

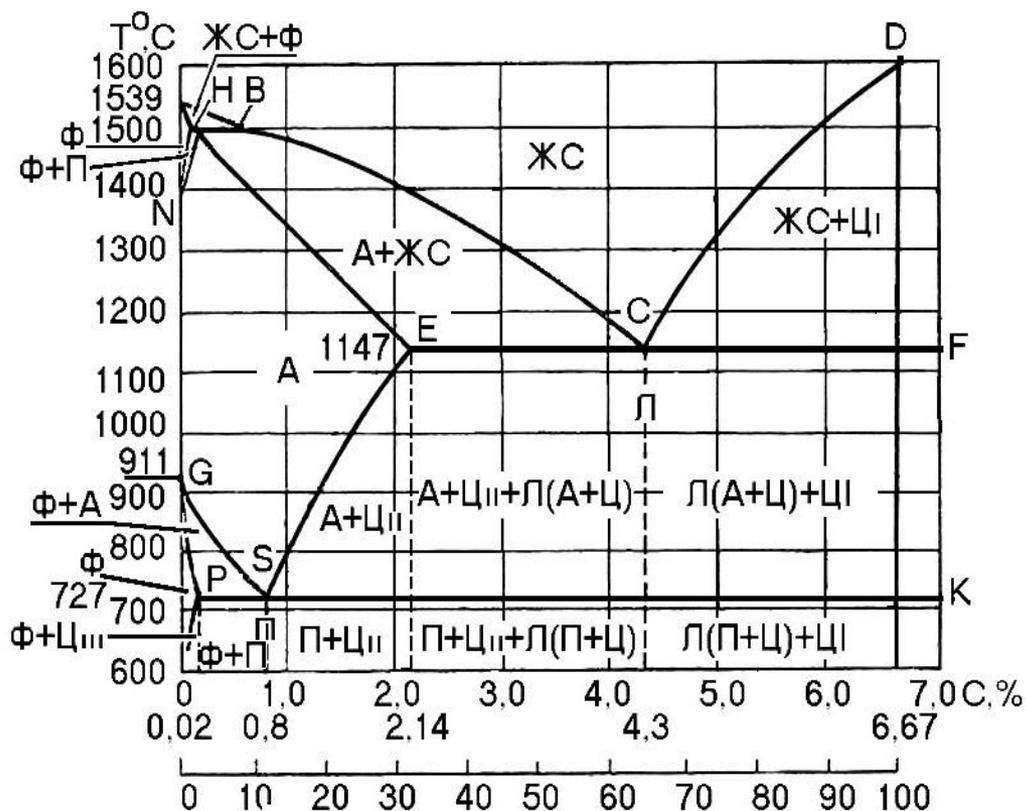
# **Лекция 4**

## **Железоуглеродистые сплавы**

### **План лекции**

- 4.1. Диаграмма состояния железо-углерод.**
- 4.2. Железоуглеродистые сплавы и их классификация.**
- 4.3. Основные понятия и определения.**
- 4.4. Обозначение (маркировка) сталей и чугунов.**
- 4.5. Влияние легирующих элементов на свойства стали.**

## 4.1. Диаграмма состояний железо-углерод



- Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение фазового состояния сплавов в зависимости от температуры и концентрации в условиях равновесия.

## 4.1. Основные компоненты диаграммы состояний железо-углерод

**Железоуглеродистые сплавы – стали (2,14% С) и чугуны (2,14-6,67%С) .**

**Основные компоненты – железо, углерод и соединения железа с углеродом.**

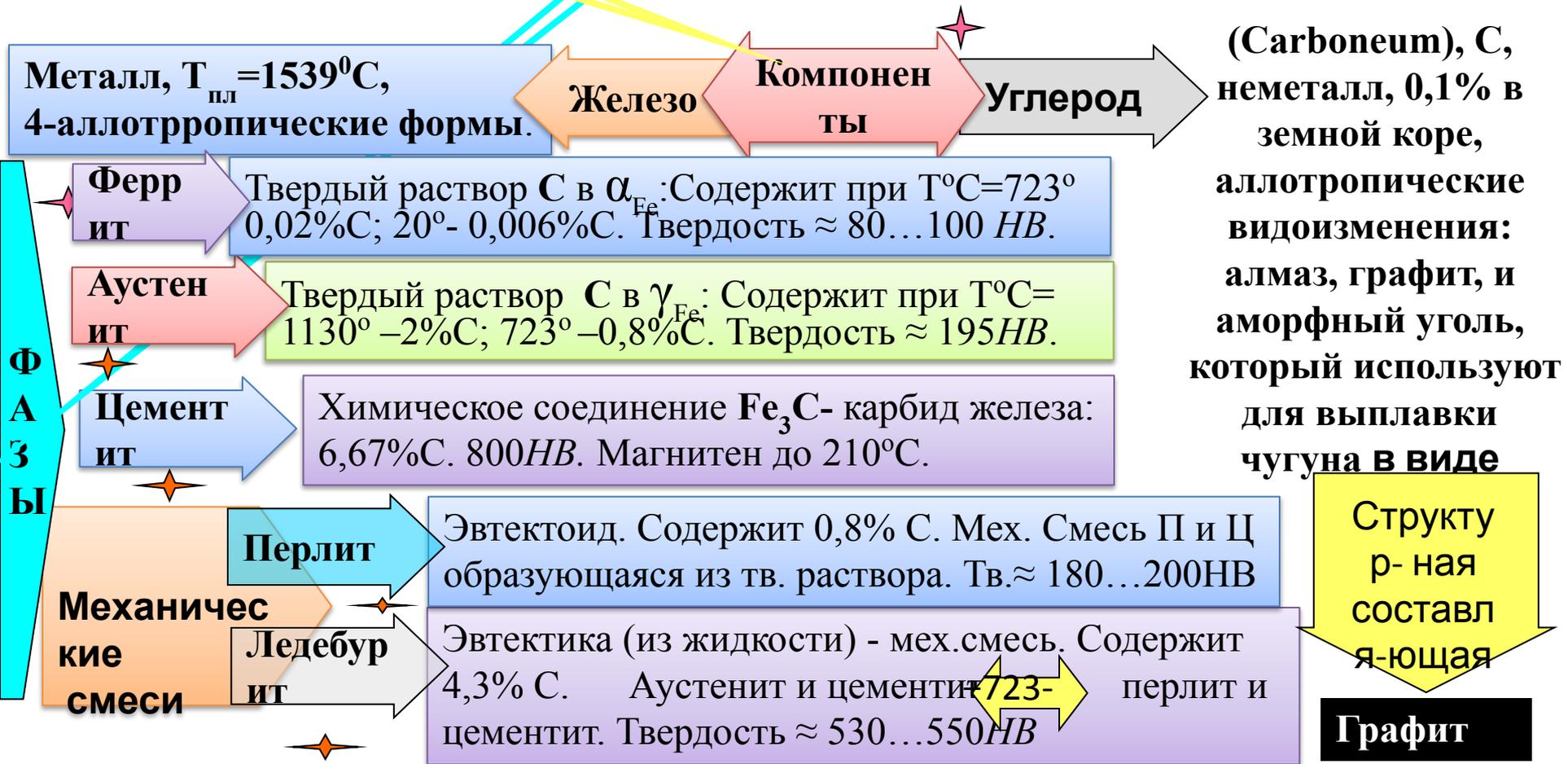
**Железо** – это серебристый металл, плотность  $7,86 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $1539^\circ\text{C}$ . Технически чистое железо содержит 99,85% железа и 0,15-0,2% примесей (армако-железо, производится для электротехнических целей). Прочность чистого железа составляет  $25 \text{ кг/мм}^2$ , пластичность порядка 50%.

