

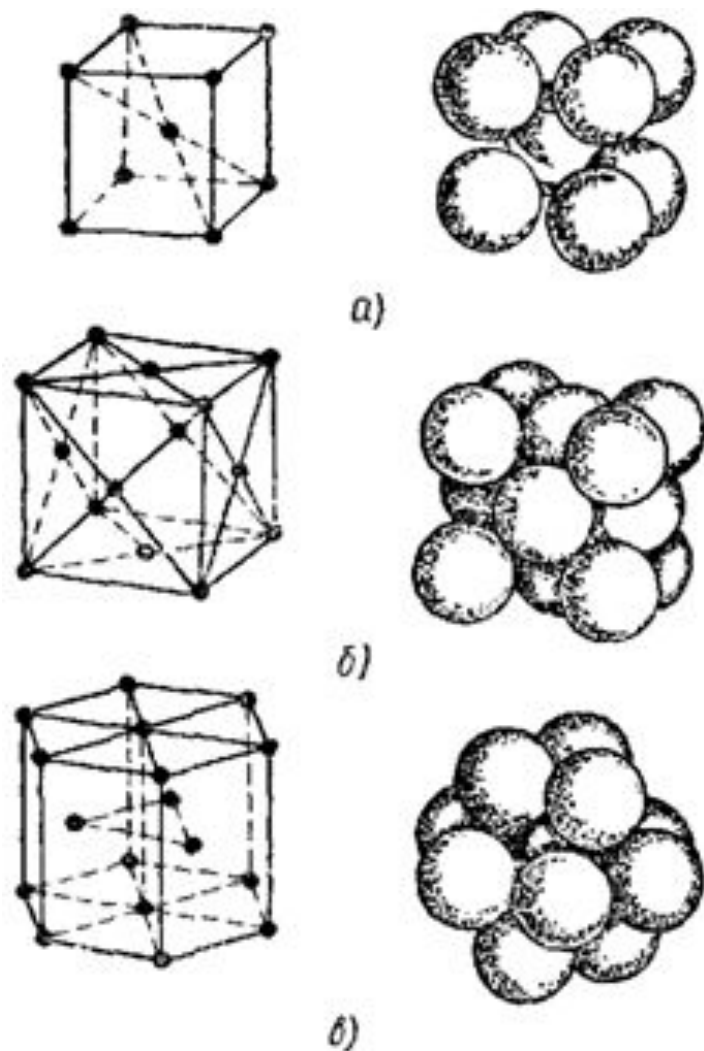
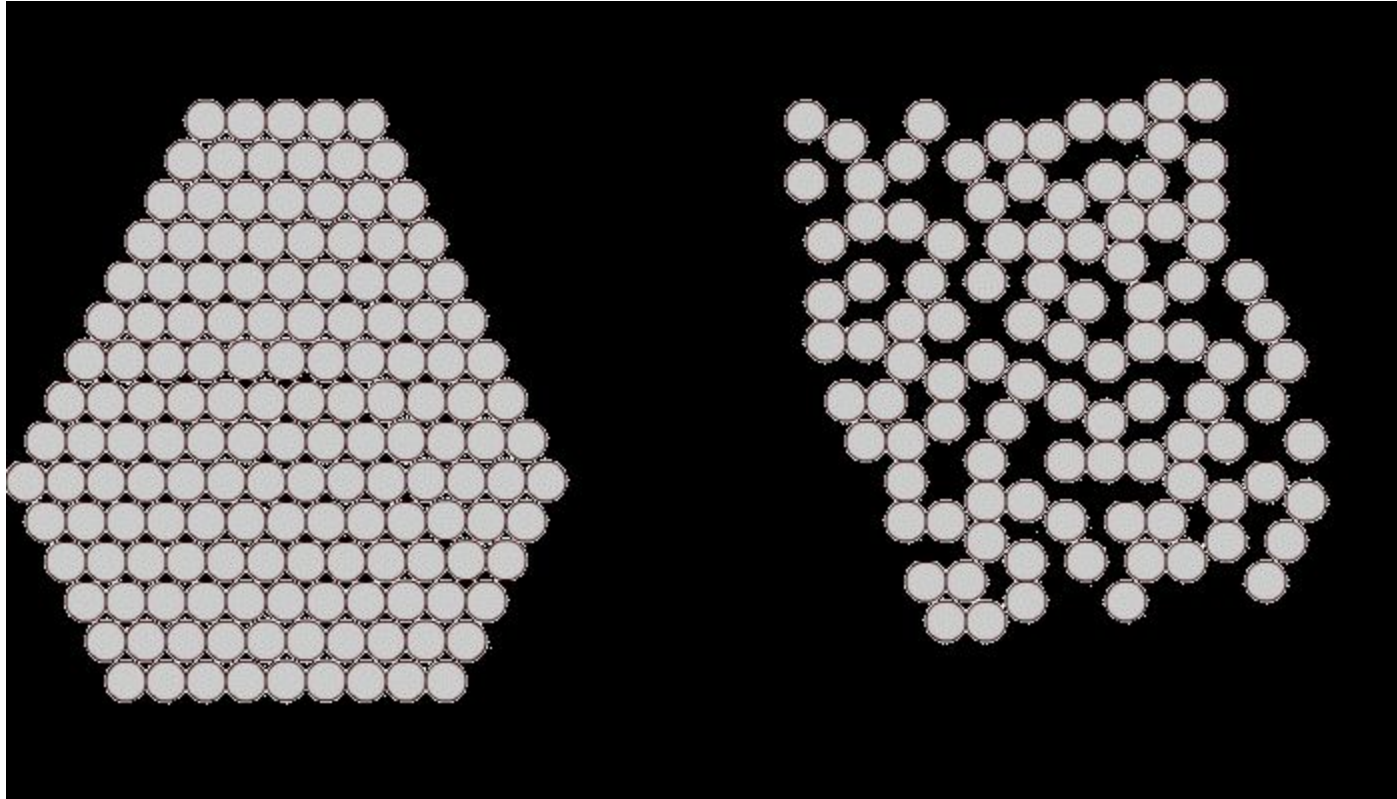


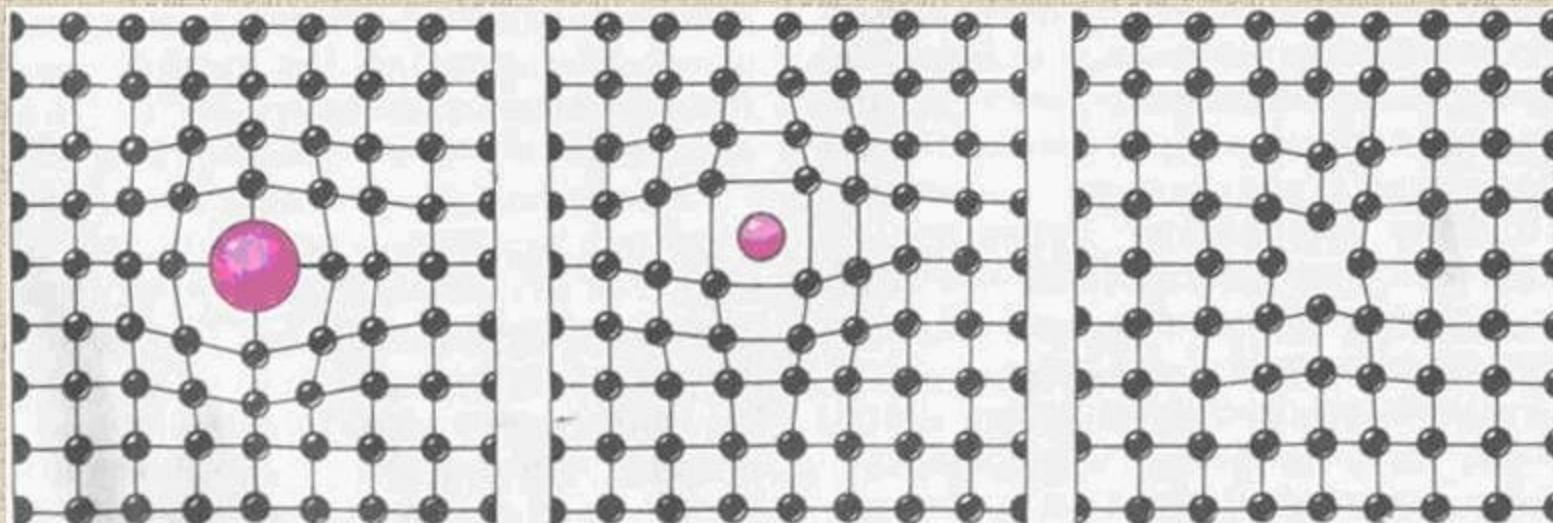
Рис. 1. Строение кристаллической решетки:
 а — кубическая объемноцентрированная, б — кубическая гранецентрированная, в — гексагональная

Кристаллическое и амморфное состояние кристалла

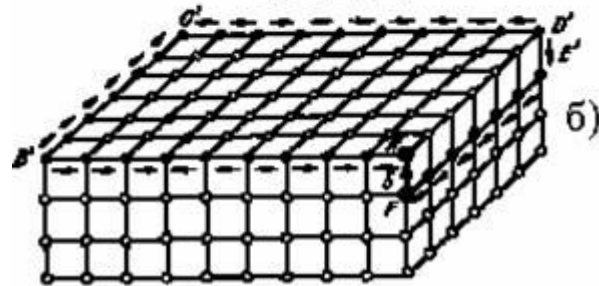
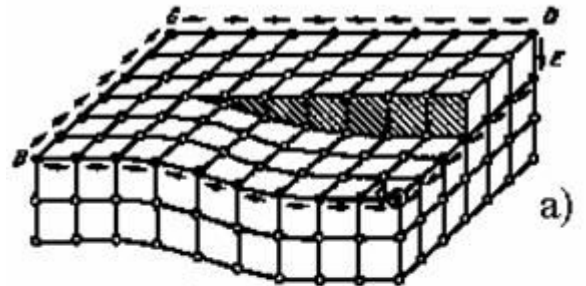


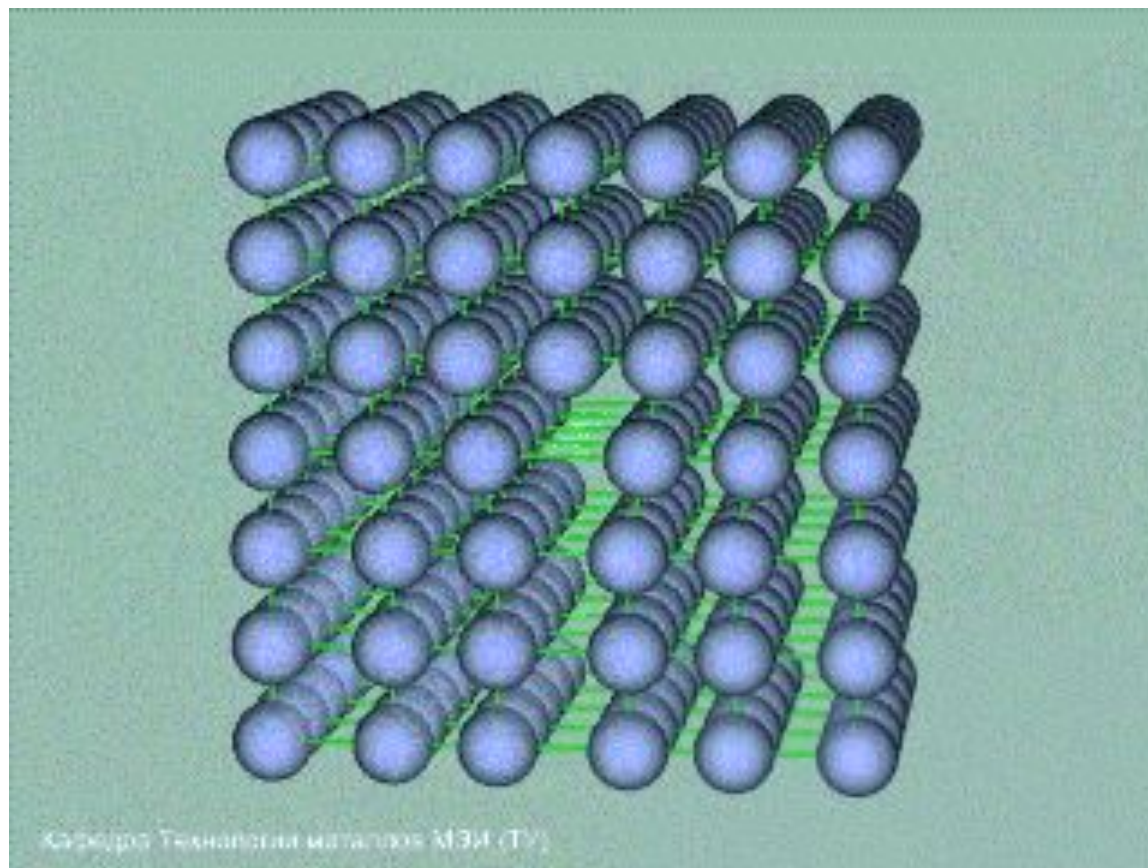
Дефекты в кристаллических решетках.

Расположение атомов в кристаллических решетках не всегда правильное. Это дефекты называются **дислокацией**.

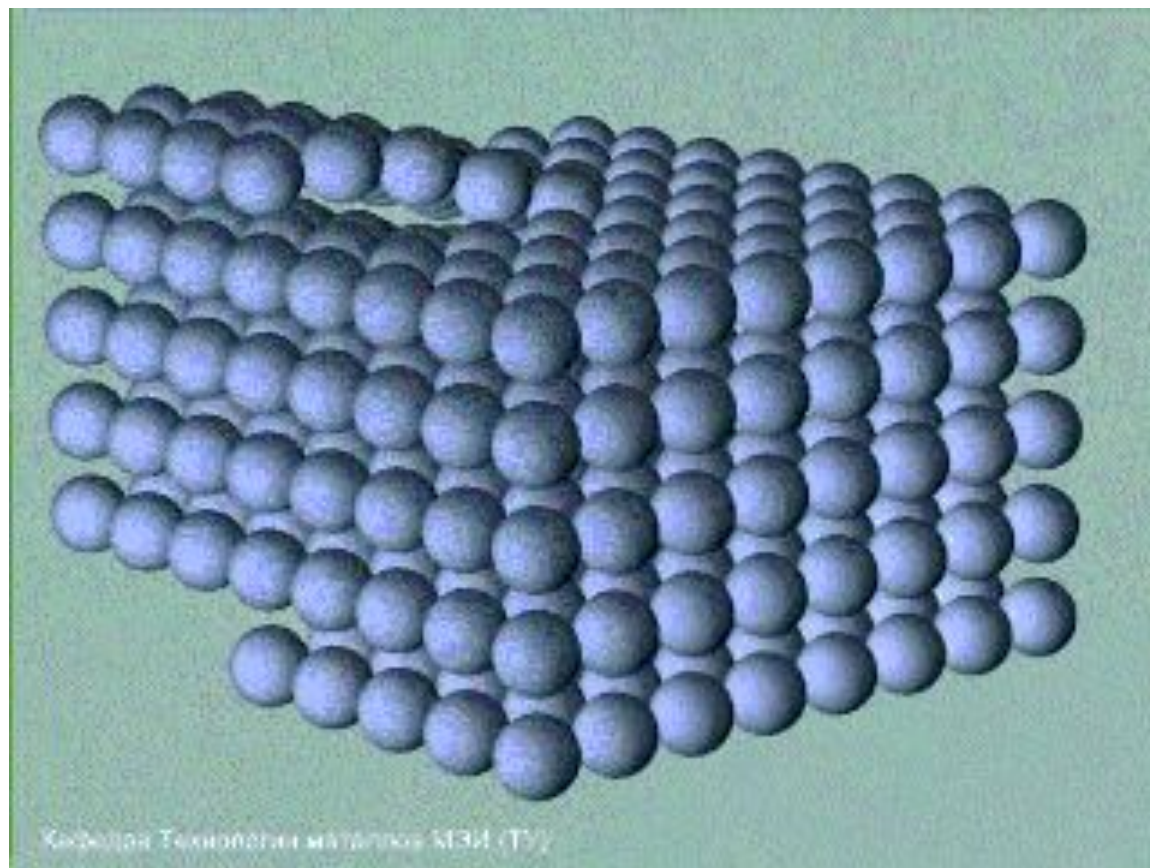


Дислокации





Краевая дислокация



Винтовая дислокация

Основные понятия в теории сплавов.

Система – группа тел выделяемых для наблюдения и изучения.

Компоненты – вещества, образующие систему. В качестве компонентов выступают чистые вещества и химические соединения, если они не диссоциируют на составные части в исследуемом интервале температур.

Фаза – однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностного раздела, при переходе через которую структура и свойства резко меняются.

**В зависимости от характера
взаимодействия
компонентов различают
сплавы:**

**механические смеси;
химические соединения;
твердые растворы.**

Механические смеси образуются, когда компоненты не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения

Сплавы **химические соединения** образуются между элементами, значительно различающимися по строению и свойствам, если сила взаимодействия между разнородными атомами больше, чем между однородными.

