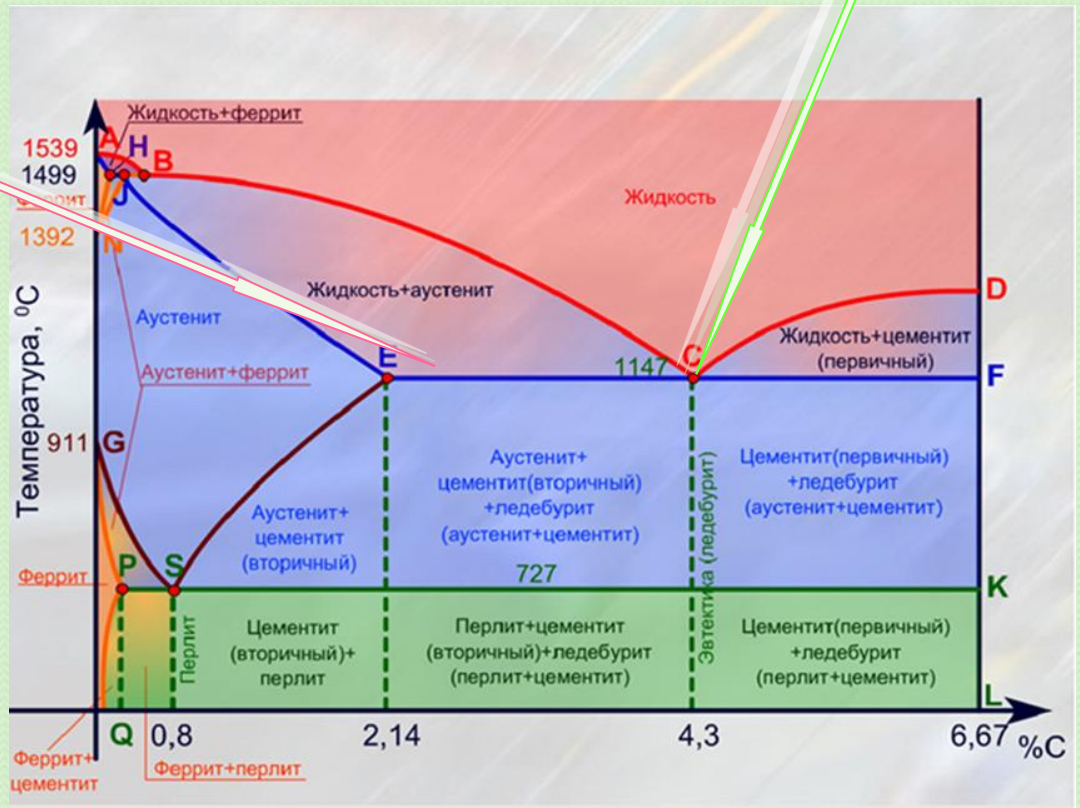
В процессе кристаллизации происходит изменение концентрации жидкого раствора (согласно линиями АС и CD) и аустенита (согласно линией АЕ). При 1147 ° С для сплавов любого состава концентрация углерода в аустените равна 2,14% точка Е, характеризующая максимальную растворимость углерода в аустените. Концентрация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



ПЕРВИЧНАЯ КРИСТАЛИЗАЦИЯ

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

Линия ECF - 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%.