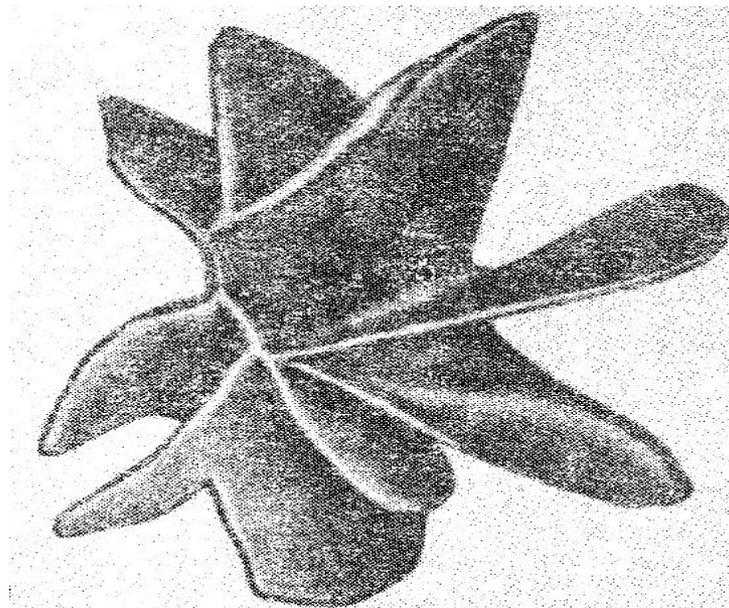
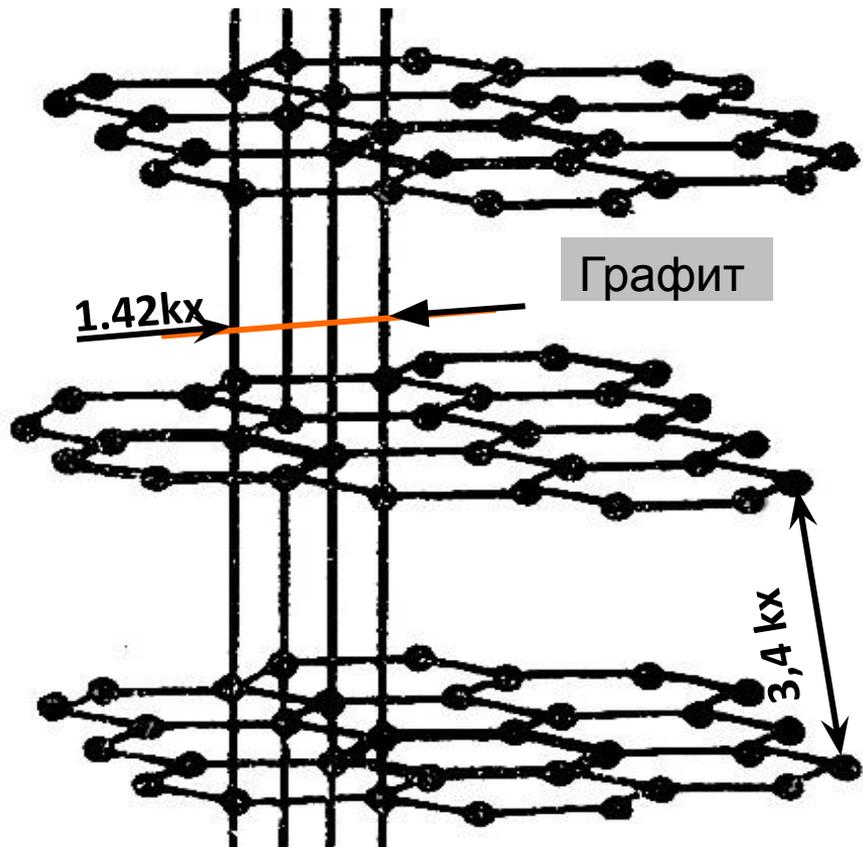
**Углерод-** неметалл (элемент II периода четвертой группы), атомный номер 6, плотность порядка  $2,5 \text{ г/см}^3$ , атомная масса 12,011, температура плавления  $3500^\circ\text{C}$ . Углерод полиморфен, растворим в железе в жидком и твердом состоянии, а также с железом образует химическое соединение  $\text{Fe}_3\text{C}$ , цементит (карбид железа); в высокоуглеродистых сплавах может быть в виде графита.

**Цементит** – температура плавления  $1300-1600^\circ\text{C}$  (в зависимости от присутствия примесей тугоплавких металлов: хром, молибден.)

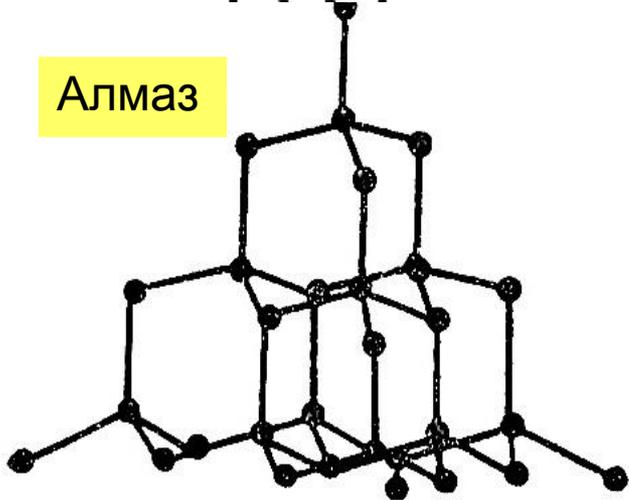
# 4.1. Диаграмма состояний “железо-углерод”.

## 4.1.1. Система **Компоненты**, **фазы** и структурные составляющие Ж-У сплавов.





Алмаз



Углерод



## 4.1. Диаграмма состояния железо-углерод

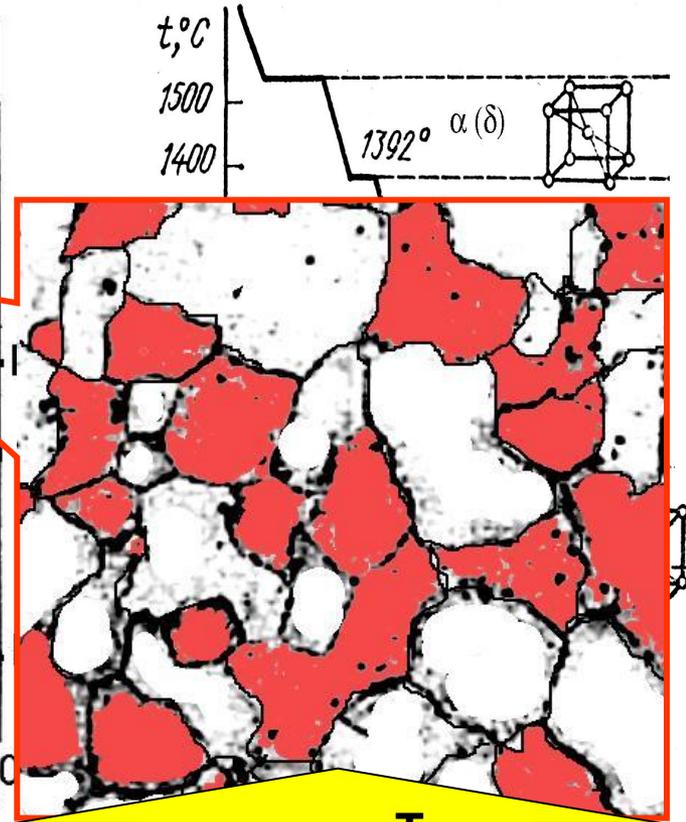
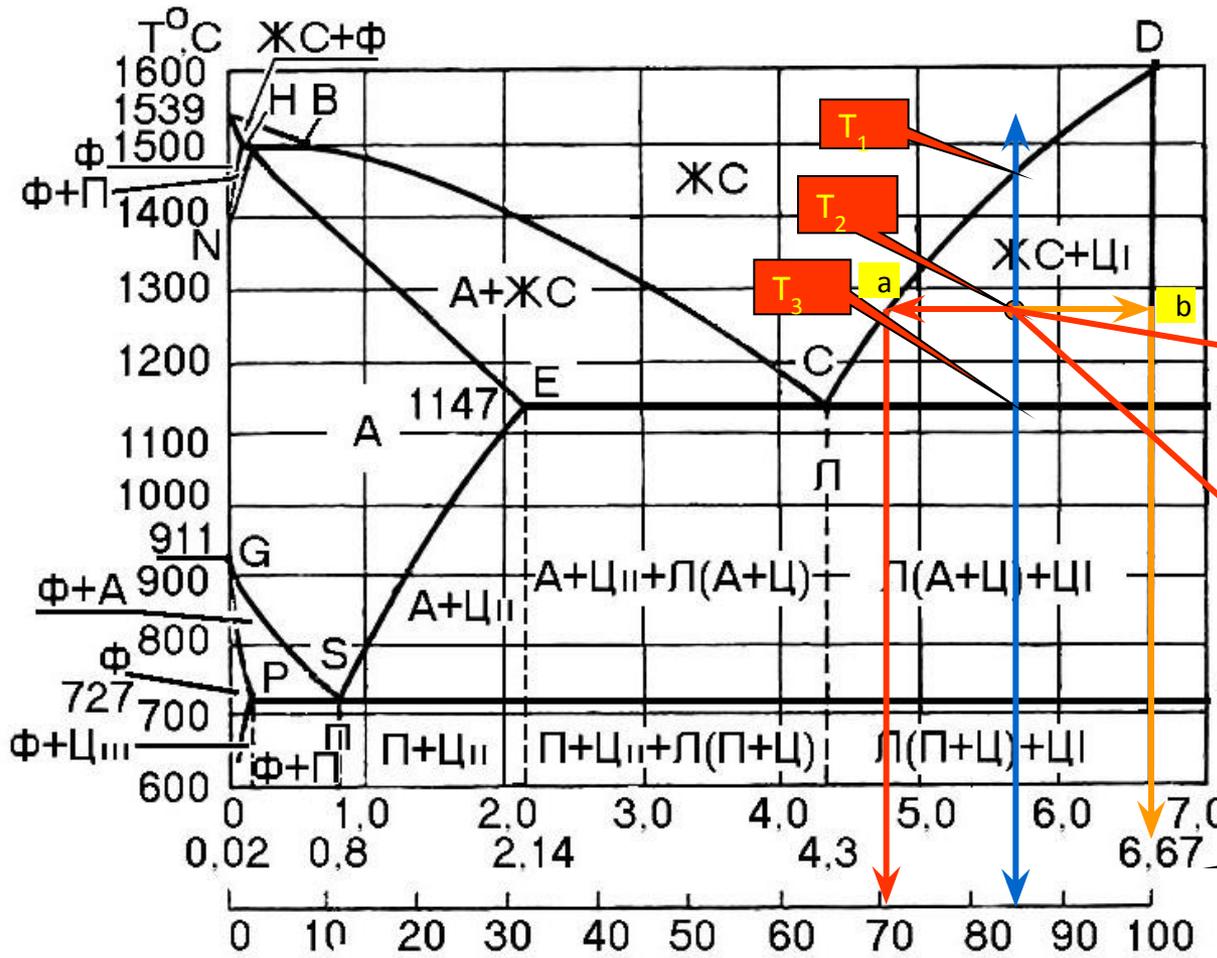
**Знание диаграммы железо-углерод** необходимо для понимания сущности всех превращений, происходящих в ЖУС при нагреве и охлаждении

1. Превращение из жидкого состояния в твердое (первичная кристаллизация) происходит по линии АСД – линии ликвидуса.
2. Линия АЕСF – линия солидуса.

