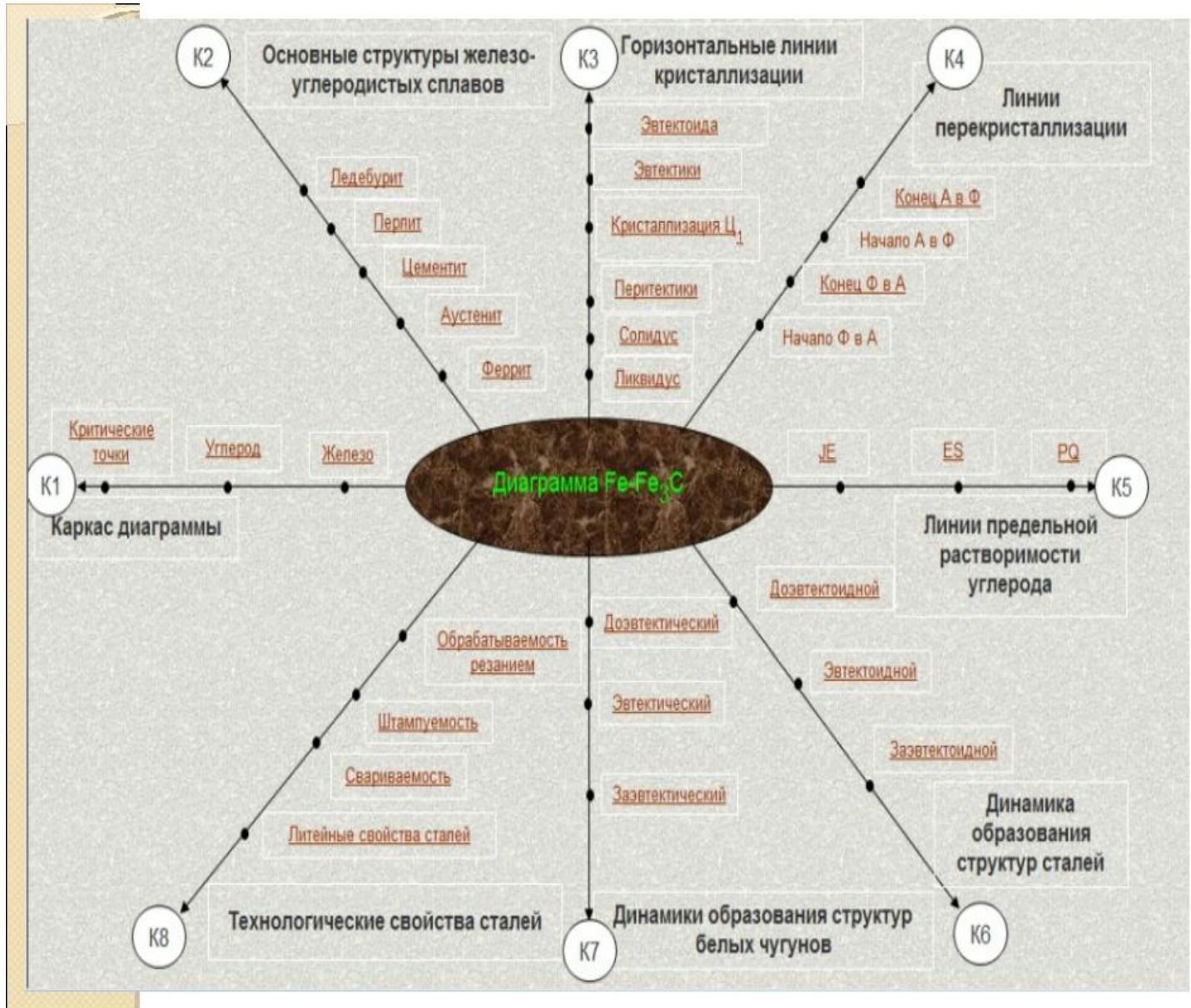


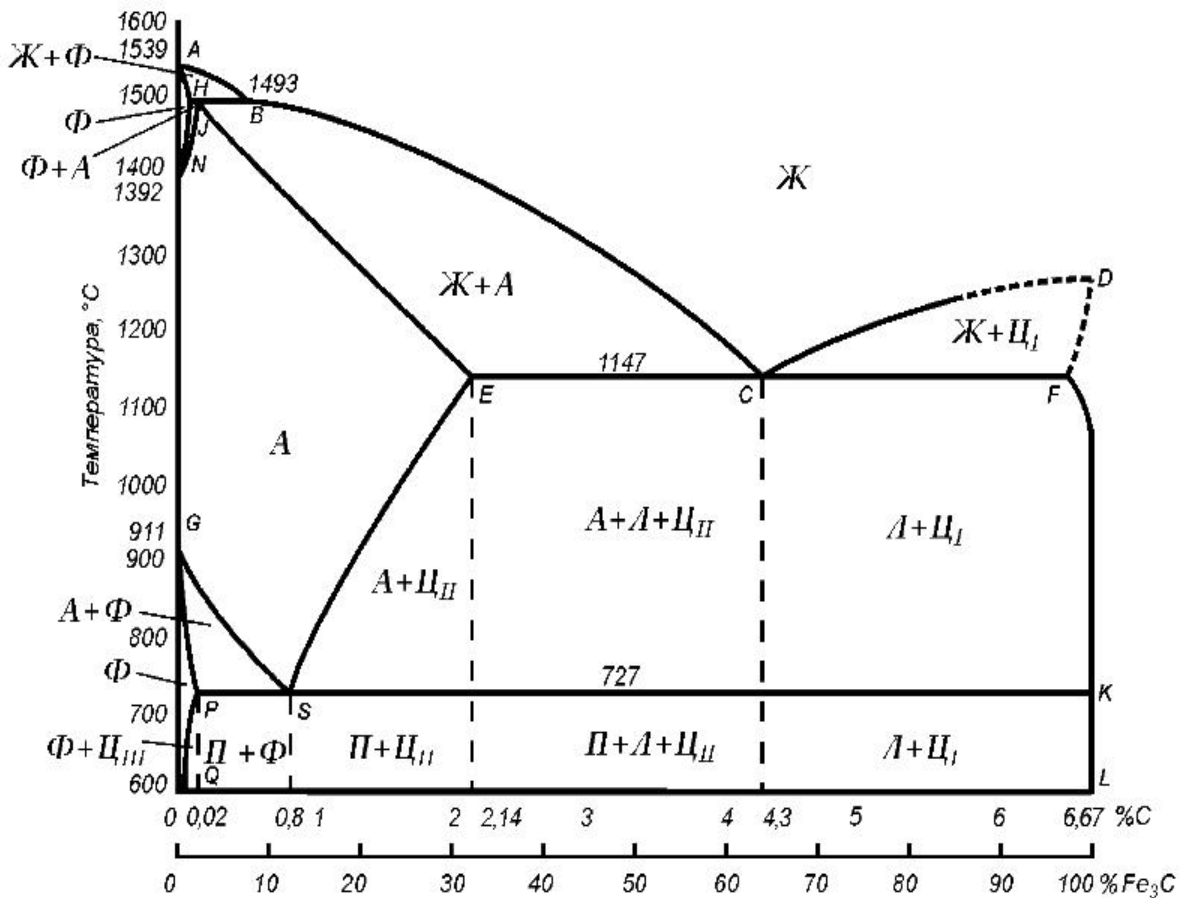
# Анализ диаграммы состояния сплавов системы железо- цементит