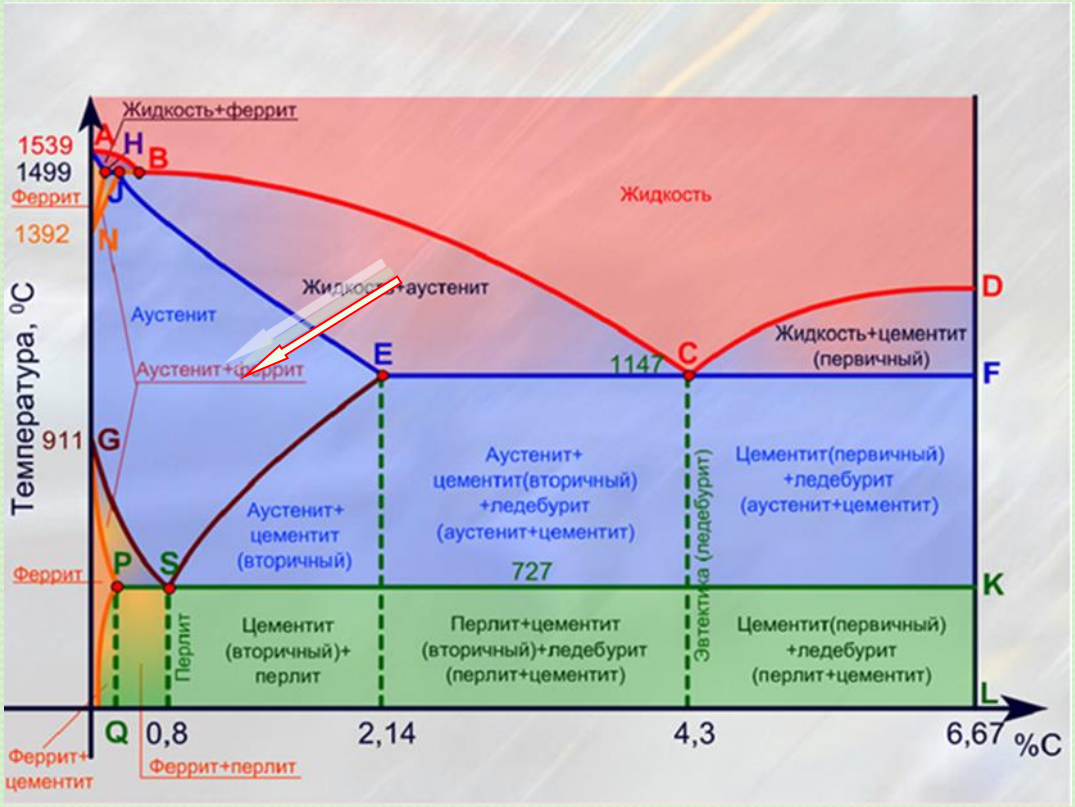


Точка С - эвтектическая точка (4,3% С). Итак, ледебурит (Л) - это однородная механическая смесь аустенита и цементита, которая образуетется при постоянной температуре (1147 ° С).

ПЕРВИЧНАЯ КРИСТАЛИЗАЦИЯ

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

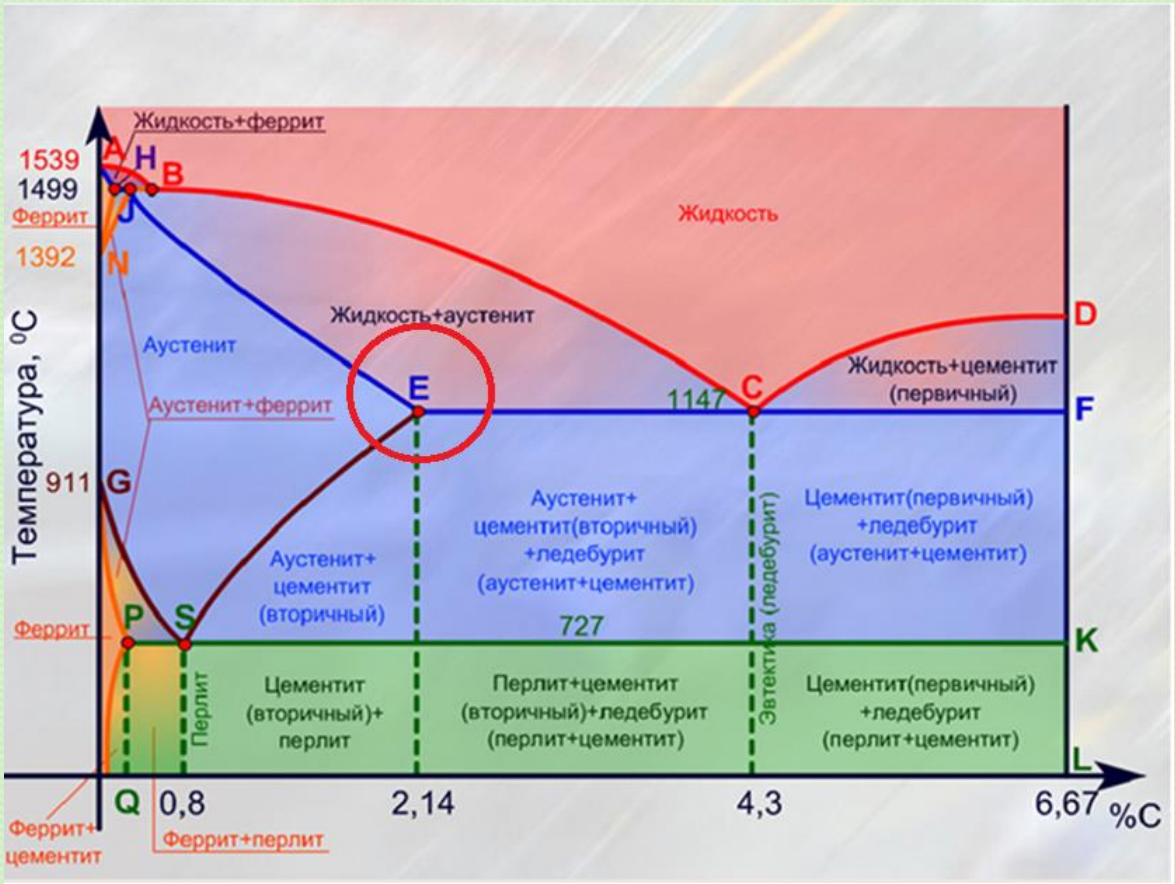
Сплавы с концентрацией углерода от 2,14 до 4,3% состоят из аустенита, который выделялся из жидкого раствора в интервале температур AC и EC, и ледебурита, образовавшийся при постоянной температуре 1147 ° C (линия ECF). Структура сплавов с содержанием C = 4,3% - ледебурит, с C> 4,3% - ледебурит и цементит,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