Форма линий показывает, что эта диаграмма представлена сочетанием диаграмм типа II (от т. А до т.Е) и типа I (от т. Е до т. F).

3. По линии АС из жидкого расплава начинают выпадать кристаллы твердого раствора углерода в  $\gamma$ -Fe, называемого аустенитом (по имени У Робертса-Аустена – английского металлурга)
4. По линии СД из жидкого расплава выпадают кристаллы цементит а
5. В точке С при содержании 4,3% С и температуре 1130°C происходит одновременно кристаллизация аустенита и цементита, образуется их механическая смесь – эвтектика - ледебурит (А.Ледебур –немецкий металлург)

# 4.1. Диаграмма состояний “ЖЕЛЕЗО - УГЛЕРОД”



$$\frac{Q_{ЖС}}{Q_{тс}} = \frac{T_2}{T_2 a}$$

А
Ф
Ф
П
П
Г
Л

0 —————> Время, Т

## 4.1. Диаграмма состояния железо-углерод

**Превращения в твердом состоянии (вторичная кристаллизация) –** происходит при температуре выше  $723^{\circ}\text{C}$ .

Линии **GSE**, **PSK** и **GPQ** показывают, что в сплавах системы в твердом состоянии происходят изменения структуры – вследствие **перехода железа из одной модификации** в другую и в связи с **изменением растворимости углерода в железе**.

При охлаждении сплавов аустенит распадается с выделением по линии GS феррита – твердого раствора углерода в  $\alpha\text{-Fe}$ , а по линии SE – вторичного цементита.

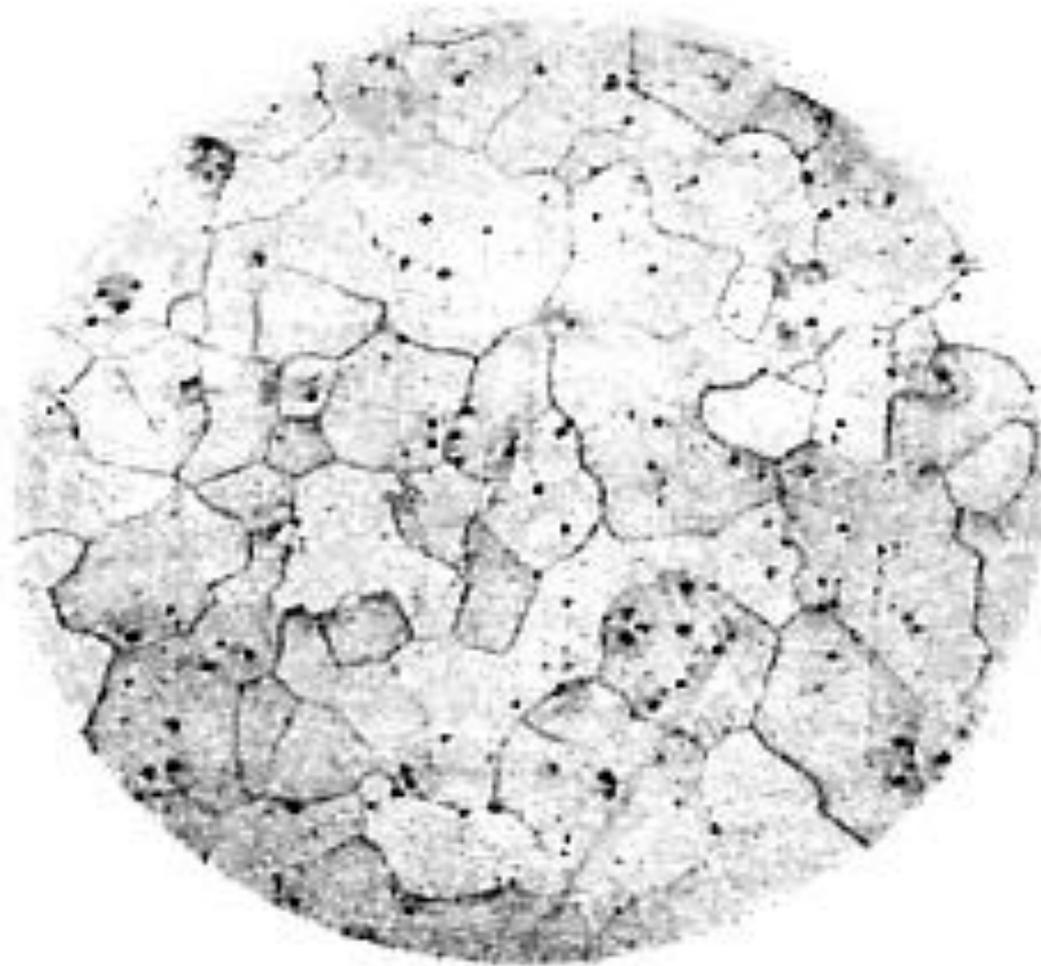
В точке S при содержании  $0,8\%\text{C}$  и при  $723^{\circ}\text{C}$  весь аустенит распадается и одновременно кристаллизуется механическая смесь феррита и цементита – эвтектоид (перлит).

**Железоуглеродистые сплавы – стали ( $2,14\%\text{C}$ ) и чугуны ( $2,14\text{-}6,67\%\text{C}$ ).**

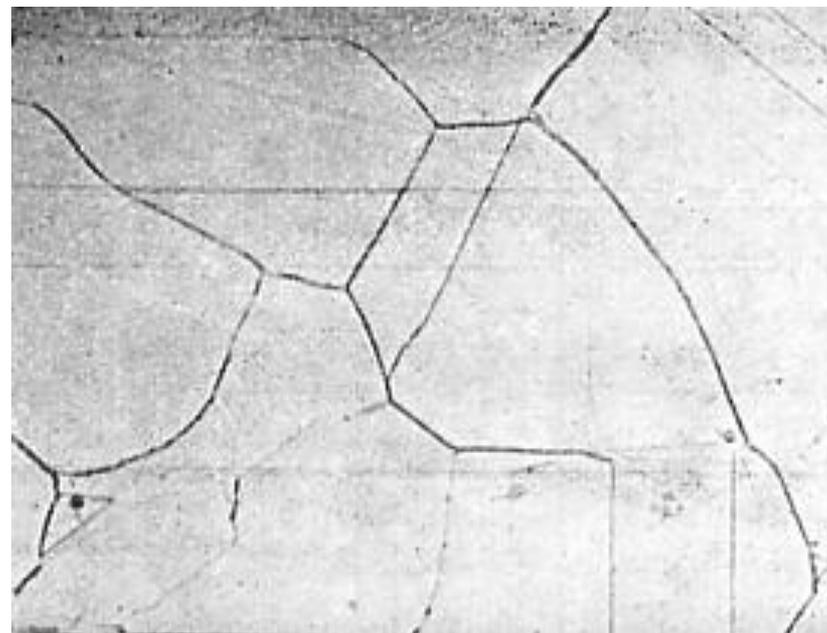
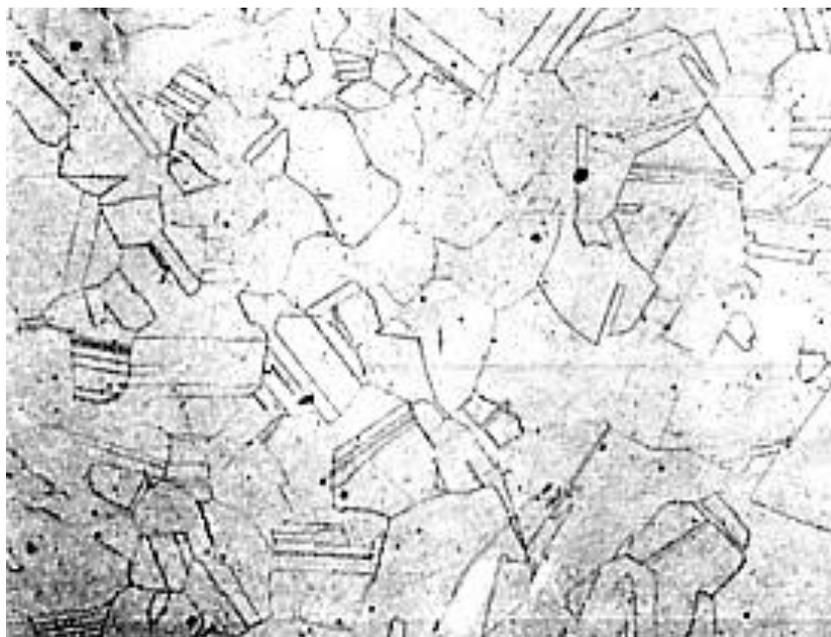
Сталь, содержащая  $0,8\%\text{C}$ , называется эвтектоидной, менее  $0,8\%$  - доэвтектоидной, от  $0,8$  до  $2,14\%\text{C}$  - заэвтектоидной

