

- ***Диаграмма состояния
железо-цементит***

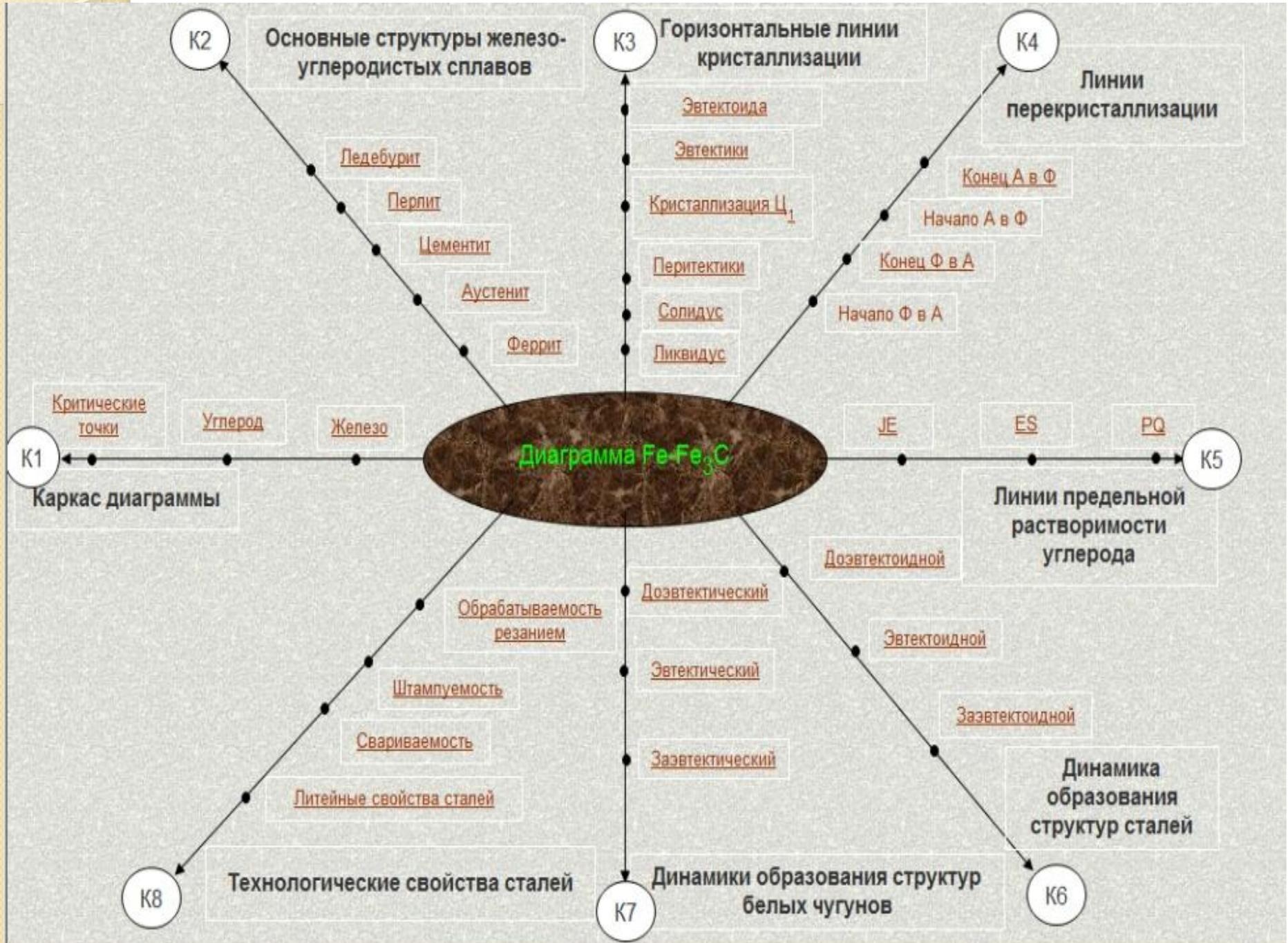
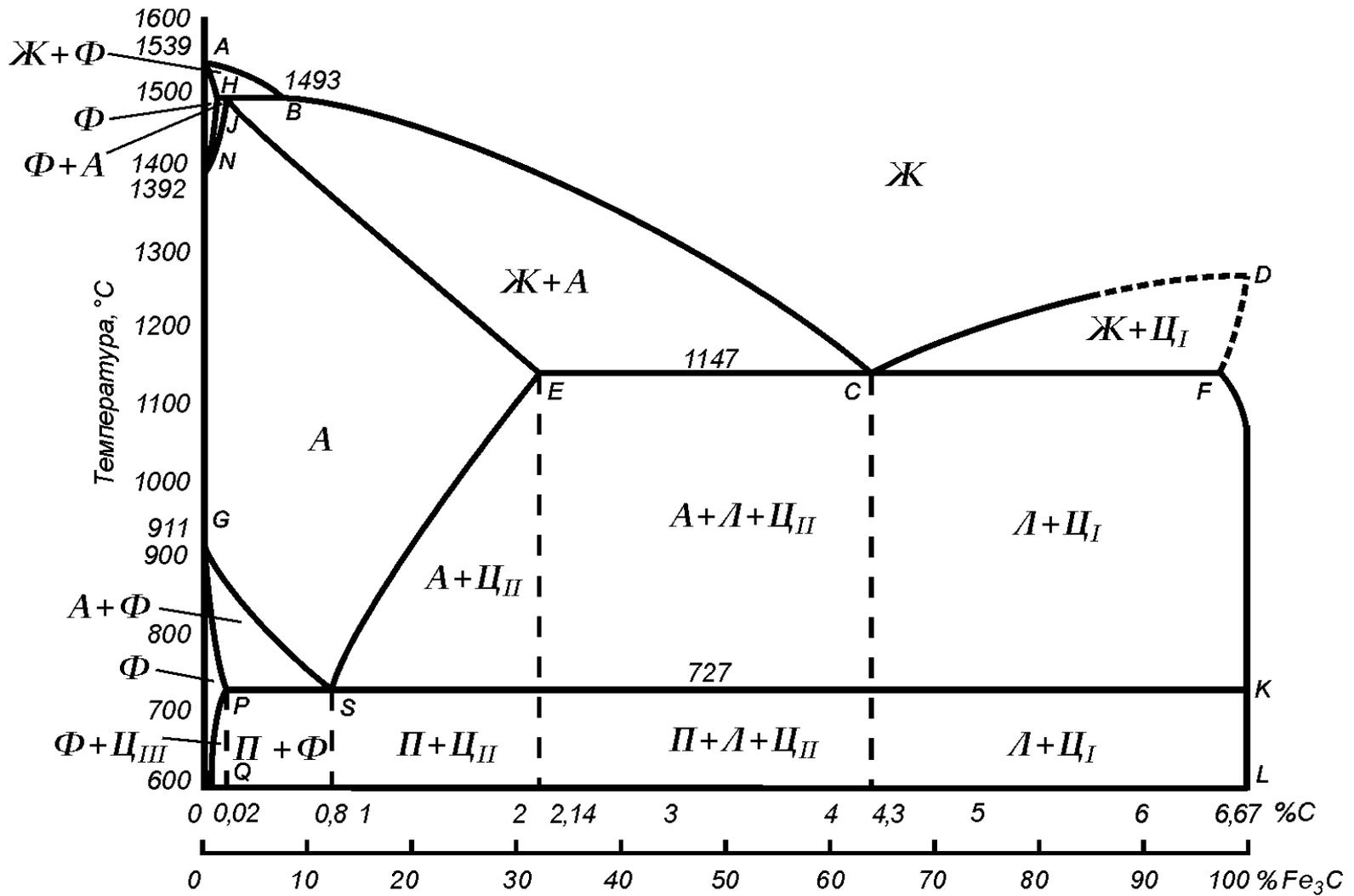


Диаграмма состояния Fe–Fe₃C



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/см³.

