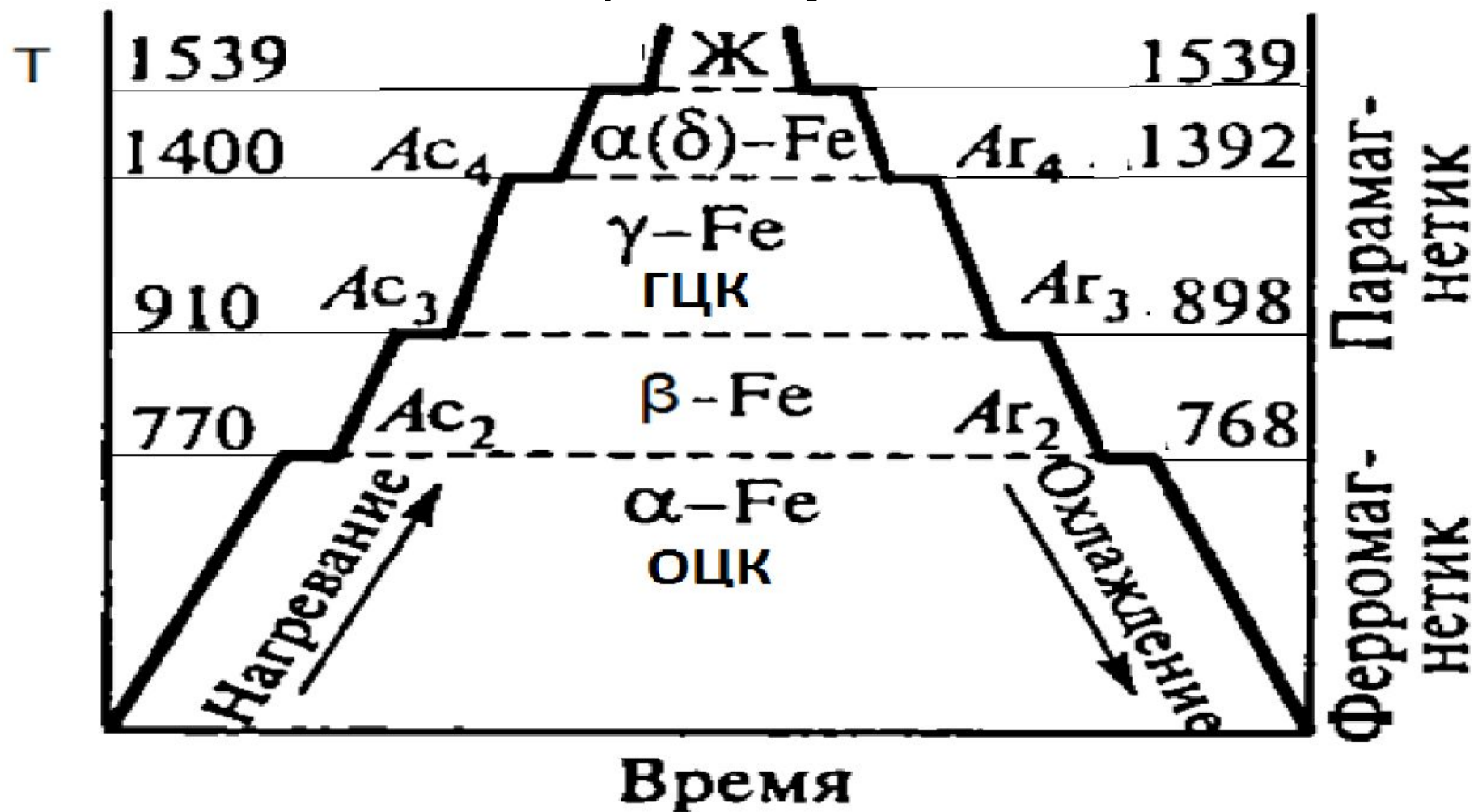


ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

- Основными конструкционными материалами являются **стали и чугуны**.
- **Стали и чугуны** представляют собой сплавы железа с углеродом.
- Компонентами железоуглеродистых сплавов являются ***железо, углерод и цементит***.

Железо обладает полиморфизмом – способностью изменять свою кристаллическую решетку.



Кривые нагрева и охлаждения железа

Железо

температура плавления $1539 \pm 5^\circ\text{C}$

В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях:

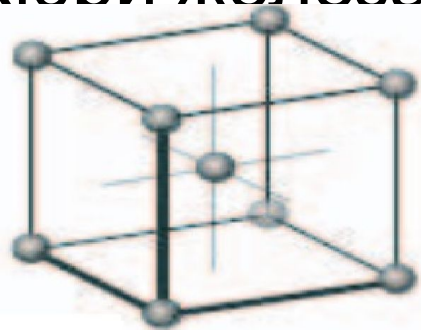
- При температуре ниже 911°C существует Fe_α с ОЦК.

В интервале температур от 911 до 1392°C Fe_γ с ГЦК.

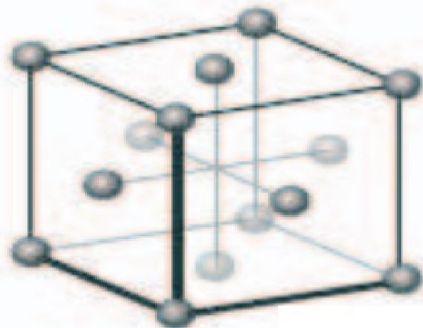
Выше 1392°C - железо имеет ОЦК и называется Fe_δ .

- Точка Кюри железа 768°C

• При значении температуры выше 768°C железо ферромагнитно.