ОП. 01 Материаловедение.

Группа МДС 21-1



# Диаграмма состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C



## Характеристика железа

**Fe** – ферромагнитный переходный полиморфный металл, серебристо-светлого цвета с порядковым номером 26.

Температура плавления чистого Fe 1539°C.  
Плотность при комнатной температуре 7,68 г/см<sup>3</sup>.

Техническое Fe содержит не более 0,02 % С.

## Характеристика углерода

**Углерод** относится к неметаллам. Обладает полиморфным превращением, в зависимости от условий образования существует в форме графита с гексагональной кристаллической решеткой (температура плавления –  $3500^{\circ}\text{C}$ , плотность –  $2,5\text{ г/см}^3$ ) или в форме алмаза со сложной кубической решеткой (температура плавления –  $5000^{\circ}\text{C}$ ).





## Характеристика фазовых составляющих

- **Феррит (Ф)** - твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе. Растворимость углерода в  $\alpha$ -железе при комнатной температуре до 0,005%; наибольшая растворимость - 0,02% при 727°C. Феррит имеет незначительную твердость (НВ 80-100) и прочность ( $\sigma_{\text{в}}=250$  МПа), но высокую пластичность ( $\delta=50\%$ ;  $\varphi=80\%$ ).

## Характеристика фазовых составляющих

- **Аустенит (А)** - твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе. В железоуглеродистых сплавах он может существовать только при высоких температурах. Предельная растворимость углерода в  $\gamma$ -железе 2,14% при температуре 1147°C и 0,8% - при 727°C. Аустенит имеет твердость НВ 160-200 и весьма пластичен ( $\delta=40-50\%$ ).



## Характеристика фазовых составляющих

- **Цементит (Ц)** - химическое соединение железа с углеродом (карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ ). В цементите содержится 6,67% углерода. Температура плавления цементита около  $1600^\circ\text{C}$ . Он очень тверд (НВ~800), хрупок и практически не обладает пластичностью.





## Характеристика фазовых составляющих

- **Графит** - это свободный углерод, мягок (НВ 3) и обладает низкой прочностью. С изменением формы графитовых включений меняются механические и технологические свойства сплава.


## Характеристика фазовых составляющих

- **Перлит (П)** - механическая смесь (эвтектоид, т. е. подобный эвтектике, но образующийся из твердой фазы) феррита и цементита, содержащая 0,8% углерода. При комнатной температуре зернистый перлит имеет предел прочности  $\sigma_B=800$  МПа; относительное удлинение  $\delta=15\%$ ; твердость НВ 160




## Характеристика фазовых составляющих

- **Ледебурит (Л)** - механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита, содержащая 4,3% углерода. Ледебурит образуется при затвердевании жидкого расплава при  $1147^{\circ}\text{C}$ . Ледебурит имеет твердость НВ 600-700 и большую хрупкость

- 
- Сплавы с содержанием углерода до 2,14% называют **сталью**, а от 2,14 до 6,67% **-чугуном.**



- 
- В результате первичной кристаллизации во всех сплавах с содержанием углерода до 2,14%, т. е. в сталях, образуется однофазная структура - **аустенит**. В сплавах с содержанием углерода более 2,14%, т. е. в чугунах, при первичной кристаллизации образуется эвтектика **ледебурита**.

## Железоуглеродистые сплавы

В зависимости от содержания углерода железоуглеродистые сплавы делят на две группы:

1. Стали: а) доэвтектоидные ( $0,8 \% > C > 0,02 \%$ );

б) эвтектоидные ( $C \approx 0,8 \%$ );

в) заэвтектоидные ( $2,14 \% > C > 0,8 \%$ );

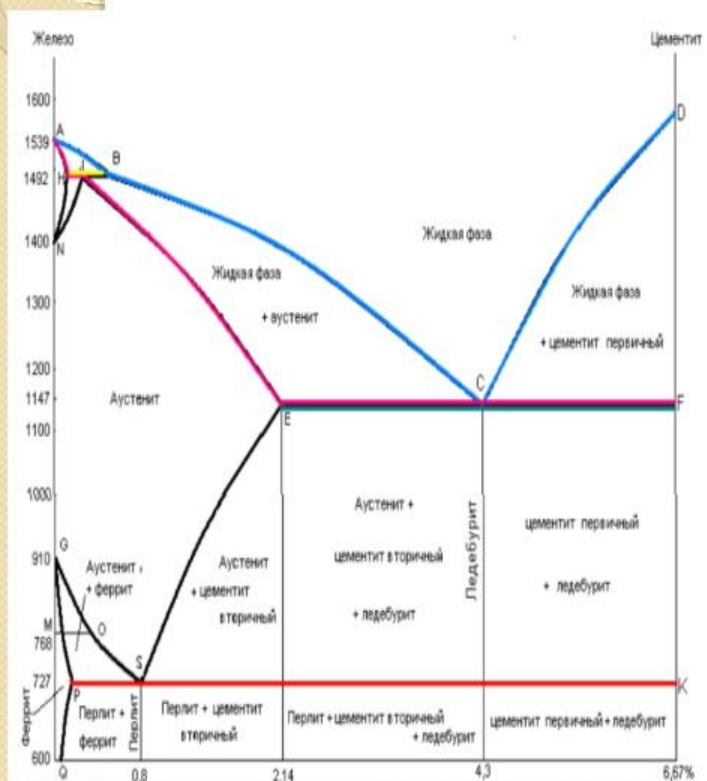
2. Чугуны: а) доэвтектические

( $4,3 \% > C > 2,14 \%$ );