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°C , плотность – $2,5\text{ г/см}^3$) или в форме алмаза со сложной кубической решеткой (температура плавления – 5000°C).

Характеристика фазовых составляющих

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

Характеристика фазовых составляющих

- **Аустенит (А)** - твердый раствор внедрения углерода в γ -железе. В железоуглеродистых сплавах он может существовать только при высоких температурах. Предельная растворимость углерода в γ -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 Fe_3C). В цементите содержится 6,67% углерода. Температура плавления цементита около 1600°C . Он очень тверд ($\text{HV} \sim 800$), 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 $\sigma_{\text{в}}=800$ 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°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**.

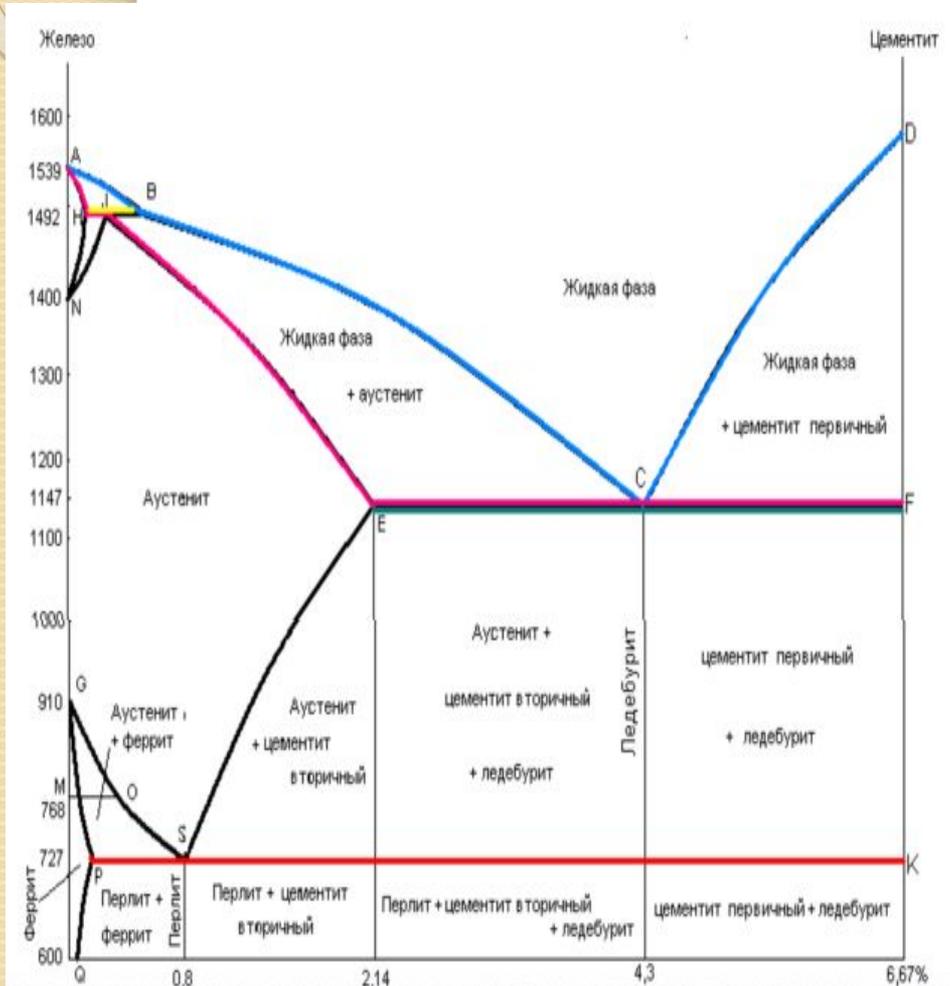
- В результате первичной кристаллизации во всех сплавах с содержанием углерода до 2,14%, т. е. в сталях, образуется однофазная структура - **аустенит**. В сплавах с содержанием углерода более 2,14%, т. е. в чугунах, при первичной кристаллизации образуется эвтектика **ледебурита**.

Железоуглеродистые сплавы

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

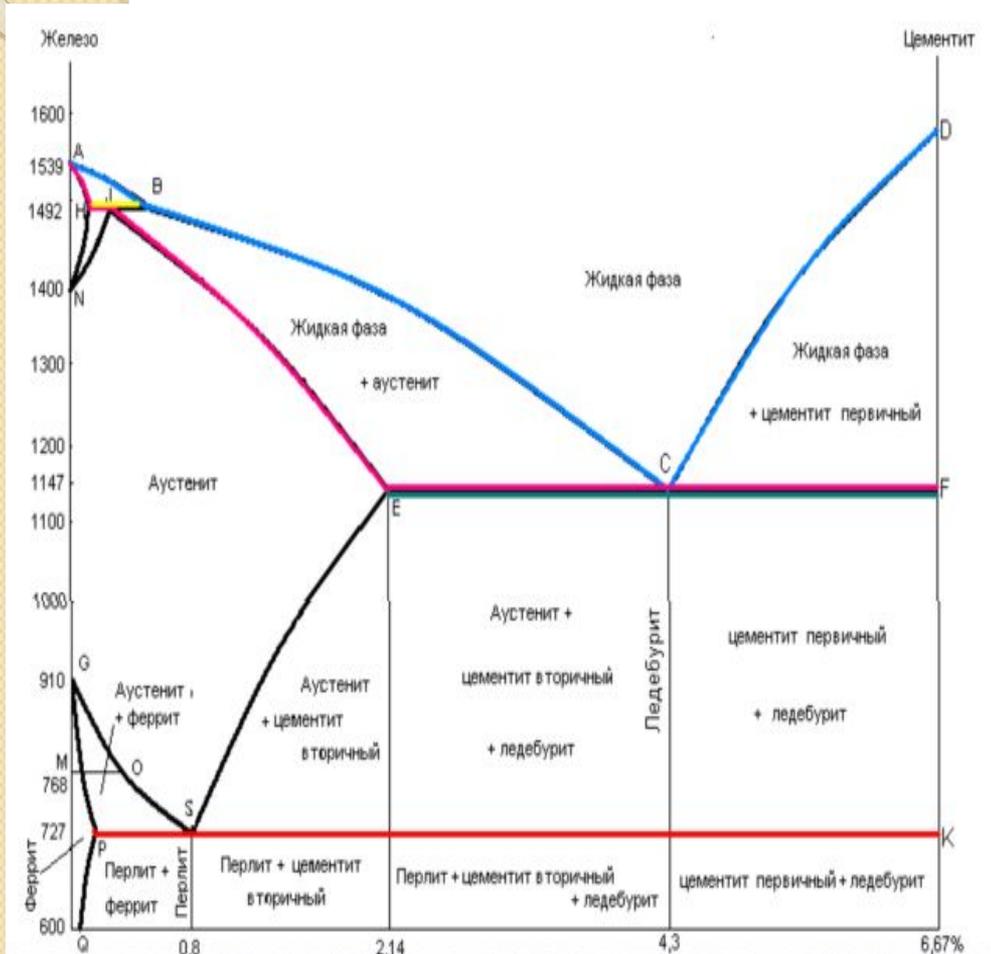
1. Стали: а) доэвтектоидные ($0,8\% > C > 0,02\%$);
б) эвтектоидные ($C \approx 0,8\%$);
в) заэвтектоидные ($2,14\% > C > 0,8\%$);
2. Чугуны: а) доэвтектические ($4,3\% > C > 2,14\%$);
б) эвтектические ($C \approx 2,14\%$);
в) заэвтектические ($6,67\% > C > 4,3\%$).

