

**ГУМРФ им адмирала С.О. Макарова**

**Кафедра технологии материалов и  
материаловедения**

# **Железо и сплавы на его основе**

- 3.1. Классификация и маркировка сталей
- 3.2. Структура и свойства углеродистых сталей
- 3.3. Легирование сталей
- 3.4. Чугуны

Составитель – доцент кафедры ТМиМ Богданова Н.В.

## **3.1. Классификация и маркировка сталей**

- 3.1.Классификация и маркировка сталей
- 3.2.Структура и свойства углеродистых сталей
- 3.3.Легирование сталей
- 3.4.Чугуны

# 3.1. Классификация и маркировка сталей

## Классификация сталей

### I. По составу:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Углеродистые                          | 2. Легированные                        |
| 1.1. Малоуглеродистые ( $<0,3\%C$ )      | 2.1. Низколегированные ( $<3\%ЛЭ$ )    |
| 1.3. Среднеуглеродистые ( $0,3-0,7\%C$ ) | 2.2. Среднелегированные ( $3-10\%ЛЭ$ ) |
| 1.4. Высокоуглеродистые ( $>0,7\%C$ )    | 2.3. Высоколегированные ( $>10\%ЛЭ$ )  |

### II. По качеству (по сумме вредных примесей):

1. Сталь обыкновенного качества:  $S < 0,050\%$   $P < 0,040\%$
2. Качественная сталь:  $S < 0,040\%$   $P < 0,035\%$
3. Высококачественная сталь (А):  $S < 0,025\%$   $P < 0,025\%$
4. Особо высококачественная сталь (АА):  $S < 0,015\%$   $P < 0,025\%$

### III. По степени раскисления (по % остаточного Si):

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| 1. Кипящая (КП)       | $<0,05\%Si$     |
| 2. Полуспокойная (ПС) | $0,05-0,15\%Si$ |
| 3. Спокойная (СП)     | $0,15-0,35\%Si$ |

# Классификация сталей

## IV. По назначению:

1. Конструкционные
  - 1.1. Строительные
  - 1.2. Машиностроительные
2. Инструментальные
  - 2.1. Для режущих и мерительных инструментов
  - 2.2. Для штампов
3. Особого назначения
  - 3.1. Нержавеющие
  - 3.2. Жаропрочные
  - 3.3. Жаростойкие
  - 3.4. Теплоустойчивые
  - 3.5. Хладостойкие
  - 3.6. Радиационностойкие

## V. По прочности:

- |                               |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| 1. Стали нормальной прочности | $\sigma_B < 1000$ МПа      |
| 2. Стали повышенной прочности | $\sigma_B = 1000-1500$ МПа |
| 3. Высокопрочные стали        | $\sigma_B > 1500$ МПа      |

чистое железо  $\sigma_B = 50$  МПа

технически чистое железо  $\sigma_B = 250$  МПа

# Классификация сталей

## VI. По микроструктуре:

### 1. Углеродистые – в равновесном состоянии (отожженные)

- 1.1. Доэвтектоидные ( $<0,8\%C$ )
- 1.2. Эвтектоидные ( $0,8\%C$ )
- 1.3. Заэвтектоидные ( $0,8-2,1\%C$ )

### 2. Легированные – в нормализованном состоянии

- 2.1. Ферритные
- 2.2. Перлитные
- 2.3. Аустенитные
- 2.4. Мартенситные
- 2.5. Ледебуритные

# Конструкционные стали

Конструкционными называются стали, предназначенные для изготовления деталей машин механизмов и конструкций. Они должны обладать высокой конструктивной прочностью, под которой понимают комплекс механических свойств, обеспечивающих надежную работу материала в условиях эксплуатации.

По химическому составу конструкционные стали подразделяются на:

углеродистые

легированные

низколегированные (содержат не более 2,5% легирующих элементов)

среднелегированные (содержат от 2,5 до 10% легирующих элементов)

высоколегированные (содержат более 10% легирующих элементов)

По назначению конструкционные стали подразделяются на:

- строительные,
- машиностроительные,
- стали с особыми свойствами.

К группе машиностроительных относятся улучшаемые легированные стали, цементуемые легированные стали, подшипниковые стали, пружинные стали и др.

Группу сталей с особыми свойствами составляют коррозионностойкие, жаростойкие, жаропрочные стали и др.

# Углеродистые конструкционные стали.

Они делятся на два класса:

- стали обыкновенного качества;
- качественные стали.

## 1. Углеродистые стали обыкновенного качества

Их маркируют буквами **Ст** и цифрами 0,1,2,3,4,5 и 6, определяющими их химический состав.

марка стали	Ст 0	Ст 1	Ст 2	Ст 3	Ст 4	Ст 5	Ст 6
содержание С, %	не более 0.23	0.06-0.12	0.09-0.15	0.09-0.15	0.14-0.22	0.28-0.37	0.38-0.49
$\sigma_B$ , МПа	не менее 310	320-340	340-440	380-490	420-540	500-640	600-670
$\delta$ , % не менее	20	31	29	23	21	17	12

В зависимости от условий раскисления различают стали: спокойные "сп", полуспокойные "пс" и кипящие "кп".

Например: Ст 2сп, Ст 2пс, Ст 2кп.

Концентрация марганца в сталях - 0.25 - 0.80 %.

Концентрация кремния в кипящих, полуспокойной и спокойной сталях не более 0.05 %, 0.05 - 0.15 % и 0.15 - 0.30 %, соответственно.

Допустимое содержание фосфора и серы - 0.04 и 0.05 %, соответственно.

В некоторых сталях допускается повышенное содержание марганца до 1,1 - 1,2 % . Тогда в маркировку добавляется буква **Г**.

Например: Ст 3Гсп.

# Углеродистые конструкционные стали.

## 2. Углеродистые качественные стали

По содержанию углерода они подразделяются на  
**низкоуглеродистые** (менее 0.25% C)  
**среднеуглеродистые** ( 0.3 - 0.5% C)  
**высокоуглеродистые** (0.6 - 0.8% C)

Стали содержат 0.35 - 0.80% Mn, 0.17- 0.37% Si.  
Содержание примесей S < 0.04% и P < 0.035%.

**Маркировка:** стали маркируют двумя цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Состав стали и их свойства после нормализации.

марка стали	08	10	20	30	40	50	60	70
содержание C, %	0.05-0.12	0.07-0.14	0.17-0.24	0.27-0.35	0.37-0.45	0.47-0.55	0.57-0.65	0.67-0.75
$\sigma_T$ , МПа	200	210	250	300	340	380	410	430
$\sigma_B$ , МПа	330	340	420	500	580	640	690	730
$\delta$ , %	33	31	25	21	19	14	12	9
$\psi$ , %	60	55	55	50	45	40	35	30

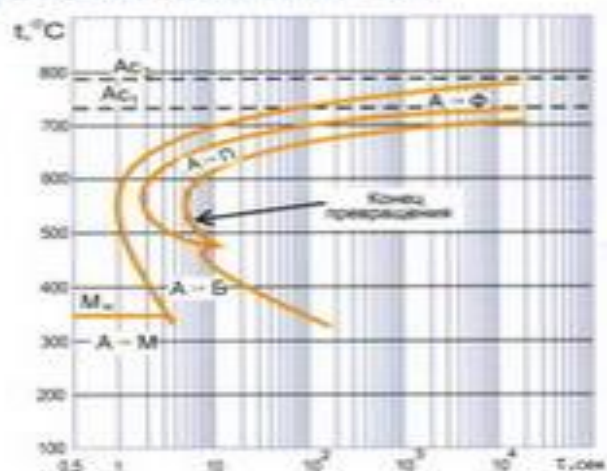


# Термическая обработка качественных углеродистых сталей

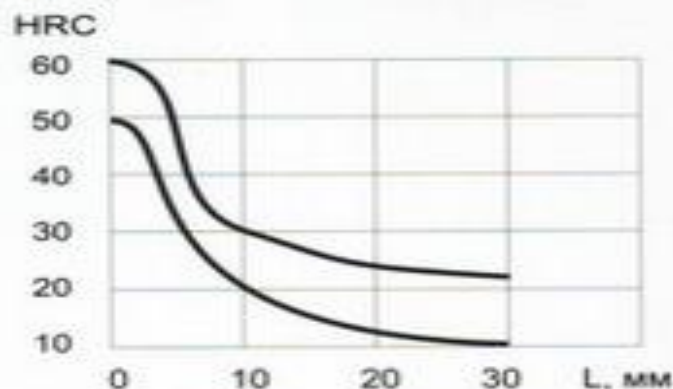
## Термическая обработка стали 45

1. Нормализация: нагрев на 870-900°C, охлаждение на воздухе
2. Улучшение: закалка от 820-840°C в воде + отпуск при 560-620°C

Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали 45



Полоса прокаливаемости стали 45



Механические свойства стали 45

Обработка	$\sigma_{в}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
Нормализация	660	340	17
Закалка + отпуск при 650°C	660	380	22

# Автоматные стали

Автоматные стали отличаются хорошей обрабатываемостью резанием и предназначены для изготовления деталей массового производства на станках-автоматах. Они имеют повышенное содержание серы и фосфора или легированы свинцом.

**Маркировка:** стали обозначаются буквой **А** и цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Если в стали присутствует свинец, то в маркировке после буквы **А** ставится буква **С**.

марка стали	Содержание, %					Свойства без термообработки	
	C	Mn	S	P	Pb	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
A12	0.08-0.12	0.7-1.0	0.08-0.20	0.08-0.15		420	22
A20	0.17-0.24	0.7-1.0	0.08-0.15	<0.06		460	20
A40Г	0.37-0.45	1.2-1.55	0.18-0.30	<0.05		600	14
АС40	0.37-0.45	0.8-1.1	0.15-0.30	<0.04	0.15-0.3	580	19