α (ОЦК)



γ (ГЦК)

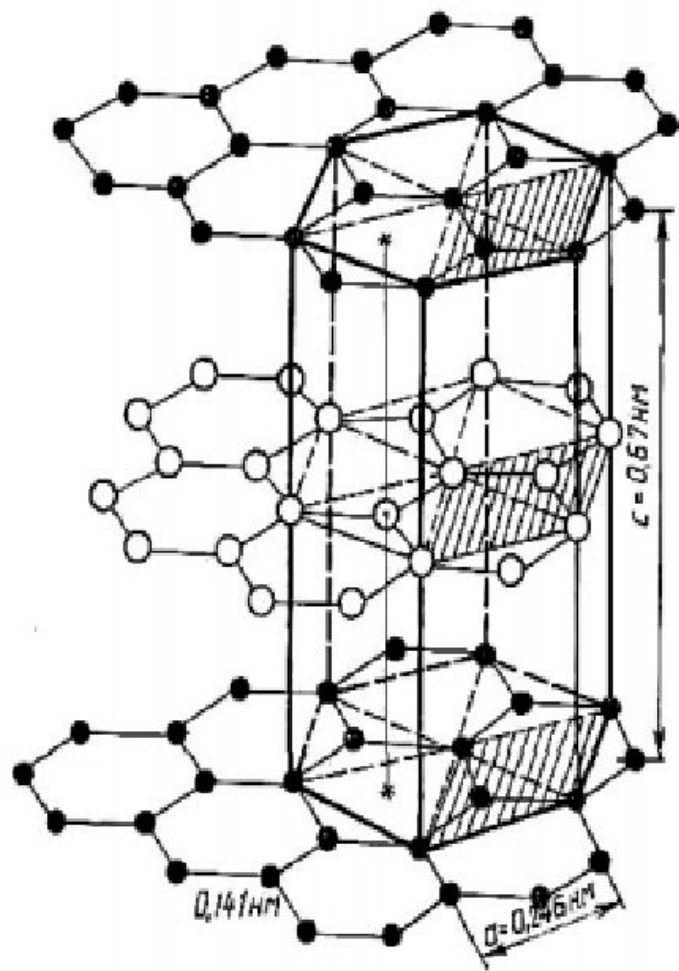
Элементарные ячейки железа

3°C железо
НИТНО.

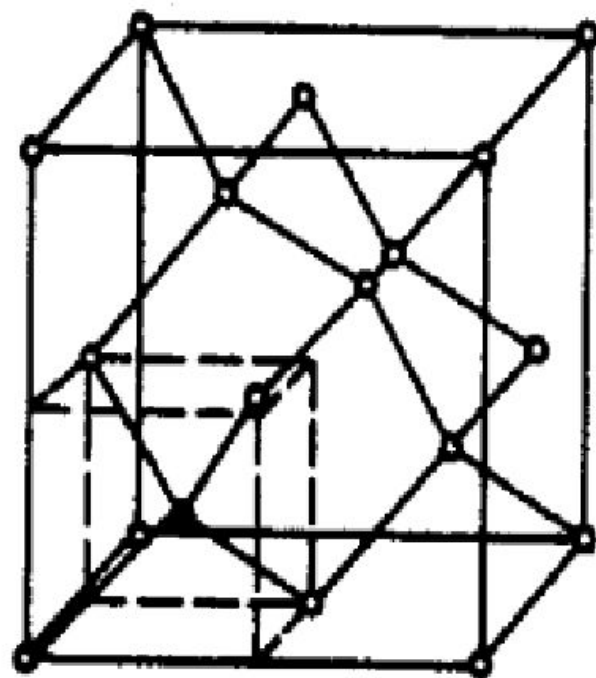
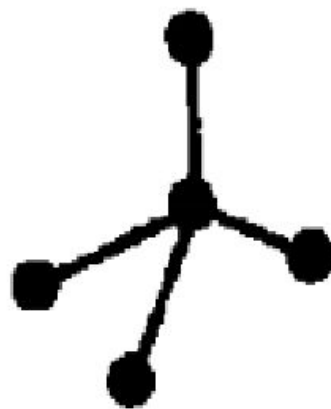
2. Углерод.

Неметаллический элемент, обладающий полиморфизмом.

- Может существовать **в форме графита** с гексагональной кристаллической решеткой (температура плавления **3500 °C**)
- **Графит** имеет слоистое строение, обладает низкой механической прочностью.
- Углерод **в форме алмаза** имеет сложную кубическую решетку (температура плавления **5000 °C**).
- **Алмаз** – чрезвычайно твердый, что объясняется строением кристаллической решетки с ковалентной межмолекулярной связью



Структура графита



Элементарная ячейка и объемная решетка алмаза

Взаимодействие железа и углерода в сплаве

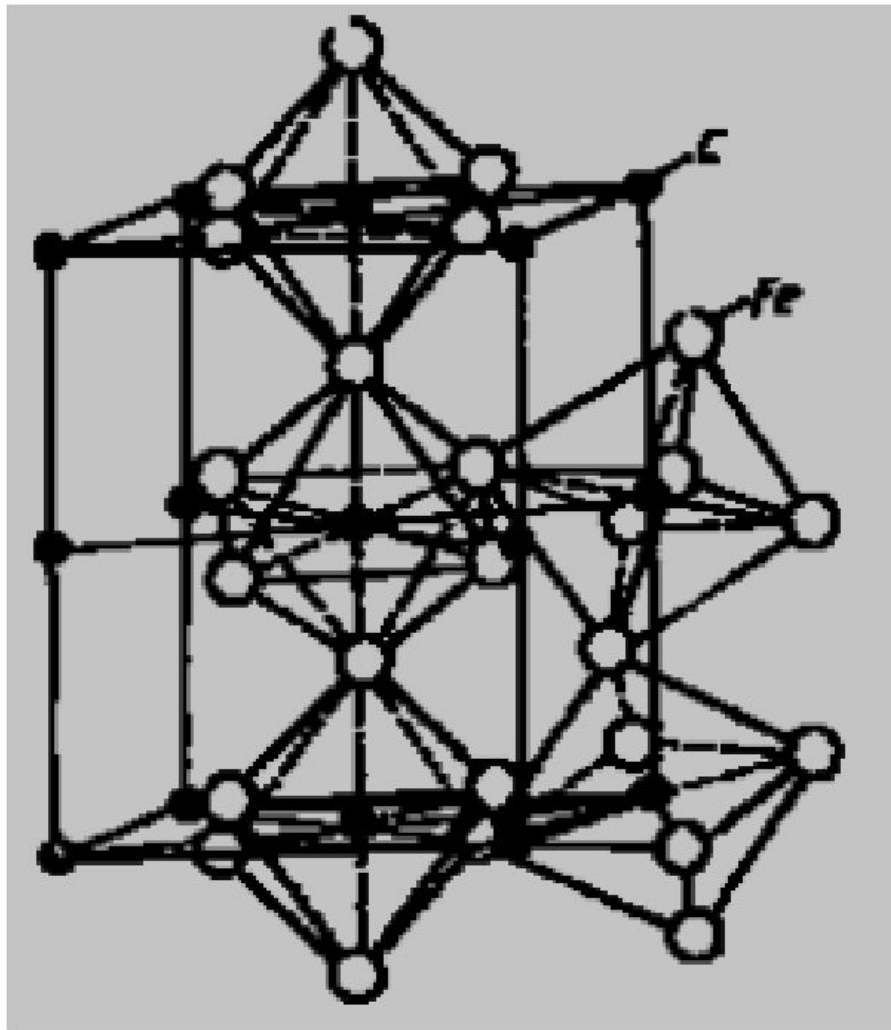
- 1. Углерод растворяется в железе в жидком и твердом состоянии, образуя твердые растворы:
- **Твердый раствор внедрения углерода в α – железе – называют *Феррит* обозначается $Fe_{\alpha}(C)$**
- *Феррит* имеет переменную предельную растворимость углерода:
 - ✓ минимальную – 0,006 % при комнатной температуре (*точка Q на диаграмме*),
 - ✓ максимальную – 0,02 % при температуре 727 °С (*точка P на диаграмме*).
- Свойства феррита близки к свойствам чистого железа. Он мягкий и пластичный (130 НВ), магнитный до 768 °С