Характеристика линий диаграммы Fe–Fe₃C



- **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–Fe₃C

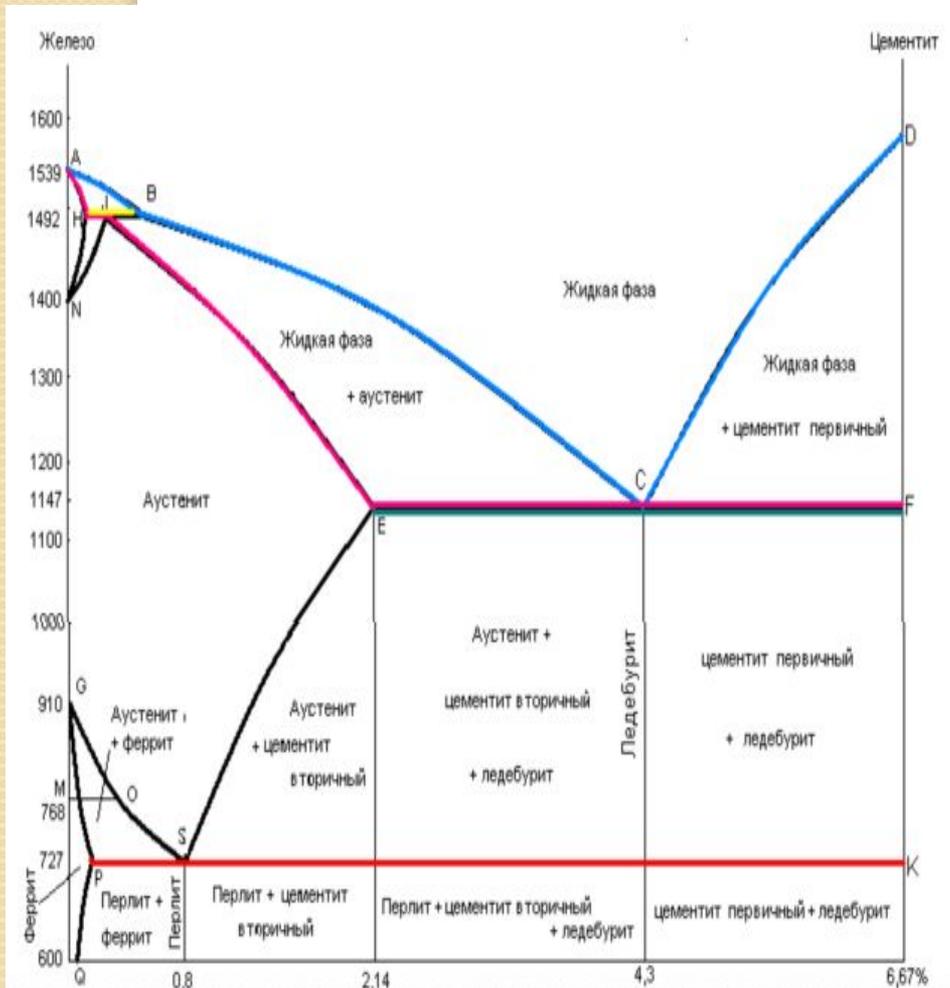


AE – заканчивается кристаллизация аустенита.

ECF – линия эвтектического превращения.

PSK – линия эвтектоидного превращения.

Характеристика линий диаграммы Fe–Fe₃C



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–Fe₃C

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–Fe₃C

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 .

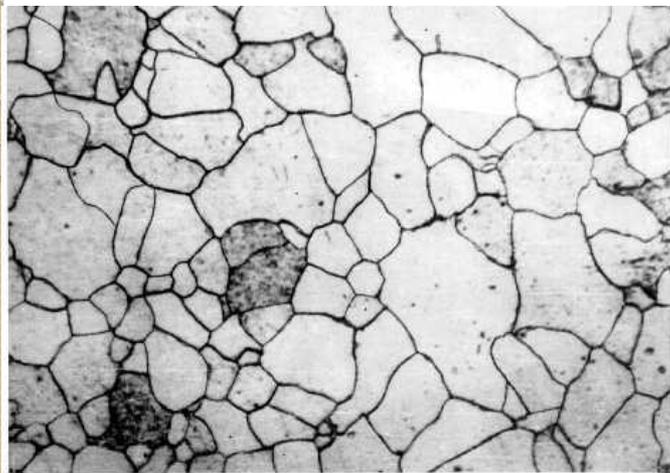
P – точка предельного содержания углерода в феррите, находящемся

в равновесии с цементитом и аустенитом при эвтектической температуре (727 °C), содержание углерода – 0,02 %.

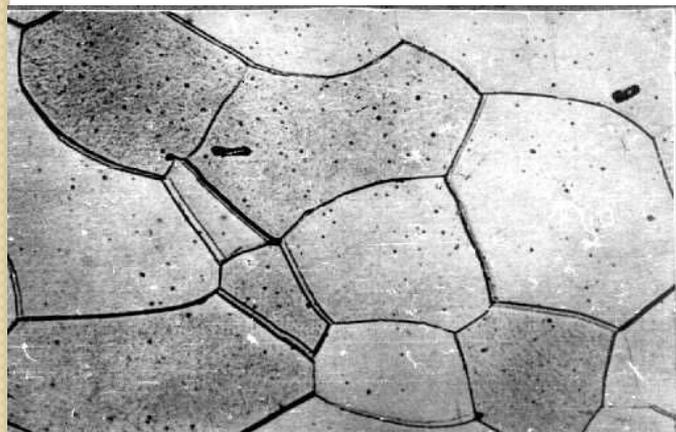
Эта точка определяет техническое железо в сталях.

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



300

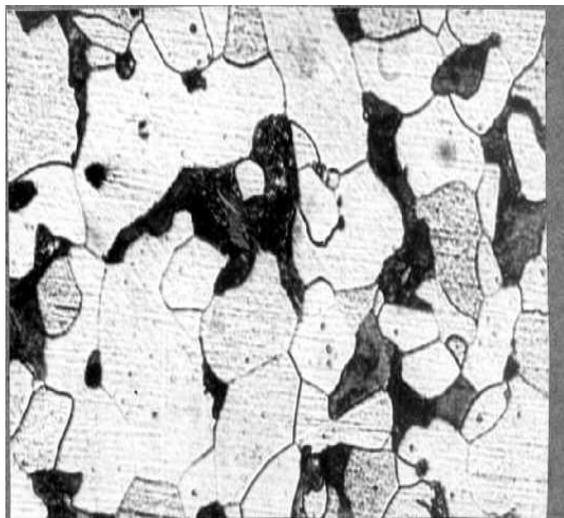
- Светлые полиэдры твердого раствора феррита (Ф) и выделения избыточного цементита (Ц) по границам зерен.
- Структурные составляющие:
- феррит и цементит третичный (Ф+Ц_{III}).
- Фазы:
- феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C)

Твердость по Бринеллю 80-100
НВ

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)

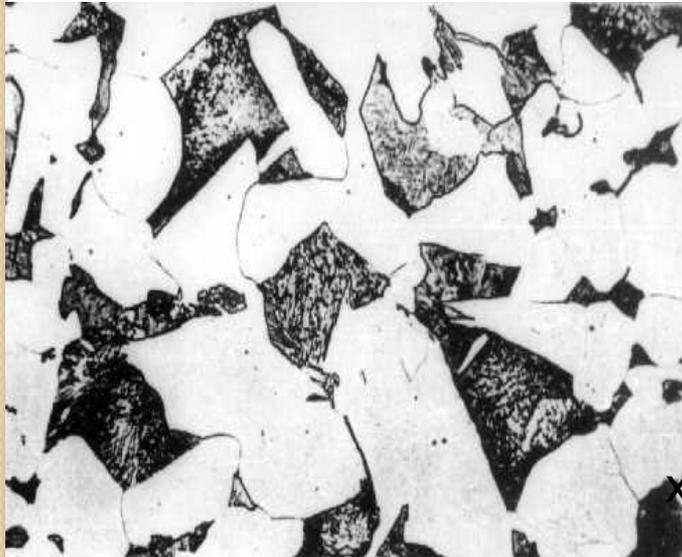


х 300

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 (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C)

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 (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C)

