

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МОРСКОГО И
РЕЧНОГО ФЛОТА ИМ. С.О. МАКАРОВА**

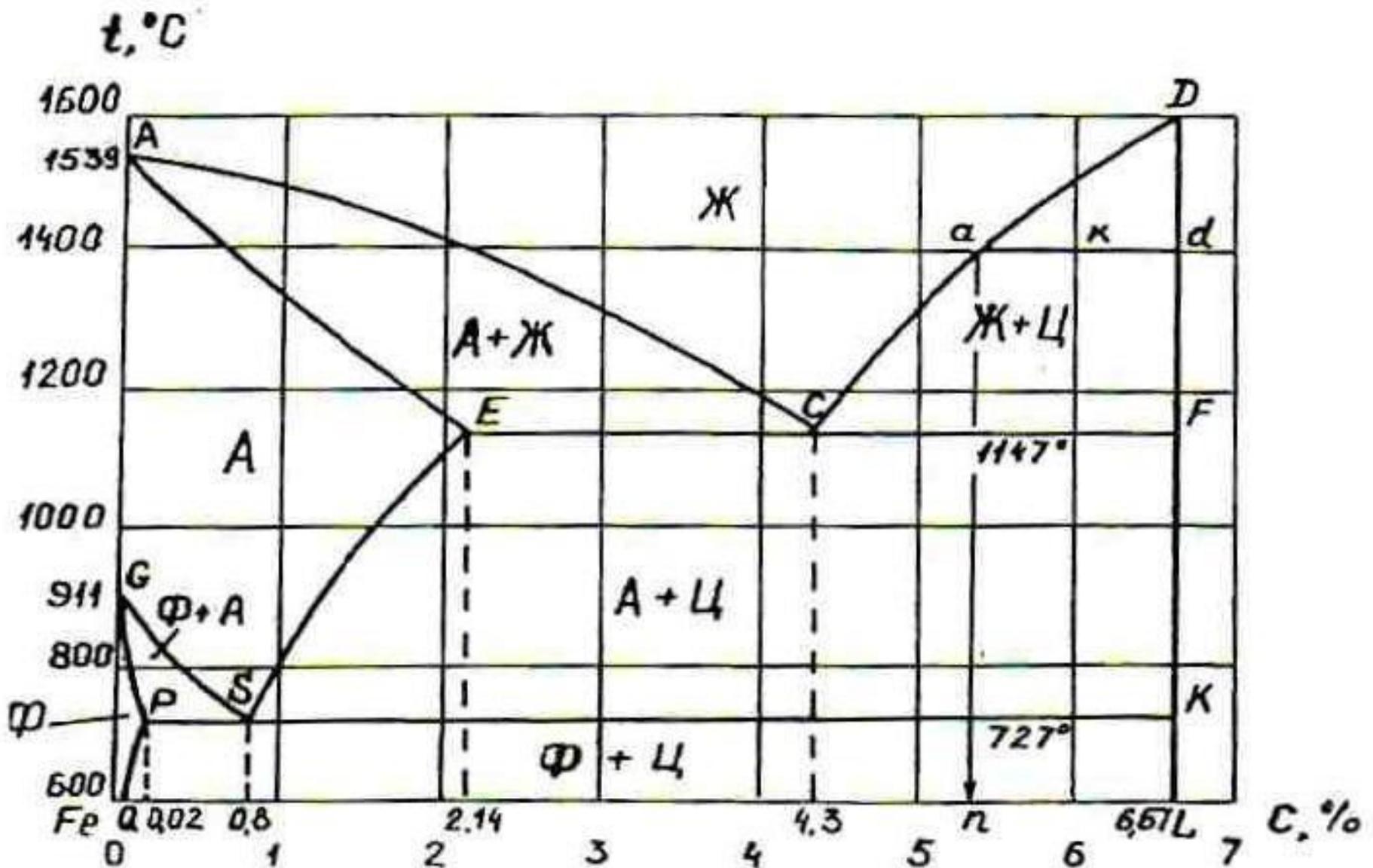
**КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ И
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ»**

СПЛАВЫ СИСТЕМЫ «ЖЕЛЕЗО – УГЛЕРОД»

Диаграмма "железо - цементит"

**Составители: к.т.н., профессор, заведующий кафедры
ТМиМ Кузьмин А.А., к.т.н., доцент кафедры Богданова Н.В.**

Диаграмма Fe-C (Fe-Fe₃C)



Компоненты диаграммы состояния Fe-C

1. Железо (Fe) – серебристо-серый металл.

- Порядковый номер - 26.
- Атомная масса - 55,85.
- Плотность - 7,86 г/см.
- Температура плавления - 1539°C.

Полиморфные модификации:

- (α -Fe) до 910°C. ОЦК
- (γ -Fe) от 910 до 1392°C. ГЦК
- (δ -Fe) от 1392 до 1539°C. ОЦК

Магнитное превращение в точке Кюри (768°C).

2. Углерод (C) – неметалл.

Порядковый номер - 6.

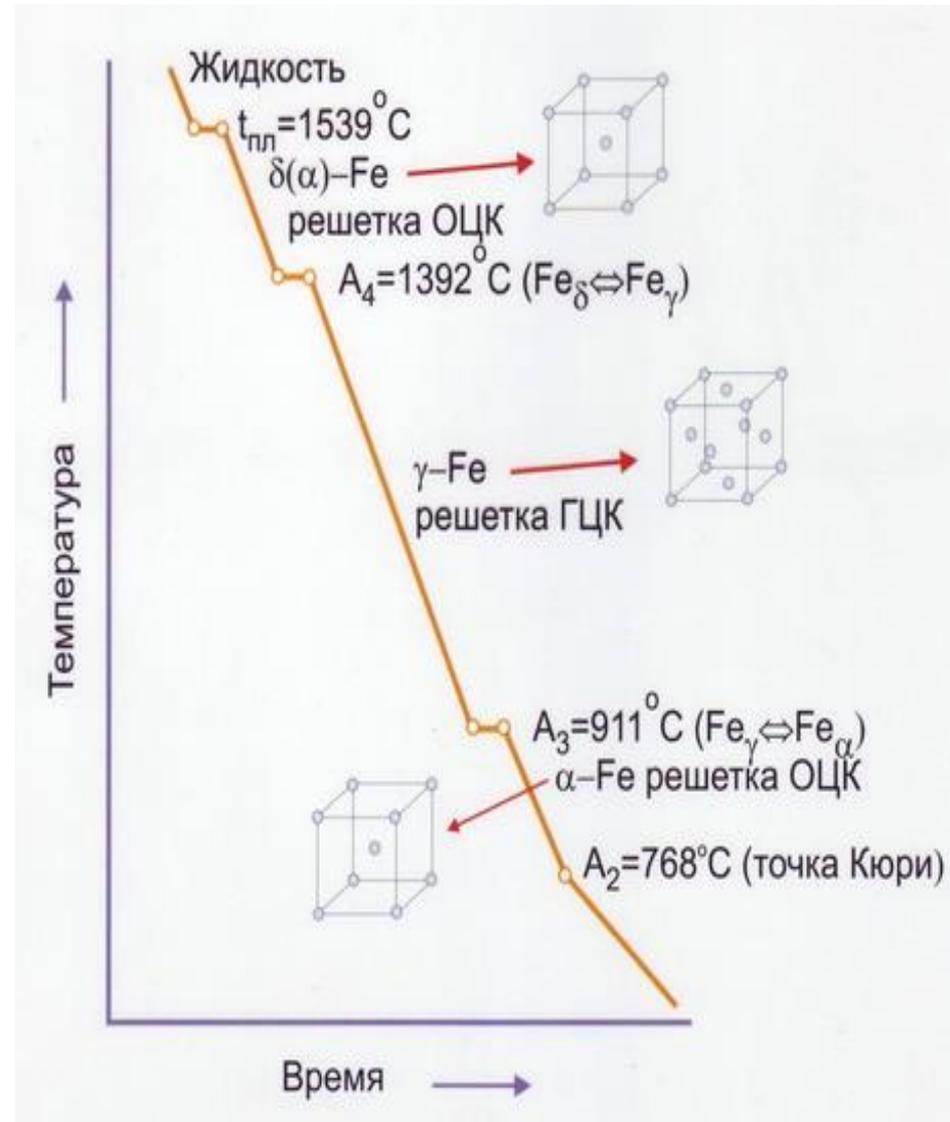
Атомная масса - 12,01.

Плотность - 2,2 ÷ 3,5 г/см³,

Температура плавления \approx 3700 °C

Известны две кристаллические формы (модификации) углерода:

- Графит, имеющий гексагональную решетку;
- Алмаз, со сложной ГЦК решеткой.



Фазы диаграммы состояния Fe-C

1. **Жидкий раствор** - неограниченный жидкий раствор углерода в железе

2. **Феррит (Ф или α)** – твёрдый раствор внедрения углерода в α -железе с кристаллической решеткой ОЦК. Различают низкотемпературный (α -феррит) на основе α -железа и высокотемпературный (δ -феррит) на основе δ -железа.

Низкая растворимость углерода в альфа-железе (0,025% при температуре 723°C (точка P) обусловлена малым размером межатомных пор в ОЦК решетке. Значительная доля атомов углерода вынуждена размещаться в дефектах (вакансиях, дислокациях).

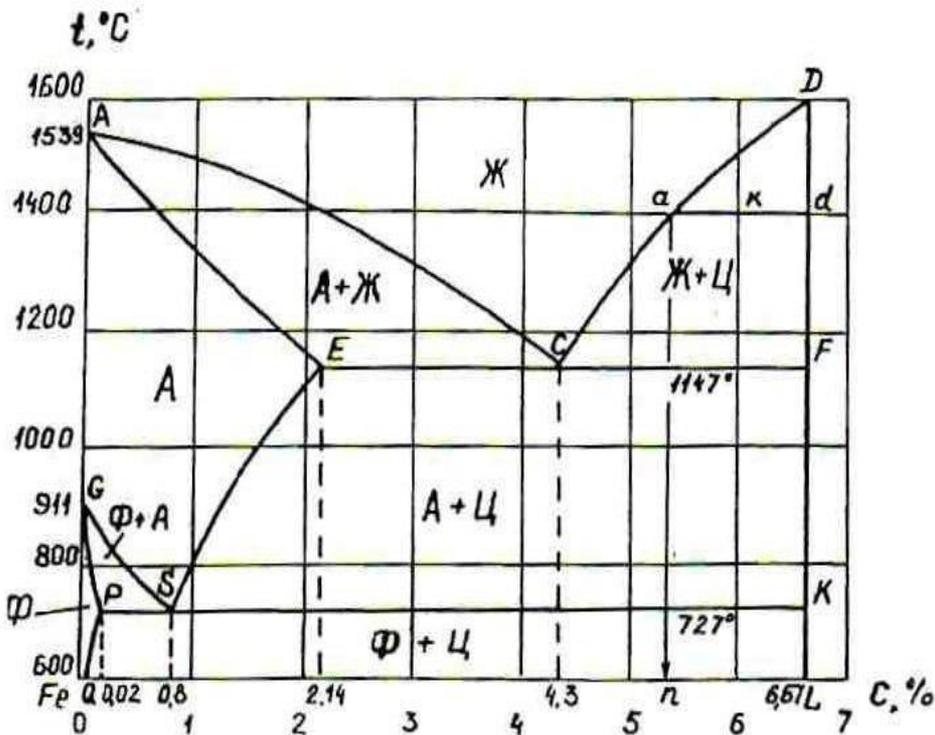
Феррит это мягкая пластичная фаза.

3. **Аустенит (А или γ)** – твёрдый раствор внедрения углерода в γ -железе. Имеет ГЦК решетку, межатомные поры в которой больше, чем в ОЦК решетке, поэтому растворимость углерода в гамма-железе значительно больше и достигает 2,14% при 1147°C (точка E). Аустенит пластичен, но прочнее феррита.

4. **Цементит (Ц)** – карбид железа Fe_3C с содержанием углерода 6,67%. Обладает высокой твёрдостью (≈ 800 НВ) и практически нулевой пластичностью. Имеет сложную ромбическую решетку. Температура плавления $\approx 1260^\circ C$. При нагреве распадается на железо и углерод.

5. **Графит (Г)** – одна из полиморфных модификаций углерода. Имеет гексагональную кристаллическую решетку. Плотность 2,25 г/см. Обладает набором уникальных свойств. Температура плавления - 3500°C. При 20°C это мягкий и очень не прочный материал, но с увеличением температуры прочность аномально растёт, и при 2500 градусах является самым прочным материалом на Земле.

Критические точки и линии на диаграмме Fe-C



Точка	Температура, °C	Содержание углерода, %	Точка	Температура, °C	Содержание углерода, %
A	1539	0,00	N*	1392	0,11
B*	1499	0,53	G	911	0,0
J*	1499	0,16	P	723 (727)	0,025
C	1147	4,30	S	723 (727)	0,8
D	1250...1600	6,67	K	723 (727)	6,67
E	1147	2,14	Q	20	0,006
F	1147	6,67	L	20	6,67
H*	1499	0,11			

АСД – линия ликвидус; АЕСF - линия солидус; ЕСF - линия эвтектического превращения;

PSK - линия эвтектоидного превращения;

GSK - линия полиморфных превращений в железо-углеродистых сплавах;

AC и AE – соответственно линии начала и окончания кристаллизации аустенита;