Структура стали АС45Г2

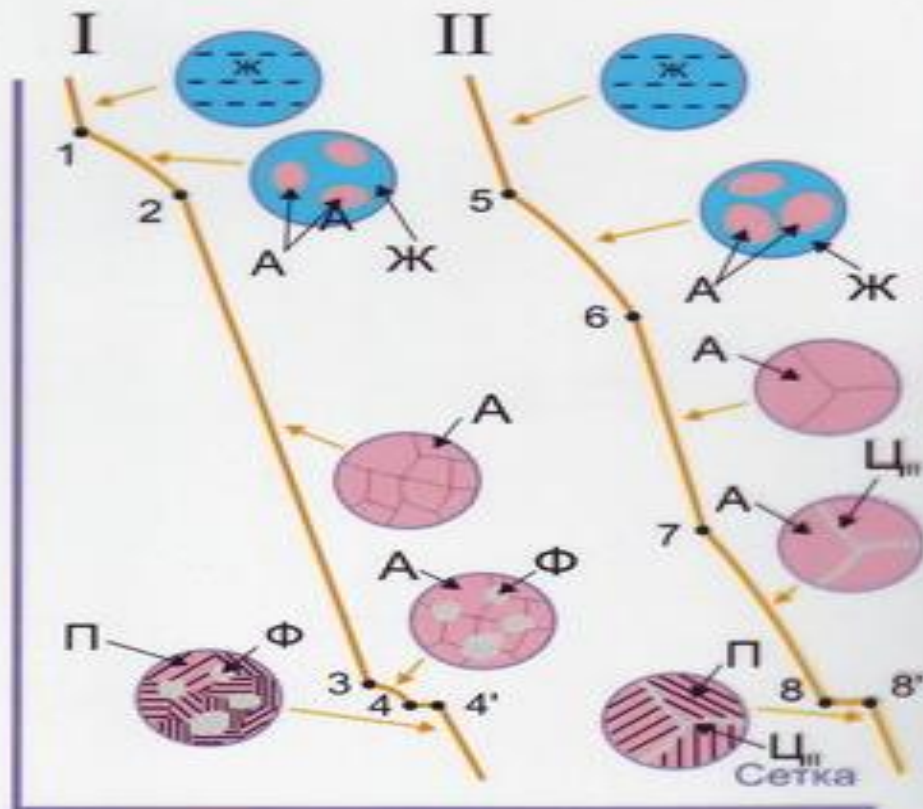


# 3.2. Структура и свойства углеродистых сталей

## Структурная диаграмма состояний железо-цементит



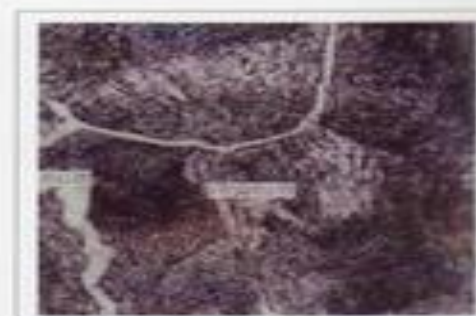
# ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛЯХ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ



ДОЭВТЕКТОИДНАЯ СТАЛЬ (40)

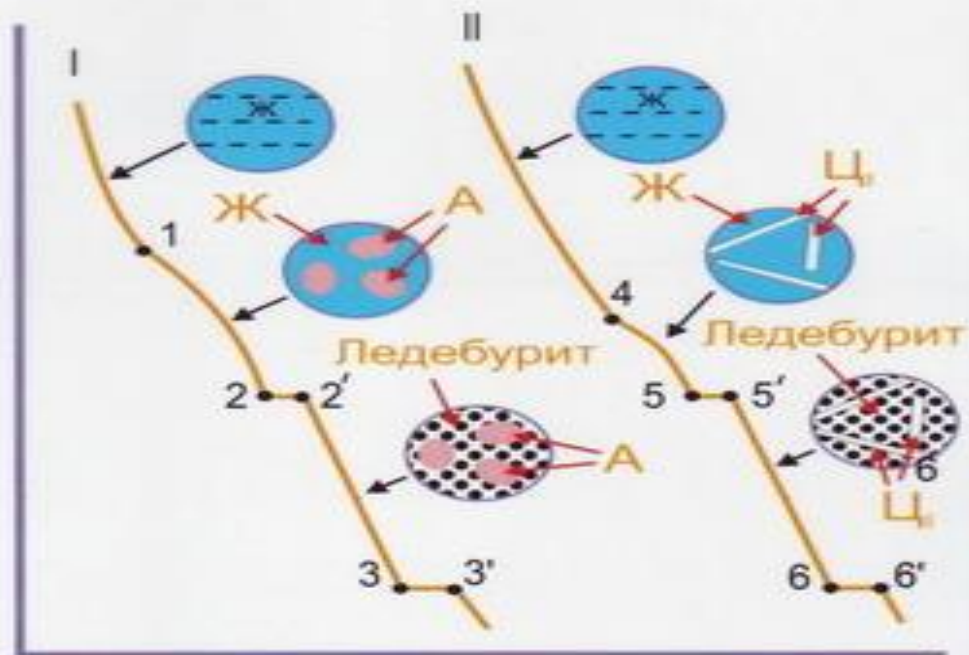


ЭВТЕКТОИДНАЯ СТАЛЬ (У8)



ЗАЭВТЕКТОИДНАЯ СТАЛЬ (У12)

# ПРЕВРАЩЕНИЯ В ЧУГУНАХ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ



ДОЭВТЕКТИЧЕСКИЙ  
ЧУГУН



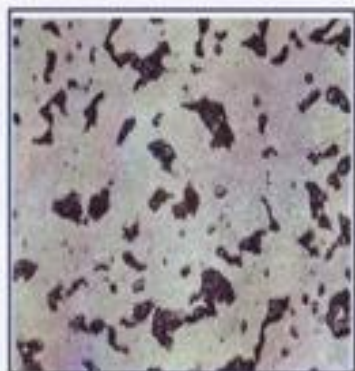
ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ  
ЧУГУН



ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИЙ  
ЧУГУН

# МИКРОСТРУКТУРЫ ДОЭВТЕКТОИДНЫХ СТАЛЕЙ

Светлые зерна - ферритные, темные зерна пластинчатый перлит



Сталь 10



Сталь 20



Сталь 30



Сталь 40



Сталь 60

## МИКРОСТРУКТУРЫ ЗАЭВТЕКТОИДНЫХ СТАЛЕЙ



Сталь У8

Пластинчатый перлит



Сталь У12

Пластинчатый перлит  
и цементитная сетка

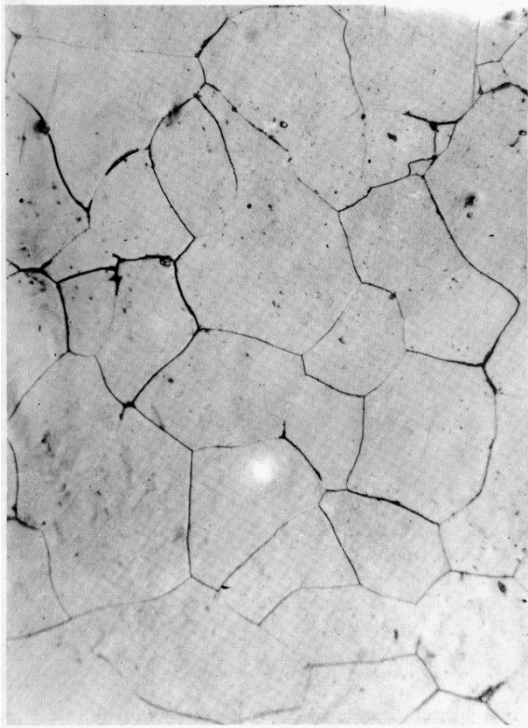


Зернистый перлит

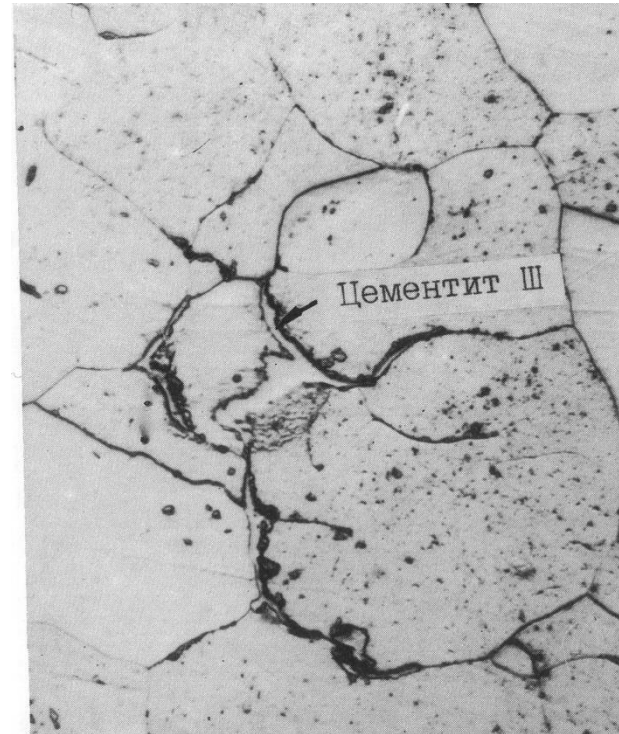
## Структура сталей

Сталь - сплав железа с углеродом, в котором содержание углерода не превышает 2,14%.

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



Сплав 1. ( $\Phi$ )



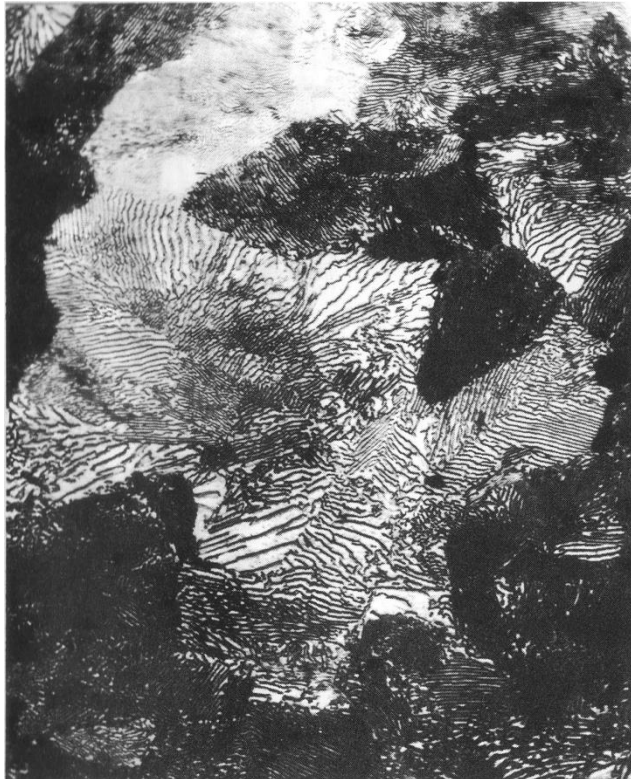
Сплав 2. ( $\Phi + \text{Ц}_{\text{III}}$ )



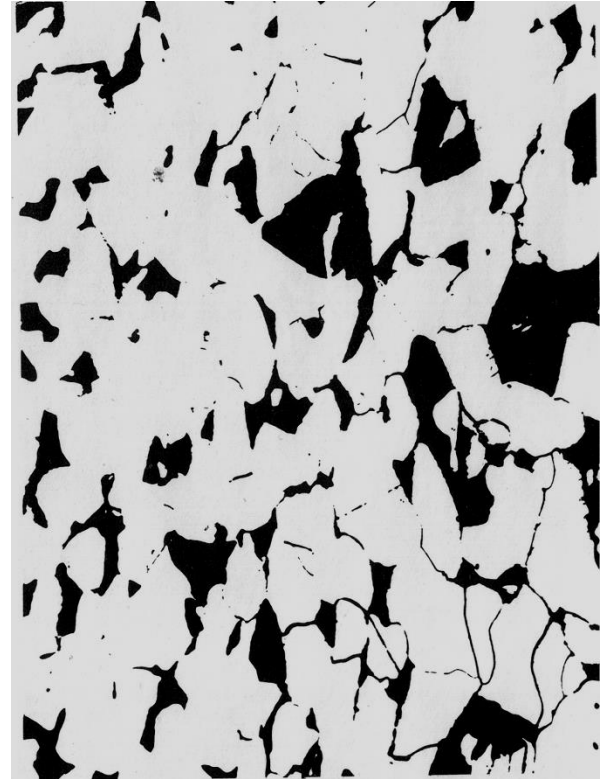
## Структура сталей

Сплавы с содержанием углерода близким к 0,8% имеют структуру перлита (П) и называют эвтектоидными сталями.