## 4.1.1. Фотографии фазовых и структурных составляющих ЖУС

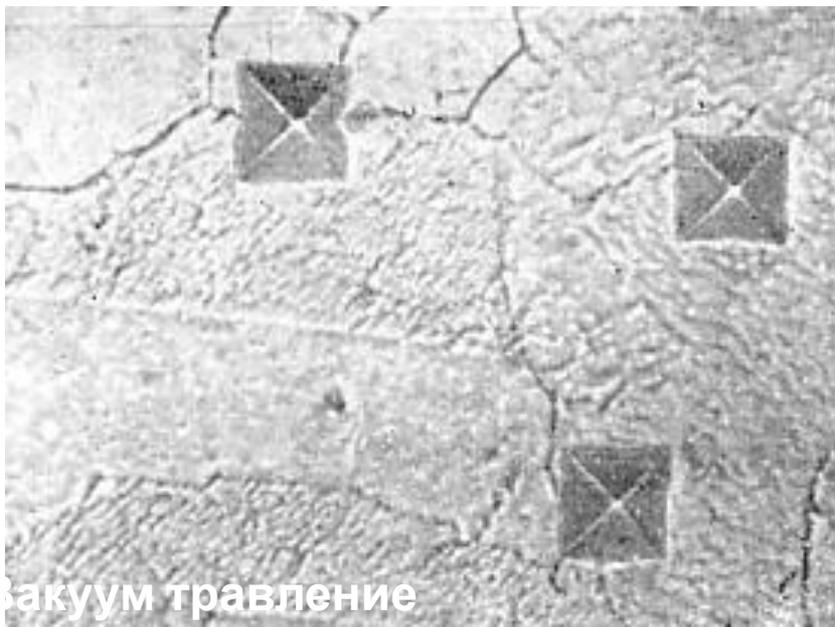
Феррит



# Аустенит (x100;x500/ ВТх100; КТх500)



Д



Вакуум травление



При комнатной температуре



Л(П+Ц)

Ц<sub>I</sub>



Цементит



Ц<sub>II</sub>

П(Ф+Ц)

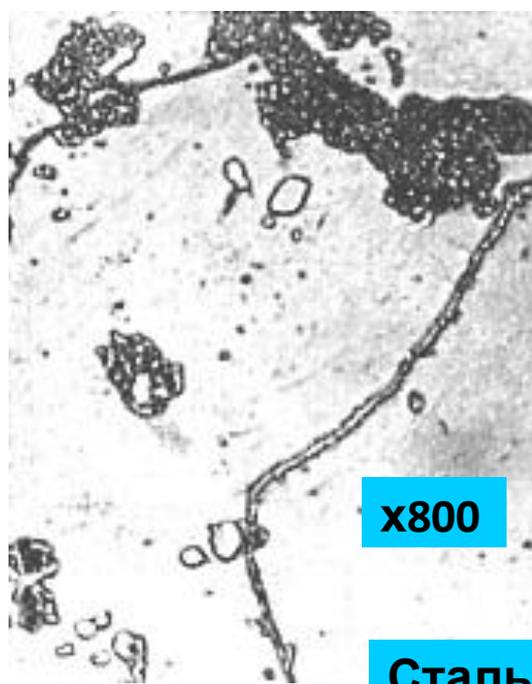


Д

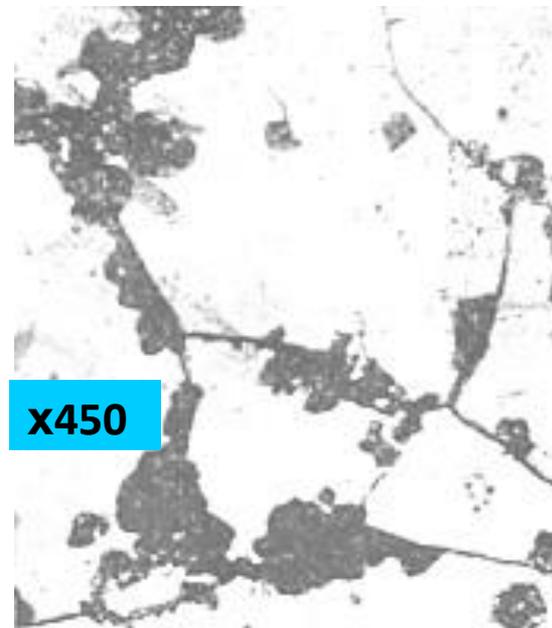
Ч

# Перлит

П(Ф+Ц)



x800



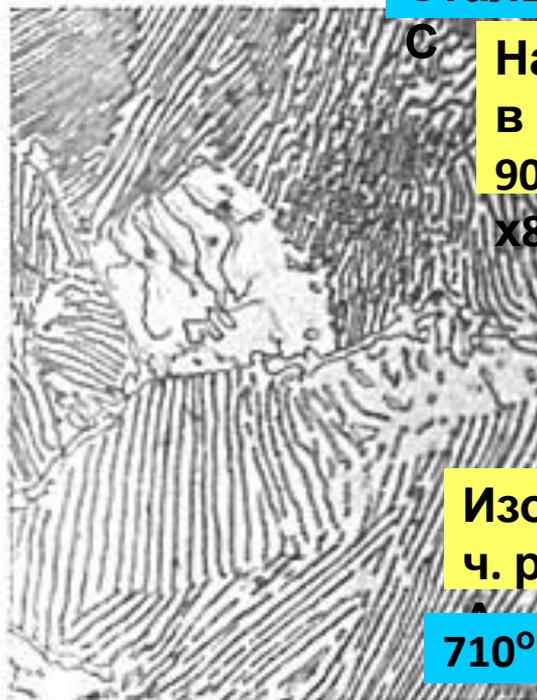
x450

Сталь с 1,2% С

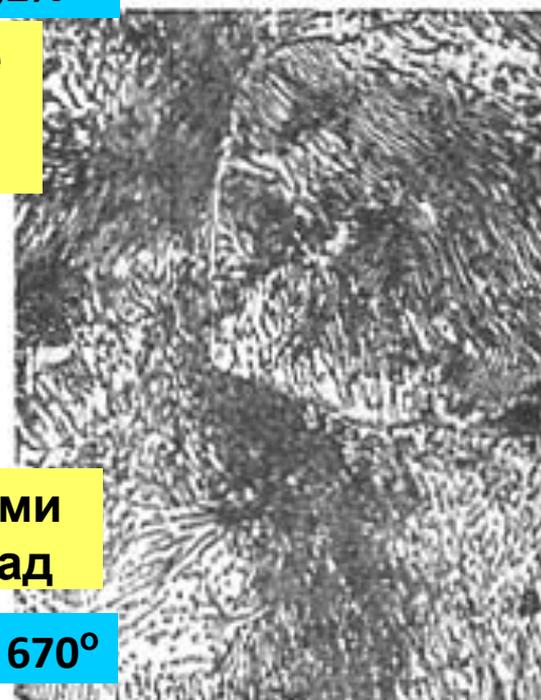
Нагре

в  
900°C

x800



710°



670°

Перлит  
зернистый



Д

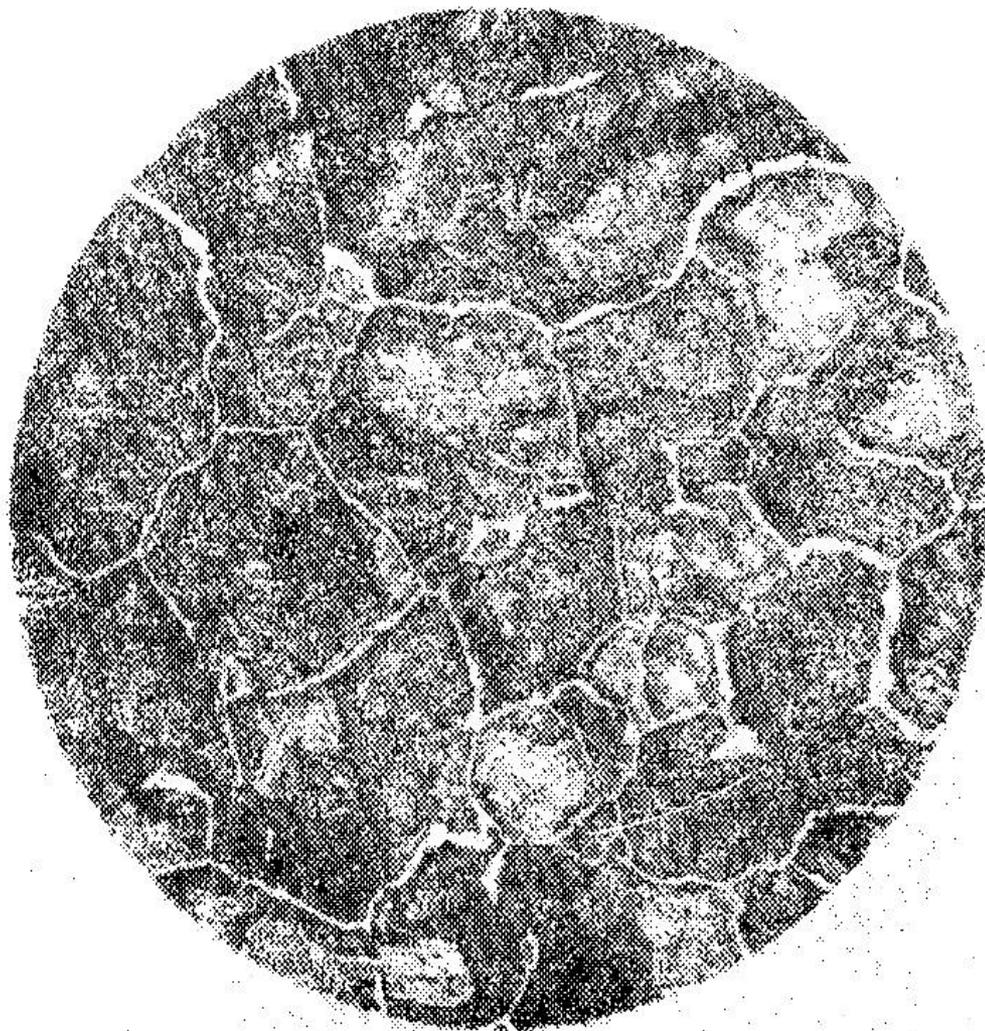
**4.1.2.  
Количественный  
анализ  
доэвтектоидных  
сталей по их  
микроструктуре.**

**Если на микроструктуре образца  
участки перлита занимают  
примерно 40% всей площади, то  
содержание углерода в стали может  
быть определено из пропорции :**

**100% перлита – 0,8%С,**

**40% перлит – x %С,**

**откуда %С x =  $40 \cdot 0,8 / 100 = 0,32\%С$**



## 4.2 Железоуглеродистые сплавы и их классификация.



## 4.2.1.Обозначение чугунов

### Чугун ≈ 100 марок

Классы

БЕЛЫЕ

Серые

Основные типы

По назначению

**Серый чугун (СЧ).** (СЧ 25 Число предел прочности при растяжении (ППР)

кгс/мм<sup>2</sup>.)  
**Чугун с вермикулярным (червеобразным) графитом**

**(ЧВГ) Ковкий чугун (КЧ).** (КЧ 30-6 Числа: Первое – ППР= $\sigma_v$ , второе –отн. удл.= $\delta\%$ ;) Получают из белого чугуна отжигом (900...950<sup>0</sup>С прод. 60...80

Час.)  
**Высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ).** (ВЧ 60-2 Как ковк. Ч.); Модификация Mg и Si.