- Твердый раствор внедрения углерода в γ -железе называется *Аустенит (А)* обозначается Fe_{γ} (С) Углерод занимает место в центре гранецентрированной кубической ячейки.
- *Аустенит* имеет переменную предельную растворимость углерода:
минимальную – 0,8 % при температуре 727 °С (*точка S*),
максимальную – 2,14 % при 1147 °С (*точка E*).
Аустенит имеет более высокую твердость 200-250 НВ, пластичный, парамагнитный.

2. Железо и углерод могут образовывать химическое соединение **Цементит (Fe_3C) (карбид железа), содержит 6,67 % углерода.**

Цементит имеет высокую твердость (800 НВ), практически нулевую пластичность.

- Аллотропных превращений не испытывает.
- Температура плавления Fe_3C около $1550\text{ }^{\circ}C$.
- При низких температурах цементит слабо ферромагнитен, магнитные свойства теряет при температуре около $217\text{ }^{\circ}C$.
- **Цементит – соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита.**



. Элементарная ячейка цементита

- 3. В высокоуглеродистых соединениях углерод может находиться в чистом виде – т.е. в виде графита(серые чугуны)

В системе Fe – Fe₃C могут существовать следующие фазы:

- **жидкая фаза** (в жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях),
- **твердые растворы** (феррит, аустенит),
- **химическое соединение** (цементит)
- **свободный углерод в виде графита.**
- Кроме того, к **структурным составляющим** относят **перлит и ледебурит – механические смеси.**

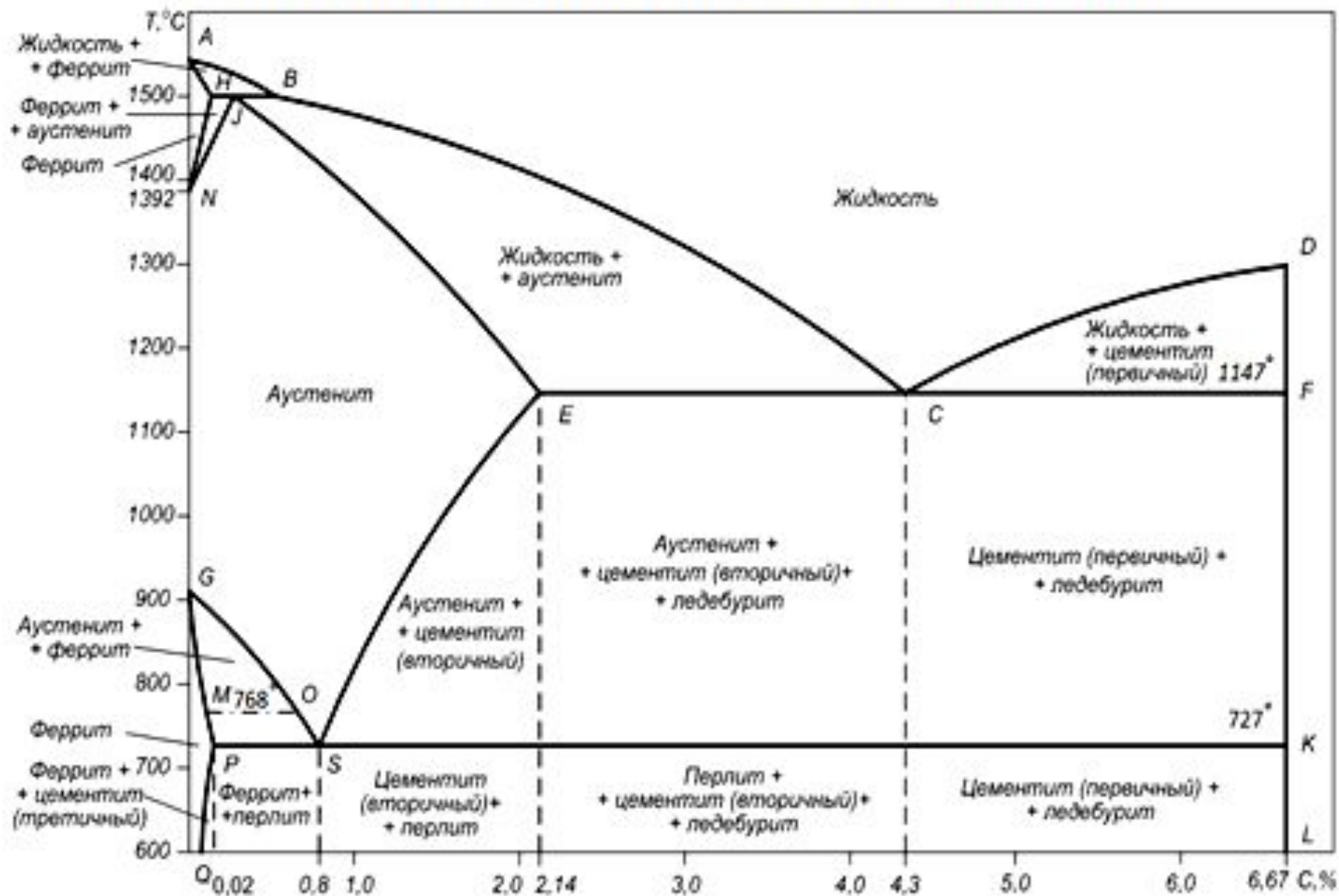
Диаграмма состояния железо-углерод (железо – цементит)

- Эта диаграмма представляет собой часть диаграммы *железо-углерод*.
- Содержание углерода ограничивается 6,67 %, таким образом вторым компонентом этой диаграммы является химическое соединение – *цементит*.

