

# Диаграмма железо- цементит

- Диаграмма состояния железо-углерод дает представление о строении железоуглеродистых сплавов – сталей и чугунов.
- Железо образует с углеродом хим. соединение – карбид железа  $Fe_3C$ , называемое *цементитом*. Цементит является метастабильной фазой, в условиях равновесия в сплавах с высоким содержанием углерода образуется графит. Поэтому различают две диаграммы состояния – железо-цементит (метастабильное равновесие) и железо-графит (стабильное равновесие).
- Железо. Температура плавления  $1539\text{ }^{\circ}C$ . Может находиться в трех модификациях:

до  $911\text{ }^{\circ}C$  –  $\alpha$  (решетка ОЦК )

$911 - 1392\text{ }^{\circ}C$  –  $\gamma$  (решетка ГЦК)

$1392 - 1539\text{ }^{\circ}C$  –  $\delta$  (решетка ОЦК)

Механические свойства железа характеризуются следующими величинами <sup>3</sup> (I — техническое, II — прямого восстановления, III — сверхчистое):

	I	II	III
Предел прочности при растяжении, МПа . . . .	250	200	50
Предел текучести при растяжении, МПа . . . .	120	100	25
Удлинение, % . . . . .	50	60	70
Сужение, % . . . . .	85	90	~100
Твердость НВ . . . . .	80	70	60

При  $768\text{ }^{\circ}C$  железо испытывает магнитное превращение; выше  $768\text{ }^{\circ}C$  железо становится немагнитным

Железо со многими элементами образует твердые растворы: с металлами – растворы замещения, с углеродом, азотом, водородом – внедрения.

Твердый раствор углерода в  $\alpha$  и  $\delta$  железе называется **ферритом**,

а в  $\gamma$ -железе – **аустенитом**. В феррите содержание углерода очень мало – до 0,02 %, в аустените – до 2 %.

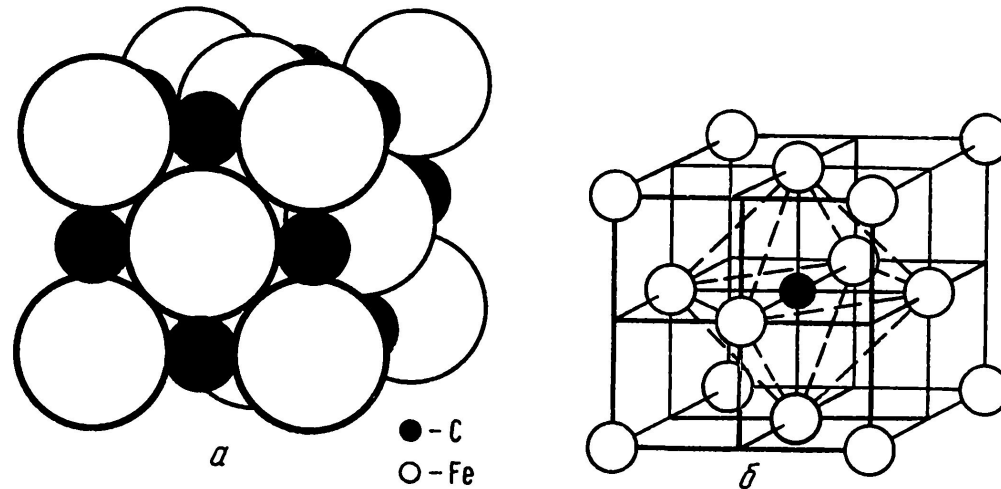


Рис. 131. Твердый раствор внедрения:  
*a* — кристаллическая решетка при полном заполнении всех пор; *b* — кристаллическая решетка аустенита