**Антифрикционные (АЧС, с пластинчатым Гр.; АЧК, с компактным Гр.; АЧВ, с высокопрочным Гр.; АЧС-5; АЧК-2; АЧВ-1)**

Укрупненные группы

СЧ - машиностроительные

ВЧШГ – повышенная прочность и вязкость

С поверхностной твердостью –отбеленный чугун или с поверхностной закапкой.

Со специальными свойствами – легированные чугуны

По химическому составу

Нелегированные

Легированные



Л(П+Ц)



Ледебурит



Ч



Д

\*10

\*500

\*100

Д

Чугун

Хлопьевид

Графи

Пласт.Т

Шаровид

Перли

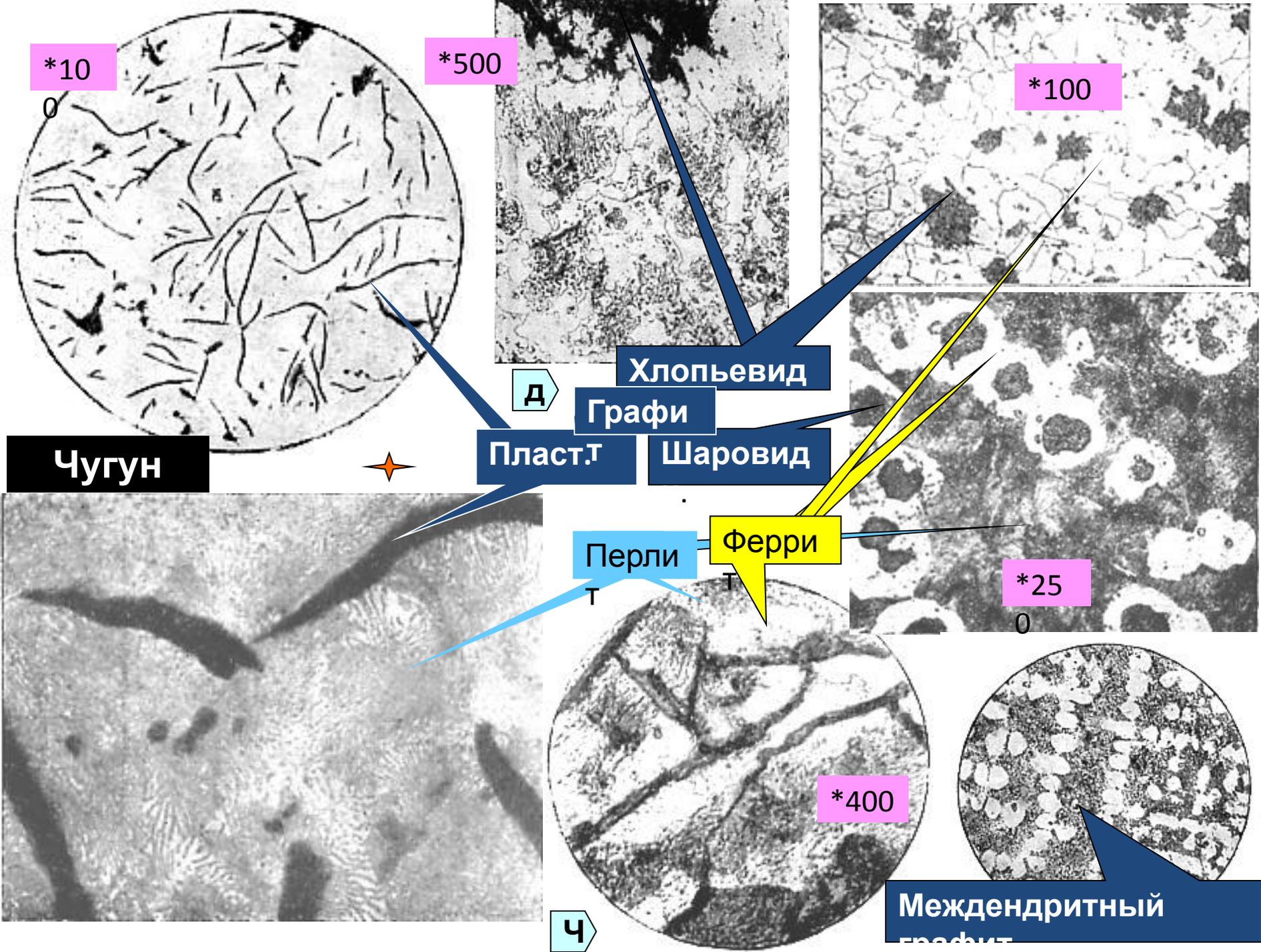
Ферри

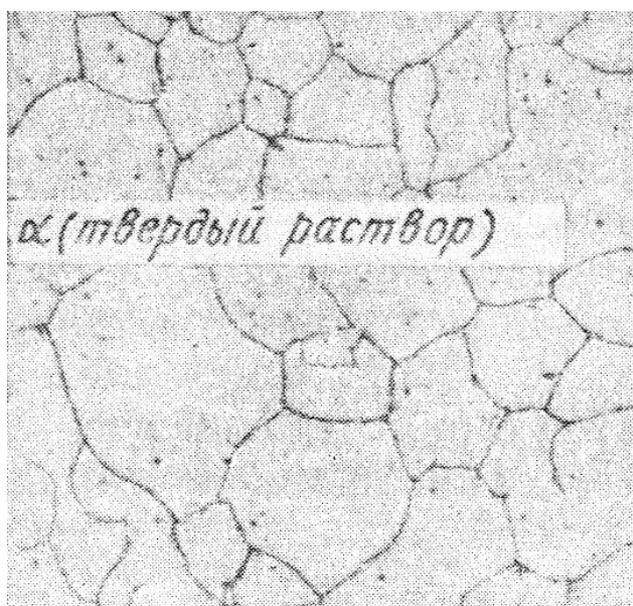
\*25

\*400

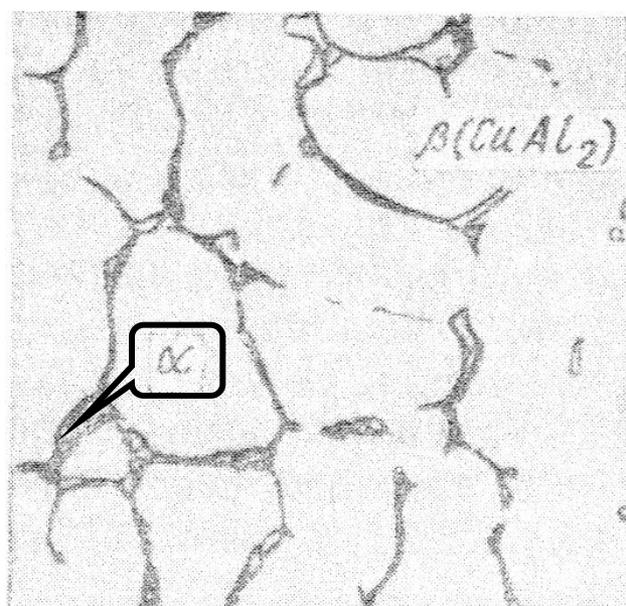
Ч

Междендритный графит

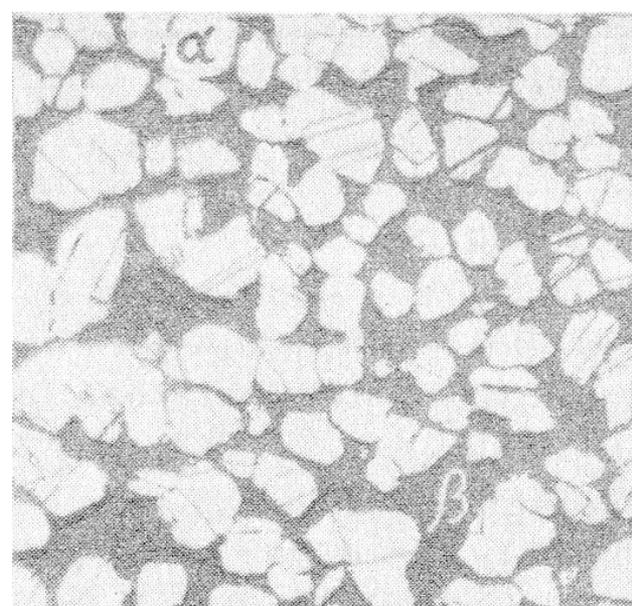




Твёрдый раствор Cu-Ni



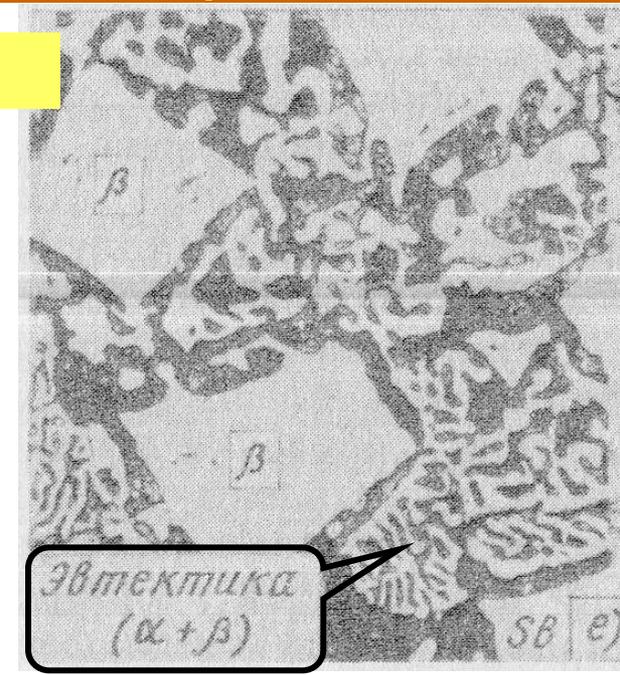
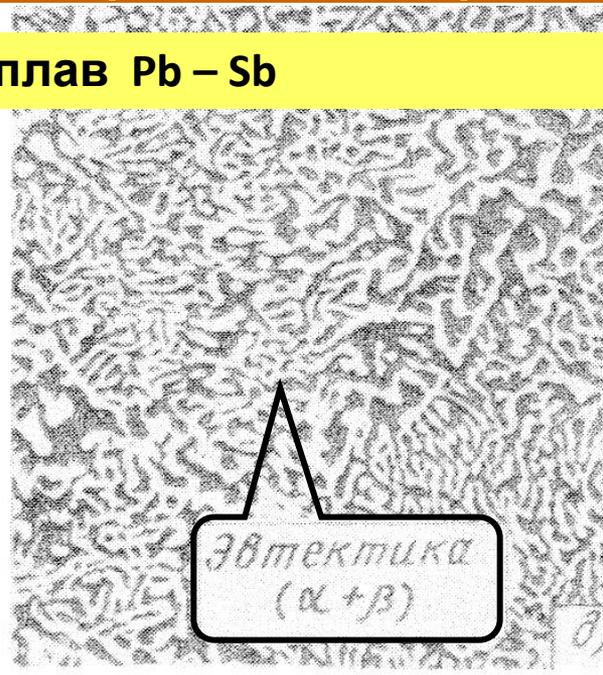
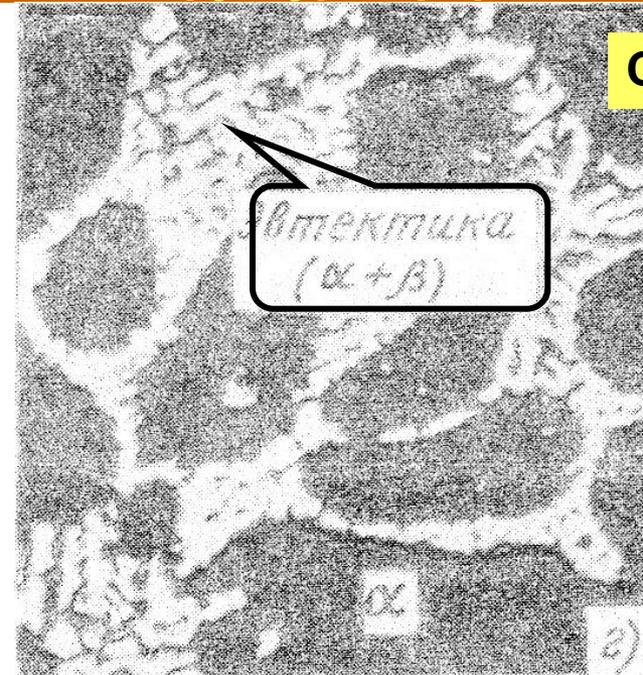
Твёрдый раствор Cu-Al



Твёрдый раствор Cu-Zn

Структура- форма, характер и взаимного расположения фаз в сплаве

Сплав Pb – Sb



## **4.3. Основные понятия и определения**

**Заполнить самостоятельно!**

#### 4.4. Обозначение сталей и чугунов.

**4X8B2A** (0,35...0,45%С; 7,0..9,0%Cr; 2,0...3,0W)

**Обыкновенного качества:** 3 группы: А (м.с), Б(х.с.) и В(м.с.+доп. х.с.). М-мартеновская (К-конв.)”кп”,”пс”,”сп”.  
Обозначение напр.:МСт.2кп; ВКСт.3

#### Легированные для деталей машин.

Обозначение по **буквенно-цифровой** системе: **цифры** – содержание углерода и легирующих элементов, **буквы** –обозначение легирующих элем. Первые две цифры – С в 0,00%, цифры после букв ≈ср.% легирующ. элемент, если его до 1%, то цифра не ставится. В конце буквы: А-**S** и **P**<0,025% каждого, **ЭШ** – эл.шлаковый переплав и др. **Магнитные** начинаются с **Е**, **нержавеющие:** Х– **ЭЖ**, а **Х-Н** – **ЭЯ**.

**Автоматные** начинаются - **А**

**Инструментальные:** углеродистые –0,7...1,3%С(начинаются с **У**), легированные, быстрорежущие – **Р** (rapide)

**Для подшипников качения** - **Ш**

**Литейные** - **Л**

Условные обозначения элементов, входящих в состав стали

Название элемента	Обозначение элементов	
	в табл. химсост.	в маркировке сталей
Алюминий	Al	Ю
Бор	B	Р
Ванадий	V	Ф
Вольфрам	W	В
Кобальт	Co	К
Кремний	Si	С
Марганец	Mn	Г
Медь	Cu	Д
Молибден	Mo	М
Никель	Ni	Н
Ниобий	Nb	Б
Сера	S	-
Титан	Ti	Т
Углерод	C	У
Фосфор	P	П
Хром	Cr	Х