Структура доэвтектоидной стали с 0,6% углерода



x300

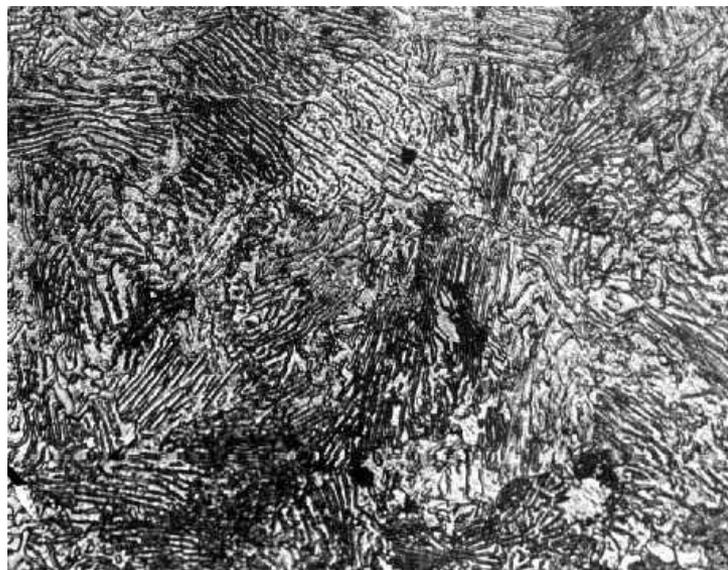
Твердость по Бринеллю
160-170 НВ

- 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 (α -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



X 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 (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C).

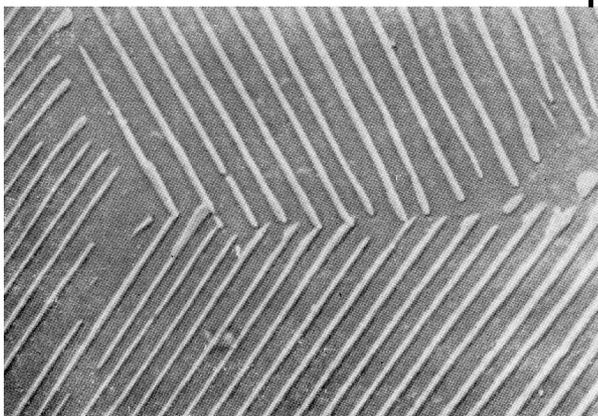
Структура пластинчатого перлита при различном увеличении

а)



X
1000

б)



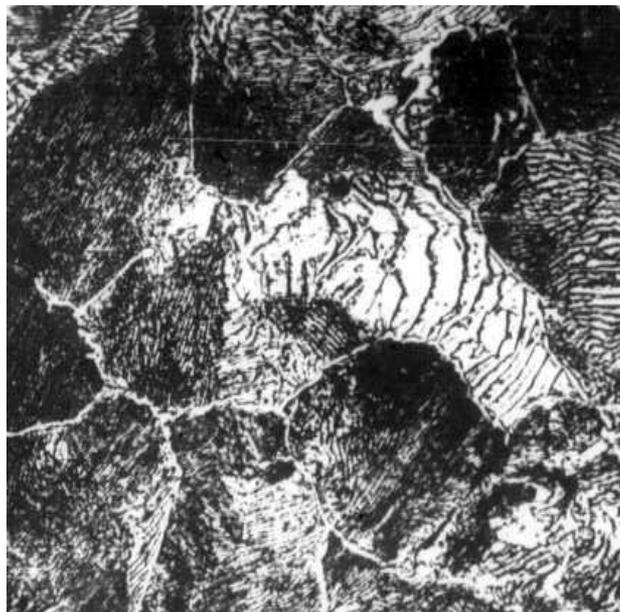
X
5000

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)

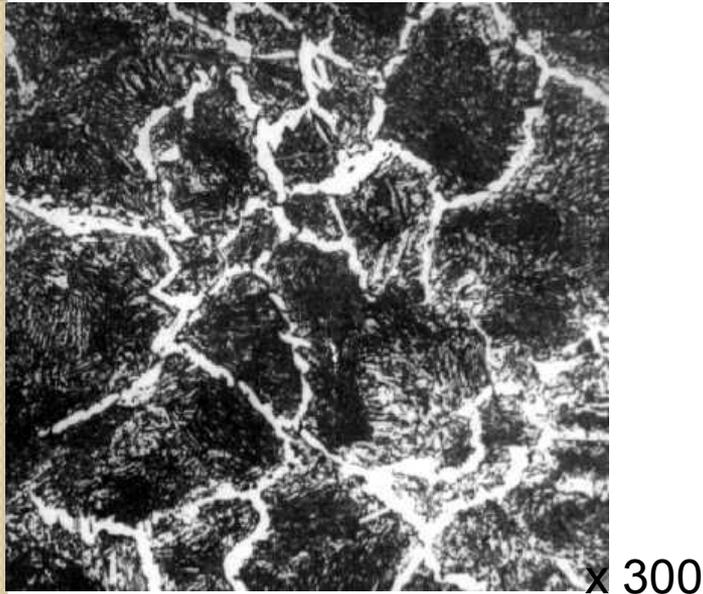


х 300

- 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_{II}).
- Фазы: феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C).

Твердость по Бринеллю
200-220 НВ

Структура заэвтектоидной стали с 1,3% углерода



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

Твердость по Бринеллю
200-220 НВ

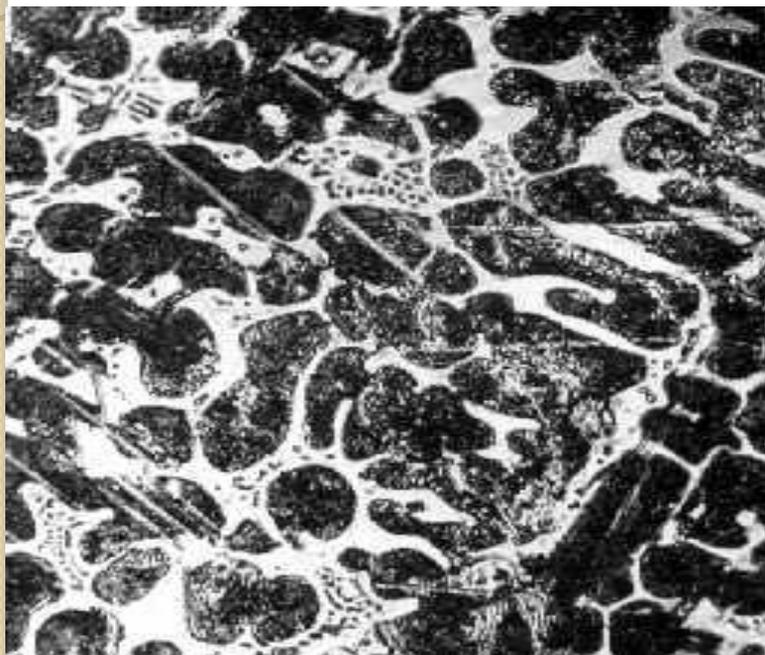
Белый чугун

- Белые чугуны характеризуются тем, что весь углерод в них находится в связанном состоянии в форме карбида железа - цементита (Fe_3C). 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.