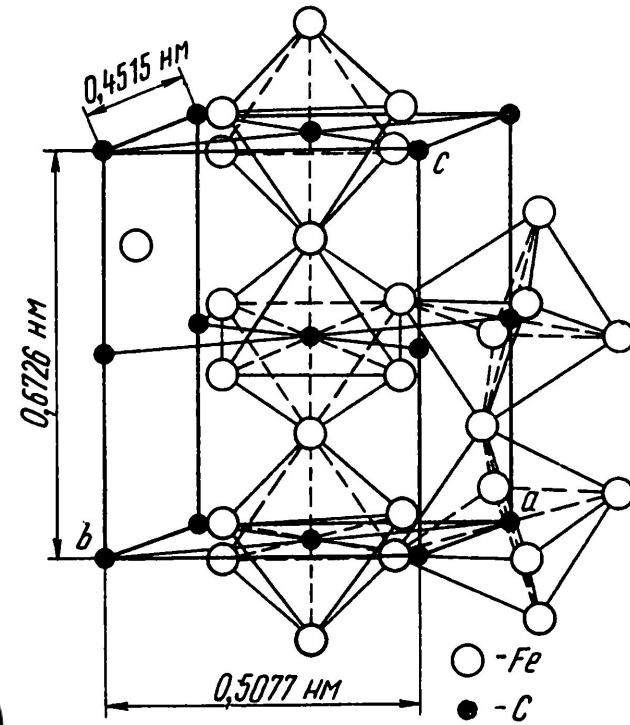
- Цементит – хим. соединение  $\text{Fe}_3\text{C}$ , содержит углерода 6,67 % (по массе).  
Имеет сложную кристаллическую структуру

Температура плавления около  $1250\text{ }^\circ\text{C}$

Аллотропических превращений не испытывает, при низких температурах (до  $217\text{ }^\circ\text{C}$ ) слабо ферромагнитен.

Имеет высокую твердость ( $> 800\text{ НВ}$ , царапает стекло) и очень низкую пластичность.

Способен образовывать твердые растворы замещения (*легированный цементит*): атомы углерода могут замещаться атомами неметаллов (азот, кислород), атомы железа – металлами (Mn, Cr, W и т.д.).



Цементит – метастабильная фаза, в сплавах с высоким содержанием углерода в равновесных условиях распадается с образованием графита (графитизация). Данный процесс важен для высокоуглеродистых сплавов – чугунов. В этом случае вместо диаграммы состояния железо – цементит (метастабильное равновесие) рассматривается диаграмма железо – графит (стабильное равновесие)