**Обыкновенного качества:** 3 группы: А(м.с), Б(х.с.) и В(м.с.+доп. х.с.). М-мартеновская (К-конв.) "кп", "пс", "сп". Обозначение

**Инструментальные:** углеродистые—0,7...1,3%С (начинаются с У), легированные, быстрорежущие—Р(айриду)

**Для подшипников качения Ш-Л**

**Легированные для деталей машин.** Обозначение по буквенно-цифровой системе: **цифры** – содержание углерода и легирующих элементов, **буквы** – обозначение легирующих элем. **Первые две цифры** – С в 0,00%, **цифры после букв** ≈ср.% легирующего элемента, если его до 1%, то цифра не ставится. **В конце буквы:** А-(S и P) <0,025% каждого, ЭШ – эл.

Элемент	Обозначение в таблицах химического состава	Принятое обозначение в марках металлов и сплавов		Элемент	Обозначение в таблицах химического состава	Принятое обозначение в марках металлов и сплавов	
		черных	цветных			черных	цветных
Алюминий	Al	Ю	А	Ниобий	Nb	Б	—
Азот	N	А	—	Олово	Sn	—	О
Барий	Ba	—	—	Свинец	Pb	—	С
Бериллий	Be	—	Б	Селен	Se	Е	—
Бор	B	Р	—	Сера	S	—	—
Ванадий	V	Ф	—	Серебро	Ag	—	Ср
Вольфрам	W	В	—	Сурьма	Sc	—	С
Железо	Fe	—	Ж	Теллур	Te	—	—
Кадмий	Cd	—	—	Титан	Ti	Т	Т
Кремний	Si	С	К	Углерод	С	У	—
Магний	Mg	—	Мг	Фосфор	P	П	Ф
Марганец	Mn	Г	Мц	Хром	Cr	Х	—
Медь	Cu	Д	М	Церий	Ce	—	—
Молибден	Mo	М	—	Цинк	Zn	—	Ц
Мышьяк	As	—	Мш	Цирконий	Zr	Ц	—
Никель	Ni	Н	Н				

**4X8B2A (0,35...0,45%С; 7,0..9,0%Cr; 2,0...3,0%W)**

**Автоматные** начинаются -

## 4.5. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства сталей

Сталь является многокомпонентным сплавом, содержащим углерод и ряд постоянных или неизбежных примесей: Mn, Si, S, P, O, N, H и др., которые оказывают влияние на её свойства.

Присутствие этих примесей объясняется трудностью удаления части из них при выплавке (P, S), переходом в сталь в процессе ее раскисления (Mn, Si) или из шихты – легированного металлолома - (Cr, Ni и др.).

### 4.5.1. Понятие о легированной стали

ЛС

Содержит кроме *Fe* и *C* специально введенные химические элементы (легирующие □ ЛЭ) и *Si* и *Mn* больше, чем в углеродистых сталях

ЛЭ

Взаимодействие с *Fe* и *C* и изменение свойств в необходимых направлениях

Твердость, вязкость, жаропрочность, износостойкость, коррозионную стойкость, магнитные свойства, жаростойкость и жаропрочность, хладостойкость и др.

## 4.5.2 Распределение легирующих элементов в стали

зависит от их свойств в соответствии с их положением в периодической системе (таблице) элементов Д.И.