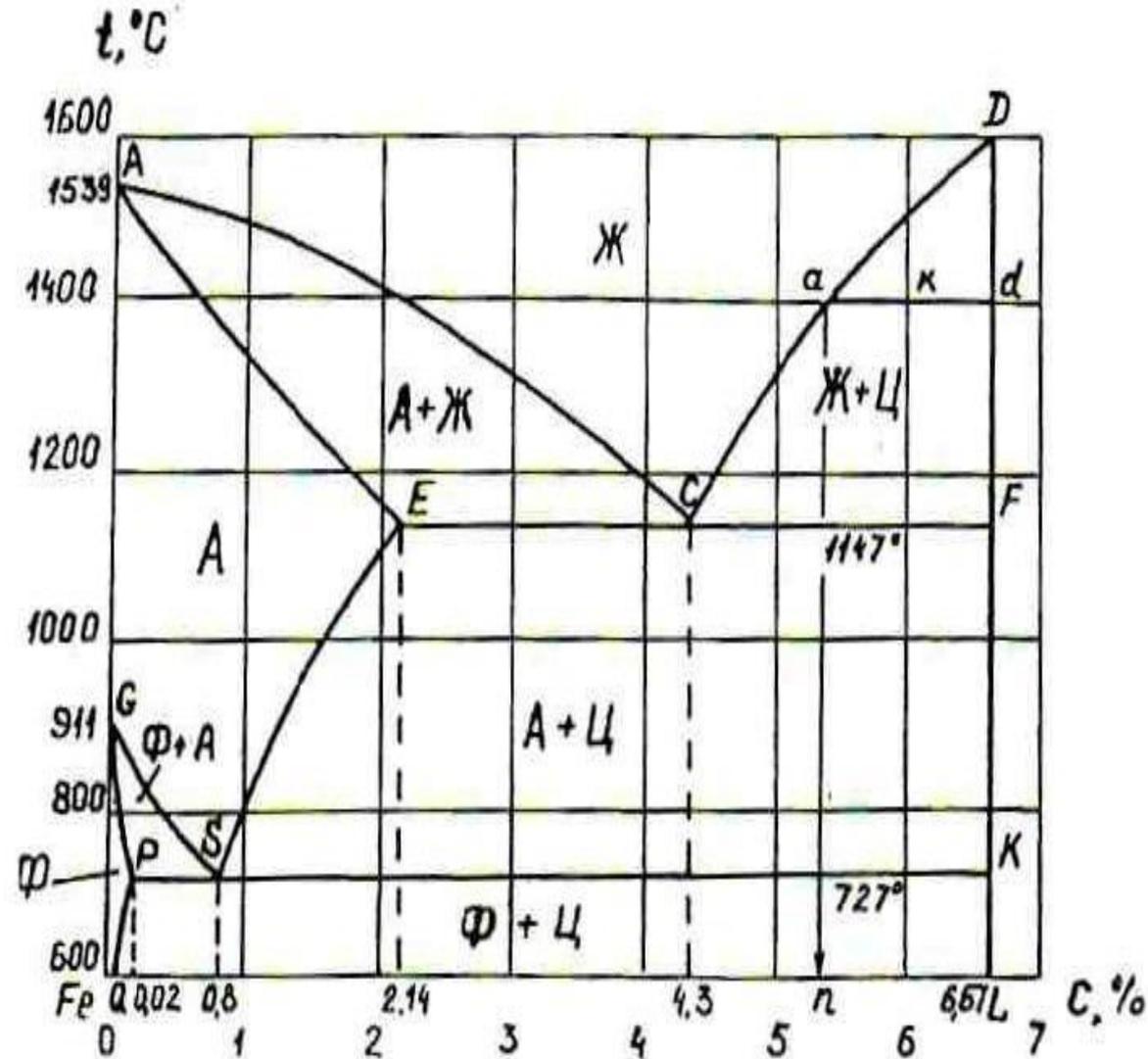
CD - линия начала кристаллизации цементита первичного (Ц_I);

GS и GP – соответственно линии начала и окончания кристаллизации феррита;

SE - линия ограничения растворимости углерода в аустените или линия выделения цементита вторичного (Ц_{II});

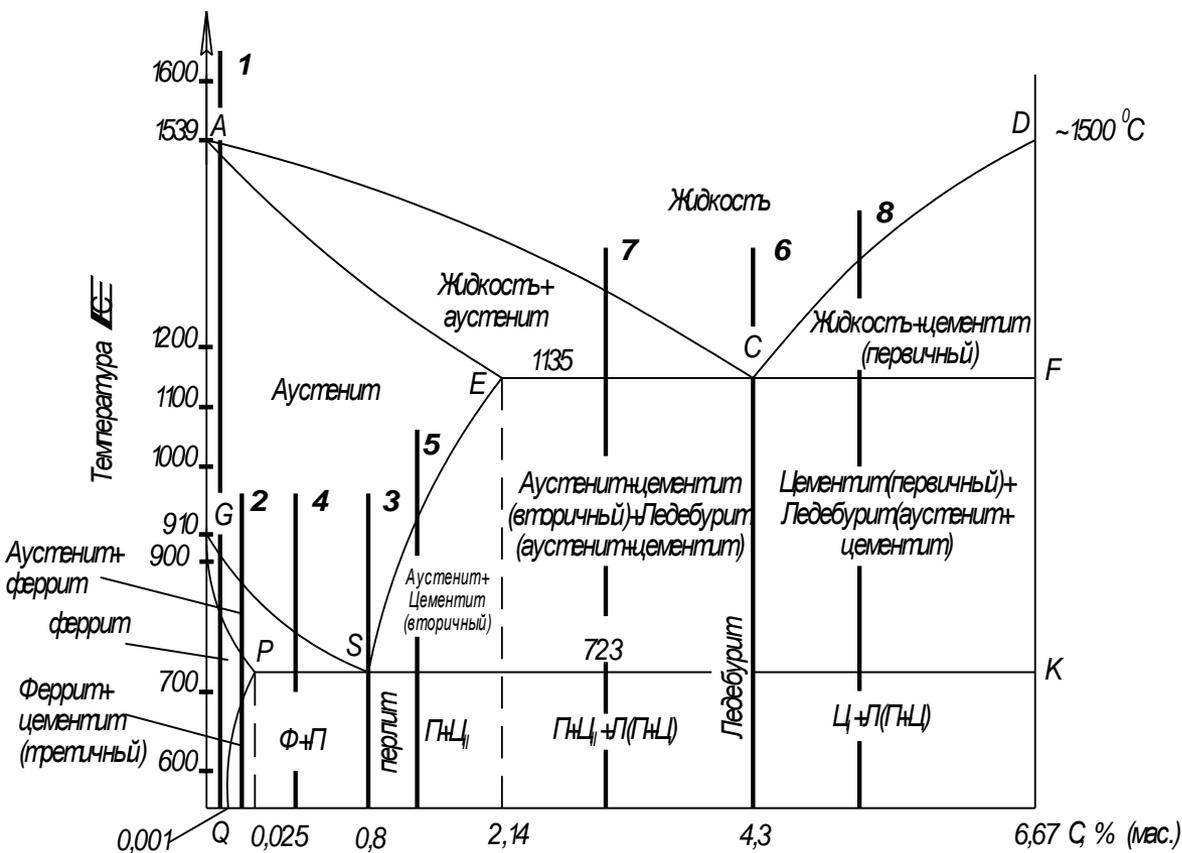
PQ – линия ограничения растворимости углерода в феррите или линия выделения цементита третичного (Ц_{III}).

Однофазные и двухфазные области на диаграмме состояния Fe-C

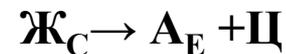


- **А) однофазные:**
- выше линии ACD - расплав железа и углерода;
- AESG - аустенит;
- GPQ0 - феррит;
- **Б) двухфазные**
- ACEA - аустенит + жидкость;
- CDFC - цементит + жидкость;
- GSPG - феррит + аустенит;
- SEFK - аустенит + цементит;
- QPKL - феррит + цементит

Изотермические превращения в системе Fe-C



Эвтектическое превращение происходит при 1130°C:



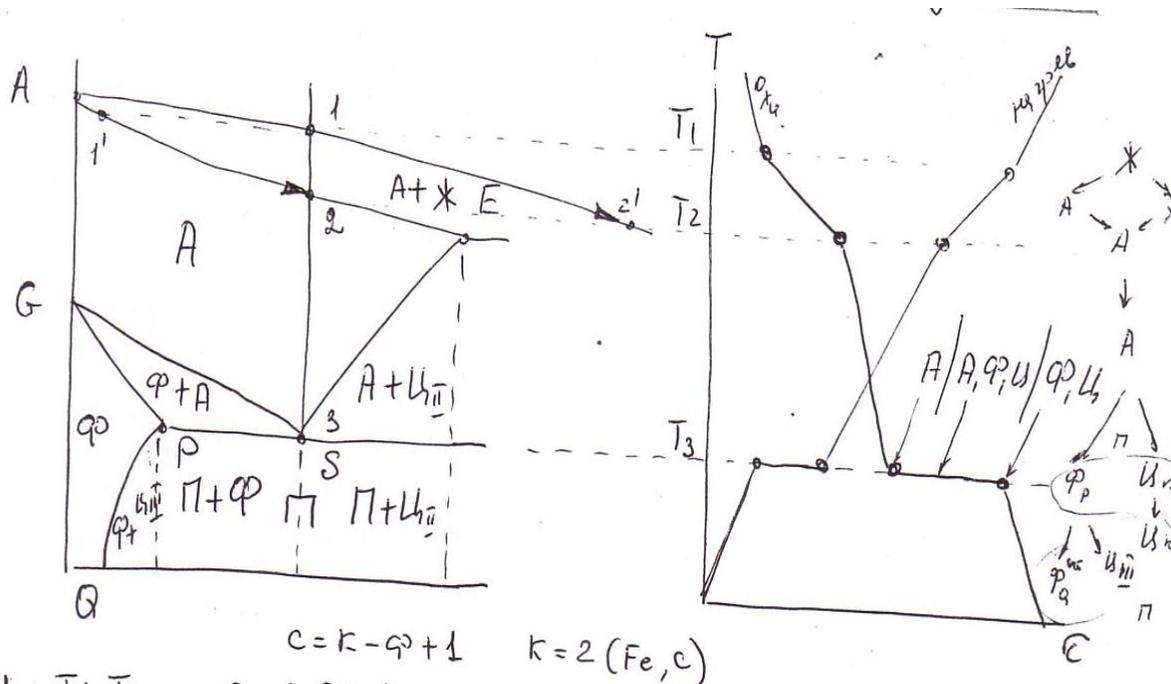
Ледобурит – эвтектическая смесь А и Ц при температурах выше 727°C (L_I) или П и Ц при температурах ниже 727°C (L_{II}). Имеет высокую твердость и хрупкость.

Эвтектоидное превращение происходит при 723°C:



Перлит - упорядоченная эвтектоидная смесь кристаллов $\Phi + Ц$

Превращения при охлаждении эвтектоидного сплава (C=0,8%).



1. $T > T_1$ $\Phi = 1$ (Жр) $C = 2 - 1 + 1 = 2$

2. $T_1 > T > T_2$ $\Phi = 2$ (A, Жр)

$C = 2 - 2 + 1 = 1$

В процессе кристаллизации состав жидкого раствора (содержание C%) меняется по линии ликвидус от 1 до 2', а состав аустенита - от 1' до 2.

Количество каждой фазы при конкретной температуре можно определить по правилу отрезков (третье свойство коноды)

3. $T_2 > T > 723^\circ\text{C}$ $\Phi = 1$ (A), $C = 2 - 1 + 1 = 2$.

Структура аустенита

4. $T = 723^\circ\text{C}$, $\Phi = 3$ (As, Фр, Цк)

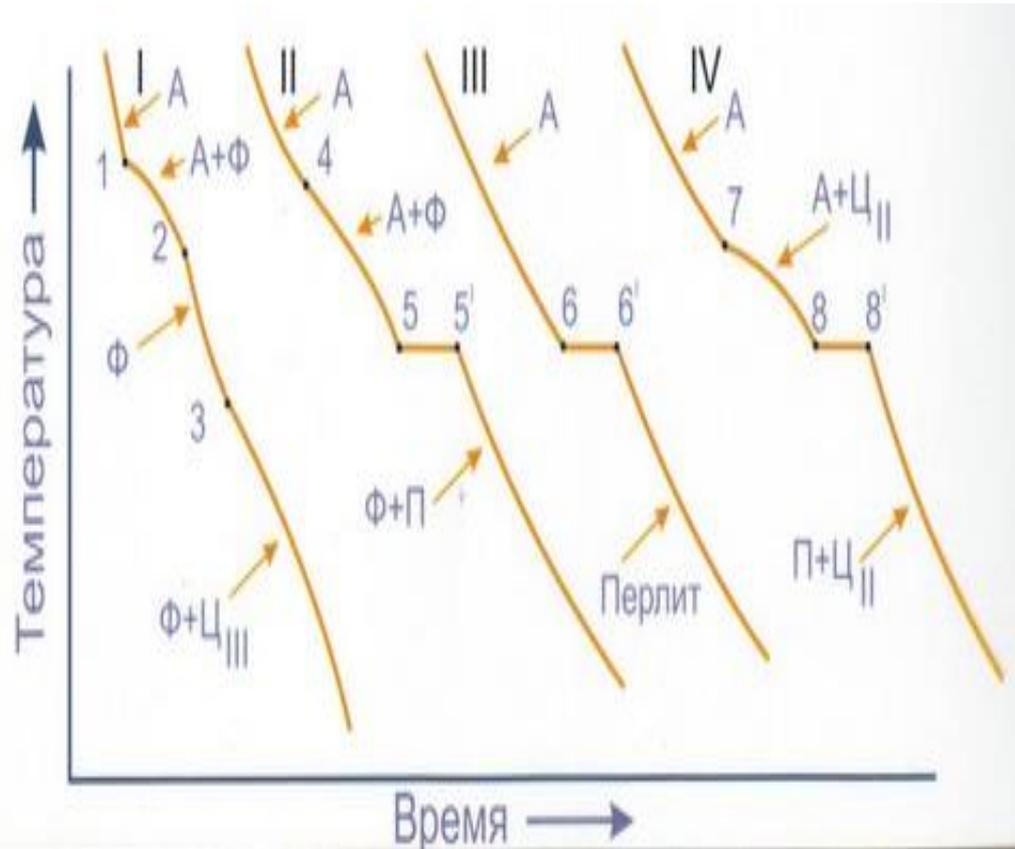
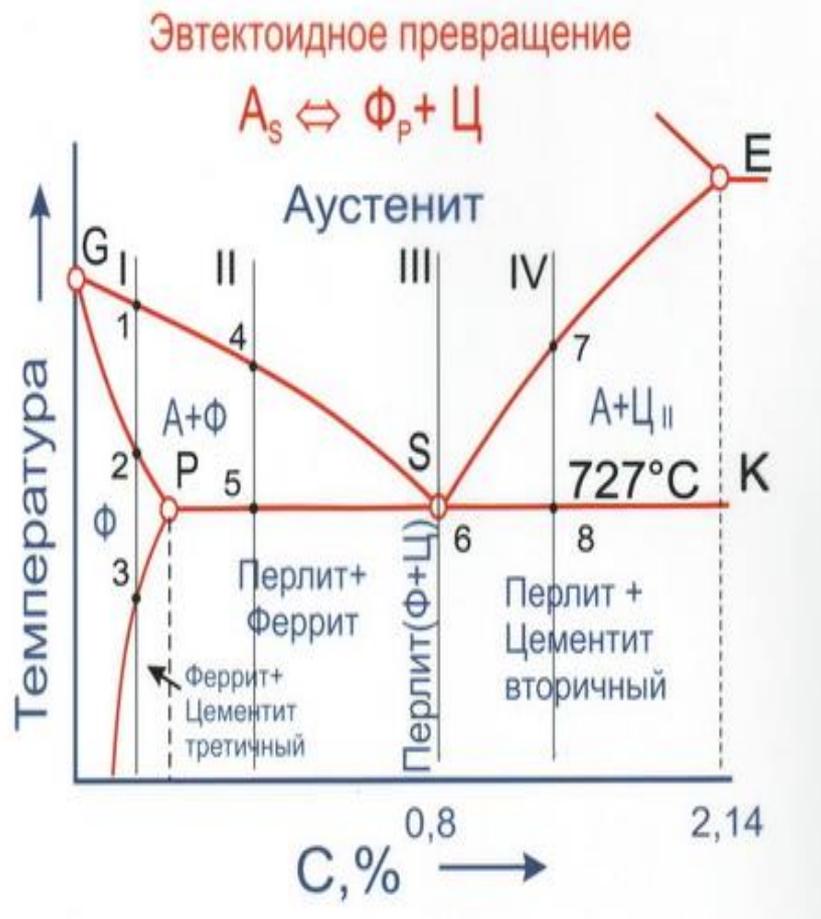
$C = 2 - 3 + 1 = 0$.