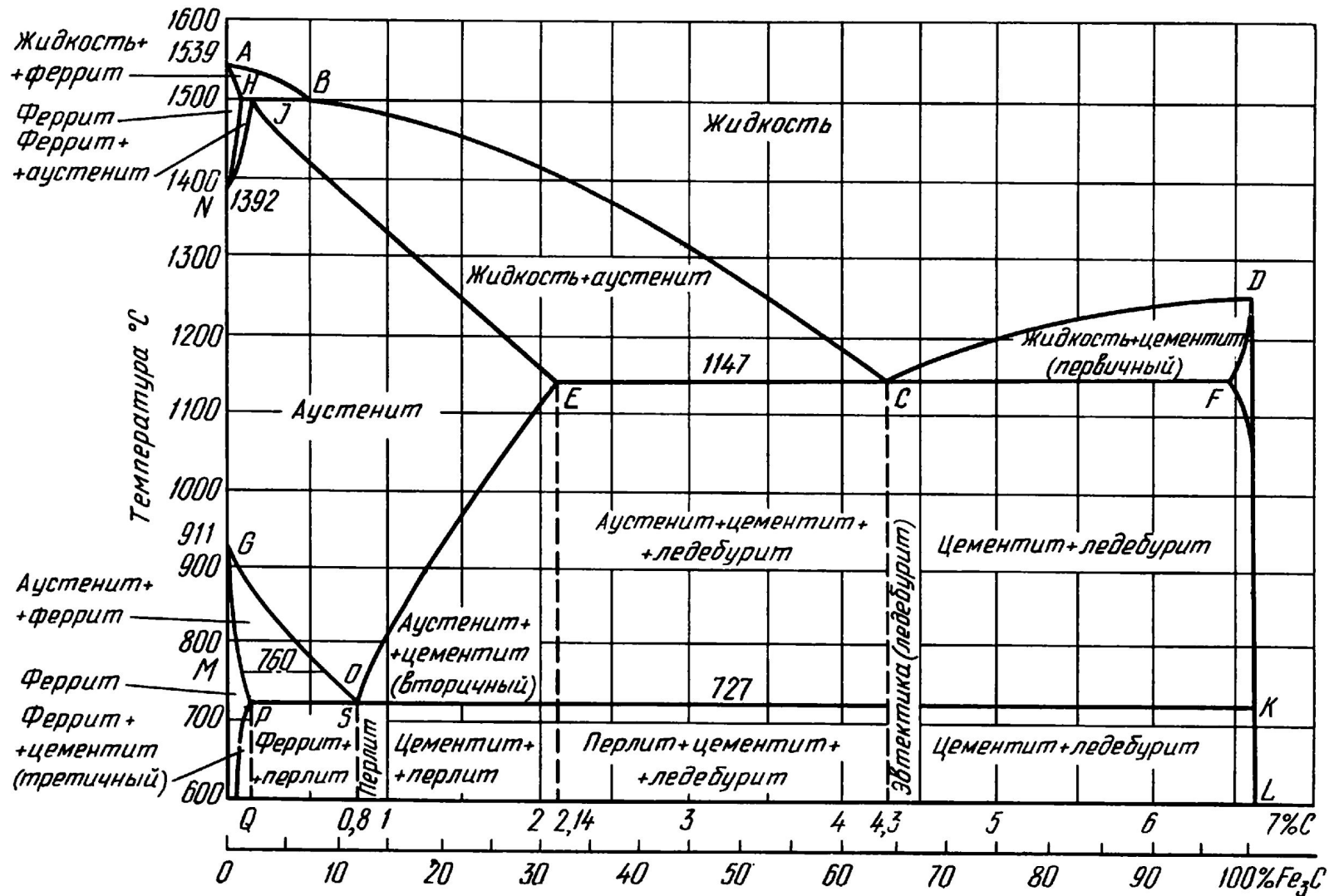


Диаграмма  
Fe-C

- ABCD – линия ликвидус,  
AHJESF – линия солидус  
Равновесные фазы в системе:
- **Жидкость** (жидкий раствор углерода в железе) (обозн. ж или L)
  - **Цементит** Fe<sub>3</sub>C (обозн. Ц)
  - **Феррит** – твердый раствор внедрения углерода в ОЦК решетку α-Fe или δ-Fe (соответственно α-феррит и δ-феррит), обозн. Ф, α или Fe<sub>α</sub>
  - **Аустенит** – твердый раствор внедрения углерода в γ-Fe, обозн. А, γ или Fe<sub>γ</sub>(C)

Три горизонтальные линии на диаграмме (*HJB*, *ECF* и *PSK*) указывают на протекание трех неинвариантных реакций.

При 1499 °С (линия *HJB*) протекает перитектическая реакция:



В результате перитектической реакции образуется аустенит. Реакция эта наблюдается только у сплавов, содержащих углерода от 0,1 до 0,5 %.

При 1147 °С (горизонталь *ECF*) протекает эвтектическая реакция:



В результате этой реакции образуется эвтектическая смесь. Эвтектическая смесь аустенита и цементита называется *ледебуритом*<sup>1</sup>. Реакция эта происходит у всех сплавов системы, содержащих углерода более 2,14 %.

При 727 °С (горизонталь *PSK*) протекает эвтектоидная реакция:



Продуктом превращения является эвтектоидная смесь. Эвтектоидная смесь феррита и цементита называется *перлитом*, имеет вид перламутра, почему эта структура и получила такое название.