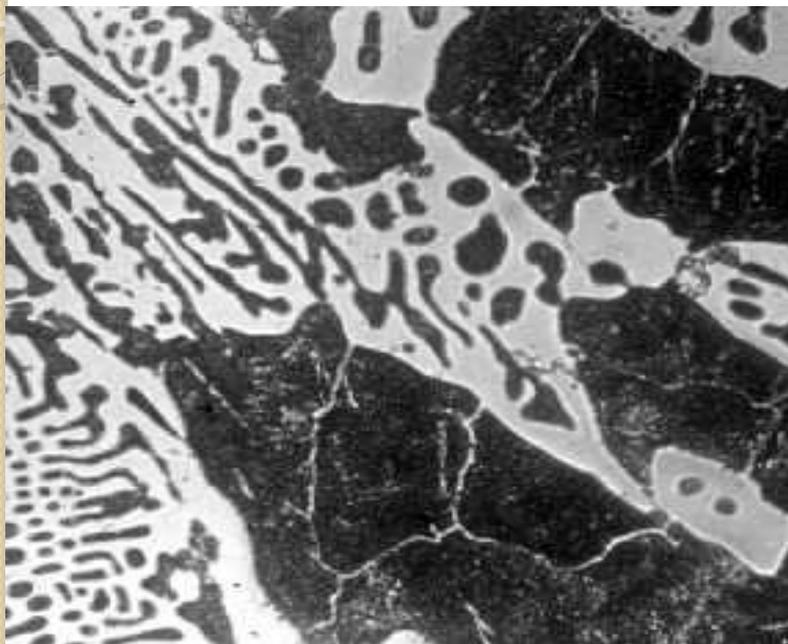
Структура низкоуглеродистого доэвтектического белого чугуна с 3,3% углерода



- Темные участки распавшегося (на перлит) избыточного твердого раствора аустенита (A) и пестрая эвтектика – распавшийся ледебурит – между ними. Внутри распавшегося аустенита видны светлые выделения вторичного цементита (C_{II}).
- Структурные составляющие:
аустенит распавшийся (перлит), ледебурит распавшийся и цементит вторичный ($A_p + L_p + C_{II}$).
- Фазы: Феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C). При температуре выше A_1 фазы: аустенит (γ -фаза) и цементит.

x 300

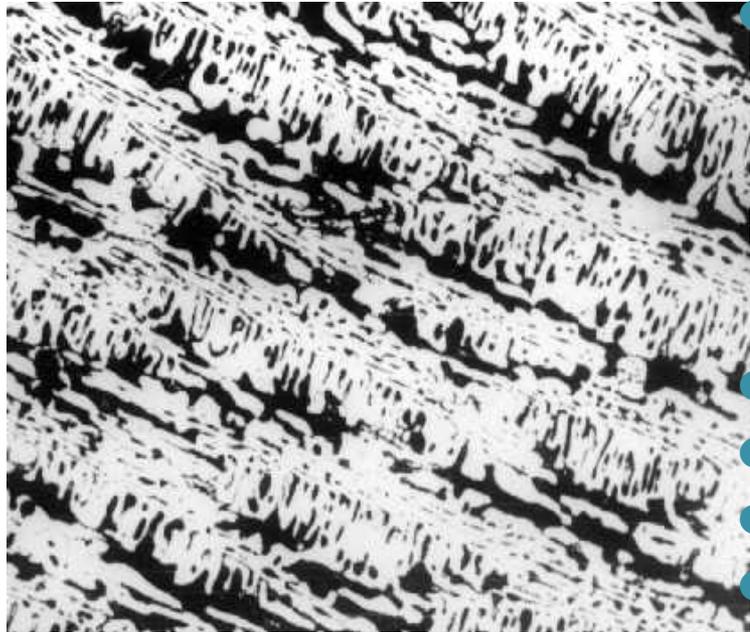
Структура доэвтектического белого чугуна с 4,0% углерода



x 600

- Большое увеличение позволяет увидеть внутри распавшегося аустенита светлые выделения вторичного цементита (Ц_{II}) в виде сетки по границам зерен.
- Структурные составляющие: аустенит распавшийся (перлит), ледебурит распавшийся и цементит вторичный ($\text{A}_p + \text{Л}_p + \text{Ц}_{II}$).
- Фазы: феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C). При температуре выше A_1 фазы – аустенит (γ -фаза) и цементит.

Эвтектический чугун (4,3% углерода)



x 300

● 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:

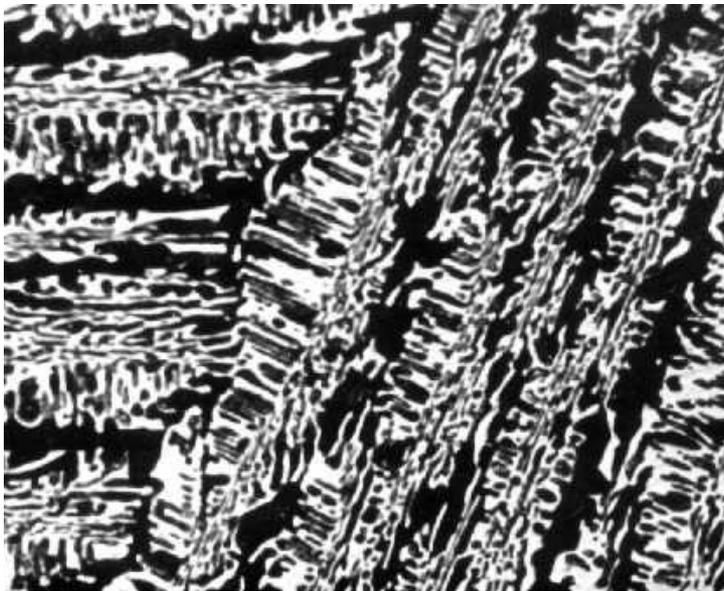
● эвтектика (L_p).

● Фазы:

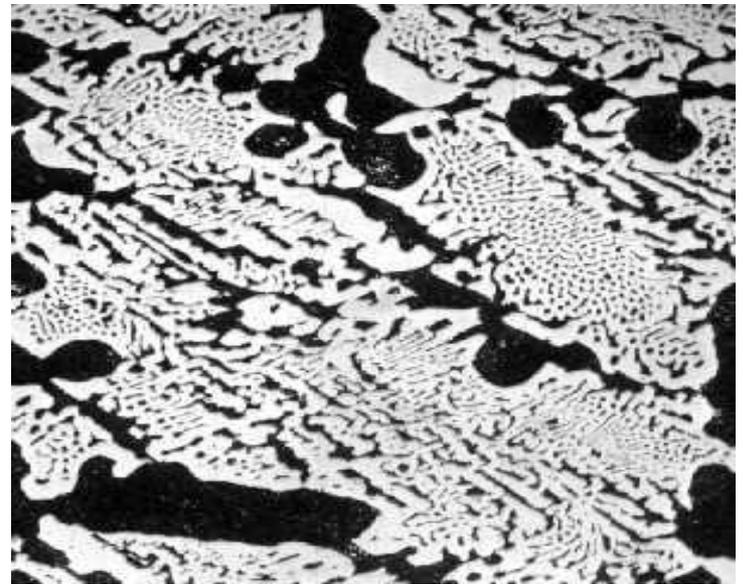
● феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C). При температуре выше A_1 - аустенит и цементит

Твердость по Бринеллю
500-520 НВ

Структура эвтектического чугуна (примеры строения ледебурита)



x 300

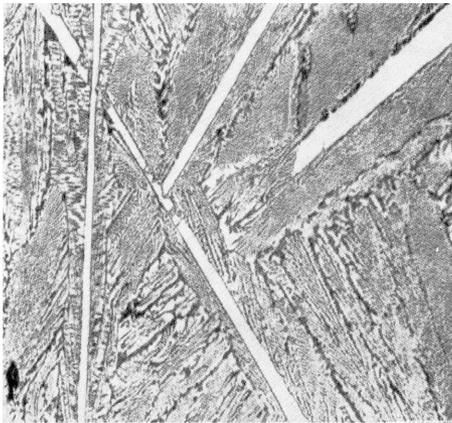


x 300

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)