б) эвтектические ( $C \approx 2,14 \%$ );

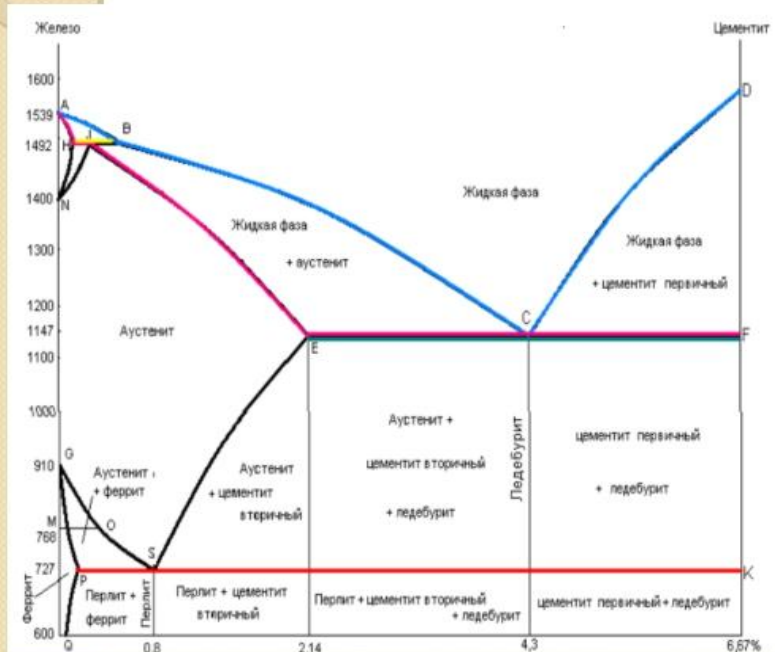
в) заэвтектические ( $6,67 \% > C > 4,3 \%$ ).

# Характеристика линий диаграммы Fe–Fe<sub>3</sub>C



- **ACD** – линия ликвидус. Выше этой линии все сплавы находятся в жидком состоянии.
- **AECF** – линия солидус. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии.
- **AC** – из жидкого раствора выпадают кристаллы аустенита.
- **CD** – линия выделения первичного цементита.

# Характеристика линий диаграммы Fe–Fe<sub>3</sub>C



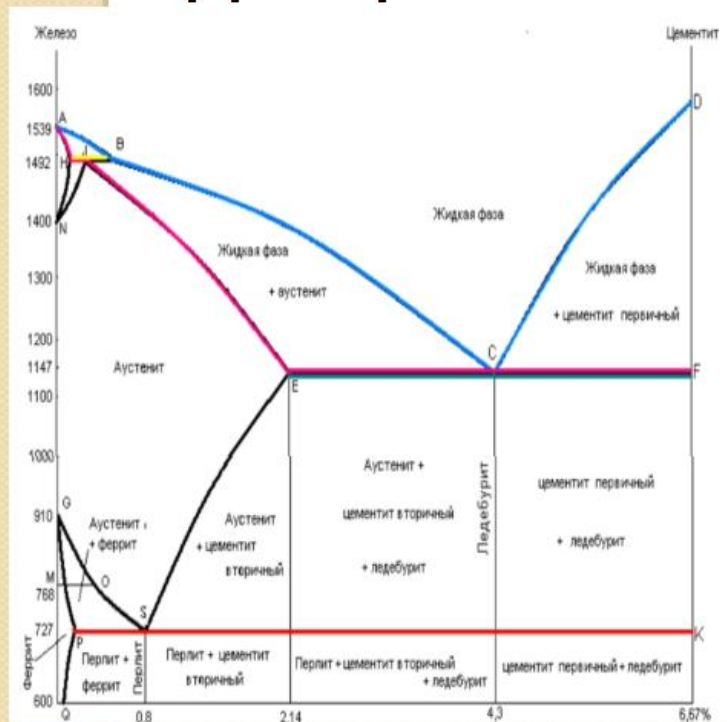
**AE** – заканчивается кристаллизация аустенита.

**ECF** – линия эвтектического превращения.

**PSK** – линия эвтектоидного превращения.



# Характеристика линий диаграммы Fe–Fe<sub>3</sub>C



GS – определяет температуру начала выделения феррита из аустенита (910-727 °C).

GP – определяет температуру окончания выделения феррита из аустенита.

ES – линия выделения вторичного цементита.

PQ – линия выделения третичного цементита.

## Характеристика точек диаграммы Fe–Fe<sub>3</sub>C

**A** – точка плавления – кристаллизации чистого железа.  
Температура 1539 °С,

**C** – эвтектическая точка, температура 1147 °С, концентрация углерода – 4,3 % (содержание углерода в жидком растворе, находящемся в равновесии с аустенитом и цементитом при эвтектическом превращении).

**D** – точка, соответствующая температуре плавления цементита, ее положение на диаграмме не определено, так как цементит – термодинамически неустойчивая фаза и при плавлении разлагается на железо и графит.

## Характеристика точек диаграммы Fe–Fe<sub>3</sub>C

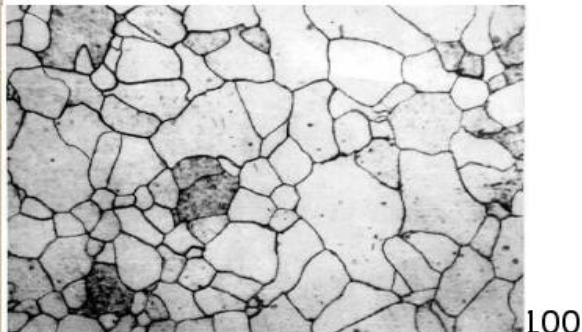
**E** – точка, отвечающая предельному содержанию углерода в аустените,  
Является границей между сталями и чугунами

**G** – точка полиморфного превращения в чистом железе  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  (911 °C),  
соответствует для чистого железа критической точке  $A_3$ .