У всех сплавов, содержащих свыше 0,02 % углерода, т. е. практически у всех промышленных железоуглеродистых сплавов, происходит перлитное (эвтектоидное) превращение.

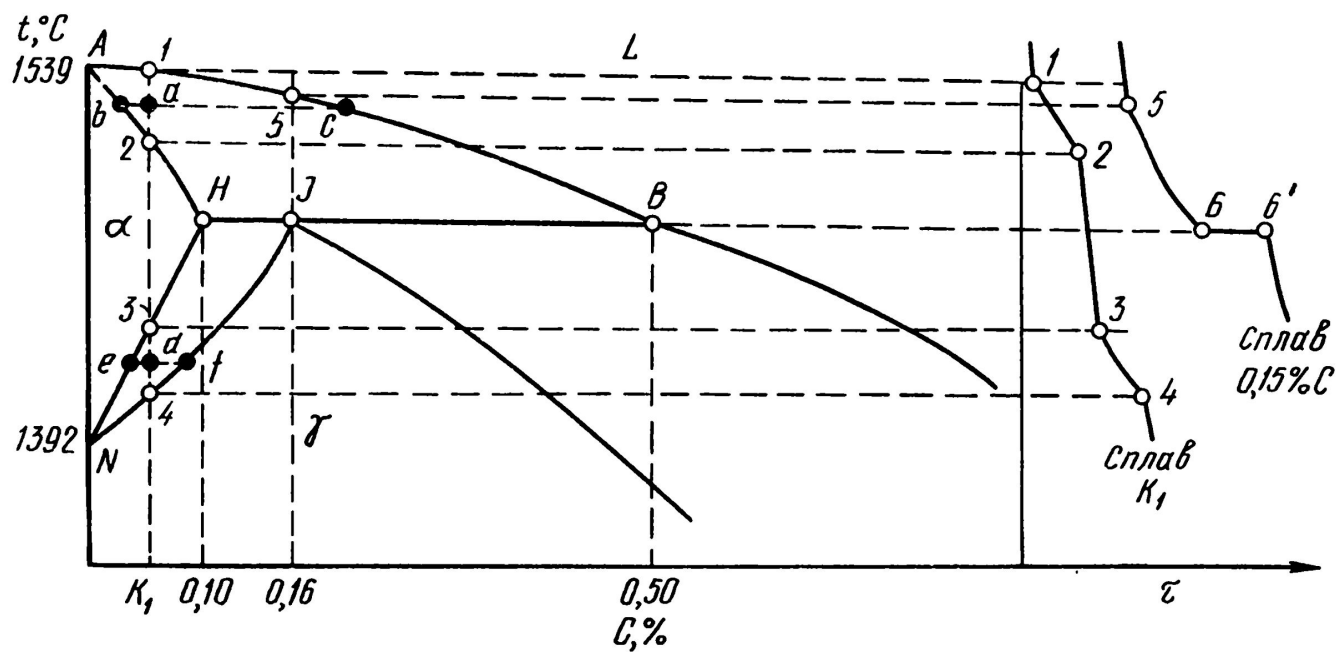


Рис. 136. Часть диаграммы состояния Fe—C. Первичная кристаллизация низкоуглеродистых сплавов