Происходит эвтектоидное превращение аустенита в смесь феррита и цементита, которая называется перлитом (П): $As \rightarrow \text{Фр} + \text{Цк}$

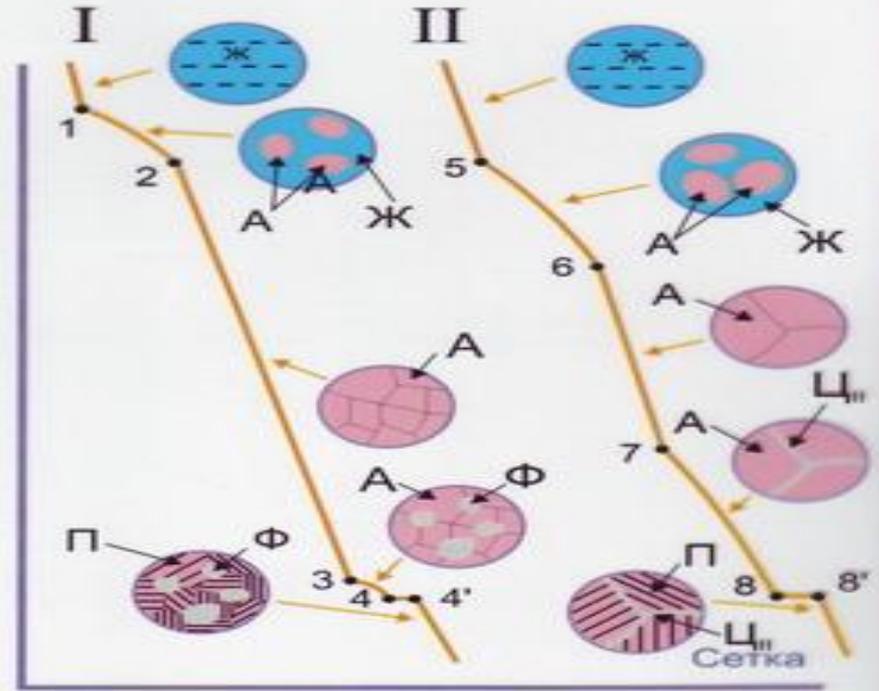
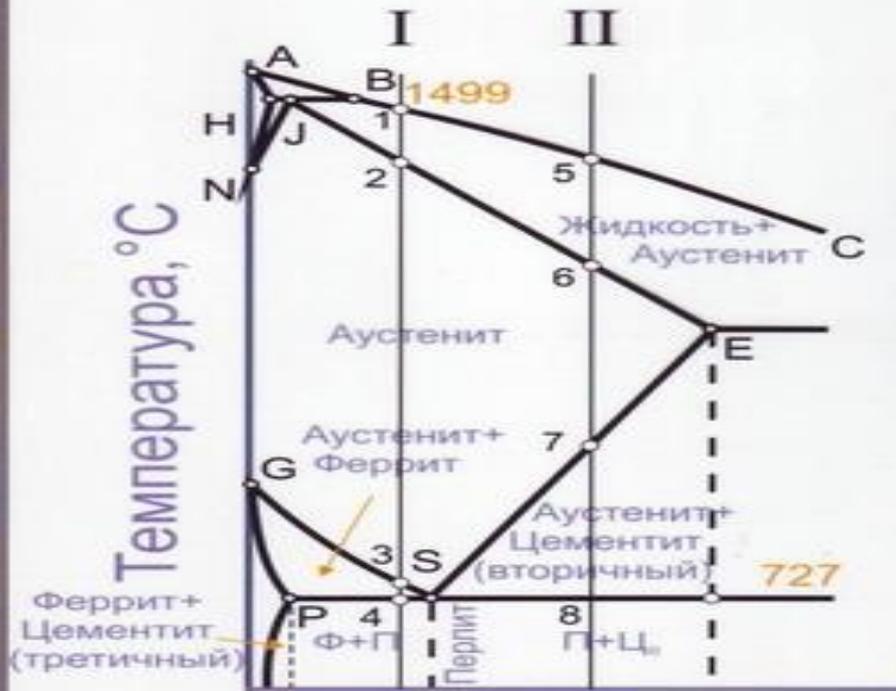
5. $T < 723^\circ\text{C}$ $\Phi = 2$ (Ф, Ц) $C = 2 - 2 + 1 = 1$. Структура – перлит. Содержание углерода в феррите снижается по линии PQ. Избыточный углерод вытесняется на границы зерен и в дефекты кристаллической решетки и переходит в цементит (третичный) $\text{Фр} \rightarrow \text{Ф}_{\text{P} \rightarrow \text{Q}} + \text{Ц}_{\text{III}}$

При Нагреве происходит обратный процесс

Эвтектоидное превращение



ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛЯХ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ



ДОЭВТЕКТОИДНАЯ
СТАЛЬ (40)

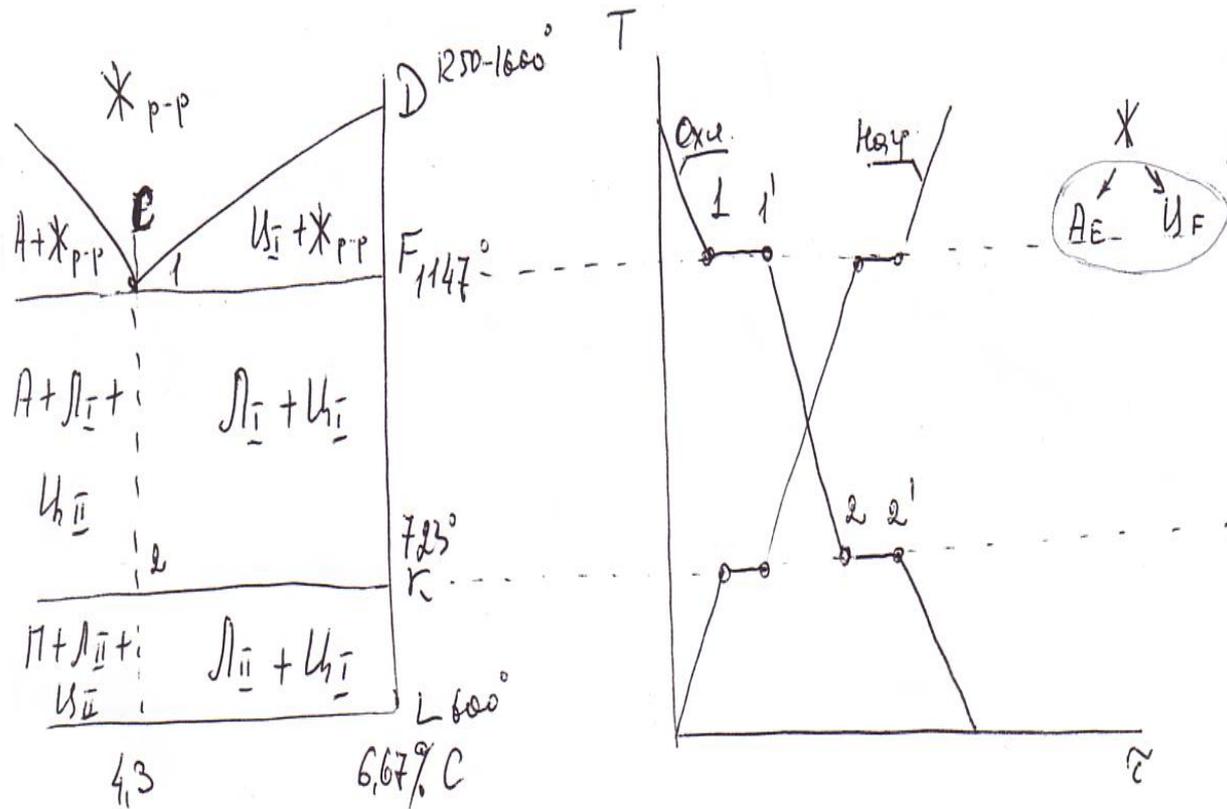


ЭВТЕКТОИДНАЯ
СТАЛЬ (У8)



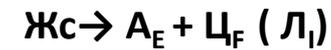
ЗАЭВТЕКТОИДНАЯ
СТАЛЬ (У12)

Преобразования при охлаждении эвтектического сплава (C=4,3%)

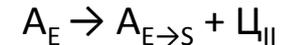


1. $T > 1147^\circ\text{C}$. $\Phi=1$ (Жр), $C=2$

2. $T=1147^\circ\text{C}$. Эвтектическое превращение
 $\Phi=3$ (Жс, АЕ, ЦF). $C=0$.



3. $1147^\circ\text{C} > T > 723^\circ\text{C}$



$\Phi=2$ [А, Ц (ЦF + ЦII)], $C=1$

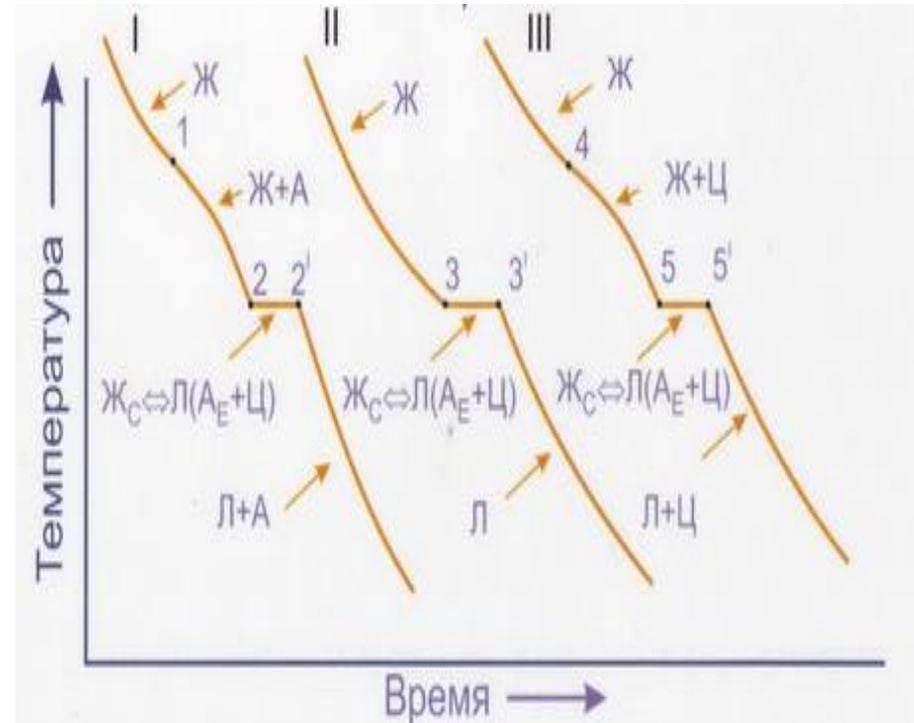
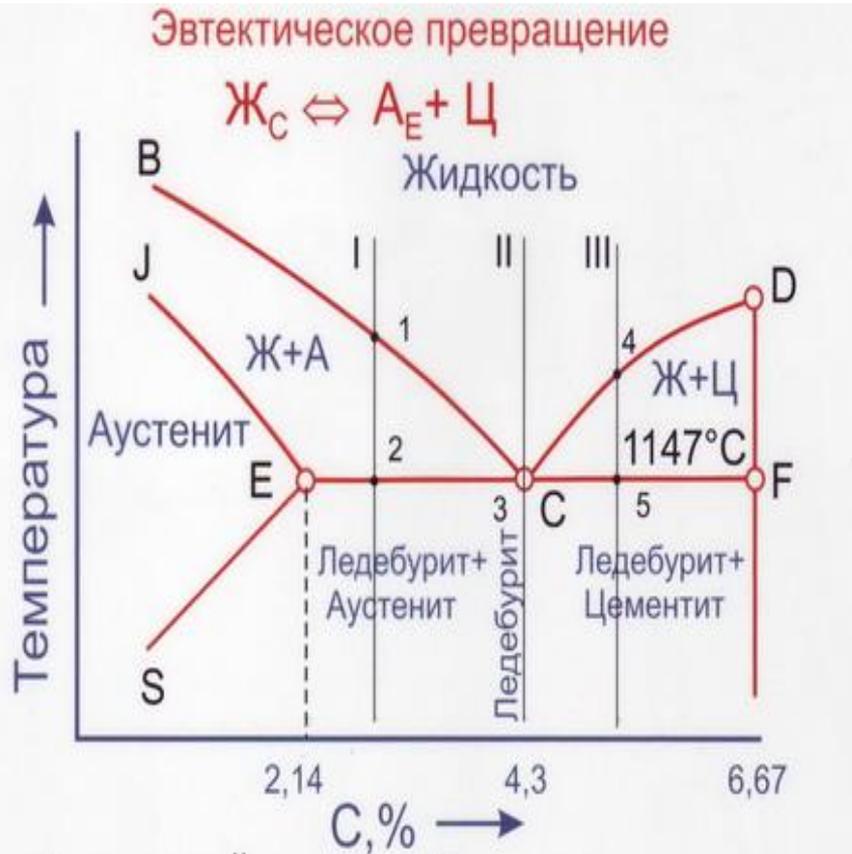
4. $T=723^\circ\text{C}$. Эвтектоидное превращение



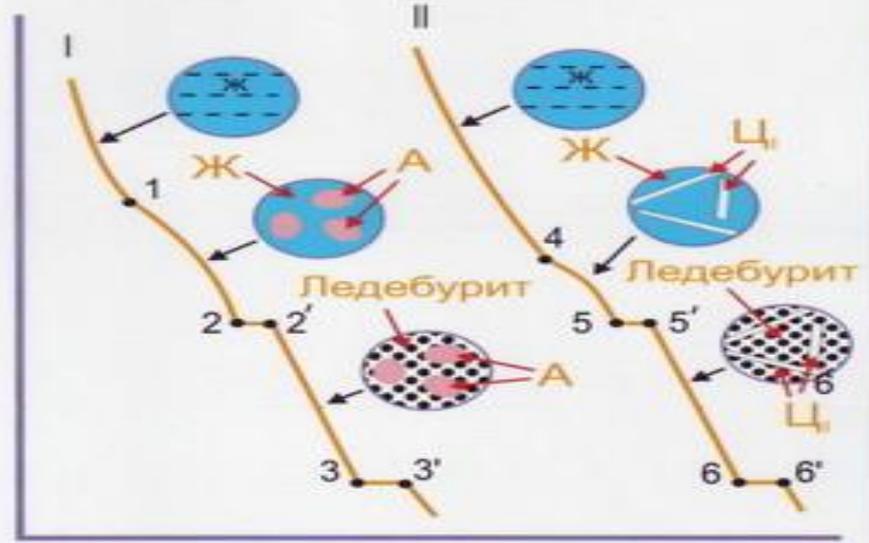
В процессе эвтектоидного превращения весь аустенит перешел в перлит и ледебурит стал состоять из перлита и цементита (П+ЦF). Его называют вторичным ледебуритом (ЛII)