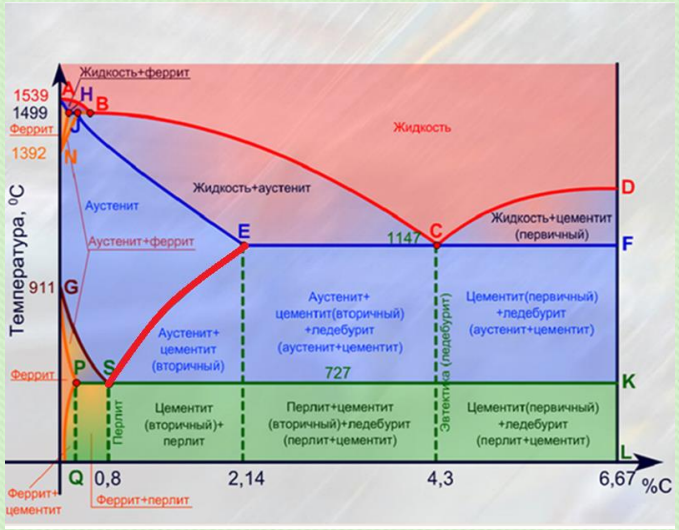
Поскольку аустенит является твердым раствором проникновения, углерод в нем растворяется ограничено. Максимальная растворимость равна 2,14% (точка E, t = 1147 ° C). При понижении температуры растворимость углерода в Feγ уменьшается соответственно с линией ES и при 727 ° C достигает 0,8% (точка S



ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

Линия ES является линией ограниченной растворимости углерода в Feγ 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_3C, есть цементита. Цементит, который выделяется из аустенита (с твердой фазы), называют вторичным (ЦII) в честь от первичного, что выделяется из жидкой фазы.



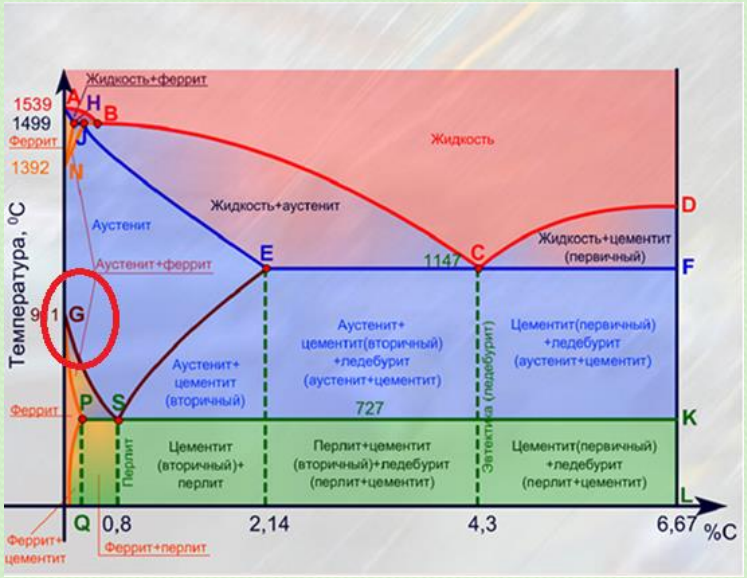
В сплавах с концентрацией С от 2,14 до 4,3% уменьшения раз-в силу углерода в аустените с понижением температуры также вызывает выделение вторичного цементита, поэтому при температурах ниже линии ЕС структура состоит из аустенита, ледебурита и вторичное цементита

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

ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

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

Если бы в железе при охлаждении не происходило γ→α пре-ние, линия ES доходила бы до комнатной температуры. Однако вследствие полиморфного превращения появляется нижняя часть диаграммы.