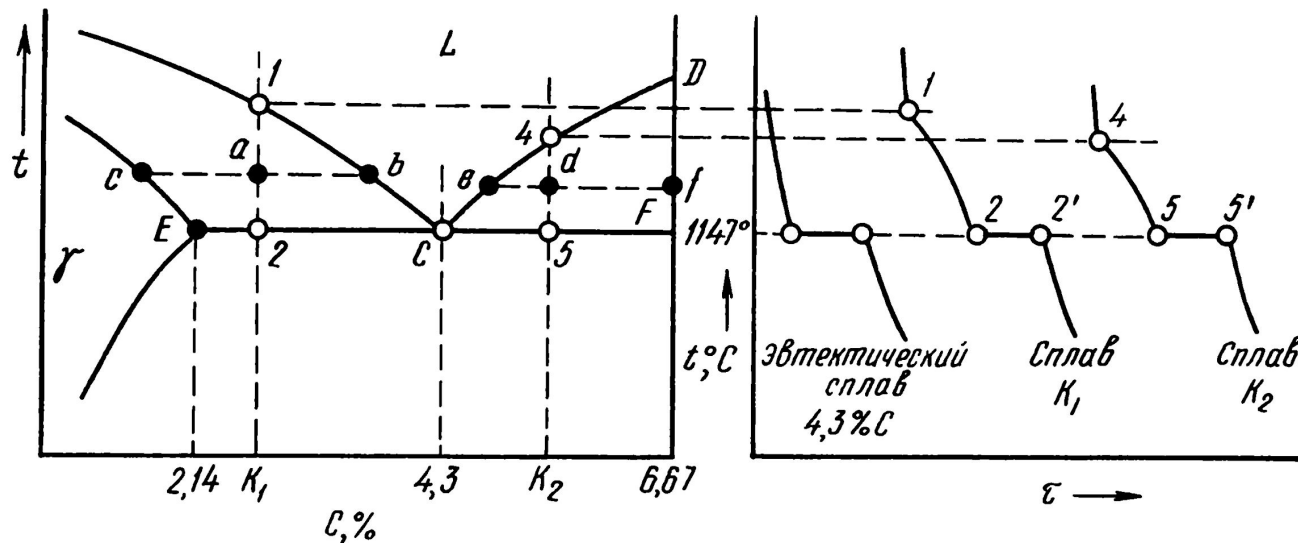


Рис. 137. Часть диаграммы состояния Fe—C. Первичная кристаллизация высокоуглеродистых сплавов

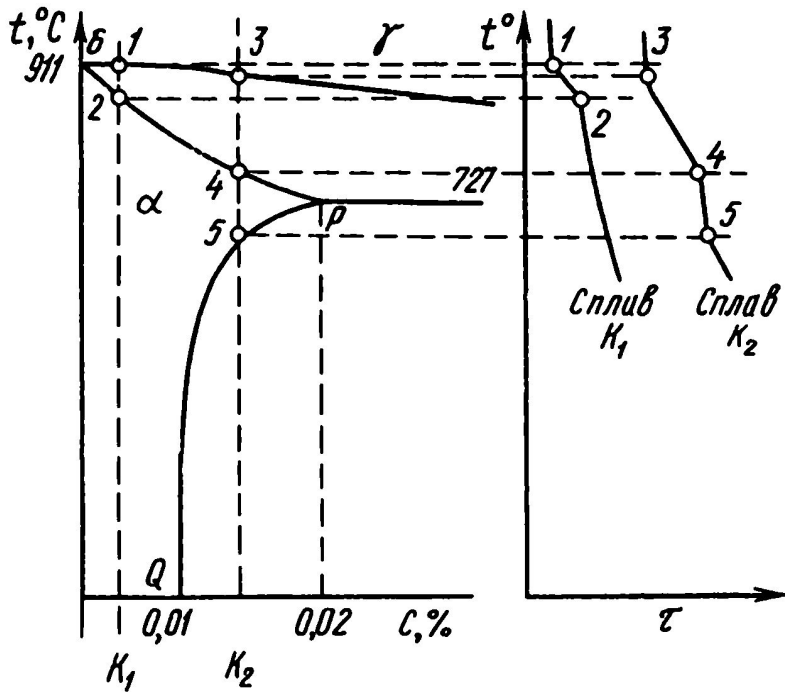
**Домашнее задание – подписать на кривых охлаждения протекающие превращения на каждом участке**  
 (см. Гуляев А.П. *Металловедение*)



У всех сплавов, содержащих менее 2,14 % С, в результате первичной кристаллизации получается структура аустенита; у всех сплавов, содержащих более 2,14 % С, структура состоит из ледебурита с избыточным аустенитом или цементитом.