При Нагреве происходит обратный процесс

Эвтектическое превращение



ПРЕВРАЩЕНИЯ В ЧУГУНАХ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ



ДОЭВТЕКТИЧЕСКИЙ ЧУГУН

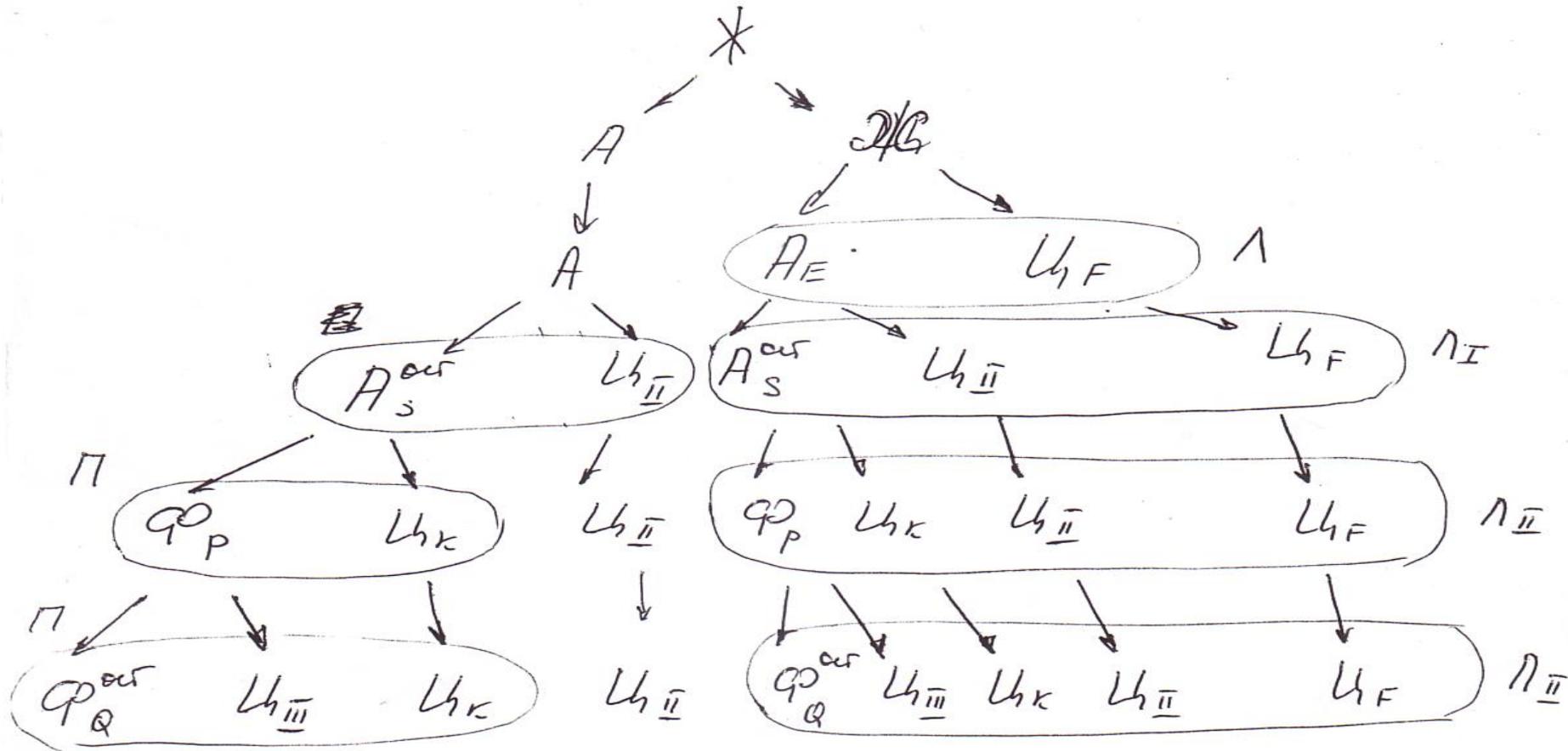


ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ ЧУГУН



ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИЙ ЧУГУН

Цементит в системе Fe-C



- Всего существует 5 видов цементита:
- 1. В интервале $T_D - T_F$ по линии CD выделяется цементит первичный (Ц_I)
- 2. При $T_F = 1147^\circ\text{C}$ – цементит Ц_F
- 3. В интервале $T_F - T_K$ по линии SE выделяется цементит вторичный (Ц_{II})
- 4. При $T_K = 723^\circ\text{C}$ – цементит Ц_K
- 5. В интервале $T < T_K$ по линии OQ выделяется цементит третичный (Ц_{III})

Краткая характеристика сплавов системы Fe-C

- Все сплавы железа с углеродом, которые в результате первичной кристаллизации в равновесных условиях приобретают аустенитную (однофазную) структуру, называются **СТАЛЯМИ**.
- Следовательно, сталь – это железоуглеродистый сплав с содержанием углерода до 2,14% .
- Сплавы, содержащие от 2,14 до 6,67 углерода, называется **ЧУГУНАМИ**.
- Сплавы с содержанием до 0,02% C называются **ТЕХНИЧЕСКИМ ЖЕЛЕЗОМ**.
- В зависимости от содержания углерода, а, следовательно, и структуры углеродистые стали делятся на
 - **ДОЭВТЕКТОИДНЫЕ** ($0,02\% < C < 0,8\%$),
 - **ЭВТЕКТОИДНЫЕ** ($C = 0,8\%$) и
 - **ЗАЭВТЕКТОИДНЫЕ** ($0,8\% < C < 2,14\%$)
- В белых чугунах, названных так по виду излома (светлый, блестящий) весь углерод находится в связанном состоянии – в виде цементита.
- По структуре белые чугуны делятся на
 - **ДОЭВТЕКТИЧЕСКИЕ** ($2,14\% < C < 4,3\%$),
 - **ЭВТЕКТИЧЕСКИЕ** ($C = 4,3\%$) и
 - **ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИЕ** ($4,3\% < C < 6,67\%$).

Углеродистые стали

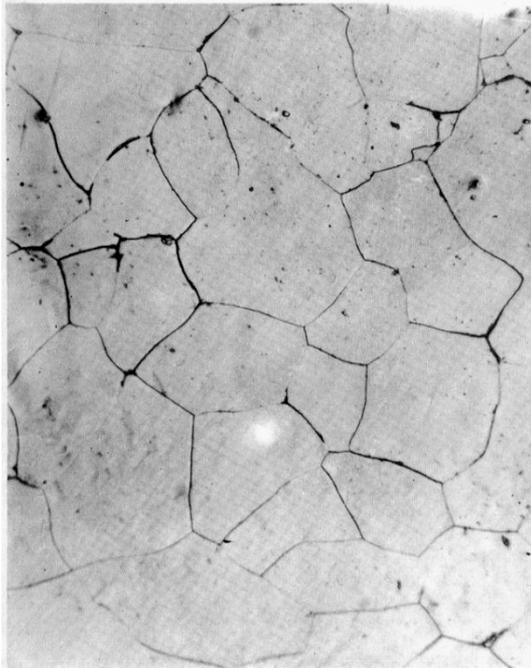
- Углеродистые стали – это сплавы железа с углеродом и другими компонентами при содержании углерода не более 2,14%
- На долю углеродистых сталей приходится 80% от общего объема производимых сталей.
- Это объясняется тем, что эти стали дешевы и сочетают удовлетворительные механические свойства с хорошей обрабатываемостью резанием и давлением.
- Недостатки - высокая критическая скорость закалки и небольшая прокаливаемость.
- Сталь – это сложный по составу железоуглеродистый сплав. В ней содержатся:
- Основные компоненты: Fe – основа; $C \leq 2,14\%$; $Mn \leq 0,8\%$; $Si \leq 0,40\%$
- Вредные примеси: $[S] \leq 0,050\%$; $[P] \leq 0,045\%$; [газы] - [H] [O] [N]
- Сопутствующие элементы и случайные включения: $Cr \leq 0,30\%$; $Ni \leq 0,30\%$; $Cu \leq 0,30\%$

Структура углеродистых сталей .

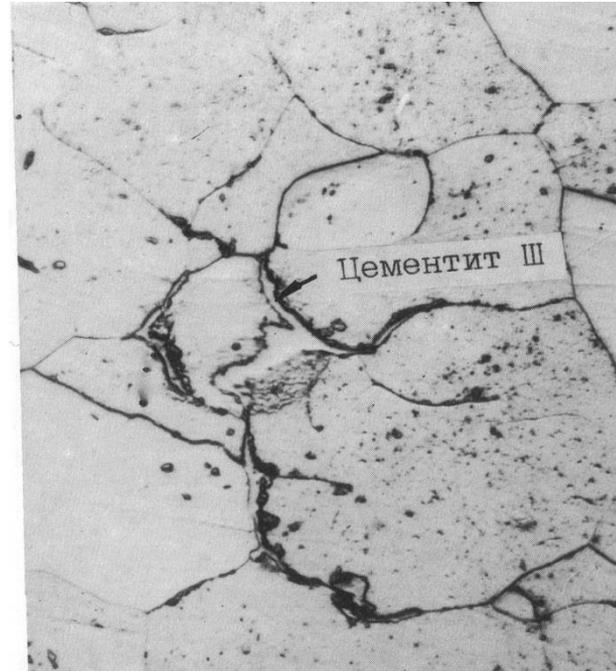
По структуре углеродистые стали подразделяются на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные, а также - техническое железо

Техническое железо

При комнатной температуре сплавы железа с углеродом, в которых углерода не более 0,025% (сплавы 1 и 2) имеют ферритную (Ф) структуру или структуру феррит плюс цементит третичный (Ф+Ц_{III}) и называются **техническим железом** или армко-железом

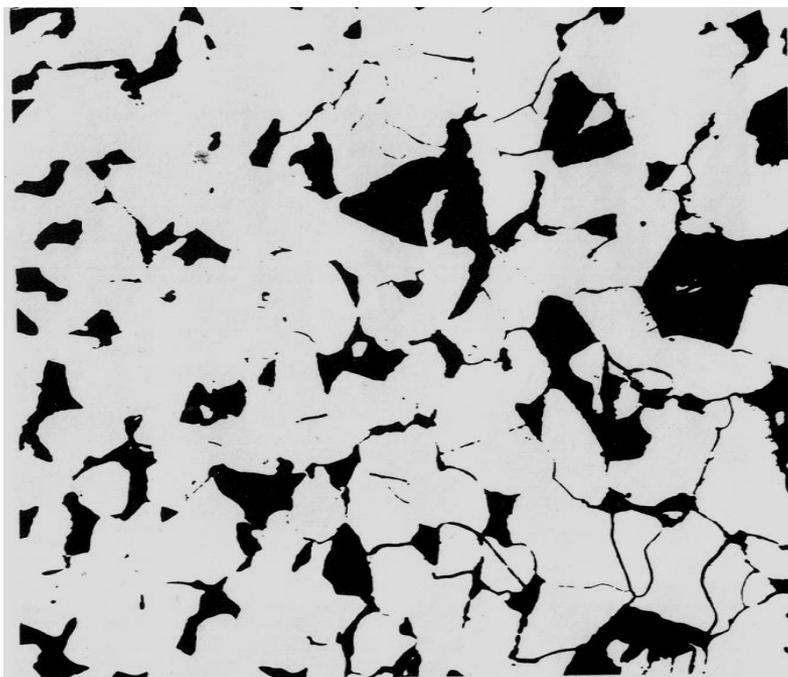
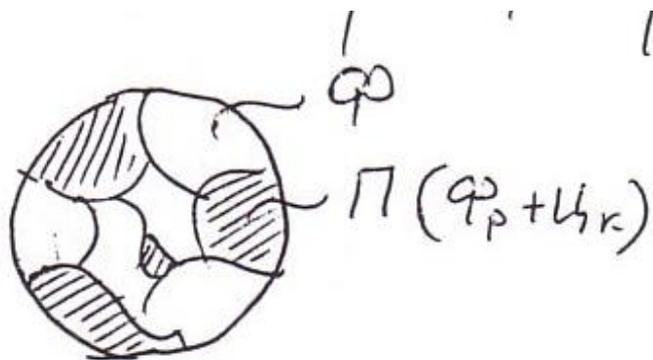


Сплав 1. (Ф)



Сплав 2. (Ф+Ц_{III})

Доэвтектоидные стали



Сплав 3. (Ф+П)

- Сплавы с содержанием углерода от 0,025% до 0,8% имеют структуру феррит плюс перлит (Ф+П) и называются доэвтектоидными сталями (сплав 3).
- $0,025 < C < 0,8\%$.
- Структура – Ф+П (феррит и перлит).
- При увеличении содержания углерода в стали количество феррита уменьшается и он располагается по границам перлитных зерен, образуя сетку.
- $C_{ст} = C_{п} + C_{ф} (\rightarrow 0)$. Поэтому $C_{ст} \approx C_{п}$.
- $\%C_{ст} = F_{п}/100 * 0,8\%$,
- где $F_{п}$ – площадь (%), занятая перлитом.

МИКРОСТРУКТУРЫ ДОЭВТЕКТОИДНЫХ СТАЛЕЙ

Светлые зерна - ферритные, темные зерна пластинчатый перлит



Сталь 10



Сталь 20



Сталь 30



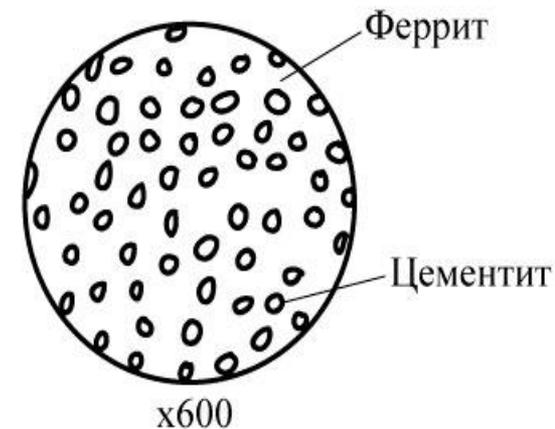
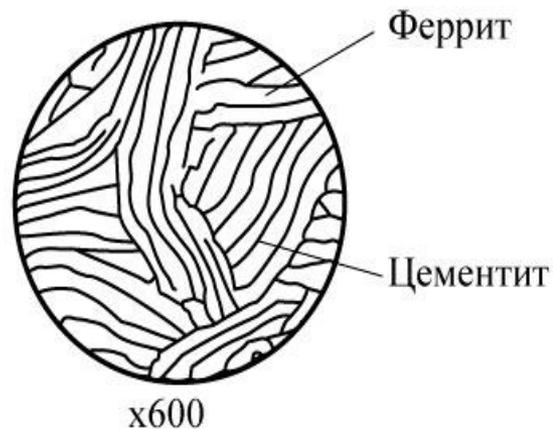
Сталь 40



Сталь 60

Эвтектоидные стали. $C=0,8\%$.

