

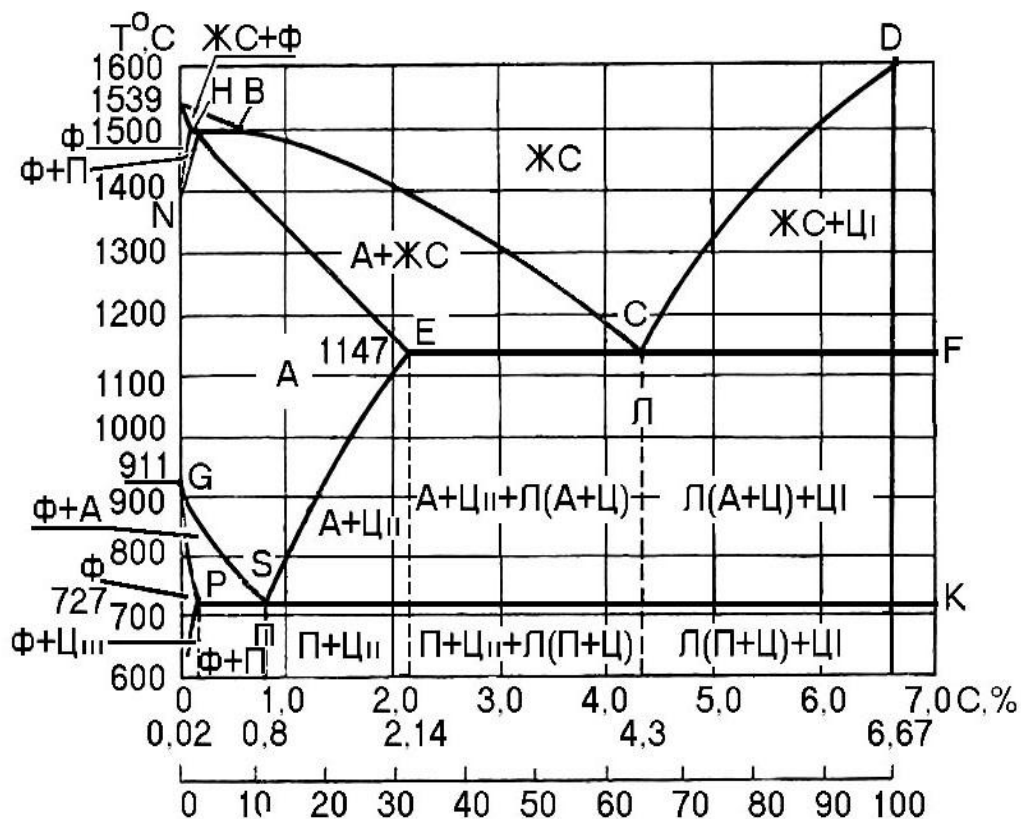
Лекция 4

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.

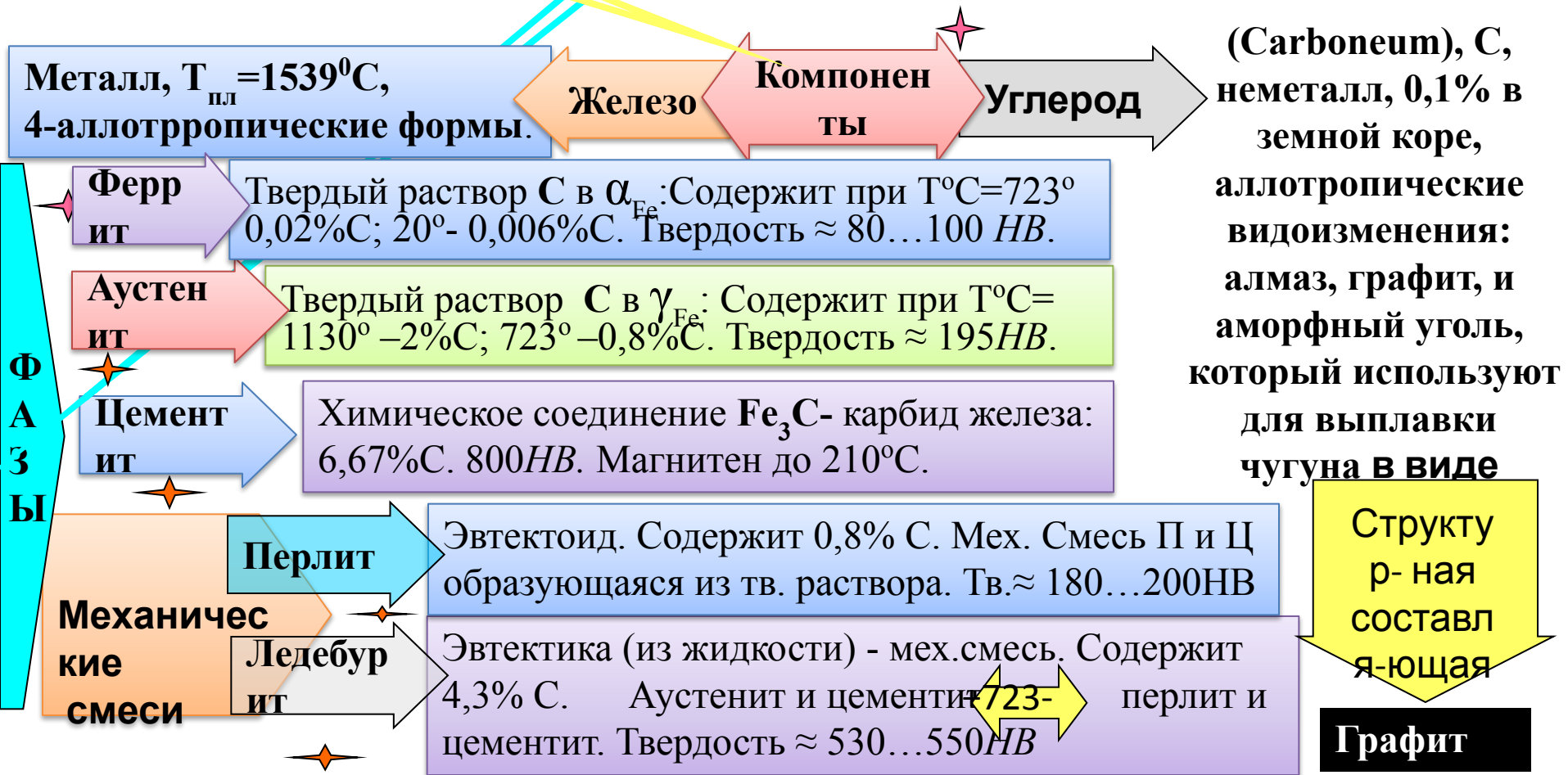
Железо – это серебристый металл, плотность $7,86 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1539°C . Технически чистое железо содержит 99,85% железа и 0,15-0,2% примесей (армако-железо, производится для электротехнических целей). Прочность чистого железа составляет 25 кг/мм^2 , пластичность порядка 50%.