Сплавы с содержанием углерода от 0,025% до 0,8% имеют структуру феррит плюс перлит (Ф+П) и называются доэвтектоидными сталями.



Сплав 3. (П)



Сплав 4. (Ф+П)

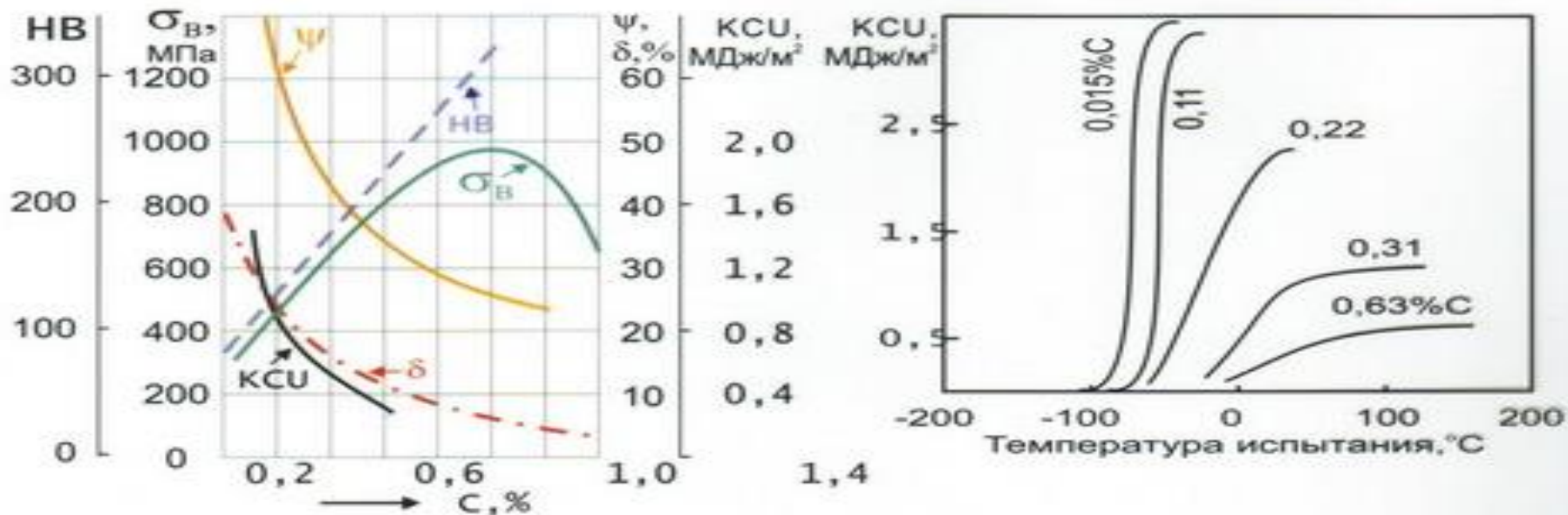
## Структура сталей

Сплавы с содержанием углерода от 0,8% до 2,14% имеют структуру перлит плюс цементит вторичный (П+Ц<sub>II</sub>) и называют заэвтектоидными сталями.

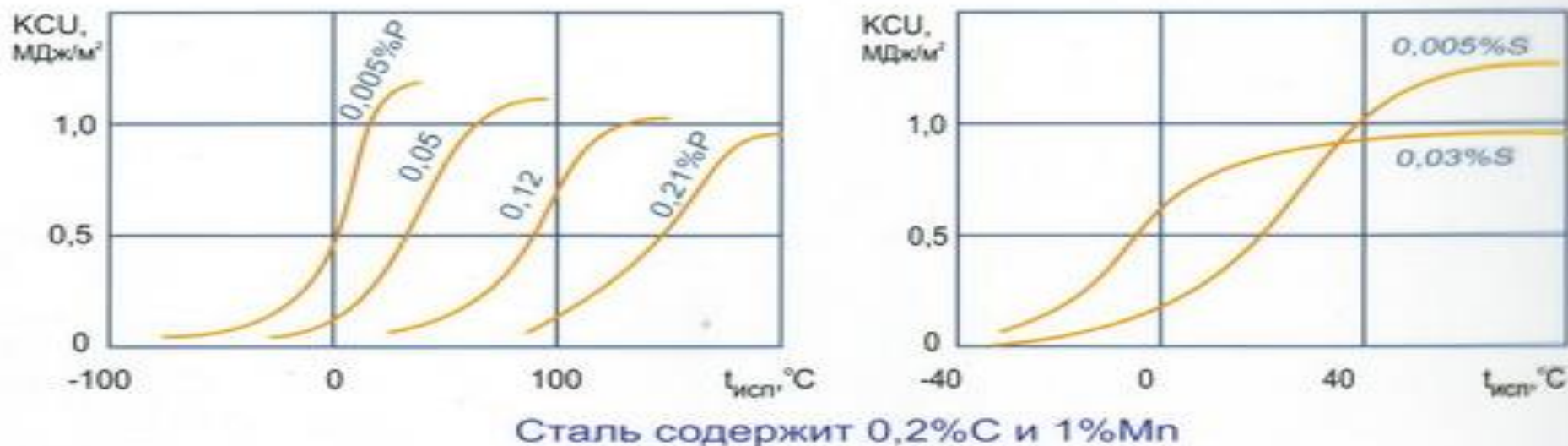


Сплав 5. (П+Ц<sub>II</sub>)

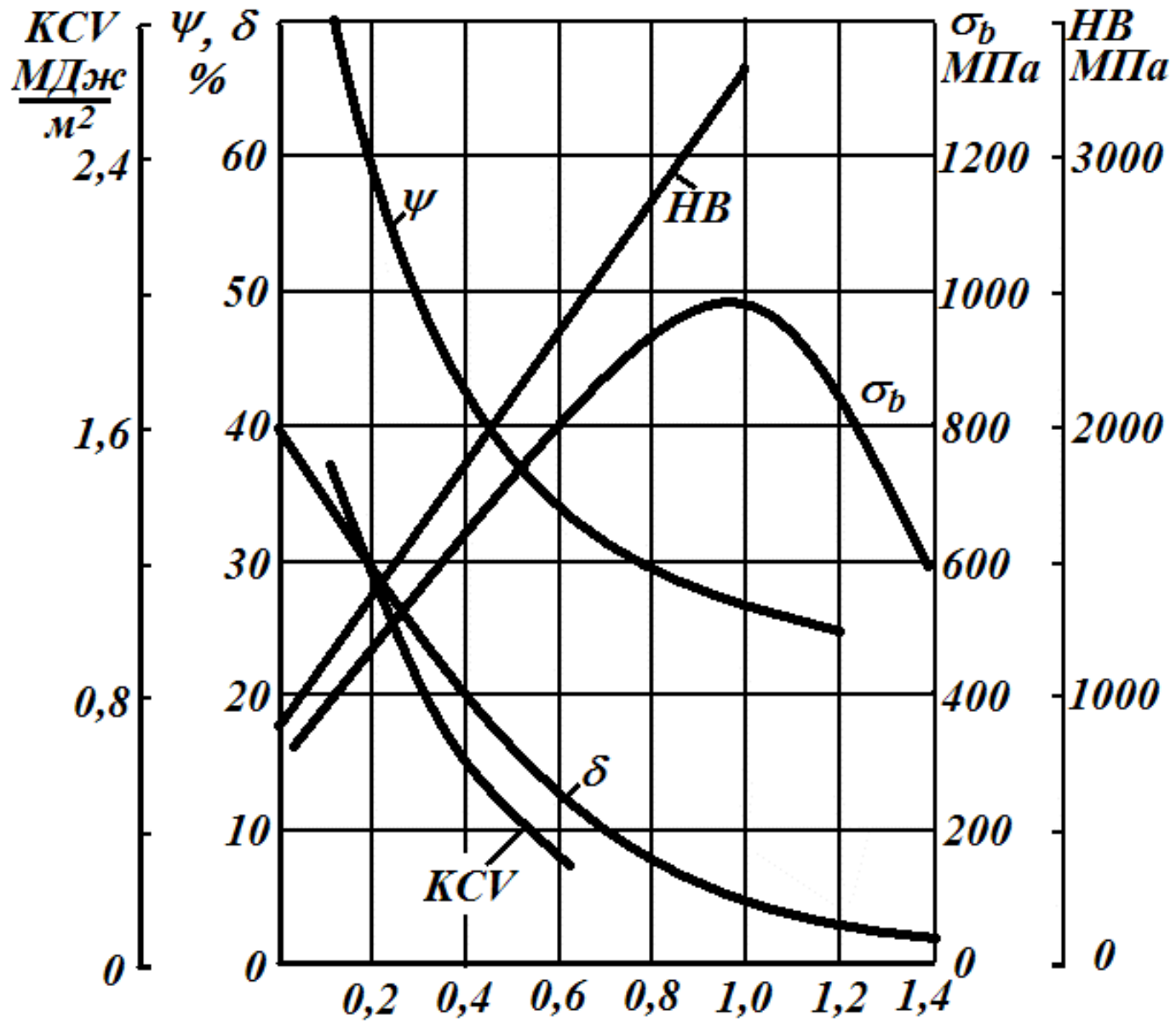
## Влияние углерода на свойства стали



## Влияние примесей на свойства стали



# Зависимость механических свойств сталей от содержания углерода



## 3.3. Легирование сталей

Простые углеродистые стали далеко не всегда удовлетворяют требованиям техники. В промышленности широко применяются легированные стали, которые обладают высокими механическими или особыми физическими и химическими свойствами, приобретаемыми после соответствующей термической обработки.

**Легированными называются стали, в которые для получения требуемых свойств специально добавляются определенные количества необходимых элементов.**

Для легирования стали применяют хром, никель, марганец, кремний, вольфрам, ванадий, молибден и другие.

Изучая влияние легирующих элементов на свойства стали, важно знать взаимодействие легирующего элемента с железом и углеродом, а также влияние легирующих элементов на полиморфизм железа и превращения в стали при термической обработке

# Легированные конструкционные стали

Большинство легированных конструкционных сталей являются *доэвтектоидными*.

Основные легирующие элементы в этих сталях:

хром (0,8-2,5%), кремний (0,4-1,2%), марганец (0,8-1,8%), никель (1,0-4,5%), молибден (0,15-0,4%), вольфрам (0,5-1,2), ванадий (0,06-0,3%), титан (0,03-0,09%), бор (0,002-0,005%).

**В зависимости от состава** различают стали:

- хромистые, -никелевые, - хромоникелевые и т.д.

**Маркировка:** в начале марки указывают содержание углерода в сотых долях процента; далее следует обозначение легирующих элементов и их содержание.

Легирующие элементы обозначаются: **Х**-хром, **Г**-марганец, **С**-кремний, **Н**-никель, **М**-молибден, **В**-вольфрам, **К**-кобальт, **Ф**-ванадий, **Б**-ниобий, **Т**-титан, **Ю**-алюминий, **Д**-медь, **Р**-бор.

Буква **А** в середине маркировки указывает на содержание в стали азота, как легирующего элемента. Буква **А** в конце марки означает, что сталь высококачественная ( $S$  и  $P < 0,025\%$ ).