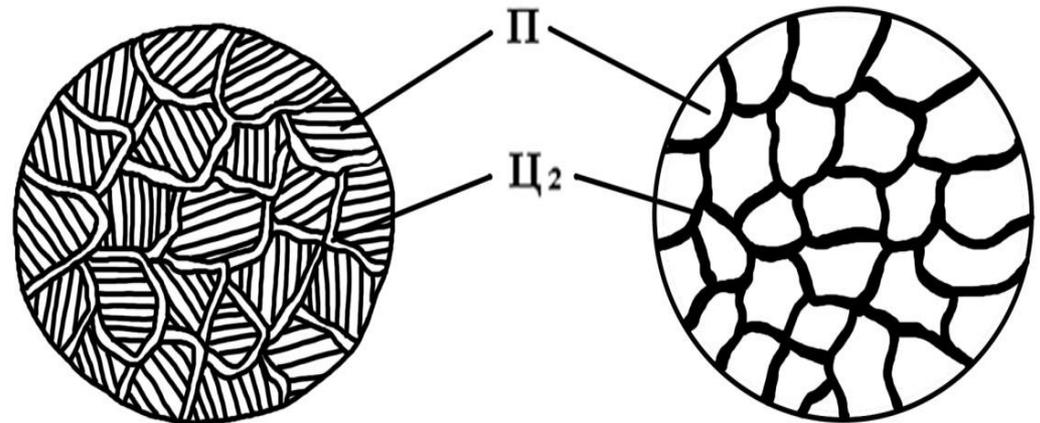
- Сплавы с содержанием углерода близким к $0,8\%$ имеют структуру перлита (П) и называются **эвтектоидными** сталями.
- Перлит в эвтектоидных сталях может быть пластинчатым или зернистым. Микроструктура пластинчатого перлита состоит из пластин цементита и феррита. Микроструктура зернистого перлита состоит из зернистого (глобулярного цементита), равномерно распределенного в ферритной матрице.



Заэвтектоидные стали

Сплавы с содержанием углерода от 0,8% до 2,14% имеют структуру перлит плюс цементит вторичный (П+Ц_{II}) и называются **заэвтектоидными** сталями

С возрастанием содержания углерода повышается количество цементита вторичного по границам зерен и содержании $C \geq 1,0 \dots 1,2\%$ образуется цементитная сетка.



Заэвтектоидная сталь. Слева - травление 4% раствором HNO_3 ; справа - травление пикратом натрия.

МИКРОСТРУКТУРЫ ЗАЭВТЕКТОИДНЫХ СТАЛЕЙ



Сталь У8

Пластинчатый перлит



Сталь У12

Пластинчатый перлит
и цементитная сетка

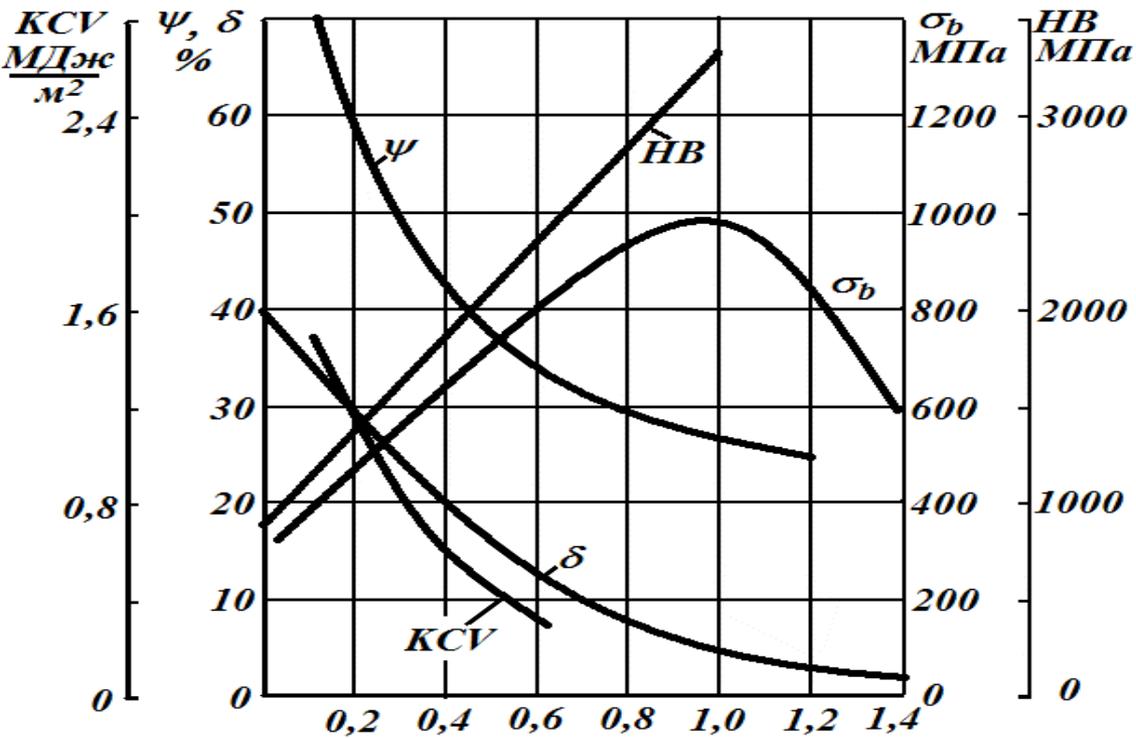


Зернистый перлит

Механические свойства структурных составляющих системы Fe-C

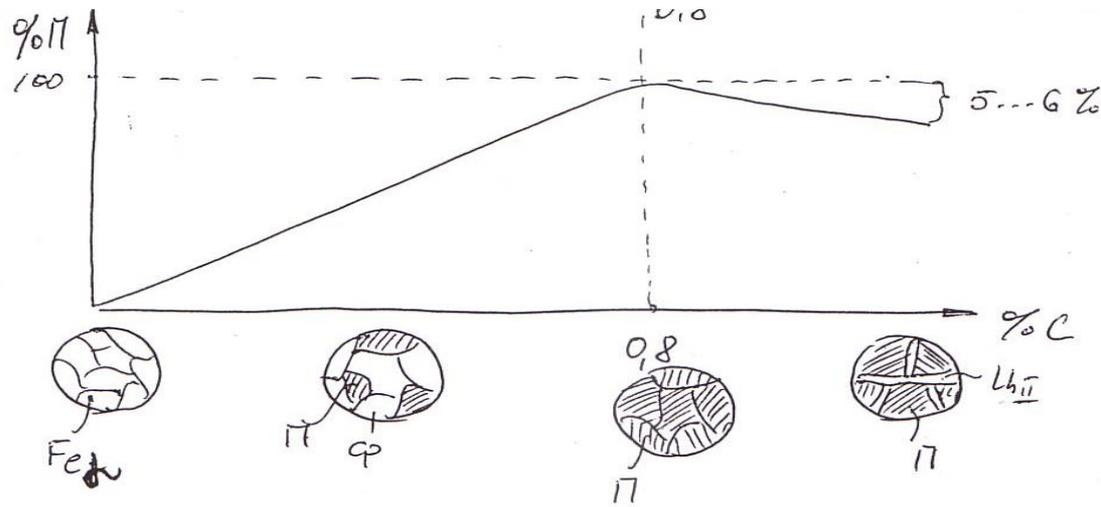
Фаза или структура	Механические свойства				
	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ , %	ϕ , %	НВ, кгс/мм ²
Чистое железо (Ф)	20	10	60-70	90-100	70
Армко железо	25	12	50	85	80
Аустенит	75	Нет данных	60	Нет данных	160...200
Перлит пластинчатый	80	-	10	-	200
Перлит зернистый	65	-	20	-	180
ледебурит	-	-	-	-	>700
цементит	-	-	-	-	800...1000
Мартенсит: C=0,45%	100				>600
C=0,6...0,8	270				≈700

Влияние углерода на механические свойства углеродистой стали

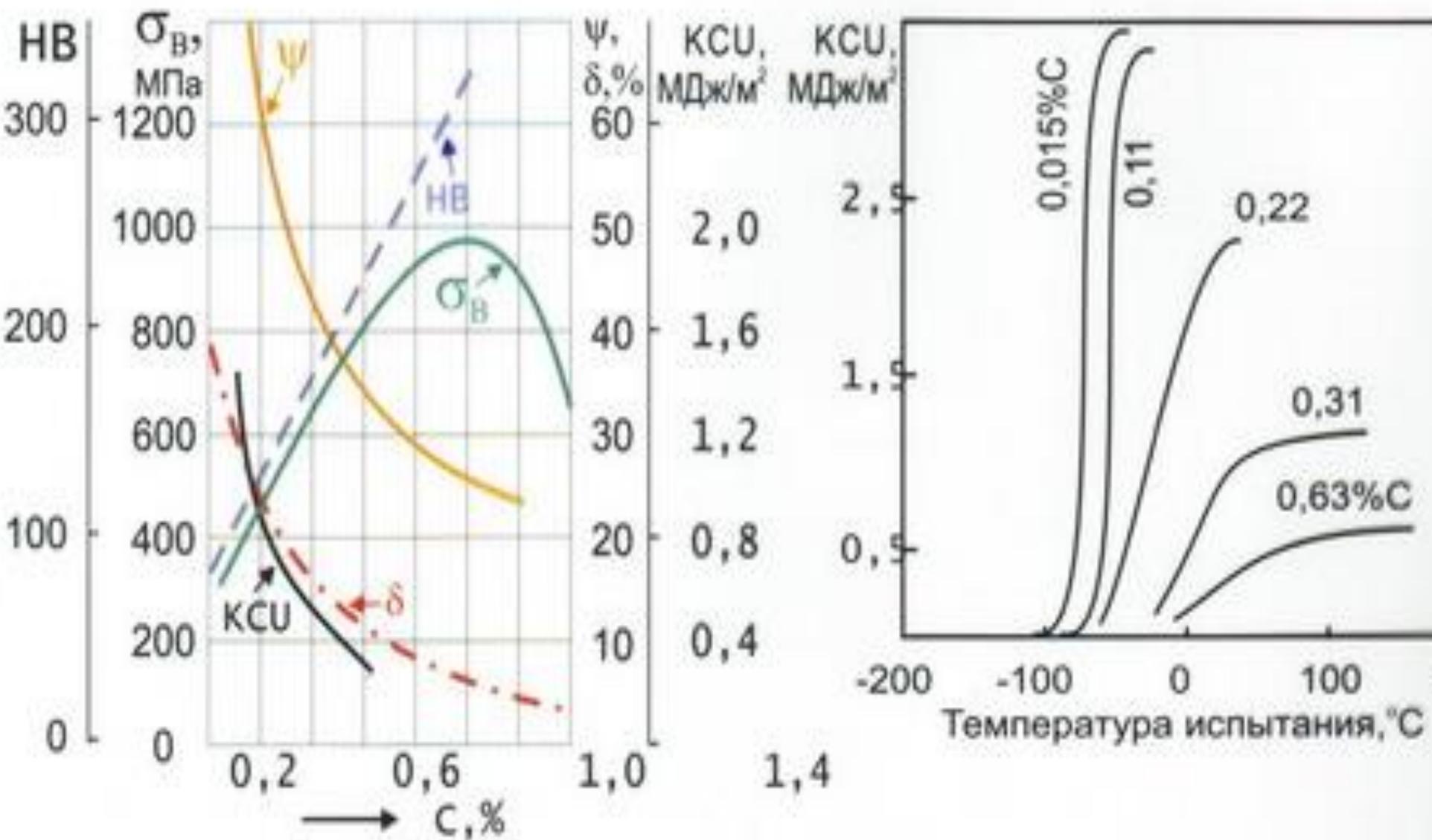


С повышением содержания углерода в стали растет количество цементита, это приводит к повышению прочностных (σ_b, σ_t, HB) и снижению пластических свойств (δ, φ, KCU) свойств.

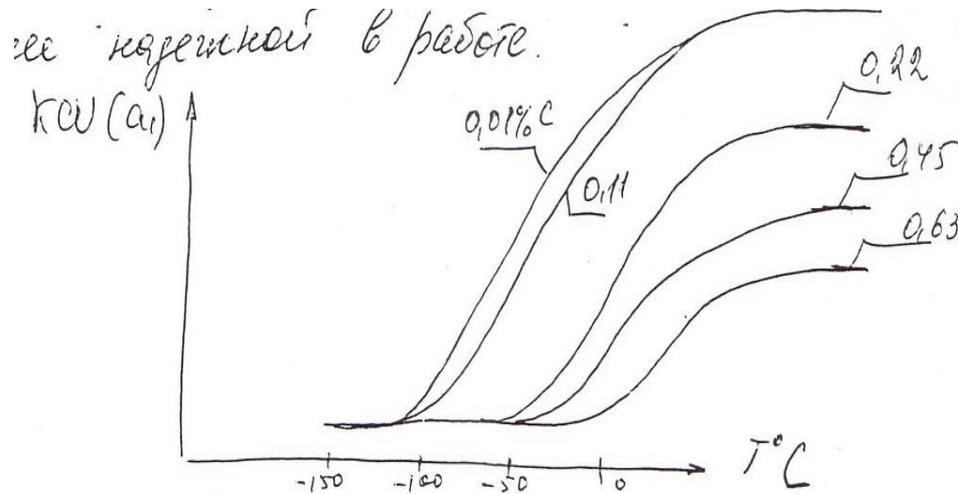
Однако, предел прочности достигает максимума при C ≈ 1%, а далее снижается в результате вредного влияния цементитной сетки (прочной, но хрупкой)



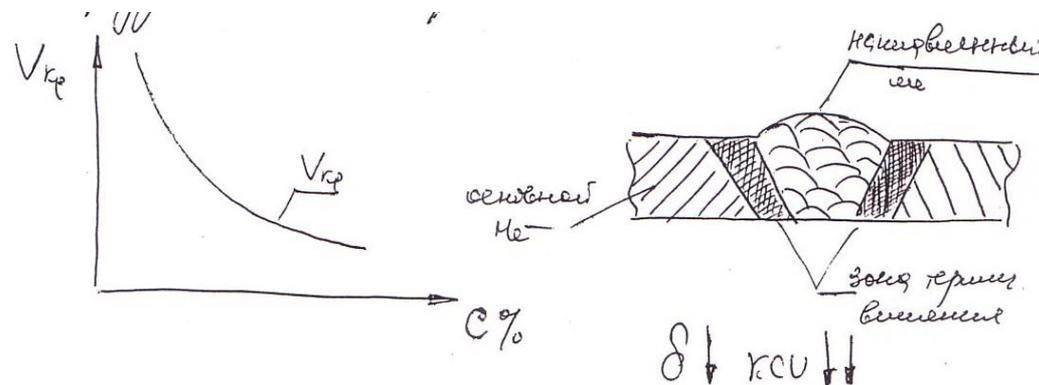
Влияние углерода на свойства стали



Влияние углерода на порог хладноломкости и технологические свойства стали. Влияние Si и Mn



Углерод повышает верхний порог хладноломкости, расширяя температурный интервал перехода стали в хрупкое состояние. Сталь становится менее надежной в работе. При увеличении содержания «С» снижается способность стали деформироваться в горячем и особенно в холодном состояниях. При увеличении содержания «С» свариваемость ухудшается.



«Mn» (0,15...0,8%). Повышает прочность без снижения пластичности. Связывает серу в тугоплавкое соединение MnS ($T_{\text{плавл}} > 1600^{\circ}C$), чем предотвращает красноломкость.