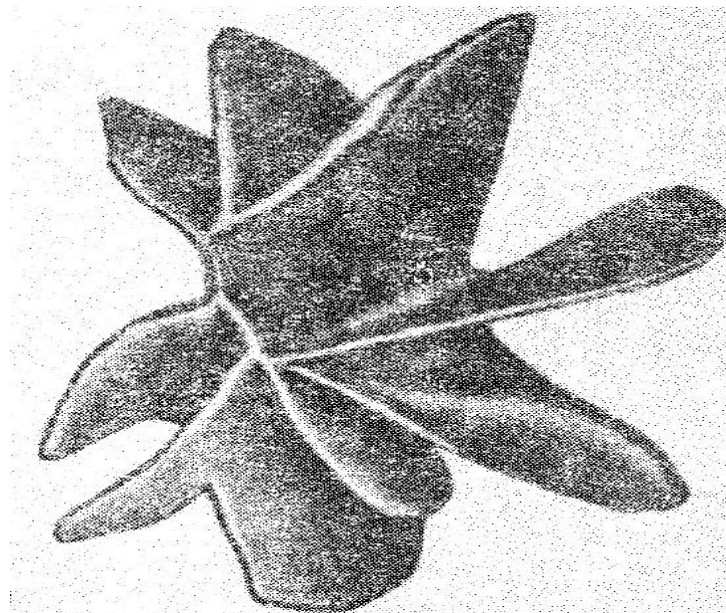
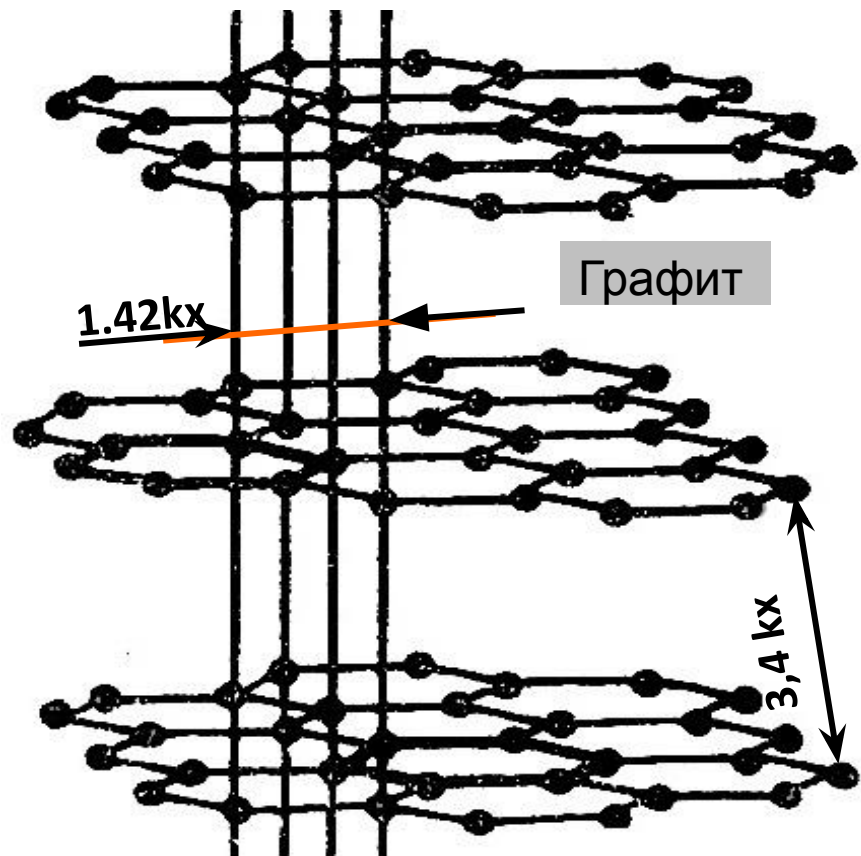
Углерод- неметалл (элемент II периода четвертой группы), атомный номер 6, плотность порядка $2,5 \text{ г/см}^3$, атомная масса 12,011, температура плавления 3500°C . Углерод полиморфен, растворим в железе в жидком и твердом состоянии, а также с железом образует химическое соединение Fe_3C , цементит (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.)

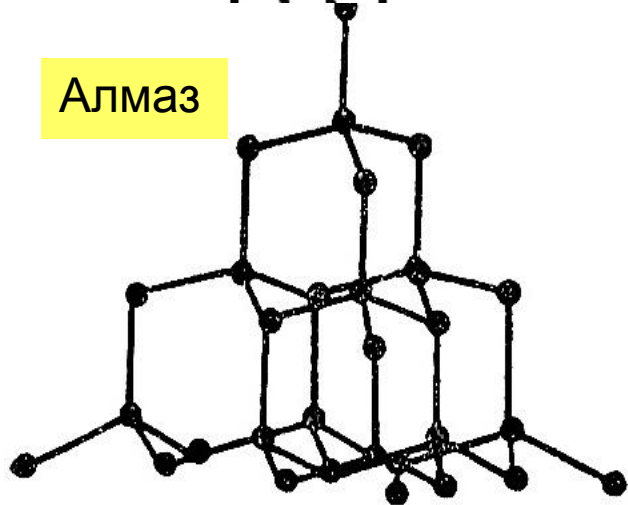
4.1. Диаграмма состояний “железо-углерод”.

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





Алмаз



Углерод



4.1. Диаграмма состояния железо-углерод

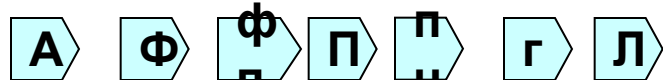
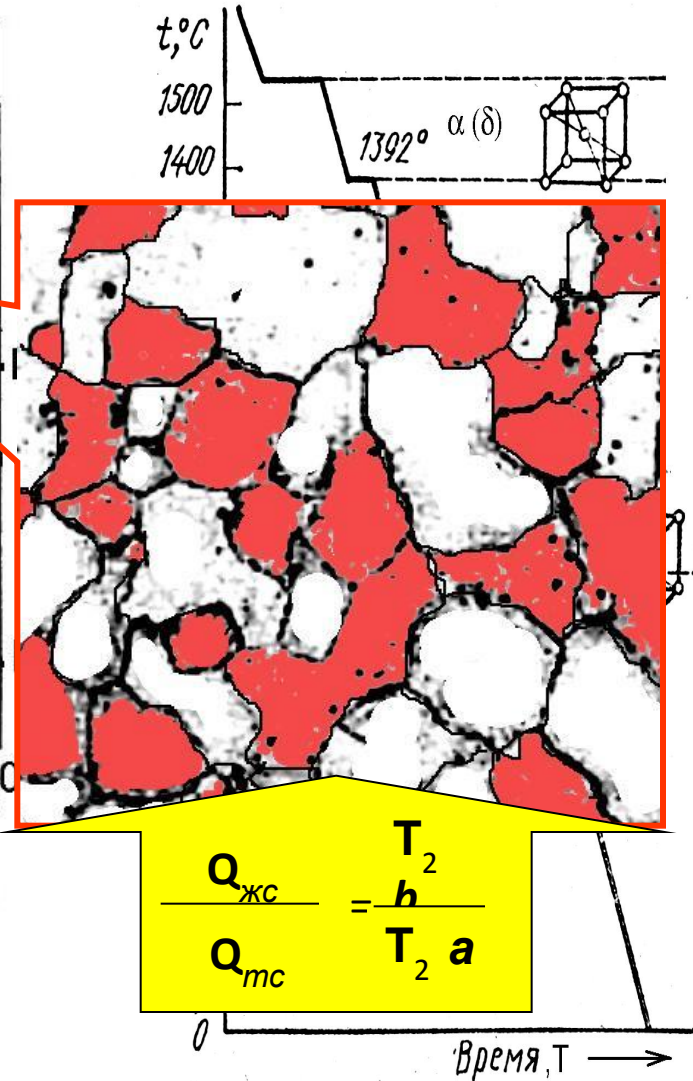
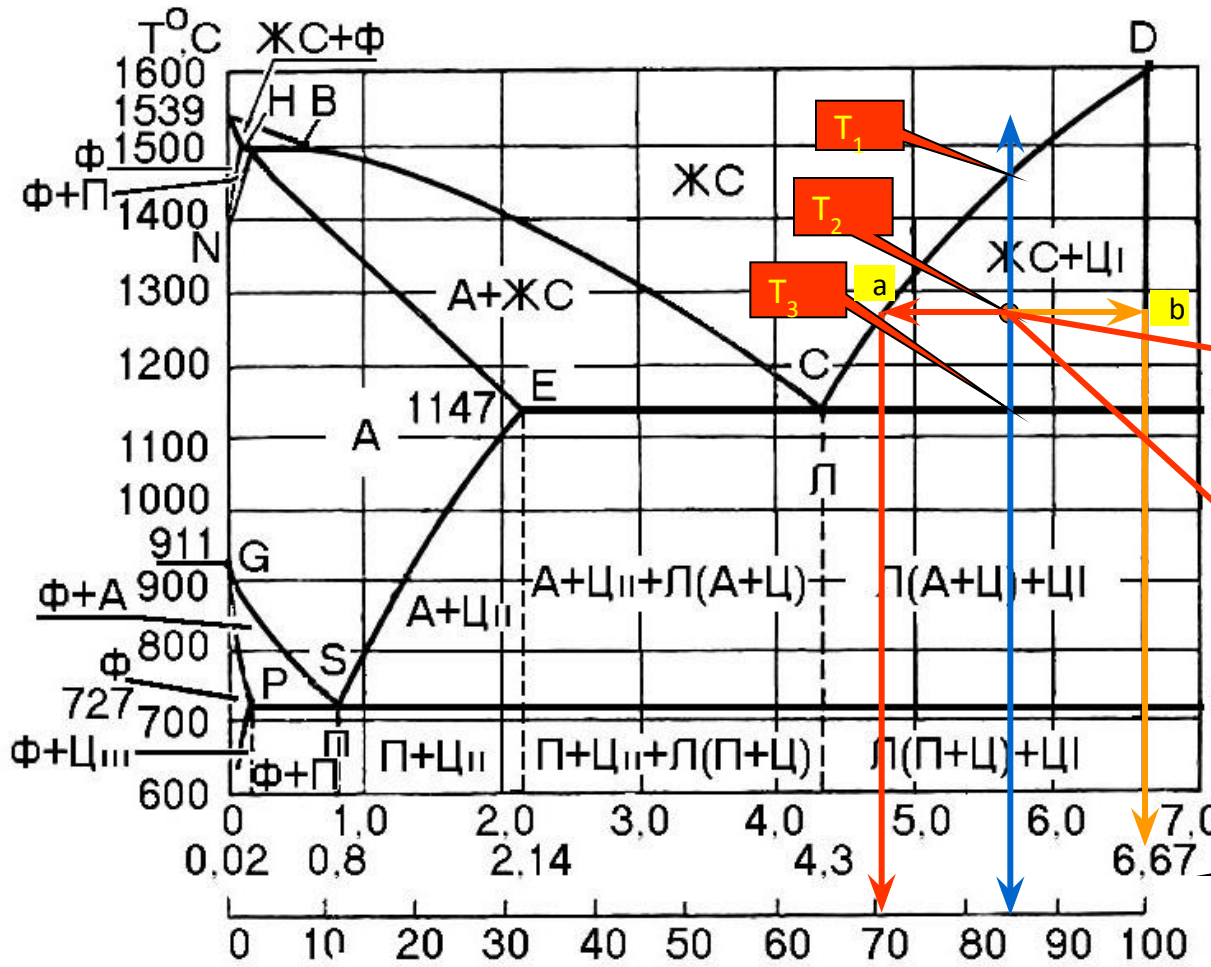
Знание диаграммы железо-углерод необходимо для понимания сущности всех превращений, происходящих в ЖУС при нагреве и охлаждении