х 100

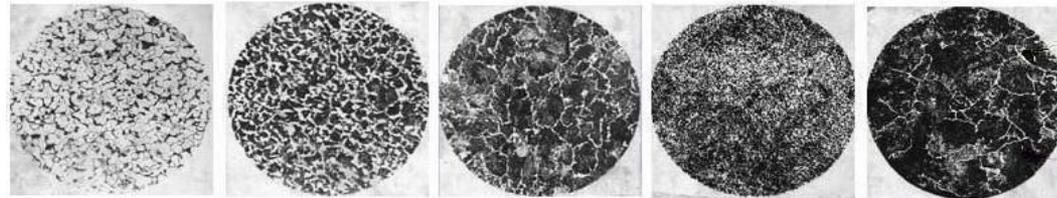
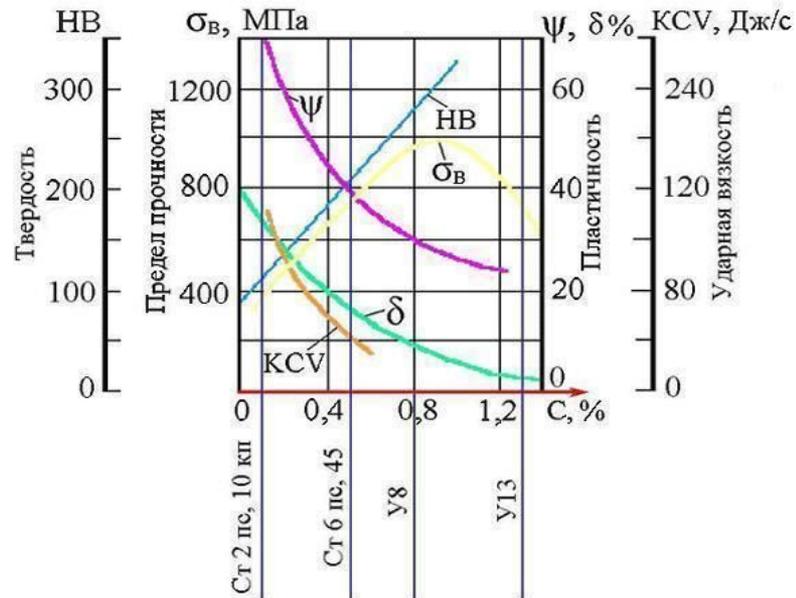


х 700

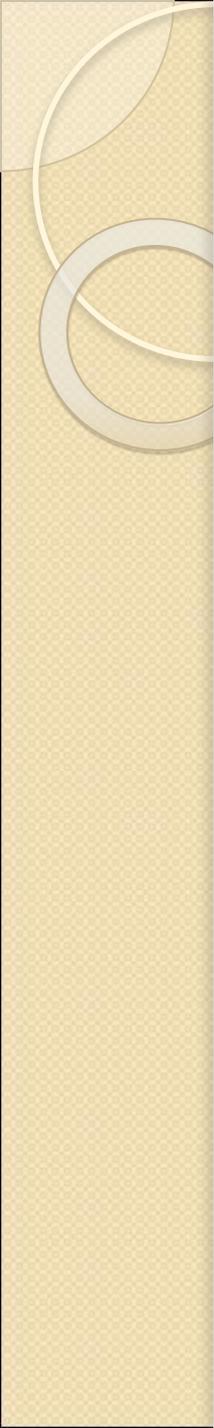
- Белые пластинки избыточного первичного цементита (C_1) и пестрая эвтектика (ледебурит распавшийся – L_p) между ними.
- Структурные составляющие:
- эвтектика (ледебурит распавшийся) и цементит первичный ($L_p + C_1$).
- Фазы: феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C).

Твердость по Бринеллю
630-650 НВ

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 ухудшаются 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) AECSF
- 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 материала

- **Вопрос 4**
- 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 α - железе?
- 1) перлит
- 2) цементит
- 3) феррит
- 4) аустенит

Закрепление изученного материала

● Вопрос 7

● Как называется структура, представляющая собой твердый раствор углерода

● в γ - железе?

● 1) феррит

● 2) цементит

● 3) аустенит

● 4) ледебурит

●

Закрепление изученного материала

- **Вопрос 8**
- Как называется структура представляющая собой карбид железа Fe_3C ?
- 1) феррит
- 2) аустенит
- 3) ледебурит
- 4) цементит