Особенности этих сплавов:

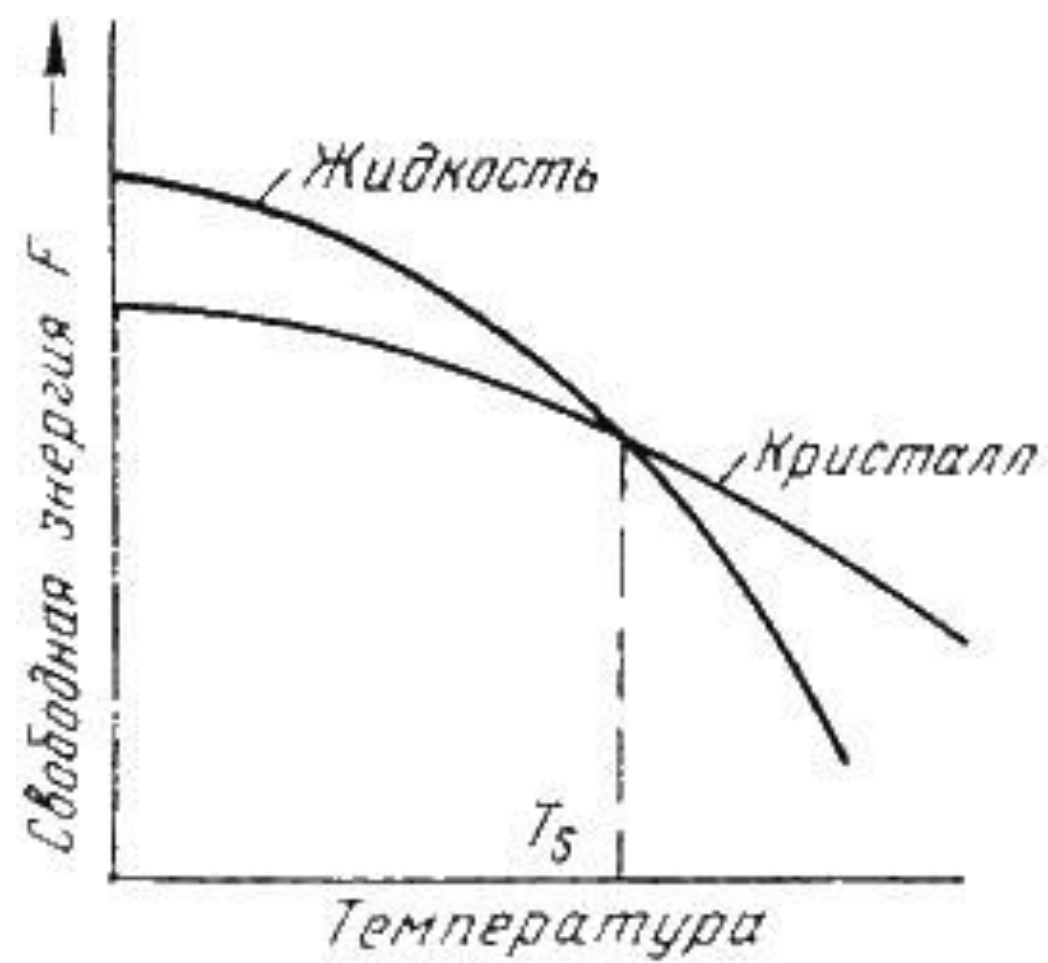
Постоянство состава, то есть сплав образуется при определенном соотношении компонентов, химическое соединение обозначается $A_n B_m$

Образуется специфическая, отличающаяся от решеток элементов, составляющих химическое соединение, кристаллическая решетка с правильным упорядоченным расположением атомов

Ярко выраженные индивидуальные свойства

Постоянство температуры кристаллизации, как у чистых компонентов
Плавные твердые растворы – это твердые фазы, в которых соотношения между компонентами могут изменяться. Являются кристаллическими веществами.

Характерной особенностью твердых растворов является :
наличие в их кристаллической решетке разнородных атомов, при сохранении типа решетки растворителя.



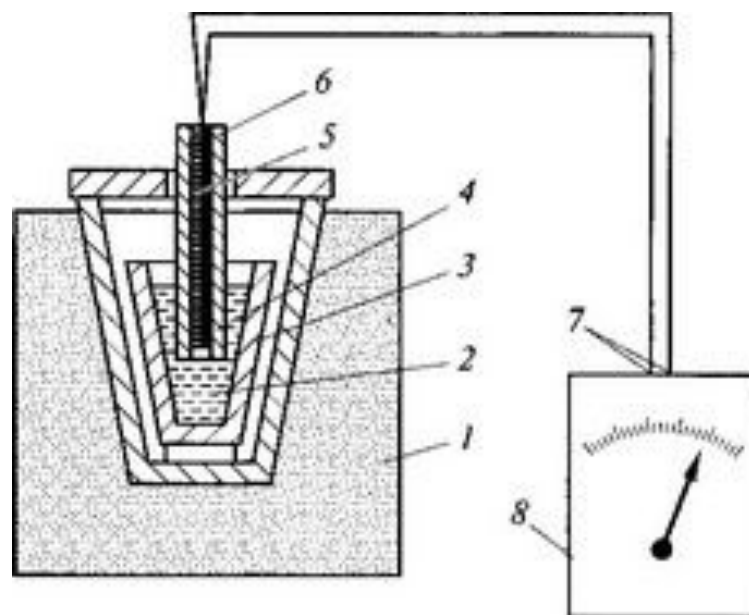
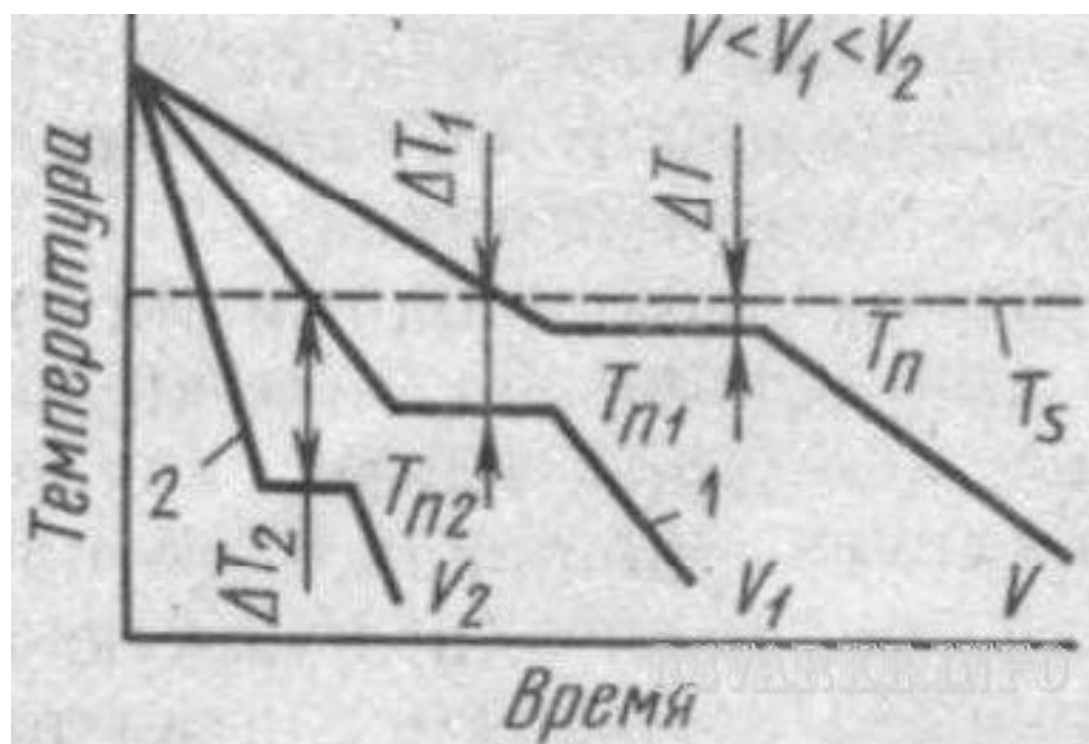


Рис. 2.20. Схема установки для термического анализа:
 1 — печь; 2 — жидкий металл;
 3 — тигель; 4 — горячий спай термопары; 5 — термопара; 6 — защитный колпачок; 7 — холодный спай термопары; 8 — гальванометр



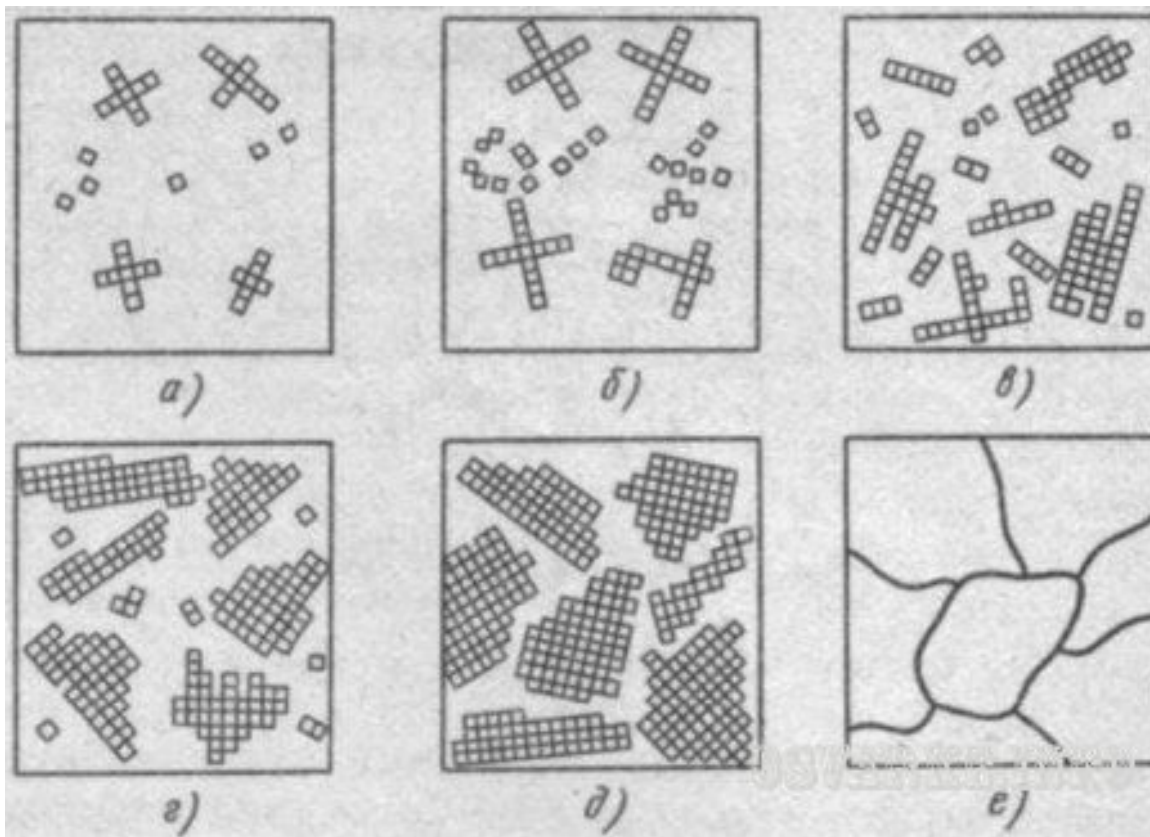


Рис. Последовательные этапы процесса кристаллизации металла

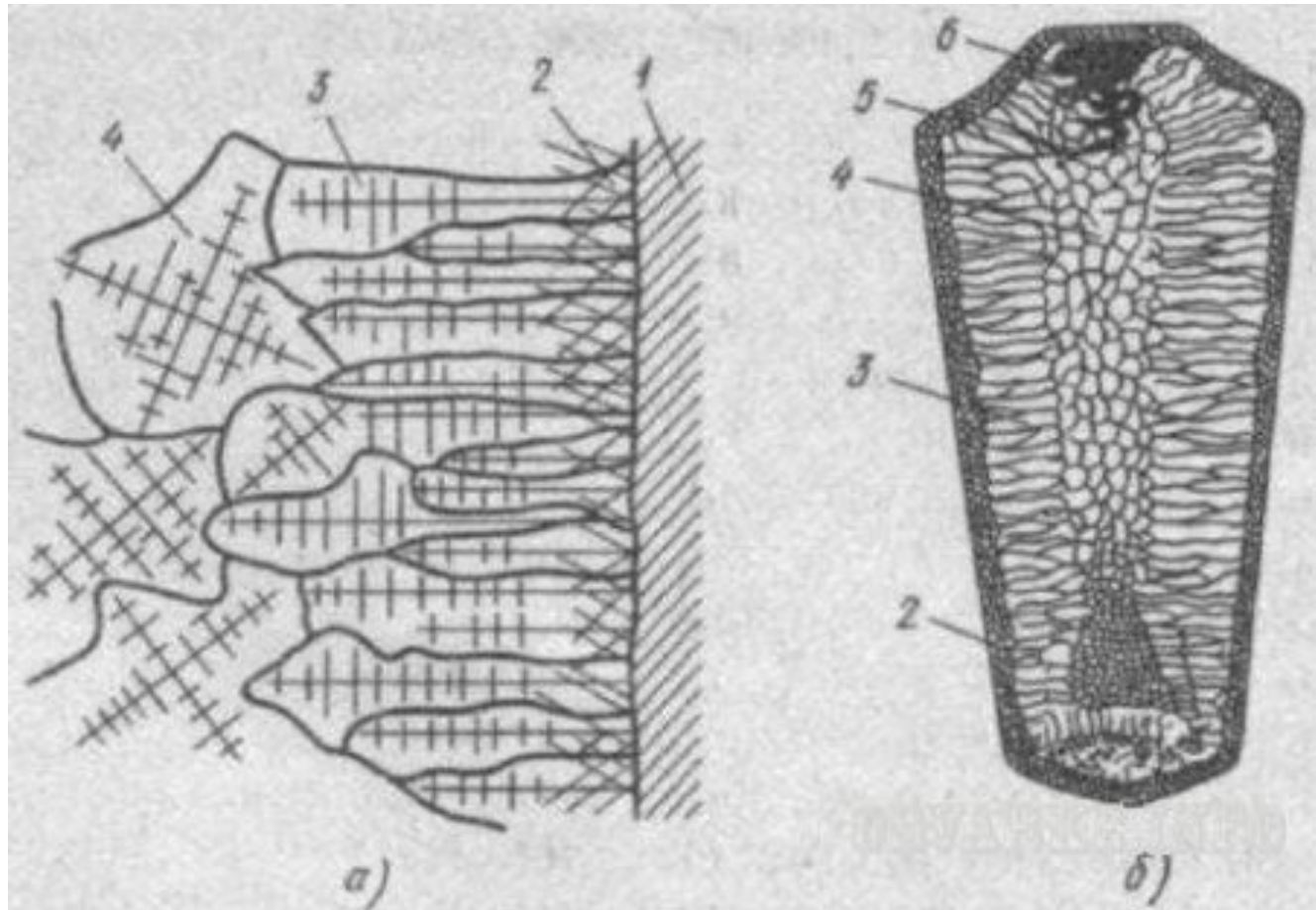


Схема строения стального слитка:

а - расположение дендритов в наружных частях слитка, б - строение слитка; 1- стенки изложницы. 2 – мелкие равноосные кристаллы, 3 - древовидные кристаллы, 4 - равноосные неориентированные кристаллы больших размеров, 5 - усадочная рыхлость, 6 - усадочная раковина

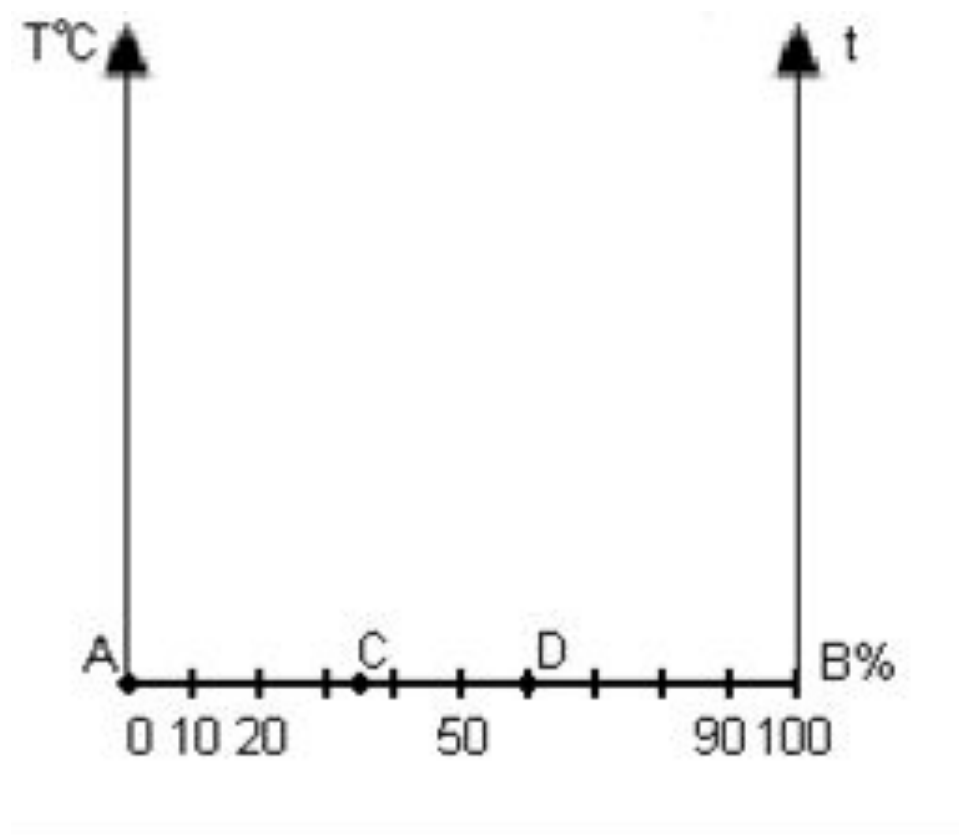
Диаграмма состояния.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния любого сплава изучаемой системы в зависимости от концентрации и температуры