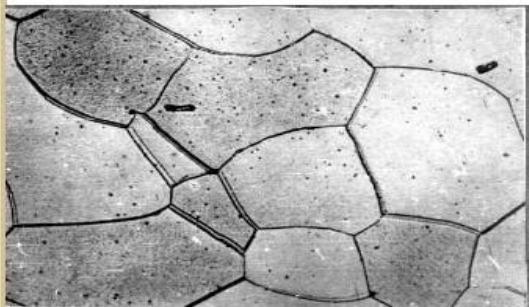
**P** – точка предельного содержания углерода в феррите, находящемся  
в равновесии с цементитом и аустенитом при эвтектической температуре (727 °C), содержание углерода – 0,02 %.  
Эта точка определяет техническое железо в сталях.

**S** – эвтектоидная точка, температура 727 °C, концентрация углерода – 0,8 % (содержание углерода в твердом растворе, находящемся в равновесии с ферритом и цементитом при эвтектоидном превращении).

## Структура технического железа



100



х 300

Твердость по Бринеллю 80-100  
НВ

- Светлые полиэдры твердого раствора феррита (Ф) и выделения избыточного цементита (Ц) по границам зерен.
- Структурные составляющие:
- феррит и цементит третичный (Ф+Ц<sub>III</sub>).
- Фазы:
- феррит ( $\alpha$ -фаза) и цементит (карбид железа  $Fe_3C$ )

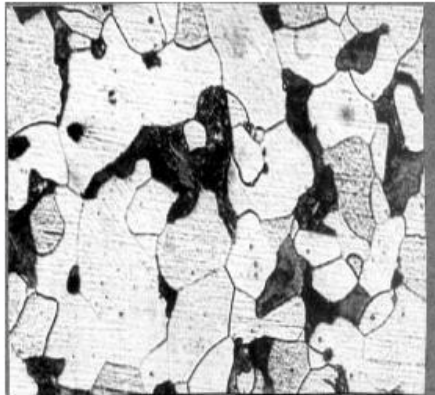




## Доэвтектоидная сталь

- Увеличение содержания углерода сверх 0,025% вызывает образование перлита – двухфазной структуры, формирующейся при эвтектоидном превращении. Перлит состоит из двух фаз: феррита и цементита и имеет суммарное содержание углерода 0,8%.. Количество перлита в доэвтектоидных сталях возрастает с увеличением содержания углерода.

## Структура низкоуглеродистой доэвтектоидной стали (0,2% углерода)

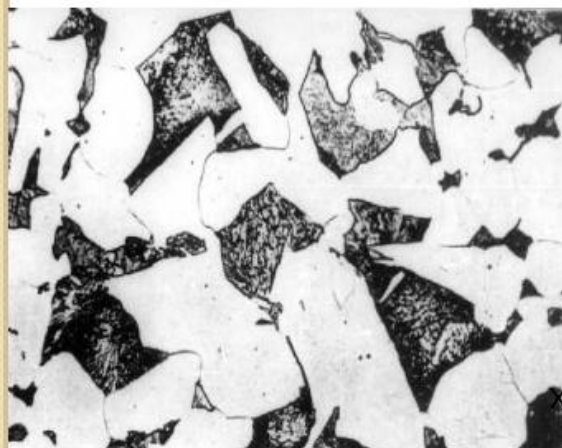


х 300

Твердость по Бринеллю 110-120 НВ

- Светлые (белые) участки твердого раствора феррита (Ф) и темные – перлита (П) пластинчатого строения.
- Структурные составляющие:
- феррит и перлит (Ф+П).
- Фазы:
- феррит ( $\alpha$ -фаза) и цементит (карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ )

## Структура среднеуглеродистой доэвтектоидной стали марки 45 (0,45% углерода)

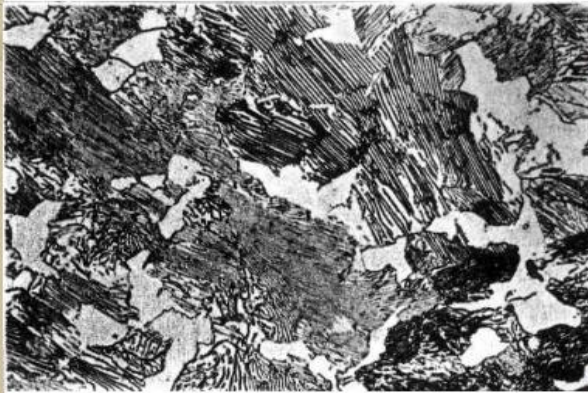


x 300

Твердость по Бринеллю  
140-160 НВ

- С ростом содержания углерода увеличивается количество темной перлитной структурной составляющей.
- Структурные составляющие:
- феррит и перлит (Ф+П).
- Фазы:
- феррит ( $\alpha$ -фаза) и цементит (карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ )

## Структура доэвтектоидной стали с 0,6% углерода



х300

Твердость по Бринеллю  
160-170 НВ

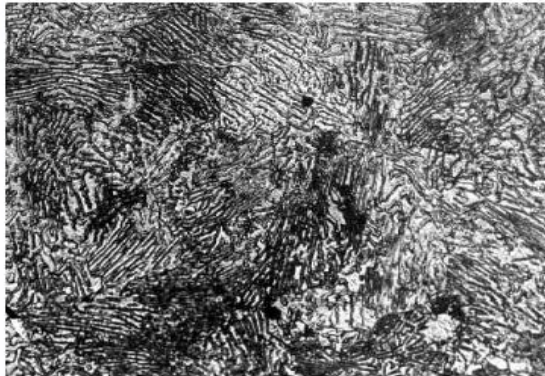
- Основная структурная составляющая – перлит с небольшими участками феррита. С ростом доли перлитной составляющей возрастает и общая твердость стали.
- Структурные составляющие:
- феррит и перлит (Ф+П).
- Фазы:
- феррит ( $\alpha$ -фаза) и цементит (карбид железа  $Fe_3C$ )

## Эвтектоидная сталь

- В стали, содержащей 0,8% углерода, получается чисто перлитная структура, поскольку этот состав является, согласно диаграмме равновесия, эвтектоидным.