МЕНДЕЛЕЕВА.

Растворяются в **Fe** и **Fe<sub>3</sub>C** □ почти все элементы

Образуют самостоятельные карбиды □ левее **Fe** □ *Ti, Nb, V, W, Mo, Cr, Mn*, и др. Образ. Фазы внедрения MeC (чаще), Me<sub>2</sub>C

Карбиды не образуют □ правее **Fe** □ *Ni, Co, Si, Cu* и др.

Не растворяются в **Fe** □ далеко от **Fe** □ *O, B, S*.

Химические соединения с **Fe** □ большинство **ЛЭ** при большом сод.

Не растворяются в **Fe** и не образуют химсоединения с □ *Pb, Ag*.

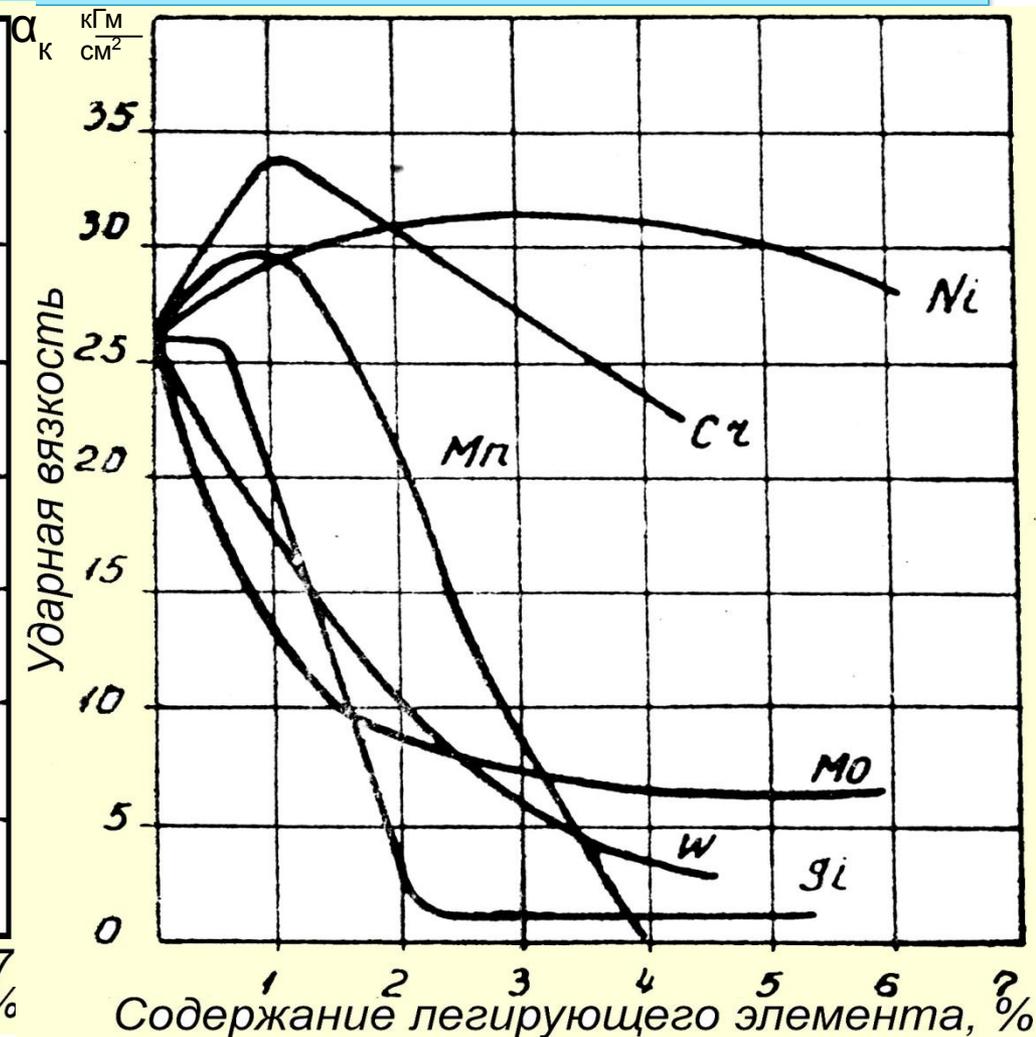
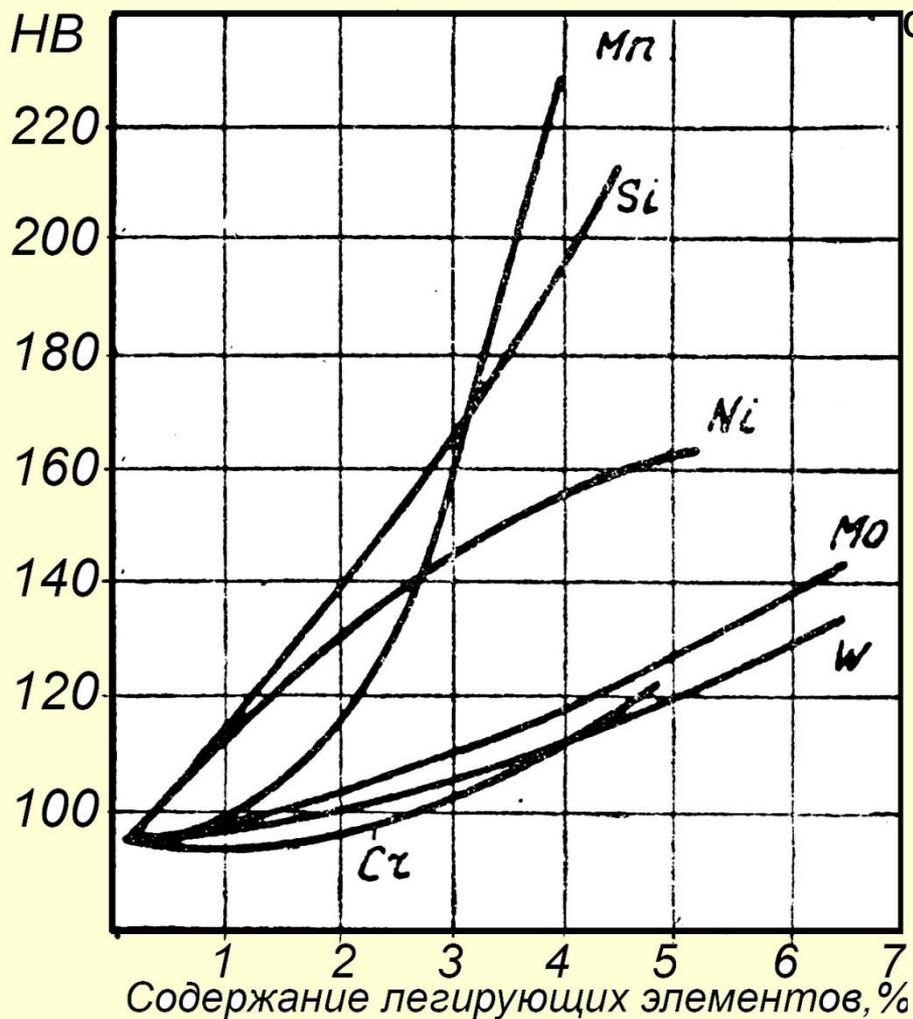
Образуют оксиды □ *Mn, Si, Al, Ni, Ti, V* и др. при раскислении.

Взаимодействи  
е  
ЛЭ  
с  
*Fe* и *C*

## 4.5.3. Влияние основных легирующих элементов на структуру и свойства сталей

- **Хром** - повышает твердость и прочность, сохраняет вязкость, увеличивает сопротивляемость стали коррозии.
- **Никель** – повышает прочность, ударную вязкость, коррозионную стойкость, прокаливаемость стали.
- **Вольфрам** – образует очень твердые карбиды, резко увеличивает твердость и красностойкость стали.
- **Ванадий** - увеличивает плотность стали, измельчает зерно и повышает твердость и прочностью.
- **Кобальт** - увеличивает ударную вязкость, жаропрочность и магнитные свойства стали.
- **Молибден** – повышает упругость, прочность, красностойкость, коррозионную стойкость и окалийностойкость стали.
- **Медь** – усиливает антикоррозионные свойства стали.
- **Титан** – увеличивает прочность стали, повышает обрабатываемость и сопротивление стали.
- **Ниобий** – повышает сопротивление коррозии.
- **Алюминий** – повышает жаростойкость (совместно с кремнием улучшает коррозионную стойкость)
- **Цирконий** - позволяет получать мелкозернистую сталь.