- Фазовые и структурные изменения, происходящие при охлаждении или нагреве железо-углеродистых сплавов связаны с изменением кристаллической решетки железа и изменением растворимости в нем углерода.
- При понижении температуры растворимость углерода в железе уменьшается.

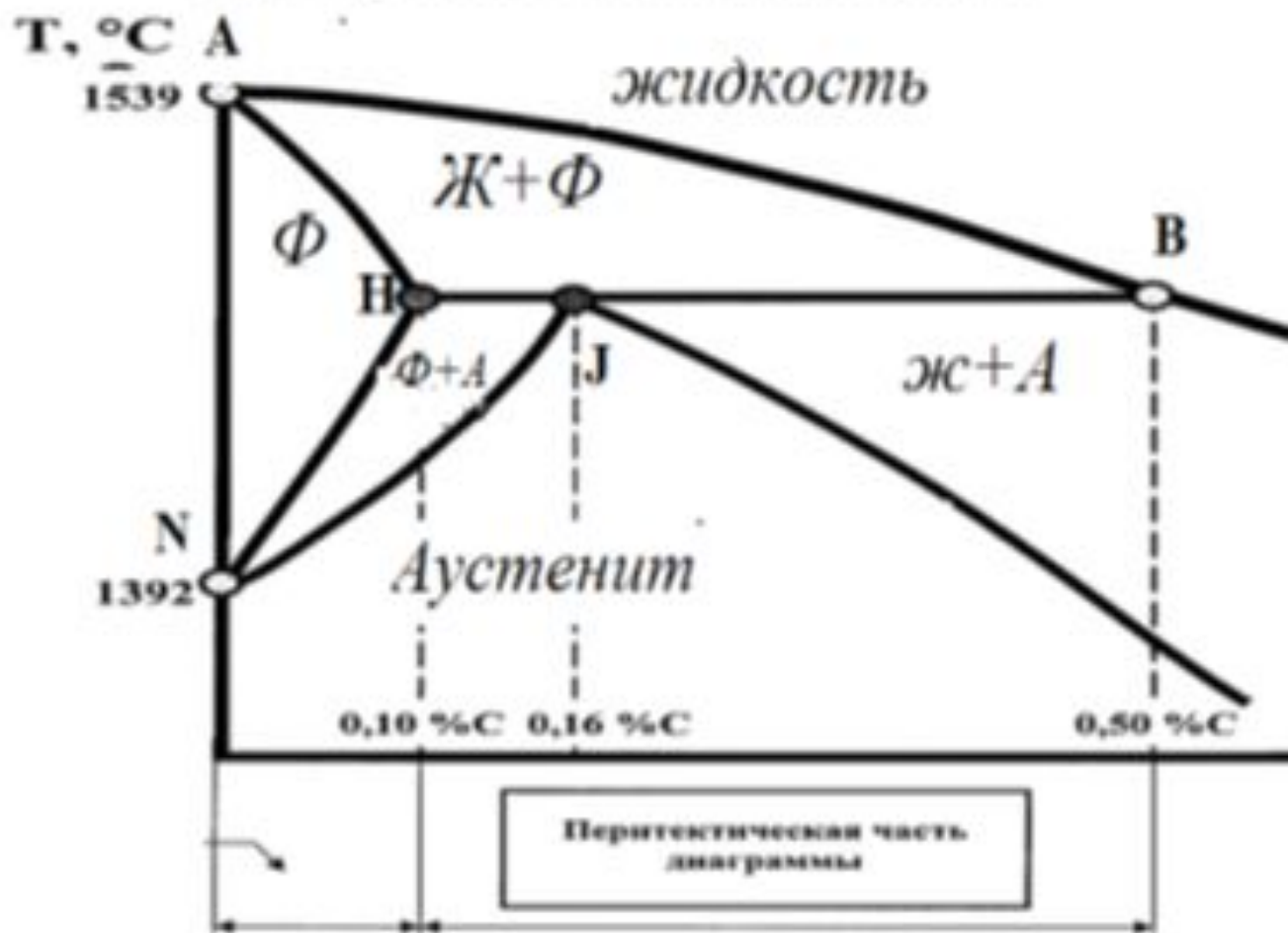
-

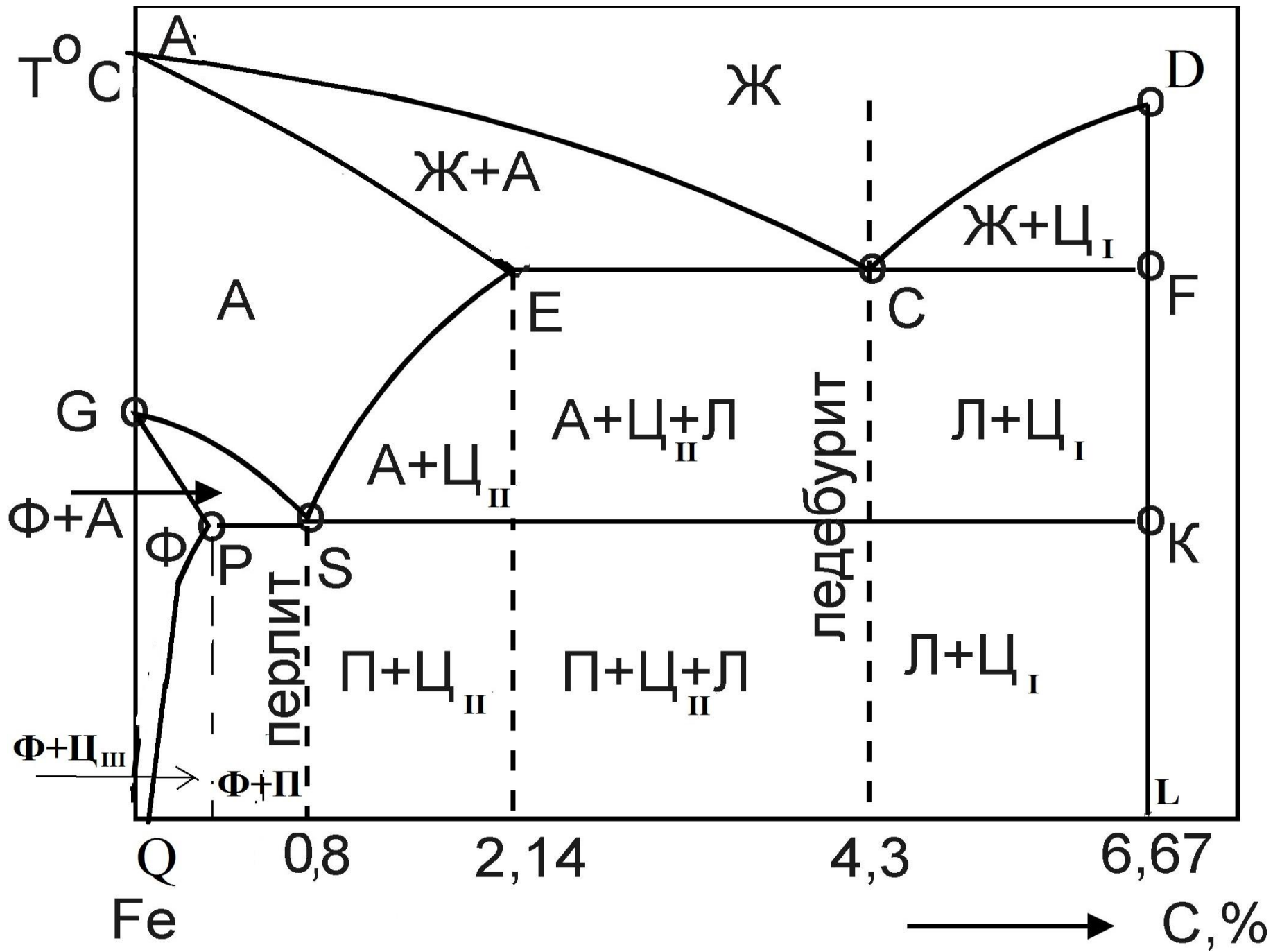
Диаграмма состояния железо – цементит



Перитектическая часть диаграммы

Верхний участок диаграммы железо-углерод





- Ж- жидкость
- А – аустенит
- Ф – феррит
- Ц- цементит (первичный, вторичный, третичный)
- Л-ледебурит
- П-перлит

- Линия ACD – линия ликвидуса. Выше этой линии сплав находится в жидком состоянии
- Линия $AECF$ – линия солидуса. Ниже этой линии сплав находится в твердом состоянии
- По линии AC – кристаллизуется аустенит
- По линии CD – кристаллизуется цементит, называемый – *первичным*
- В точке C – аустенит и цементит кристаллизуются одновременно, образуя эвтектический сплав, называемый *ледебуритом*

- **ЛЕДЕБУРИТ (Л) – эвтектическая смесь,** которая образуется из жидкой фазы (из расплава) с концентрацией углерода 4,3 % при температуре 1147 °С. В диапазоне температур 1147...727 °С ледебурит состоит из двух фаз – аустенита и цементита.
- *При температуре ниже 727 °С аустенит внутри ледебурита превращается в перлит. Таким образом, ниже 727 °С ледебурит также представляет механическую смесь, но состоящую уже из перлита и цементита (а по фазам – из феррита и цементита). Содержание углерода в ледебурите всегда постоянно и составляет 4,3 %.*

- По линии ***ES*** – из аустенита выделяется вторичный цементит.
- По линии ***GS*** – кристаллизуется феррит