Цифры после букв указывают содержание легирующего элемента, с округлением до целого числа. При содержании элемента до 1,5% цифра не ставится.

**Например:** сталь **30ХНЗА** содержит в среднем:

0,30% углерода,

1,0% хрома,

3% никеля,

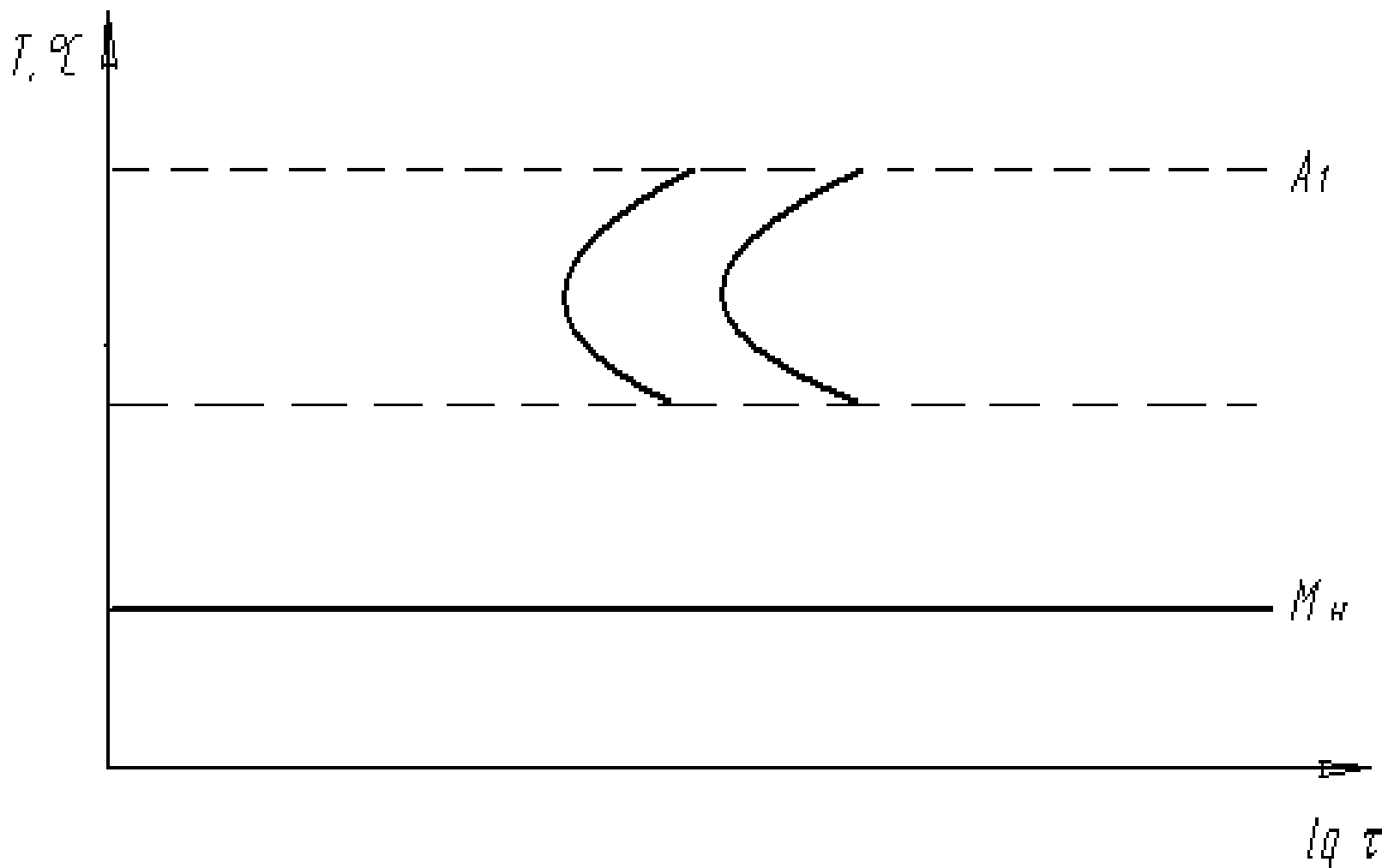
высококачественная.

# Особенности термической обработки легированных сталей.

- **ЛЭ группы Ni** – Ni, Mn, Co, C, N понижают критические точки  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ .
- **ЛЭ группы Cr** – Cr, W, V, Mo, Ti, Nb, Zr повышают эти критические точки.
- **Al и Co** повышают точки  $M_H$  и  $M_K$ ;
- Si не влияет на них;
- Все остальные ЛЭ (Mn, Cr, Ni, Mo и т.д.) понижают точки  $M_H$  и  $M_K$ ;

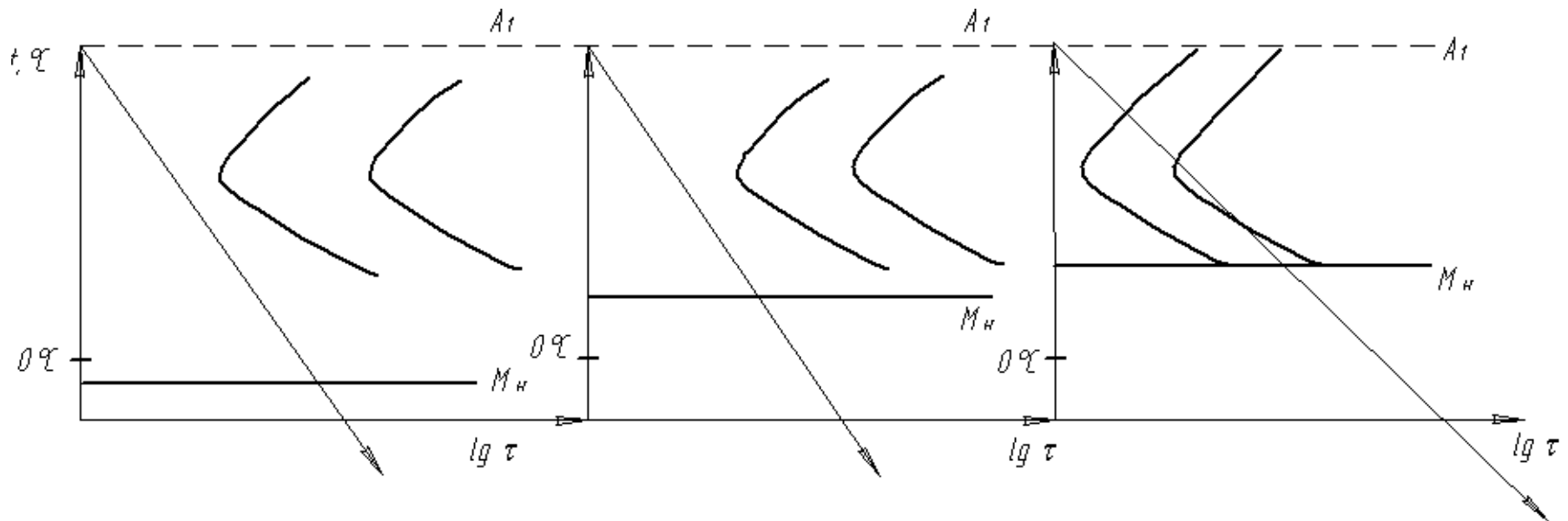
$$M_H = 560 - 320 (\%C) - 50 (\%Mn) - 30 (\%Cr) - 20 (\%Ni + \%Mo)$$

**Диаграмма изотермического превращения  
переохлажденного аустенита для высокохромистых  
коррозионностойких сталей.**





# Диаграммы изотермического превращения переохлажденного аустенита для легированных сталей и нанесенными на них кривыми охлаждения на воздухе.



Легированные стали в нормализованном состоянии подразделяются на три класса:

1. Перлитный (справа)
2. Мартенситный (в центре)
3. Аустенитный (слева)

## Влияние легирующих элементов (ЛЭ) на полиморфизм

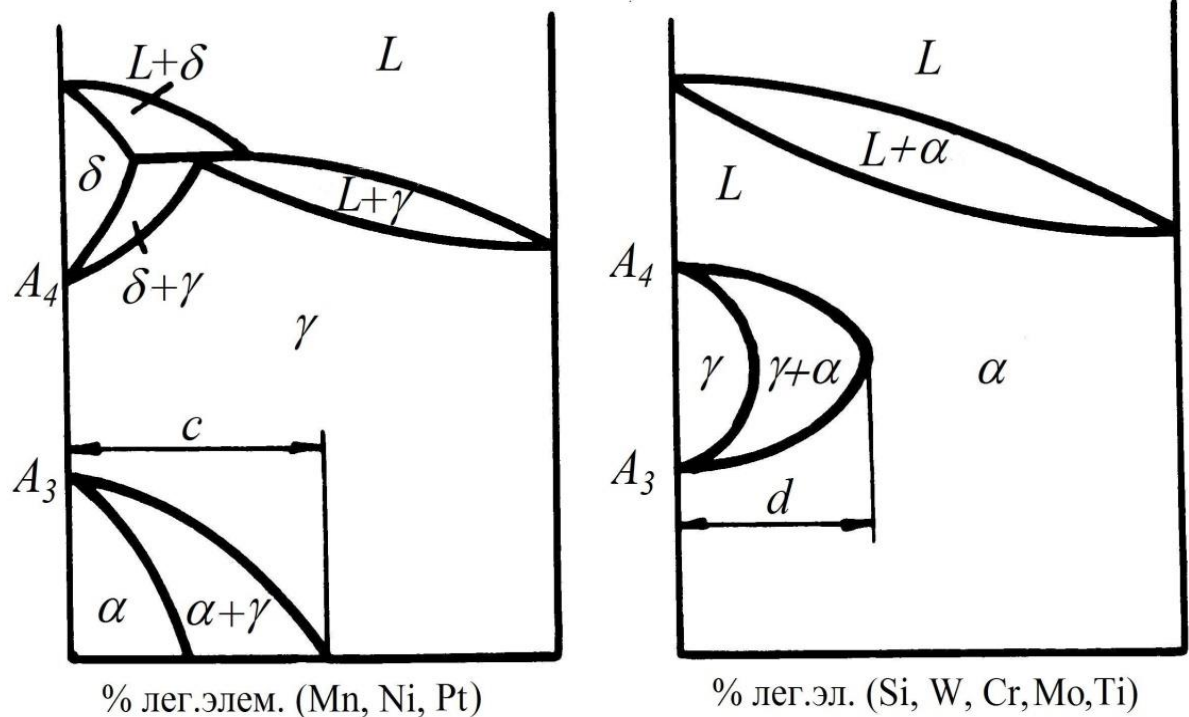
Большинство ЛЭ либо расширяют область  $\gamma$ -модификации, либо расширяют область  $\alpha$ -модификации.

При содержании Mn и Ni свыше определенного количества  $c$ ,  $\gamma$ -состояние стабильно от температуры плавления до комнатной температуры. Такие сплавы называются аустенитными.

При содержании V, Mo, Si и других ЛЭ свыше определенного значения  $d$  устойчивым при всех температурах является  $\alpha$ -состояние. Такие сплавы называются ферритными.