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

Форма линий показывает, что это 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 γ -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”



4.1. Диаграмма состояния железо-углерод

Превращения в твердом состоянии (вторичная кристаллизация) – происходит при температуре выше 723°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.

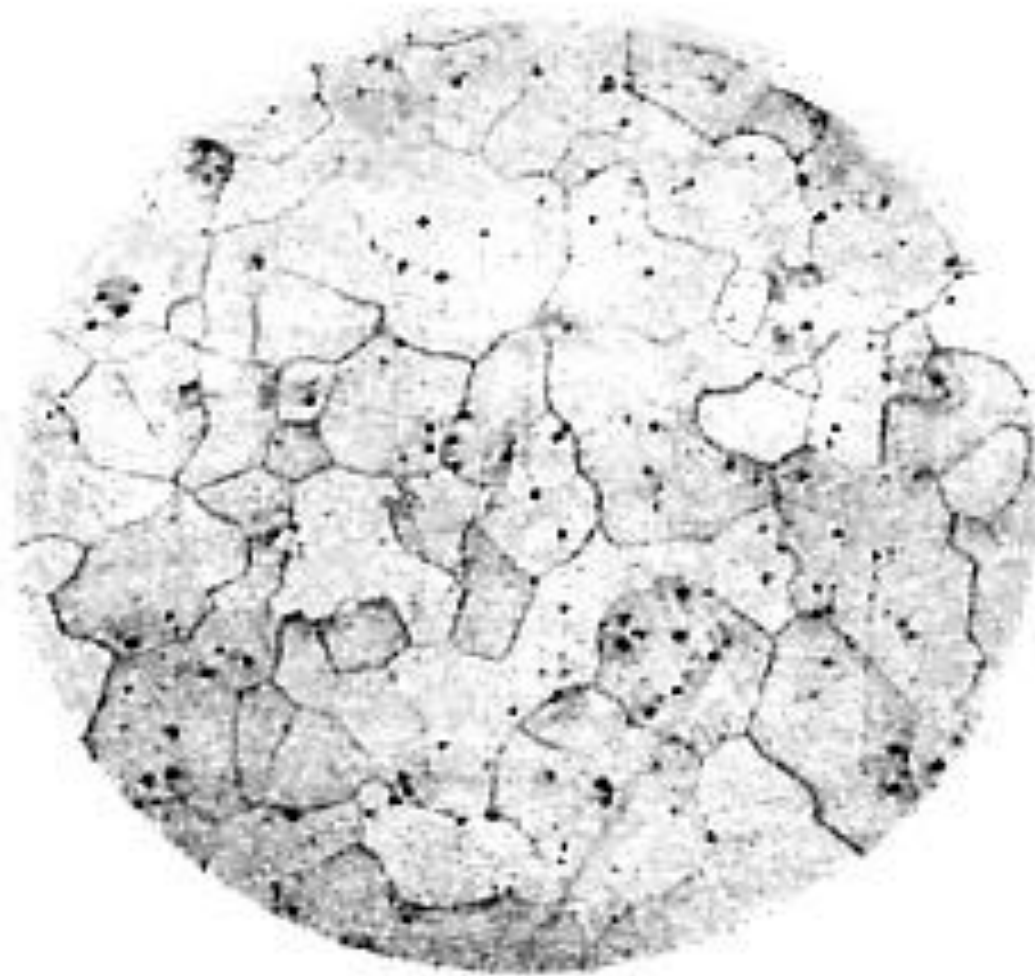
В точке S при содержании $0,8\%\text{C}$ и при 723°C весь **аустенит** распадается и одновременно кристаллизуется механическая смесь феррита и цементита – **эвтектоид (перлит)**.