- По линии ***GP*** – превращение аустенита в феррит заканчивается.
- При достижении температуры 727 С происходит эвтектоидное превращение аустенита, т.е.

- **PSK – линия эвтектоидного превращения.**

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

- При содержании углерода 0,8% образуется

- **ПЕРЛИТ (П)** – эвтектоидная смесь, состоящая из двух фаз – феррита и цементита. Эта структура образуется в результате распада аустенита с содержанием углерода 0,8 % при температуре 727 °С и ниже. Содержание углерода в перлите для всех железоуглеродистых сплавов всегда постоянно и равно 0,8 %.

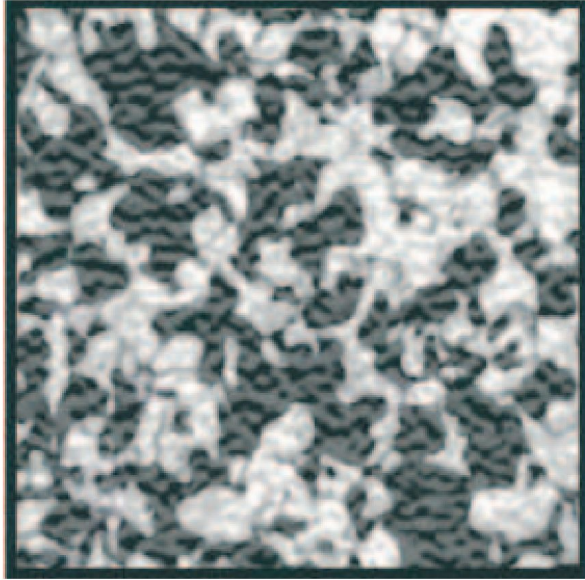
Цементит. В железоуглеродистых сплавах присутствуют:

- цементит первичный (Ц_I),
- цементит вторичный (Ц_{II}),
- цементит третичный (Ц_{III}).
- Химические и физические свойства этих фаз одинаковы.
- Ц_I выделяется из жидкой фазы в виде крупных пластинчатых кристаллов. (*DC*)
- Ц_{II} выделяется *из аустенита* и располагается в виде сетки вокруг зерен аустенита (при охлаждении – вокруг зерен перлита). (*ES*)
- Ц_{III} выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зерен. (*PQ*)

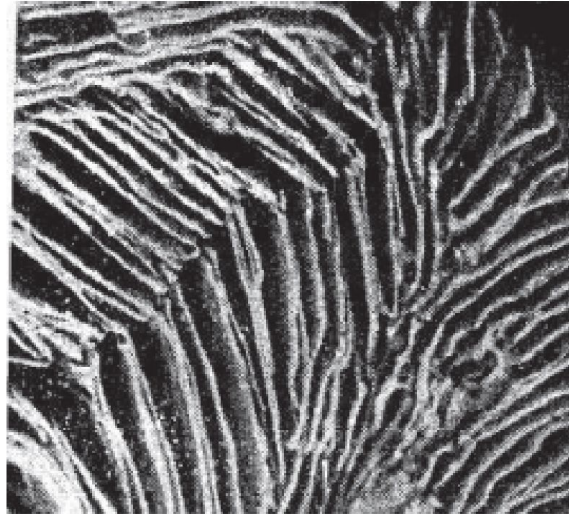
- **Железоуглеродистые сплавы с долей углерода, не превышающей 2,14 %, называют *сталями*.**
- В их **структуре** имеется **перлит**, но отсутствует **ледебурит**.
- По структуре стали в зависимости от содержания углерода подразделяют на:
 - ✓ **техническое железо** ($C < 0,02 \%$),
Углеродистые стали(0,02-2,14%):
 - ✓ **доэвтектоидные** ($0,02 < C < 0,8 \%$),
 - ✓ **эвтектоидные** ($C = 0,8 \%$)
 - ✓ **и заэвтектоидные** стали ($0,8 < C < 2,14 \%$).