Это различие в структуре при высокой температуре и создает существенное различие в технологических и механических свойствах сплавов. Наличие эвтектики делает сплав нековким. Вместе с тем высокоуглеродистый сплав имеет низкую температуру плавления и его применяют как литейный материал.

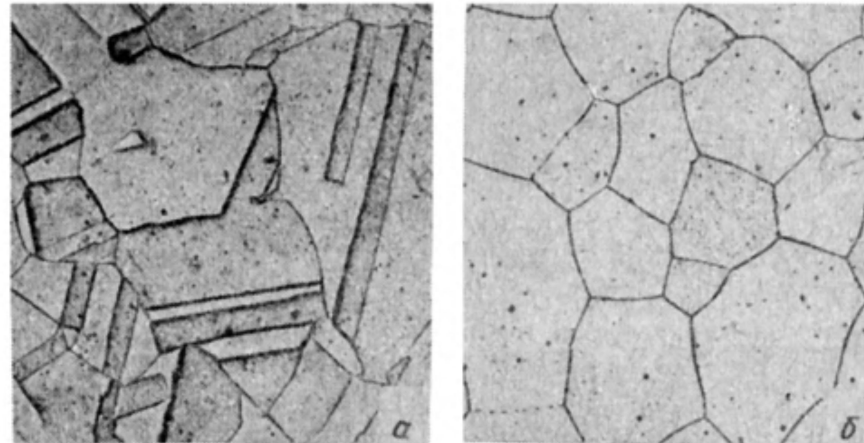
Железоуглеродистые сплавы, содержащие менее 2,14 % С, называют сталями, а более 2,14 % С — чугунами <sup>1</sup>.



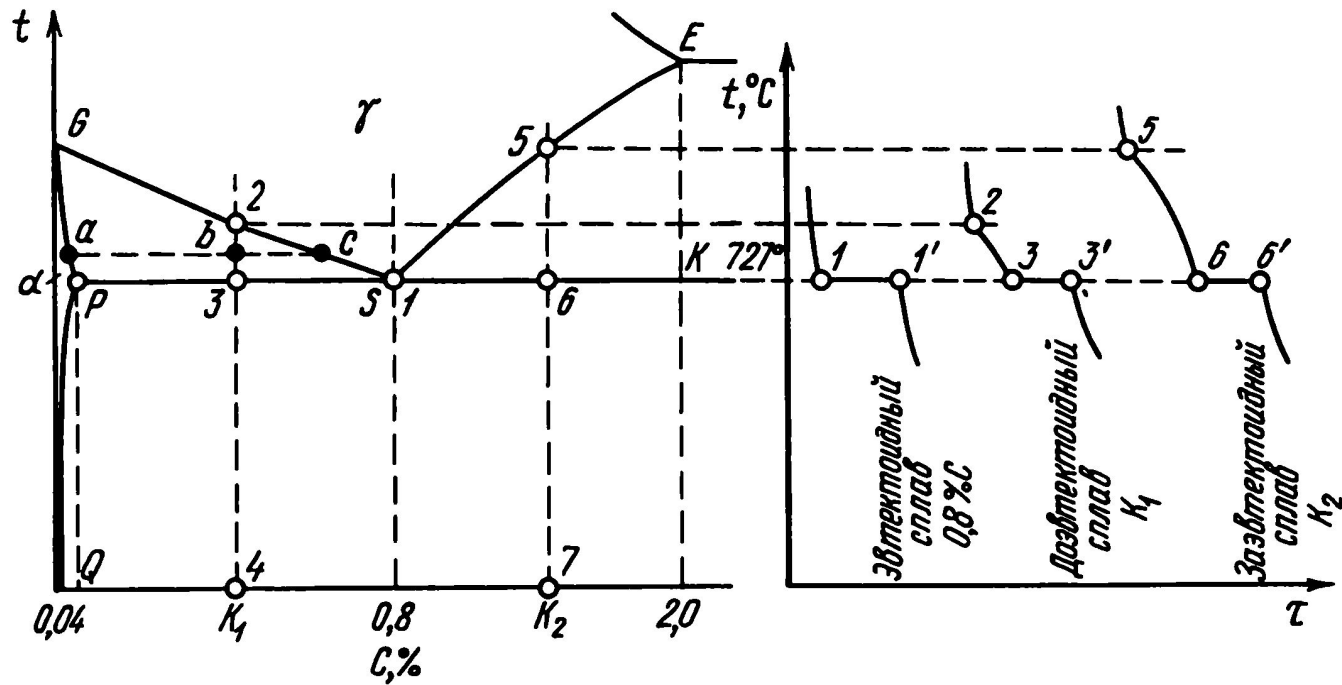
**Домашнее задание –  
подписать на кривых  
охлаждения протекающие  
превращения на каждом  
участке**