Аустенитные и ферритные сплавы не имеют превращений при нагревании и охлаждении.

Схема диаграмм  
состояния Fe – ЛЭ

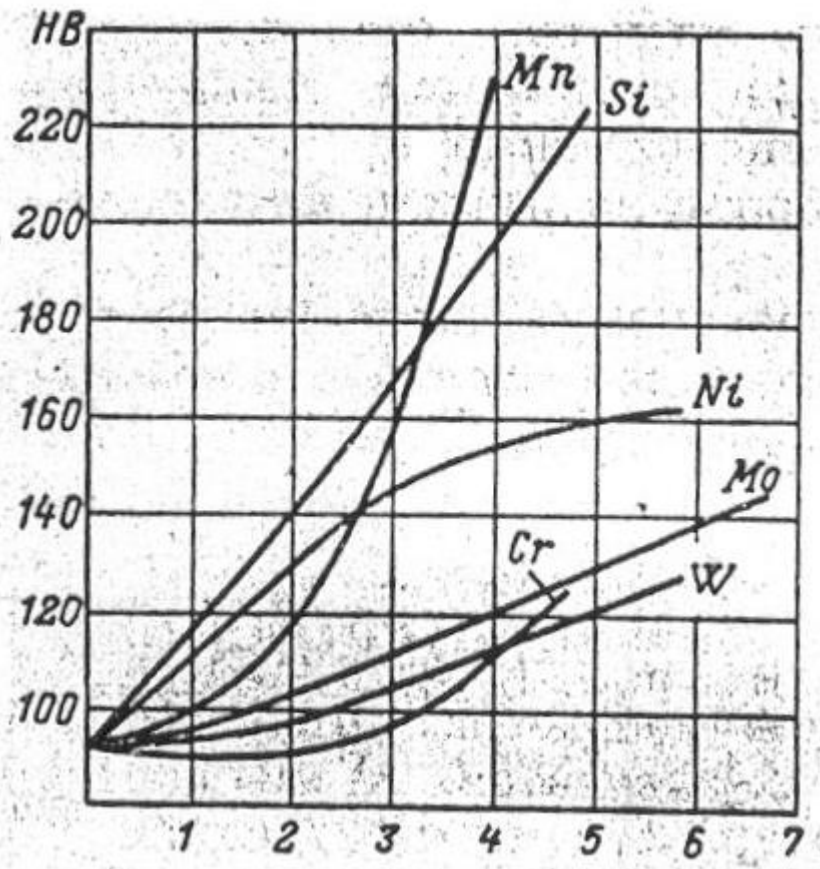


## Распределение ЛЭ в сталях

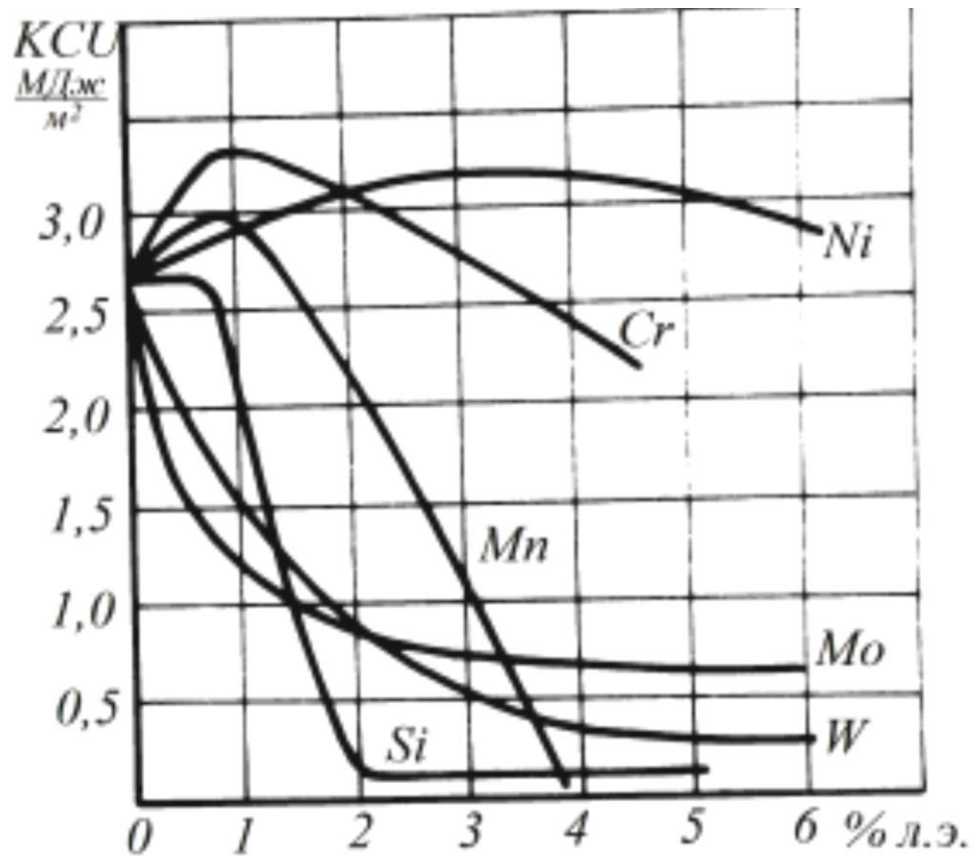
В промышленных легированных сталях ЛЭ могут:

1. Находиться в свободном состоянии: Pb, Ag, Cu (не более 1%) не образуют соединения и не растворяются в Fe;
2. Образовывать интерметаллические соединения с Fe или между собой при большом содержании. Встречается подобное, в основном, в высоколегированных сталях;
3. Образовывать окислы, сульфиды и другие неметаллические включения - элементы, имеющие большее сродство к кислороду, чем Fe. Такие элементы (Mn, Si, Al), введенные в последний момент плавки, раскисляют сталь, отнимая кислород у Fe. Количество неметаллических включений в обычных промышленных сталях невелико и зависит от метода ведения плавки;
4. Растворяться в цементите или образовывать самостоятельные карбидные фазы. Карбидообразующими элементами могут быть ЛЭ, имеющие большее, чем Fe, сродство к углероду (элементы, расположенные в периодической системе левее Fe: Ti, V, Cr, Mn, Zr, Nb, Mo, Tc, Hf, Ta, W, Re). Указанные элементы, кроме того, растворяются в Fe. Следовательно, они в известной пропорции распределяются между этими двумя фазами;
5. Растворяться в железе - большинство ЛЭ. Элементы, расположенные в периодической системе правее железа (Cu, Ni, Co и др.) образуют только растворы с железом и не входят в карбиды.

## Влияние ЛЭ на феррит и аустенит



а



б

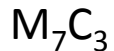
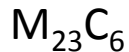
Влияние ЛЭ на свойства феррита а – твердость, HB; б - ударная вязкость KCU.

## Карбидная фаза в легированных сталях

В сталях карбиды образуются только металлами, расположенными в периодической системе элементов левее Fe. Эти металлы имеют менее достроенную d-электронную полосу. Чем левее расположен в периодической системе карбидообразующий элемент, тем менее достроена его d-полоса и тем более устойчив карбид.

В процессе карбидообразования углерод отдает свои валентные электроны на заполнение d-электронной полосы атома металла. Только металлы с d-электронной полосой, заполненной меньше, чем у Fe, являются карбидообразующими. Виды карбидов:

Карбиды I группы



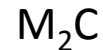
Сложная решетка

Легко растворимы в  $\alpha$ Fe

Высокая T плавления

Высокая твердость

Карбиды II группы



Простая решетка

Трудно растворимы в  $\alpha$ Fe

Очень высокая T плавления

Очень высокая твердость

# Строительные стали

В качестве строительных сталей используют:

- углеродистые стали обычного качества ( Ст0... Ст6 )
- низколегированные стали.

Низколегированные стали содержат не более 0.18 % **C** и в небольших количествах - **Si, Mn, V, Cr, Ni, Nb** и **Cu**.

Состав и свойства низколегированных сталей.

марка стали	Содержание , %				Свойства без термообработки		
	C	Si	Mn	Другие	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %
09Г2	$\leq 0.12$	0.17-0.37	1.4-1.8		450	310	21
09Г2С	$\leq 0.12$	0.5-0.8	1.3-1.4		480	330	21
17ГС	0.14-0.20	0.4-0.6	1.0-1.5		500	340	19
15ХСНД	0.12-0.18	0.4-0.7	0.4-0.7	Cr 0.6-0.9 Ni 0.3-0.6 Cu 0.2-0.4	500	350	21

Низколегированные стали подвергают нормализации (09Г2С, 17ГС), а также закалке и отпуску (15ХСНД).

Структура стали 09Г2С после нормализации с нагревом на 930 - 950°С.



## Улучшаемые легированные стали.

Стали этой группы содержат 0.3 - 0.5 % С и подвергаются закалке и высокому отпуску.

### Состав сталей.

Марка стали	Содержание, %				
	С	Mn	Si	Cr	Другие
<b>Хромистые</b>					
30X	0,24-0,32	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-1,1	
40X	0,36-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-1,1	
40XФА	0,37-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-1,1	V 0,1-0,18
<b>Хромомарганцевые</b>					
35XГФ	0,31-0,38	0,95-1,25	0,17-0,37	1,0-1,3	V 0,06-0,12
40ГТР	0,38-0,45	0,7-1,0	0,17-0,37	0,8-1,1	Ti 0,03-0,09 B 0,001-0,005
<b>Хромокремнистые и хромокремнемарганцевые</b>					
38ХС	0,32-0,42	0,3-0,6	1,0-1,4	1,3-1,6	
30ХГС	0,28-0,34	0,8-1,1	0,9-1,2	0,8-1,1	

### Свойства сталей 30X и 30ХГС после улучшения.

Марка стали	Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, МДж/м <sup>2</sup>
30X	закалка от 860°C, масло + отпуск при 550°C, масло (вода)	510	720	22	65	1,5
30ХГС	закалка от 880°C, масло + отпуск при 550°C, масло (вода)	850	1100	10	45	0,5

# Состав и свойства улучшаемых легированных сталей

## Состав сталей

Марка стали	Содержание, %					
	C	Mn	Cr	Ni	Mo	V
<b>Хромоникелевые</b>						
40ХН	0,36-0,44	0,17-0,37	0,45-0,75	1,0-1,4	-	-
30ХН3А	0,27-0,33	0,30-0,60	0,60-0,90	2,7-3,15	-	-
<b>Хромоникельмолибденовые</b>						
40ХН2МА	0,37-0,44	0,5-0,8	0,60-0,90	1,25-1,65	0,15-0,25	-
38ХН3МФА	0,33-0,40	0,25-0,50	1,20-1,50	3,0-3,5	0,35-0,45	0,10-0,18
18Х2Н4МА	0,14-0,20	0,25-0,50	1,35-1,65	4,0-4,4	0,30-0,40	-

## Свойства сталей после закалки и отпуска при 600°C

Марка стали	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, МДж/м <sup>2</sup>
40ХН	760	910	20	60	0,8
30ХН3А	830	930	21	64	1,4
40ХН2МА	930	1070	13	55	1,0
38ХН3МФА	1100	1200	12	50	0,8
18Х2Н4МА	710	940	19	70	1,8



# Цементуемые легированные стали

Цементации подвергают в основном стали с 0,08-0,25%С. После цементации проводят закалку и низкий отпуск.