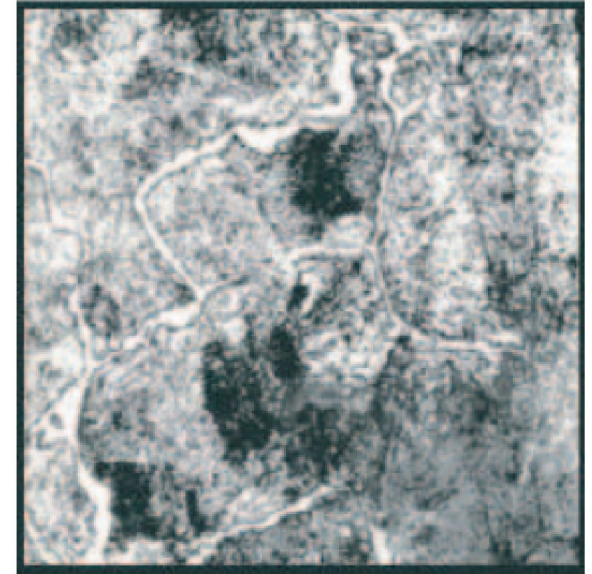
Структуры сталей



Сталь доэвтектоидная



Перлит (эвтектоид)

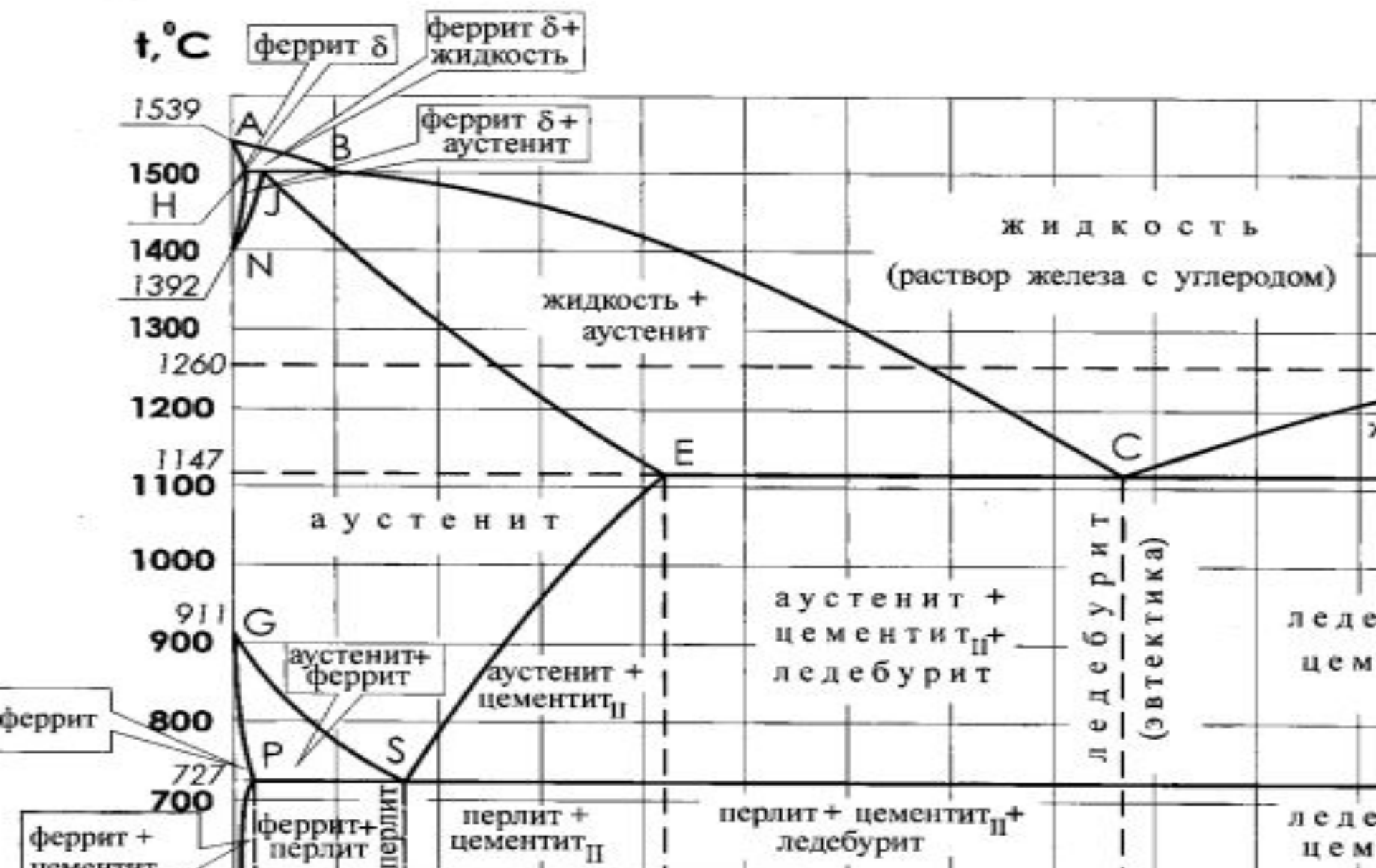


Сталь заэвтектоидная

Доэвтектоидные стали состоят из феррита и перлита

Эвтектоидные – состоят из перлита.

Завтектоидные состоят из перлита и цементита



Цементит, феррит, аустенит – это однофазные структуры.

- Линия ***ABCD*** – линия ликвидуса системы.

□ **Феррит** : высокотемпературный – левее линии ***АНН***; низкотемпературный - левее линии ***GPQ***.

□ **Аустенит** – область ограничена л.***NJESG***.

□ **Цементит** – вертикальная линия ***DFKL***.

- Линия ***АНJESF*** – линия солидуса.

В двухфазных областях диаграммы состояния в равновесии находятся:

- жидкий раствор и кристаллы феррита (***ABH***)
- кристаллы феррита и аустенита (***HIN*** и ***GSP***);
- жидкий раствор и кристаллы аустенита (***JBCE***);
- жидкий раствор и цементит (***CDF***);
- кристаллы аустенита и цементита (***SECFK***);
- кристаллы феррита и цементита (***QPSKL***).