(см. Гуляев А.П.  
Металловедение)

**Рис. 138. Часть диаграммы состояния  
Fe—C. Вторичная кристаллизация низко-  
углеродистых сплавов**



**Рис. 139. Микроструктура железа,  $\times 400$ :  
а — аустенит; б — феррит**



Домашнее задание –  
подписать на кривых  
охлаждения протекающие  
превращения на каждом  
участке

(см. Гуляев А.П.  
Металловедение)

Рис. 140. Часть диаграммы состояния Fe—C. Вторичная кристаллизация сталей

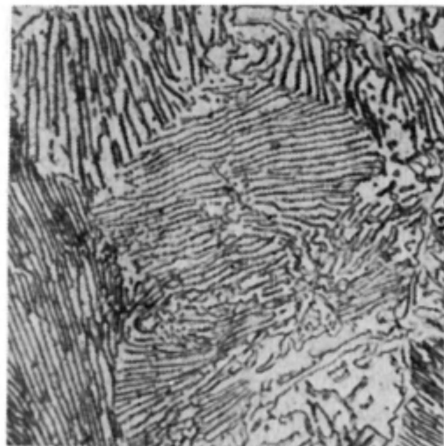


Рис. 141. Структура перлита,  $\times 1000$

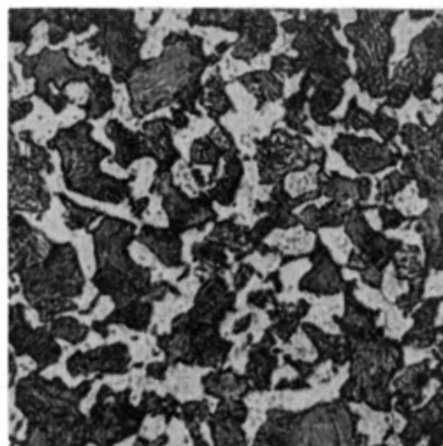


Рис. 142. Структура доэвтектоидной стали (0,4 % C). Феррит + перлит,  $\times 250$