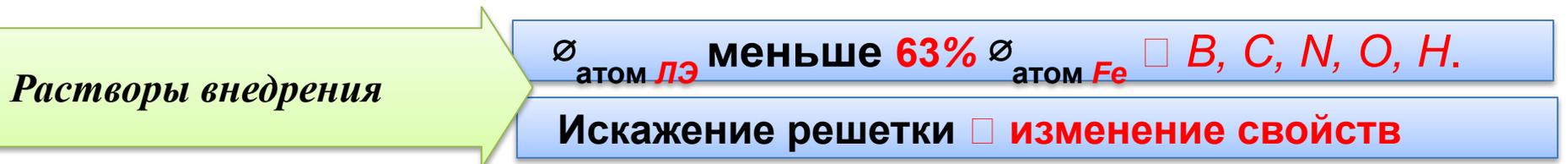
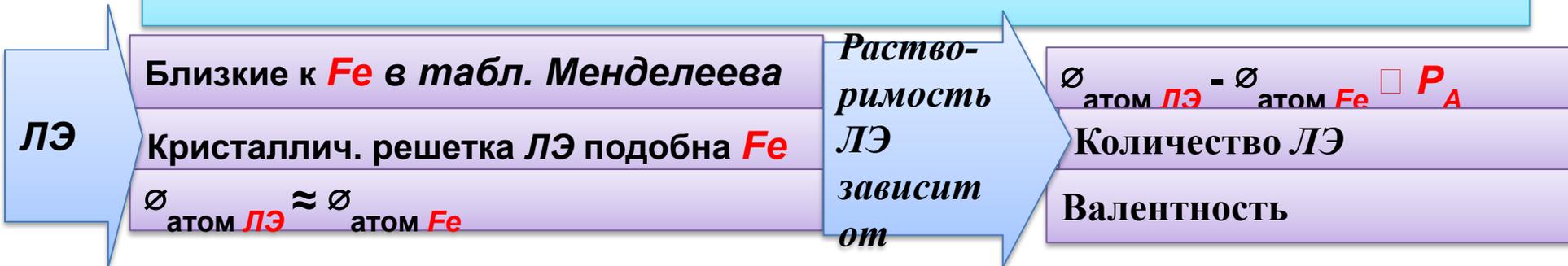
## 4.5.4. Влияние ЛЭ на свойства $Fe_{\alpha}$ (феррита и аустенита)



## 4.5.4. Влияние ЛЭ на свойства $Fe_{\alpha}$ (феррита и аустенита)

- Как видно из рисунка, легирующие элементы, растворенные в феррите, повышают его предел прочности, за исключением марганца и кремния при содержании их больше 2,5-3,0%. Наиболее сильно упрочняют феррит кремний, марганец и никель. Остальные элементы сравнительно мало изменяют прочность феррита.
- Легирующие элементы при введении их в сталь в количестве 1-2% снижают ударную вязкость и повышают порог хладоломкости. Исключение составляют никель, который упрочняет феррит при одновременном увеличении его ударной вязкости и понижением порога хладоломкости.

## 4.5.5. Растворение легирующих элементов в стали



## 4.5.6. Влияние ЛЭ на полиморфизм $Fe_\alpha$ , $Fe_\beta$ и положение критических точек

Две группы ЛЭ

1. Расширяют область существования  $A$  ( $A_4 \uparrow$ ,  $A_3 \square$ ) до комнатной  $t^0 C$

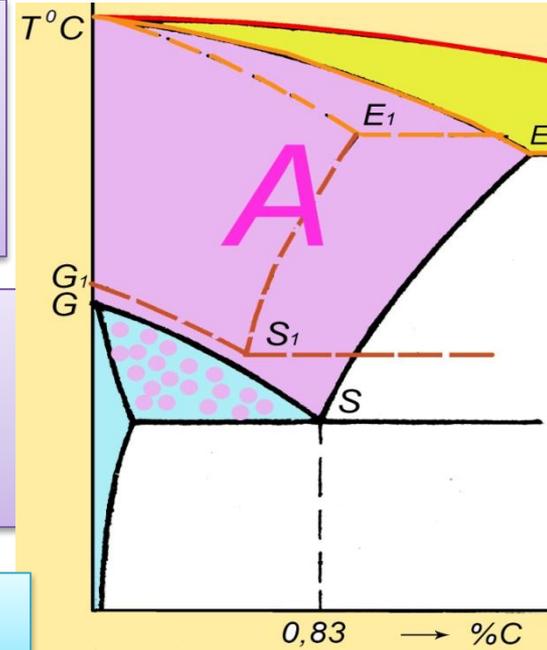
Ni, Mn, C, N, Cu.  
Co  $\square$   $A_3 \uparrow$

Аустенитные стали  
(нержавеющие, жаропрочные, немагнитные)

2. Сужают область существования  $A$  ( $A_4 \square$ ,  $A_3 \uparrow$ )

Zn, Be, Al, Si, Ti, V, Mo, W

Ферритные стали  
(нержавеющие, трансформаторные, динамные)



## 4.5.7. Взаимодействие ЛЭ с С

Карбидообразующие элементы

(КОЭ)  $\square$  левее С:

**Ti, V, W, Mo, Cr,**

**Mn, Fe**  $\square$  активность.

Карбиды ЛЭ имеют:  
твердость > Ц,  
хрупкость < Ц

Карбиды  
1-й  
группы

Карбиды  
2-й группы

Карбиды  $\square$  достаточно С

Твердые растворы  $\square$  недостаточно С

Много КОЭ  $\square$  растворяются в  $Fe_3C$   $\square$  образуют спецкарбиды **(FeCr)<sub>3</sub>C; (FeW)<sub>3</sub>C**

Растворяют **Fe**  $\square$   $Cr_7C_3$  до 60%  $\square$  **(Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>**

**WC, W<sub>2</sub>C, MoC, Mo<sub>2</sub>C, VC, TiC**

## 4.5.8. Влияние ЛЭ на превращения А и прокаливаемость.

Сдвигают S-образные кривые вправо □ устойчивый А

Некоторые изменяют форму S-образных кривых

Снижение влияния ЛЭ на эти процессы: *Mo, Mn, Cr*, □ *Ni, W, Cu*, □ *Si, Al*

Снижают  $M_n$  и  $M_k$  (исключение *Co*)

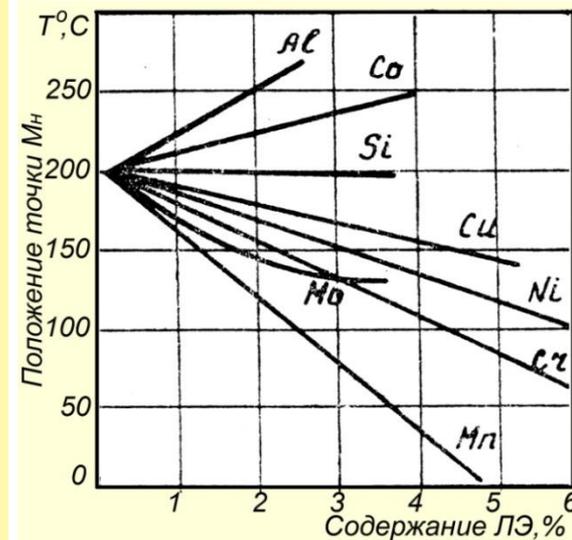
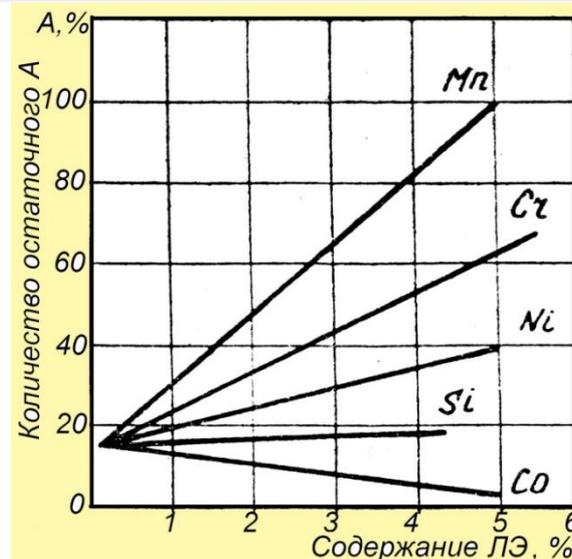
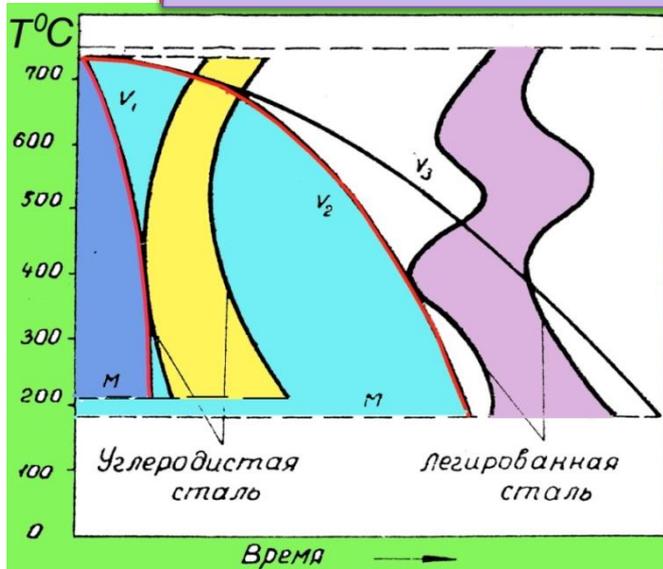
Увеличивают прокаливаемость

Снижают рост зерна (исключение *Mn*)  
(по уменьшению влияния: *Cr, W, Mo, V, Nb, Ti*)

Иногда увеличивают твердость при высоком отпуске (*Mo, Mn*)

КОЭ должны быть растворены в А

Л  
Э



# Задание на дом

## Вопросы для размышления

1. Назовите структурные отличия сплавов типа техническое чистое железо, сталь, чугун. Укажите процентное содержание углерода в этих сплавах.
2. Назовите самую пластичную и самую прочную, твердую структуру ЖУС.
3. Какую структуру имеют ЖУС при комнатной температуре?
4. Из приведенных ниже обозначений ЖУС, определите, какие относятся к сталям, а какие к чугунам:  
АЧС-2; 35ХГСА; Ст45; ВЧ 120-4; Р6М5; У12; БСт2;  
Р12Ф2К8М3; СЧ-15; 65ГА; У7А; Ст08кп; ЧН15Д3ХШ.
5. Перечислите не менее десяти наименований применения в быту изделий из ЖУС.
6. Заполните пробел п.4.3. лекции «Основные понятия и определения».