## Состав цементуемых сталей.

Марка стали	Содержание, %				
	С	Mn	Cr	Ni	другие
<b>хромистые</b> 15X 20X	0,12-0,18 0,17-0,23	0,3-0,9 0,5-0,8	0,7-1,0 0,7-1,0	-	-
<b>хромомарганцевые</b> 18ХГТ 20ХГР	0,17-0,23 0,18-0,24	0,8-0,11 0,7-1,0	1,0-1,3 0,75-1,05	-	Ti 0,03-0,09 В 0,003%
<b>хромоникелевые</b> 20ХН 12ХН3А	0,17-0,23 0,09-0,16	0,3-0,8 0,3-0,6	0,4-0,7 0,6-0,9	1,0-1,4 2,75-3,15	-
<b>хромоникельмолибденовые</b> 18Х2Н4МА 18Х2Н4ВА	0,14-0,20 то же	0,25-0,55 то же	1,35-1,65 то же	4,0-4,5 то же	Mo 0,3-0,4 W 0,8-1,2%

## Свойства сталей 15X, 12ХН3А и 18Х2Н4МА

Марка стали	Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, МДж/м <sup>2</sup>
15X	Закалка от 880°C, масло + закалка от 720-820°C, вода (масло) +отпуск (180°C)	500	700	12	45	0,7
12ХН3А	Закалка от 860°C, масло + закалка от 760-810°C, масло +отпуск (180°C)	700	950	11	55	0,9
18Х2Н4МА	Закалка от 950°C, воздух + закалка от 860°C, воздух +отпуск (200°C)	850	1150	12	50	1,0

# Подшипниковые стали

Подшипниковые стали должны обладать высокими твердостью, износостойкостью и контактной выносливостью.

Основные подшипниковые стали содержат около 1 % С и легированы хромом.

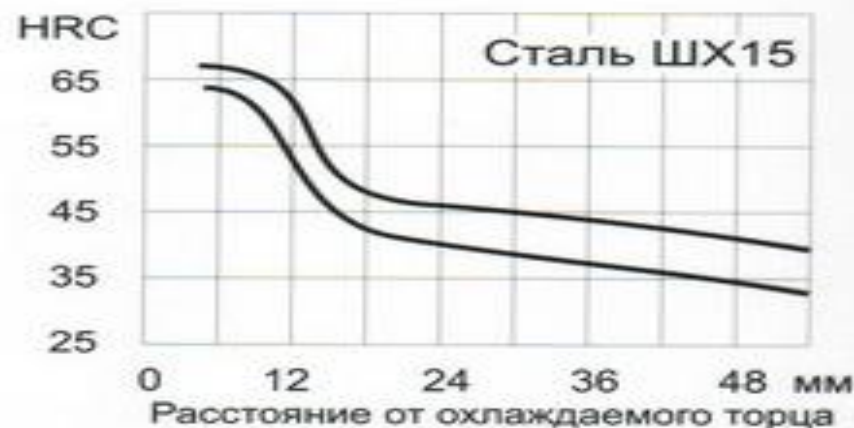
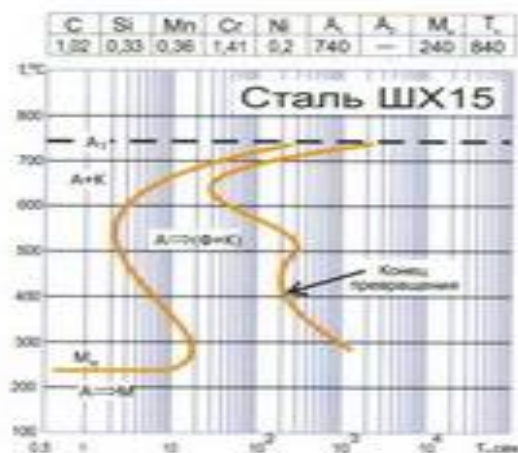
марка стали	Содержание , %			
	С	Mn	Si	Cr
ШХ15	0,95-1,05	0,20-0,40	0,17-0,37	1,30 - 1,65
ШХ15СГ	0,95-1,05	0,90-1,20	0,40-0,65	1,30 - 1,65

**Маркировка:** ШХ - обозначает шарикоподшипниковая хромистая, цифры 15 - среднее содержание хрома в десятых долях процента.

**Предварительная термическая обработка:** отжиг на зернистый перлит

**Окончательная термическая обработка:** закалка от 840-860°C в масле + низкий отпуск при 150 - 170°C.

Твердость после окончательной термической обработки - 60-65 HRC.



# Пружинные стали

Пружинные стали должны обладать высоким сопротивлением малым пластическим деформациям (предел упругости) и высоким пределом усталости при достаточной пластичности. Основные пружинные стали содержат около 0,5-0,7 % С и подвергаются закалке и среднему отпуску

Марка стали	Содержание, %				
	С	Si	Mn	Cr	другие
<b>углеродистые</b>					
65	0,62-0,70	0,17-0,37	0,5-0,8	-	-
75	0,72-0,80	0,17-0,37	0,5-0,8	-	-
<b>кремнистые</b>					
50С2	0,47-0,55	1,50 -2,00	0,6 -0,9	-	-
60С2	0,57-0,65	1,50 -2,00	0,6 -0,9	-	-
60С2ХА	0,56-0,64	1,40-1,80	0,4 - 0,7	0,70-1,00	-
60С2ХФА	0,56-0,64	1,40-1,80	0,4 - 0,7	0,90-1,20	√ 0,1-0,2
<b>хромистые и хромомарганцевые</b>					
50ХФА	0,46-0,54	0,17-0,37	0,5-0,8	0,8-1,1	√ 0,1-0,2
50ХГФА	0,48-0,54	0,17-0,37	0,8-1,0	0,95-1,1	√ 0,1-0,2

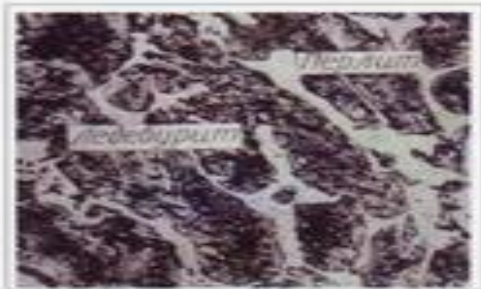
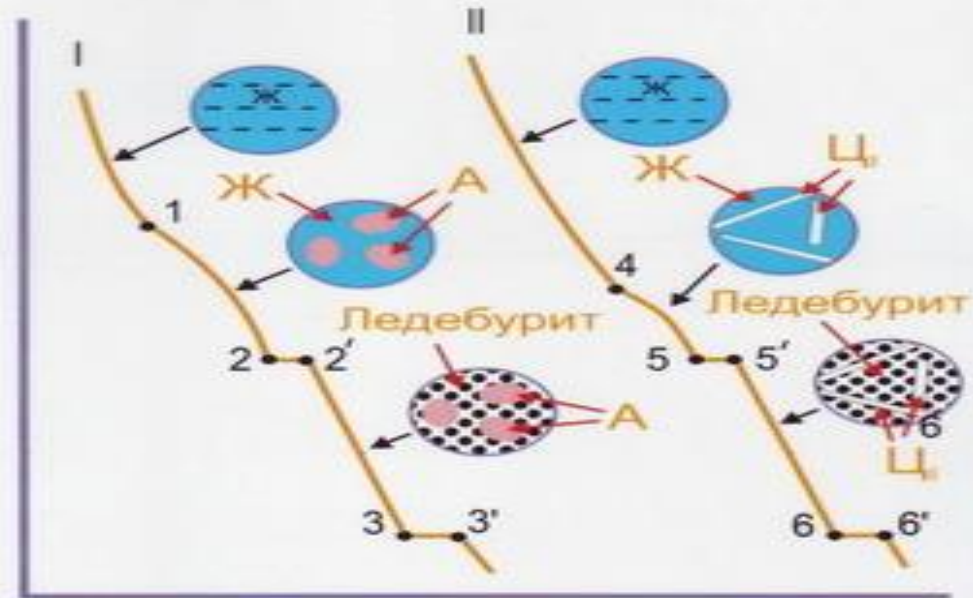
**Окончательная термическая обработка:** закалка от 820-880°С в масле + средний отпуск при 410 - 480°С.

## Свойства пружинных сталей

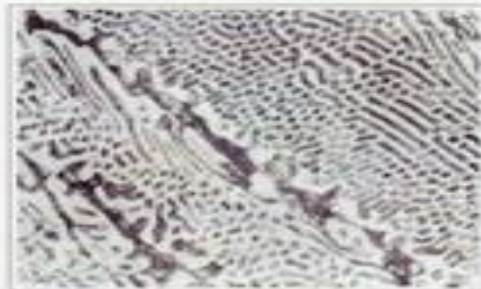
Марка стали	Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ %	$\psi$ %
65	Закалка от 840°С, масло + отпуск (480°С)	800	1100	10	35
60С2	Закалка от 870°С, масло + отпуск (460°С)	1200	1300	6	30
60С2ХФА	Закалка от 950°С, масло + отпуск (450°С)	1680	1820	7	30

# 3.4. Чугуны

## ПРЕВРАЩЕНИЯ В ЧУГУНАХ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ



ДОЭВТЕКТИЧЕСКИЙ  
ЧУГУН



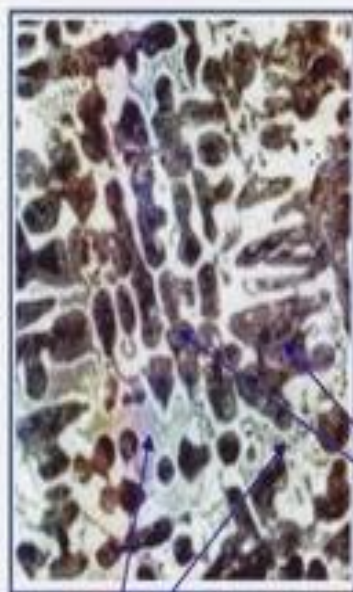
ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ  
ЧУГУН



ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИЙ  
ЧУГУН

# МИКРОСТРУКТУРЫ БЕЛЫХ ЧУГУНОВ

Доэвтектический  
белый чугун



Перлит

Ледебурит

Эвтектический  
белый чугун



Эвтектика  
(ледебурит)

Заэвтектический  
белый чугун



Ледебурит

Цементит  
первичный

# ДИАГРАММА СОСТОЯНИЙ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО - ГРАФИТ



## Классификация чугунов

Белые - углерод связан в цементит  $Fe_3C$

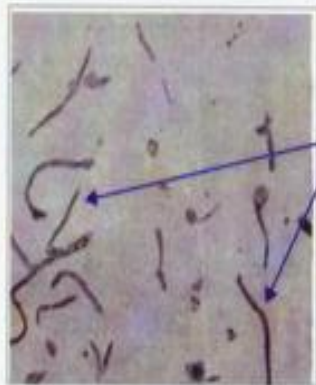
Серые - углерод находится в виде графита

Серые чугуны подразделяются :

- по форме включений графита на **серые, ковкие и высокопрочные**
- по структуре металлической основы на **перлитные** ( $C_{связ} = 0,8\%$ ), **феррито-перлитные** ( $C_{связ} < 0,8\%$ ) и **ферритные** ( $C_{связ} = 0\%$ ).