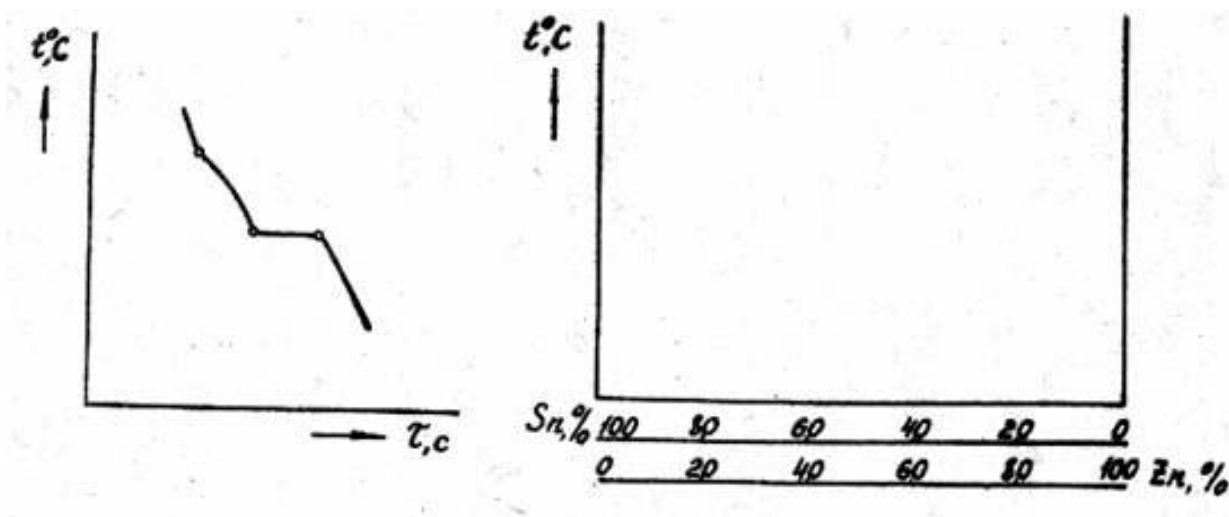
Диаграммы состояния показывают устойчивые состояния, т.е. состояния, которые при данных условиях обладают минимумом свободной энергии, и поэтому ее также называют диаграммой равновесия, так как она показывает, какие при данных условиях существуют равновесные фазы.

По диаграмме равновесия можно определить температуры фазовых превращений, изменение фазового состава, приблизительно, свойства сплава, виды обработки, которые можно применять для сплава.

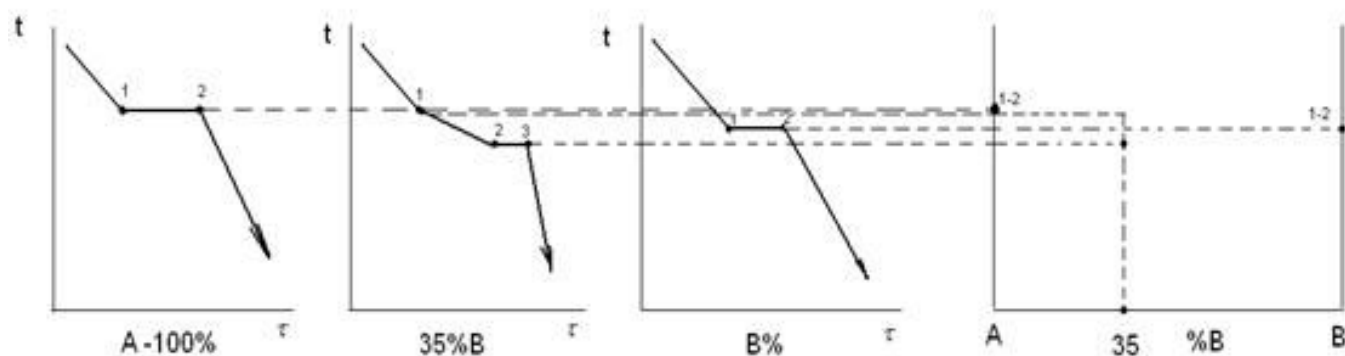
Построение диаграмм состояния двойных сплавов



Построение диаграмм состояния двойных сплавов



Построение диаграмм состояния двойных сплавов



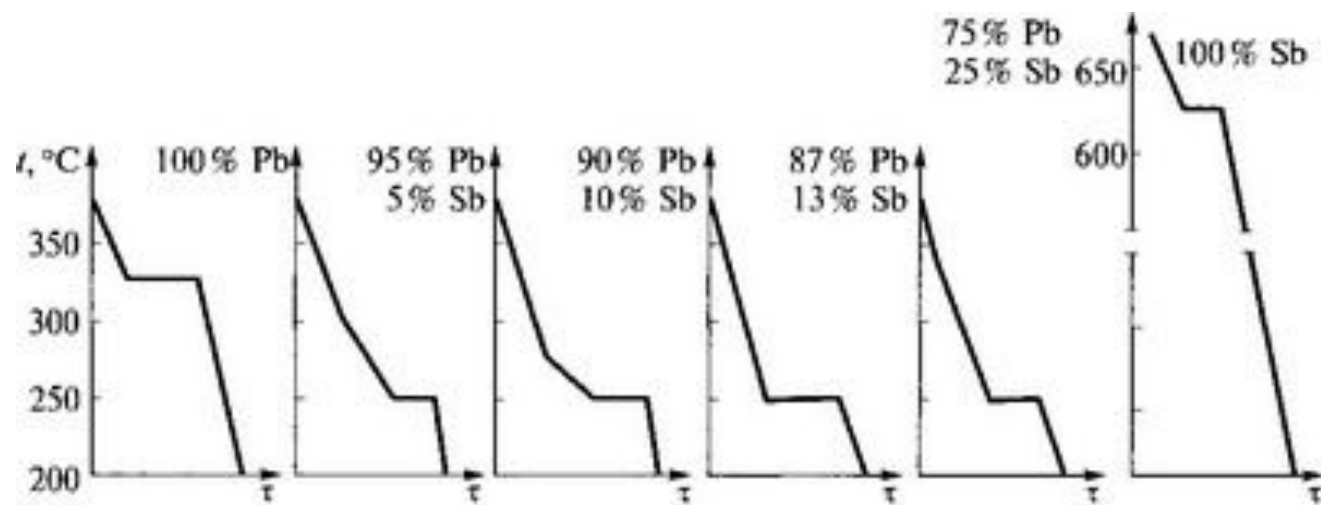


Рис. 2.21. Кривые охлаждения сплавов системы Pb — Sb

Диаграмма состояния сплавов , образующих механические смеси из чистых компонентов

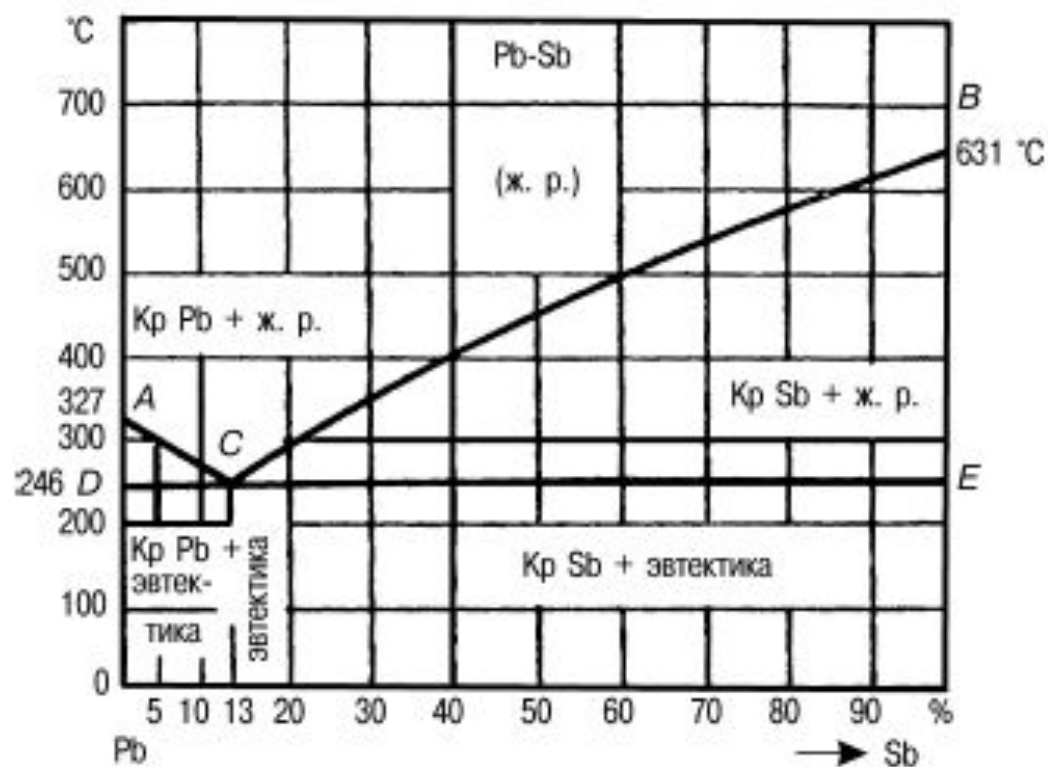


Диаграмма состояния и кривые охлаждения для системы свинец -сурьма



Диаграмма состояния и кривые охлаждения сплавов образующих механические смеси из чистых компонентов

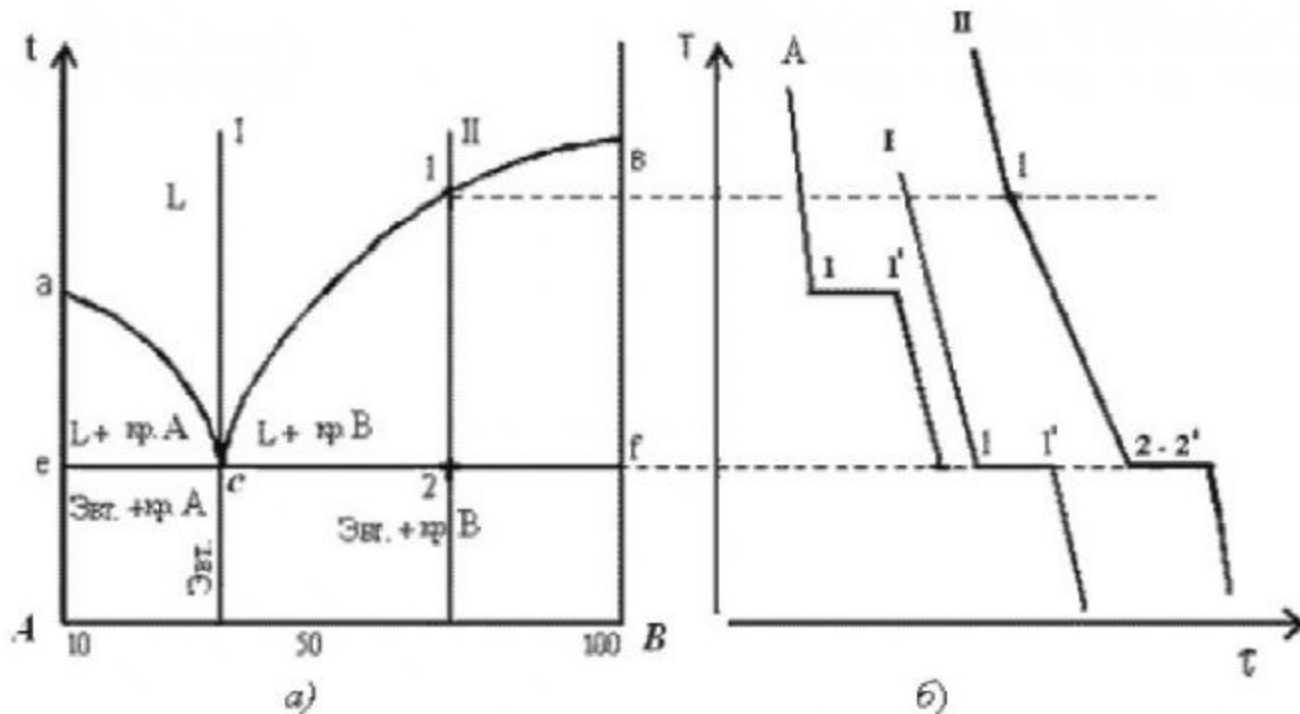


Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии

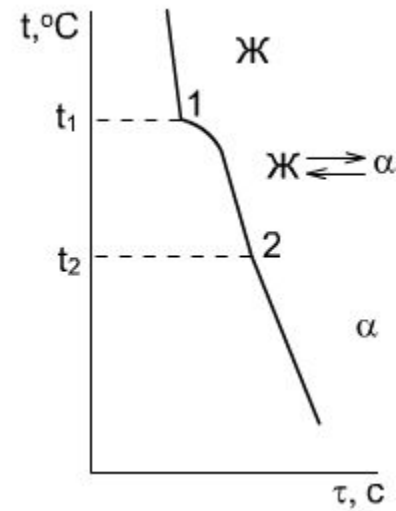
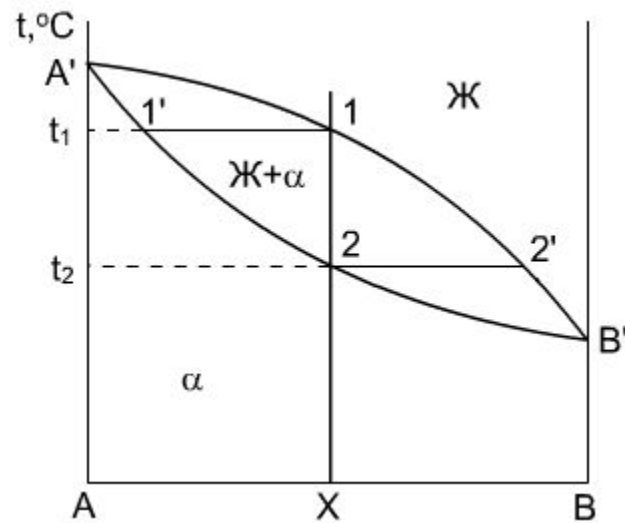