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

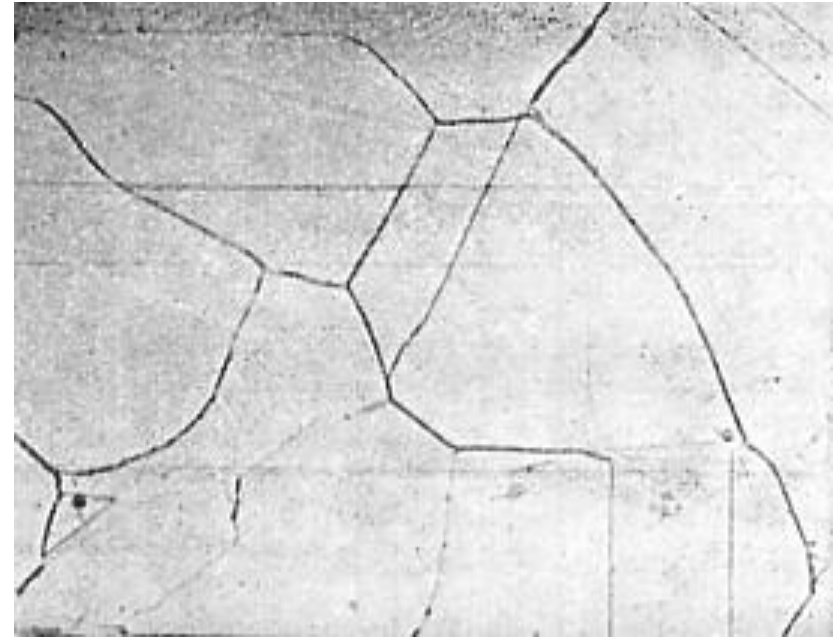
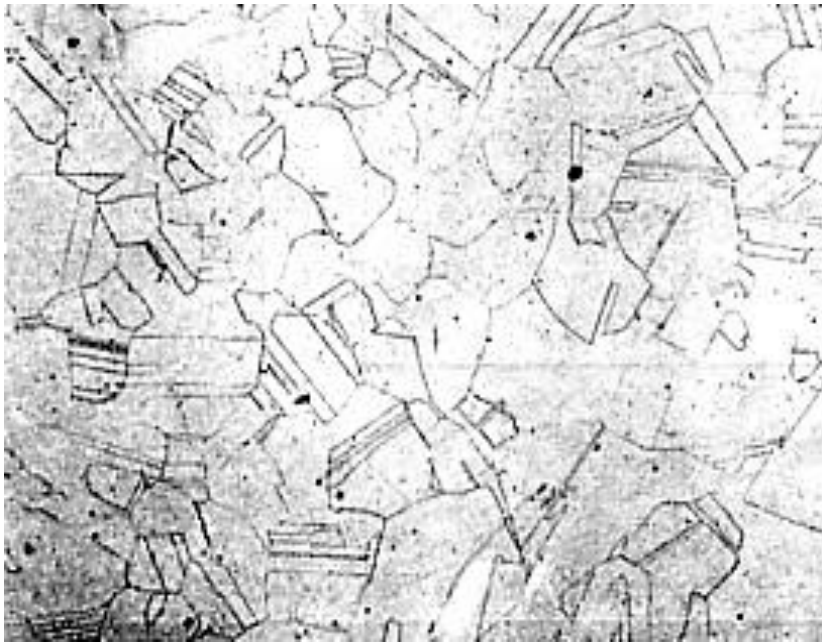
Сталь, содержащая $0,8\%\text{C}$, называется эвтектоидной, менее $0,8\%$ - доэвтектоидной, от $0,8$ до $2,14\%\text{C}$ - заэвтектоидной

4.1.1. Фотографии фазовых и структурных составляющих ЖУС

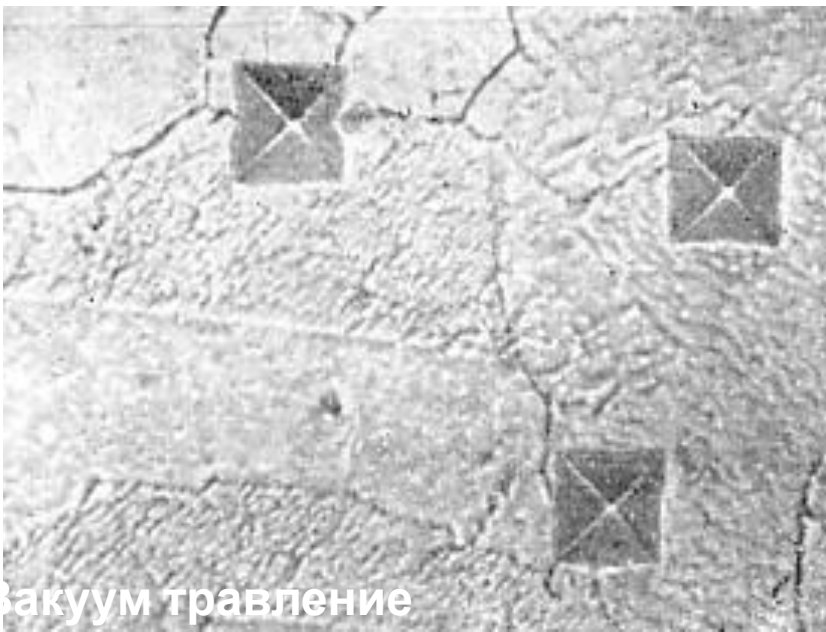
Феррит



Аустенит (x100;x500/ ВТх100; КТх500)



Д



Вакуум травление

При комнатной температуре



Л(П+Ц) Ц_I



Цементит



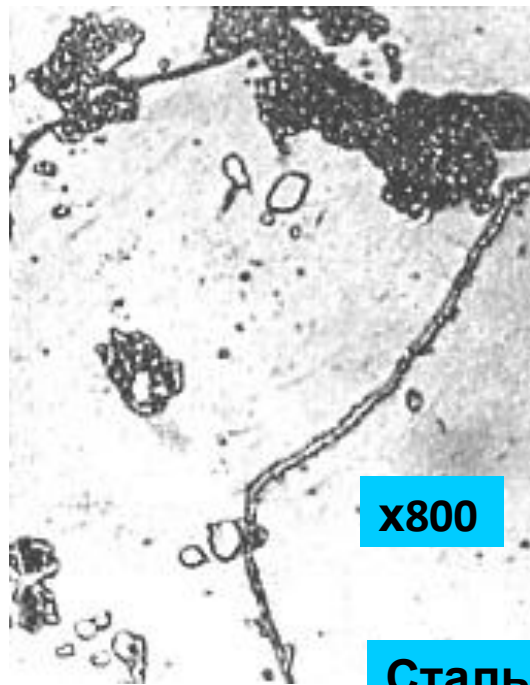
Ц_{II} П(Ф+Ц)



Д Ч

Перлит

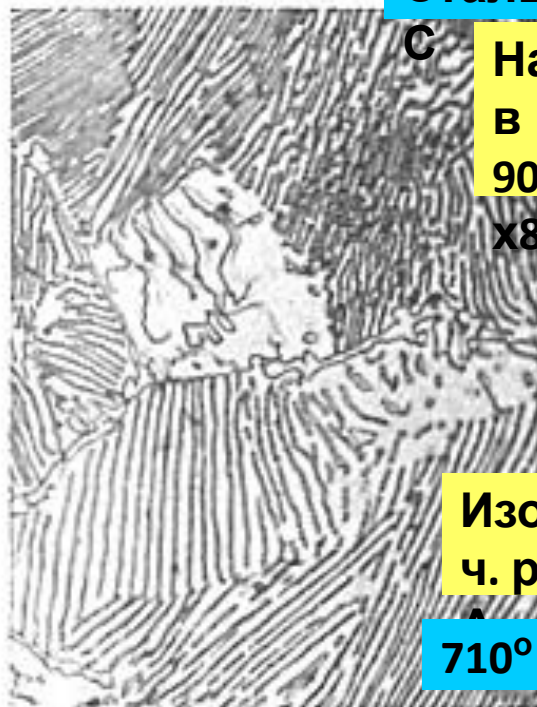
П(Ф+Ц)



x450

Сталь с 1,2% С

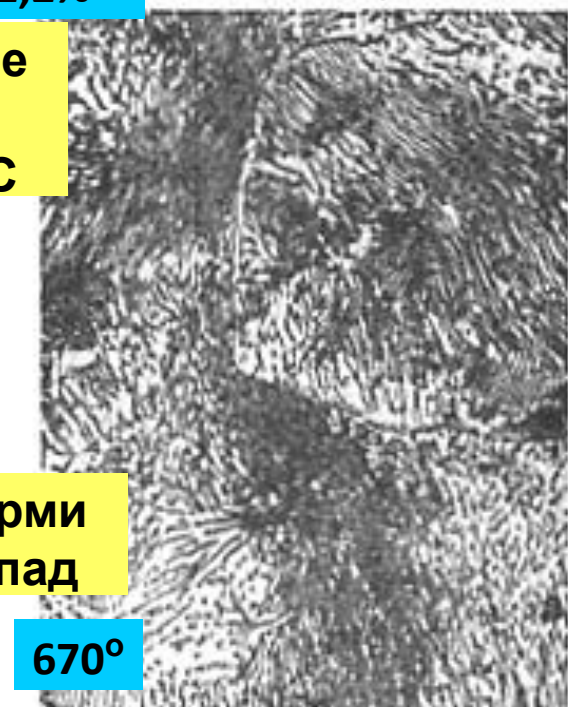
Нагрев
в
900°C
x800



Изотерми
ч. распад

710°

670°



Д

Перлит
зернистый



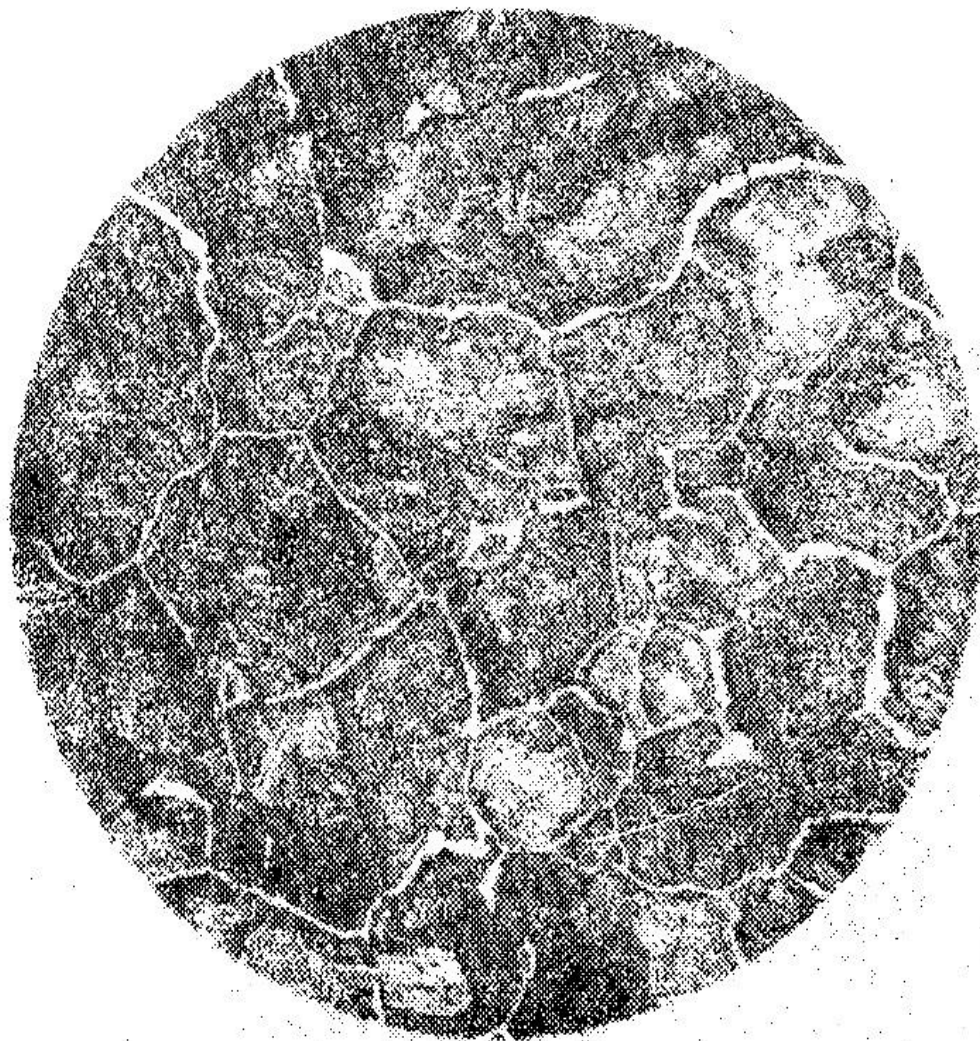
**4.1.2.
Количественный
анализ
доэвтектоидных
сталей по их
микроструктуре.**

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

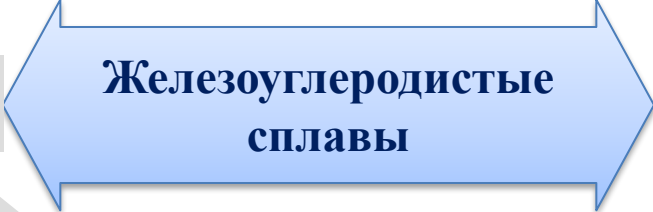
100% перлита – 0,8%С,

40% перлит – x %С,

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



4.2 Железоуглеродистые сплавы и их классификация.



СТАЛИ

ЧУГУНЫ

- Конструкционные углеродистые и легированные
- Обыкновенного качества
- Легированные для деталей машин
- Низколегированные
- Инструментальные
- Автоматные
- Для подшипников качения
- Рессорно-пружинные
- Литейные
- Строительные

Стали и сплавы с особыми свойствами

- Двухслойные
- Жаропрочные
- Жаростойкие
- Теплоустойчивые
- Коррозионно-стойкие
- Магнитные

Стали и сплавы с высоким электросопротивлением и постоянным коэффициентом теплового расширения, а также жаропрочные стали на железоникелевой и никелевой основе

Классы Fe-Si-C

Белые (С□Ц) **Б**

Чугуны с графитом (С□Г) **С**

2 вида

Серые литейные
Ковкие

Для электронагревательных элементов

Для приборостроения

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/мм².)
Чугун с вермикулярным (червеобразным) графитом

(ЧВГ) Ковкий чугун (КЧ). (КЧ 30-6 Числа: Первое – ППР= σ_v , второе –отн. удл.= $\delta\%$;) Получают из белого чугуна отжигом (900...950⁰С прод. 60...80

ч.ч.)
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

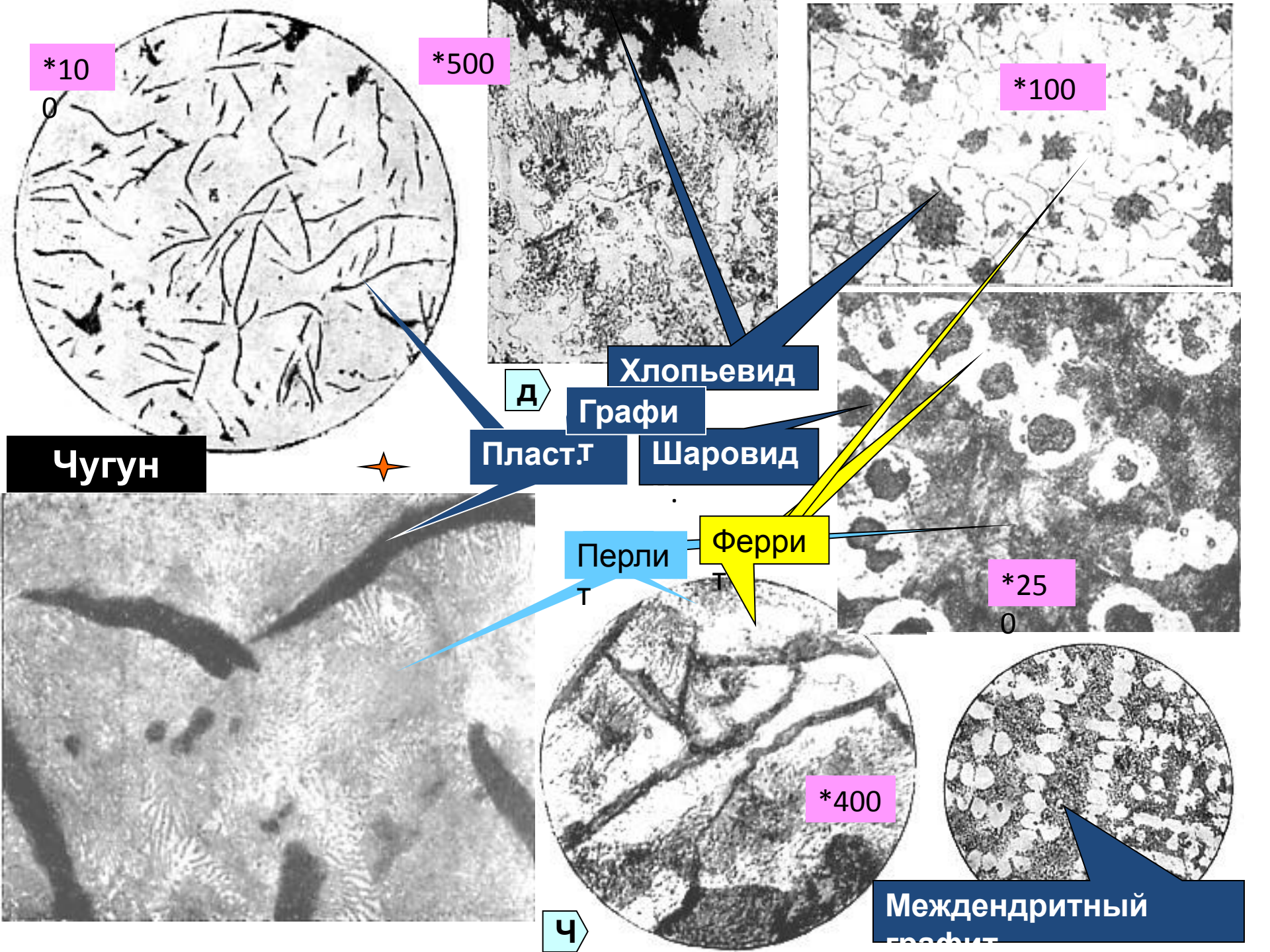
Ферри

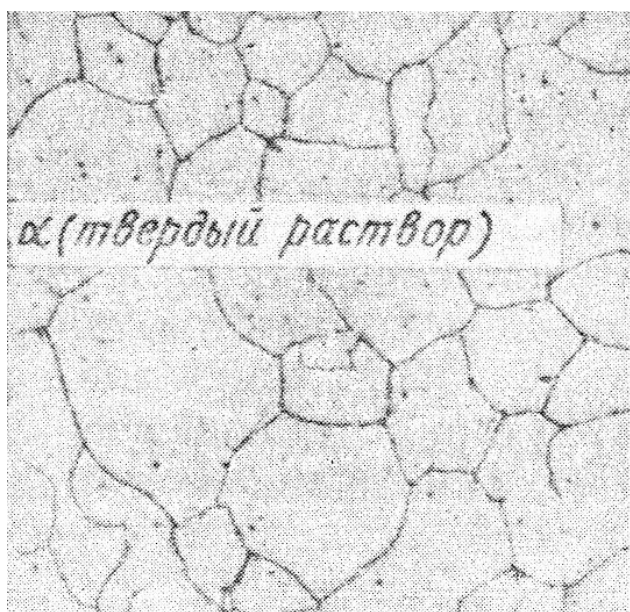
*25

*400

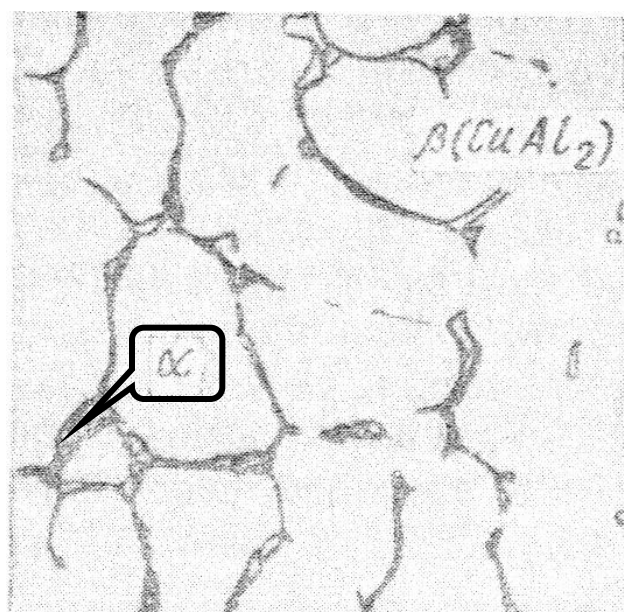
Ч

Междендритный графит

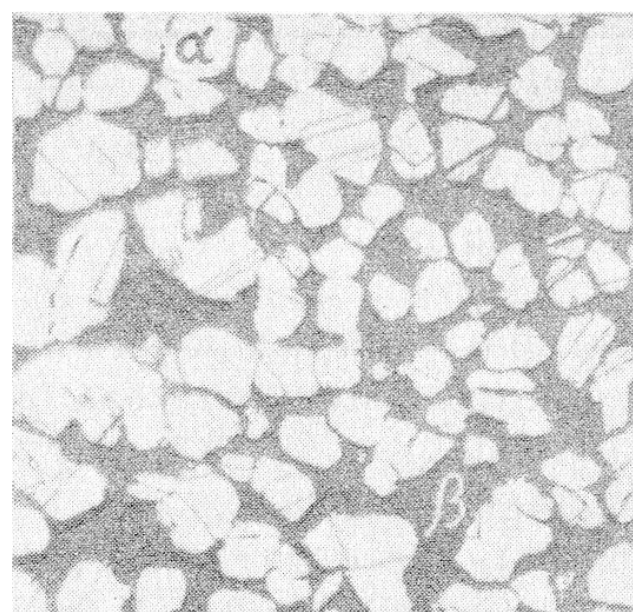




Твёрдый раствор Cu-Ni



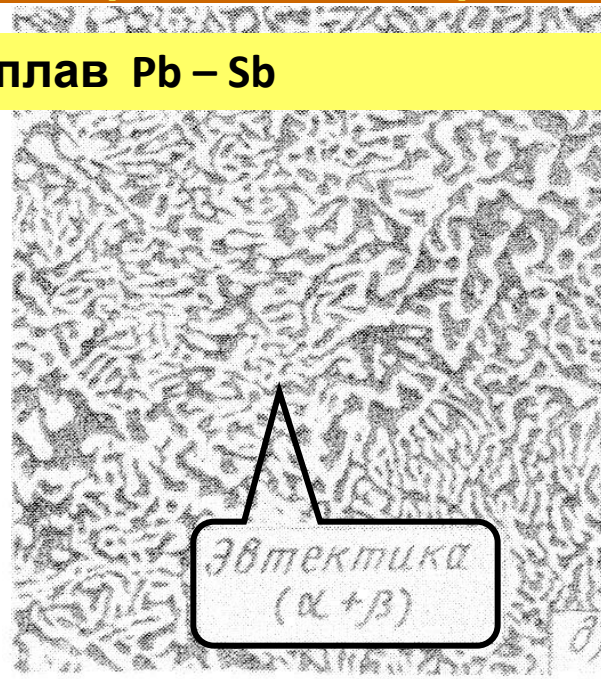
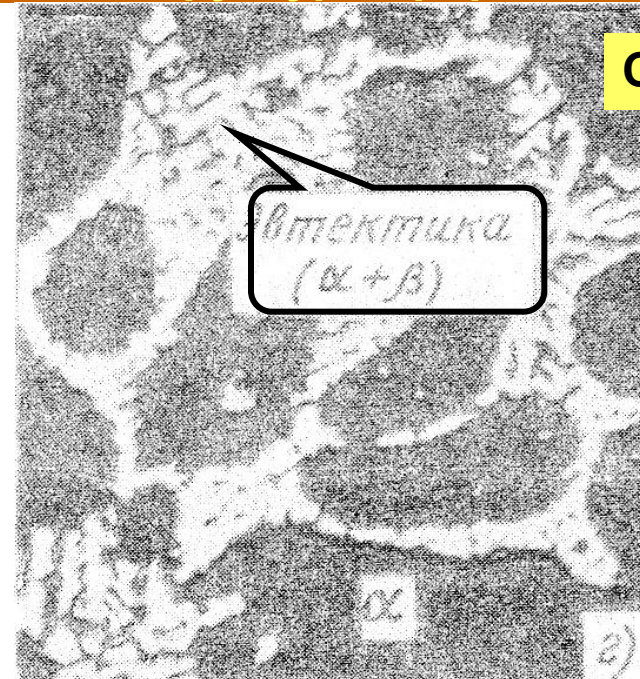
Твёрдый раствор Cu-Al



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
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 **Fe₃C** □ почти все элементы

Образуют самостоятельные карбиды □ левее **Fe** □ *Ti, Nb, V, W, Mo, Cr, Mn*, и др. Образ. Фазы внедрения MeC (чаще), Me₂C

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*.

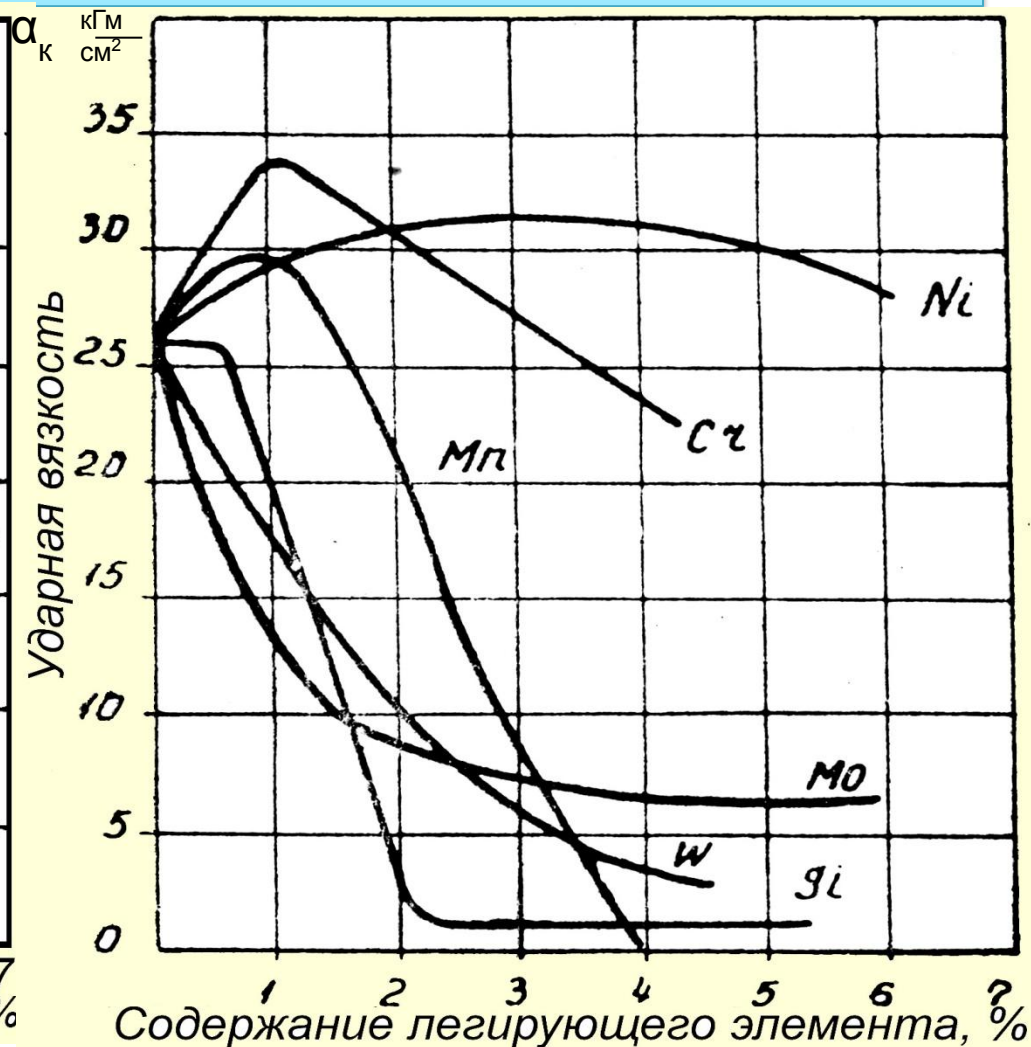
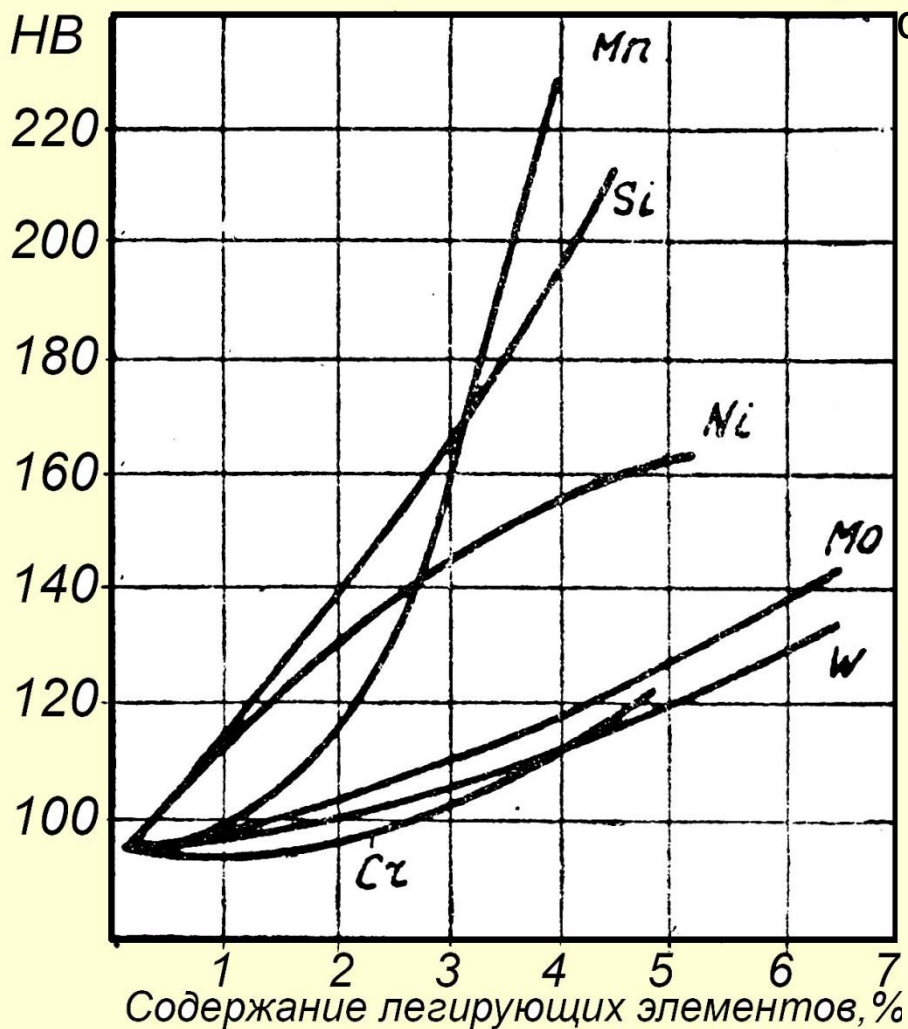
Образуют оксиды □ *Mn, Si, Al, Ni, Ti, V* и др. при раскислении.

Взаимодействие
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.

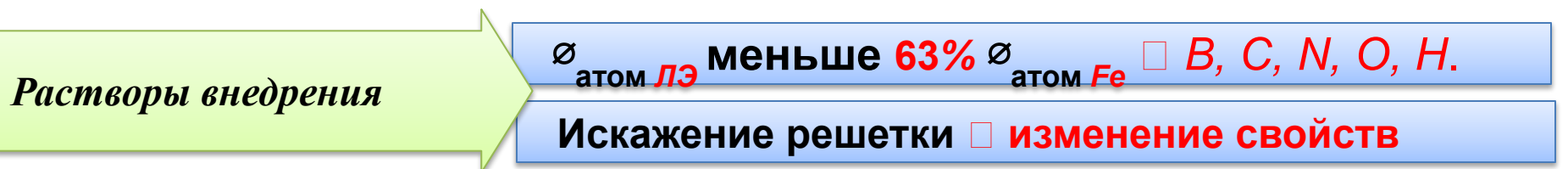
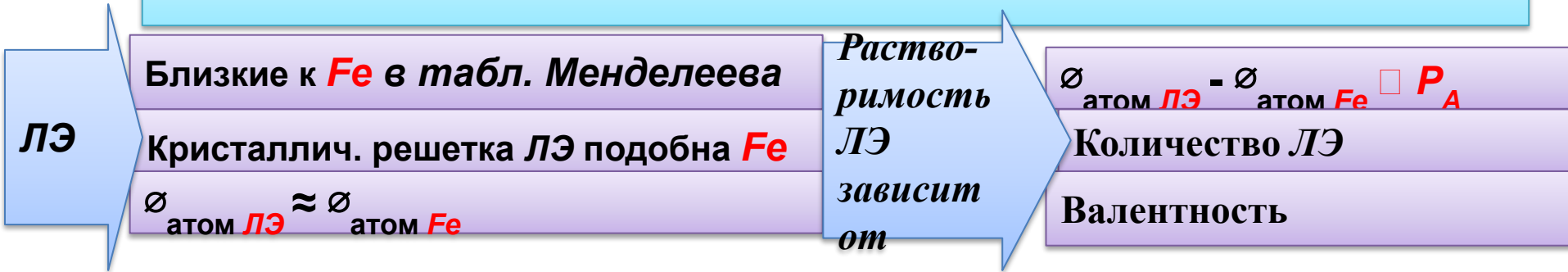
4.5.4. Влияние ЛЭ на свойства Fe_α (феррита и аустенита)



4.5.4. Влияние ЛЭ на свойства Fe_{α} (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_α , Fe_β и положение критических точек

Две группы ЛЭ

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

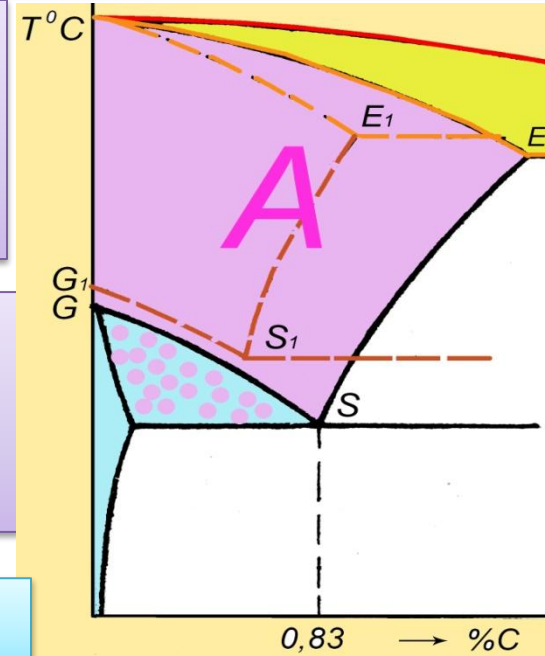
Ni, Mn, C, N, Cu.
Co \square $A_3 \uparrow$

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 C

Карбидообразующие элементы

(КОЭ) \square левее C:

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 C

Твердые растворы \square недостаточно C

Много КОЭ \square растворяются в Fe_3C \square образуют спецкарбиды **$(FeCr)_3C$; $(FeW)_3C$**

Растворяют **Fe \square Cr_7C_3 до 60% \square $(Cr, Fe)_7C_3$**

WC, W_2C , MoC, Mo_2C , 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*)

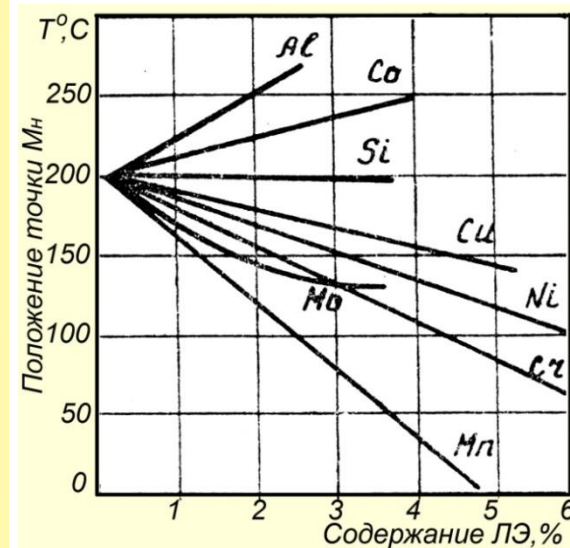
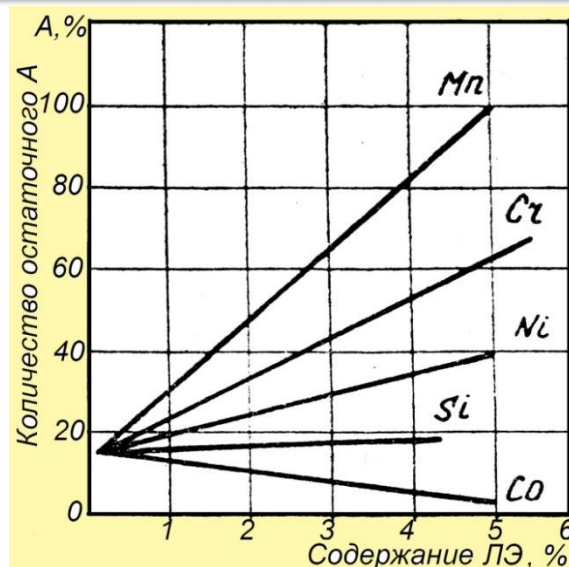
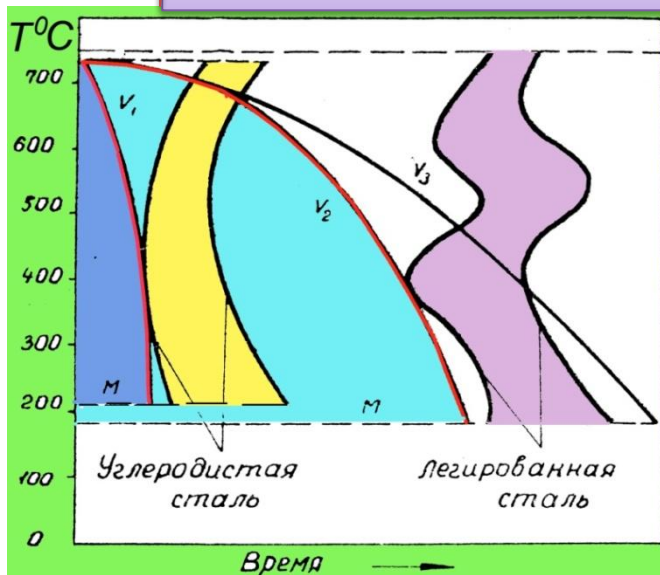
Увеличивают прокаливаемость

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».