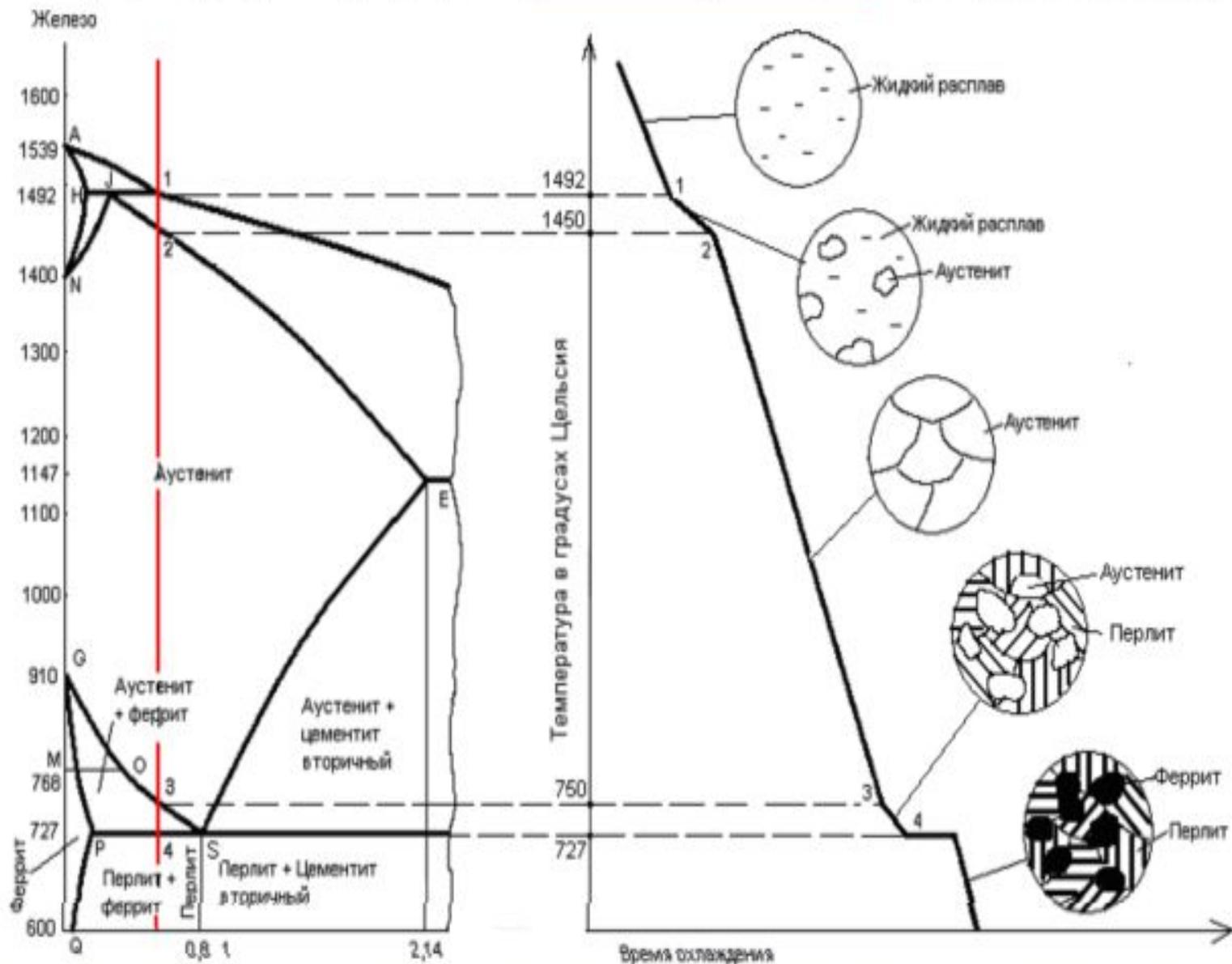
Закрепление изученного материала

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

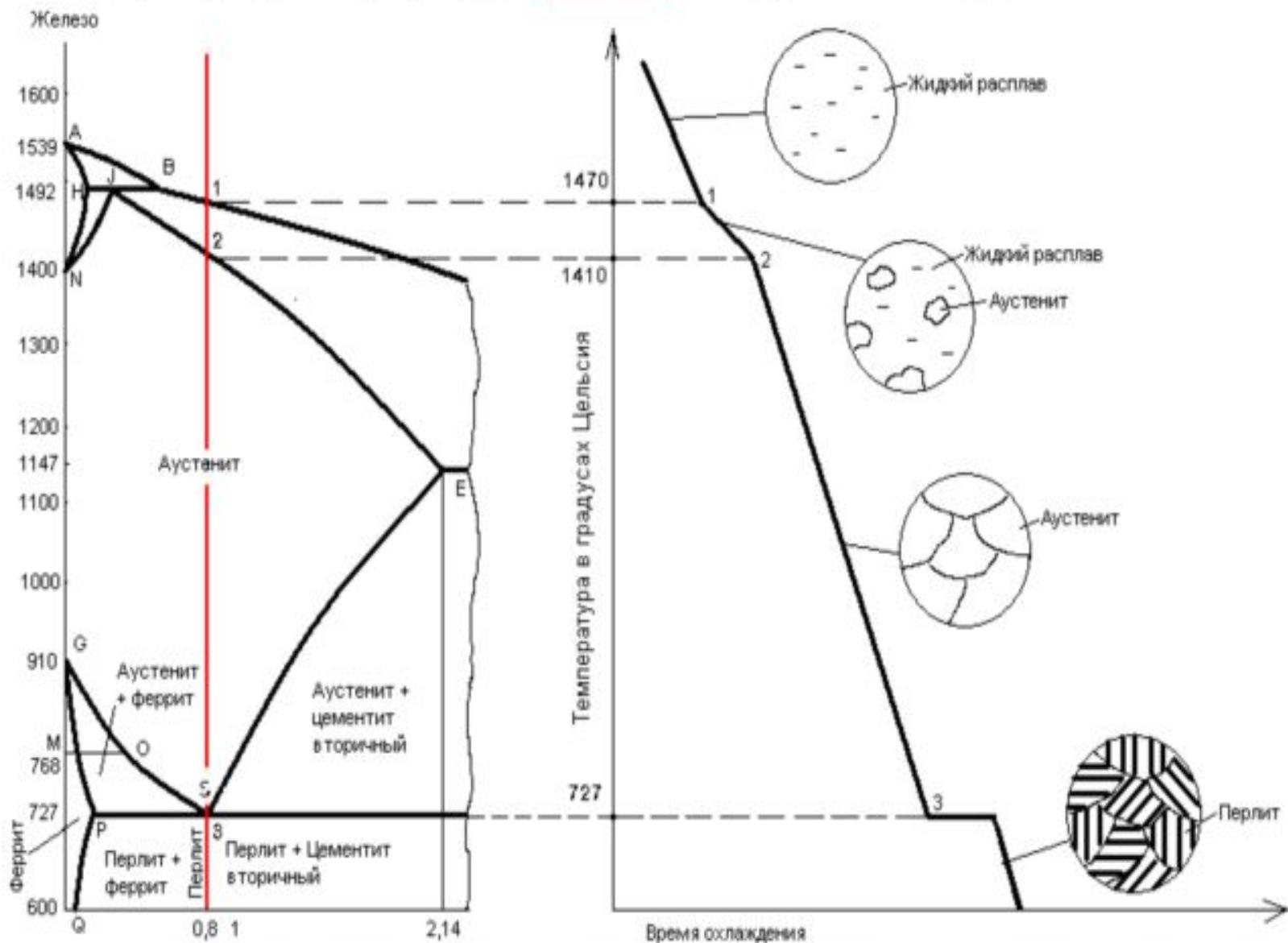
Закрепление изученного материала

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

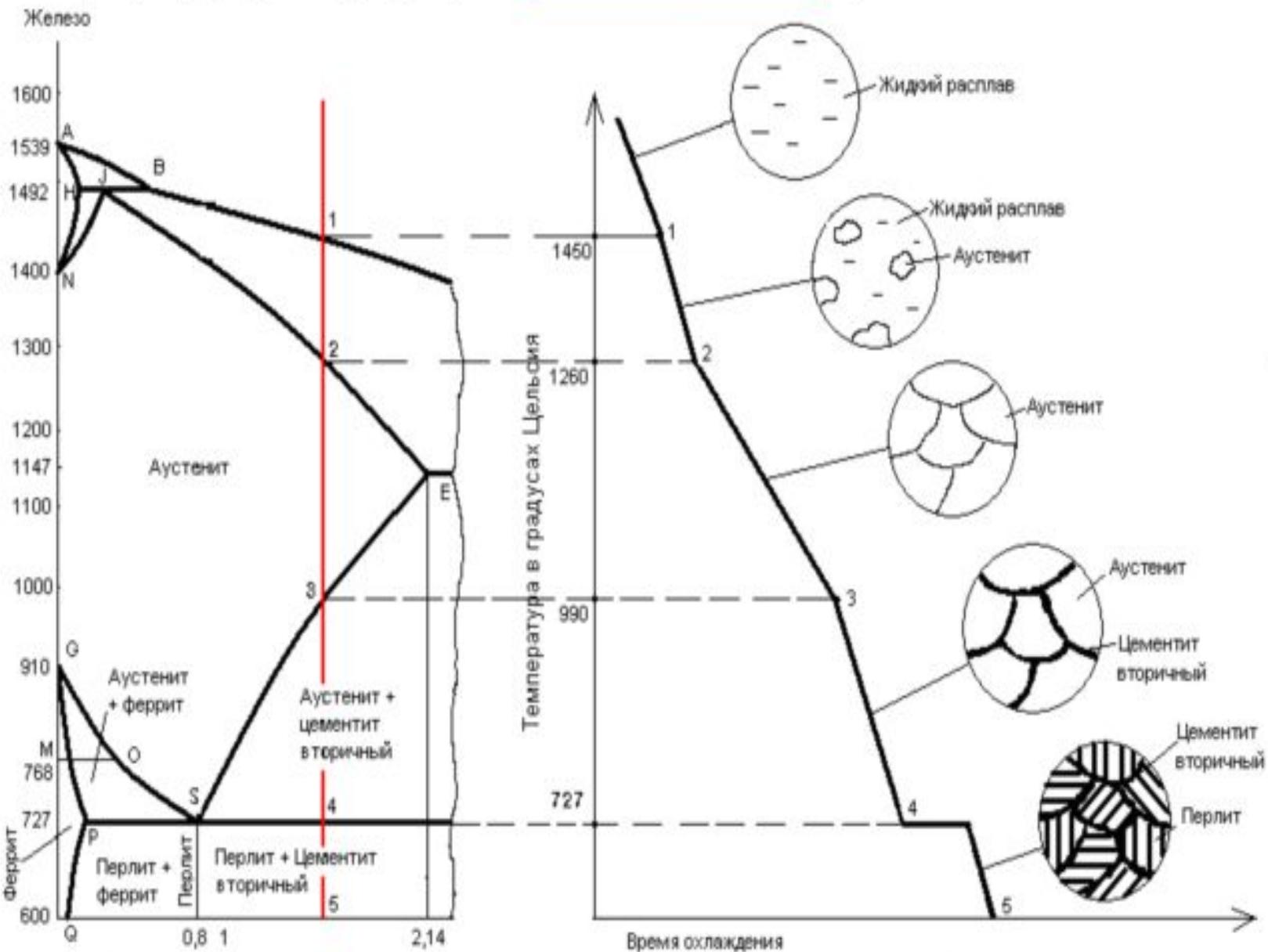
61 Матрица структурных превращений доэвтектоидной стали при медленном охлаждении