Диаграмма состояния с устойчивым химическим соединением

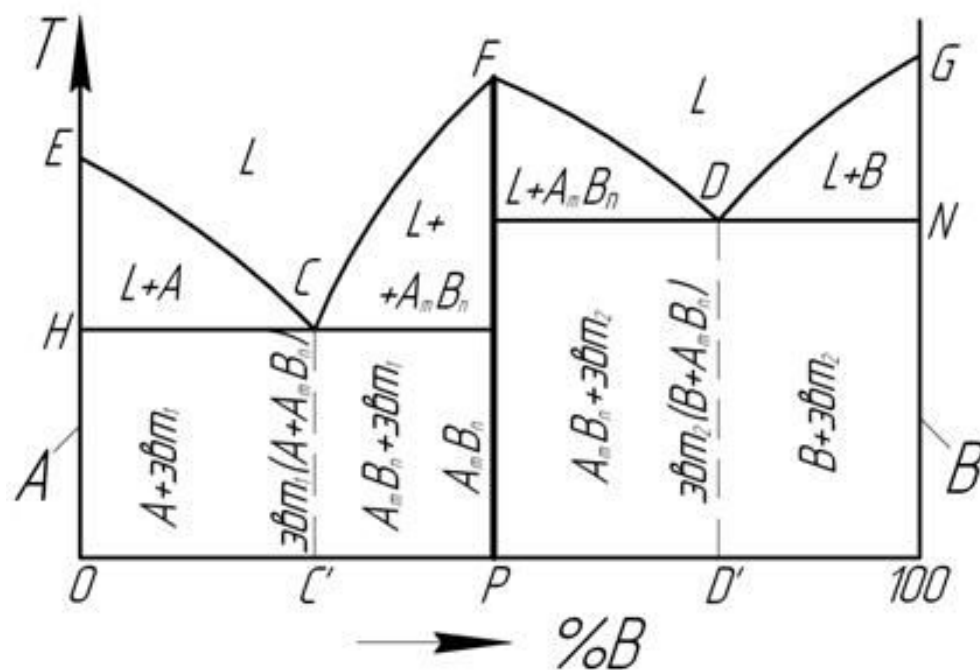


Диаграмма состояния с химическим соединением

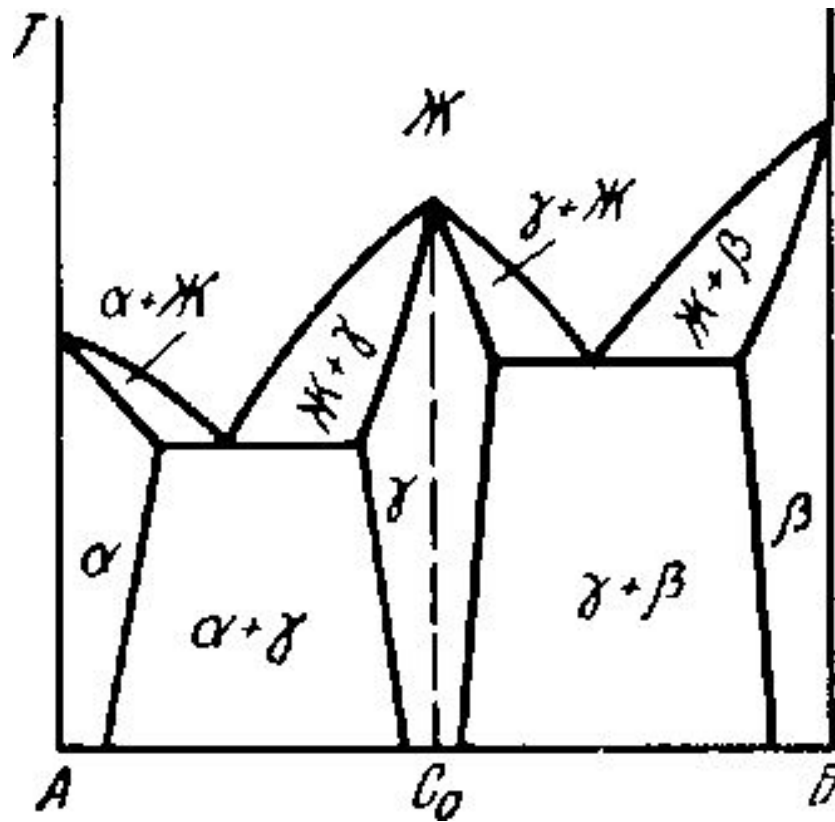
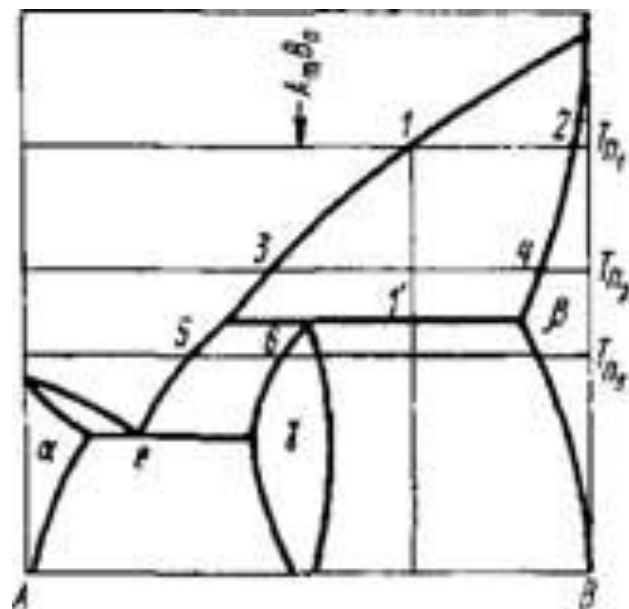


Диаграмма состояния сплавов с перетектикой



Температура ↑

Ж

Ж+γ

γ

α

γ+α

t_A

A_γ

a

A_α

b

c

t_B

А

Содержание компонента В

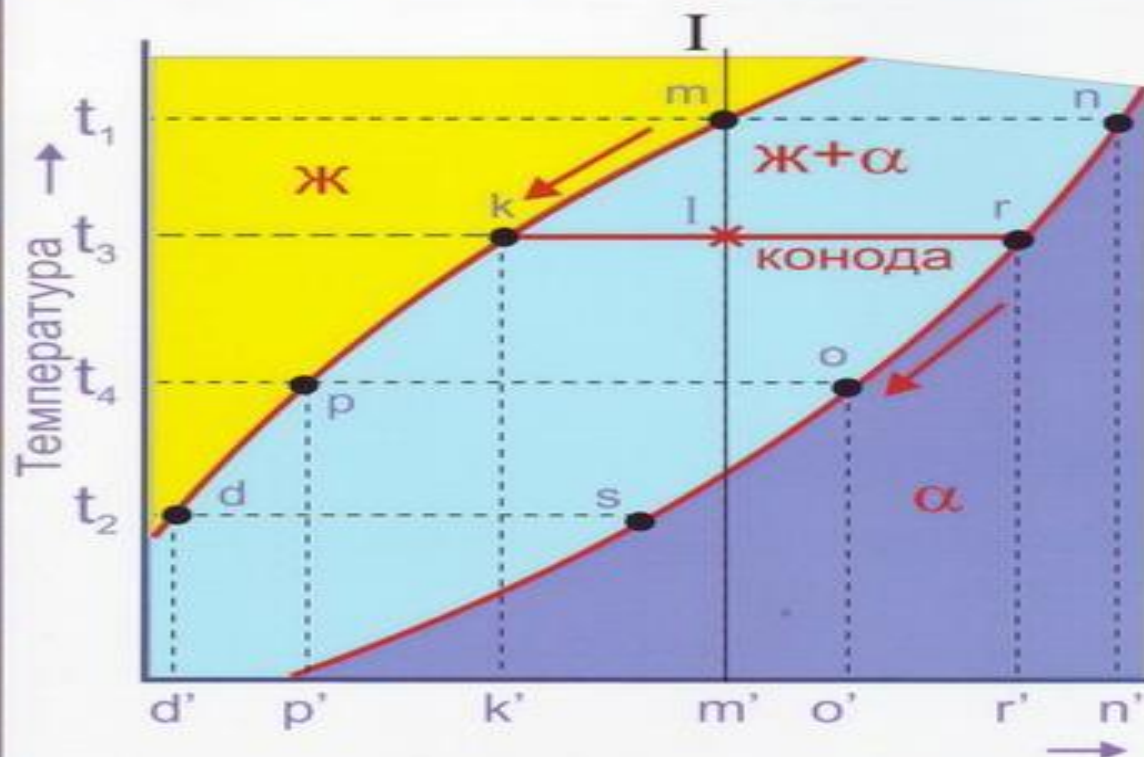
В



Правила концентраций и отрезков

Правило концентраций устанавливает концентрации фаз при заданной температуре. Через фигуративную точку проводят **коноду**. Проекция точки пересечения **коноды** с линией ликвидус на ось концентраций определяет состав жидкой фазы. Проекция точки пересечения **коноды** с линией солидус определяет состав твердой фазы. Для t_3 - состав жидкой фазы соответствует точке k' , а твердой g' .

Правило отрезков - устанавливает количественное соотношение фаз при заданной температуре. Фигуративная точка делит коноду на отрезки, пропорциональные количеству фаз.

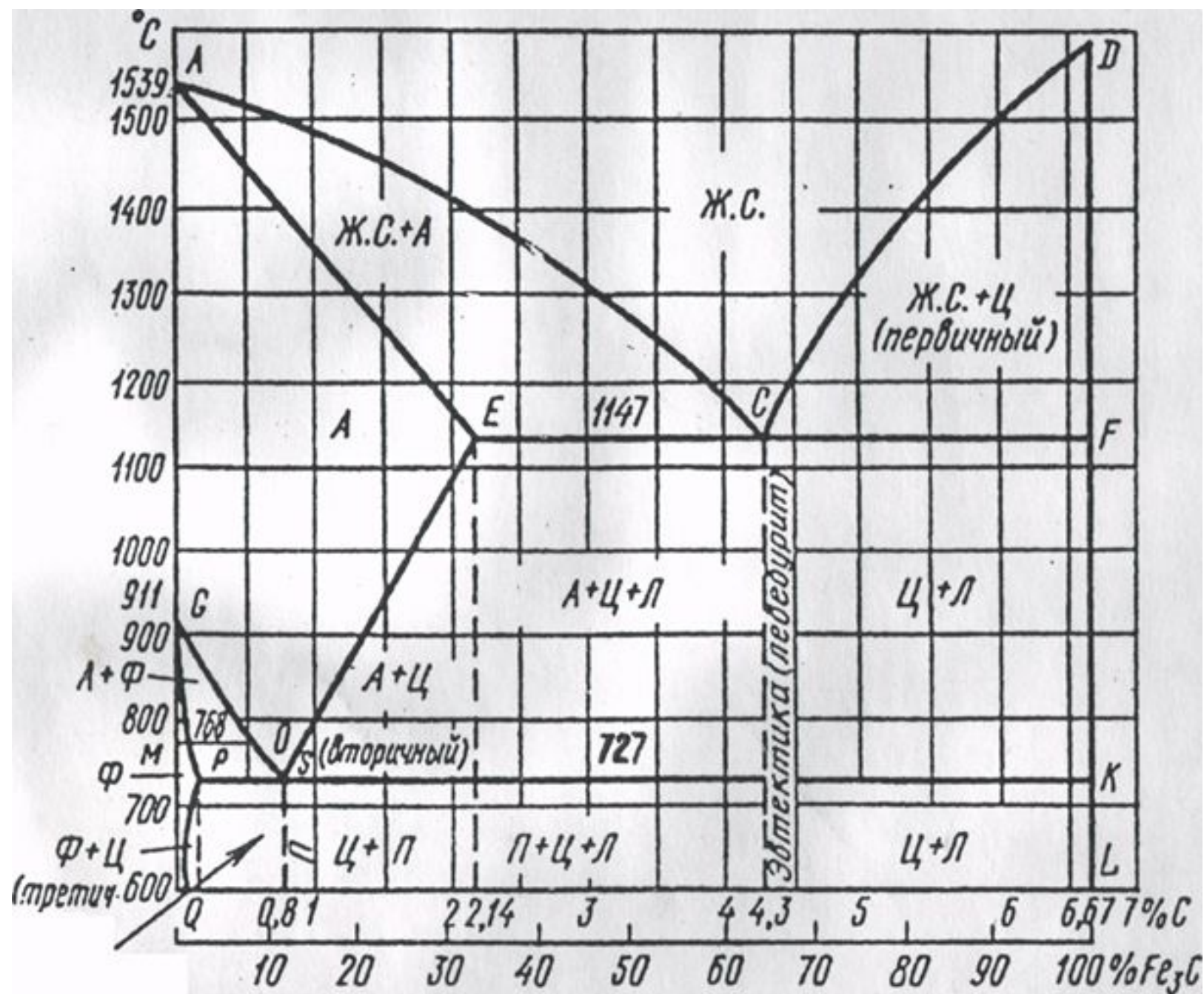


При температуре t_3 :
количество жидкой фазы

$$Q_{\text{ж}} = \frac{lr}{kr} \cdot 100\%$$

При температуре t_3 :
количество твердой фазы

$$Q_{\alpha} = \frac{kl}{kr} \cdot 100\%$$



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
σ_B , МПа	не менее 310	320-340	340-440	380-490	420-540	500-640	600-670
δ , % 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
σ_T , МПа	200	210	250	300	340	380	410	430
σ_B , МПа	330	340	420	500	580	640	690	730
δ , %	33	31	25	21	19	14	12	9
ψ , %	60	55	55	50	45	40	35	30

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 (**Si 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.

Коррозионностойкие стали

Коррозионностойкими (нержавеющими) называют стали, которые способны сопротивляться коррозионному воздействию агрессивной среды.

Различают химическую и электрохимическую коррозию.

Межкристаллитная коррозия
аустенитных сталей.



Одним из видов электрохимической коррозии является

межкристаллитная коррозия.

Она распространяется по границам зерен от поверхности вглубь металла и резко снижает механические свойства.

Основной легирующий элемент коррозионностойких сталей - **хром**. При его содержании более 12 % возникает высокая устойчивость против коррозии. Коррозионностойкие стали подразделяются на **хромистые** и **хромоникелевые**.

Стали для режущего инструмента

Быстрорежущие стали

Высокая твердость этих сталей сохраняется при нагреве до $600-640^{\circ}\text{C}$. Инструмент из этих сталей работает с высокими скоростями резания.

Маркировка: Марка стали начинается с буквы **Р**, за которой следует число, обозначающее содержание **вольфрама**.

Марка стали	Содержание, %				
	C	W	Mo	Cr	V
P18	0,7-0,8	17-19	0,5-1,0	3,8-4,4	1,0-1,4
P9	0,85-0,95	8,5-10,5	до 1,0	3,8-4,4	2,0-2,6
P6M5	0,82-0,90	5,5-6,5	5,0-5,5	3,8-4,4	1,7-2,1

Структура стали P18

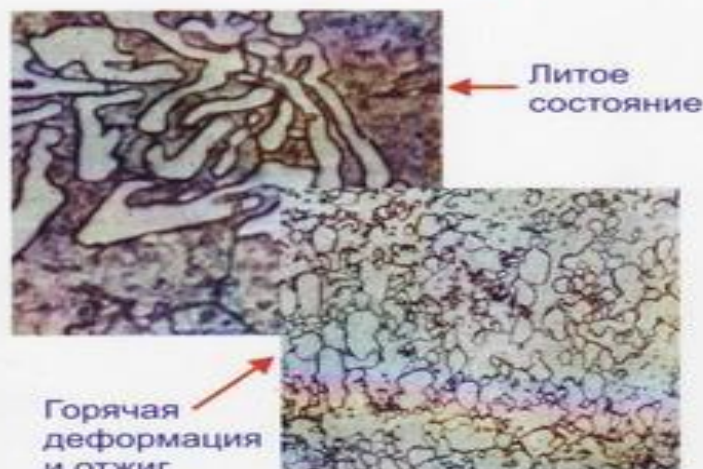
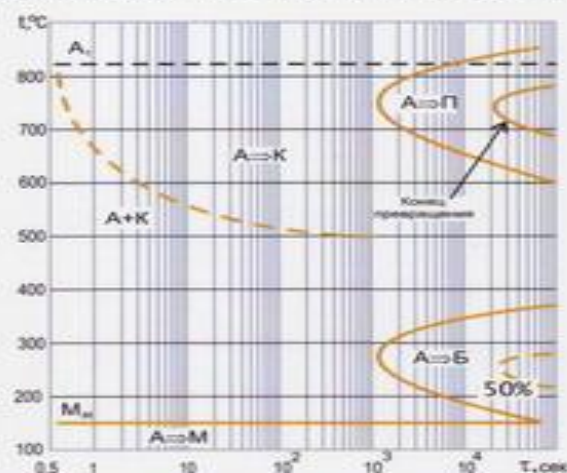


Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали P6M5



Жаростойкие стали

Под **жаростойкими** (окалиностойкими) понимают стали, устойчивые к газовой коррозии при высоких температурах.

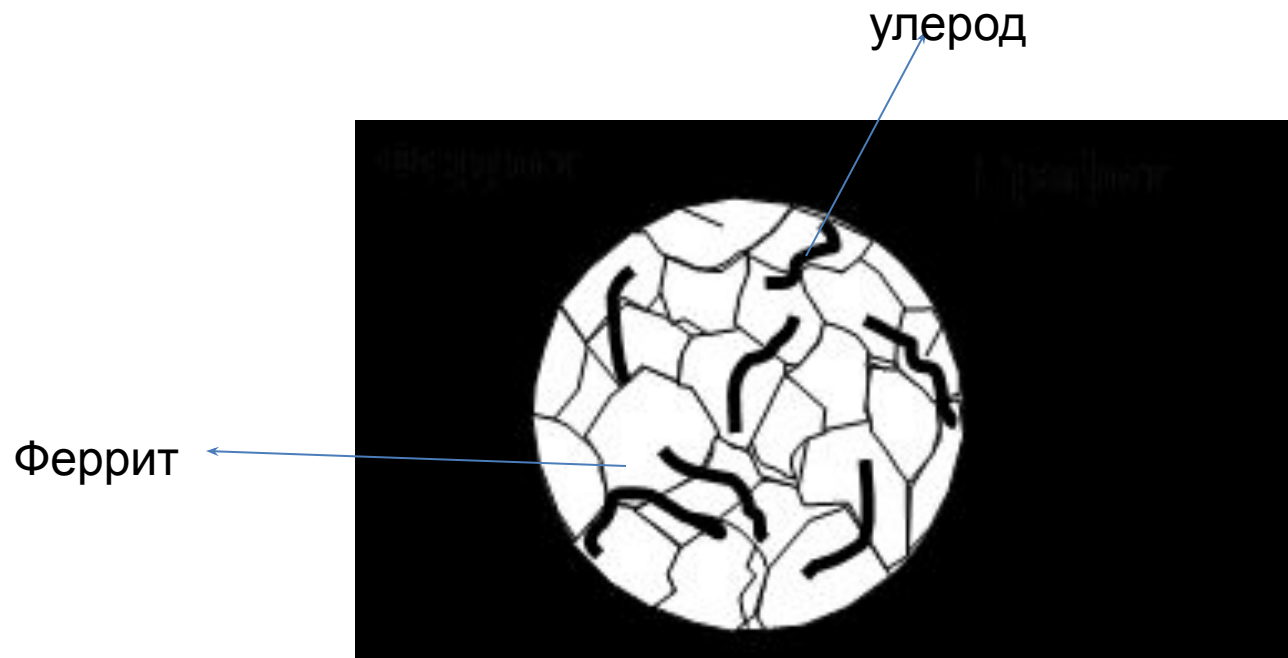
Основные легирующие элементы, повышающие жаростойкость - **хром, кремний и алюминий**.