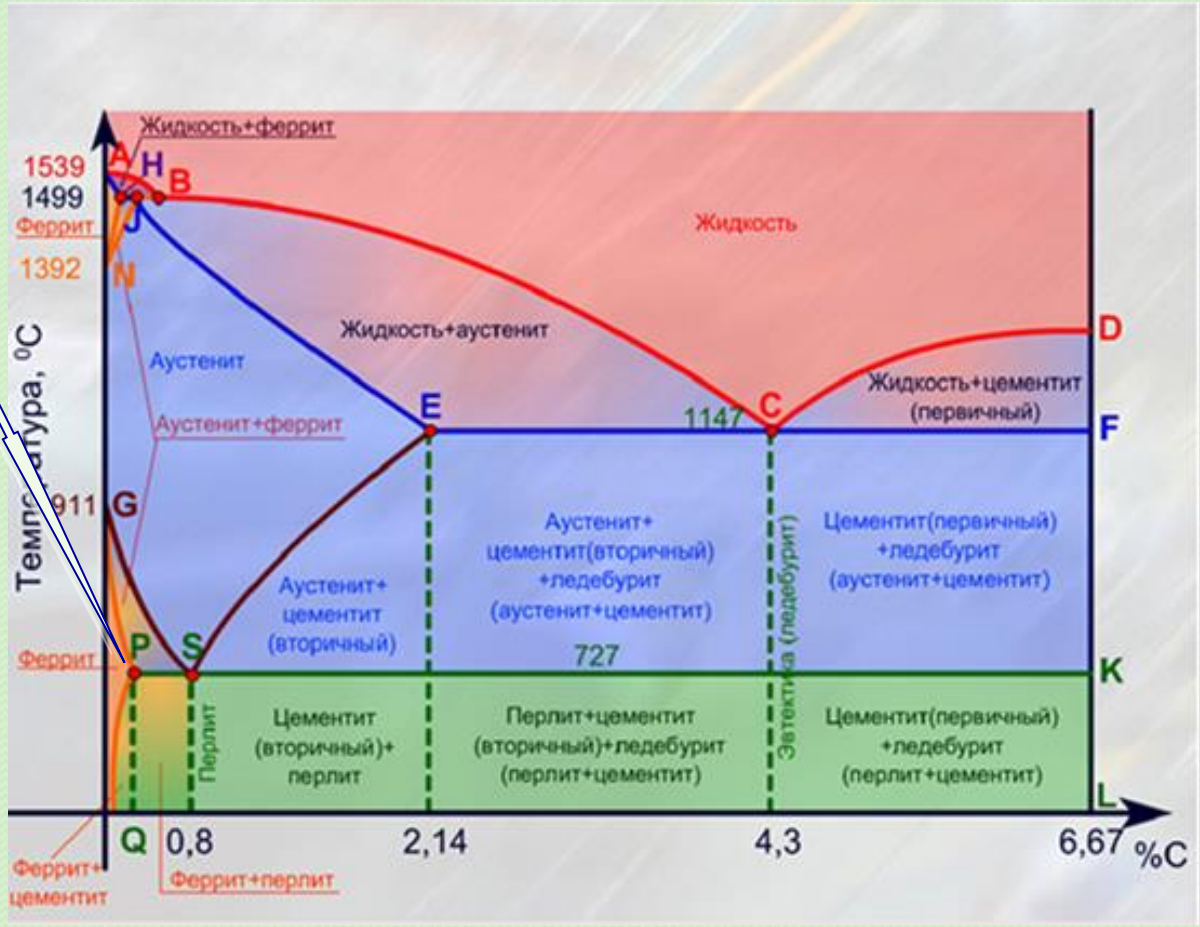


Точка G на левой ординате соответствует температуре полиморфно-го преобразования чистого железа (911 ° С). С увеличением содержания уг-лецю температура полиморфного превращения снижается. Линия GS соответствует началу преобразования решетки для сплавов с различной концентрацией углерода

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 ° С она для всех сплавов достигает 0,8% (точка S).

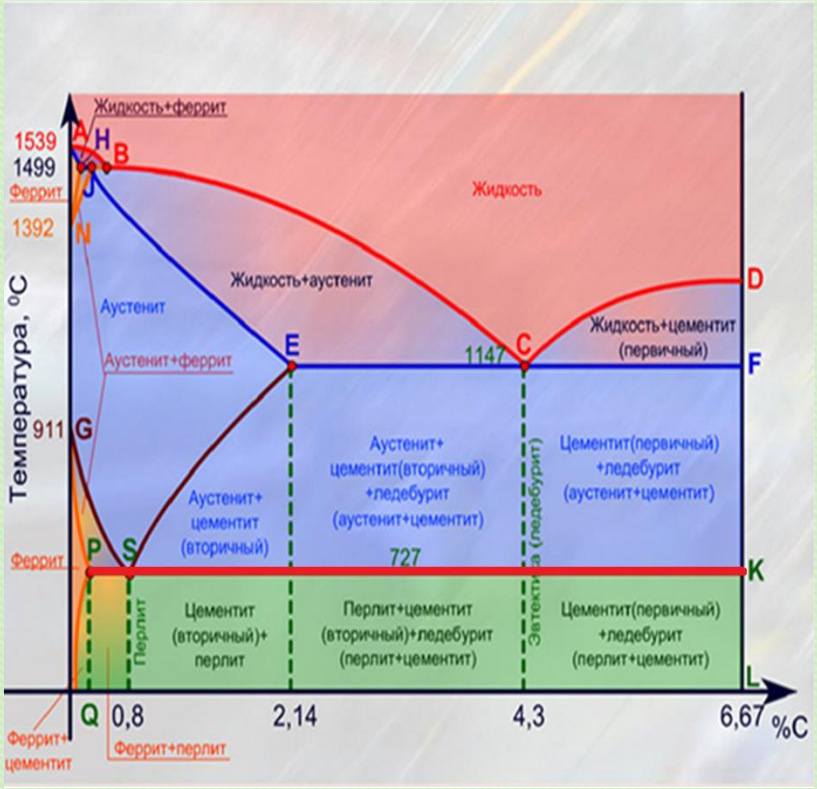
Линия GP соответствует окончанию γ→α превращения в сплавах с концентрацией С <0,03%. Ниже этих температур существует чистый феррит (Ф). Точка P показывает максимальную растворимость в нем углерода (0,03% при температуре 727 ° С)

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



Горизонталь PSK (727 ° С) соответствует окончанию γ→α пре-ния в сплавах с содержанием углерода> 0,03%. Как уже говорилось, при этой температуре аустенит содержит 0,8% С.

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

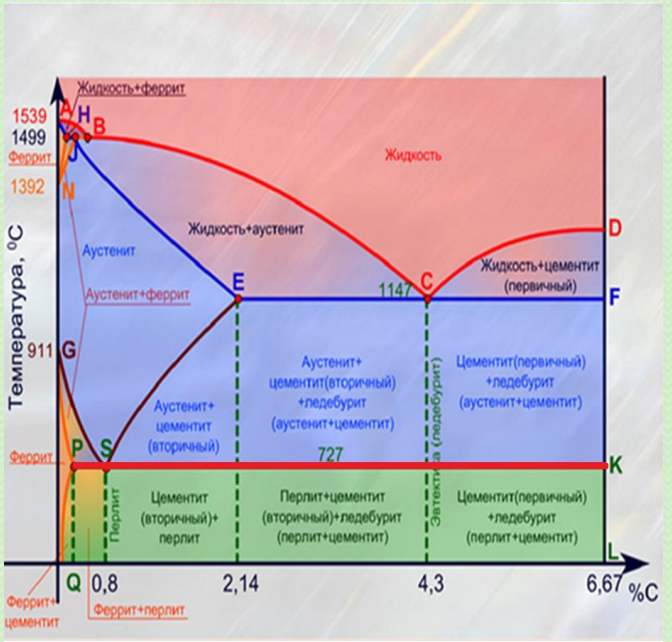


Однородная механическая смесь феррита и цементита, которая образует ется при постоянной температуре 727 ° С за счет их одновременного выделения из аустенита, называется перлитом. Эта структура подобна эвтектики, но она формируется не из жидкого состояния, а при распаде твердого раствора, и ее называют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