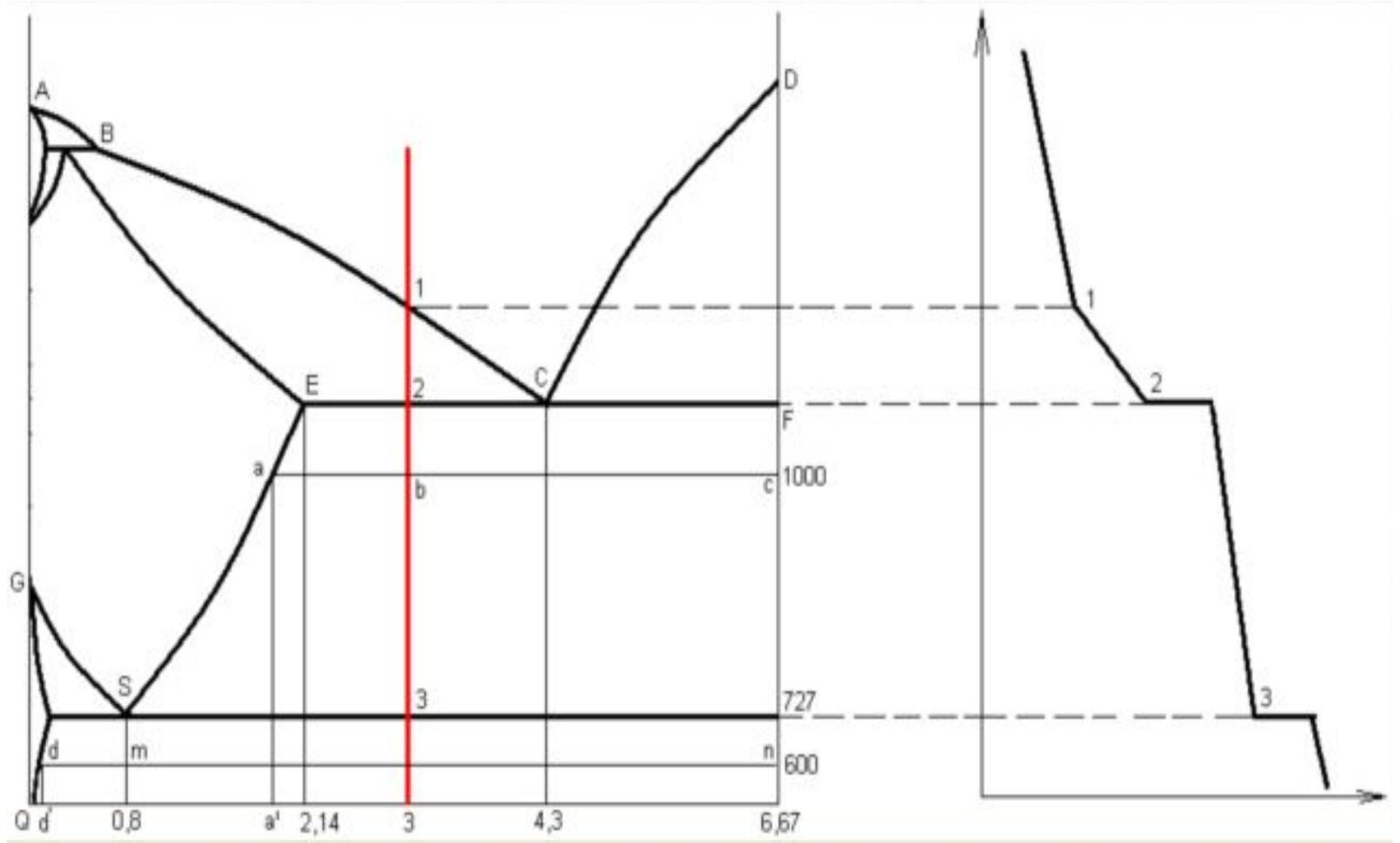
62 Матрица структурных превращений стали У8 при медленном охлаждении



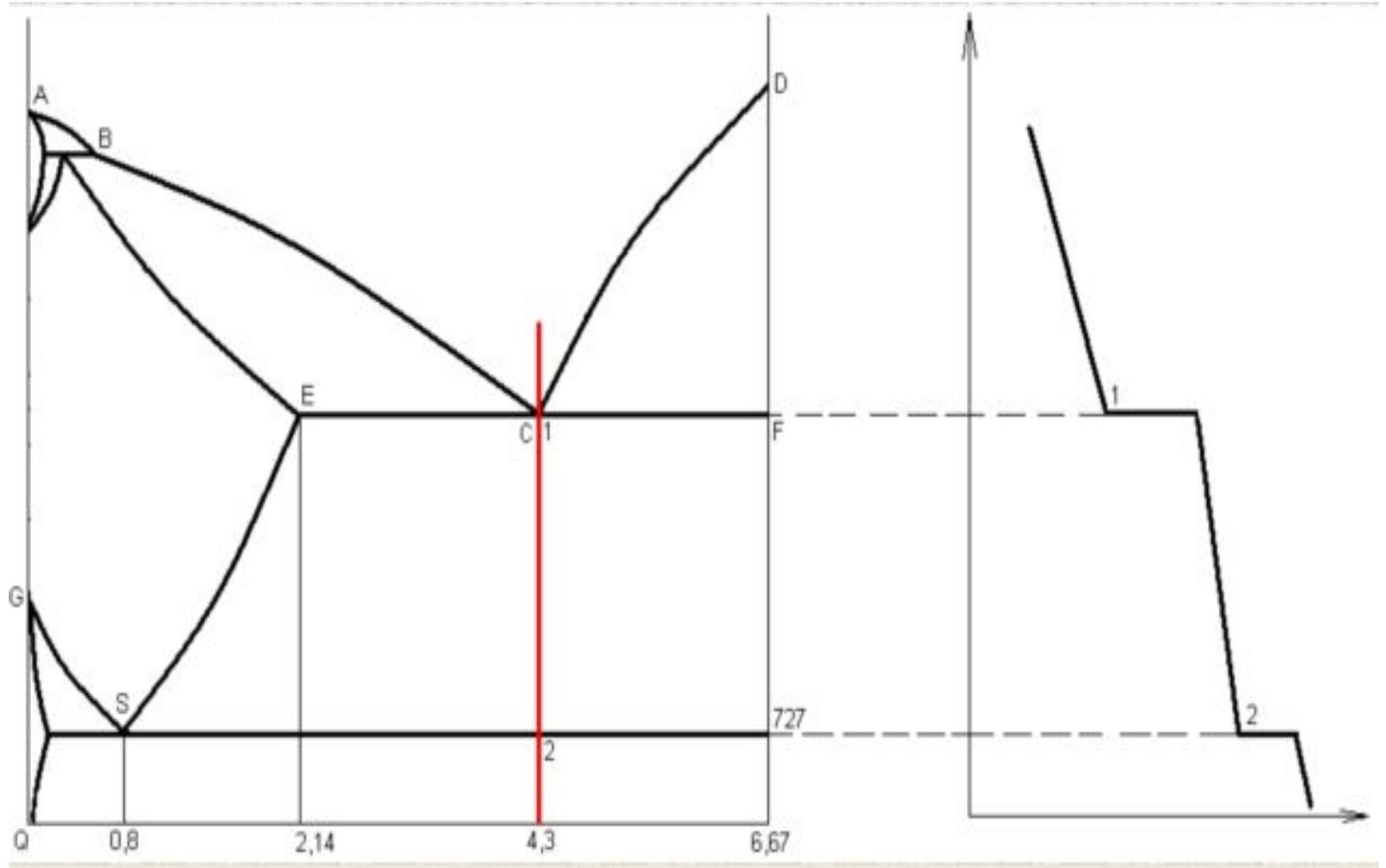
63 Матрица структурных превращений заэвтектоидной стали при медленном охлаждении



Структурные превращения в доэвтектических чугунах



Структурные превращения в эвтектических чугунах



Структурные превращения в заэвтектических чугунах