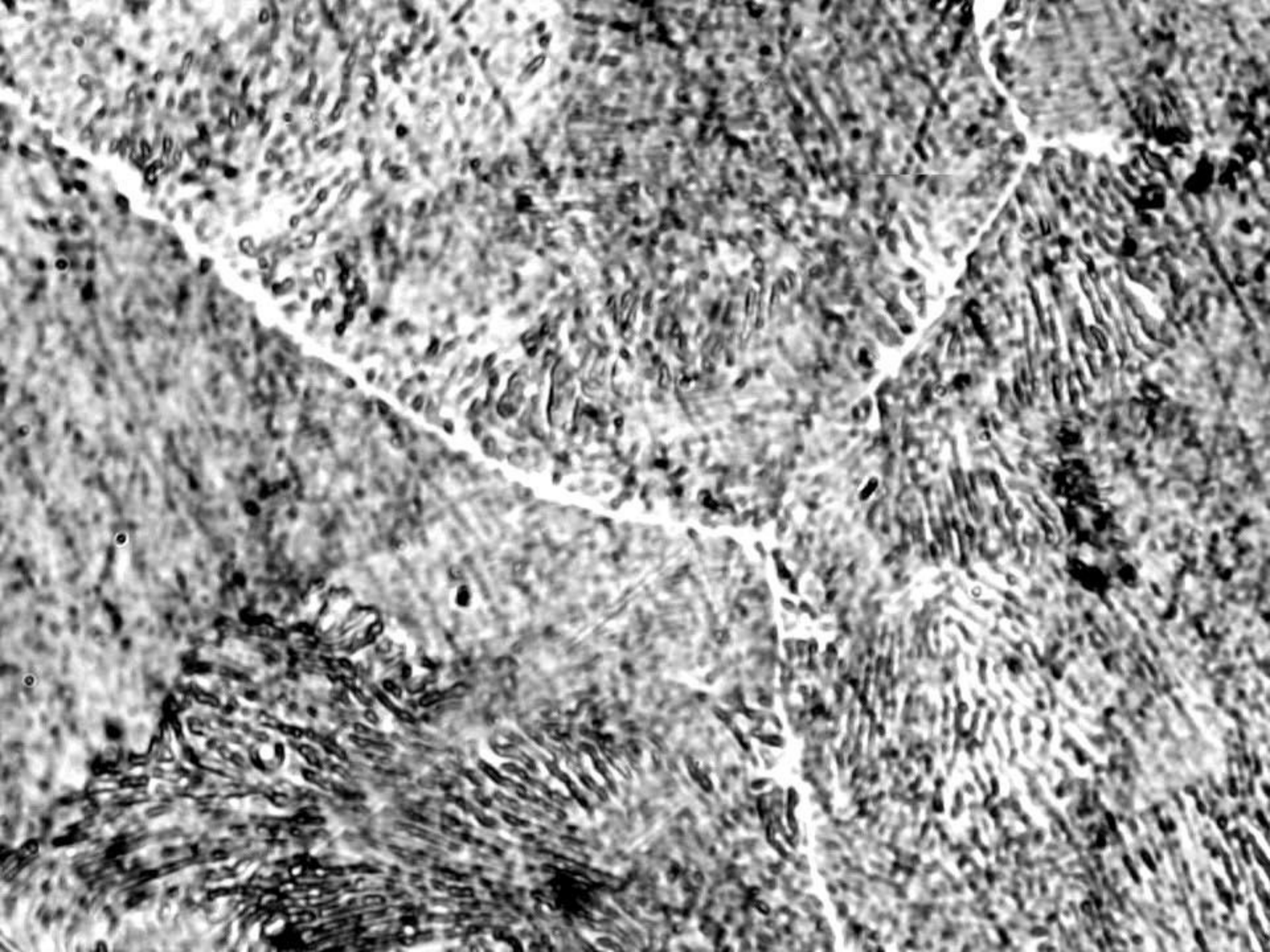
Хром и алюминий образуют защитные пленки из Cr_2O_3 , Al_2O_3 , $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$, $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, а кремний - из $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$.

Различают две основных группы сталей:

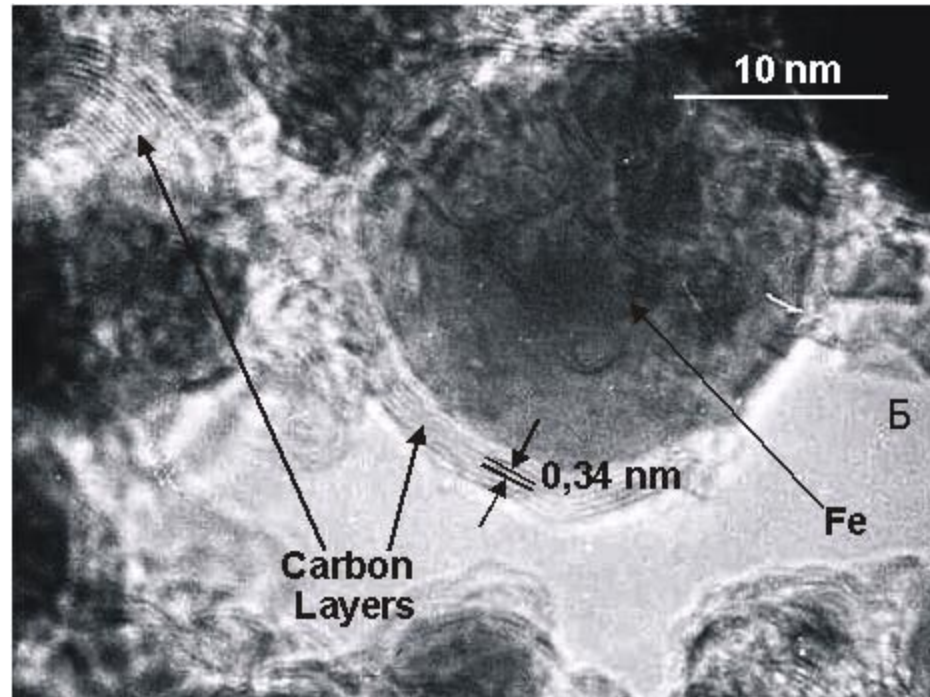
1. Высокохромистые стали, имеющие **ферритную** структуру: **08X17T, 15X25T, 15X28, 05X25Ю5** и др.
Термическая обработка: *нормализация с нагревом до 760 - 800°C.*
2. Хромоникелевые стали с **аустенитной** структурой: **08X18H9T, 20X23H18, 20X25H20C2** и др.
Термическая обработка: *закалка от 1100 - 1150°C с охлаждением в воде, масле или на воздухе.*

Микроструктура сплава железо-углерод

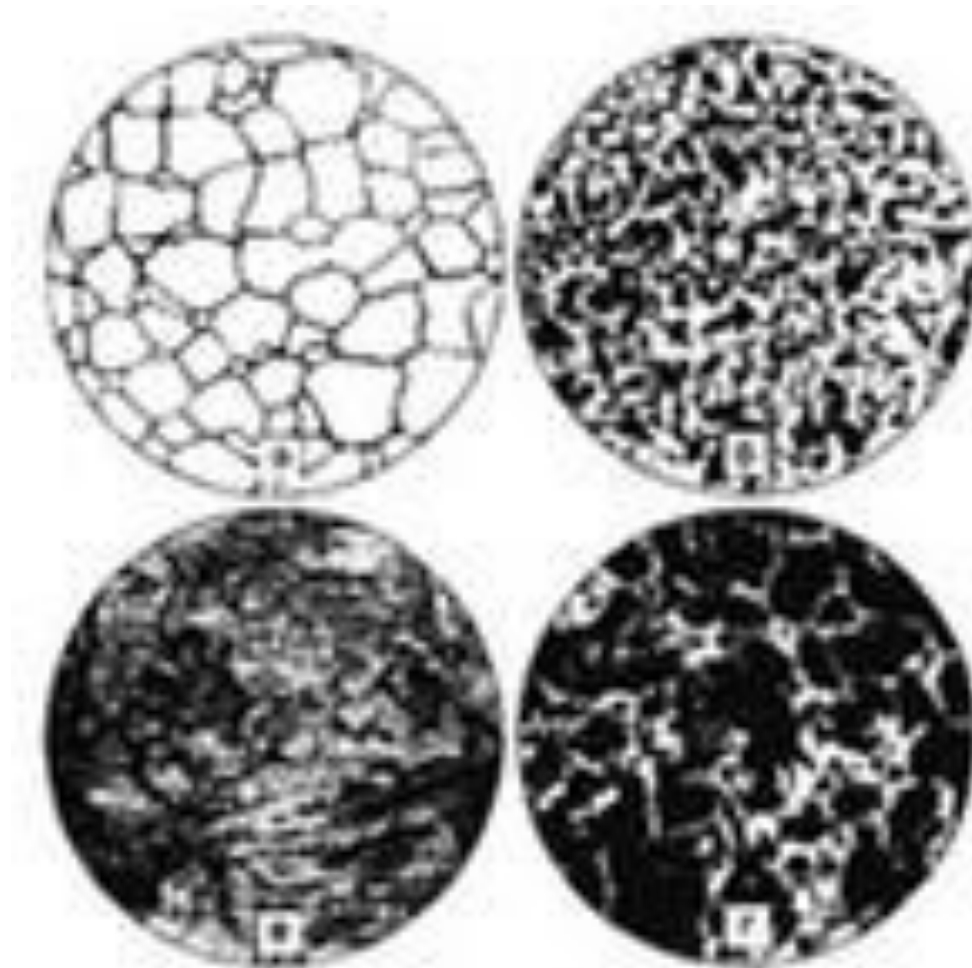


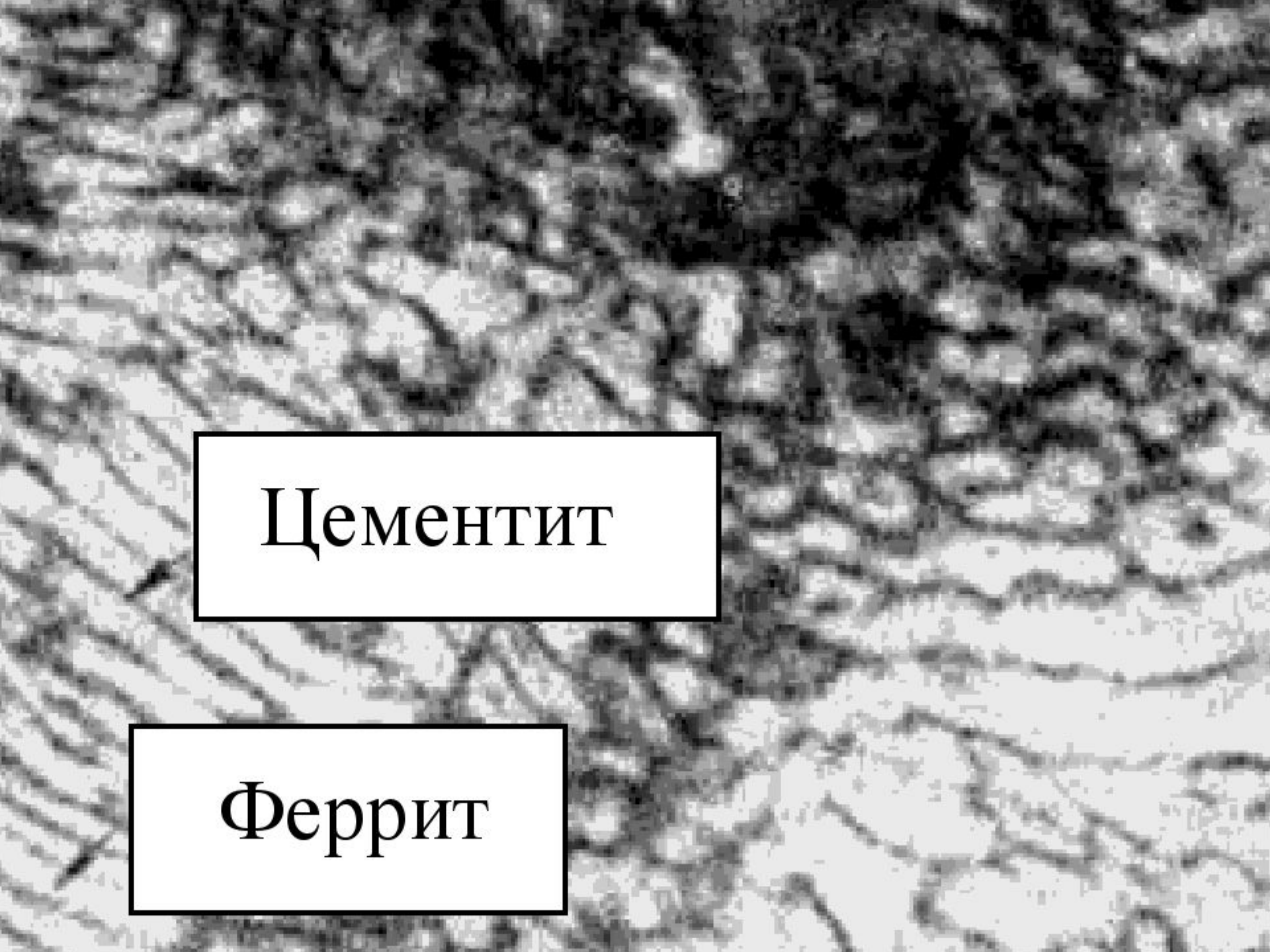


Наночастицы железа капсулированные в углерод



Микроструктура сталей с различным содержанием углерода.



A black and white micrograph showing a metal alloy microstructure. The image displays a complex pattern of light and dark regions. The dark regions, identified as cementite, are distributed throughout the lighter regions, which are identified as ferrite. The ferrite regions appear to have a fine, fibrous or lath-like internal structure, particularly visible in the lower-left quadrant. The overall texture is granular and heterogeneous.