## Структура эвтектоидной стали марки У8



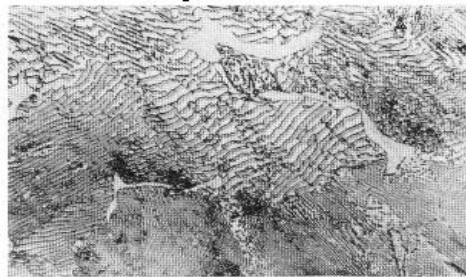
Х 300

Твердость по Бринеллю  
180-200 НВ

- Структура пластинчатого перлита (П). Тонкие пластины цементита (Ц) на светлом поле твердого раствора феррита (Ф).
- Структурные составляющие:
- перлит (П)
- Фазы:
- феррит ( $\alpha$ -фаза) и цементит (карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ ).

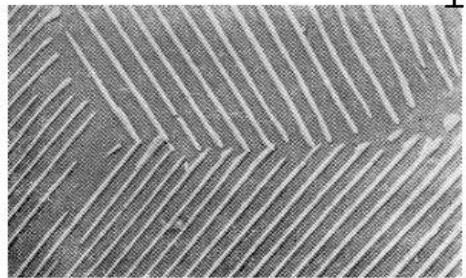
## Структура пластинчатого перлита при различном увеличении

а)



x  
1000

б)



x  
5000

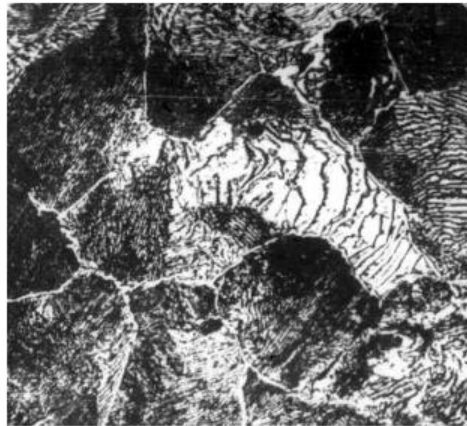
Хорошо видны  
чередующиеся пластинки  
феррита и цементита (а) и  
(б), а также место стыка  
бывших аустенитных зерен  
(б).



## Заэвтектоидная сталь

Заэвтектоидная сталь характеризуется избыточным содержанием цементита, который может выделяться по границам зерен перлита. **Цементитная** сетка является значительным дефектом заэвтектоидной стали, приводящим к снижению ее прочности и вязкости.

## Структура заэвтектоидной стали марки У12 (1,2% углерода)



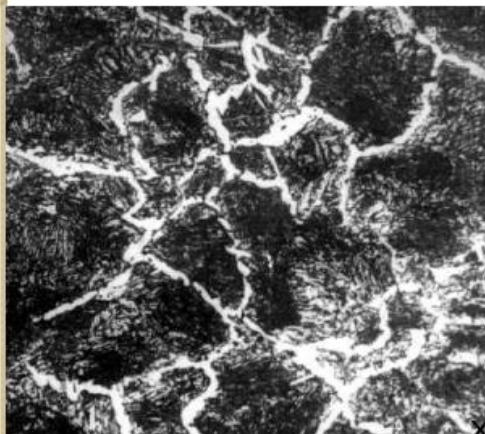
х 300

- Структура состоит из пластинчатого перлита (П), окруженного светлой сеткой избыточного цементита (Ц), выделившегося по границам бывшего аустенитного зерна.
- Структурные составляющие:
- перлит и цементит вторичный (П+Ц<sub>в</sub>).
- Фазы: феррит ( $\alpha$ -фаза) и цементит (карбид железа  $Fe_3C$ ).

Твердость по Бринеллю  
200-220 НВ



## Структура заэвтектоидной стали с 1,3% углерода



x 300

Твердость по Бринеллю  
200-220 НВ

- Структура отличается от предыдущей большей толщиной цементитной сетки.
- Структурные и фазовые составляющие те же, что и выше.



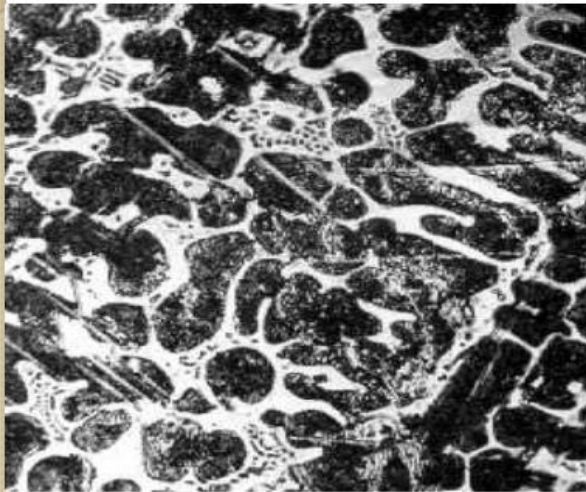
## Белый чугун

- Белые чугуны характеризуются тем, что весь углерод в них находится в связанном состоянии в форме карбида железа - цементита ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). По химическому составу и структуре чугуны делят на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические.

## Доэвтектический белый чугун

- В структуре доэвтектического белого чугуна наряду с **аустенитом**, образованным при первичной кристаллизации, и вторичным цементитом присутствует хрупкая эвтектика – **ледебурит**, количество которой возрастает с увеличением содержания углерода.

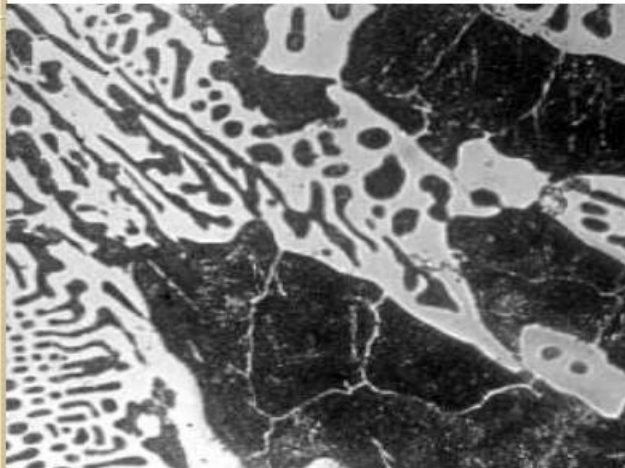
## Структура низкоуглеродистого доэвтектического белого чугуна с 3,3% углерода



x 300

- Темные участки распавшегося (на перлит) избыточного твердого раствора аустенита (А) и пестрая эвтектика – распавшийся ледебурит - между ними. Внутри распавшегося аустенита видны светлые выделения вторичного цементита ( $\text{Ц}_{II}$ ).
- Структурные составляющие: аустенит распавшийся (перлит), ледебурит распавшийся и цементит вторичный ( $\text{A}_p + \text{L}_p + \text{Ц}_{II}$ ).
- Фазы: Феррит ( $\alpha$ -фаза) и цементит (карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ ). При температуре выше  $\text{A}_1$  фазы: аустенит ( $\gamma$ -фаза) и цементит.