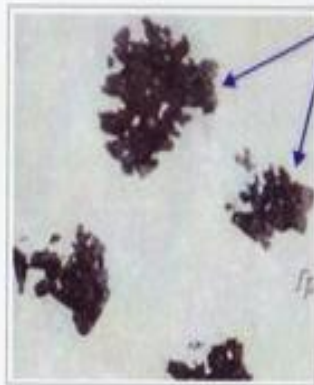
# МИКРОСТРУКТУРЫ СЕРЫХ ЧУГУНОВ

## Виды включений графита (Нетравленные шлифы)



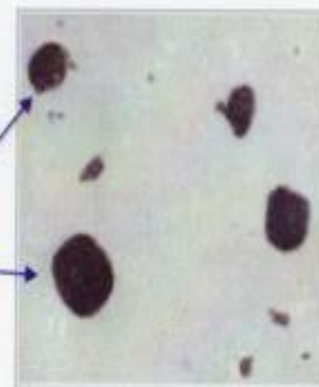
Графит  
(пластинчатый)

Серый чугун



Графит  
(хлопья)

Ковкий чугун



Графит  
(сферический)

Высокопрочный  
чугун

# 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



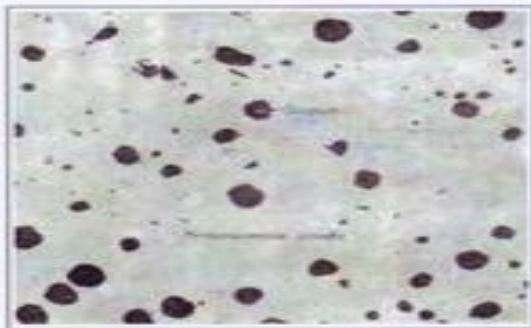
# ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ЧУГУНЫ

Включения графита имеют шаровидную форму

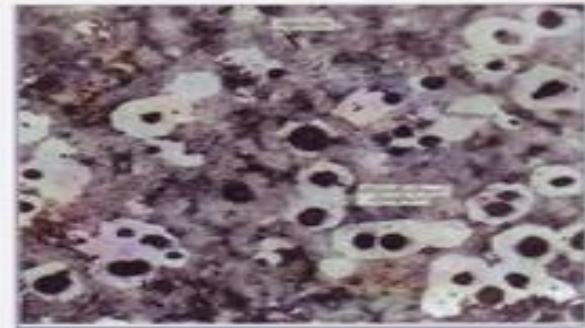
**Высокопрочный** чугун получают путем модифицирования серого чугуна магнием или церием.

**Химический состав:** 3.0-4.0% С, 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**

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

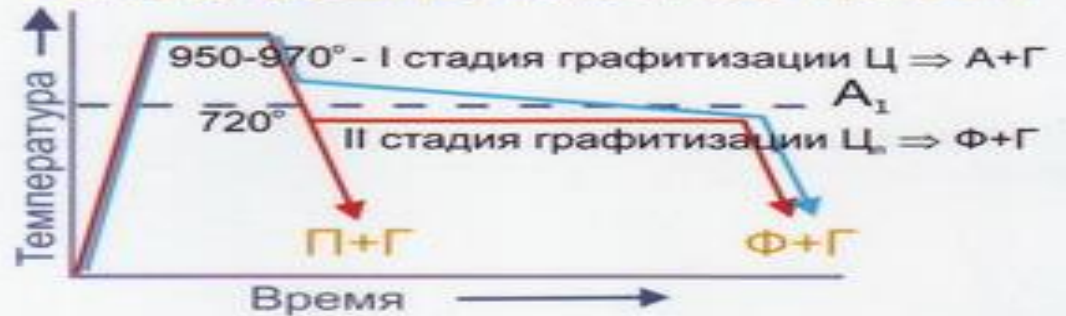
# КОВКИЕ ЧУГУНЫ

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



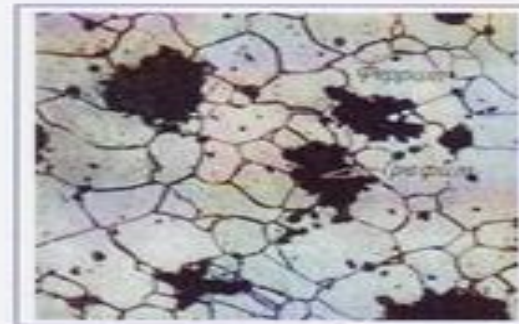
Нетравленный шлиф



Ковкий перлитный



Ковкий ферритный



## Маркировка ковких чугунов

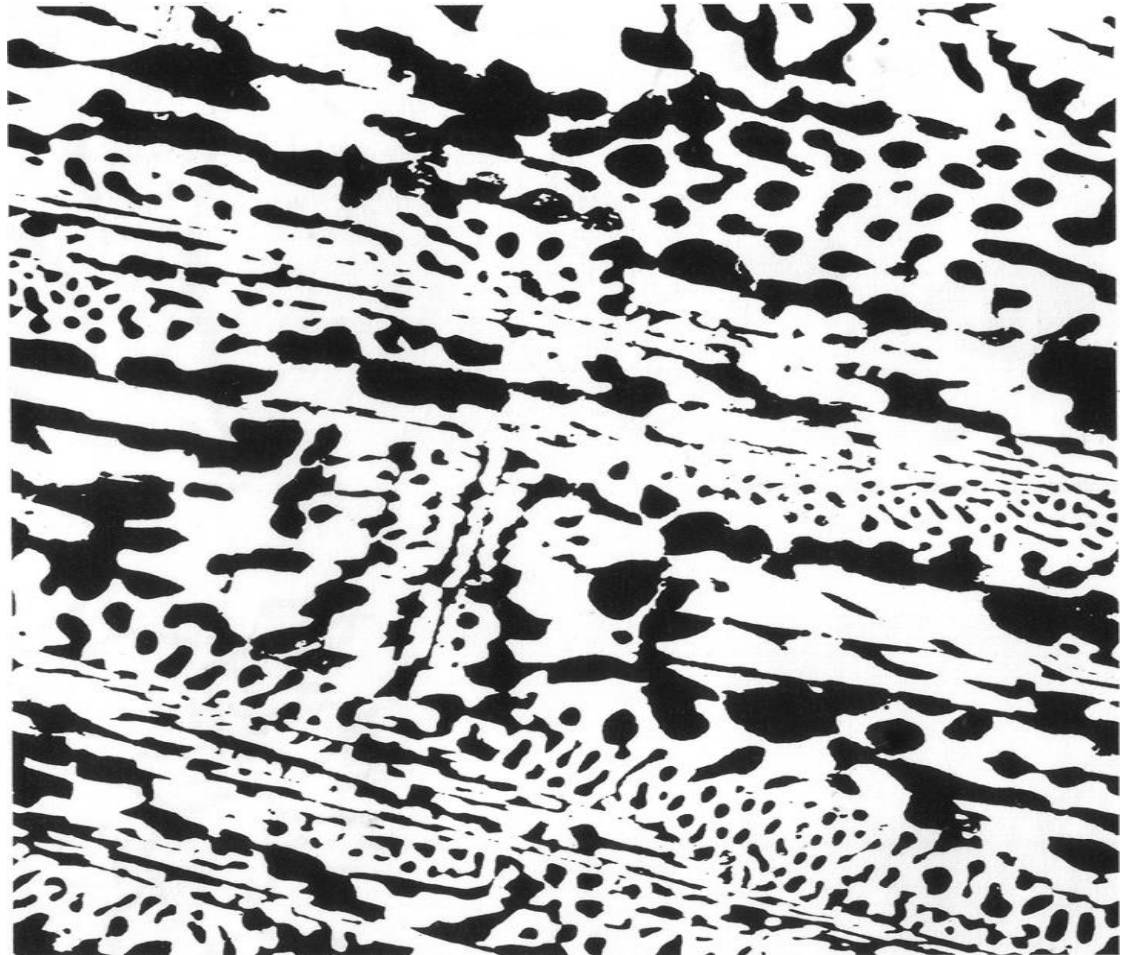
КЧ 50-5 ← Относительное удлинение (5%)  
↑ ← Предел прочности на разрыв (500 МПа)  
↑ Ковкий чугун

# Структура белых чугунов

**Чугун** - сплав железа и углерода, в котором углерода более 2,14%.

**Белый чугун** - чугун, углерод которого находится в связанном состоянии в виде цементита. Название возникло благодаря характерному цвету излома таких сплавов.

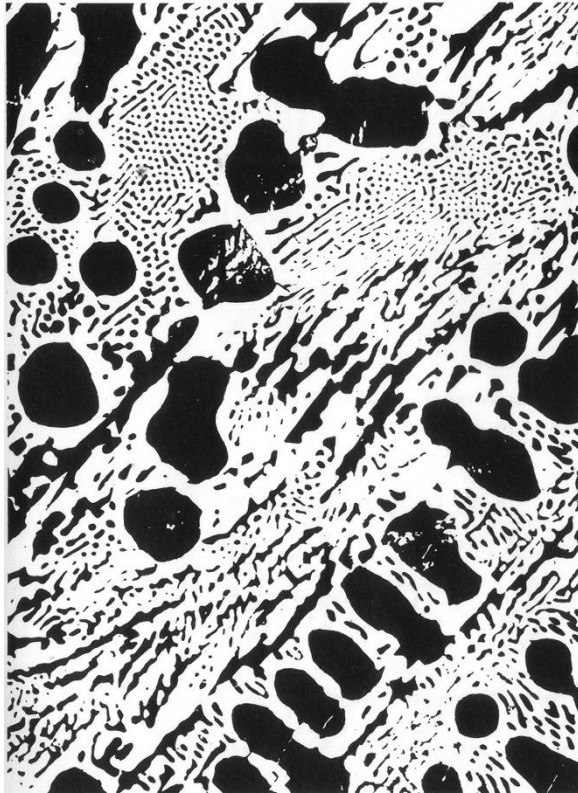
Сплавы, с содержанием углерода 4,3% имеют структуру ледебурит (Л). Их называют эвтектические белые чугуны.



## Структура белых чугунов

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 ( $\text{Ц}_I+\text{Л}$ ), называют заэвтектические белые чугуны.



$\text{П}+\text{Ц}_{\text{II}}+\text{Л}$



$\text{Л}+\text{Ц}_I$

## Структура серых чугунов

**Серый чугун** - чугун, весь углерод которого или часть его находится в свободном состоянии в виде графита.

Графит (Г) имеет практически нулевую прочность и пластичность. Он обеспечивает пониженную твердость, хорошую обрабатываемость резанием, высокие антифрикционные и демпфирующие свойства. Кроме того, графит способствует, при охлаждении отливки, некоторому увеличению ее объема, чем обеспечивает хорошее заполнение формы.

Вместе с тем, включения графита снижают прочность и пластичность, так как нарушают сплошность металлической основы сплава.

Структуру серых чугунов – это структура стальной матрицы плюс форма графитных включений.