Цементит

Феррит

Микроструктура чугунов с различной формой графита



Микроструктура чугунов



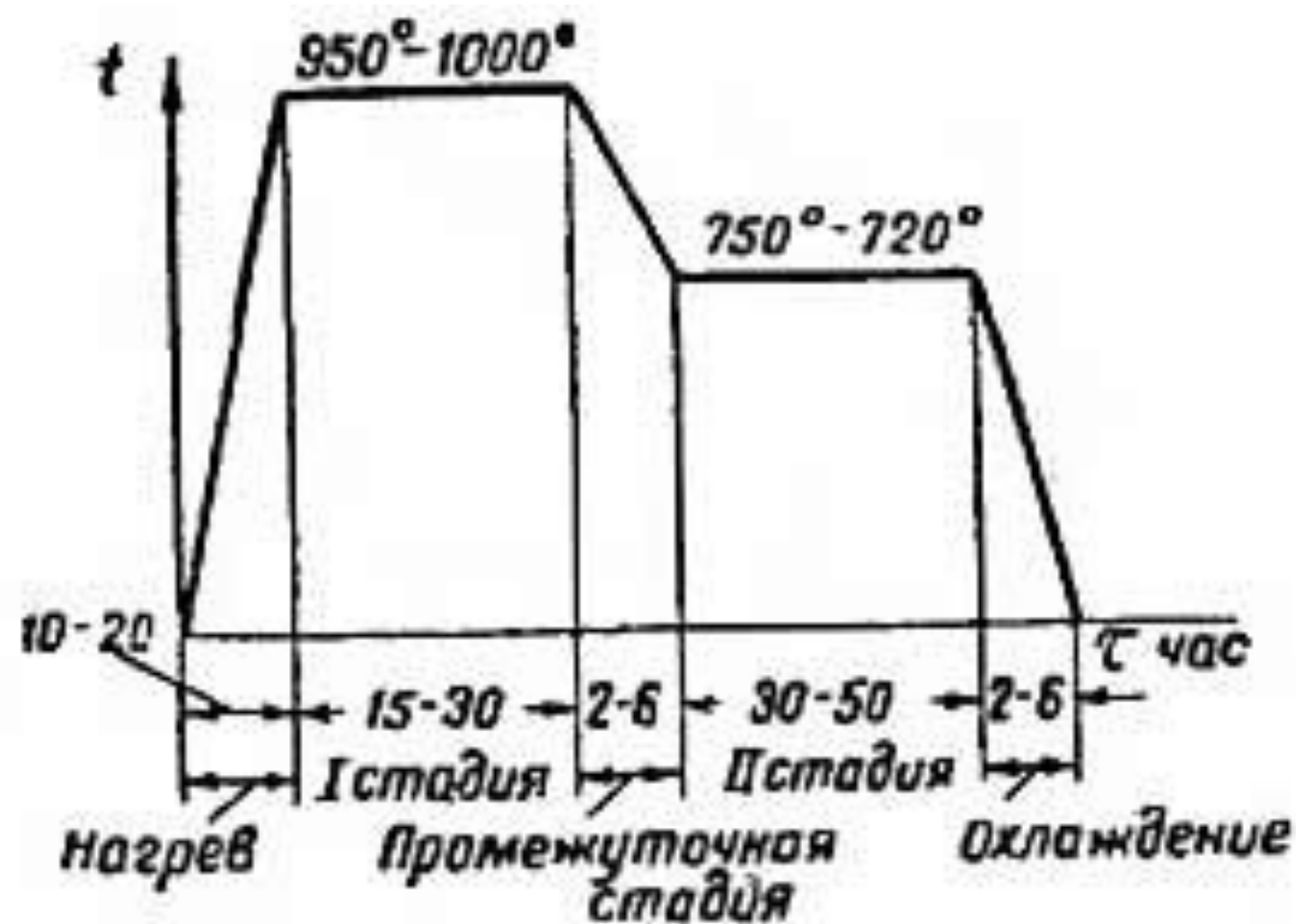
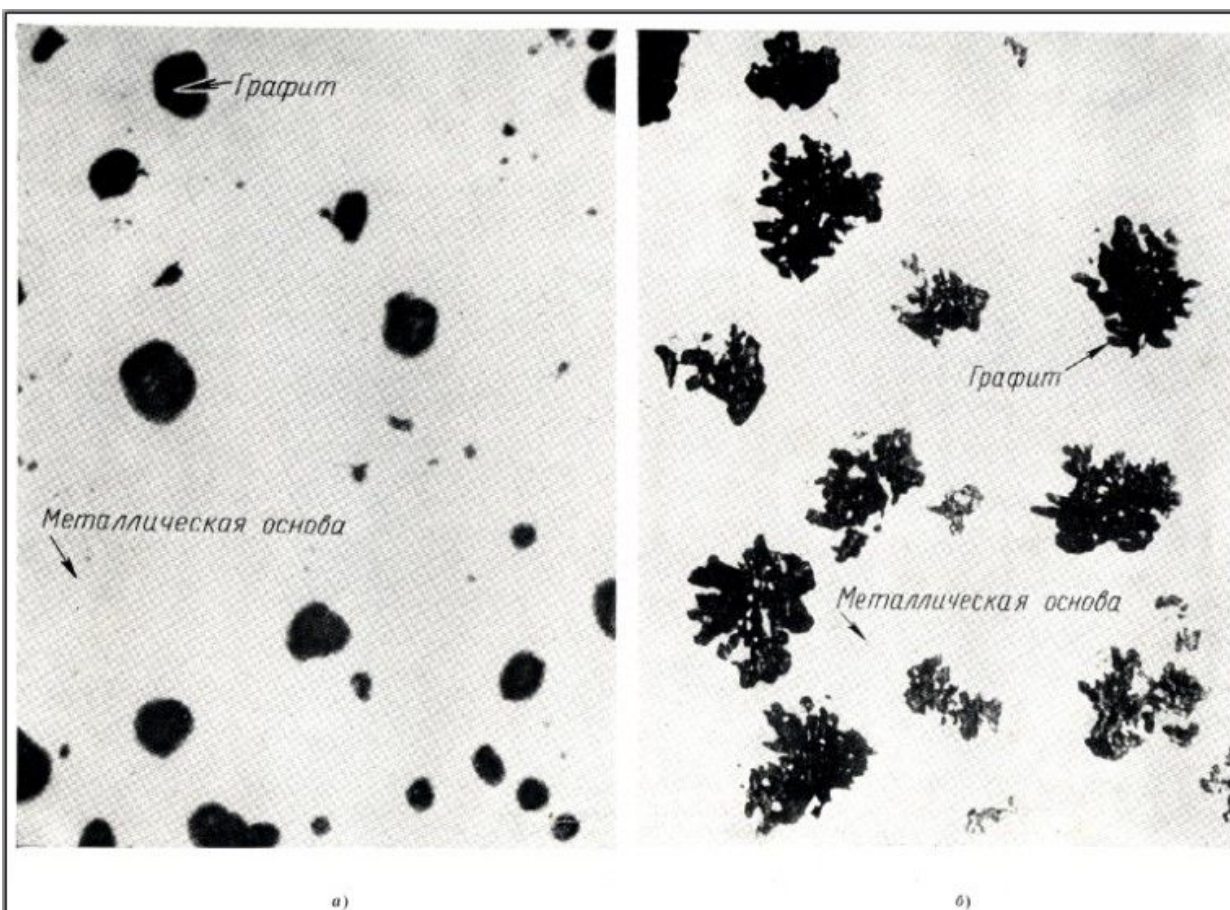


Рис. 76. Режимы отжига ковкого чугуна

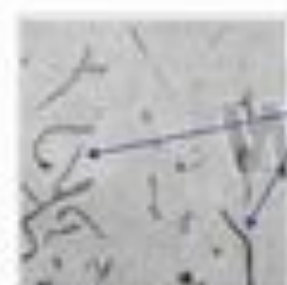
Микроструктура белого чугуна, из которого путем отжига получается КОВКИЙ...



Фиг. 32. Графитные включения и микроструктура чугуна до травления:
а — шаровидные в высокопрочном; $\times 200$; б — хлопьевидные в ковком; $\times 500$.

МИКРОСТРУКТУРЫ СЕРЫХ ЧУГУНОВ

Виды включений графита
(Нетравленные шлифы)



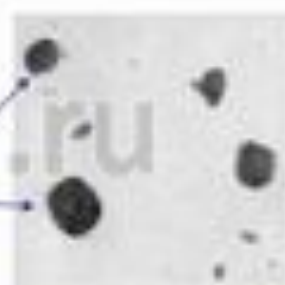
Графит
(пластинчатый)

Серый чугун



Графит
(хлопья)

Ковкий чугун



Графит
(сферический)

Высокопрочный
чугун

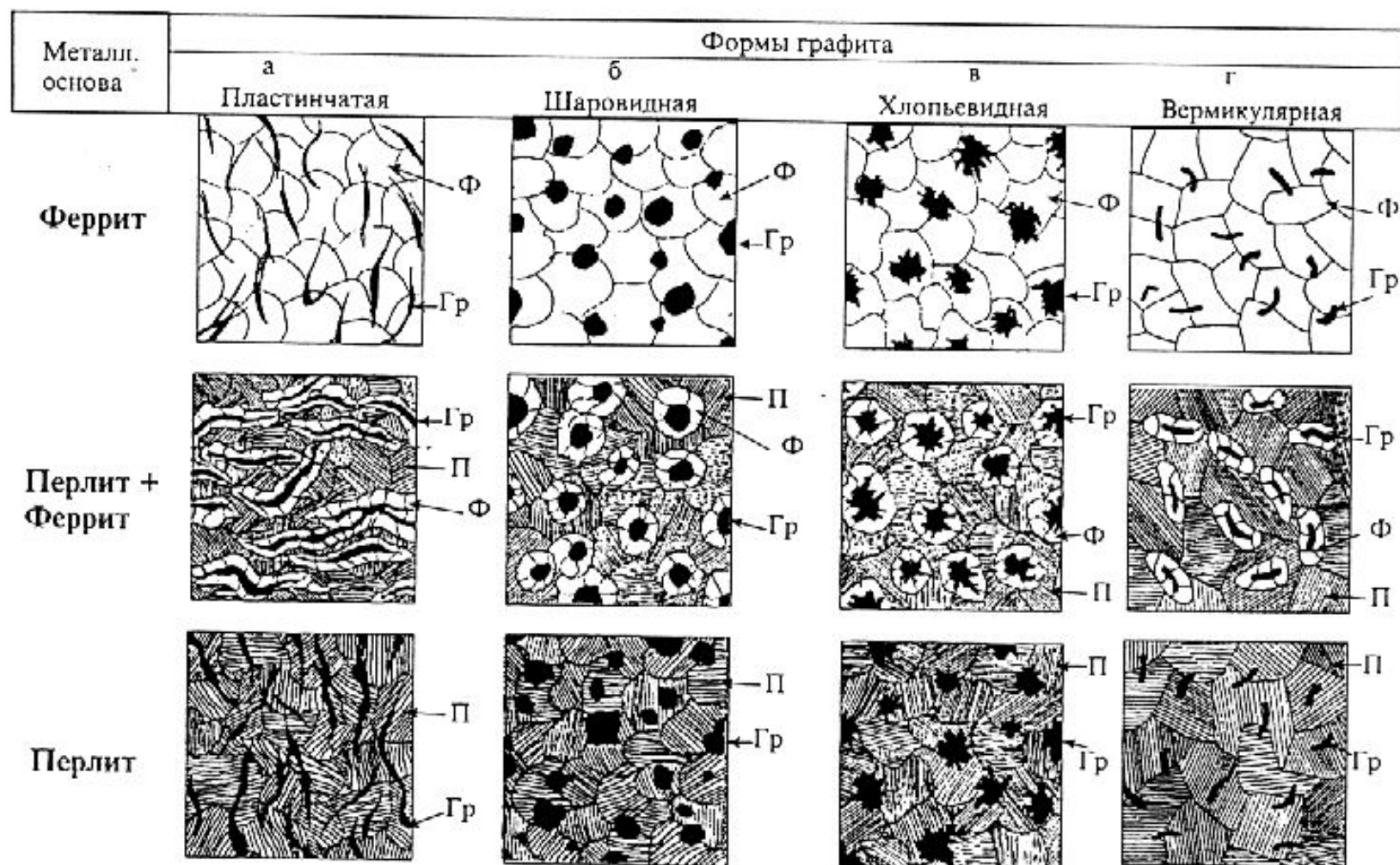


Рис.3 Схема микроструктур графитизированных чугунов: а) серые; б) высокопрочные; в) ковкие; г) с вермикулярным графитом.

Микроструктура ковкого чугуна на ферритной основе

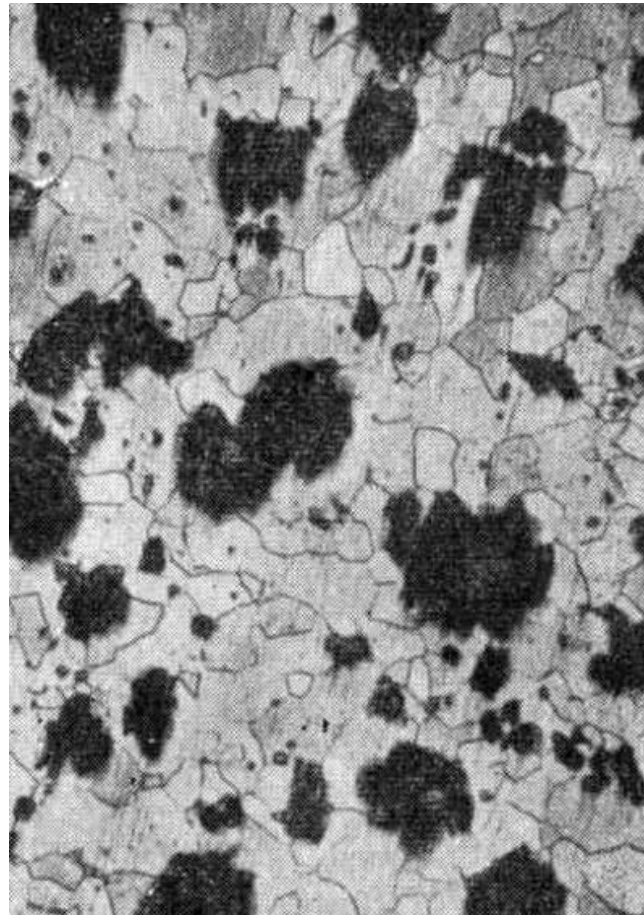


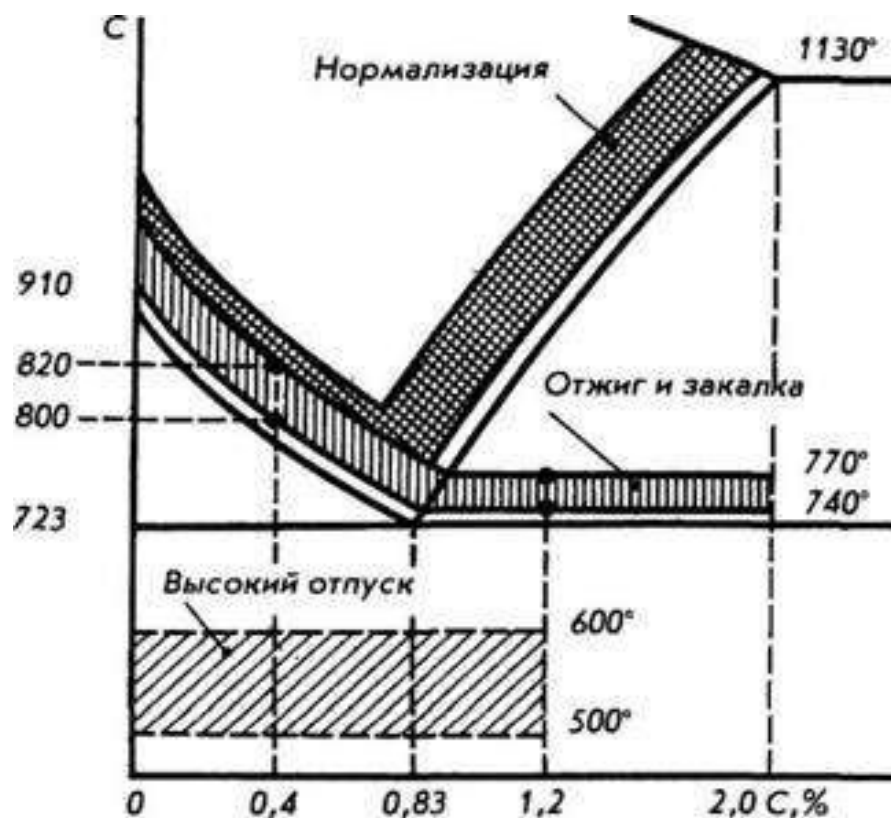


Рисунок 3.1 - Примерная структура серого чугуна при увеличении шлифа в 100 раз



Примерная структура чугуна с шаровидным графитом

Термическая обработка стали



Термическая обработка стали

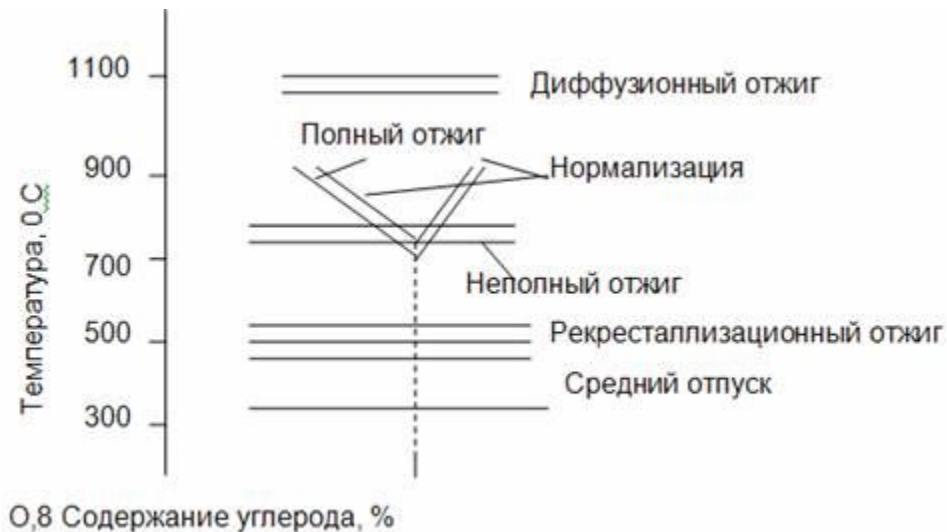
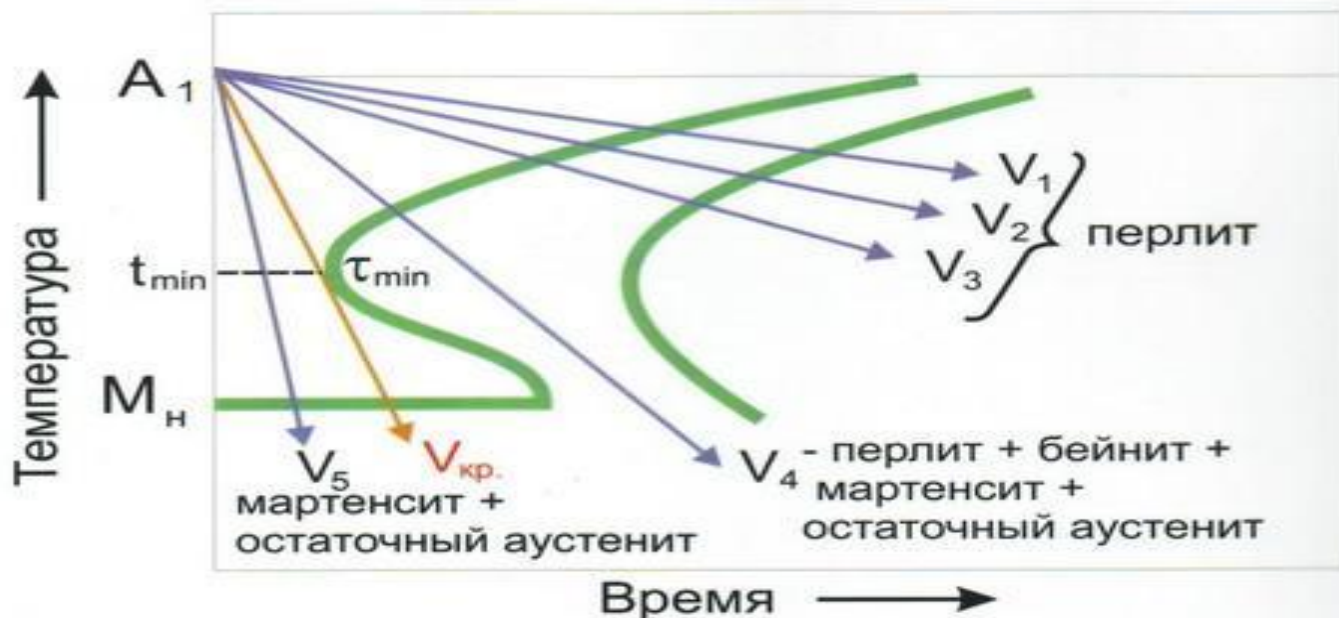


Рис.1.37. Температуры нагрева сталей при различных видах термообработки.