Трехфазным равновесным состояниям сплавов отвечают горизонтальные линии на ДС:

- при **1499 °С** (л.*НJB*) в сплавах от **0,1 до 0,51 %С** происходит перитектическое превращение



- при **1147 °С** (л.*ЕСF*) в сплавах от **2,14 до 6,67 %С** происходит **эвтектическое** превращение



- при **727 °С** (л.*PSK*) в сплавах с концентрацией углерода **более 0,02 %С** происходит **эвтектоидное** превращение (распад аустенита на механическую смесь)

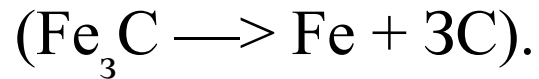


**Составы и количества фаз в
системе «железо - цементит»
определить можно на коноде с
помощью
*правила отрезков.***

Чугуны

- К *Чугунам* относятся — сплавы Fe с содержанием углерода более чем 2,14% (обычно до 4 %), содержащий постоянные примеси (Si, Mn, S, P), а иногда и легирующие элементы (Cr, Ni, V, Al и др.);
- Из за высокого содержание углерода чугуны как правило, менее прочные и более хрупкие, чем сталь.
- Наличие в структуре легкоплавкого ледебурита повышает **литейные свойства** чугунов:
температуры плавления чугунов значительно ниже (на 300...400 °C), чем у стали (около 1200 C)
- Углерод в чугуне может находиться в виде цементита, графита или одновременно в виде цементита и графита.

- Свойства чугуна обусловлены, главным образом, **количеством и структурными особенностями графитной составляющей.**
- Образование графита в чугуне может происходить в результате непосредственного выделения его из жидкого или твердого раствора, а также при разложении цементита



- Процесс образования в чугуне или стали графита называют **графитизацией.**

Таким образом, структура чугунов представляет собой стальную основу и графит, чугуны можно рассматривать как сталь, испещренную графитовыми включениями.

Чем меньше графитных включений, чем они мельче и больше степень их изолированности, тем выше прочность чугуна при одной и той же металлической основ.

Белые чугуны

Белые чугуны не содержат графит, в них практически весь углерод находится в химически связанном состоянии в виде цементита.

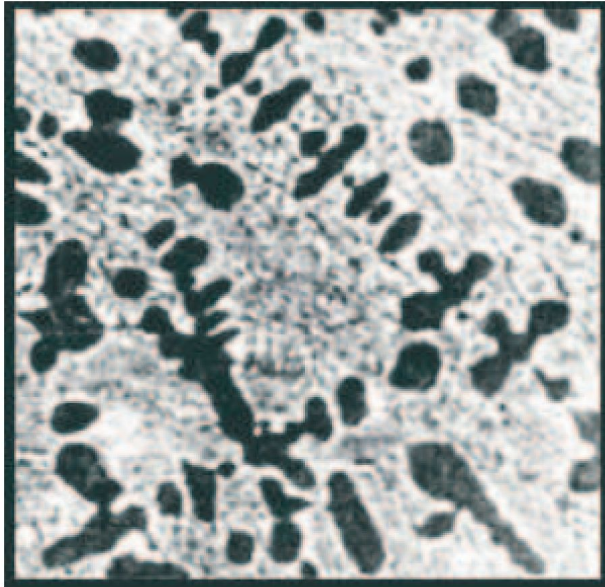
Из-за большого содержания цементита они **очень хрупкие и твердые**, с трудом отливаются и обрабатываются инструментом.

Белые чугуны редко используются в народном хозяйстве в качестве конструкционных материалов. Из них делают детали гидромашин, пескометов и других конструкций, работающие в условиях повышенного абразивного изнашивания.

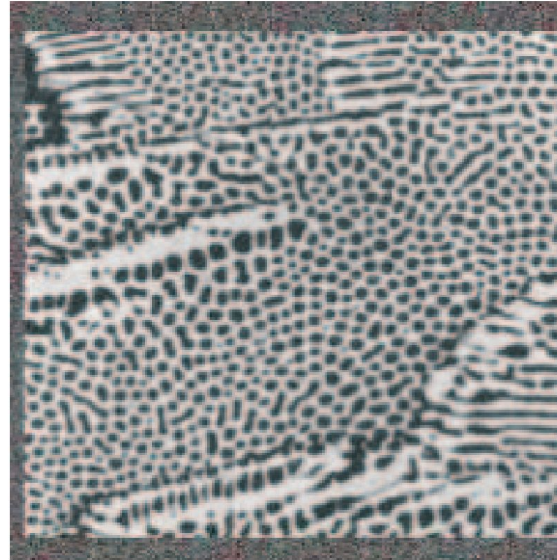
Они являются **передельными** – используются для передела в сталь, а также получения серых чугунов. Маркировка белых чугунов не установлена.

- По равновесной структуре **белые чугуны подразделяют на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические.**
- Доля углерода в **доэвтектическом** чугуне может составлять **2,14 – 4,3 %**. Структура его состоит из перлита, вторичного цементита и ледебурита.
- Доля углерода в **эвтектическом** чугуне **4,3 %**. Структура его состоит полностью из ледебурита.
- Доля углерода в **заэвтектическом** чугуне более **4,3 % (до 6,67 %)**. Его структура состоит из первичного цементита, выделившегося из жидкости, и ледебурита.

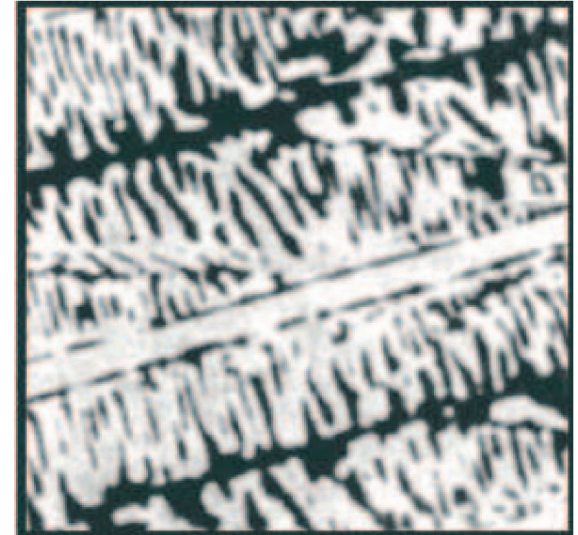
Структуры чугунов



Чугун доэвтектический



Ледебурит (эвтектика)



Чугун заэвтектический

При специальной термической обработке белых чугунов происходит **графитизация**.