### Классификация

1. По форме графитных включений:

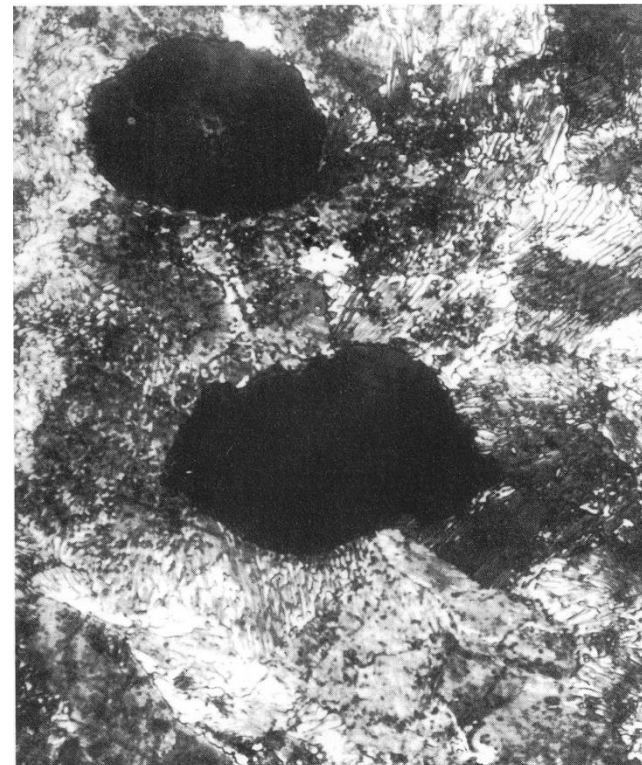
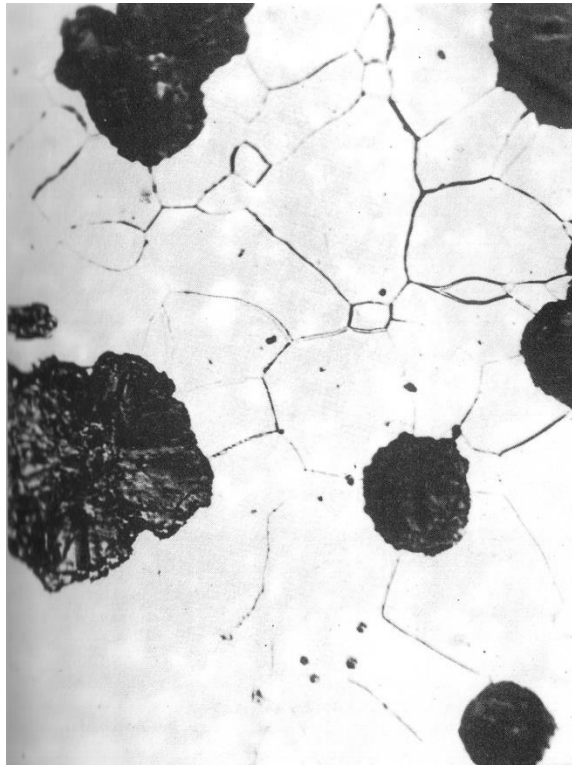
- 1.1. Обыкновенный
- 1.2. Высокопрочный
- 1.3. Ковкий

2. По виду стальной матрицы:

- 1.1. Ферритный
- 1.2. Феррито-перлитный
- 1.3. Перлитный

## Структура серых чугунов

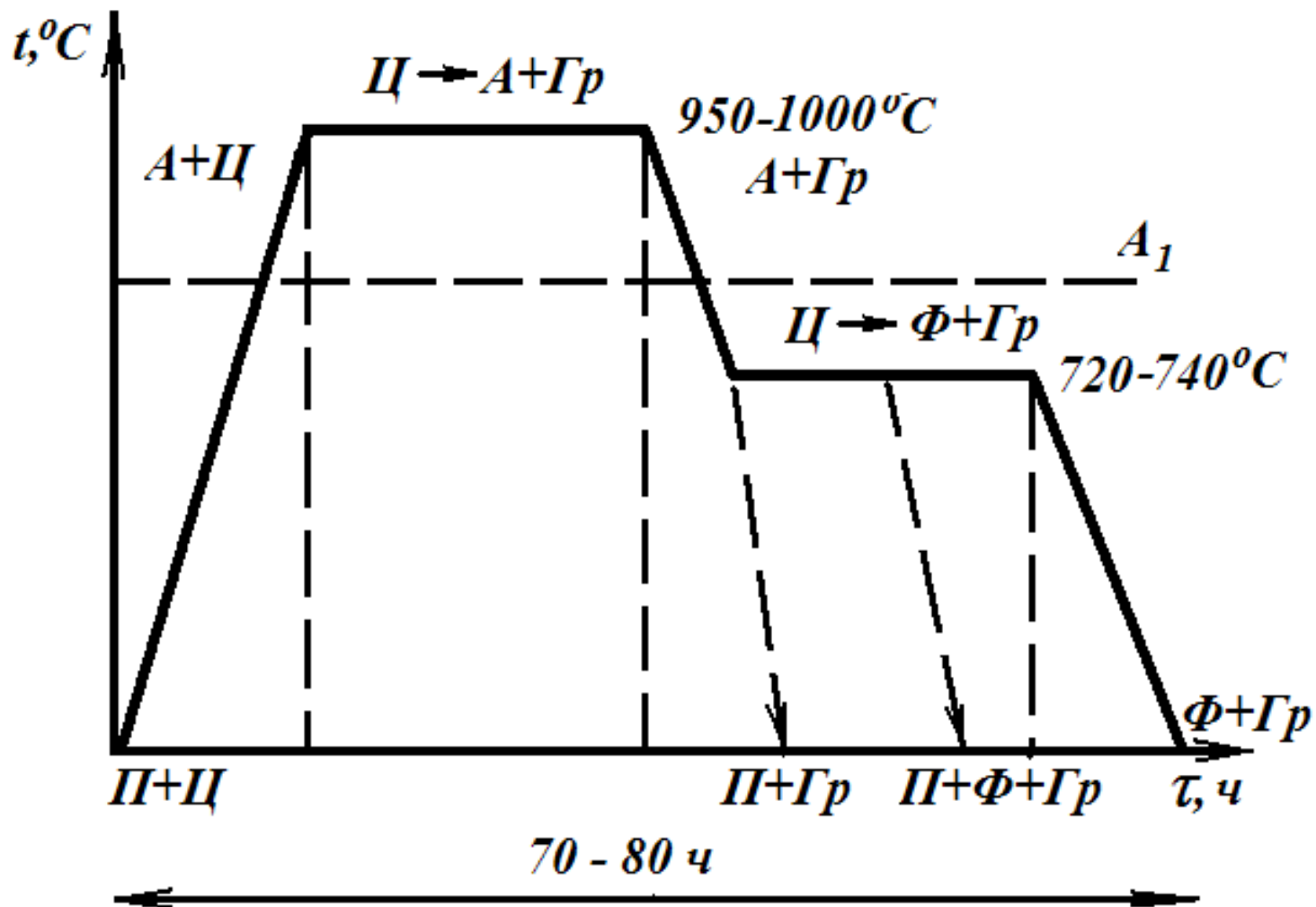
Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. Их получают модифицированием магнием, церием, иттрием, которые вводят в жидкий чугун в количестве 0,02-0,08%. Шаровидный графит является более слабым концентратором напряжений, чем пластинчатый, поэтому обладает более высокой прочностью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



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

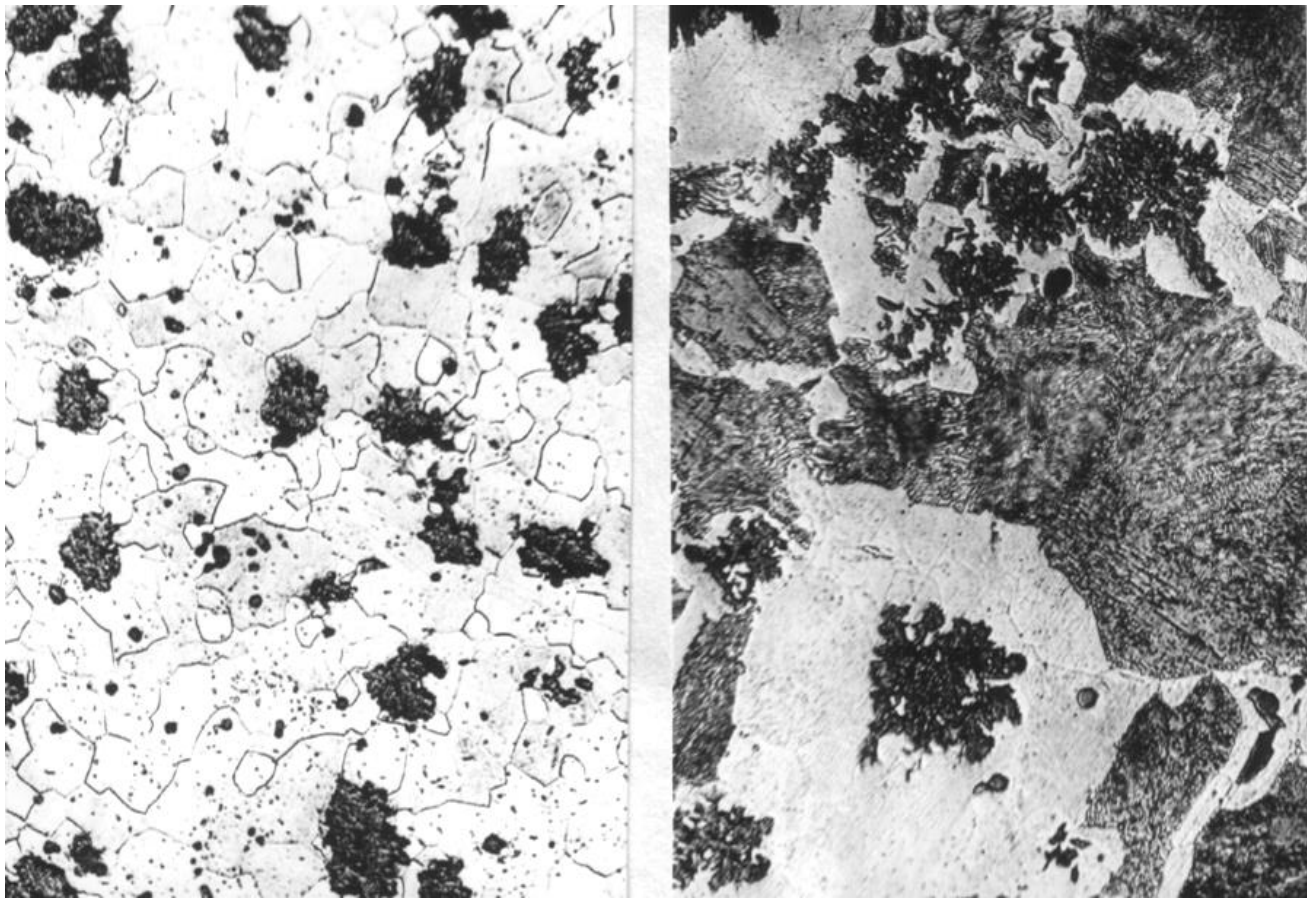
## Структура серых чугунов

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