Превращение аустенита при непрерывном охлаждении

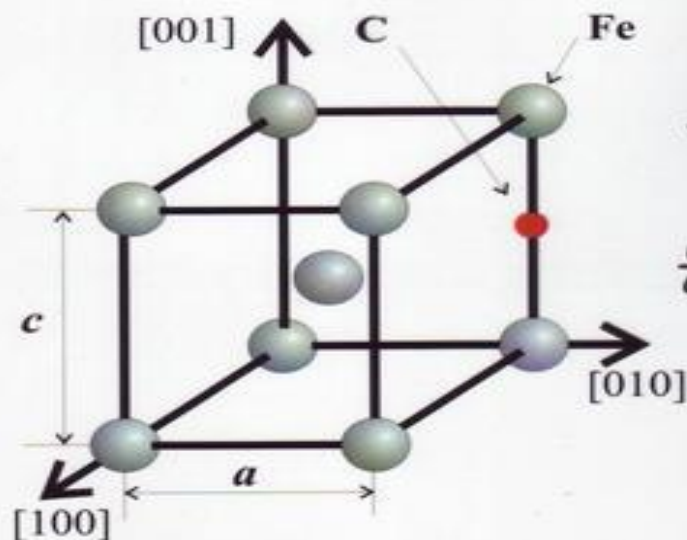


$V_{кр.}$ - **критическая скорость закалки** - минимальная скорость охлаждения, при которой весь аустенит будет переохлажден до мартенситного интервала

$$V_{кр.} = \frac{A_1 - t_{min}}{1,5 \tau_{min}}$$

Мартенситное превращение

Мартенсит - пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α - железе



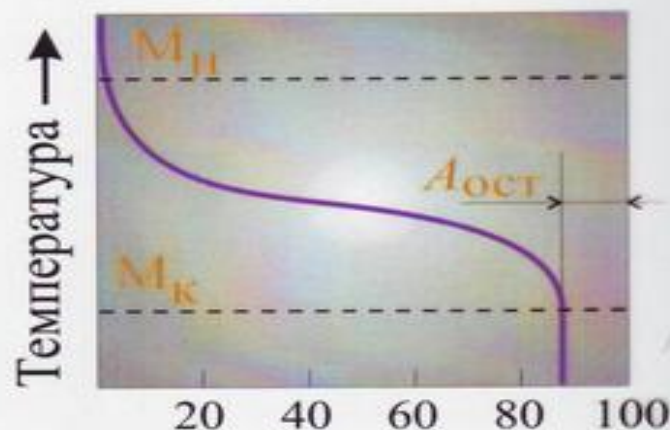
$\frac{c}{a}$ - степень тетрагональности
решетки мартенсита

$$\frac{c}{a} = 1 + 0,046 \cdot C (\%)$$

M_H и M_K - температуры
начала и конца мартенсит-
ного превращения

$A_{ост}$ - остаточный аустенит

Кривая мартенситного
превращения



Количество мартенсита, %

Структура мартенсита



Пакетный (речной) мартенсит



Пластинчатый (двойникованный)
мартенсит

Отпуск закаленной стали

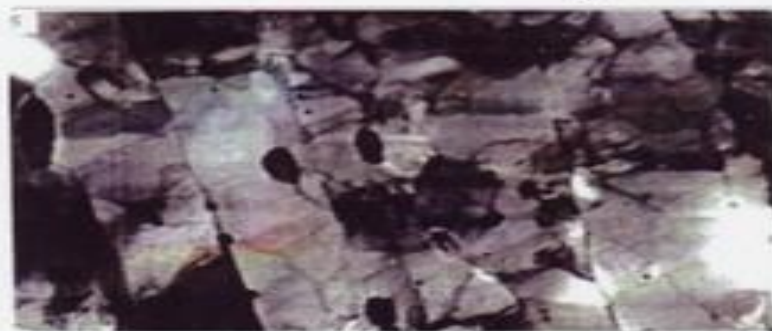
Процессы, происходящие при отпуске закаленных углеродистых сталей:

- распад мартенсита с образованием карбидов ($20-350^{\circ}\text{C}$)
- превращение остаточного аустенита по механизму бейнитной реакции ($200-300^{\circ}\text{C}$)
- снятие внутренних напряжений и превращение ϵ - карбида (Fe_2C) в цементит ($350-400^{\circ}\text{C}$)
- сфероидизация и коагуляция карбидов (450°C и выше)
- уменьшение плотности дислокаций, полигонизация и рекристаллизация ферритной матрицы (450°C и выше)

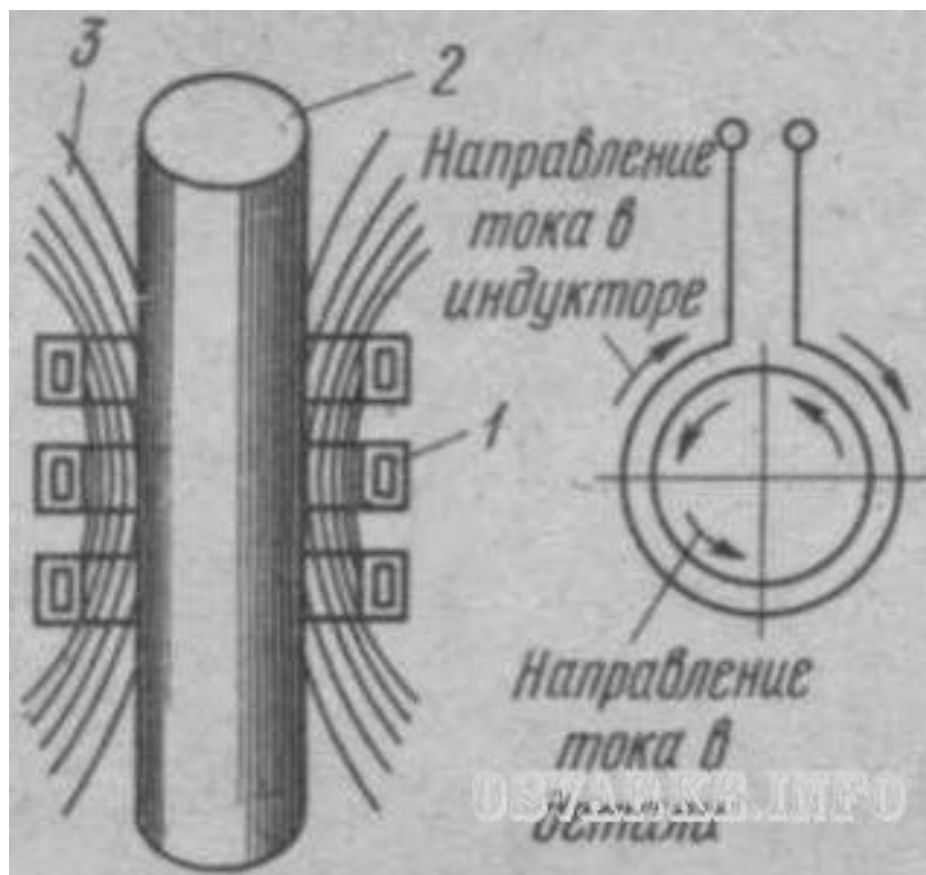
Низкий отпуск



Высокий отпуск



ТВЧ закалка сталей



Поверхностная закалка

Закалка с нагревом ТВЧ



Лазерная закалка



Схема термического влияния



Сталь 20

Микроструктура стали до закалки



Микроструктура игольчатого мартенсита.



Химико-термическая обработка

- это технологический процесс, при котором некоторыми элементами насыщается поверхностный слой стальных деталей с целью изменения его химического состава, а следовательно, структуры и свойств.

Различают три стадии химико-термической обработки:

- **диссоциация** - процесс, протекающий во внешней среде и приводящий к выделению диффундирующего элемента в атомарном состоянии;
- **адсорбция** диффундирующего элемента поверхностью металла и растворение его в металле;
- **диффузия** элемента вглубь насыщаемого металла.

Толщина слоя L зависит:

- от продолжительности насыщения τ . При $t = \text{const}$ $L = k_1 \sqrt{\tau}$.
- от температуры. При $\tau = \text{const}$ $L = k_2 e^{-Q/RT}$ (где Q - энергия активации диффузионных процессов).

Толщина слоя тем больше, чем выше концентрация диффундирующего элемента на поверхности.



Цементация стали

- процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стальных деталей углеродом.

Такой обработке подвергают стали с 0,10 - 0,20% С.

Содержание углерода в поверхностном слое - 0,8 - 1,0% С.

Толщина науглероженного слоя - 0,5 - 2,0 мм.



Цементация в твердом карбюризаторе. Процесс осуществляют при 910-930°C в карбюризаторе, состоящем из **древесного угля, 20-25% BaCO₃ и 3-5% CaCO₃.**



Газовая цементация проводится при 930-950°C с использованием природного газа или жидких углеводородов (бензола, керосина ...).



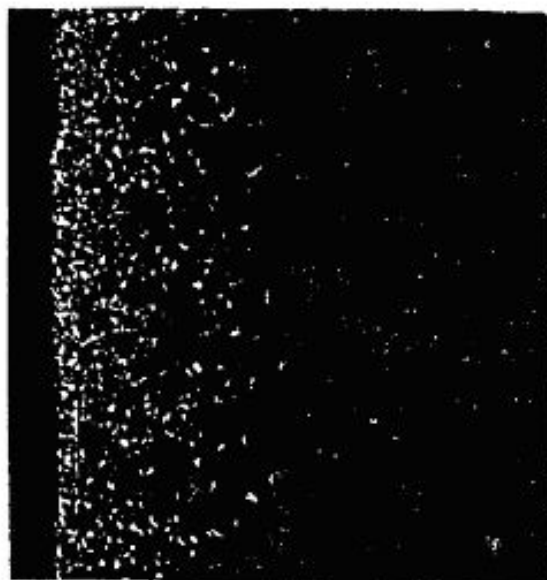
Печь для цементации стали



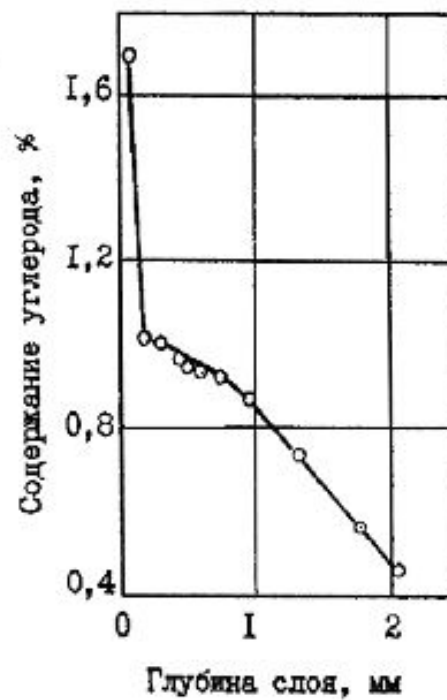
ЦЕМЕНТАЦИЯ



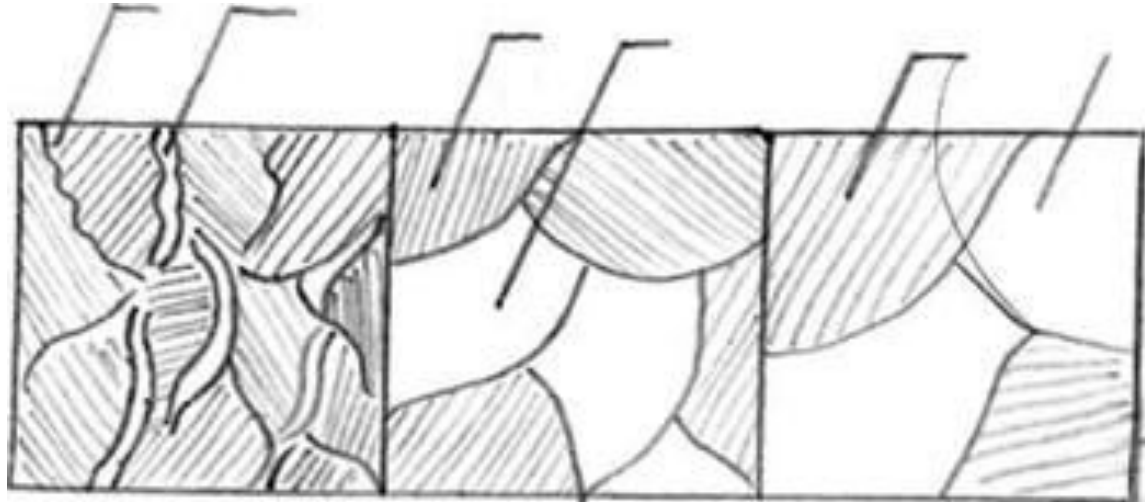
Цементация стали



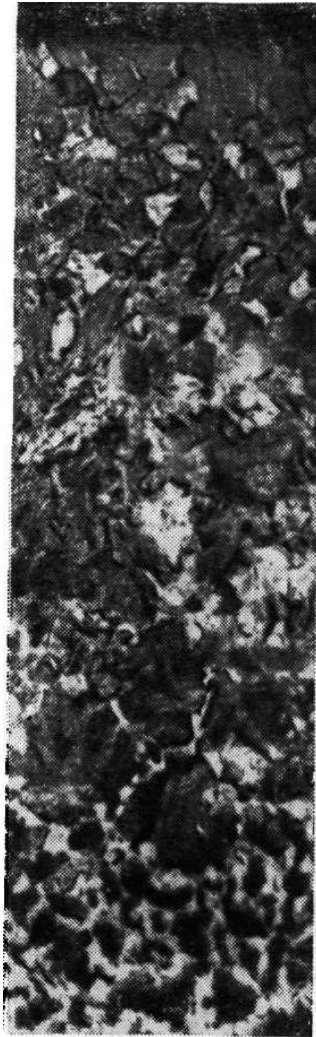
x 200



Микроструктура цементованного слоя стали 20ХН3А.



Микроструктура стали после цементации



Азотирование стали

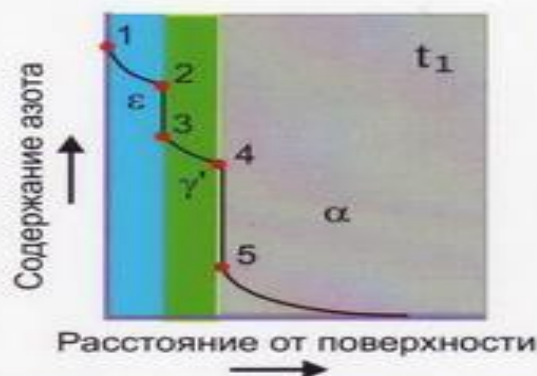
Азотирование - процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стальных деталей азотом.