Чугуны с графитом называют **серыми** и в зависимости от формы содержащегося графита - разделяют на **обыкновенные серые, ковкие и высокопрочные**.

Эти чугуны различаются количеством и формой графитных включений.

Металлическая основа чугуна тоже не одинакова различают:

- *Серый перлитный* – перлит с включением графита (0,8% углерода находится в связанном состоянии в виде цементита, остальное в виде графита)
- *Серый ферритно-перлитный* – феррит и перлит и включение графита (связано менее 0.8 %)
- *Серый ферритный* - ферритная металлическая основа и практически весь углерод в виде графита.
- от металлической основы зависит твердость – самая высокая у перлитного – 250 НВ, меньшая у ферритного 150НВ

- **Обыкновенными серыми** называют чугуны, в структуре которых графит имеет **пластинчатую форму**.
- Чугун с пластинчатым графитом имеет сравнительно низкую механическую прочность, его можно рассматривать как сталь, в который графит играет роль надрезов, ослабляющих металлическую основу.
- На долю серого чугуна с пластинчатым графитом приходится около 80 % общего производства чугунных отливок.
- Серые чугуны обладают высокими литейными качествами, хорошо обрабатываются и сопротивляются износу, однако из-за низких прочности и пластических свойств в основном используются для неответственных деталей.
- В станкостроении серый чугун является основным конструкционным материалом (станины станков, столы, колонки, каретки и др.);

- Марки серых чугунов согласно ГОСТ 1412—85 состоят из букв «СЧ» и цифр, соответствующих **минимальному пределу прочности при растяжении**, МПа / 10.
- Чугун СЧ10 — ферритный;
- СЧ15, СЧ18, СЧ20 — ферритно-перлитные чугуны, начиная с
- СЧ25 — перлитные чугуны.

- **В ковких чугунах графит имеет хлопьевидную форму.**

Ковкие чугуны получают из белых доэвтектических чугунов, подвергая их специальному графитизирующему отжигу.

- для **хлопьевидной** составляющей характерны высокие пластические свойства.
- Ковкие чугуны, обладая высокими пластическими свойствами, находят применение при изготовлении разнообразных *тонкостенных (до 50 мм) деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках*, — фланцы, муфты, картеры, ступицы и др.

- Ковкие чугуны согласно ГОСТ 1215—79 маркируются двумя буквами (КЧ — ковкий чугун) и двумя группами цифр.
- Первые две цифры в обозначении марки соответствуют минимальному пределу прочности при растяжении (в, МПа / 10),
- цифры после тире — относительному удлинению при растяжении, %.
- Чугуны марок КЧ30—6, КЧ33—8, КЧ35—10, КЧ37—12, имеющие повышенное значение удлинения при растяжении, относятся к ферритным, а марок КЧ45—7, КЧ50—5, КЧ55—4, КЧ60—3, КЧ65—3, КЧ70—2, КЧ80—1.5 — к перлитным чугунам.

- В высокопрочных чугунах – графит имеет шаровидную форму.
- **шаровидная форма** графитной составляющей обеспечивает наиболее высокую прочность
- Высокопрочный чугун (ЧШГ – чугун с шаровидным графитом) получают модифицированием жидкими присадками (0,1...0,5 % магния от массы обрабатываемой порции чугуна, 0,2...0,3 % церия, иттрия и некоторых других элементов)

- Высокопрочные чугуны обладают хорошими литейными и потребительскими свойствами (обрабатываемость резанием, способность гасить вибрации, высокая износостойкость и др.) свойствами.
- Они используются для массивных отливок взамен стальных литых и кованных деталей — цилиндры, шестерни, коленчатые и распределительные валы и др.
- Марки высокопрочных чугунов согласно ГОСТ 7293—85 состоят из букв «ВЧ» и цифр, соответствующих минимальному пределу прочности при растяжении, МПа / 10:
- ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45 — ферритные чугуны; ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ 100—перлитные чугуны.

Классификация, маркировка, механические свойства чугунов

Марка чугуна	$\sigma_{в}$, МПа (кгс/мм ²)	δ , %	Структура металличес- кой основы	Форма графитных включений
С е р ы е ч у г у н ы (ГОСТ 1412-85)				
СЧ 10	100(10)	≈ 0	Ф	
СЧ 18	180(18)	≈ 0	Ф+П	
СЧ 30	Модифици- рованный 300(30)	≈ 0	П	
СЧ 45		≈ 0	П	
В ы с о к о п р о ч н ы е ч у г у н ы (ГОСТ 7293-85)				
ВЧ 38	380(38)	17	Ф	
ВЧ 45	450(45)	5	Ф+П	
ВЧ 120	1200(120)	2	П	
К о в к и е ч у г у н ы (ГОСТ 1215-79)				
КЧ 30-6	300(30)	6	Ф	
КЧ 45-6	450(45)	6	Ф+П	
КЧ 80-1,5	800(80)	1,5	П	

Металлическая основа	Класс чугуна		
	Серый А	Ковкий Б	Высоко-прочный В
Феррит			
Феррит + Перлит			
Перлит			

Термическая обработка чугунов.

- Самым распространенным видом термообработки чугунов является **отжиг отливок** при 430...600 °С для уменьшения литейных напряжений, которые могут вызвать даже коробление фасонных изделий.
- **Нормализация чугуна** проводится для аустенизации ферритной и ферритно-перлитной матриц и последующего перлитного превращения, что обеспечивает упрочнение.
- **Закалку чугуна на мартенсит** с нагревом до 850...930 °С и охлаждением в воде и масле применяют для повышения прочности и износостойкости.
- **После закалки** проводят
- **низкий отпуск (200 °С)** для уменьшения закалочных напряжений или
- **высокий отпуск (600...700 °С)** для получения микроструктур сорбита или зернистого перлита, обеспечивающих повышенную вязкость.

перлит
цементит
ледебурит



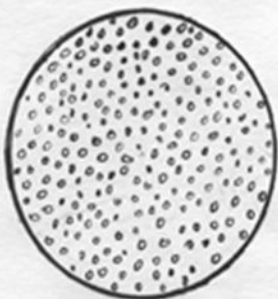
Доэвтектический



Серый ферритный

феррит
графит

ледебурит



Эвтектический



Ковкий ферритно-перлитный

феррит
перлит
графит

цементит
ледебурит



Заэвтектический



Высокопрочный перлитный

перлит
графит