## Структура доэвтектического белого чугуна с 4,0% углерода

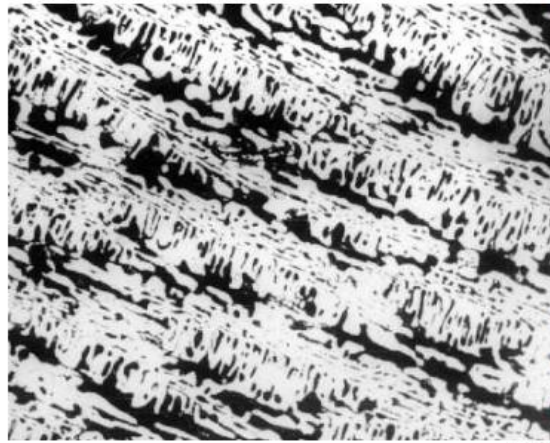


x 600

- Большое увеличение позволяет увидеть внутри распавшегося аустенита светлые выделения вторичного цементита ( $C_{II}$ ) в виде сетки по границам зерен.
- Структурные составляющие: аустенит распавшийся (перлит), ледеburит распавшийся и цементит вторичный ( $A_p + L_p + C_{II}$ ).
- Фазы: феррит ( $\alpha$ -фаза) и цементит (карбид железа  $Fe_3C$ ). При температуре выше  $A_1$  фазы – аустенит ( $\gamma$ -фаза) и цементит.



## Эвтектический чугун (4,3% углерода)



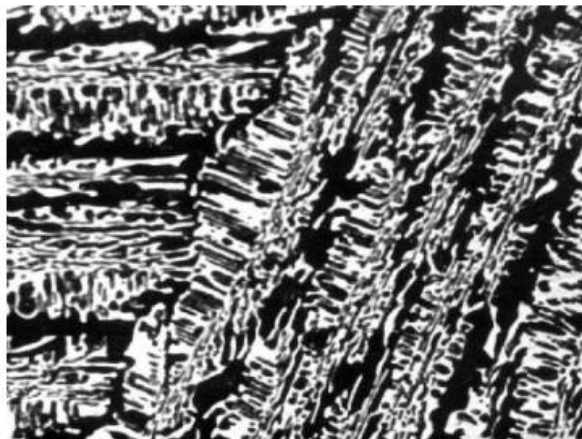
х 300

Твердость по Бринеллю  
500-520 НВ

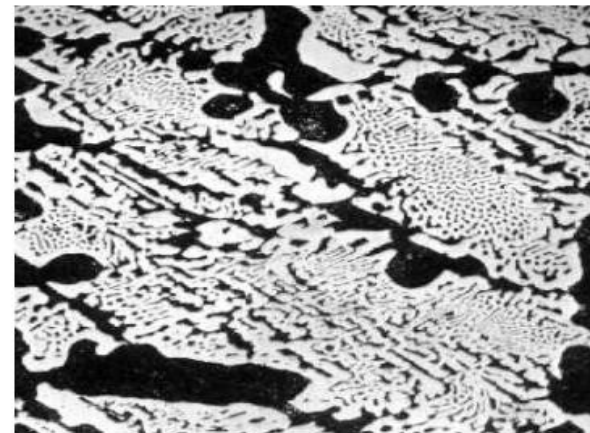
- Структура состоит из эвтектики (распавшегося ледебурита –  $L_p$ ), представляющей собой равномерно распределенные темные участки распавшегося твердого раствора аустенита (А) и светлые участки цементита (Ц).
- Структурные составляющие:
- эвтектика ( $L_p$ ).
- Фазы:
- феррит ( $\alpha$ -фаза) и цементит (карбид железа  $Fe_3C$ ). При температуре выше  $A_1$ -аустенит и цементит



## Структура эвтектического чугуна (примеры строения ледебурита)



x 300



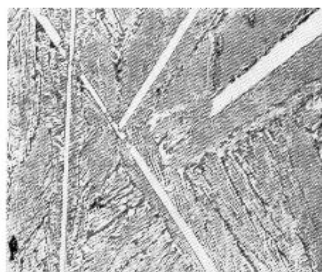
x 300



## Заэвтектический чугун

- Структура заэвтектического чугуна состоит из эвтектики (ледебурит) и первичного цементита, выделяющегося при кристаллизации из жидкости в виде крупных пластин.

## Заэвтектический чугун (5% углерода)



x 100

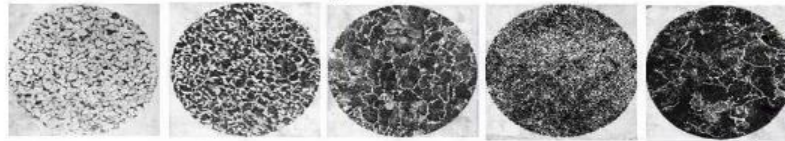
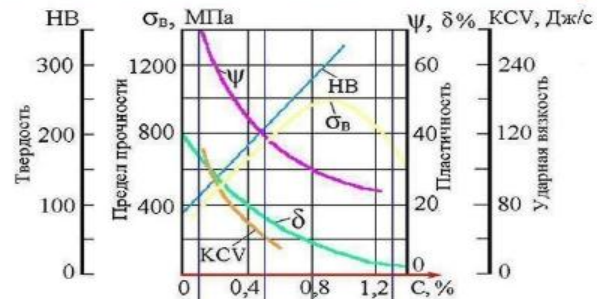


x 700

Твердость по Бринеллю  
630-650 НВ

- Белые пластинки избыточного первичного цементита (Ц) и пестрая эвтектика (ледебурит распавшийся – Л<sub>p</sub>) между ними.
- Структурные составляющие:
- эвтектика (ледебурит распавшийся) и цементит первичный (Л<sub>p</sub>+Ц).
- Фазы: феррит (α-фаза) и цементит (карбид железа Fe<sub>3</sub>C).