Диаграмма Fe - N

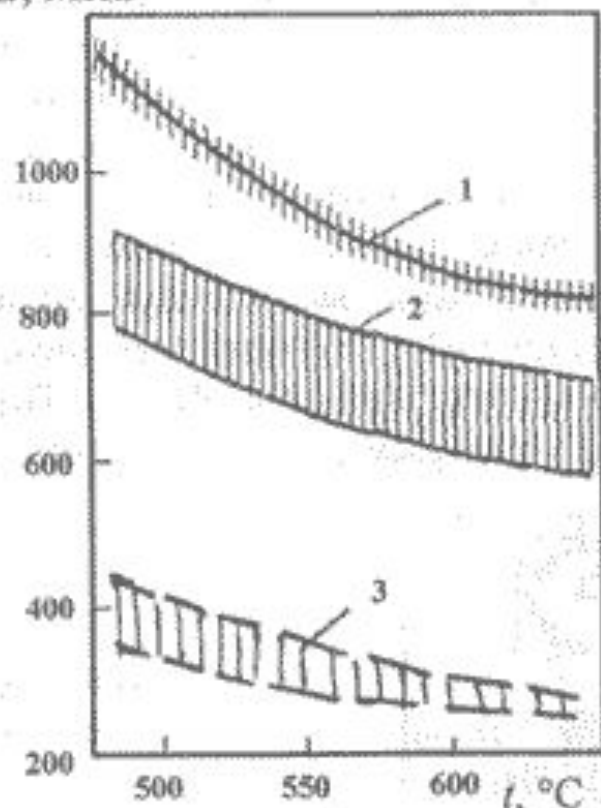


α – азотистый феррит
γ – азотистый аустенит
γ' – нитрид Fe₄N
ε – нитрид Fe₃N

Азотирование проводят в среде аммиака:
 $2\text{NH}_3 \Rightarrow 2\text{N} + 6\text{H}$
Температура азотирования 500 - 600°C
Толщина слоя 0,3 - 0,6 мм

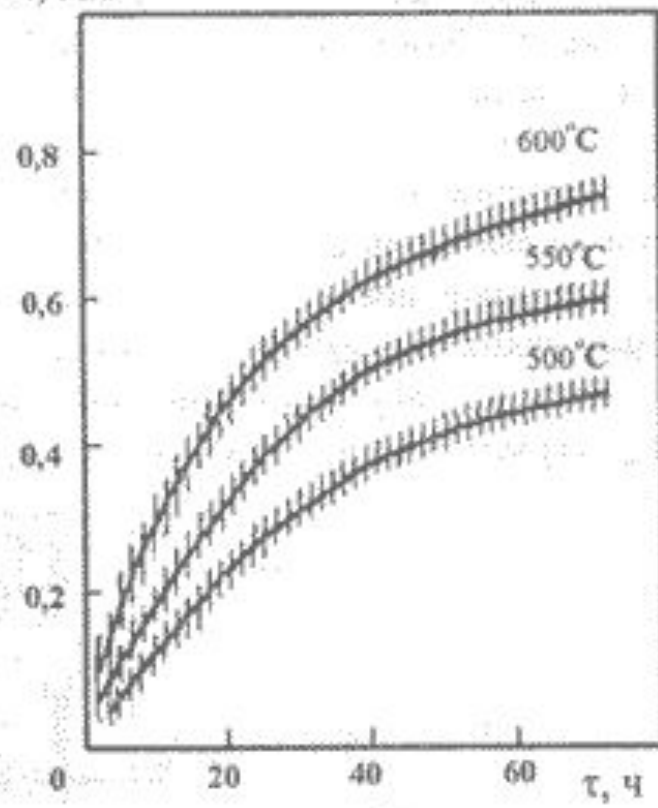


HB, МПа



a)

h , мм

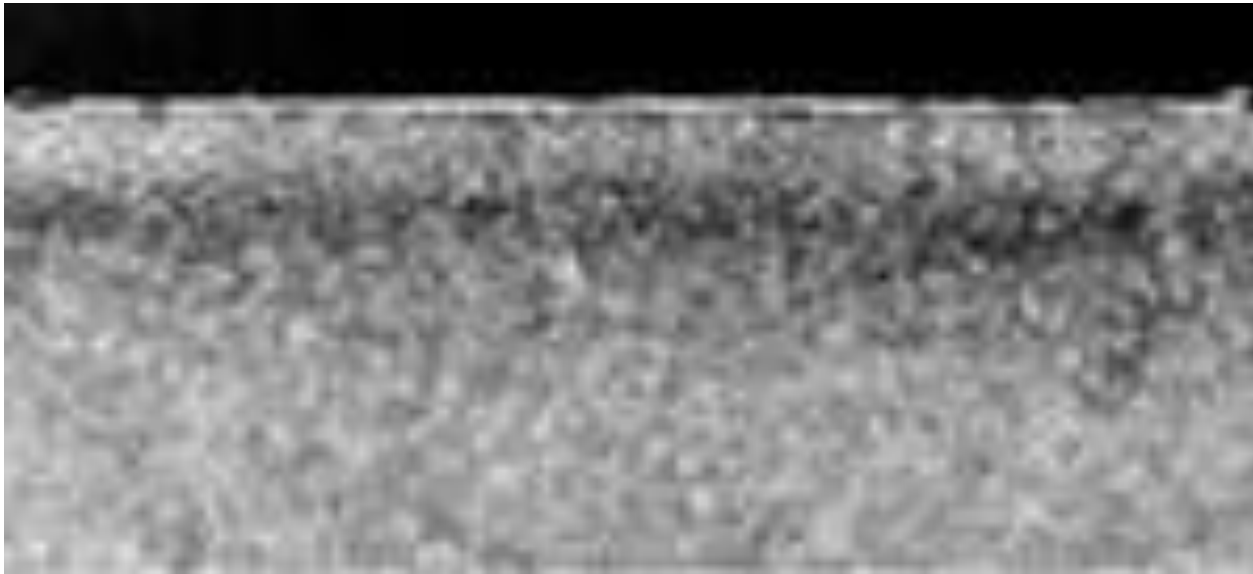


b)

Рис. 2 Влияние температуры и продолжительности процесса на поверхностную твердость (a) и эффективную толщину h азотированного слоя (б):

1 – сталь 38Х2МЮТА; 2 – конструкционные среднеуглеродистые легированные стали, не содержащие алюминия и титана;
3 – углеродистые стали (0,3...0,5 % С) заводской технологии (закалка и отпуск)

Микроструктура азотированного слоя инструментальной стали



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**.

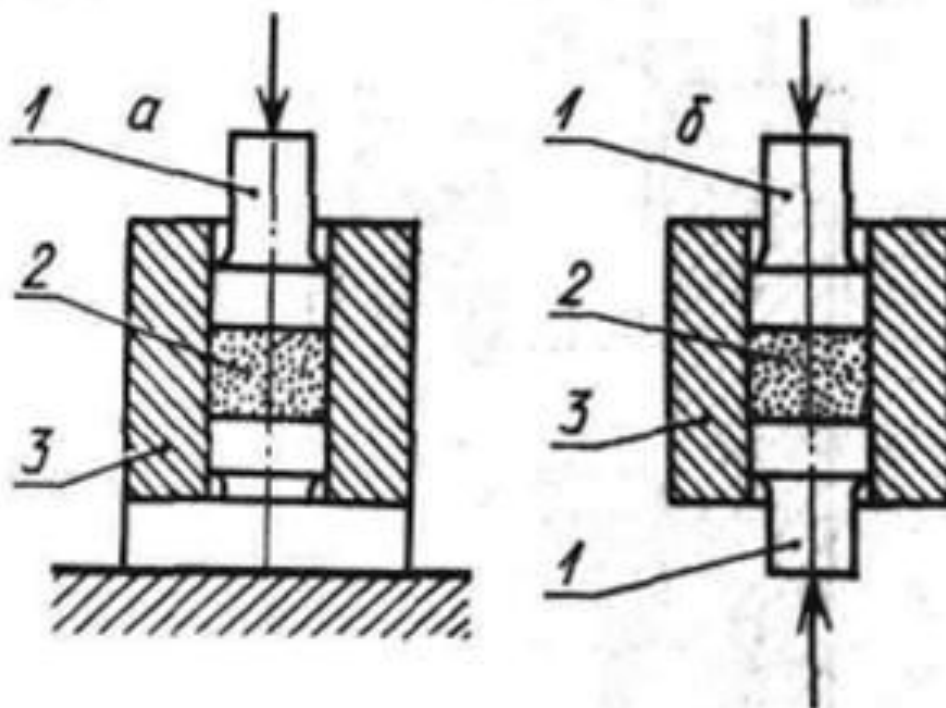
марка стали	Содержание , %					Свойства без термообработки	
	C	Mn	S	P	Pb	σ_B , МПа	δ , %
A12	0.08-0.12	0.7-1.0	0.08-0.20	0.08-0.15		420	22
A20	0.17-0.24	0.7-1.0	0.08-0.15	<0.06		460	20
A40Г	0.37-0.45	1.2-1.55	0.18-0.30	<0.05		600	14
AC40	0.37-0.45	0.8-1.1	0.15-0.30	<0.04	0.15-0.3	580	19

Структура стали AC45Г2



Pb

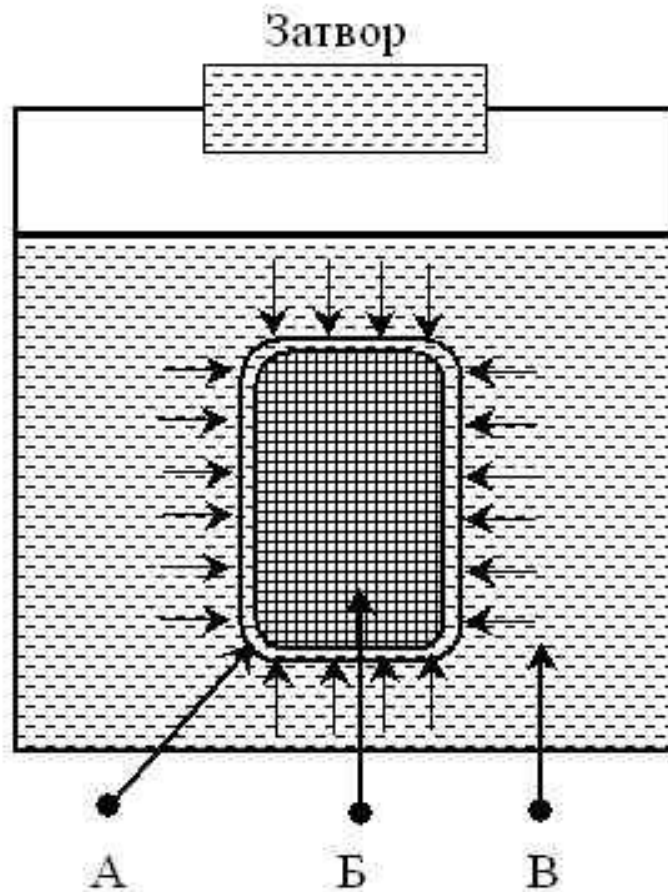




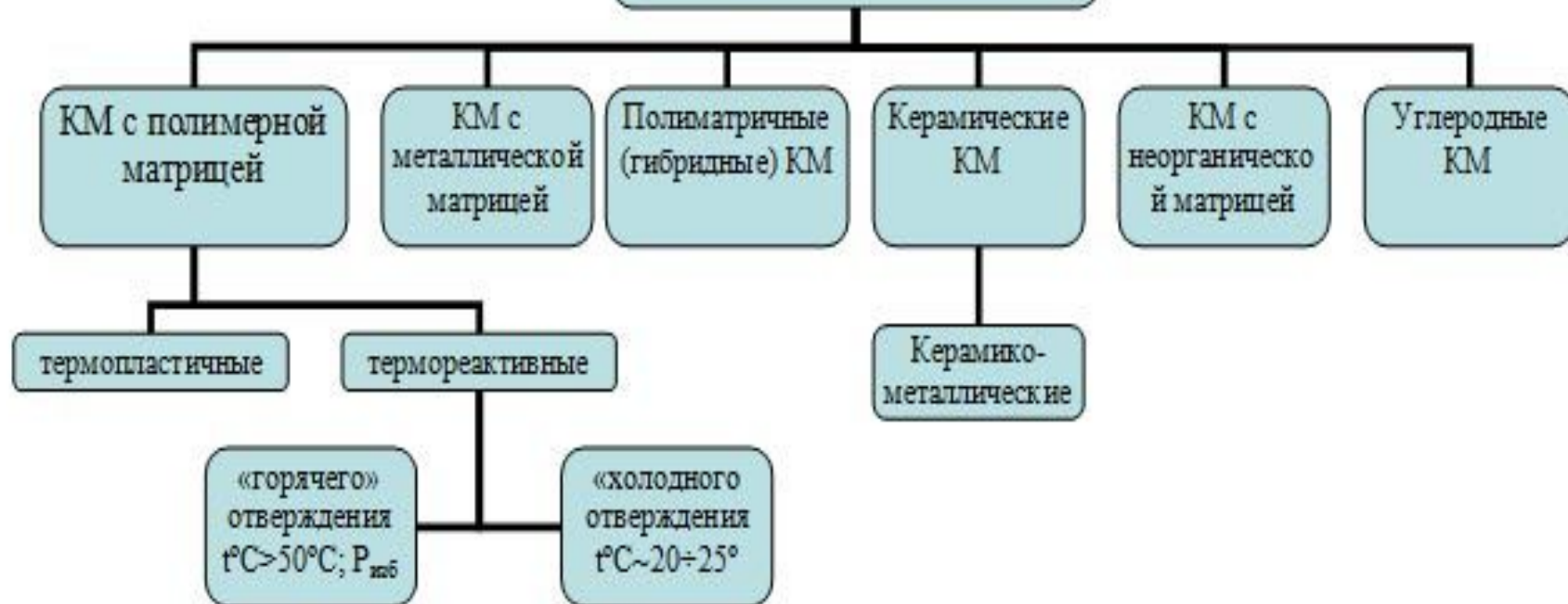
ФОРМОВАНИЕ ПОРОШКОВ



Изостатическое прессование



КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ



Твердые сплавы для режущего инструмента

Твердые сплавы - это сплавы, изготовленные методом порошковой металлургии и состоящие из карбидов тугоплавких металлов (WC , TiC , TaC), соединенных кобальтовой связкой.

Твердые сплавы сочетают высокую **твердость** (74-76HRC) и **износостойкость** с высокой **теплостойкостью** и применяются для резания с высокими скоростями.

Различают 3 группы сплавов.

1. **Вольфрамовые** сплавы (система **$WC-Co$**).

ВК3, ВК6, ВК8, ВК10, ВК20 и другие.

Они маркируются буквами **ВК** и цифрой, показывающей содержание кобальта в процентах.

2. **Титановольфрамовые** сплавы (система **$TiC-WC-Co$**).

Т30К4, Т15К6, Т5К10 и другие.

Они маркируются буквами **Т** и **К** и цифрами, стоящими за этими буквами, показывающими содержание в процентах титана и кобальта.

3. **Титанотанталовольфрамовые** сплавы (система **$TiC-TaC-WC-Co$**).

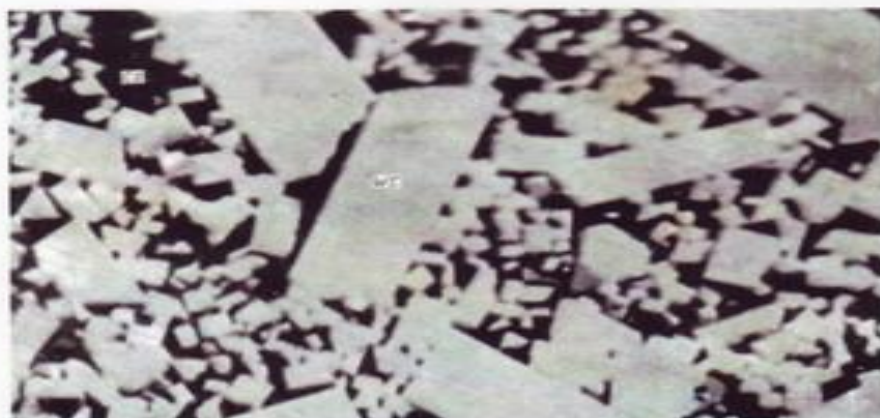
ТТ7К12, ТТ8К6 и другие.

В маркировке после букв **ТТ** стоит цифра, указывающая количество карбидов титана и вольфрама в процентах.

Цифра после буквы **К** указывает содержание кобальта.

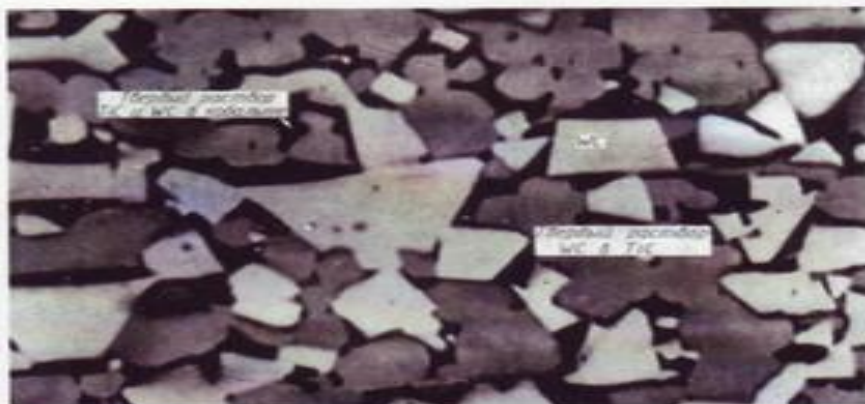
Твердые сплавы для режущего инструмента

Микроструктура вольфрамового сплава ВК15.



X3000

Микроструктура титановольфрамового сплава Т15К6



X3000