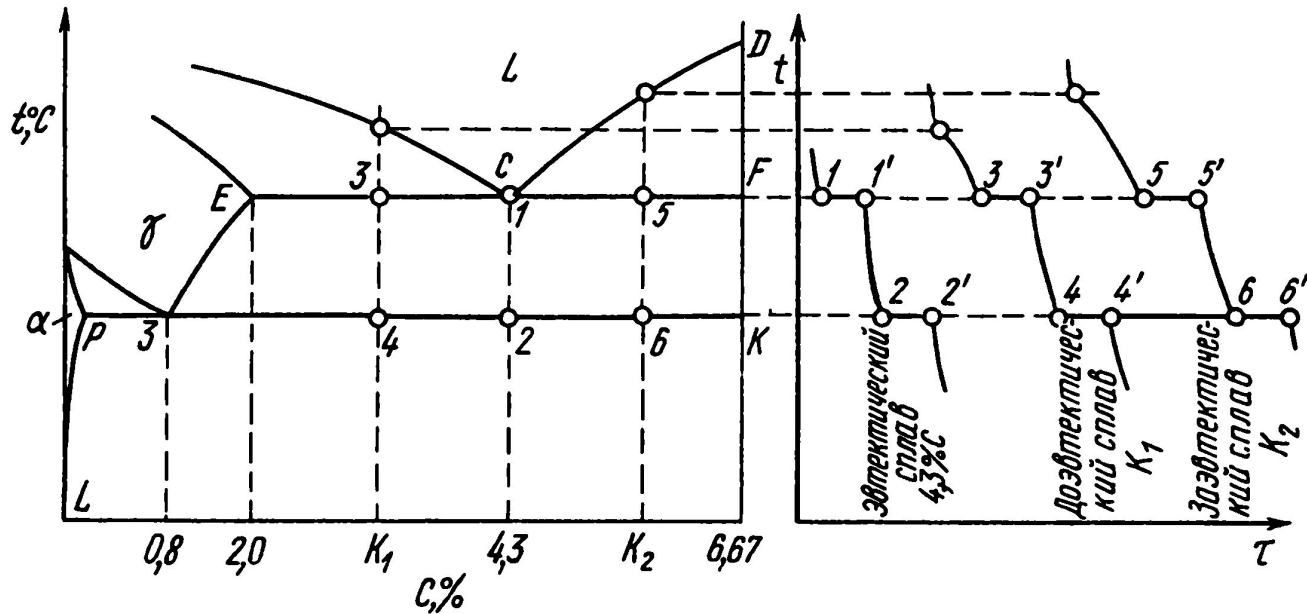


Рис. 145. Диаграмма состояния Fe—C. Вторичные превращения в высокоуглеродистых сплавах (чугунах)

Домашнее задание – подписать на кривых охлаждения протекающие превращения на каждом участке

(см. Гуляев А.П. *Металловедение*)

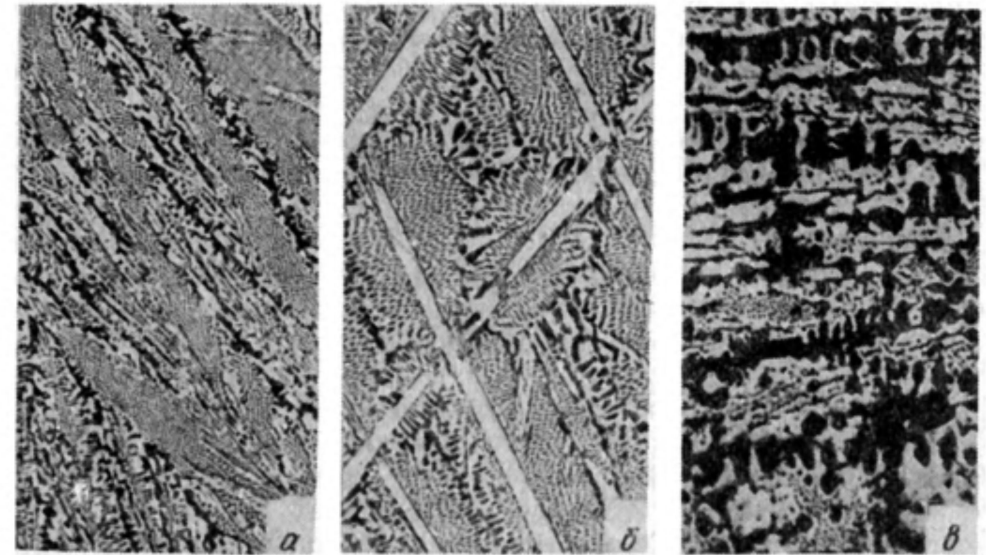


Рис. 146. Микроструктура чугуна: а – эвтектического (ледебурит); б – заэвтектического (ледебурит + первичный цементит); в – доэвтектического (ледебурит + перлит),  $\times 200$