# Изменение микроструктуры и свойств сталей с увеличением количества углерода



Изменение структуры при увеличении содержания углерода, а следовательно количества перлита и цементита в стали



# □ **Практическое применение диаграммы**





## Обрабатываемость резанием.

- С увеличением прочности и твердости, то есть с повышением содержания углерода в стали, обрабатываемость ухудшается. Однако и стали с очень малым содержанием углерода, со структурой почти чистого феррита обрабатываются плохо, давая низкую чистоту поверхности.



## Штампуемость.

- Штампуемость ухудшается по мере повышения прочностных свойств стали, особенно предела текучести.



## Свариваемость.

- Чем шире температурный интервал кристаллизации, тем легче образуются горячие трещины. Интервал кристаллизации возрастает с увеличением содержания углерода. Поэтому с повышением содержания углерода свариваемость ухудшается.



## Литейные свойства стали.

- Литейные свойства стали ухудшается при увеличении содержания углерода. Поэтому для литья используют обычно стали с содержанием углеродов до 0,4% С.



## Закрепление изученного материала

- **Вопрос 1**
- Укажите линию ликвидус
- 1) PSK
- 2) ACD
- 3) ECF
- 4) SE





## Закрепление изученного материала

- **Вопрос 2**
- Укажите линию солидус
- 1) ACD
- 2) AECF
- 3) PSK
- 4) ECF



## Закрепление изученного материала

- **Вопрос 3**
- Укажите содержание углерода в цементите
- 1) 6,67 %
- 2) 4,3 %
- 3) 2,14%
- 4) 0,8%



## Закрепление изученного

- **Вопрос 4** материала
- Укажите содержание углерода в эвтектоиде
- 1) 6,67 %
- 2) 4,3 %
- 3) 2,14%
- 4) 0,8%



## Закрепление изученного материала

- **Вопрос 5**
- Укажите содержание углерода в эвтектике
- 1) 6,67 %
- 2) 4,3 %
- 3) 2,14%
- 4) 0,8%
-



## Закрепление изученного материала

- **Вопрос 6**
- Как называется структура, представляющая собой твердый раствор углерода в  $\alpha$ - железе?
- 1) перлит
- 2) цементит
- 3) феррит
- 4) аустенит





## Закрепление изученного материала

- **Вопрос 7**
- Как называется структура, представляющая собой твердый раствор углерода в  $\gamma$ - железе?
- 1) феррит
- 2) цементит
- 3) аустенит
- 4) ледебурит
-



## Закрепление изученного материала

- **Вопрос 8**
- Как называется структура представляющая собой карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ ?
- 1) феррит
- 2) аустенит
- 3) ледебурит
- 4) цементит



## Закрепление изученного материала

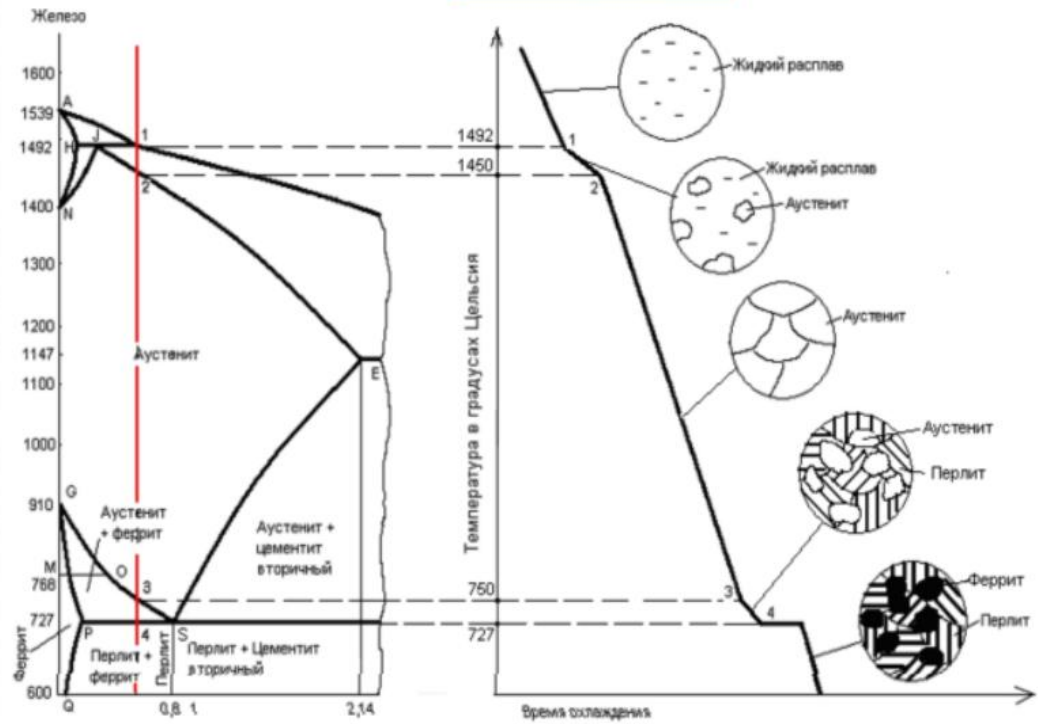
- Вопрос 9
- Как называется структура, представляющая собой механическую смесь феррита и цементита?
- 1) перлит
- 2)  $\delta$ -феррит
- 3) аустенит
- 4) ледебурит