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

При температурах <727 ° С аустенит в равновесном состоянии не существует.
Ниже 727 ° С сплавы в зависимости от содержания углерода иметь следующие структуры:

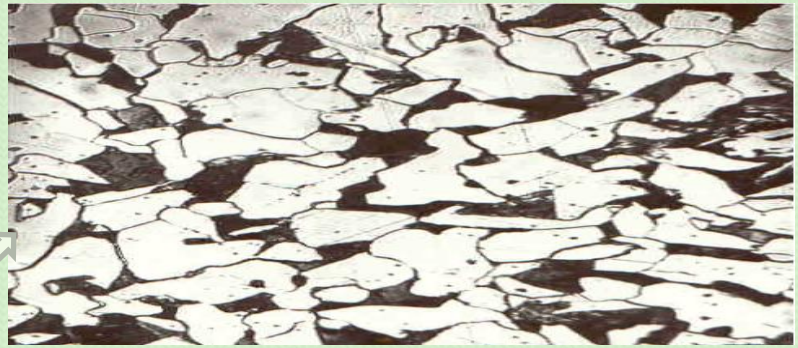
- <0,8% С - феррит и перлит;
- 0,8% С - перлит;
- От 0,8 до 2,14% С - перлит и цементит;
- От 2,14 до 4,3% С - перлит, ледебурит, цементит;
- 4,3% С - ледебурит
-> 4,3% С - ледебурит и цементит.

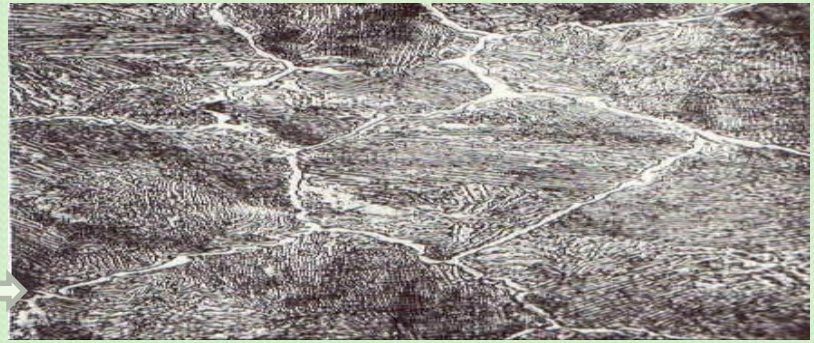


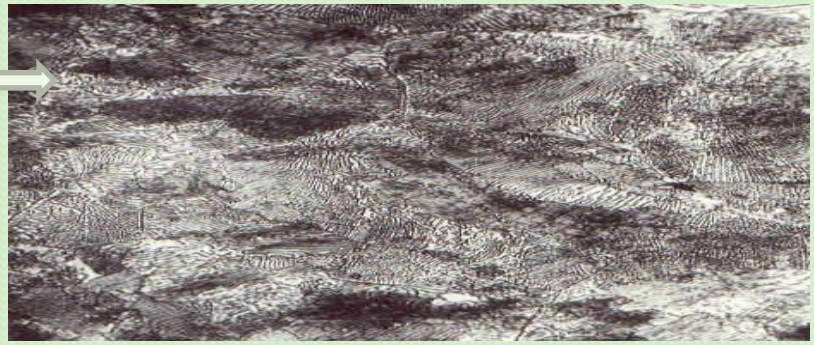
Подчеркнем, что выше 727 оС ледебурит - это смесь аустенита и цементита, ниже этой температуры - смесь перлита и цементита.

Железоуглеродистые сплавы, которые содержат углерода ≤ 2,14 %, называются сталями. Железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода > 2,14 %, называются чугунами.

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



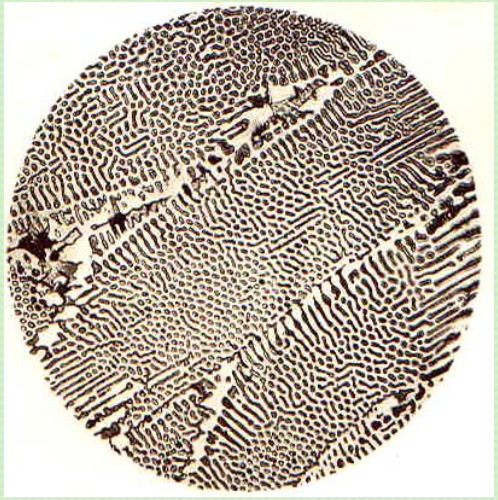




Различают *белые* и *графитизированные чугуны*. В белых чугунах весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита.

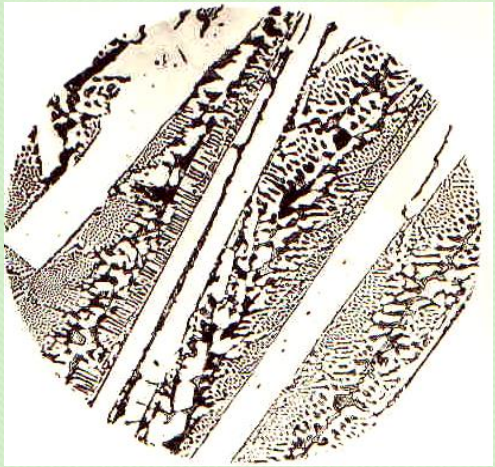
C < 4,3%

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 ά железе

Феррит это мягкая и пластичная структурная составляющая (НВ-700, $б_в$-200 Мпа, δ-40%, ψ- 60%

При содержании углерода от 0,025 до 0,08% структура состоит из феррита и перлита.

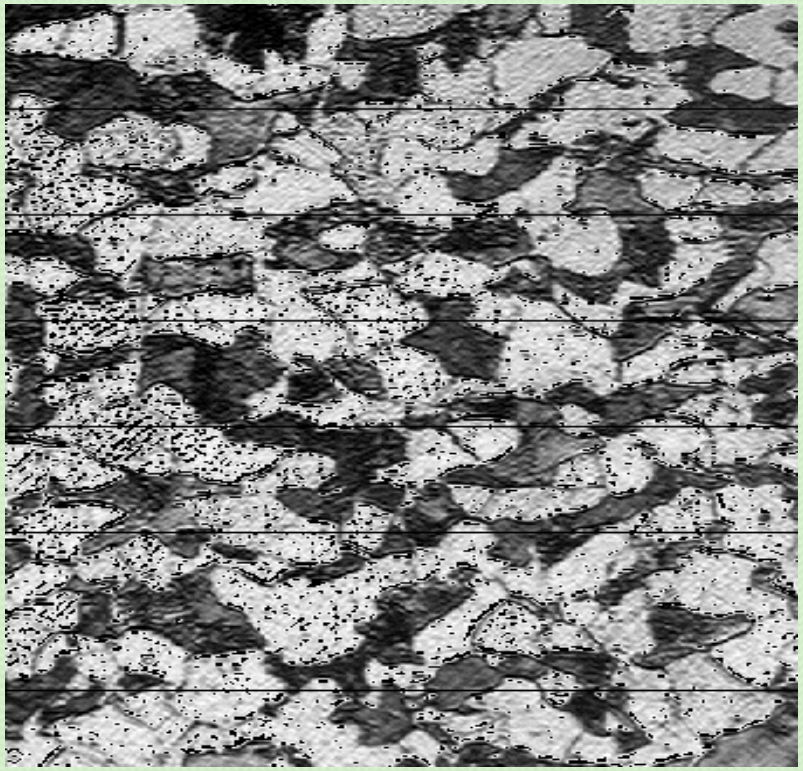
Перлит-это механическая смесь феррита и цементита пластинчатого строения.

Цементит (карбид железа железо 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 доевтектоидноний 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



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

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

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 ($б_{в}$, $б_{0,2}$) стали увеличиваются, а пластичность (ψ,δ) и ударная вязкость (KCU) уменьшается.

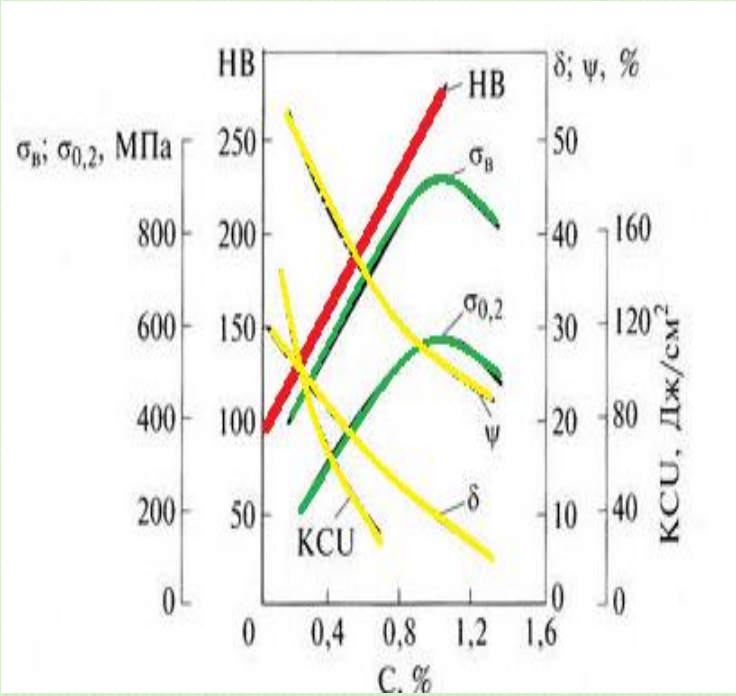


График показывает что доэвтоидные стали соединяют высокую пластичность и ударную вязкость с достаточным показателем твердости и прочности

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 свободному состоянии (графит). Зависимо от состояния углерода различат белые и графитизированные чугуны

Белые чугуны

В этих чугунах весь углерод находиться в виде цементита. По содержанию углерода они делятся на доэвтектические (<4,3%С) ,эвтектический(4,3%С), заэвтектические (>4,3%С) Соответсвенно с диаграммой состояния Fe-Fe_3C эвтектически белый чугун,имеет структуру ледебурита(механическая смесь перлита и цементита)

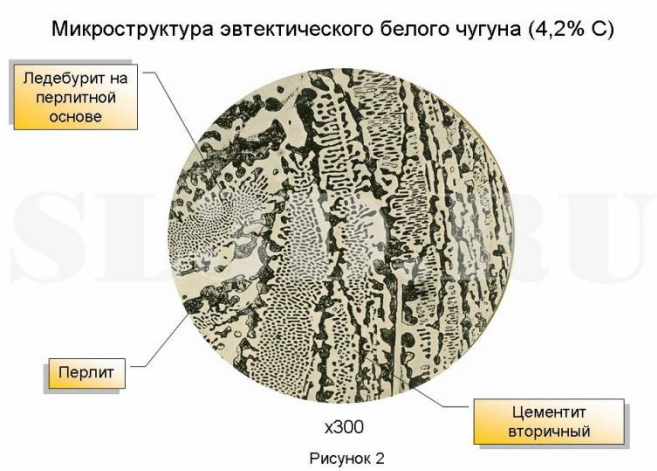


Рисунок 2

Структура доэвтектический белого чугуна складаться из перлита, ледебурита и вторичного цементита, который при металлографических исследования не проявляется как отдельная фаза, поскольку объединяется с цементитом ледебурита

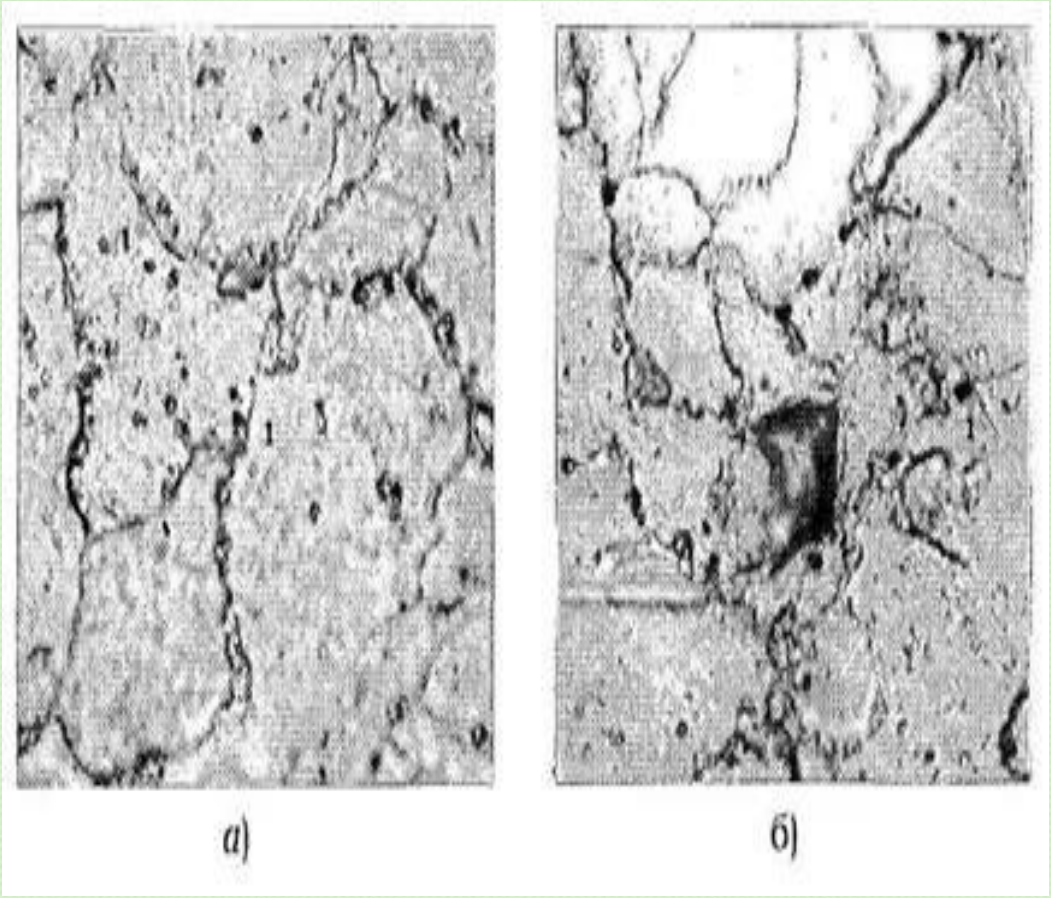
Структура заетектичного белого чугуна представляет собой ледебурит и первичный цементит

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-перлитною. Это зависит от количества углерода, который остался в аустените после виделеня графита. В том случае, когда содержание углерода в аустените равна 0,8% формируется перлитная структура. Если практически весь углерод выделяется в виде графита, матрица имеет Ферритну структуру. При содержании углерода в аустените меньше 0,8% Стурктура будет ферритно-перлитной



ферритно-перлитная структура

В серых и высокопрочных чугунах графит выделяется при первичной кристализции 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

термическая обработка

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 феритной.

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.

Графит

Форма графита обусловливает пластичность чугуна. Наибольш негативное влияние на пластичность создает графит пластинчатой формы. Такой графит является интенсивным концентратор напряжений, поэтому в сером чугуне независимо от структуры металлической матрицы пластичность приближается к нулю δ-0,5%

У высокопрочного и ковкого чугуна пластической 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

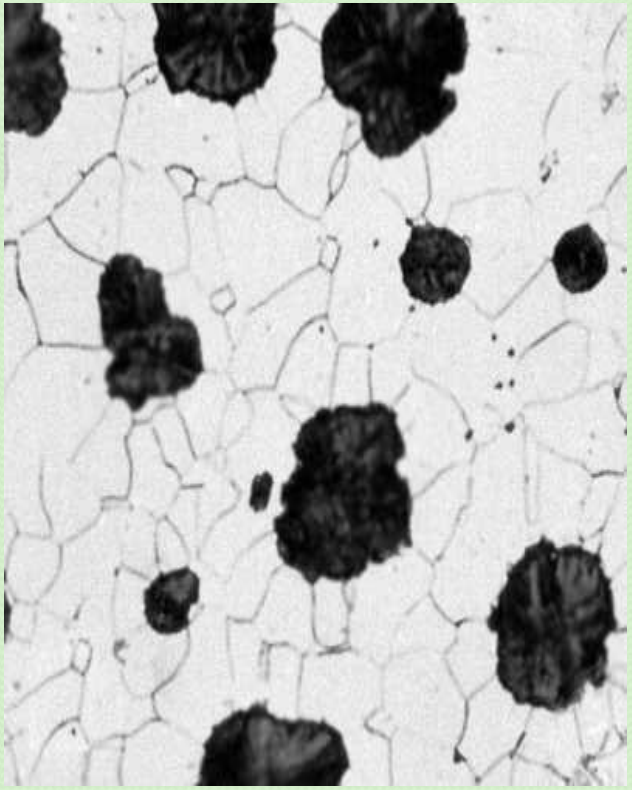
. Предел его прочности при растяжении составляет 100–350 МПа, относительное удлинение – 0,2–0,8 %.

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: σв = 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 σв в МПа, а число через дефис – относительное удлинение δ в процентах.



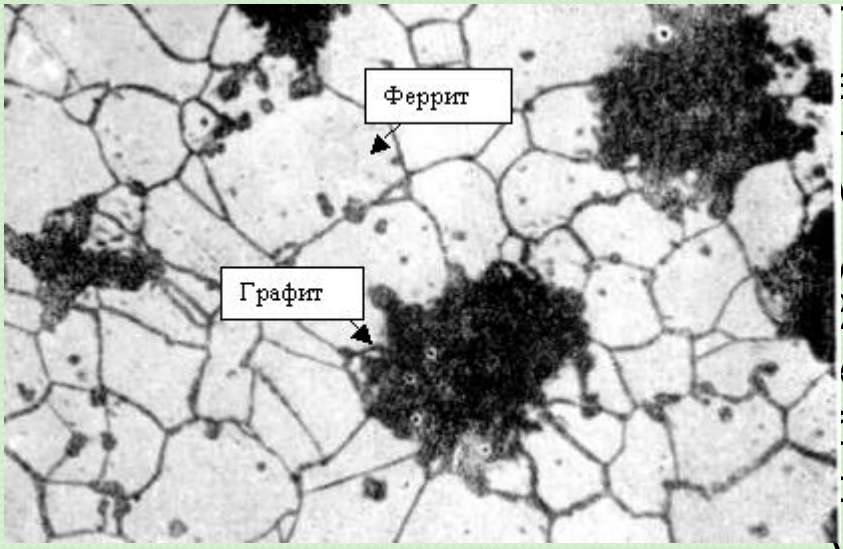
Структура

Например, чугун марки
ВЧ 350-22: σв = 350 МПа, δ = 22 %.

КОВКИЙ ЧУГУН

Ковкий чугун имеет хлопьевидную форму графитных включений. Получают его длительной выдержкой белого чугуна при высокой температуре (~ 1000 °С).

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



. Микроструктура феррито-перлитного высокопрочного чугуна

Предел прочности его находится в пределах 300–800 МПа, относи-тельное удлинение δ = 2–12 %. Обозначают ковкие чугуны буквами КЧ, первые две цифры указывают на предел прочности σв в МПа•10–¹ (ГОСТ 1215-79).

Другие две или одна – относительное удлинение δ в процентах. Например, чугун марки КЧ30-6: σв = 300 МПа, δ = 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.Лахтпин,В.П.Леонтьева.-М.:Машиностроение,1990.-528с.

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

http//dl.khadi.kharkiv.edu/course/view. Логин: glushkova639

Контрольные вопросы

1. Какие фазы образует железо с углеродом? Дать им определение.
2. Охарактеризовать все линии на диаграмме Fe–Fe_3C.
3. Что такое эвтектика и эвтектоид?
4. Дать определение ледебуриту.
5. Что такое перлит?
6. На какие группы делятся стали в зависимости от содержания углерода?
7. Какова структура сталей при комнатной температуре?
8. Как изменяются свойства стали с повышением содержания углерода?

Кафедра технологии металлов и материаловедения

Автор: доц. Глушкова Д.Б.

Lab 9_1M_TKMIM_GDB_01.04.15