«Si» (0,05...0,40%). Хорошо растворяется в феррите, что повышает прочность и снижает пластичность.

Вредные примеси Классификация сталей по наличию вредных примесей.

№ п/п	Сталь	Содержание, %	
		S	P
1	Обыкновенного качества	$\leq 0,05$ (0,06)	$\leq 0,04$ (0,07)
2	Качественная конструкционная	$\leq 0,035$	$\leq 0,04$
	Качественная инструментальная	$\leq 0,03$	$\leq 0,035$
3	Высококачественная (инструмент)	$\leq 0,02$	$\leq 0,03$
4	Особовысококачественная	$S+P \leq (0,010...0,015\%)$	

«S» (0,02...0,05%) находится в стали в виде сульфидов FeS , MnS.

Сульфиды образуют с железом легкоплавкую эвтектику FeS-S ($T_{пл}=988^{\circ}C$), что приводит к образованию трещин в процессе деформации (ковка, прокатка) при 1000-1200°C. Это явление называется красноломкостью.

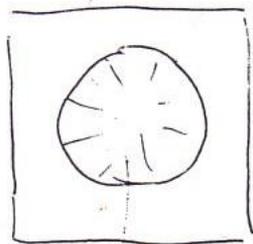
Сера снижает ударную вязкость и пластичность, ухудшает свариваемость и коррозионную стойкость. Сера вызывает явление анизотропии.

Сульфиды находятся в стали в виде глобул. При пластической деформации глобулы вытягиваются и принимают строчечную форму

Фосфор (0,03...0,04%) растворяется в феррите, повышает прочность, порог хладноломкости, понижает пластичность и ударную вязкость

Влияние вредных примесей. Сопутствующие и случайные элементы

- Газы – (H_2 , N_2 , O_2) находятся в виде твердых растворов (растворены в феррите) или в виде соединений (включений) SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , Fe_4N , располагающихся по границам зерен, повышают порог хладноломкости и снижают ударную вязкость. (0,006...0,008%).
- Кислородные включения (окислы, оксиды) вызывают красно-и хладноломкость, снижают прочность.
- Азот вызывает деформационное старение – разрывы при штамповке или образование на поверхности полос скольжения, затрудняющих ее отделку. Сталь упрочняется, становится малопластичной.
- Водород хорошо растворим в жидком металле, и диффундирует в твердом металле. Попадает в микропустоты металла, может собираться в большом количестве и разрывать пустоты (образуя трещины).
- Растворенный водород приводит к образованию флокенов – это тонкие овальные полости с серебристой поверхностью (не окисляются, так как в них присутствует один водород).



микро
трещины

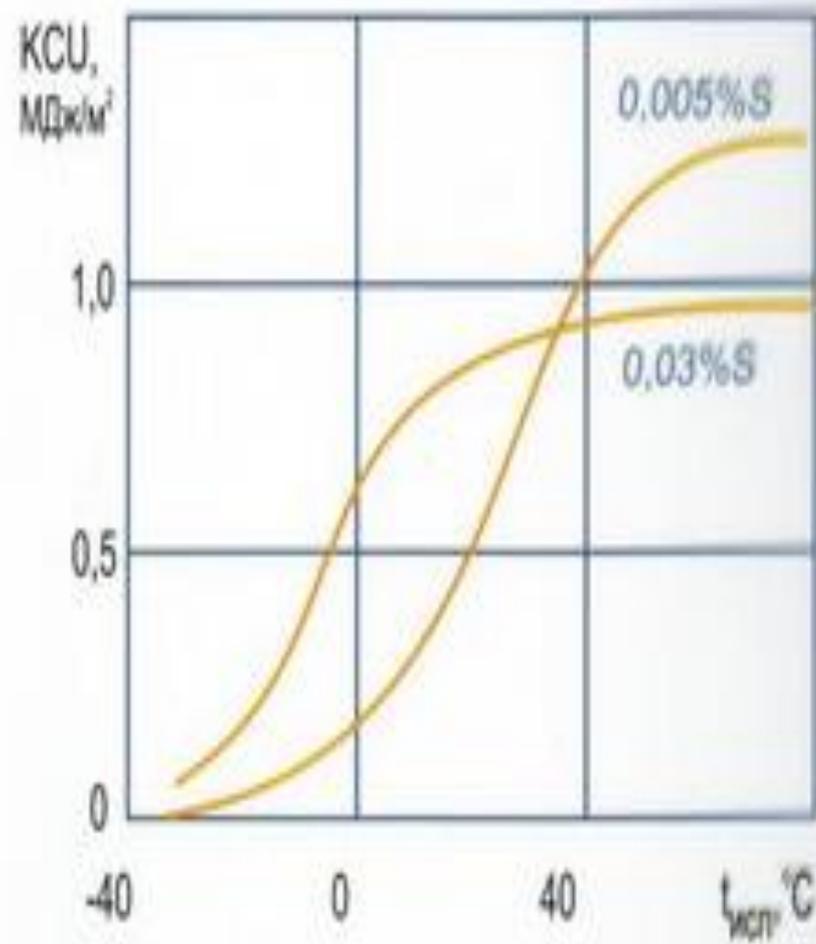
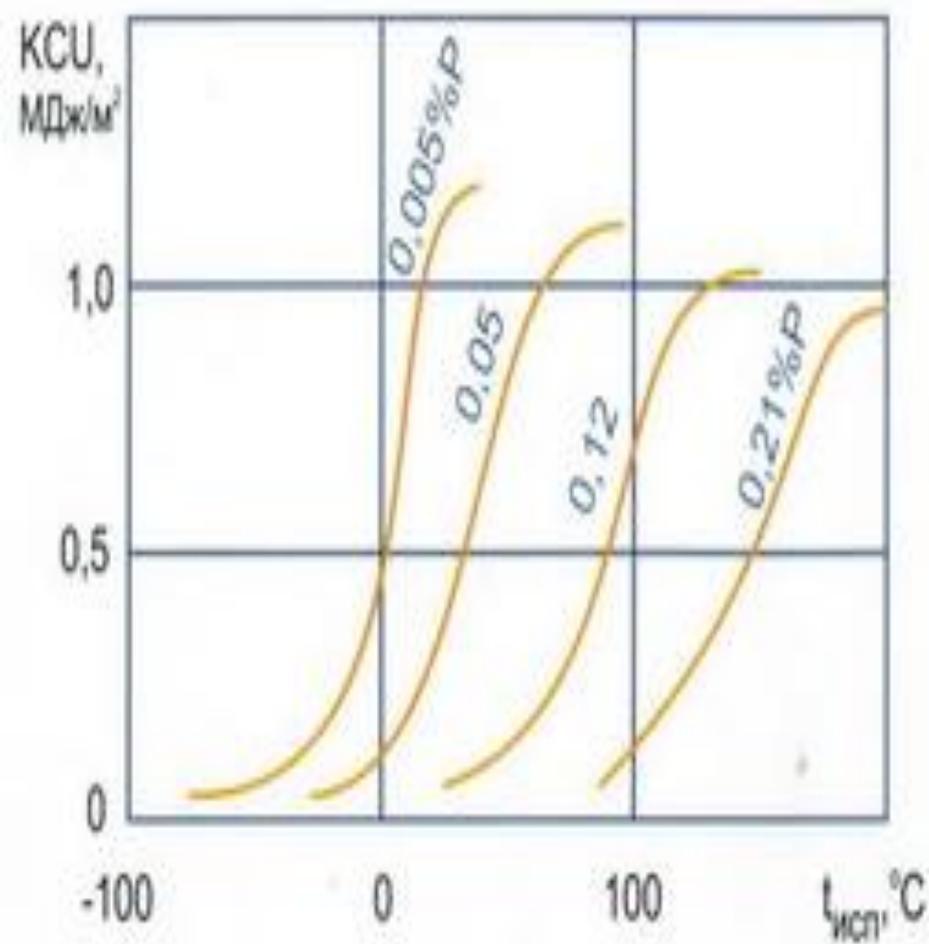
яркое блестящее
металло

Флокены образуются в результате высоких давлений, которые развивает водород, выделяющийся при охлаждении в поры вследствие понижения растворимости.

Ni, Cr оказывают положительное влияние на механические свойства стали. Cu - вызывает красноломкость

Случайные примеси (Sb, Sn, цветные металлы и др) - элементы, попадающие в сталь из вторичного сырья или руд отдельных месторождений. В большинстве случаев оказывают отрицательное влияние на вязкость и пластичность стали

Влияние примесей на свойства стали



Сталь содержит 0,2%С и 1%Mn

Сталь углеродистая обыкновенного качества, ГОСТ 380-88 (с 01.01.91 г)

Применение. Широко применяется для изготовления листового профильного проката, который применяется в строительстве и при изготовлении деталей машин.

Поставка. Поставляется 7 марок от 0 до 6 (ст.0, ст.1, ст.2, ст.3, ст.4, ст.5, ст.6) и трех степеней раскисления. С увеличением номера марки возрастает количество углерода: от 0,06...0,12%С (№1), 0,18...0,22%С (№2) до 0,38...0,49%С (№6)

Раскисление

- Кипящие (кп) - раскисление Mn, ($Si \leq 0,05\%$). Марганец более активно соединяется с кислородом, чем железо. Образовавшийся окисел MnO удаляется в шлак. Образуется несколько рядов пузырей, нет усадочной раковины, пузыри закатываются прокаткой, снижается ударная вязкость.
- Полуспокойные (пс) - раскисление Mn и Si. $Si = 0,05...0,15\%$. Меньше пузырей, есть усадочная раковина.
- Спокойные (сп) – раскисление Mn, Si, Al (Ti). $Si = 0,15...0,3\%$. Без кипения и пузырьков. Окислы MnO и SiO_2 всплывают, но могут в виде шлака остаться и закататься в металл (это – брак). Окисел Al_2O_3 остается в металле.

Пример: Ст.3пс, Ст.4сп, Ст.6кп

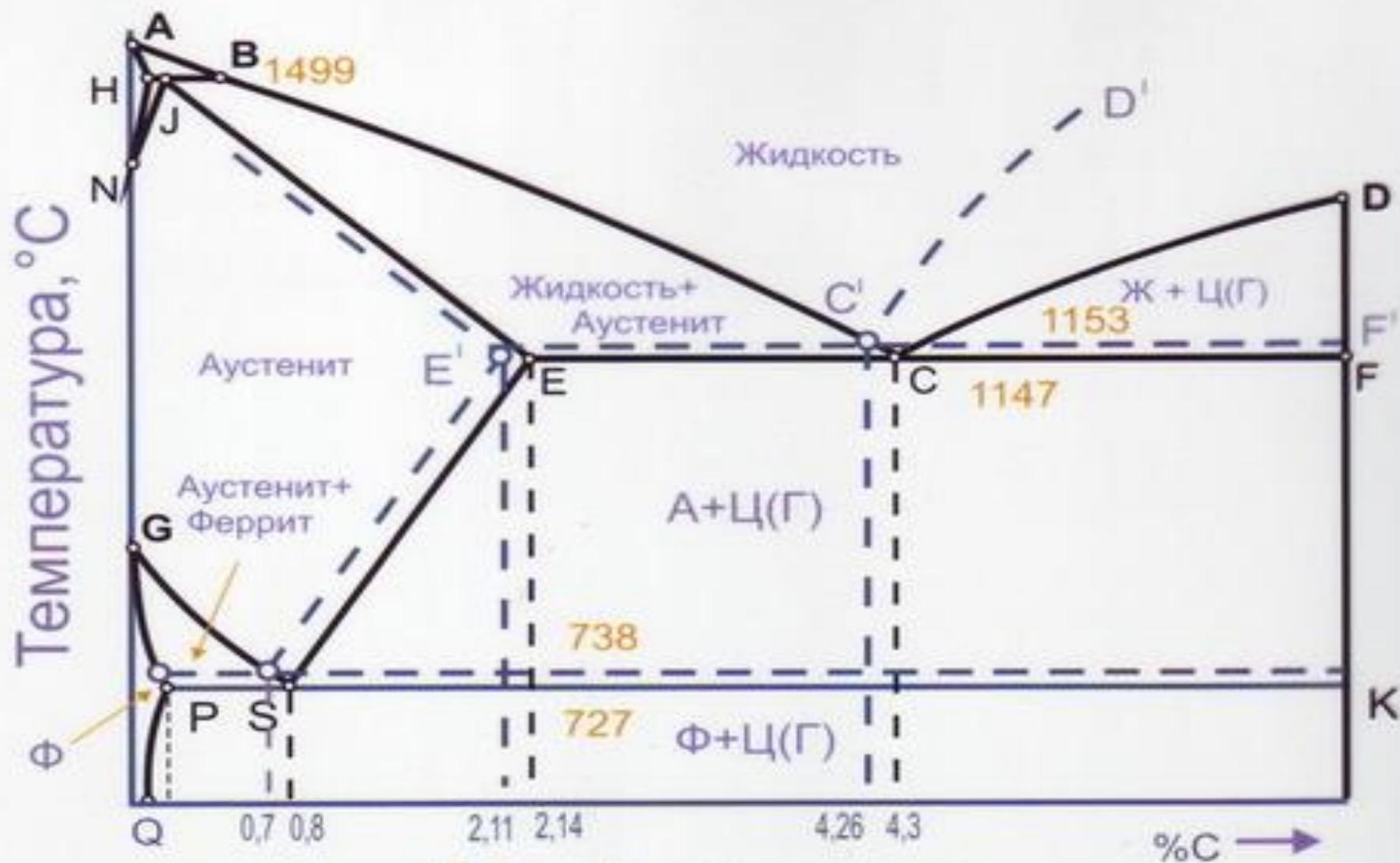
Прокат сортовой, комбинированный со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали по ГОСТ 1050-88

- Поставляется в виде кованого и горячекатаного проката, круглого, шестиугольного, квадратного и прямоугольного (полоса) сечения. Применяется для изготовления деталей машин и механизмов, которые, как правило, подвергаются термической или химико-термической обработке для получения особых свойств в поверхностном слое детали.
- В ГОСТ предусмотрены 22 марки: 7-кп, 4-пс, 11-сп.
- В марке указывается среднее содержание углерода в сотых долях процента (обязательно две цифры) и степень раскисления. Также указывается состояние поставки: без термообработки, термически обработанные (Т) и нагартованные (Н).
- Кипящая сталь поставляется при содержании углерода менее 0,22% (0,24% по верхнему пределу). Сп обычно не указывается
- Примеры: Сталь 05кп, сталь 15пс, сталь 45 (0,45%С)

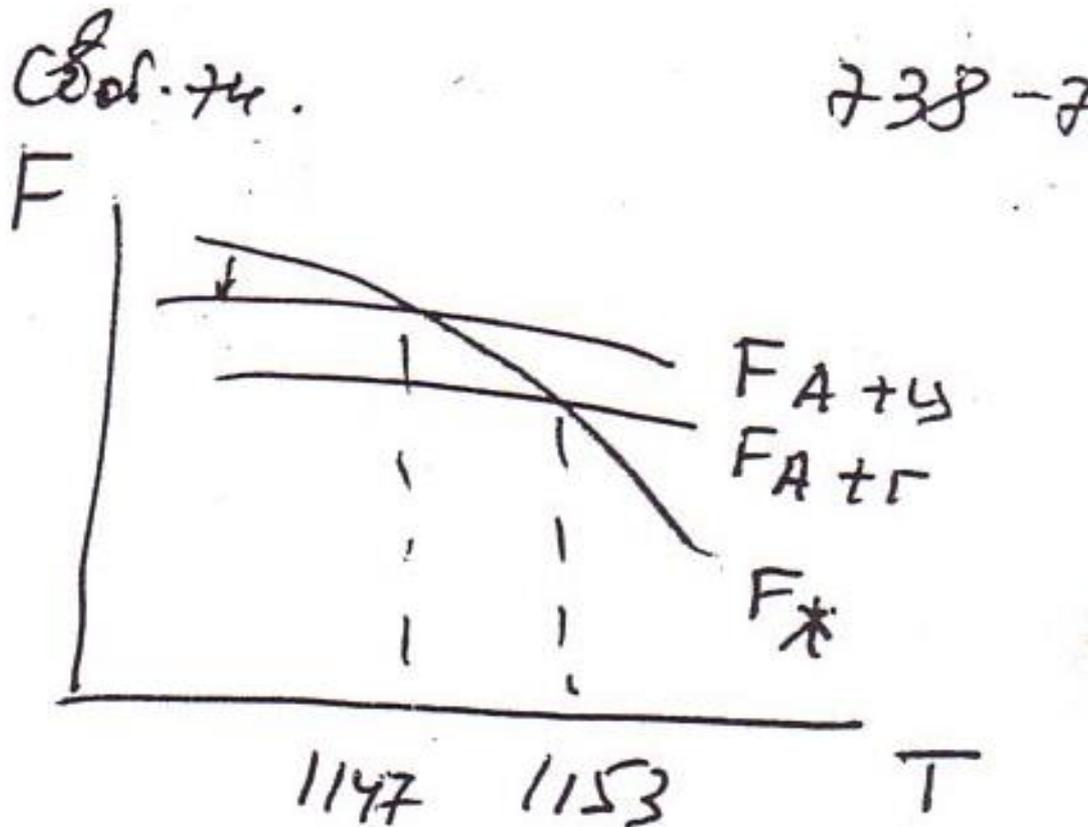
Сталь нелегированная инструментальная, ГОСТ 1435-90

- Используется для изготовления инструмента – зубила, кувалды, пилы. Как правило, подвергается ТО.
- Примеры: У7, У8 У13 - качественные У7 (0,7%С), У13 (1,3%С)
- У7А, У8А.....У13А - высококачественные

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЙ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО - ГРАФИТ



Чугуны. Стабильная и метастабильная диаграмма Fe-C. Классификация чугунов



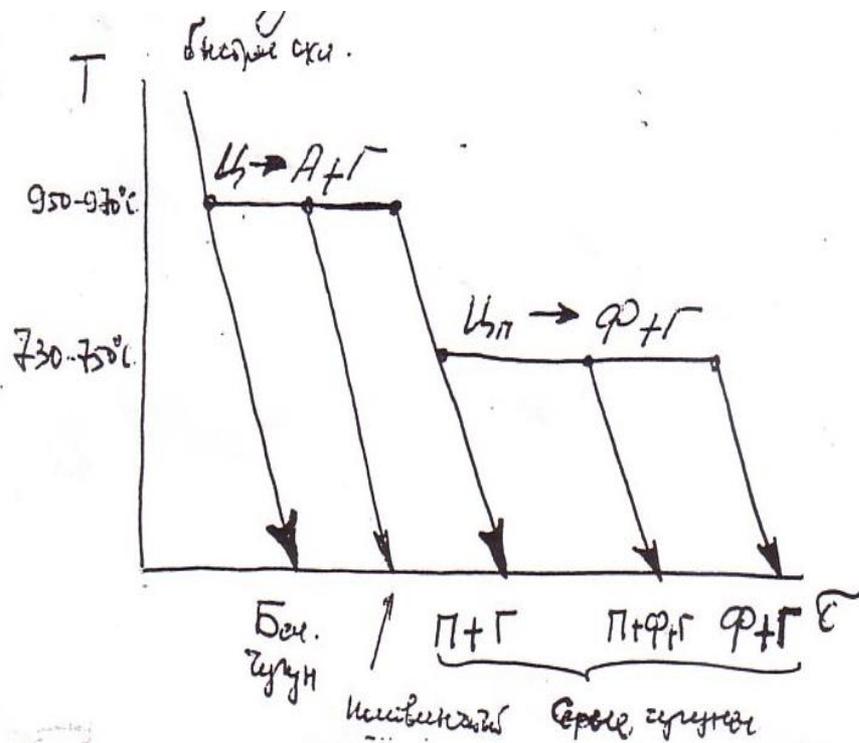
A) по состоянию
углерода

Белые – весь углерод находится в составе Fe_3C

Серые – основная масса углерода находится в виде графита

Половинчатые – углерод находится как в цементите, так и в графите

Классификация чугунов



Б) по типу металлической основы

- Ферритные (армко-железо + графит)
- Феррито-перлитные (феррито-перлитная сталь + графит)
- Перлитные (перлитная сталь + графит)

В) по типу графитных включений

- С пластинчатым графитом (серый литейный)
- С чешуйчатым графитом (модифицированный)
- С шаровидным графитом (высокопрочный)
- С хлопьевидным графитом (ковкий)

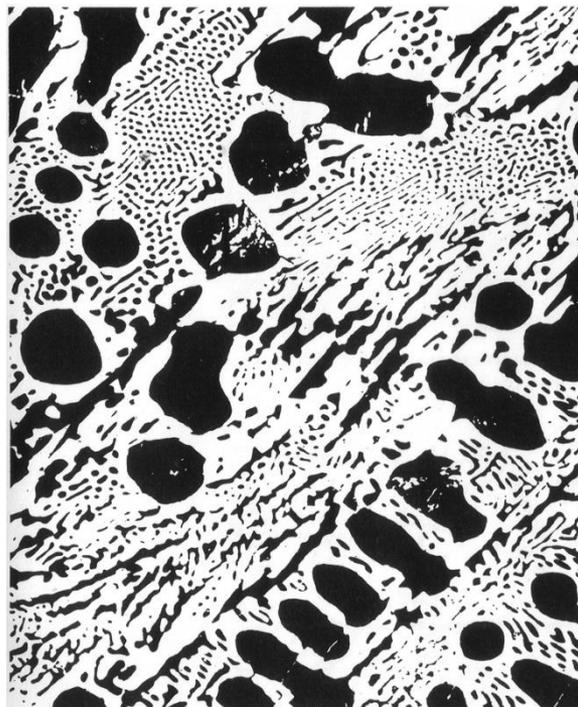
Форма графитных включений определяет пластичность чугуна (таблица)

Форма графита	Пластинчатый	Хлопьевидный	Шаровидный
Относительное удлинение, %	0,2...0,5	5...15	10...22

Микроструктура белых чугунов



а) эвтектический



б) доэвтектический



в) заэвтектический

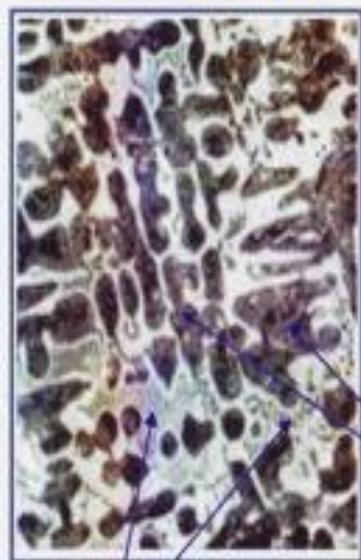
Сплавы, с содержанием углерода 4,3% имеют структуру ледебурит (Л). Их называют эвтектические белые чугуны.

Сплавы, с содержанием углерода от 2,14% до 4,3% имеют структуру перлит, цементит вторичный и ледебурит ($\text{П} + \text{Ц}_{\text{II}} + \text{Л}$), называют доэвтектические белые чугуны.

Сплавы, с содержанием углерода от 4,3% до 6,67% имеют структуру цементит первичный и ледебурит ($\text{Ц}_{\text{I}} + \text{Л}$), называют заэвтектические белые чугуны.

МИКРОСТРУКТУРЫ БЕЛЫХ ЧУГУНОВ

Доэвтектический
белый чугун



Перлит

Ледебурит

Эвтектический
белый чугун



Эвтектика
(ледебурит)

Заэвтектический
белый чугун

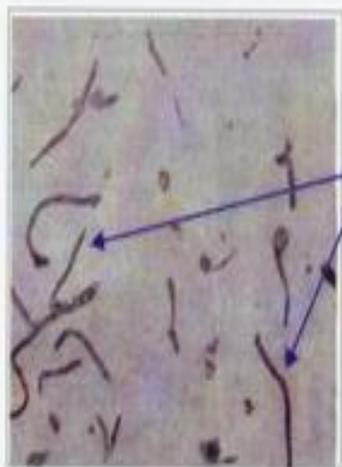


Ледебурит

Цементит
первичный

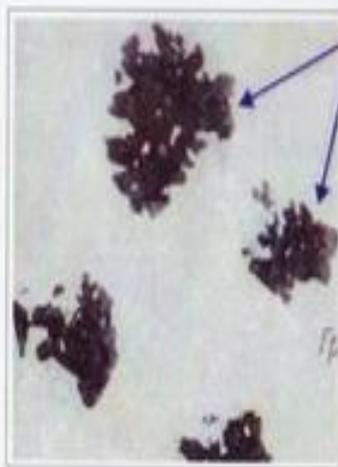
МИКРОСТРУКТУРЫ СЕРЫХ ЧУГУНОВ

Виды включений графита
(Нетравленные шлифы)



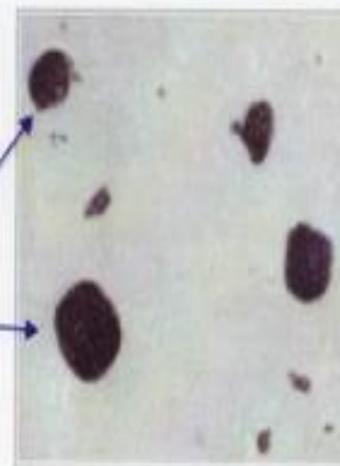
Графит
(пластинчатый)

Серый чугун



Графит
(хлопья)

Ковкий чугун

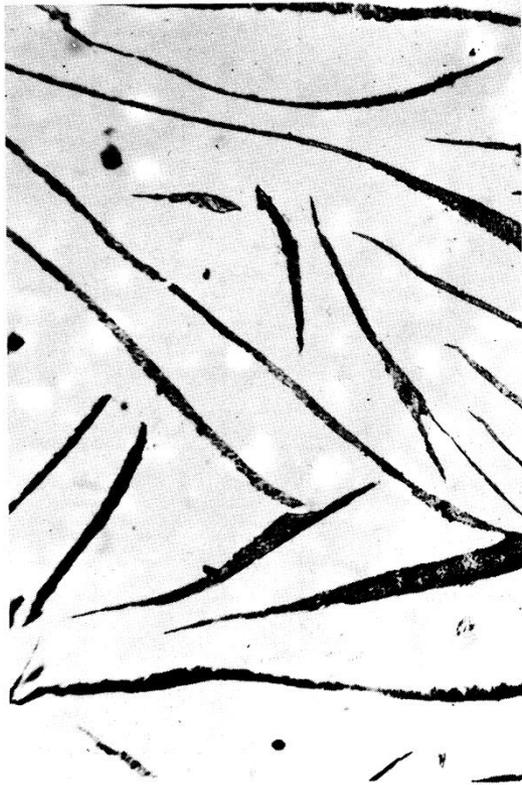


Графит
(сферический)

Высокопрочный
чугун

Микроструктура серых литейных чугунов

Литейный серый чугун является одним из важнейших литейных машиностроительных материалов и характеризуется высокими литейными и удовлетворительными механическими свойствами, хорошей обрабатываемостью резанием, высокой износостойкостью, нечувствительностью к поверхностным дефектам.



Литейный серый чугун на ферритной и феррито-перлитной основе

СЕРЫЕ ЧУГУНЫ

Включения графита имеют форму пластин



Получению серого чугуна способствует:

- повышение содержания кремния
- медленное охлаждение.

Химический состав:

2,9-3,7% C, 1,2-2,6%Si, 0,5-1,1%Mn

Нетравленный шлиф

Серый перлитный



Серый феррито-перлитный



Серый ферритный



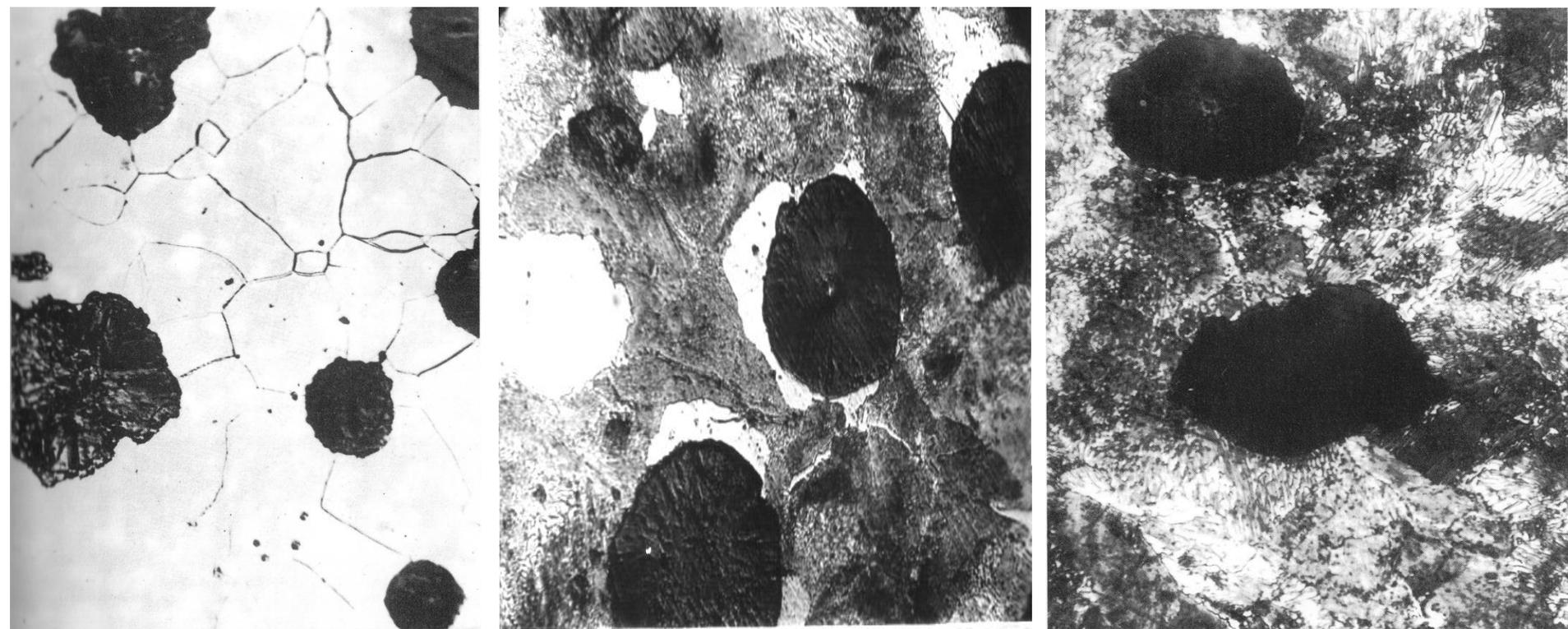
Маркировка серых чугунов

СЧ20

↑ Предел прочности на разрыв (200 МПа)
↑ Серый чугун

Микроструктура серых высокопрочных чугунов

Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. Их получают модифицированием магнием, церием, иттрием, которые вводят в жидкий чугун в количестве 0,02-0,08%. Шаровидный графит является более слабым концентратором напряжений, чем пластинчатый, поэтому обладает более высокой прочностью и некоторой пластичностью



Высокопрочный серый чугун на Ф, (Ф+П) и П основе

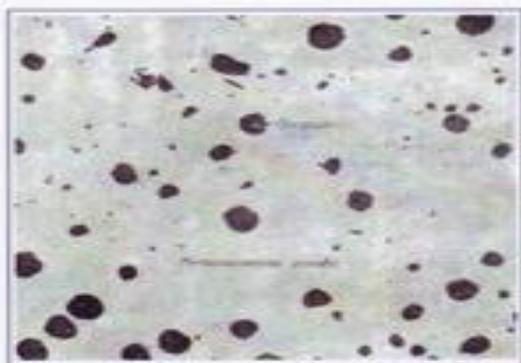
ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ЧУГУНЫ

Включения графита имеют шаровидную форму

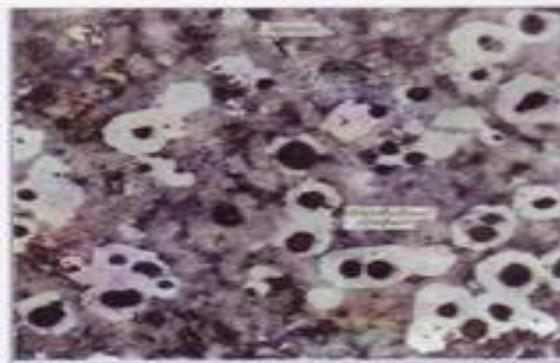
Высокопрочный чугун получают путем модифицирования серого чугуна магнием или церием.

Химический состав: 3.0-4.0% C, 2.5-3.8% Si, 0.2-0.7% Mn, 0.02-0.08% Mg, <0.02% S, <0.1% P

Нетравленный шлиф



Феррито-перлитная основа



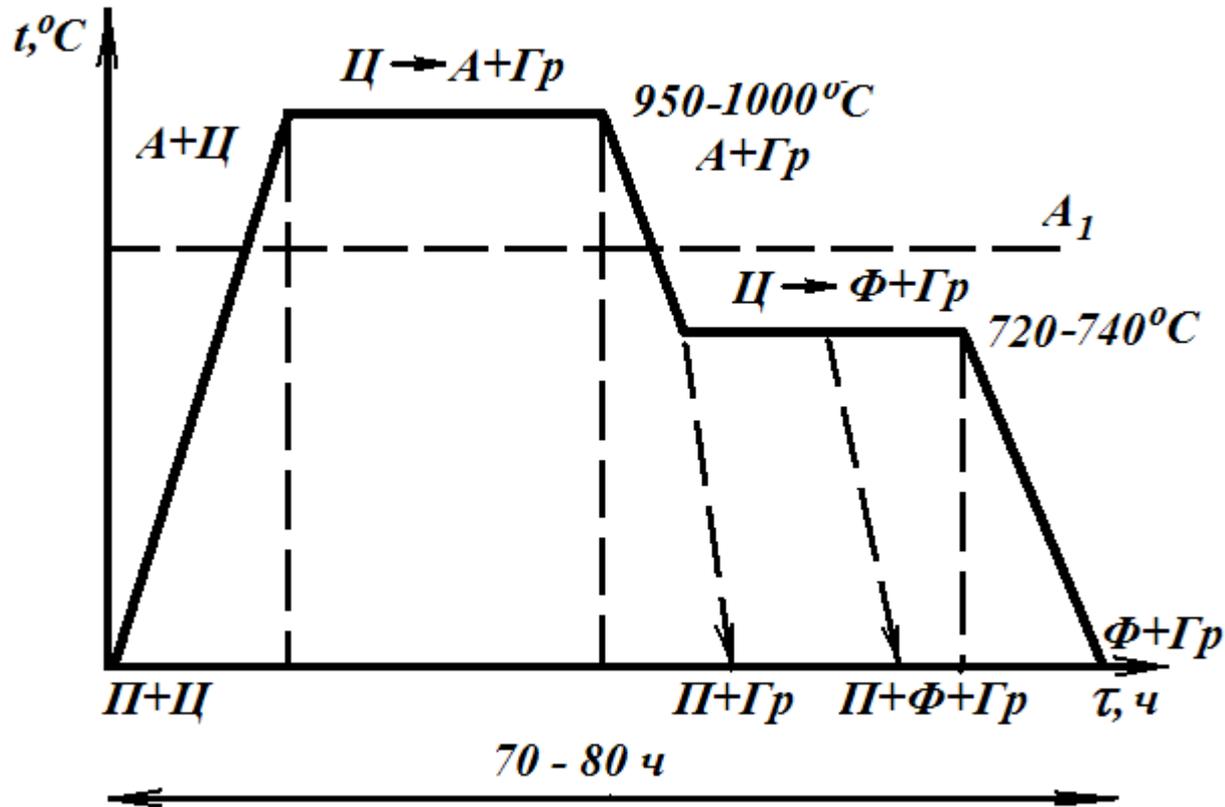
Маркировка высокопрочных чугунов

ВЧ 45

↑ Предел прочности на разрыв (450 МПа)
↑ Высокопрочный чугун

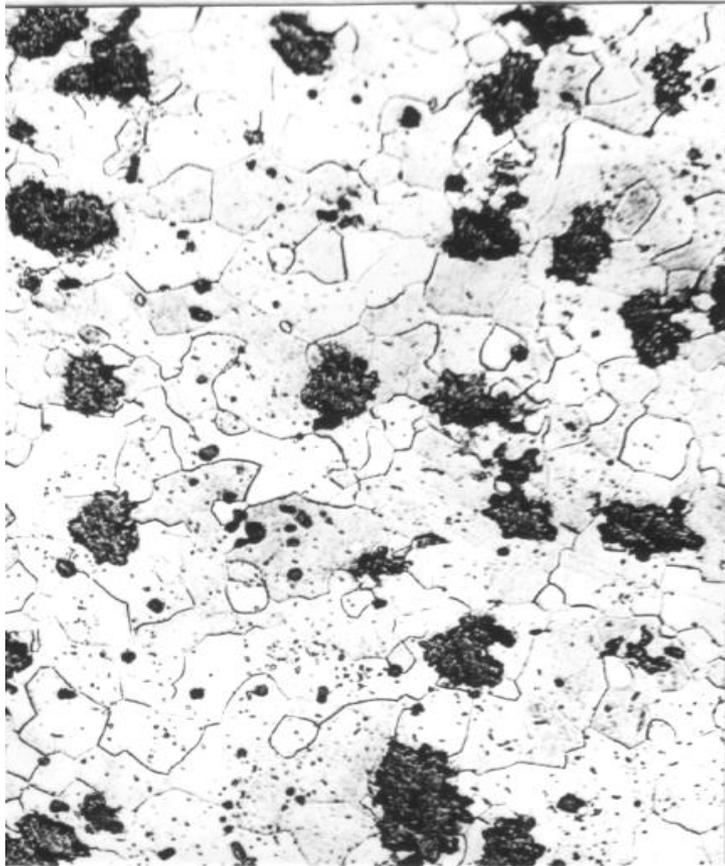
Структура серых чугунов

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают путем специального графитизирующего отжига (томления) отливок из белых доэвтектических чугунов:



Структура серых чугунов

Отсутствие литейных напряжений, снятых во время отжига, благоприятная форма и изолированность графитных включений обуславливают высокие механические свойства ковких чугунов



Ковкий чугун на ферритной и феррито-перлитной основе

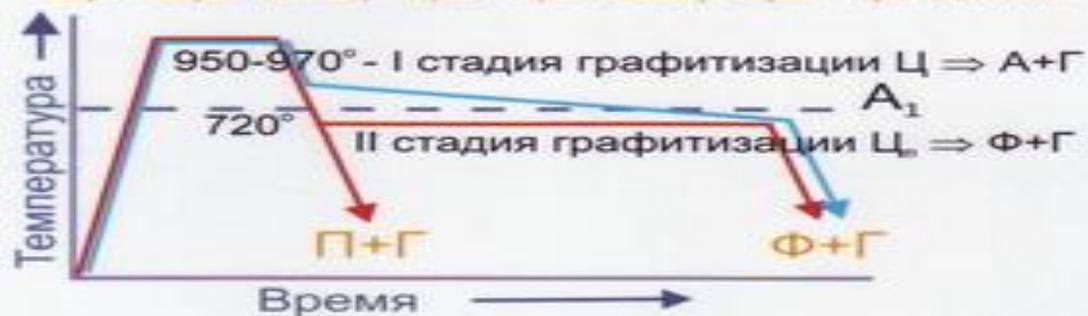
КОВКИЕ ЧУГУНЫ

Включения графита имеют хлопьевидную форму

Ковкий чугун получают путем отжига белого чугуна, содержащего 2,4-2,9% С, 1,0-1,6% Si, 0,2-1,0% Mn



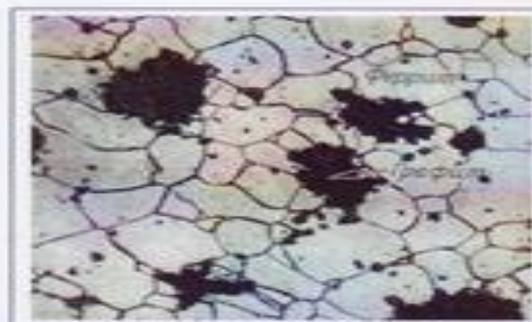
Нетравленный шлиф



Ковкий перлитный



Ковкий ферритный



Маркировка ковких чугунов

КЧ 50-5 ← Относительное удлинение (5%)

↑ ← Предел прочности на разрыв (500 МПа)

↑ Ковкий чугун

Состав чугунов и влияние примесей

- За редким исключением используются серые чугуны. Они содержат углерода $3,8 > C > 2,14$. Нижняя граница определяется литейными свойствами, а верхняя – пластичностью чугуна.
- Кроме углерода в чугунах содержится кремний, марганец, сера и фосфор.
- **Si** (1,0...2,9%) способствует процессу графитизации, так как уменьшает растворимость углерода в гамма-железе, что ведет к смещению критических точек E и C влево. (Si=0% - эвтектика при C=4,3%; Si=4%, эвтектика при C=3,1%)
- **Mn** (0,2...1,1%) затрудняет графитизацию и способствует отбеливанию.
- **S** (0,02...0,15%) сильно тормозит процесс графитизации и увеличивает размер графитных пластинок, ухудшает механические и литейные свойства.
- **P** (0,02...0,3%) не влияет на процесс графитизации. Повышенное содержание фосфора улучшает литейные свойства (используется для художественного литья)

Серый литейный чугун

- Маркировка - СЧ σ в (кг/мм²).
- Выпускается марок СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25.
- Металлическая основа обеспечивает прочность и износостойкость, а графит улучшает обрабатываемость резанием и антизадирные свойства.
- Чугуны малочувствительны к внешним концентраторам напряжений, так как имеют много внутренних.
- СЧ10 и СЧ15 используются для изготовления малоответственных деталей, таких, как: корпуса крышек, кожухи, колонны, плиты с толщиной стенки до 15 мм. СЧ15 - для труб, арматуры, работающих под давлением $R_u < 200 \text{ кг/см}^2$, при толщине стенки $S \leq 10 \text{ мм}$.
- СЧ18 ($S=10 \dots 20 \text{ мм}$), СЧ 20 ($S \leq 30 \text{ мм}$), СЧ 25 ($S \leq 40 \text{ мм}$) – для отливки ответственных деталей: шкивы, зубчатые колеса, станины, суппорты станков, блоки цилиндров, тормозные барабаны...

Модифицированный чугун (Гост 1412-85)

- СЧ30 (S до 60 мм), СЧ35 (S до 100 мм).
- По металлической основе – перлитные, используются для отливки рам дизелей, штампов, малых коленчатых валов, распредвалов.
- Ограничивается содержание серы и фосфора $S \leq 0,2\%$; $P \leq 0,12\%$
- Измельчение графитных включений получают путем добавления перед разливкой при $T \approx 1400^\circ\text{C}$ 0,3...0,8% модификаторов (ферросилиций и феррокальций).
- Для снятия внутренних литейных напряжений 80...90% отливок отжигают при $T = 500 \dots 570^\circ\text{C}$, в течение 3...10 часов, охлаждение вместе с печью.
- Взамен отжига можно выполнить естественное старение в течение 6...10 месяцев, при этом остаточные напряжения снимутся на 40...50%

Высокопрочный чугун (ГОСТ 7293-85)

- Шаровидная форма графита достигается путем добавления в процессе разливки 0,03...0,07% магния (или церия). Высокопрочный чугун не уступает в прочности литой углеродистой и даже легированной стали. Имеет хорошие литейные свойства, износостойкость (графит является твердой смазкой) и способен гасить вибрации.
- Маркировка - $S\sigma_{в(растяжение)}$ (кг/мм²). Выпускается от ВЧ 35 до ВЧ100
- Используется для изготовления коленчатых валов («Волга», «Камаз» - легированием хромом в количестве 4%), крышки цилиндров ДВС, деталей станочного кузнечно-прессового и металлургического оборудования, работающих в условиях трения при нагрузке до 100 кг/мм²

Ковкие чугуны Гост 1215-79

- Ковкий чугун получается из белого чугуна путем графитизирующего отжига (томления).
- Используется для мелких деталей сложной формы, где требуется прочность, вязкость и хорошая обрабатываемость (детали автотракторной промышленности и сельхозмашиностроения).
- Ограниченное применение обусловлено сложностью изготовления отливки, ограниченными размерами сечений (до 30...40 мм), так как при больших сечениях невозможно получить белый чугун по всей толщине сечения и длительностью термической обработки.
- Маркировка: Ферритные - КЧ30-6, КЧ 33-8, КЧ 35-10, КЧ 37-12. Феррито-перлитные – КЧ45-7, КЧ50-5. Перлитные – КЧ55-4, КЧ 60-3, КЧ65-3, КЧ80-1,5

Белые чугуны

- Имеют высокую твердость и практически не обрабатываются резанием. Используются для изготовления деталей с высокой твердостью и износостойкостью поверхности (тормозные колодки, шары мельниц и т.п.)