## Закрепление изученного материала

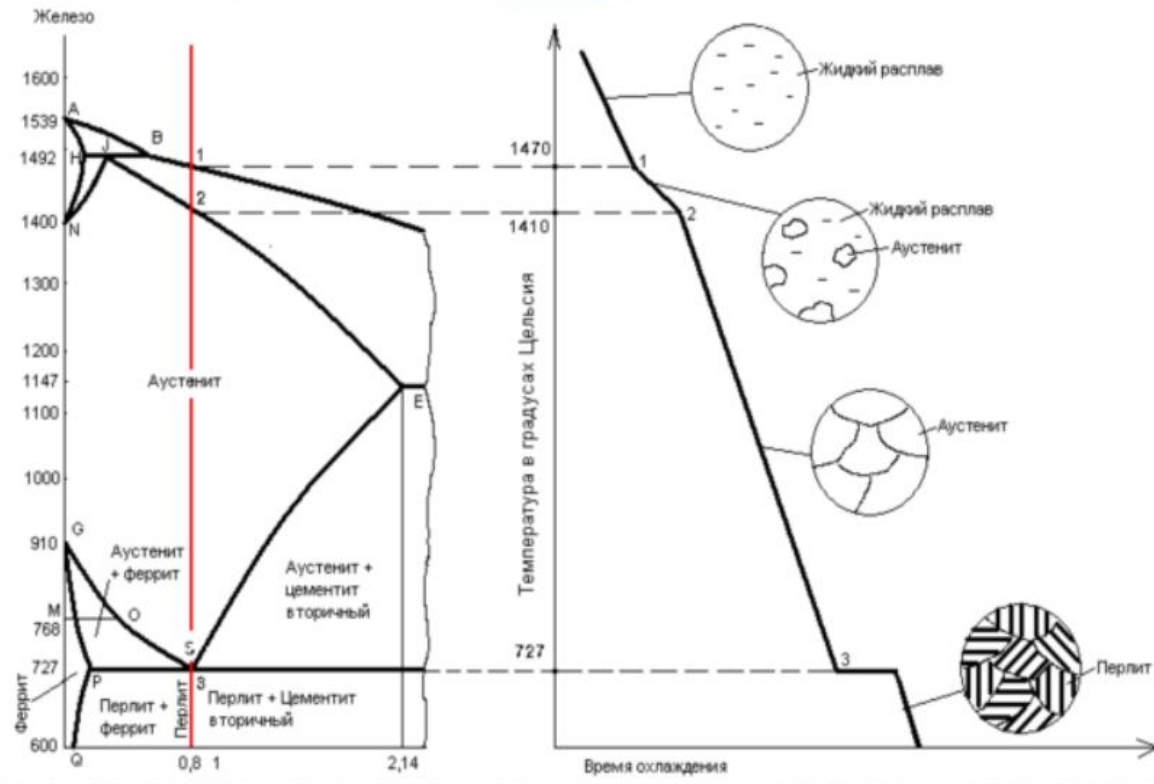
- Вопрос 10
- Как называется структура, представляющая собой механическую смесь аустенита и цементита?
- 1) перлит
- 2) феррит
- 3) ледебурит
- 4)  $\delta$  -феррит

61 Матрица структурных превращений доэвтектоидной стали при медленном охлаждении

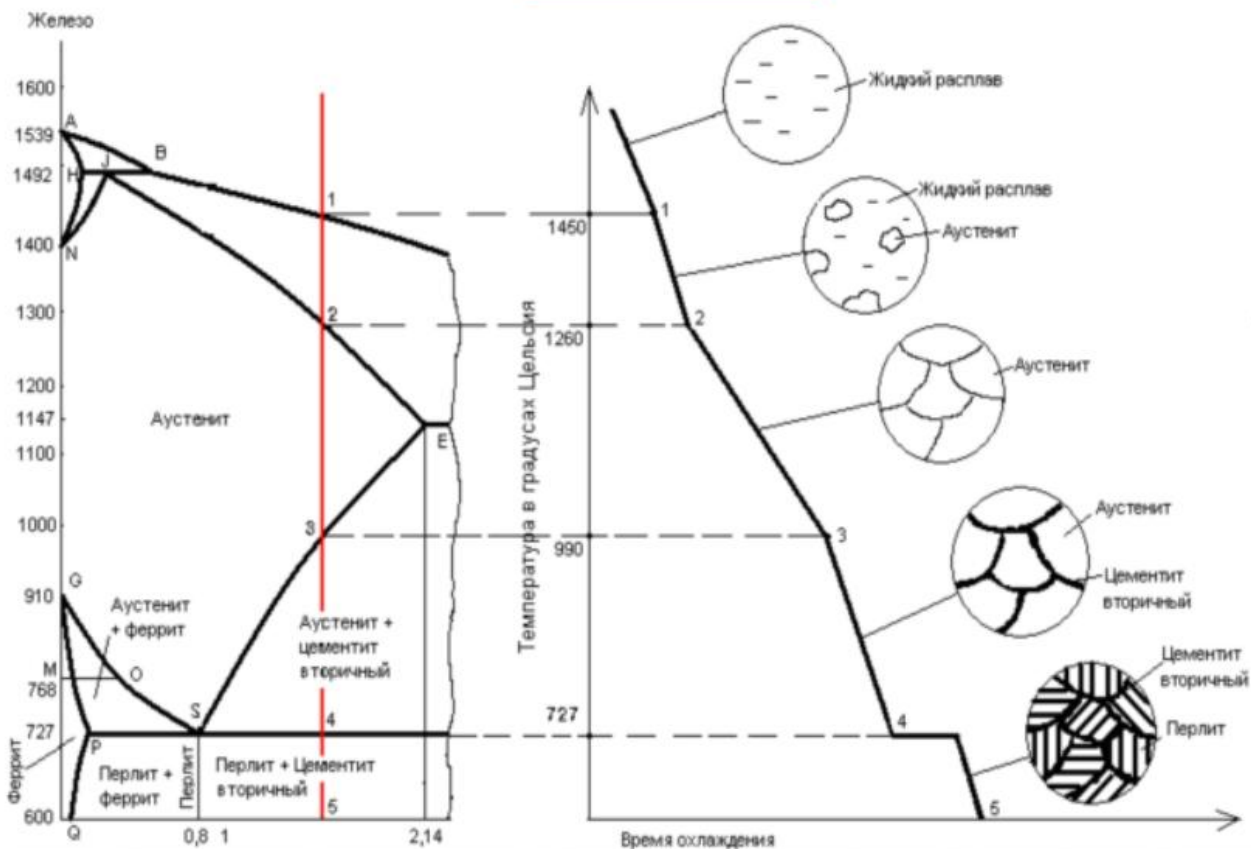




62 Матрица структурных превращений стали У8 при медленном охлаждении



63 Матрица структурных превращений заэвтектоидной стали при медленном охлаждении



СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ !