- Мировое производство в 2018г
- Сталь- 1,809 млрд т
- Алюминий 64,341 млн т
- Производство в России в 2018 г
- Сталь – 71,7 млн т
- Алюминий- 3, 8 млн т

Материаловедение Литература:

- Гуляев А.П.
- Лахтин Ю.М.
- Арзамасов Б.Н.
- Сорокин В.К «Основы материаловедения и конструкционные материалы»
- Воскобойников «Общая металлургия»

Состав железной руды

- Красный железняк Fe_2O_3
- Магнитный железняк Fe_3O_4
- Бурый железняк $Fe_2O_3*nH_2O$
- Шпатовый железняк Fe_2O_4
- Пустая порода : SiO_2 ;Al_2O_3; $CaCO_3$ $MgCO_3$;
- Вредные примеси P_2O_5; FeS ;
- Полезные примеси Cr_2O_3;Mn_2O_3;TiO_2

Классификация материалов:
Металлические
Неметаллические
Композиционные

Рудное производство. Подготовка руды

- Недра земли
- Горнорудное предприятие
- Добыча руды
- Руда
- Первичное дробление
- Обогатительная фабрика
- Дробление руды на дробилках
- Измельчение в мельницах
- Грохочение по размерам частиц
- Мелкое измельчение в мельницах
- Классификация по размерам частиц
- Обогащение
- Концентрат
- Фабрика окускования
- Окускование концентрата
- Агломерация Производство окатышей
- Агломерат Окатыши
- Исходный продукт доменного производства

Основы доменного производства.
Производство чугуна

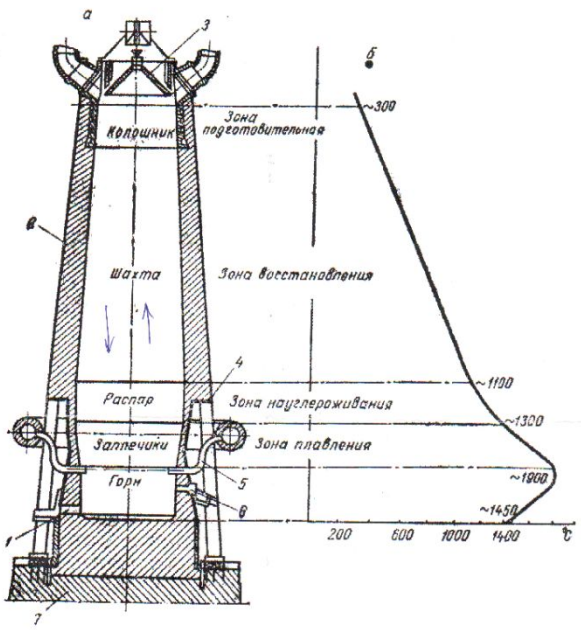


Рис. 17. Устройство доменной печи (*а*) и распределение температуры по высоте печи (*б*)

Производство чугуна

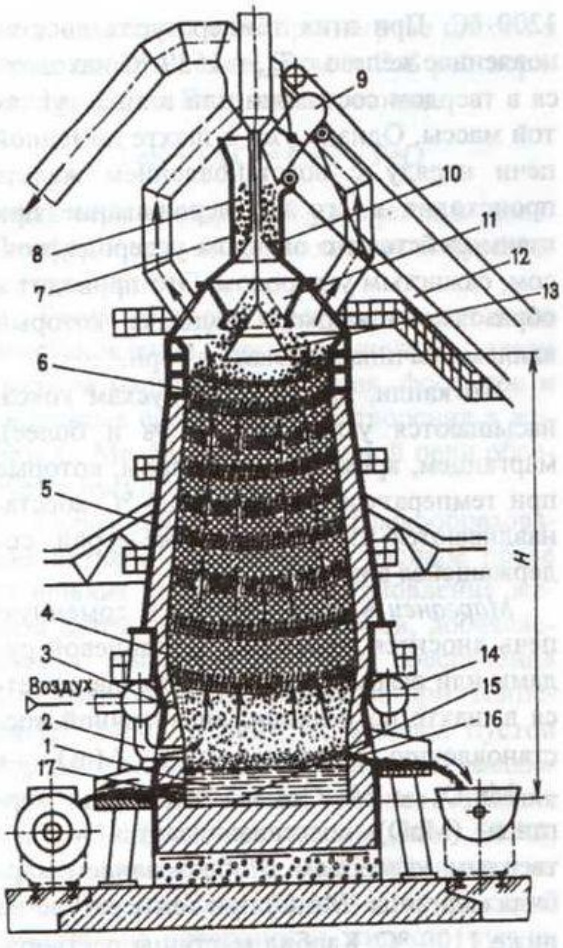


Схема мартеновской печи:
1,2,10,11-регенераторы, 3,9-канал для газа, 4,8-канал для воздуха,

5-окна, 6-под, 7-пространство, 12,14-клапаны, 13-труба

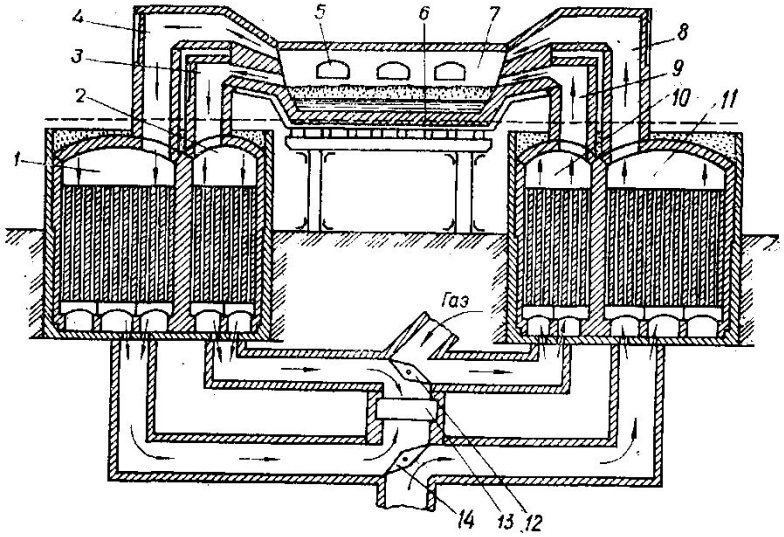


Схема кислородного конвертера

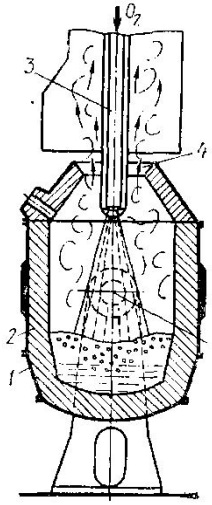


Схема рабочего пространства дуговой электропечи:
1 – куполообразный свод; 2 – стенки; 3 – желоб; 4 – сталевыпускное отверстие; 5 – электрическая дуга; 6 – сферический под; 7 – рабочее окно; 8 – заслонка; 9 – электроды

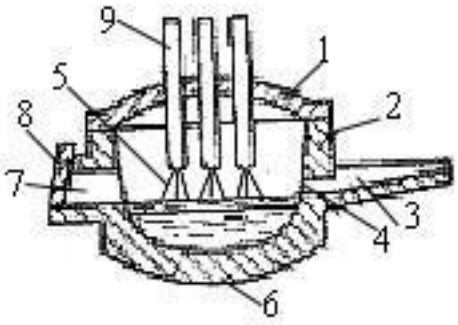
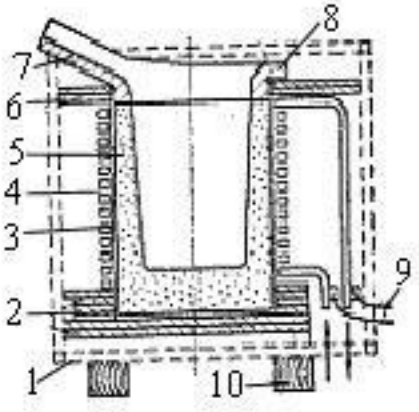
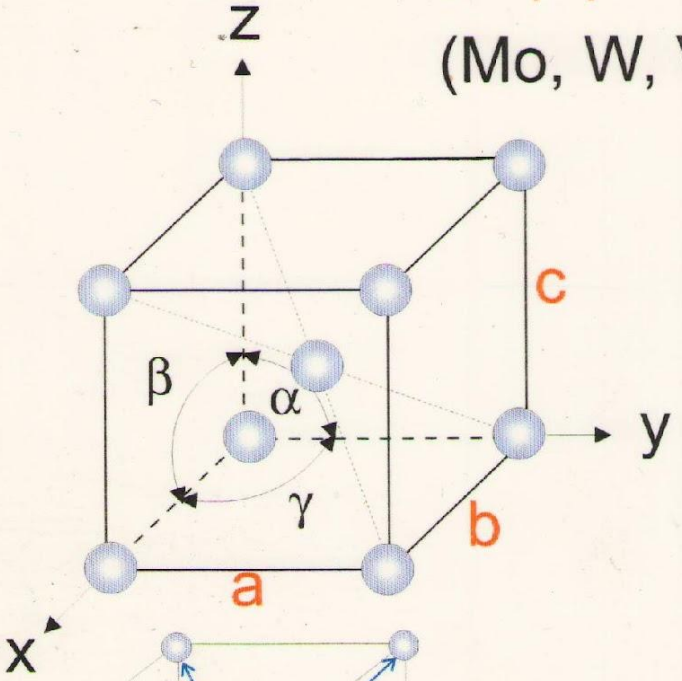


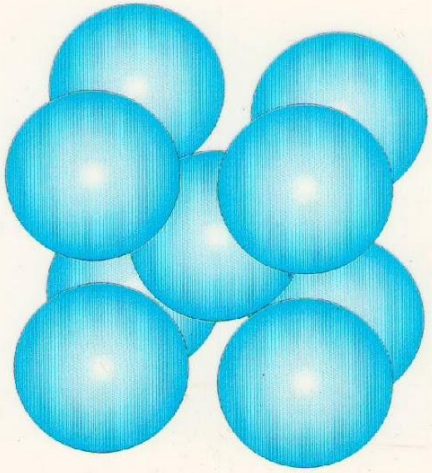
Схема индукционной печи:
1 – каркас; 2 – подовая плита; 3 – водоохлаждаемый индуктор; 4 – изоляционный слой; 5 – тигель; 6 – абсоцементная плита; 7 – сливной носок; 8 – воротник; 9 – гибкий токоподвод; 10 – опорные брусья

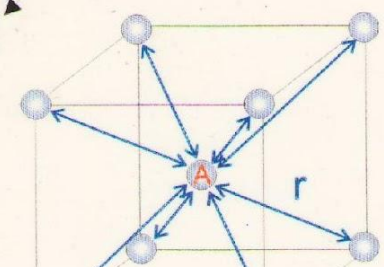


Решетка объемноцентрированная кубическая (ОЦК)

(Mo, W, V, Fe_{α})







Наименьшее растояние r от A до соседних атомов.

Схема установки ЭШП
1-электрод, 2-расправленный шлак,

3-ванна, 4-изложница, 5-полученный слиток, 6- поддон

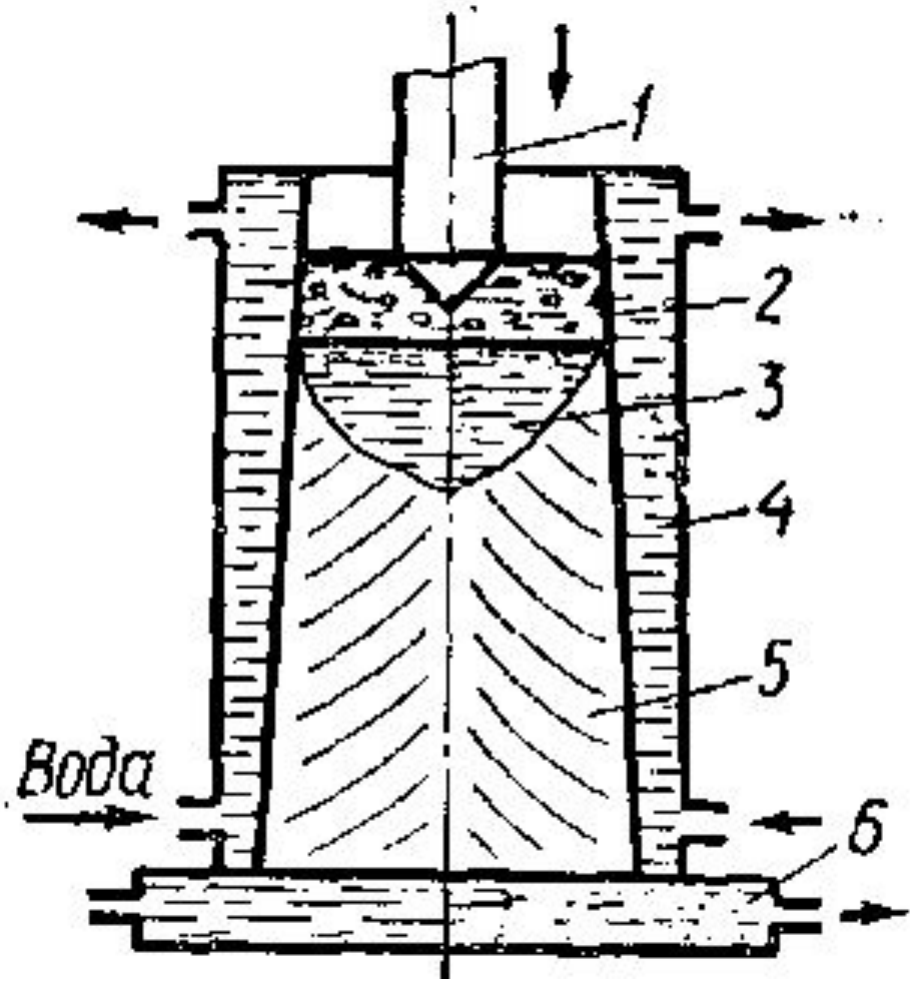


Схема вакуумной дуговой печи
1–источник питания; 2–рабочая камера; 3–электродержатель; 4–механизм подачи электрода; 5–к вакуумным насосам; 6–электрод; 7–жидкий металл; 8–слиток; 9–

кристаллизатор; 10–шток для подъема поддона; 11–поддон.

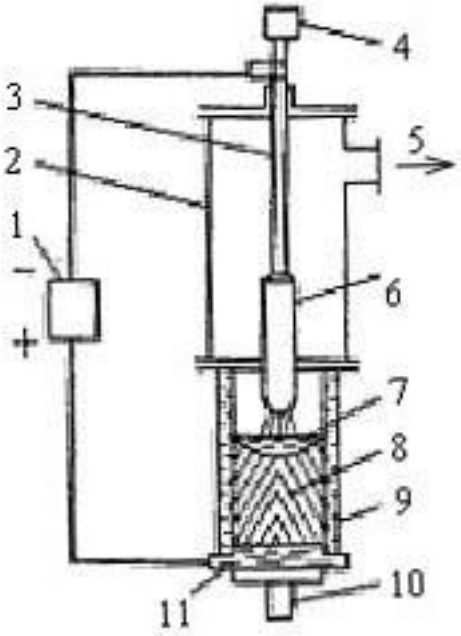


Схема плазменной дуги.

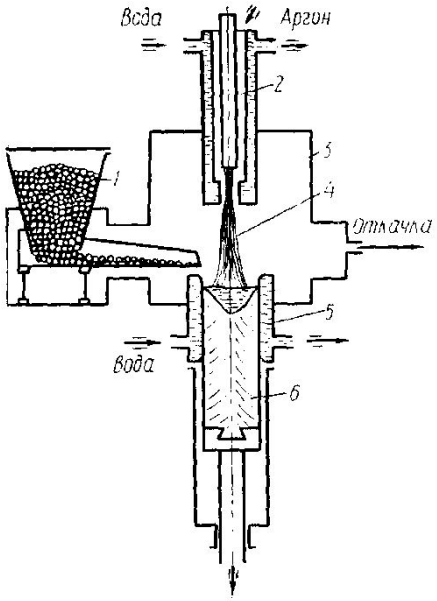
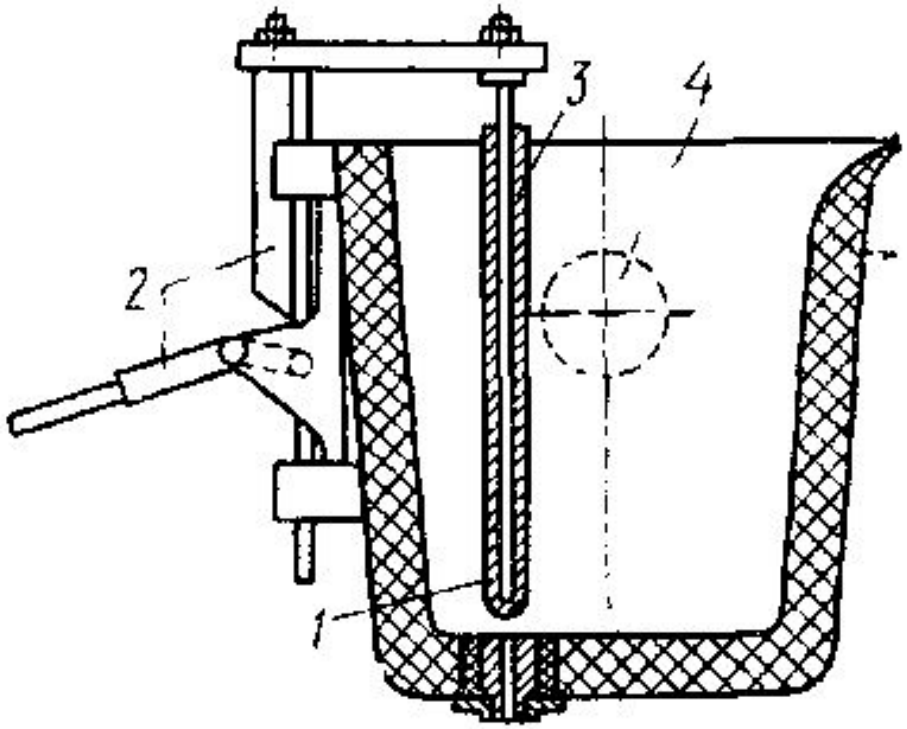
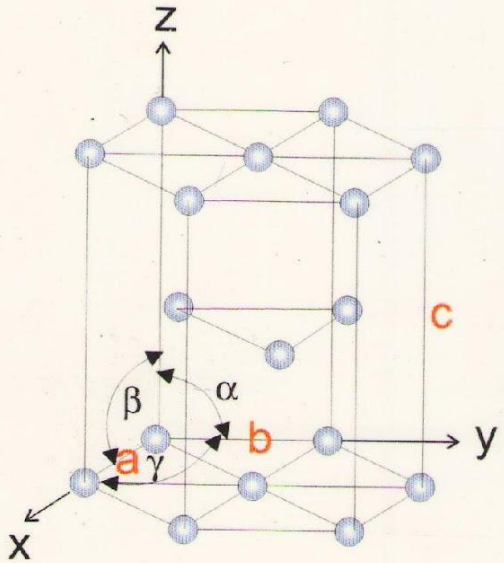


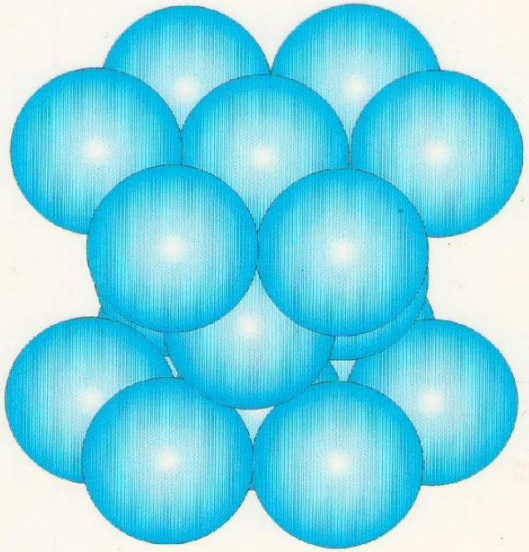
Схема сталеразливочного ковша



Решетка гексагональная плотноупакованная (ГП)

(Mg, Co, Zn, Ti, Cd)



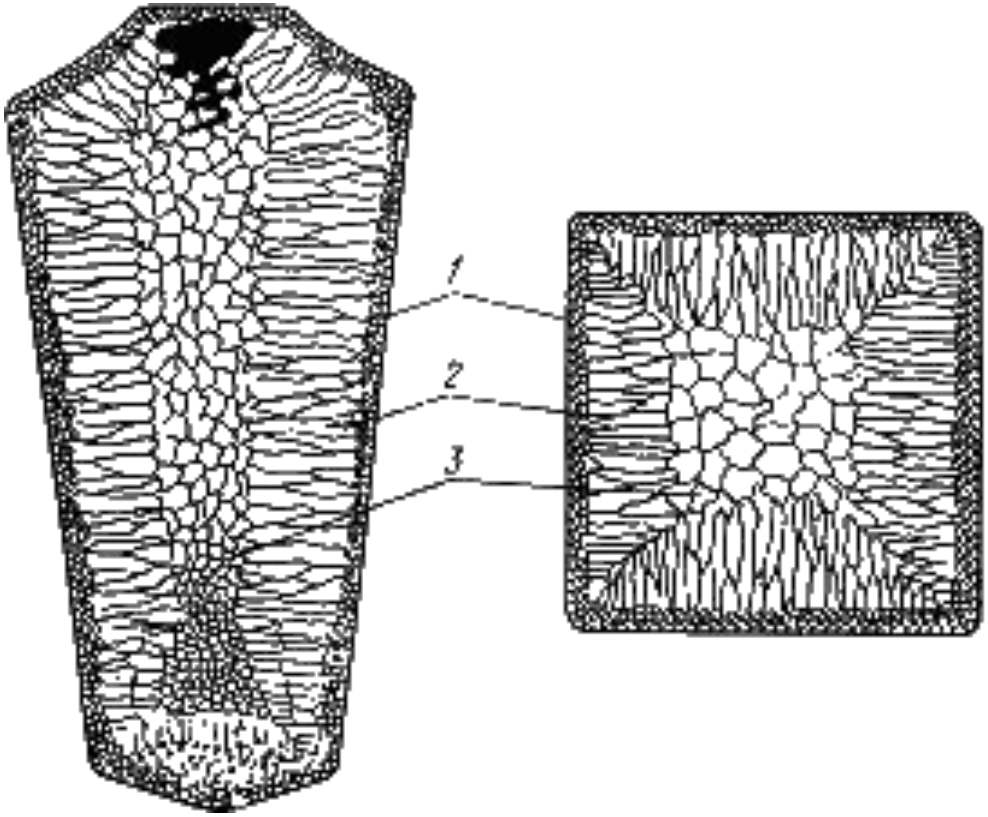


Характеристики решетки ГП :

Углы между осями	$\alpha = \beta = 90^{o}$, $\gamma = 120^{o}$
Период решетки	a = b c/a = 1,633
Число атомов на ячейку	n = 6
Координационное число	k = 12
Коэффициент компактности	K = 0,74

Строение стального слитка

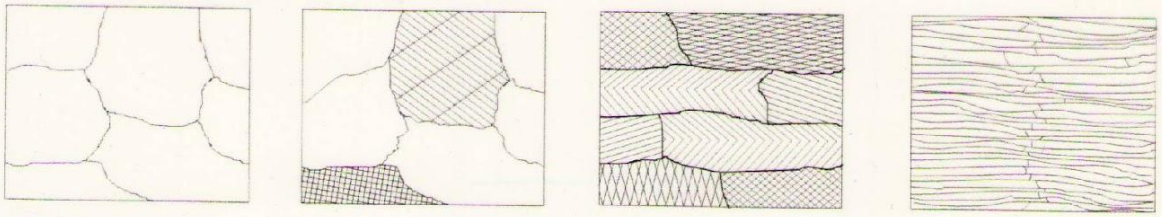
Рис. 3.7. Схема стального слитка



Прокатное производство.Сортамент прокатного производства

- Круг 5-250 мм
- Катанка - прутки 5-9 мм
- Квадрат
- Шестигранник
- Листовая сталь : Толстолистовая сталь (толщина от 4-16мм, шириной 600-3800мм, толщиной 4-50мм получается прокаткой из слябов, >50мм - из слитков)

Изменение микроструктуры зерен при пластической деформации



Исходная структура

Увеличение степени деформации

Ячеистая дислокационная структура деформированного металла

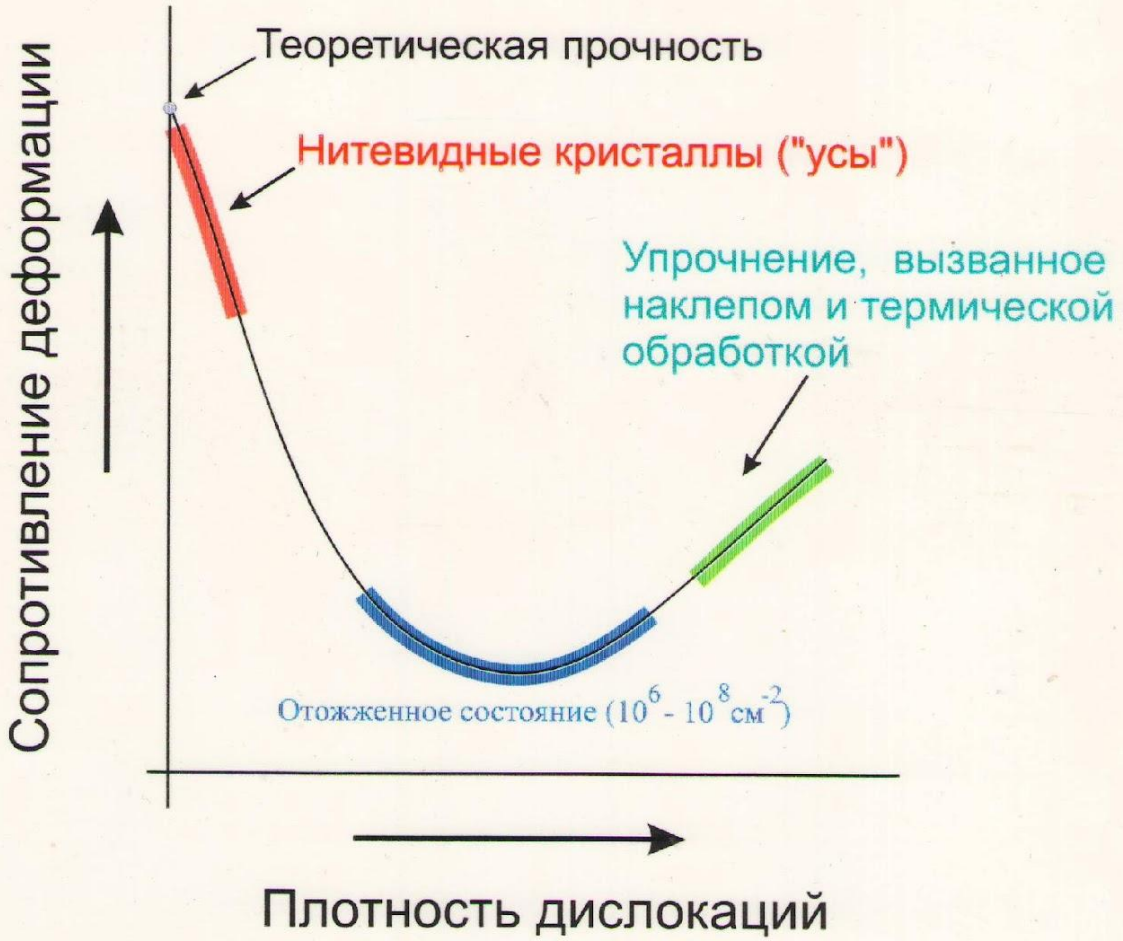
Схема изготовления проката

Стандартизация прокатных изделий

- $\text{круг}\ \dfrac{40-B-\text{ГОСТ}2590}{\text{Р6М5}-II-\text{а}-\text{ГОСТ}19265}$

М01	**Круг 40-В-ГОСТ2590/Р6М5-II-а-ГОСТ19265**

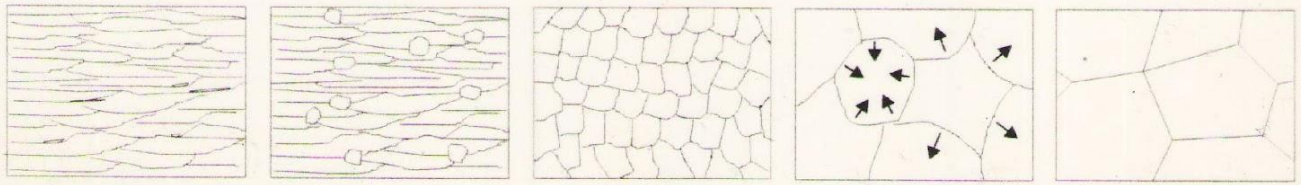
Пути повышения прочности металлов



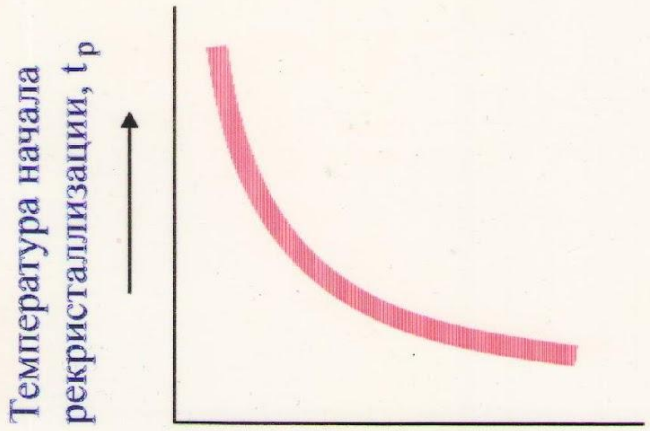
РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Изменение зеренной структуры деформированного металла при нагреве

Температура нагрева →



После деформации | Первичная рекристаллизация | Собирательная рекристаллизация



$T_{рекр.} = a\ T_{пл.}$

$T_{рекр.}$ - температура рекристаллизации, К

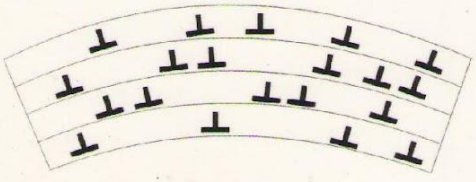
$T_{пл.}$ - температура плавления, К

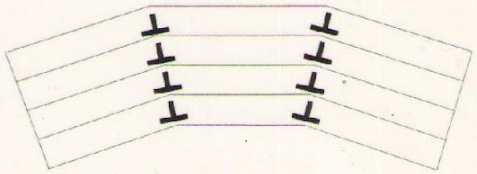
Для технически чистых металлов $a = 0.3\text{-}0.4$

Для высокочистых металлов $a = 0.1\text{-}0.2$

ВОЗВРАТ (Полигонизация)

Схема полигонизации



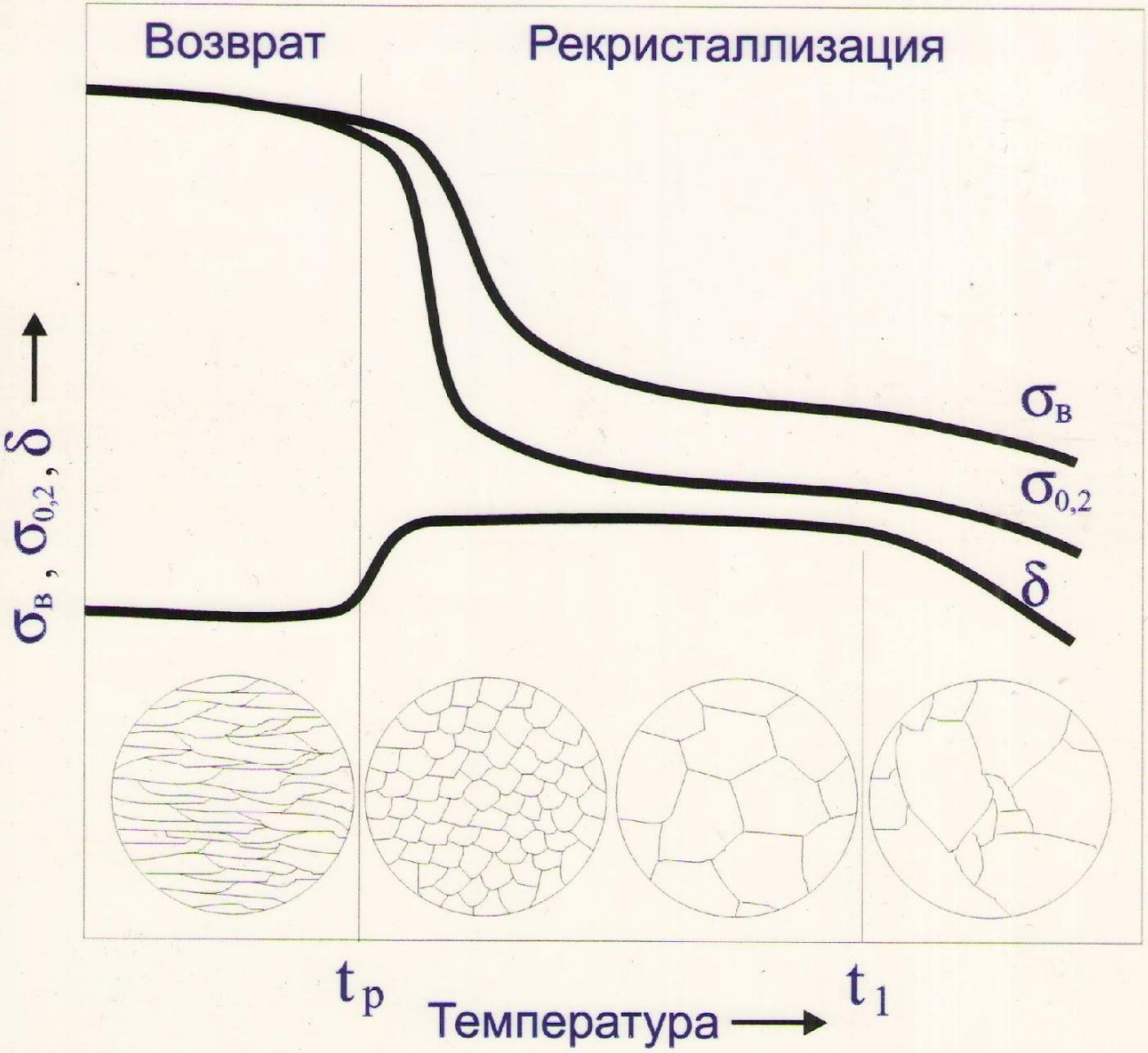


Изменение структуры при нагреве

Структура после холодной деформации

Структура после полигонизации

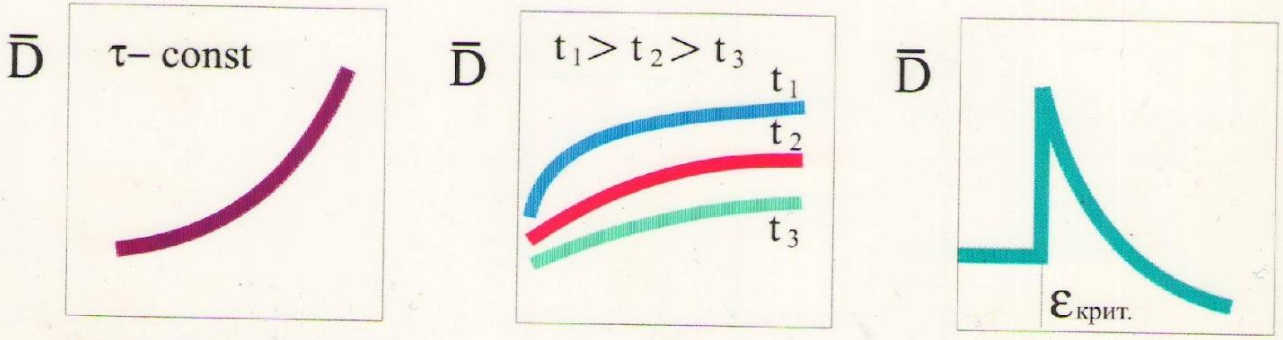
Влияние нагрева на свойства деформированного металла



t_p – температура начала рекристаллизации

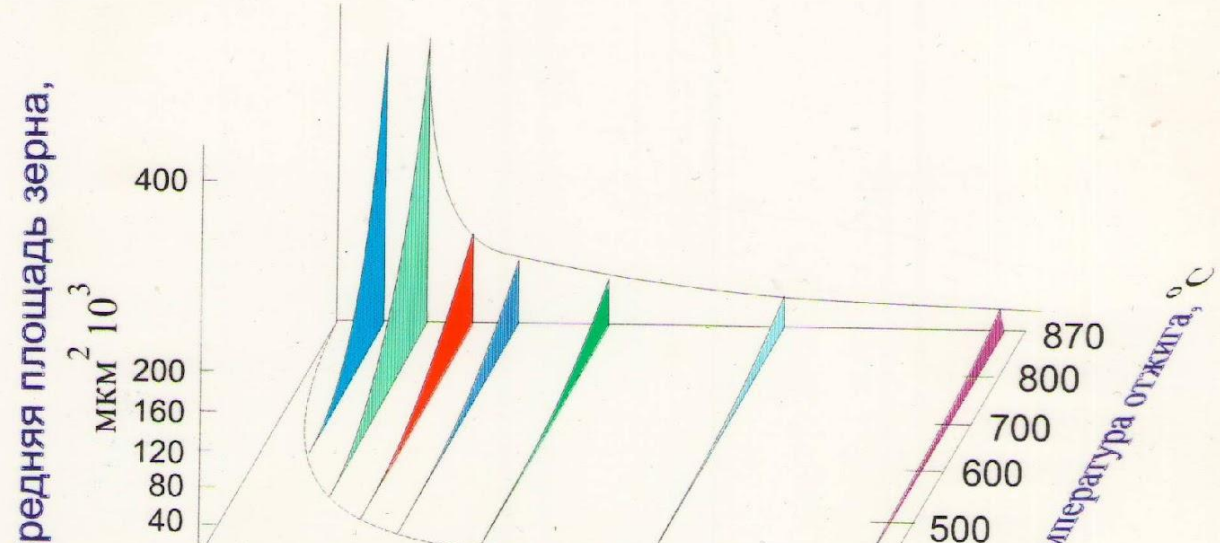
Изменение размеров зерна при рекристаллизации

$\bar{D}$ - *средний размер рекристаллизованного зерна*



температура нагрева | время нагрева | Степень деформации

Диаграмма рекристаллизации электролитического Fe



Текстура рекристаллизации

Преимущественная кристаллографическая ориентировка зерен, вызванная процессами рекристаллизации называется

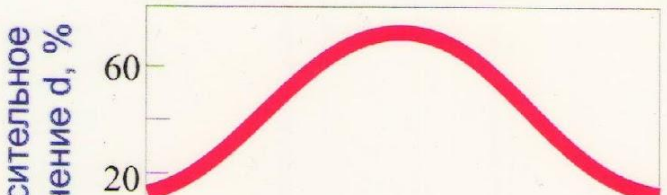
ТЕКСТУРОЙ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Важным следствием такого состояния поликристаллов является анизотропия векторных свойств материалов - зависимость от направления их наблюдения.

Наглядным примером является кубическая текстура отожженной медной полосы:

Плоскости {001} текстурированных зерен параллельны плоскости прокатки, а направления <100> - направлению прокатки.

Анизотропия относительного удлинения отожженной медной проволоки с текстурой куба



Компонентами - называют вещества, образующие сплав.

Фазой называют однородную составную часть сплава, имеющую одинаковый состав, одно и то же агрегатное состояние и отделенные от остальных частей системы поверхностью раздела.

Совокупность фаз, находящихся в состоянии равновесии называется **системой.**

Состояние системы определяется числом переменных величин, которые могут изменяться независимо друг от друга, называется числом степеней свободы или вариантностью системы.

Правило фаз (правило Гиббса)

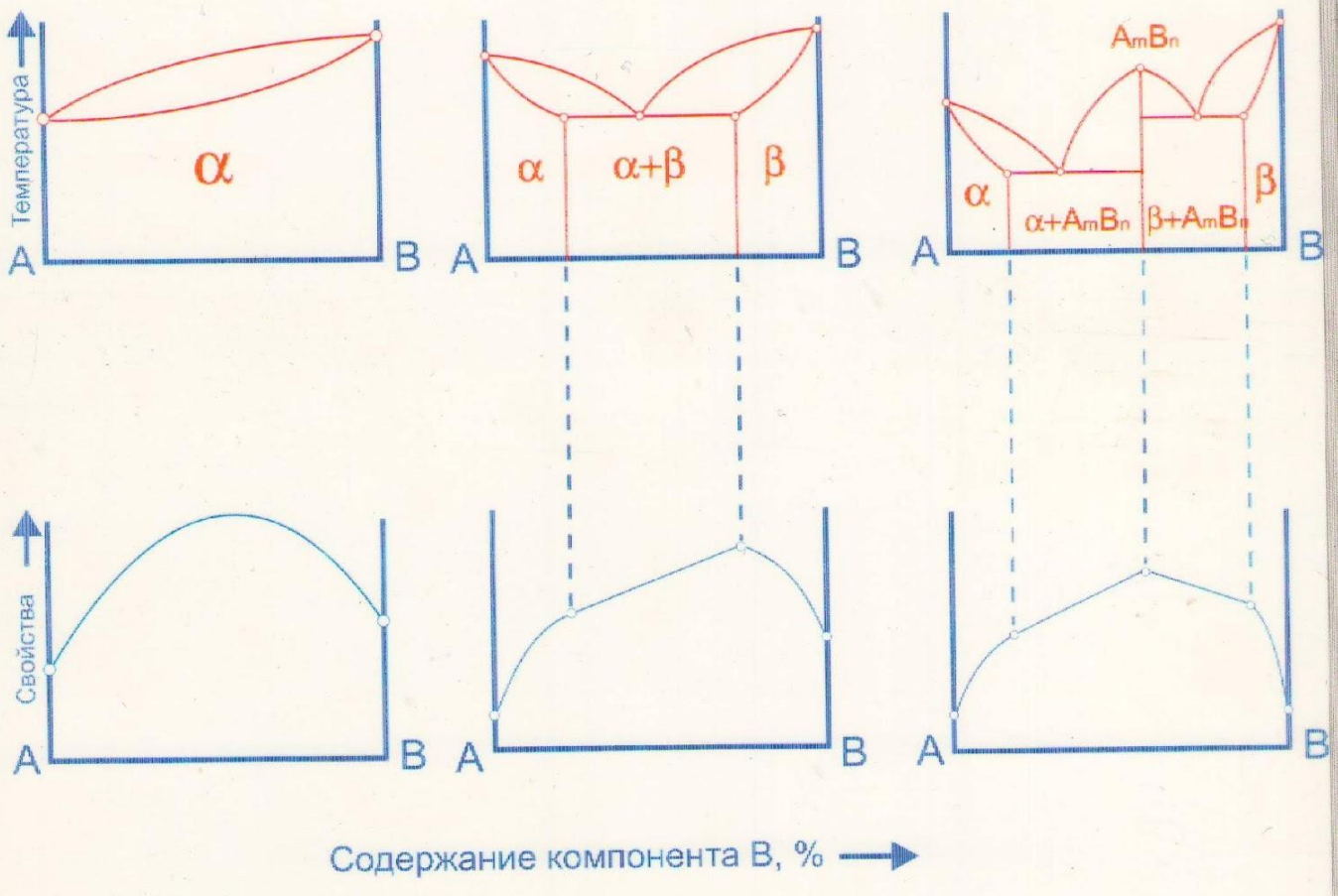
устанавливает зависимость числа степеней (С) и фаз (f) и числом переменных внешних условий (температуры и давления):

$$C = K - f + 2$$

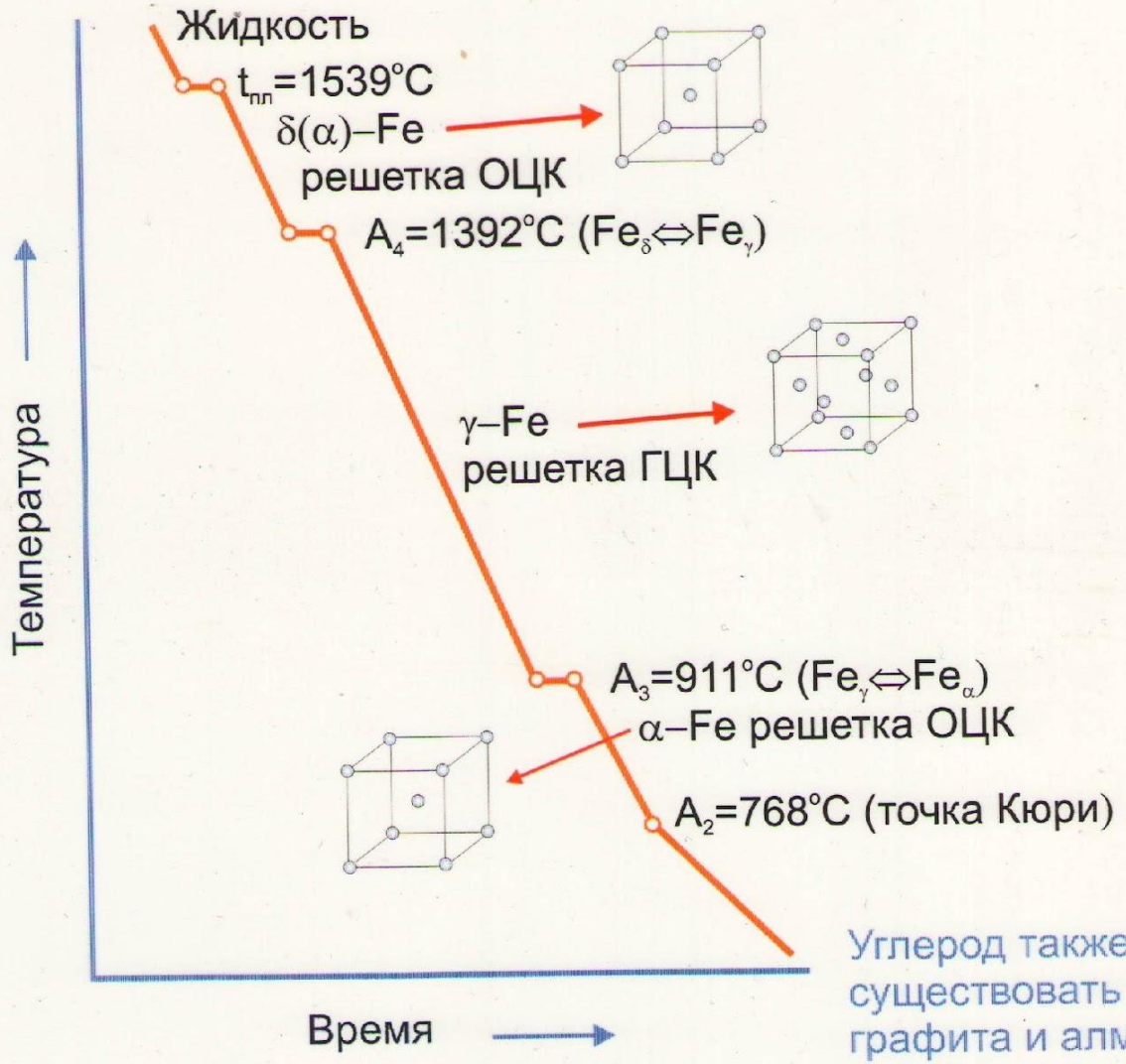
для случая постоянного давления

$$C = K - f + 1$$

Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния



Компоненты и фазы в системе железо-углерод



Углерод также может существовать в виде графита и алмаза. Стабильная модификация - графит, имеет tпл = 3500°C и

Железо имеет две модификации: α и γ.
Плотность Fe_α = 7,8 г/см^2;
Fe_γ = 8,0 г/см^2

Сплавы железа с углеродом

- Сталь-сплав железа с углеродом, С от 0,02 до 2,14%
- Чугун- сплав железа с углеродом ,С от 2,14 до 6,67%

- Характеристики компонентов
- Железо
- Плотность7,68
- Температура плавления1539
- Кр решетка: ОЦК до 911 выше1392
- ГЦК при температурах 911-1392
- Ниже768 магнитно

Углерод

- С-неметалл
- Плотность-2,5
- Температура плавления-3500
- Углерод полиморфен-алмаз,графит, фуллерен
- Атомная решетка- гексагональная слоистая

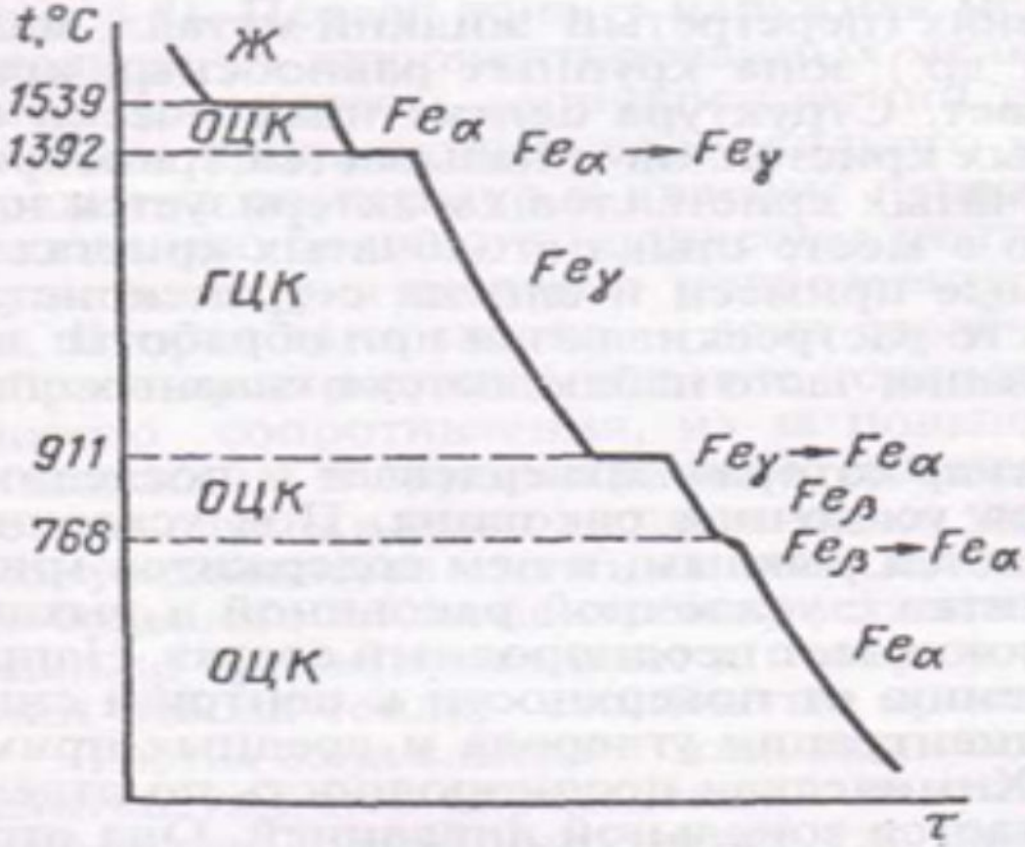
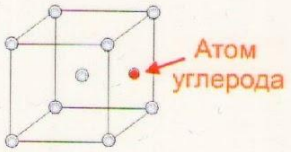


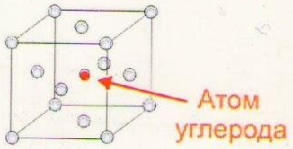
Рис. 4.9. Кривая охлаждения чистого железа

Компоненты и фазы в системе железо-углерод

Феррит - твердый раствор внедрения углерода в α–железе. Предельная растворимость углерода в α–феррите - 0,02%, а в δ–феррите - 0,1%. Феррит - мягкая пластичная фаза с твердостью НВ 80-100.



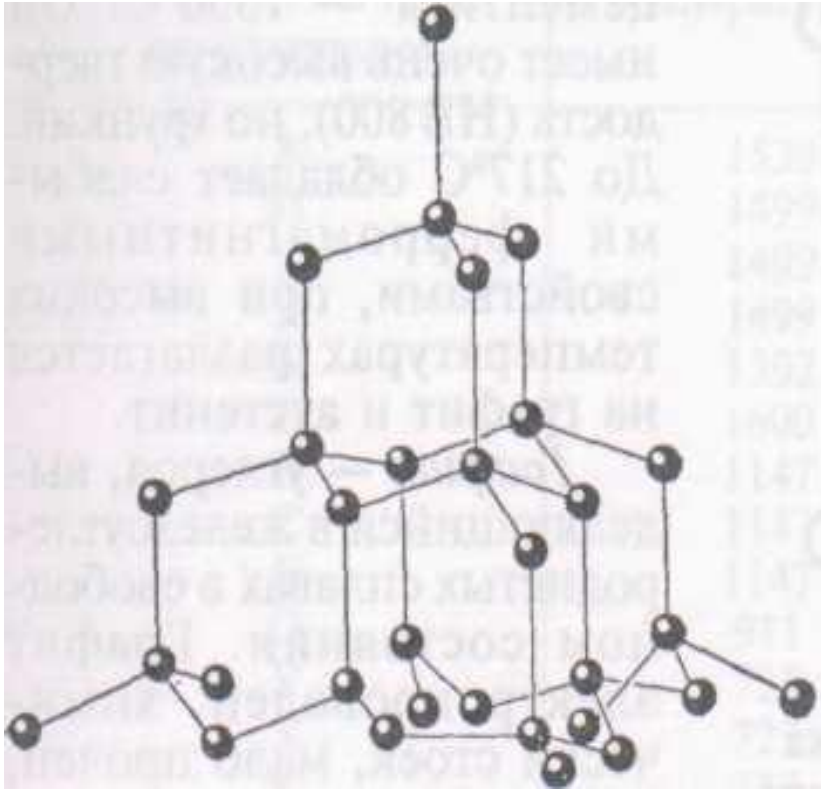
Аустенит - твердый раствор внедрения углерода в γ–железе. Предельная растворимость углерода в аустените - 2,14%. Аустенит пластичен с невысокой прочностью (твердость НВ 160-180).

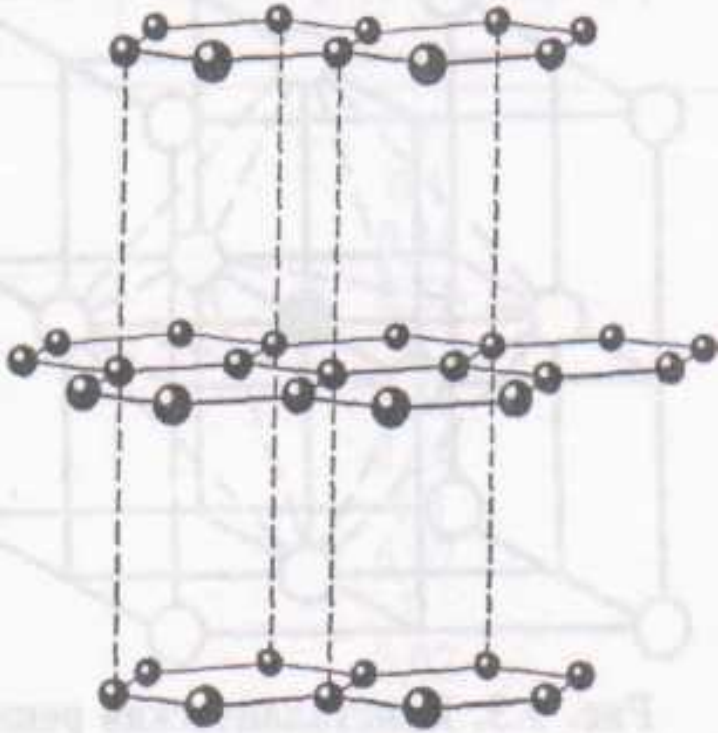


Цементит - карбид железа Fe_3C содержит 6,67% С. Он имеет сложную ромбическую решетку с 52 атомами. Температура плавления около 1600°С. Цементит слабо ферромагнитен (точка Кюри 210°С), обладает высокой твердостью (НВ 800) и малопластичен.

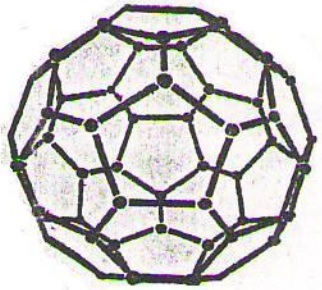
Графит - углерод, выделяющийся в железоуглеродистых сплавах в свободном состоянии. Он образует слоистую гексагональную кристаллическую решетку, мягок и имеет низкую прочность.

Решетка алмаза . Структура графита



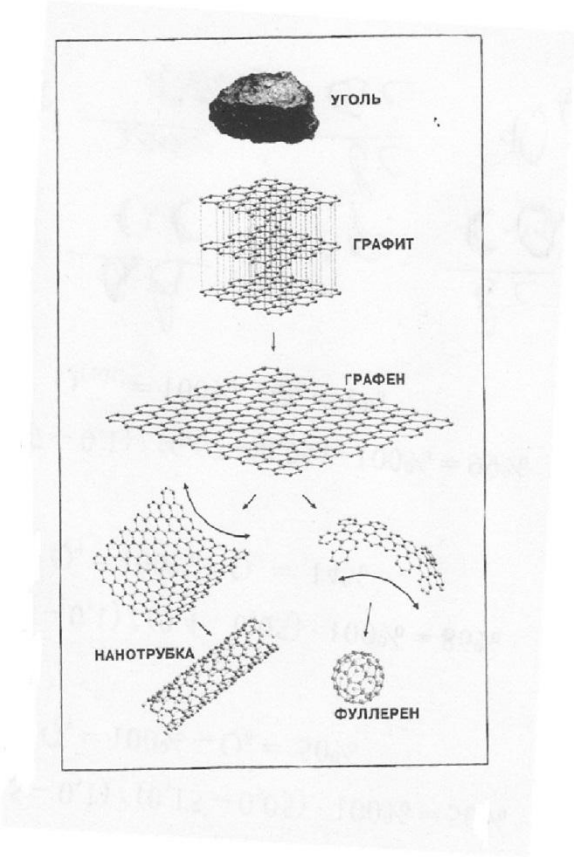


Фуллерен

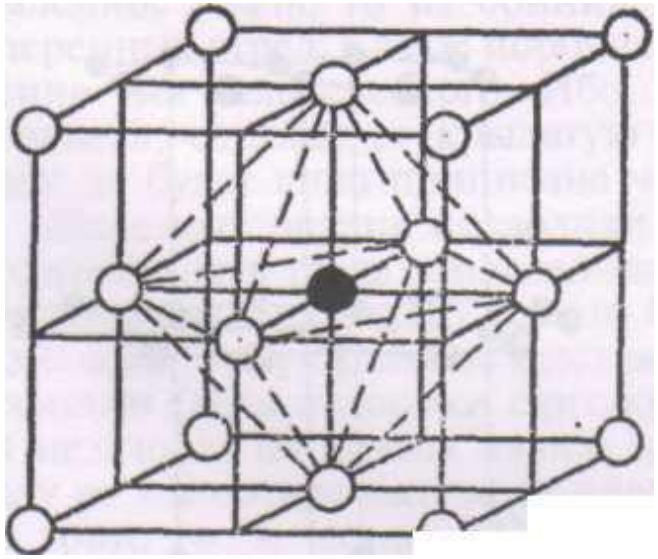


Полая молекула фуллерена C_{60} состоит из 60 атомов углерода, собранных в 20 шестигранных и 12 пятигранных ячеек. Их число неслучайно: оно следует из теоремы Эйлера, которая гласит, что у любого выпуклого многогранника число вершин В, граней Г и ребер Р связано соотношением $В + Г - Р = 2$. Для многогранника, состоящего из n шестиугольноков и m пятиугольников, будет $В = 1/3(6n + 5m)$, $Г = n + m$, $Р = 1/2(6n + 5m)$. Подставив сюда значения В, Г и Р для C_{60}, получим число пяти- и шестиугольников m и n.

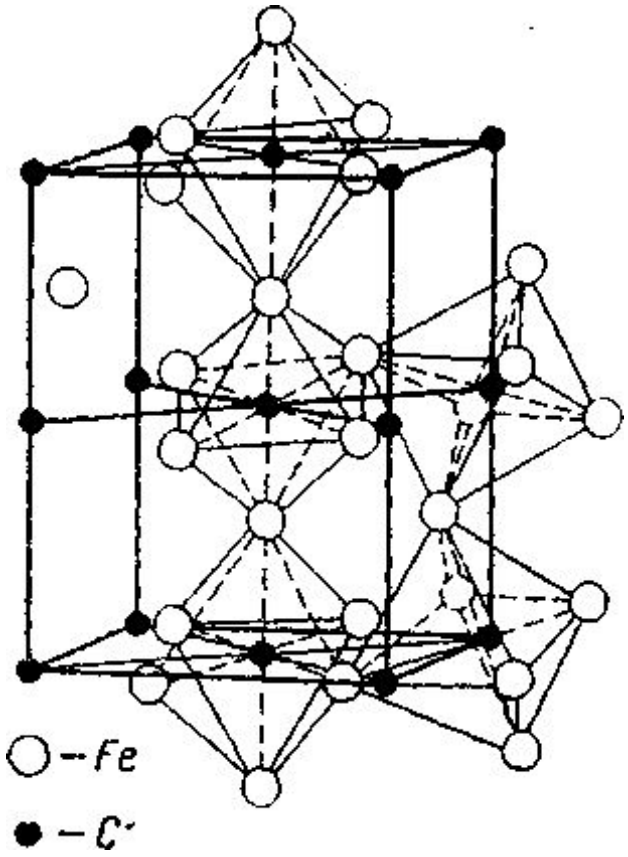
Углеродные структуры



Кристаллическая решетка аустенита.



Кристаллическая . структура карбида железа Fe_3C



а)точечными (нульмерными),
б)линейными (одномерными),
в)поверхностными (двумерными),
г)объемными (трехмерными).

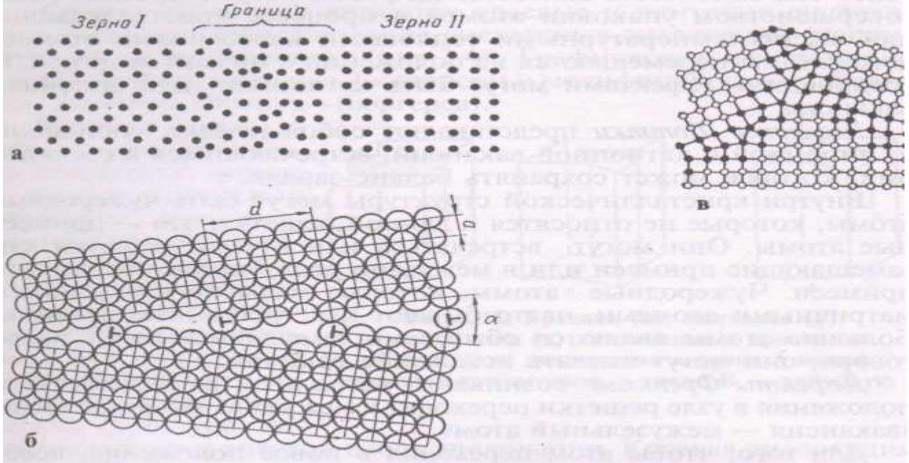


Рис. 3.1. Схема строения границы между зернами:
а — большеугловая граница; б — границы между блоками (малоугловые границы): α— угол разориентировки соседних блоков; в — схема поликристаллического строения

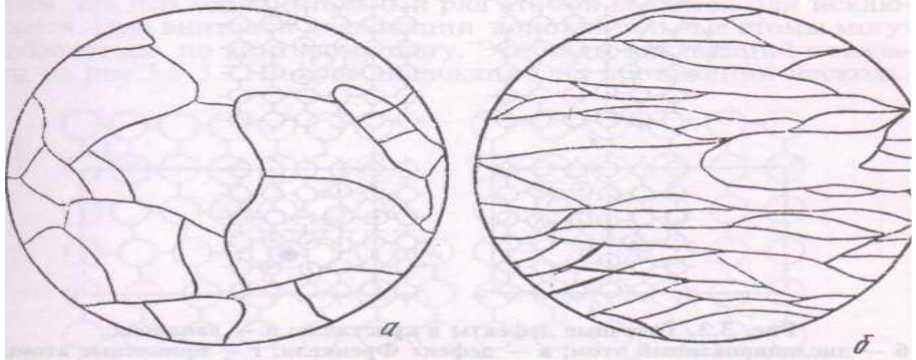


Рис. 3.2. Влияние пластической деформации на микроструктуру металла (схема): а — до деформации; б — после деформации

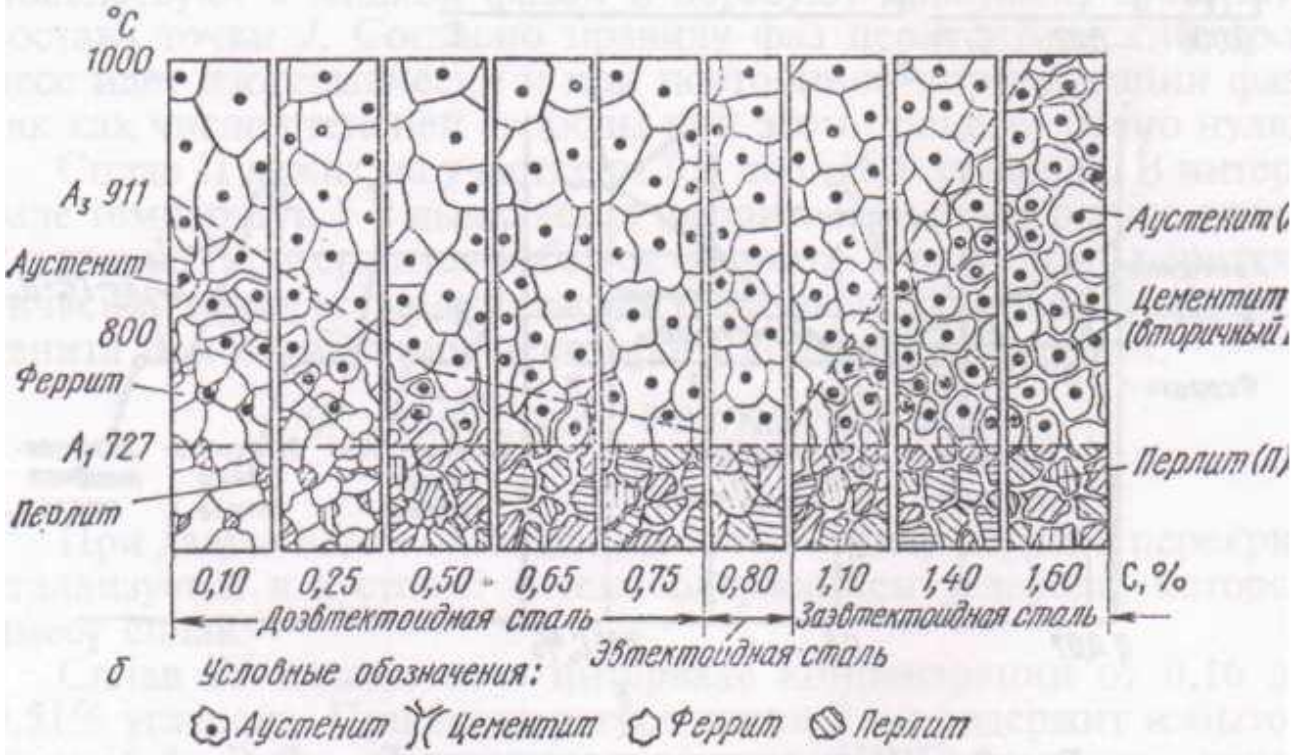
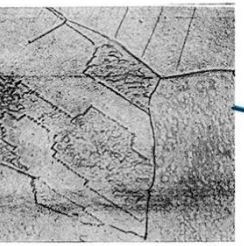


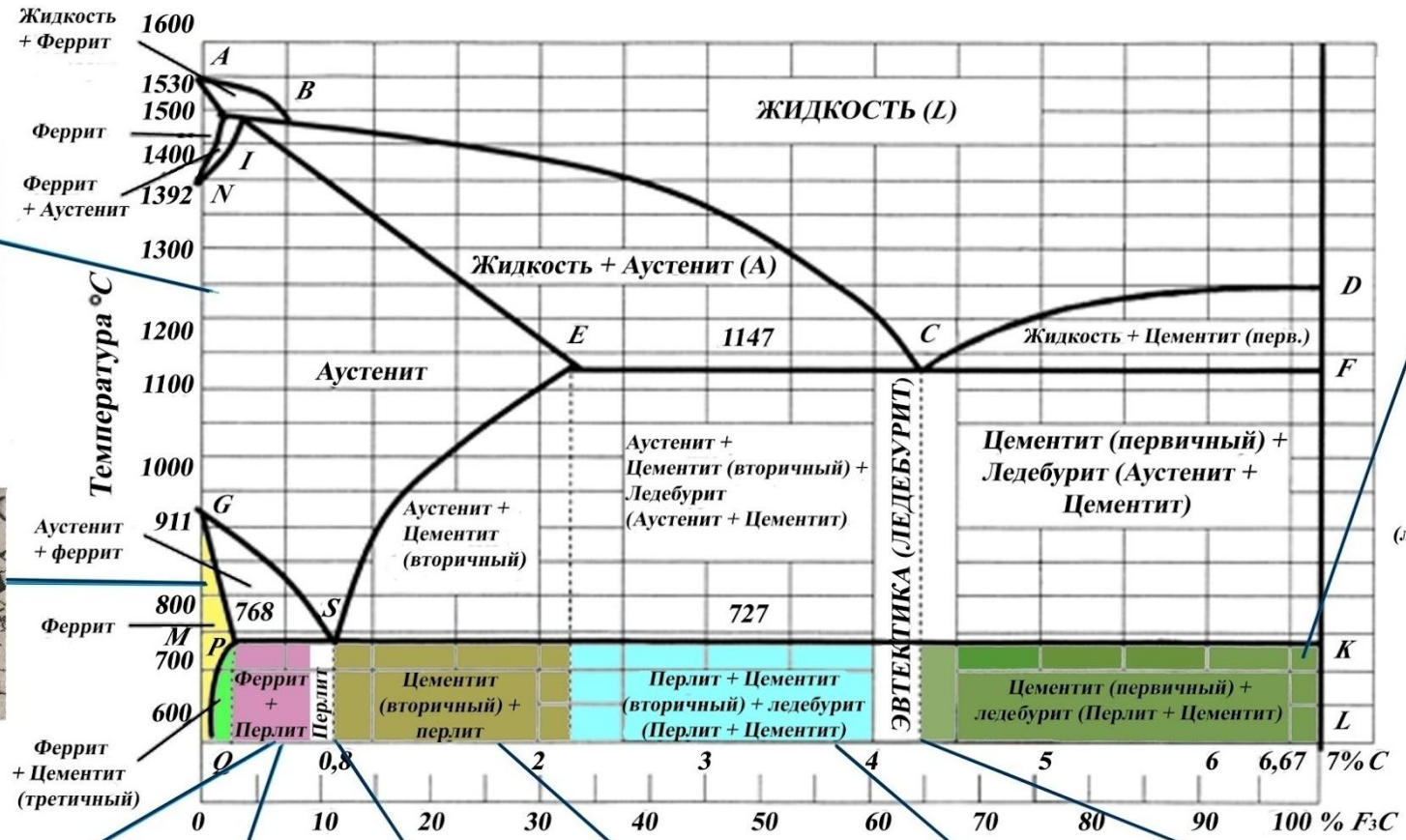
Рис. 9.7. Левая нижняя часть диаграммы состояния $Fe - Fe_3C$; изменение структуры стали в процессе вторичной кристаллизации

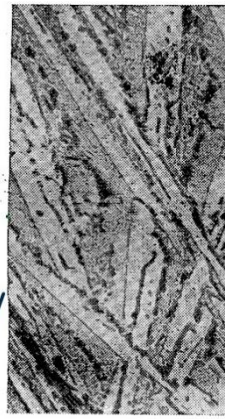
Диаграмма состояния сплавов железа с углеродом



Аустенит
x 500

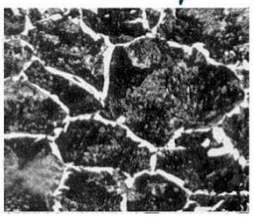
Феррит
x 500



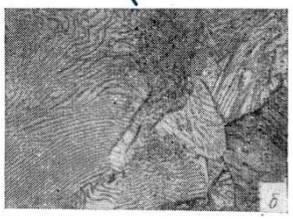


Заэвтектический
(ледебурит + первичный
x 450

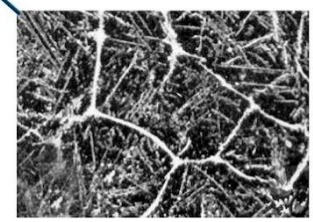
а доэвтектоидной стали
04% C
еррит + перлит)
x 150



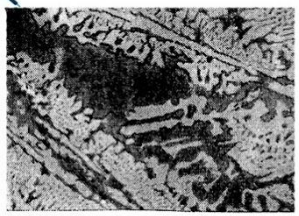
Доэвтектоидная сталь
0,8% C
(феррит + перлит)
x 250



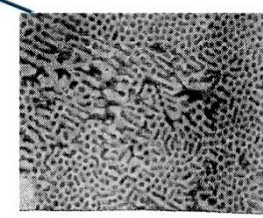
Эвтектоидная сталь
0,8% C
(перлит пластинчатый)
x 250



Заэвтектоидная сталь
1,18% C
(перлит + цементит)
x 150



Доэвтектический чугун
(ледебурит + перлит)
x 450



Эвтектический чугун
(ледебурит)
x 450

Диаграмма состояния Fe—C. Чугуны со свободным графитом

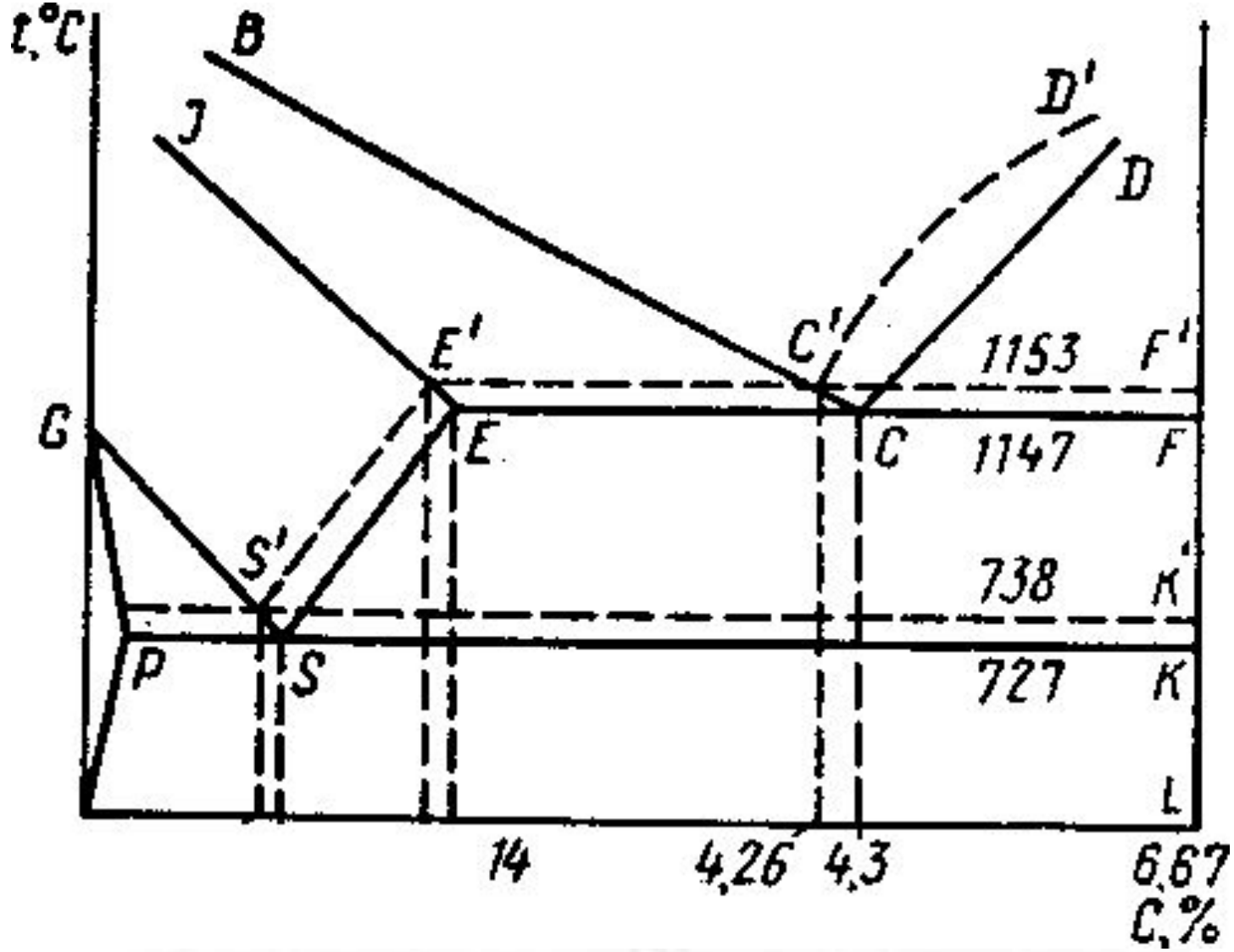
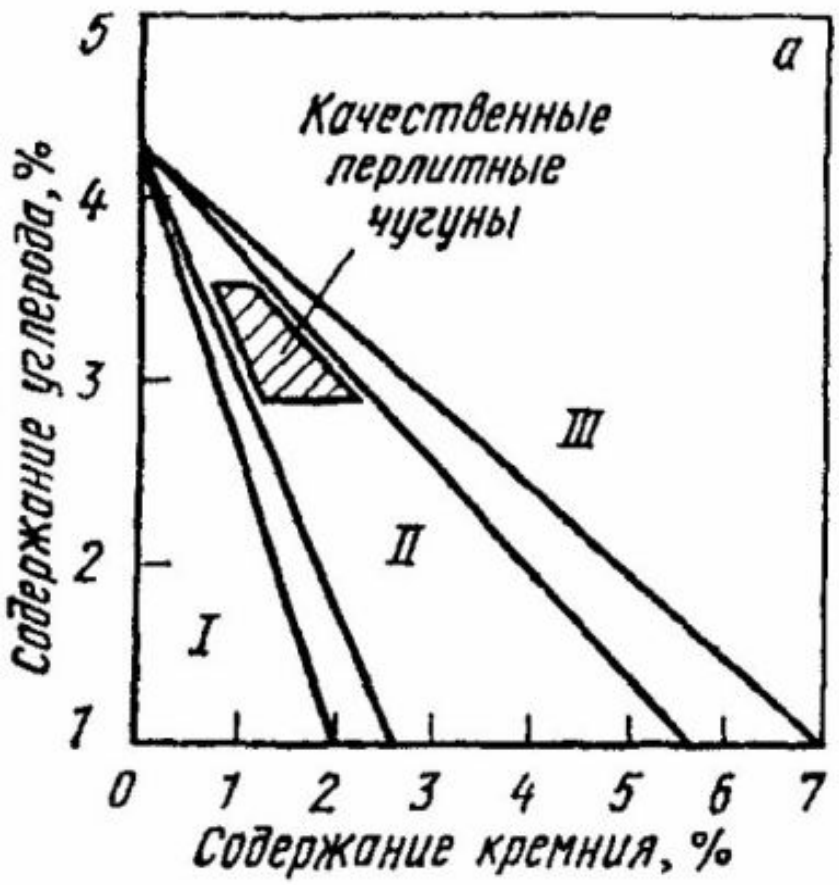
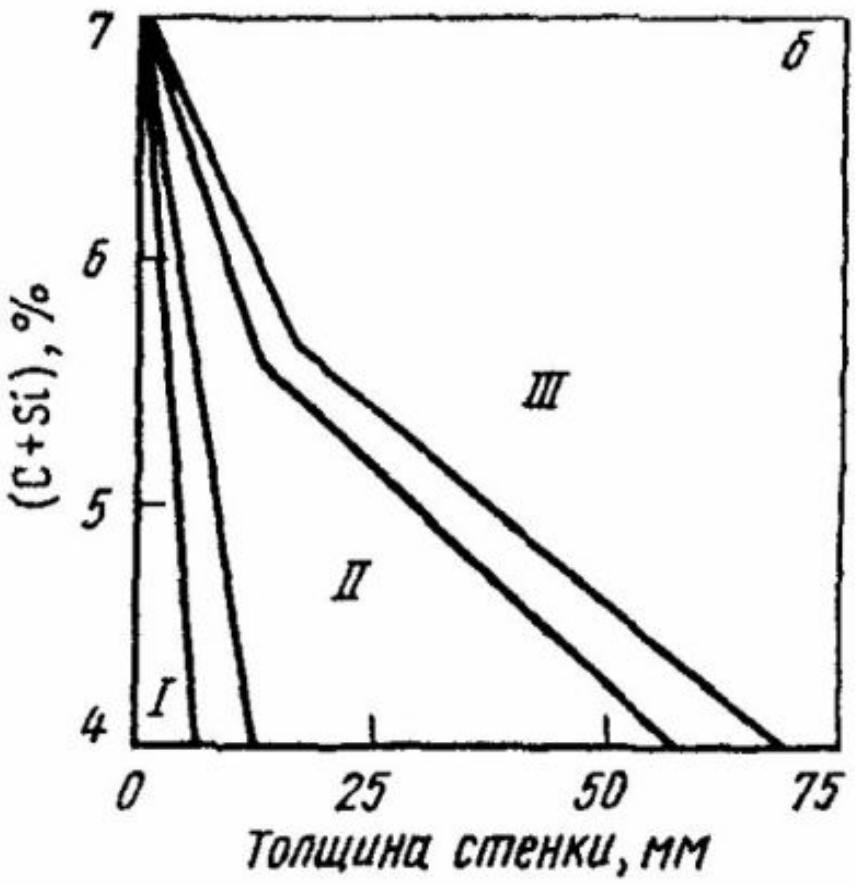


Таблица 3 Характерные точки диаграммы Fe-C

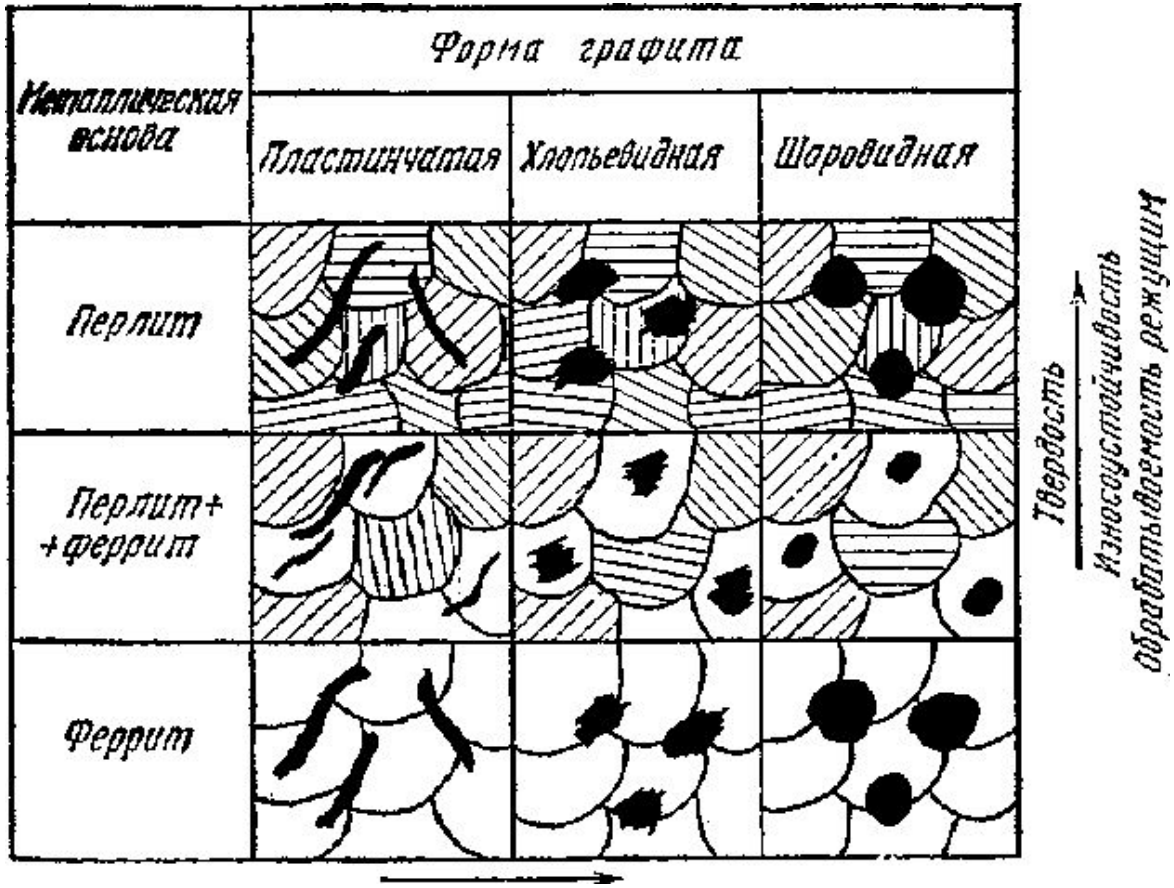
Точка	A	B	C	E	F	H	I	N	G	P	S	K	Q	L
C, %	0	0,51	4,3	2,14	6,67	0,1	0,16	0	0	0,02	0,8	6,67	0,001	6,67
t	1530	1499	1147	1147	1147	1499	1499	1392	911	727	727	727	600	600

Структурные диаграммы чугунов





Виды чугунов со свободным графитом:
СЧ20-серый (чпг)ГОСТ1412
ВЧ45-высокопрочный (чшг)ГОСТ7293
КЧ30-6-ковкий(чхг)ГОСТ1215



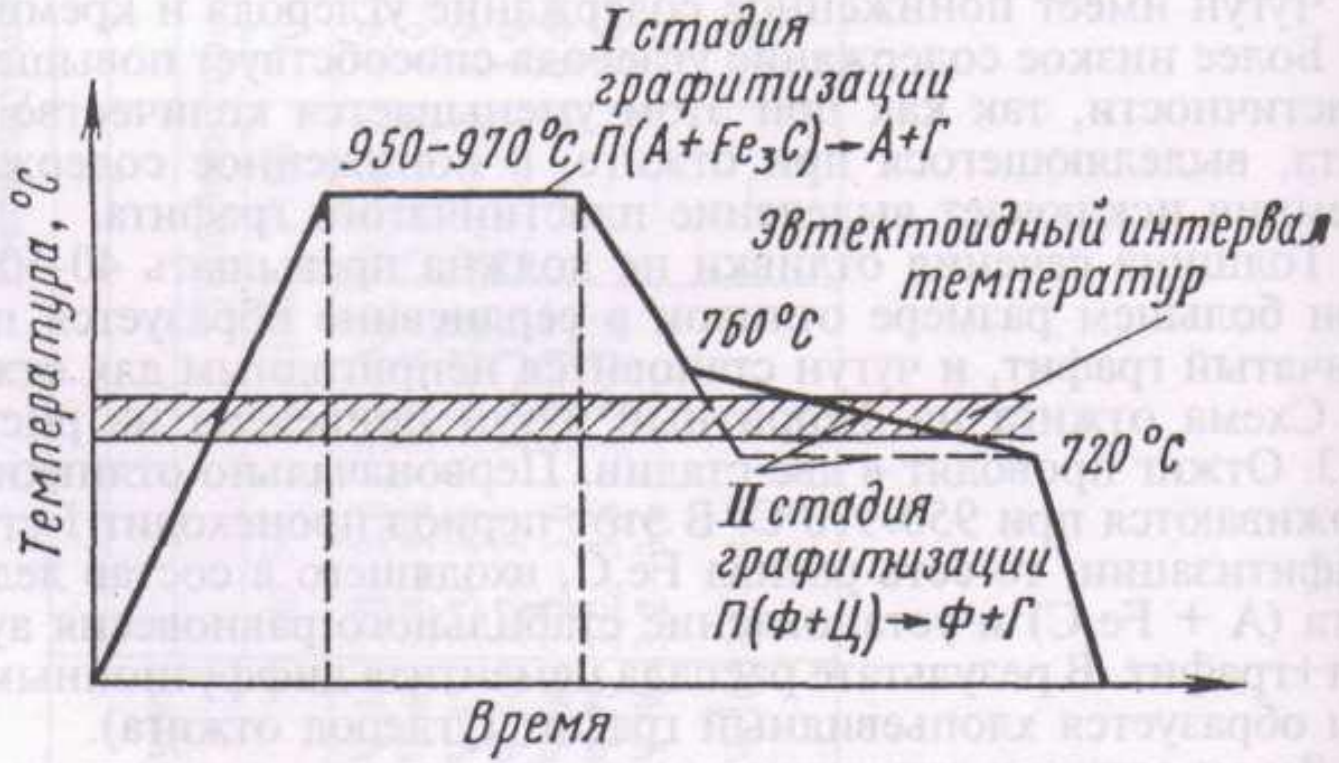


Рис. 19.3 Схема отжига ковкого чугуна

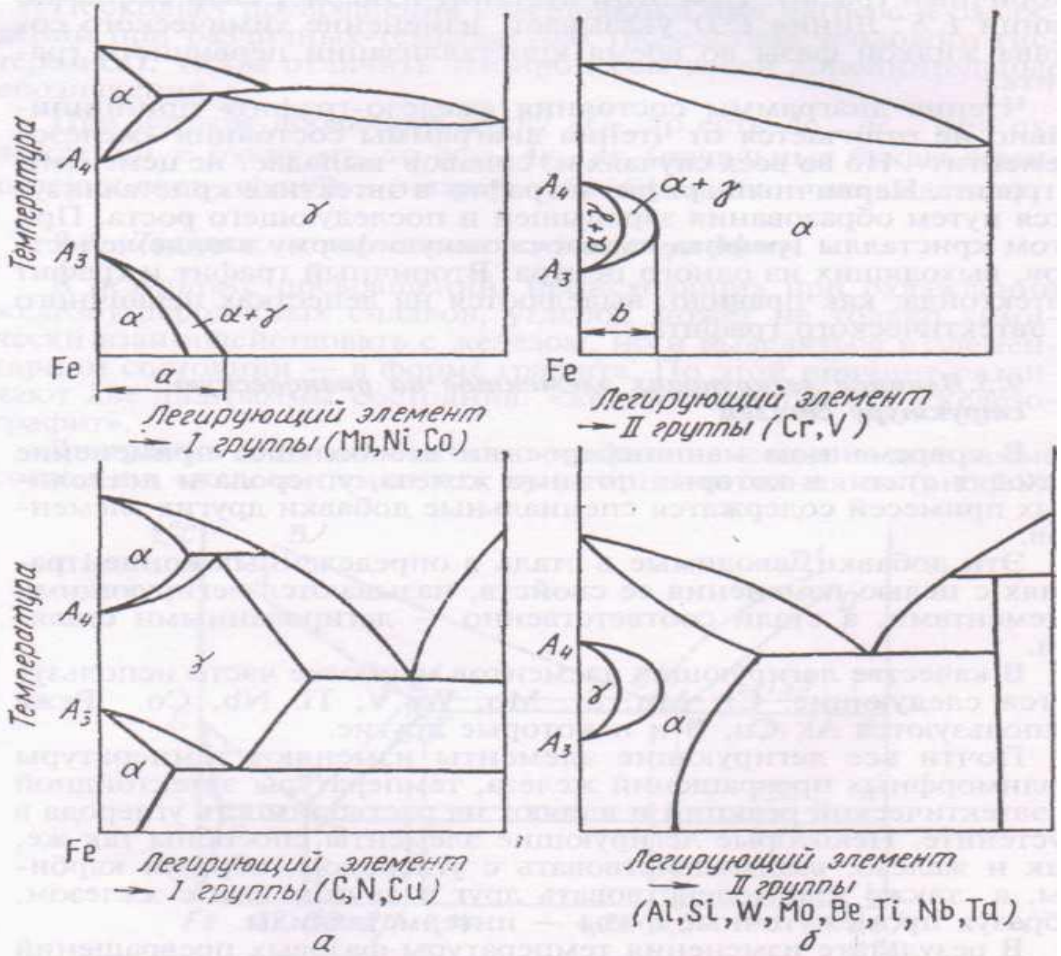
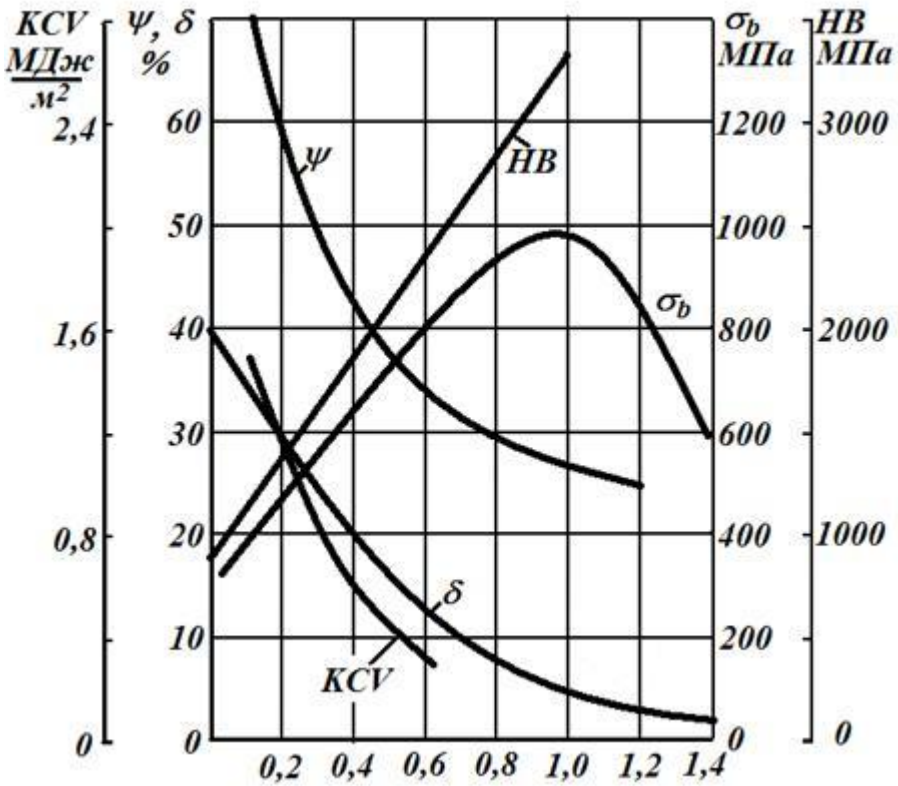


Рис. 9.10. Влияние легирующих элементов на полиморфизм железа

Влияние углерода на свойства сталей



нижение (↓) точек A_3 и A_4.

При легировании возможно получение сталей, имеющих однородную структуру аустенита (стали, содержащие легирующий элемент первой группы больше *а* %, рис.9.10 а) или феррита (стали, содержащие легирующего элемента больше *в* %, см.рис.9.10 б).

Такие стали называют соответственно *аустенитными* или *ферритными*. При нагреве фазовых превращений в них не происходит.

Большинство легирующих элементов влияет не только на температуры критических точек, но также изменяет положение точек *S* и *E* по диаграмме Fe-C, сдвигая их в сторону меньшего содержания углерода (рис.9.11). Поэтому границы между структурами в легированных сталях находятся, как правило, при меньшем содержании углерода, чем в углеродистых сталях.

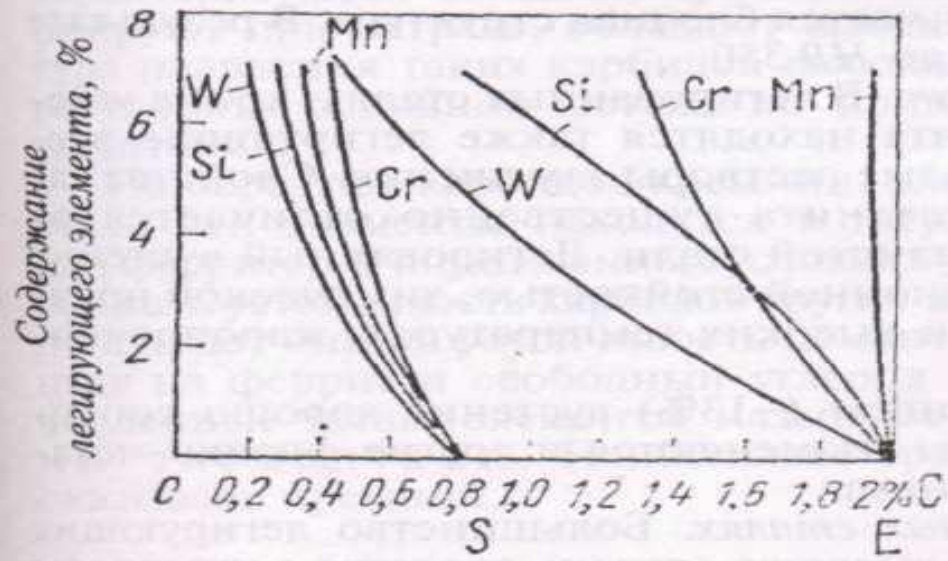


Рис. 9.11. Влияние легирующих элементов на положение точек S и E

Фазы в легированных сталях. В легированных сталях возможно различное взаимодействие железа, углерода с легирующими элементами.

Легирующие элементы могут растворяться или в аустените или в феррите. Образуя твердые растворы (Ni, Co, Si, Mn,

Термическая обработка

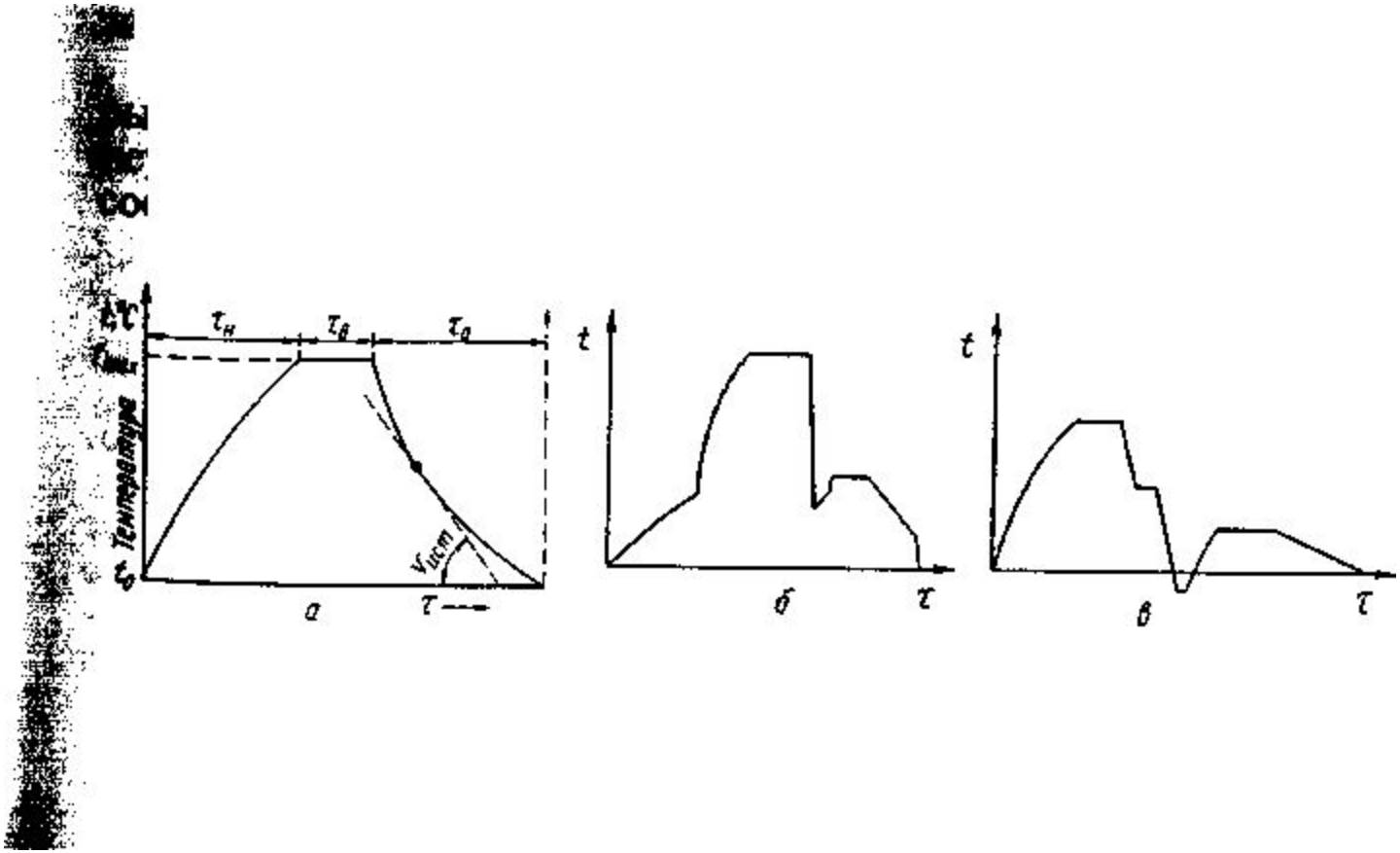


Рис. 10.3. «Стальной» участок диаграммы Fe—C

Критические точки

- A1 – линия PSK
- A3 – линия GS
- Am – линия ES
- c – при нагреве – Ac3
- r – при охлаждении –Ar3

Процесс образования аустенита

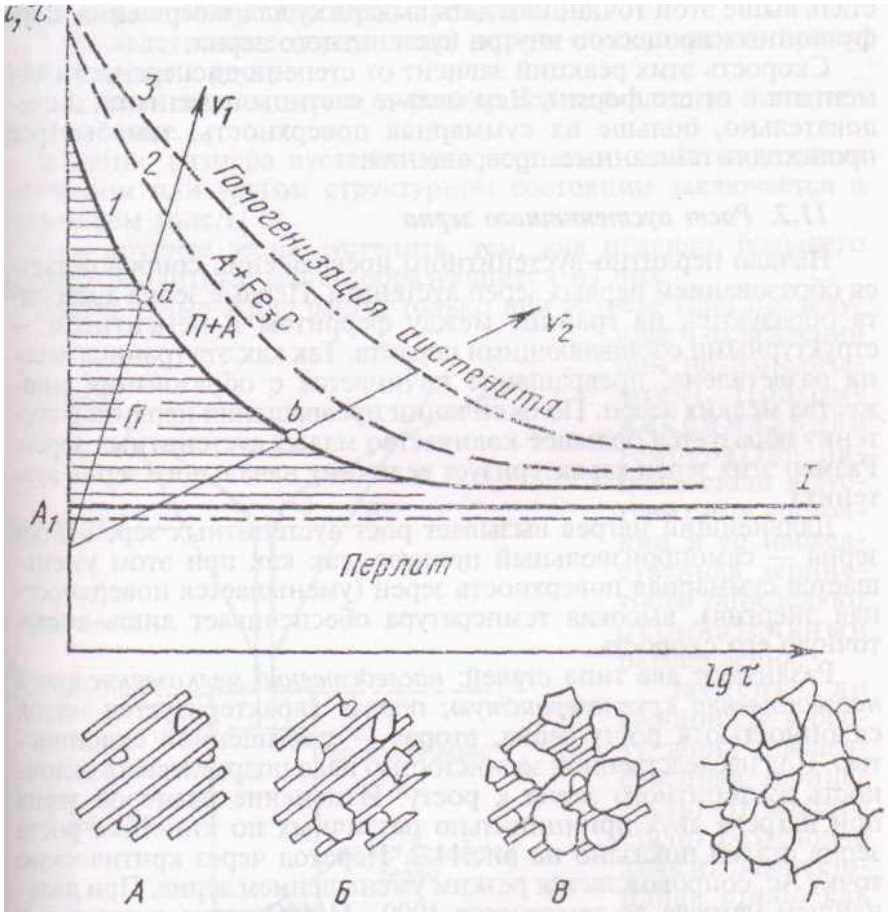


Рис. 11.1. Диаграмма изотермического образования аустенита: 1 — начало образования аустенита; 2 — конец превращения перлита в аустенит; 3 — полное растворение цементита; а, б — точки начала превращения перлита в аустенит при нагреве со скоростями υ_1 и υ_2 ($\upsilon_1 > \upsilon_2$); А, Б, В, Г — последовательные стадии превращения перлита в аустенит

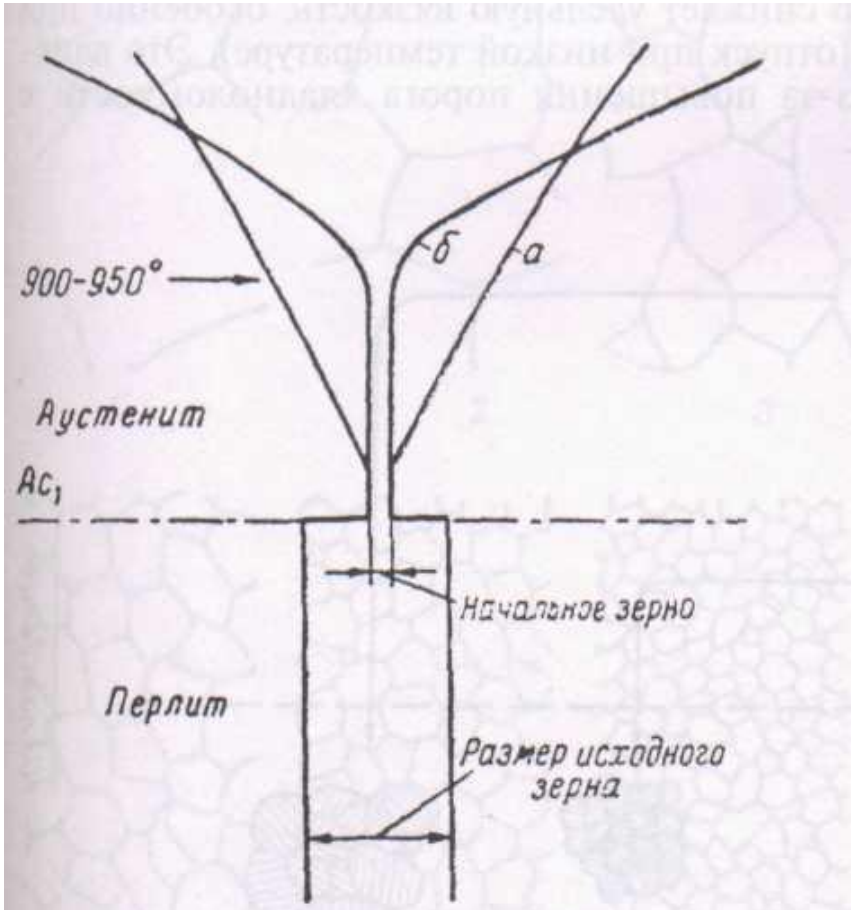


Рис. 11.2. Схема роста зерна:
а — в наследственно крупнозернистой;
б — в наследственно мелкозернистой стали

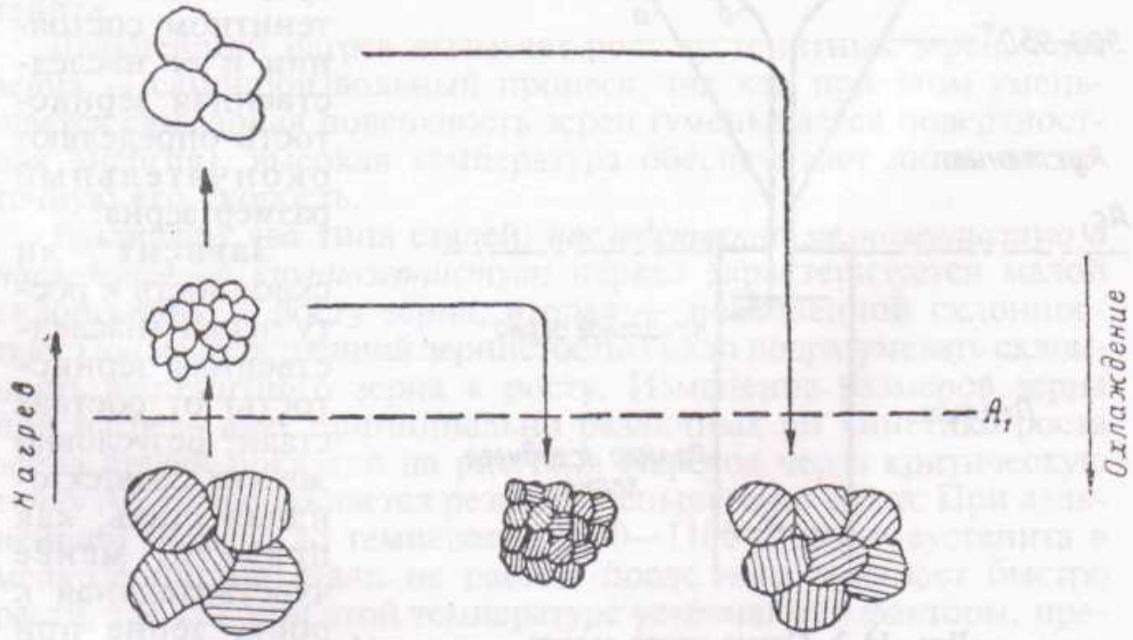
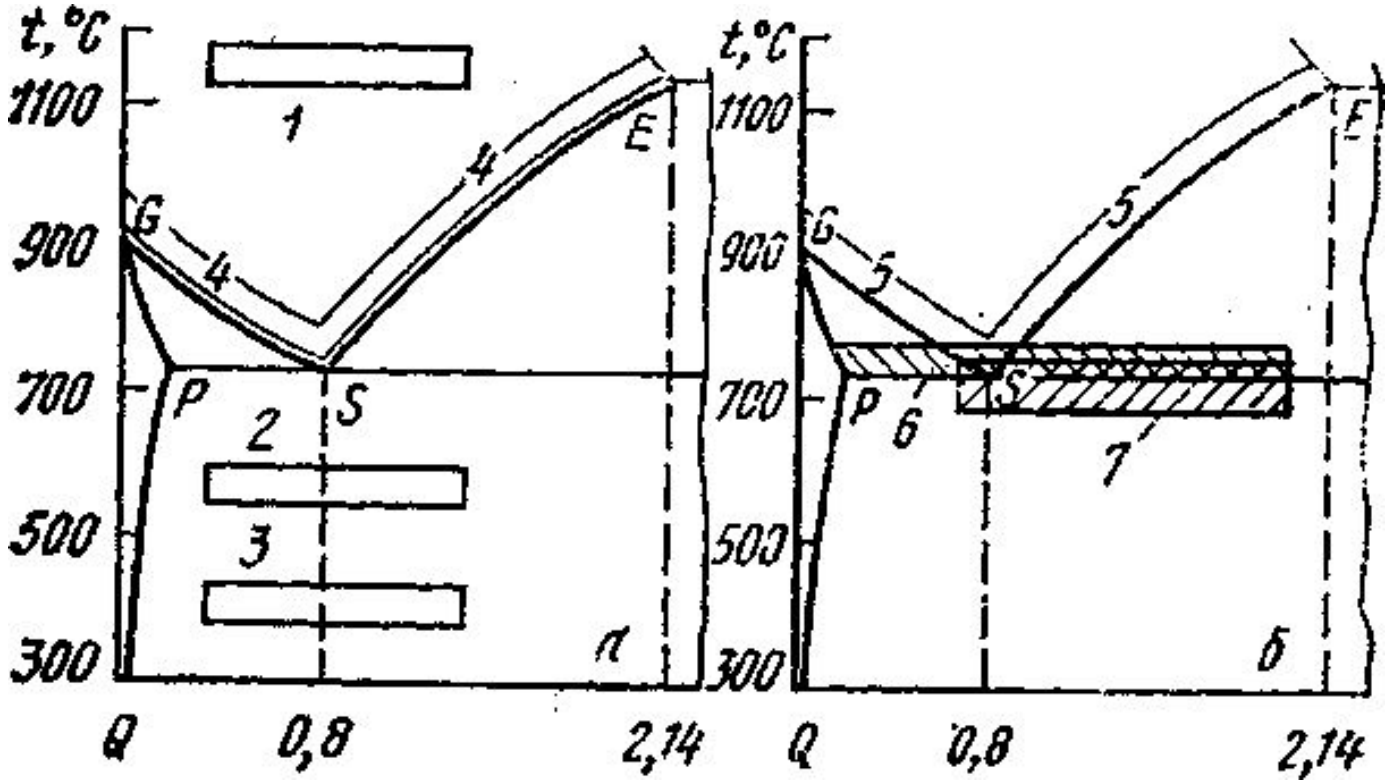


Рис. 11.3. Схема изменения размера зерна перлита в зависимости от нагрева в аустенитной области

Температура нагревов при различных видах термической обработки: *а* — отжиг I рода; 1 — диффузионный отжиг; 2 — рекристаллизационный отжиг; 3 — отжиг для снятия напряжений; 4 — нормализация; *б* — отжиг II рода; 5 — полный отжиг; 6 — неполный отжиг; 7 — циклический отжиг



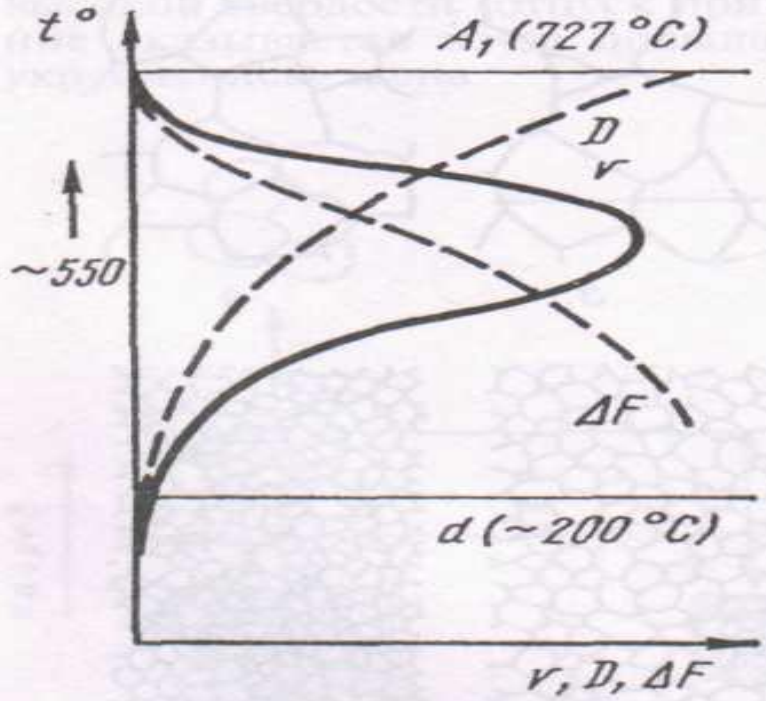


Рис. 11.5. Скорость распада аустенита υ в зависимости от степени переохлаждения; D — скорость диффузии; ΔF — разность свободных энергий

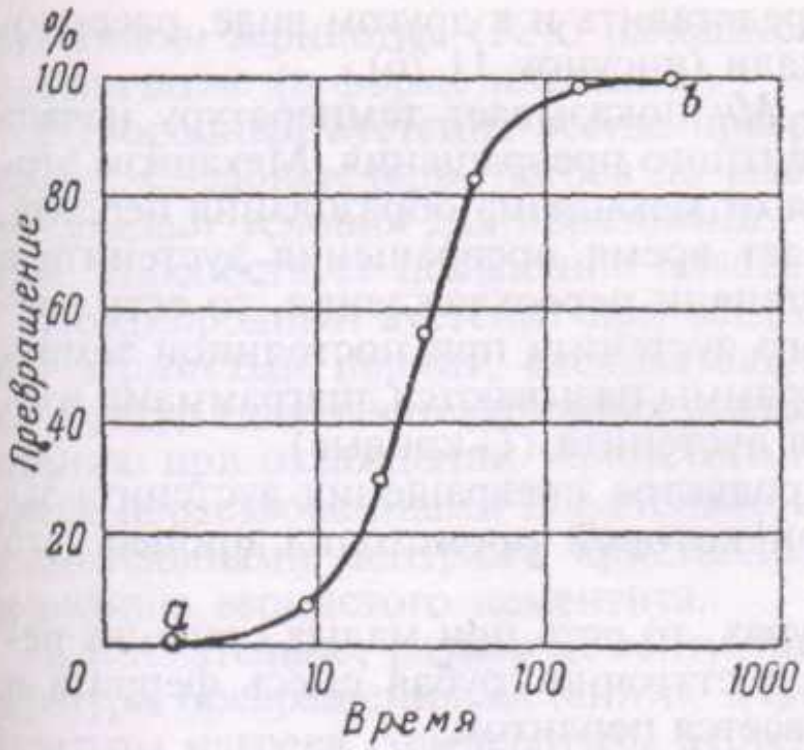
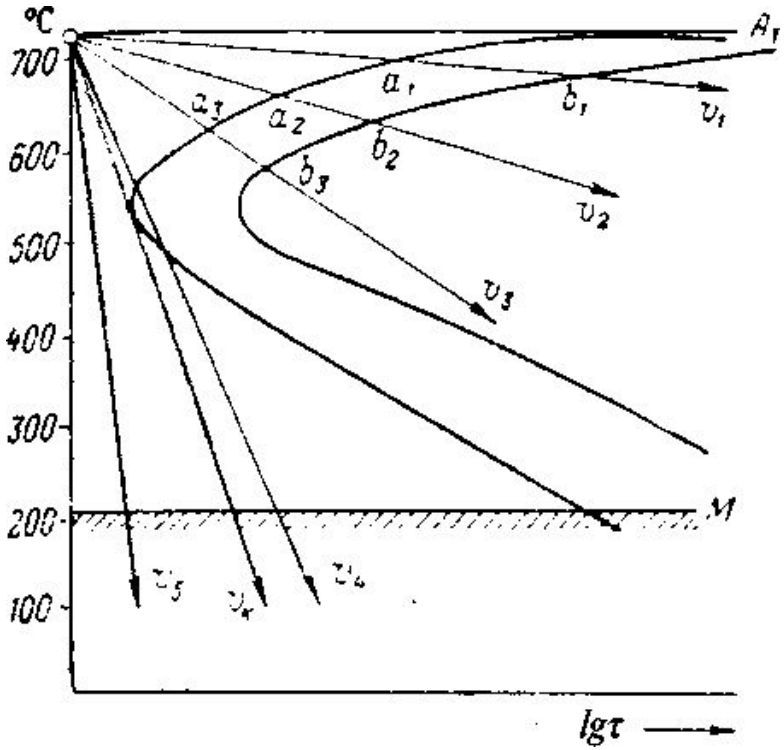


Рис. 11.6. Кинетическая кривая превращения аустенита в перлит

Рис. 11.8. Диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали

Наложение на диаграмму изотермического распада аустенита кривых охлаждения



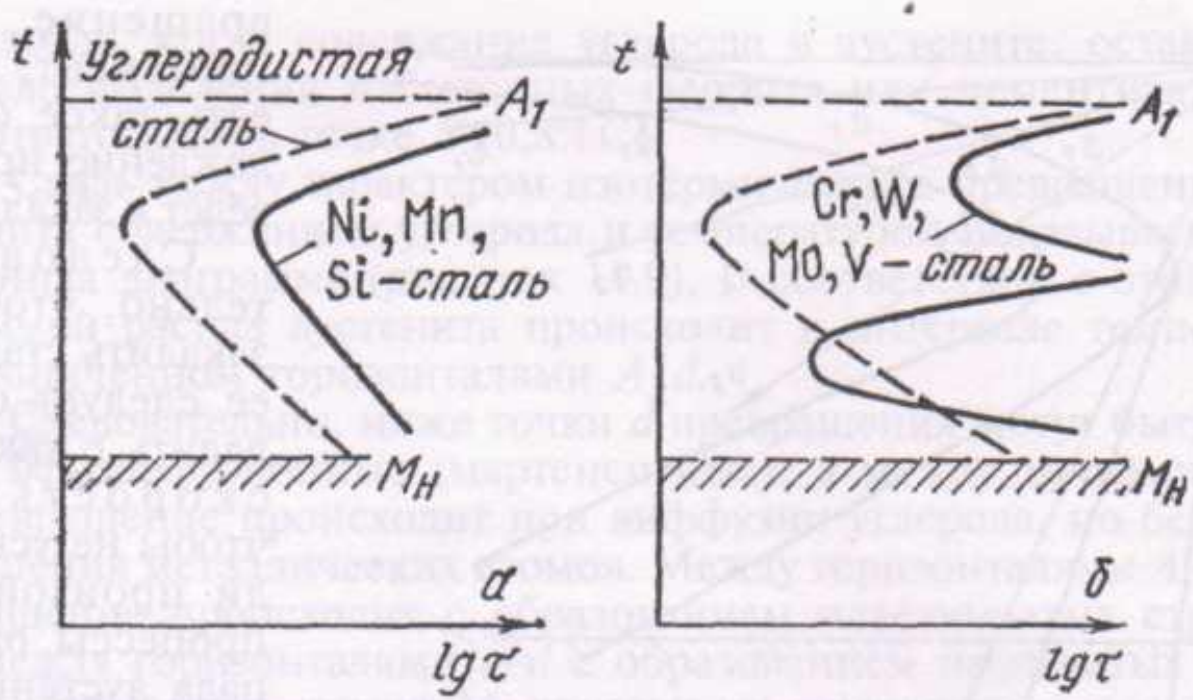


Рис. 11.11. Диаграммы изотермического превращения аустенита углеродистых и легированных сталей: а — легирующие элементы не образуют карбидов; б — легирующие элементы образуют карбиды

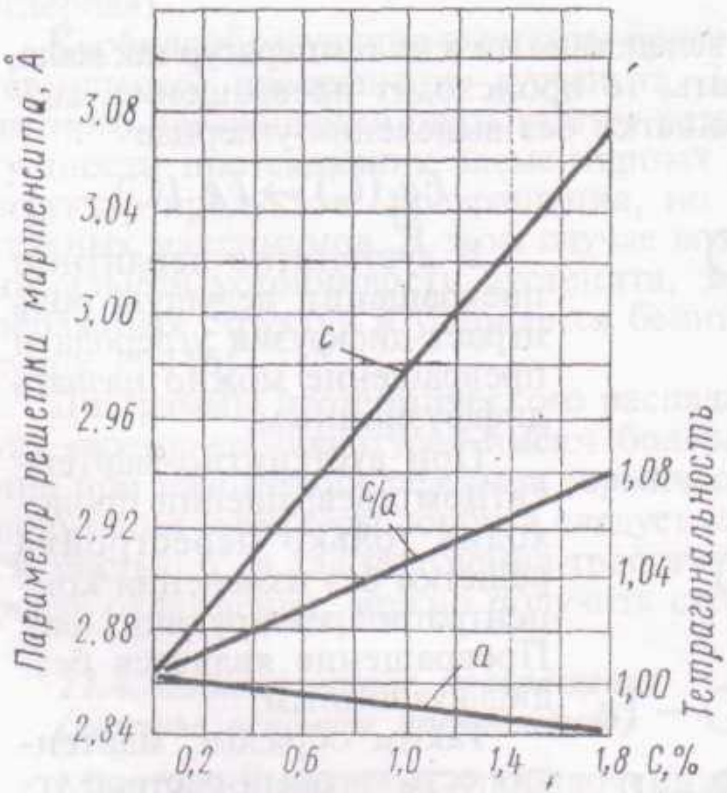


Рис. 11.15. Параметры и степень тетрагональности решетки мартенсита в зависимости от содержания углерода

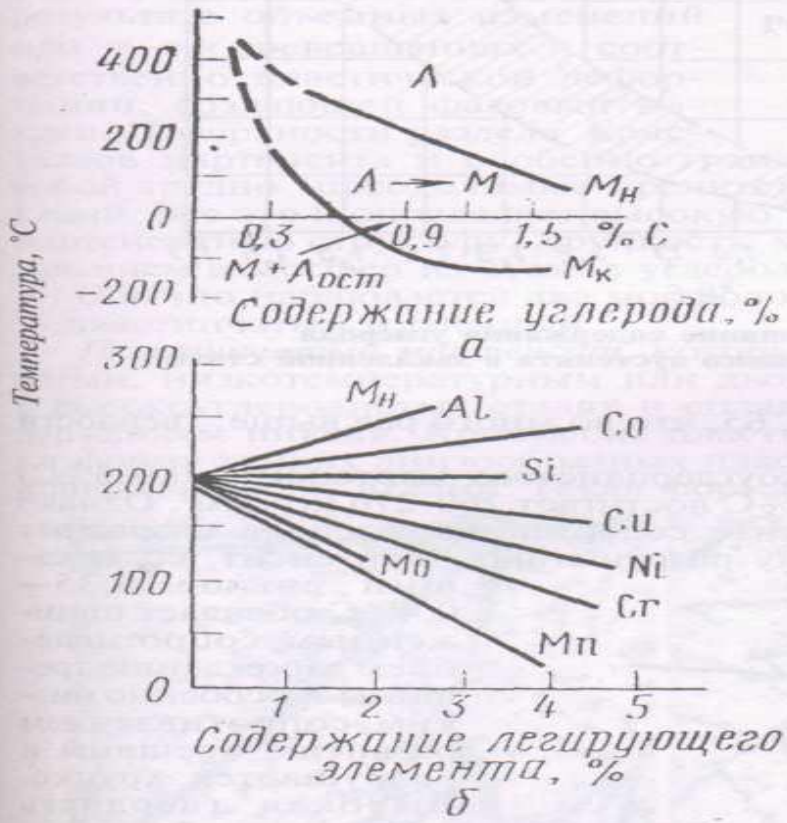


Рис. 11.17. Положение температур начала *Мн* и конца *Мк* мартенситного превращения в зависимости от химического состава стали: *а* — влияние углерода на температуры *Мк* и *Мн*, *б* — влияние легирующих элементов на температуру *Мн* стали, содержащей 1% С

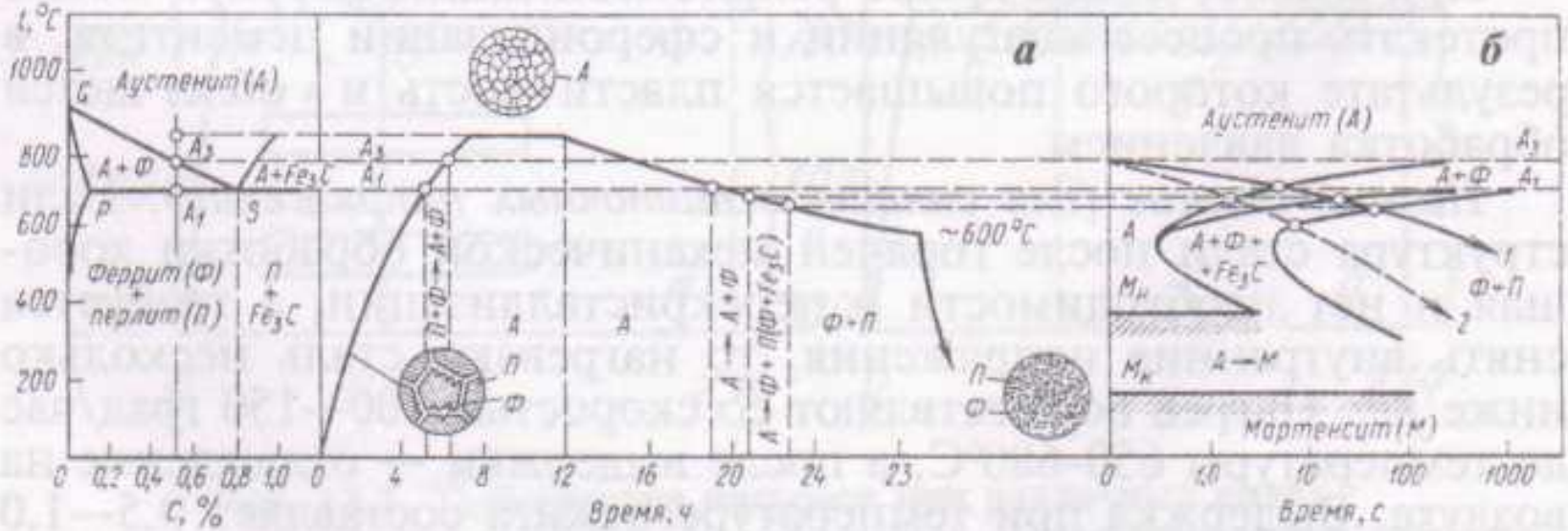


Рис. 12.2. Схема полного отжига *(а)* и изотермическая диаграмма распада аустенита *(б)* углеродистой стали: 1 — охлаждение при отжиге; 2 — охлаждение при нормализации

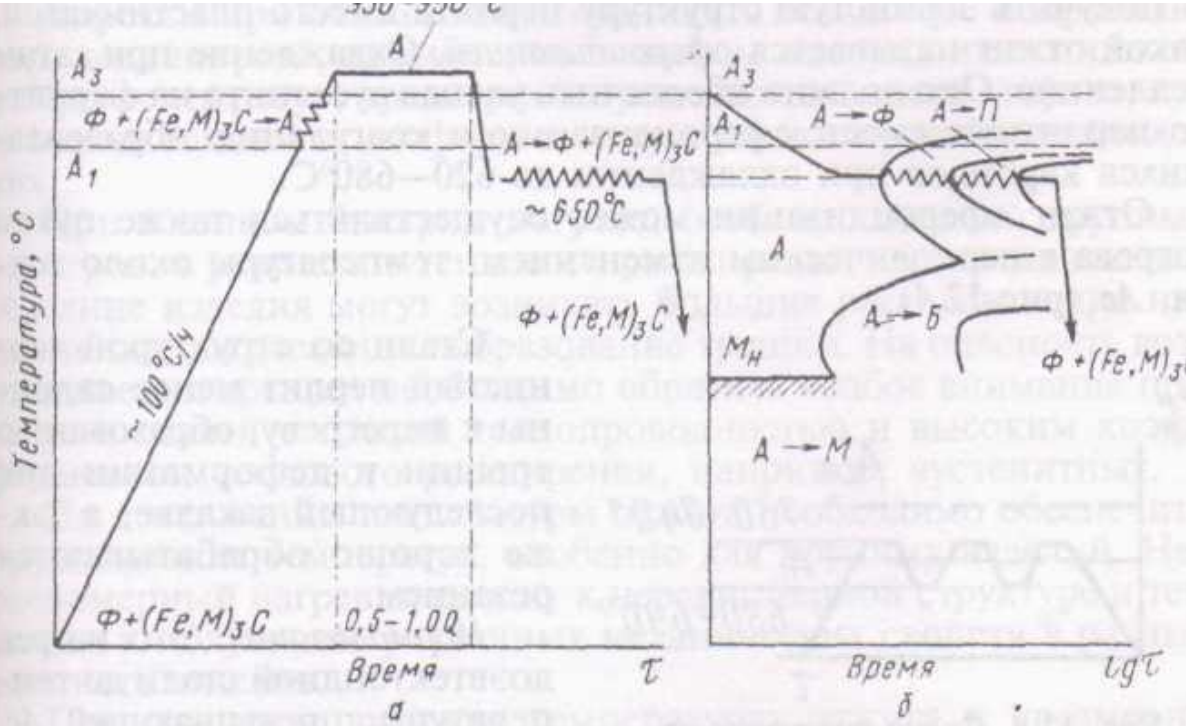


Рис. 12.3. Схема изотермического отжига стали (*Q* — масса садки, т)

Структура мартенсита

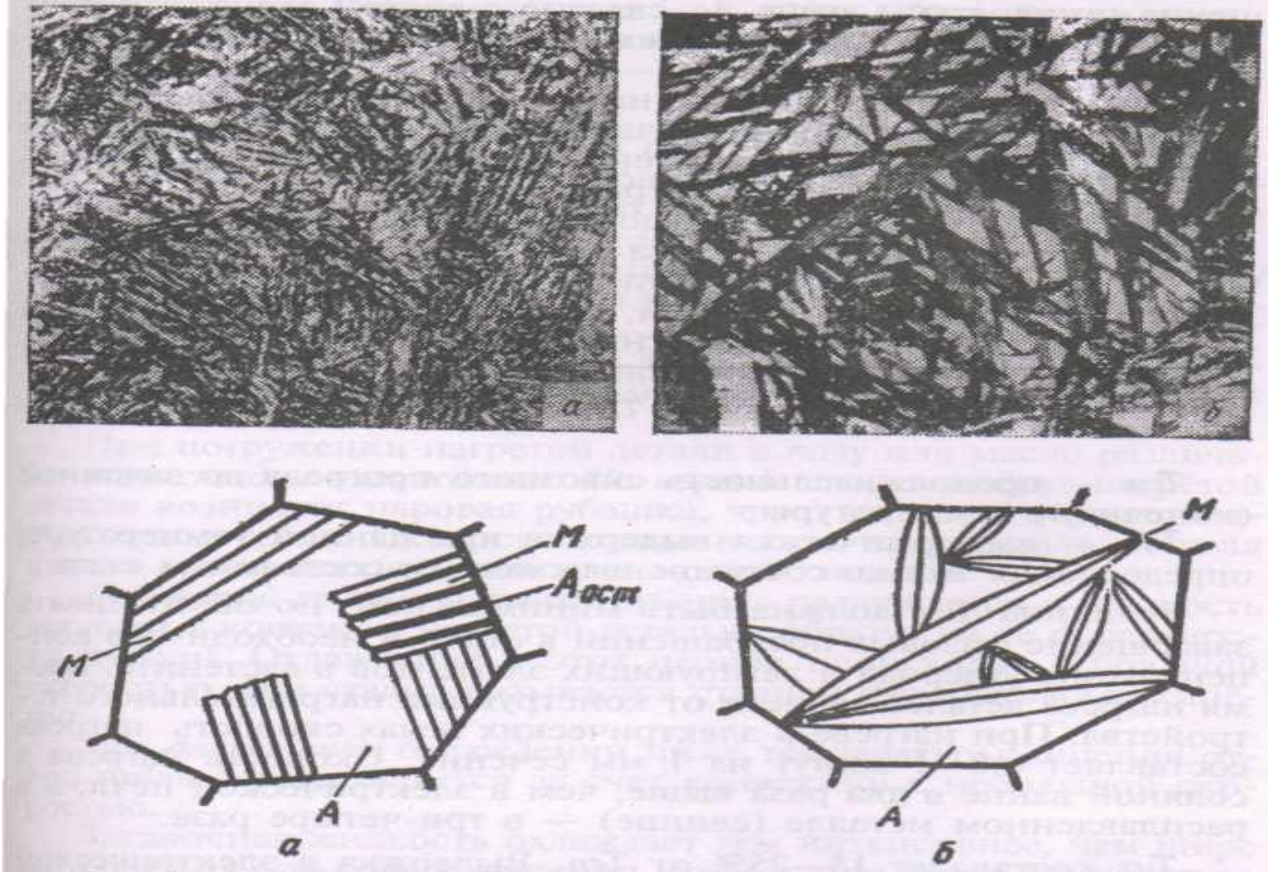
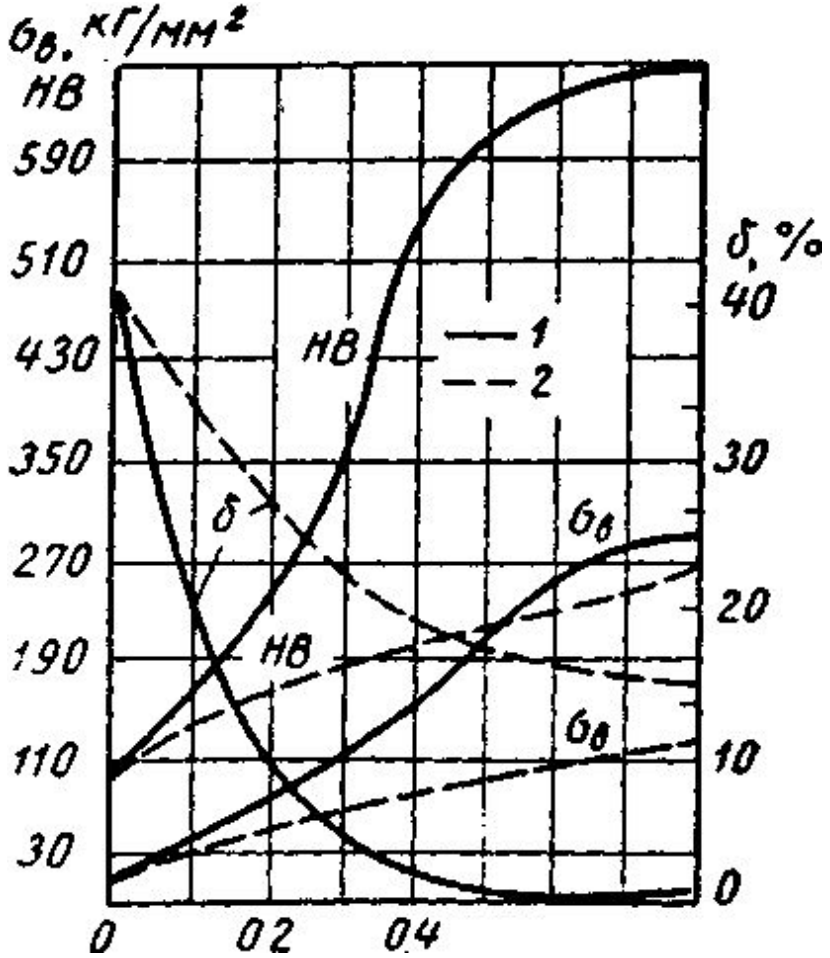


Рис. 12.6. Микроструктуры, × 500, и схемы возникновения и роста кристаллов: *а* — реечного мартенсита; *б* — пластинчатого (игольчатого) мартенсита. Белые поля на микроструктуре — остаточный аустенит

Изменение механических свойств углеродистой стали в зависимости от содержания в ней углерода

1— в закаленном состоянии;
2 — отожженном состоянии



Остаточные напряжения

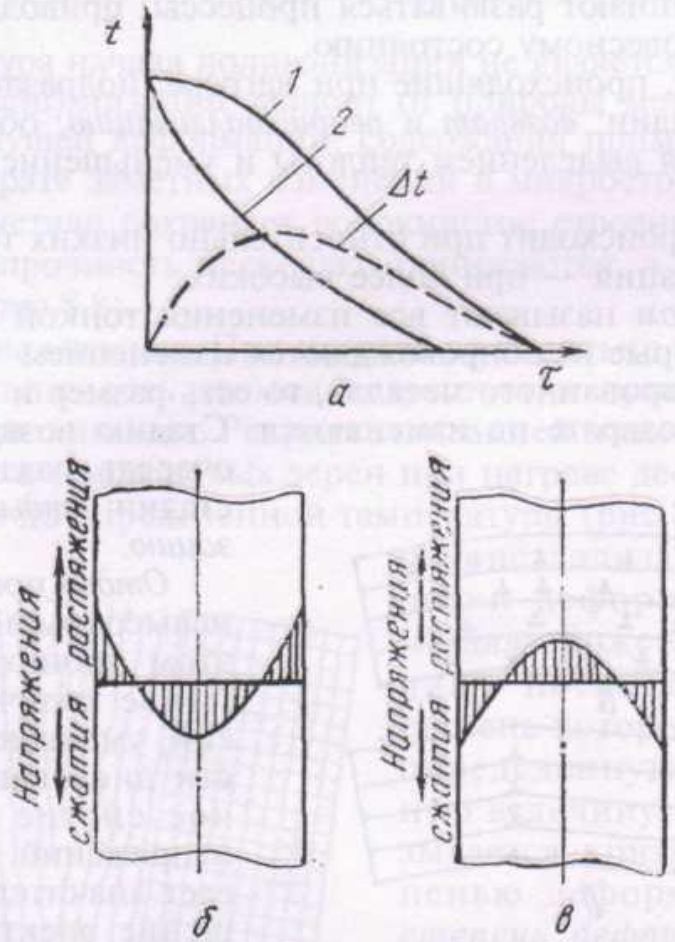


Рис. 8.5. Схема возникновения остаточных напряжений вследствие неравномерного охлаждения по сечению образца: а — кривые охлаждения (1 — в центре; 2 — на поверхности); б, в — эпюры напряжений временных и остаточных

V1— изотермический отжиг; *V2* — нормализация; *VKp* — критическая

скорость охлаждения; *V3* — закалка в одной среде; *V4* закалка в двух средах; *V5* — ступенчатая закалка; *V6* — изотермическая закалка; *У7* — частичная закалка;

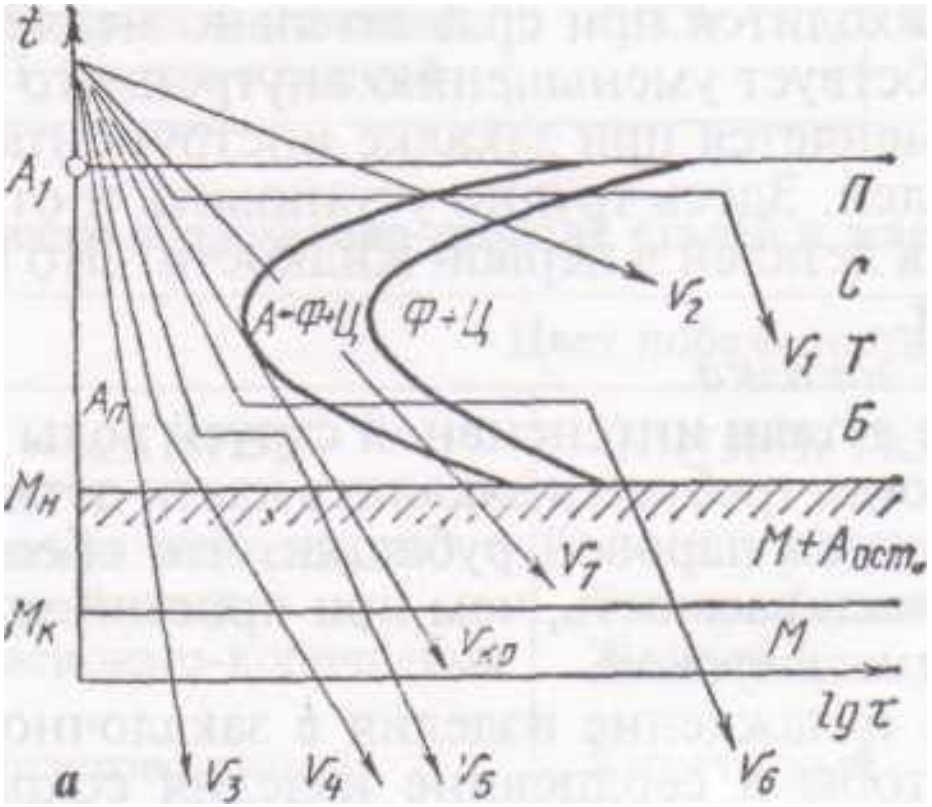
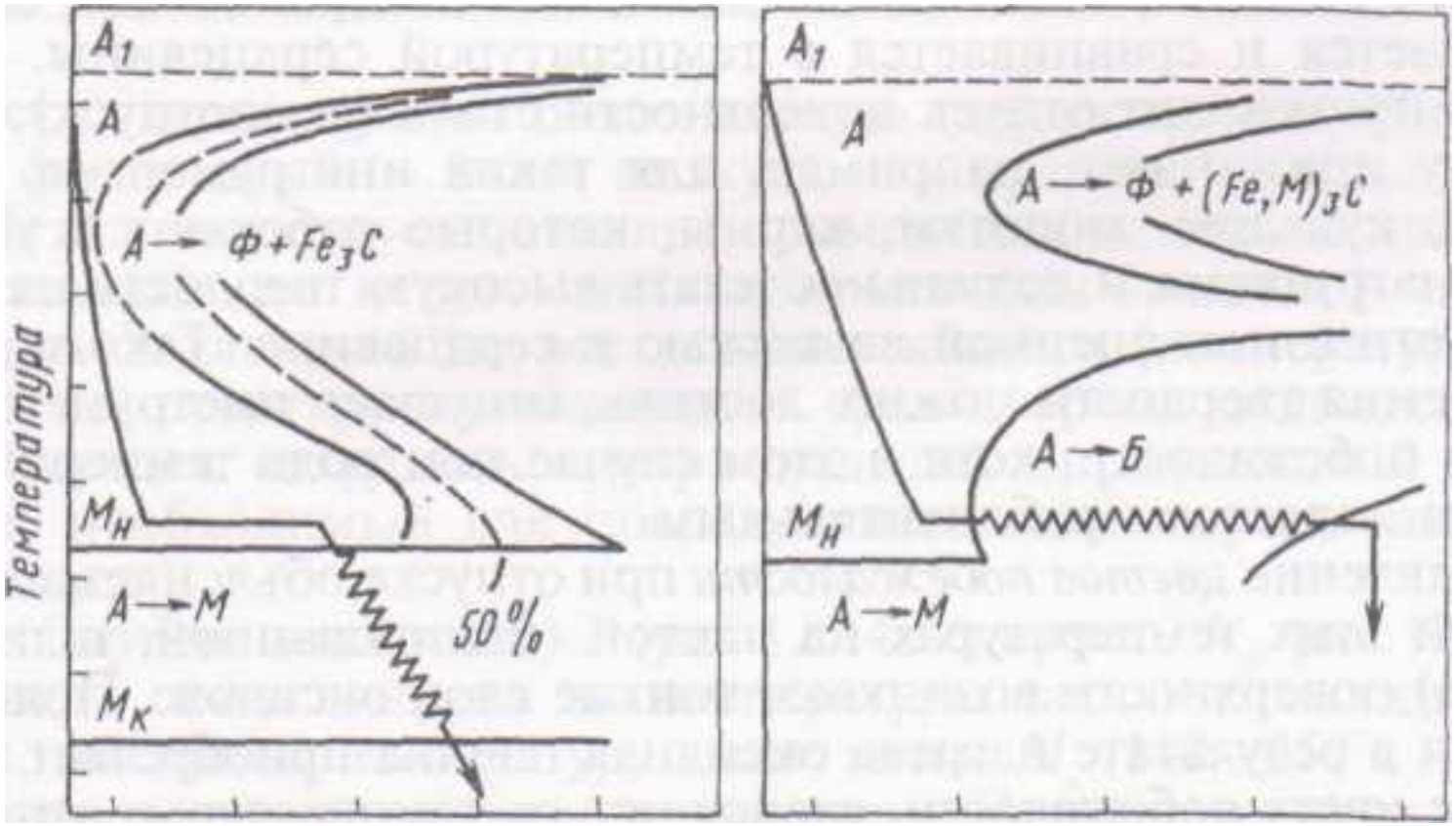


Схема ступенчатой закалки эвтектоиднои стали, содержащей 0,8% С (б), и изотермической закалки легированной стали (в)



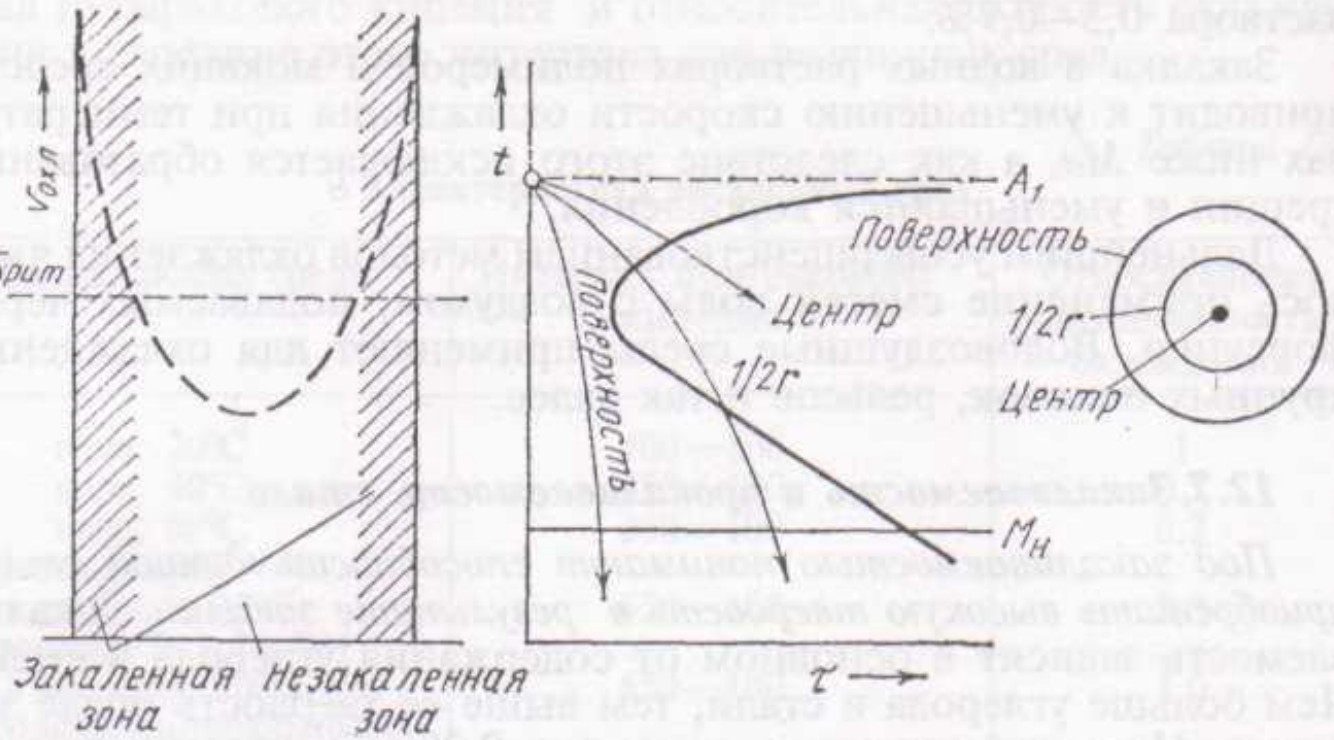


Рис. 12.8. Схемы, показывающие различную скорость охлаждения по сечению изделия

Влияние легирующих элементов на изотермический распад аустенита

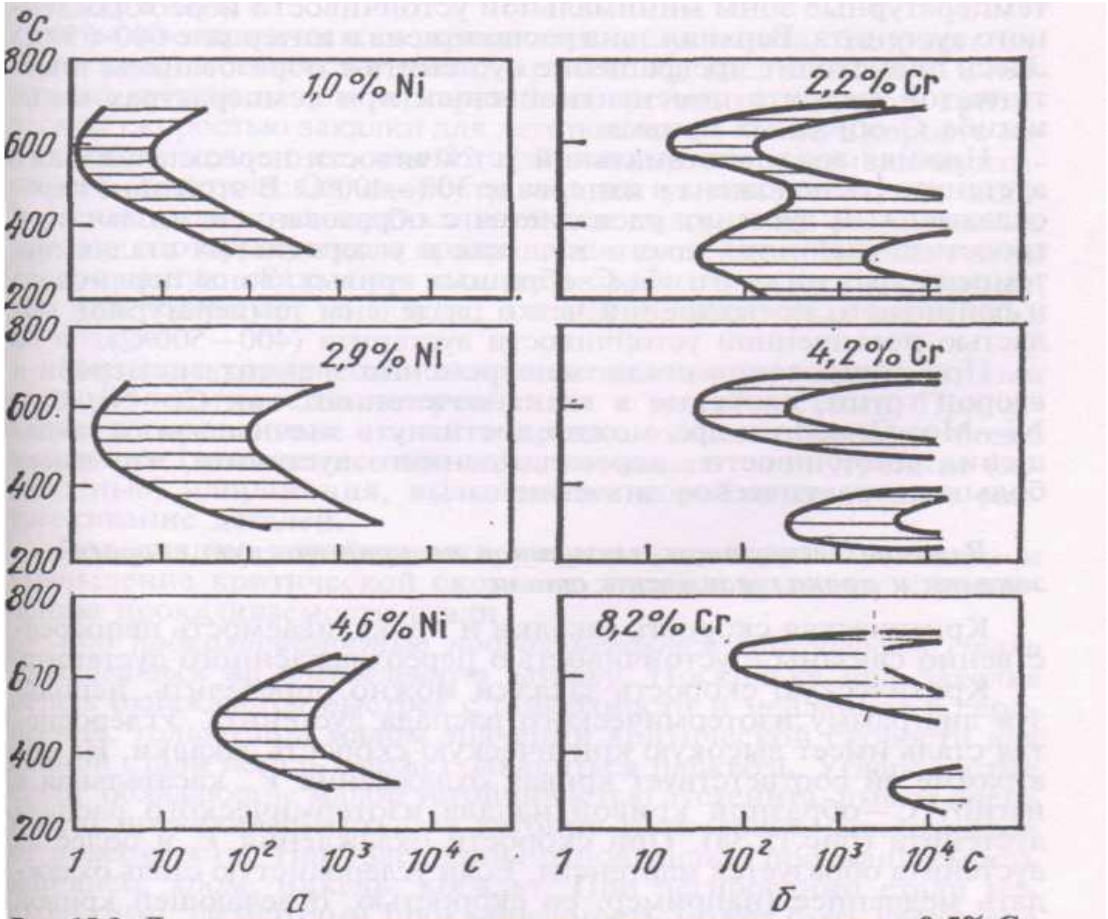


Рис. 15.2. Диаграммы изотермического распада аустенита стали с 0,5% С, легированной никелем (а) и хромом (б)

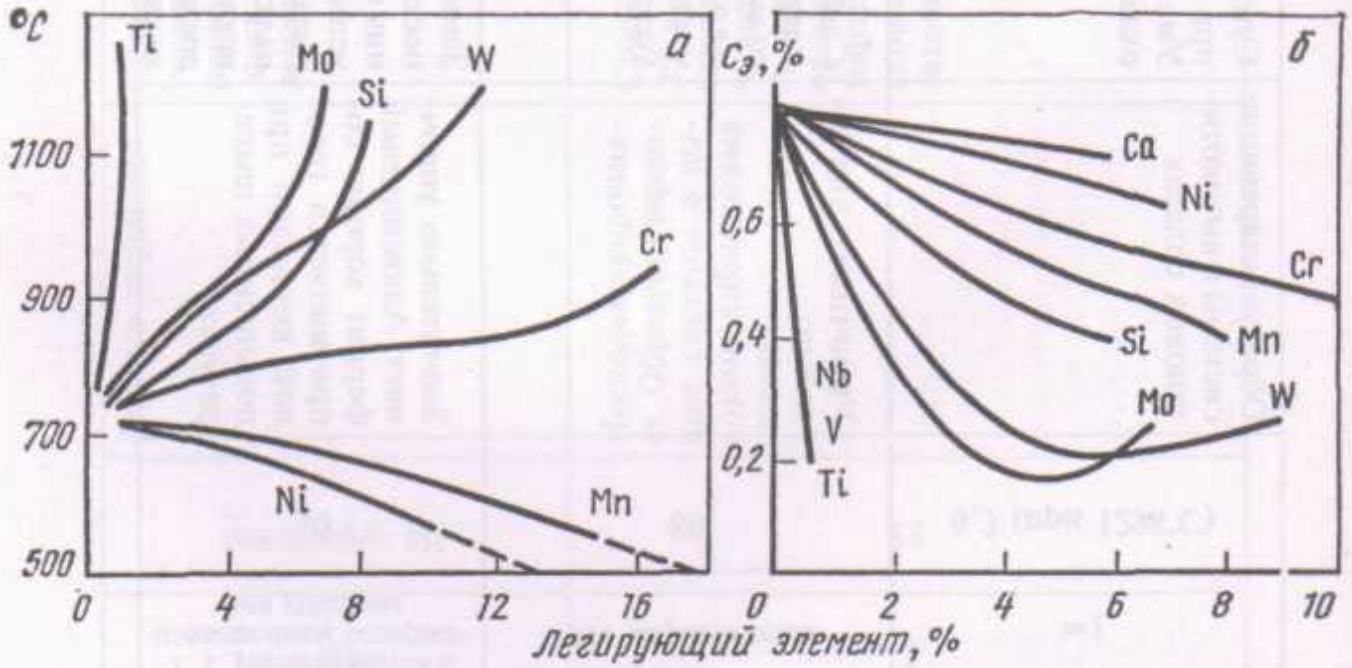


Рис. 15.1. Влияние легирующих элементов на температуру эвтектоидного превращения (а) и на содержание углерода в эвтектоиде (б)

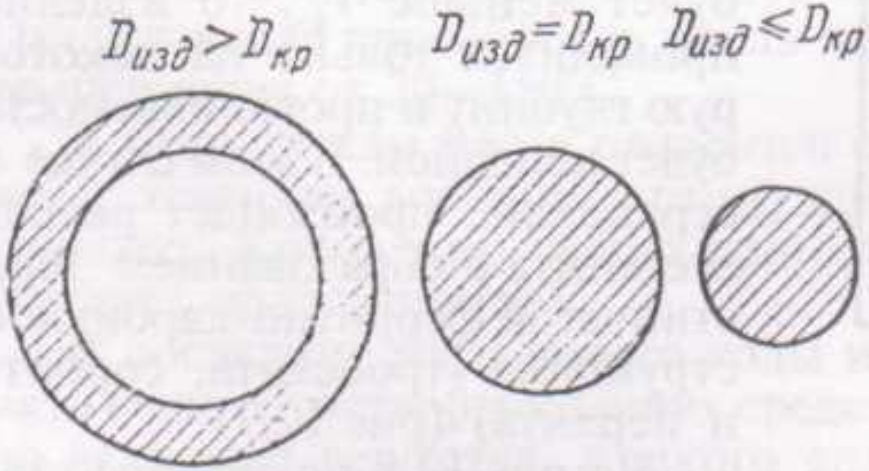


Рис. 12.9. Закаленный слой (заштрихован) в цилиндрических образцах различных сечений ($D_{кр}$ — критический диаметр)

Внутренние напряжения

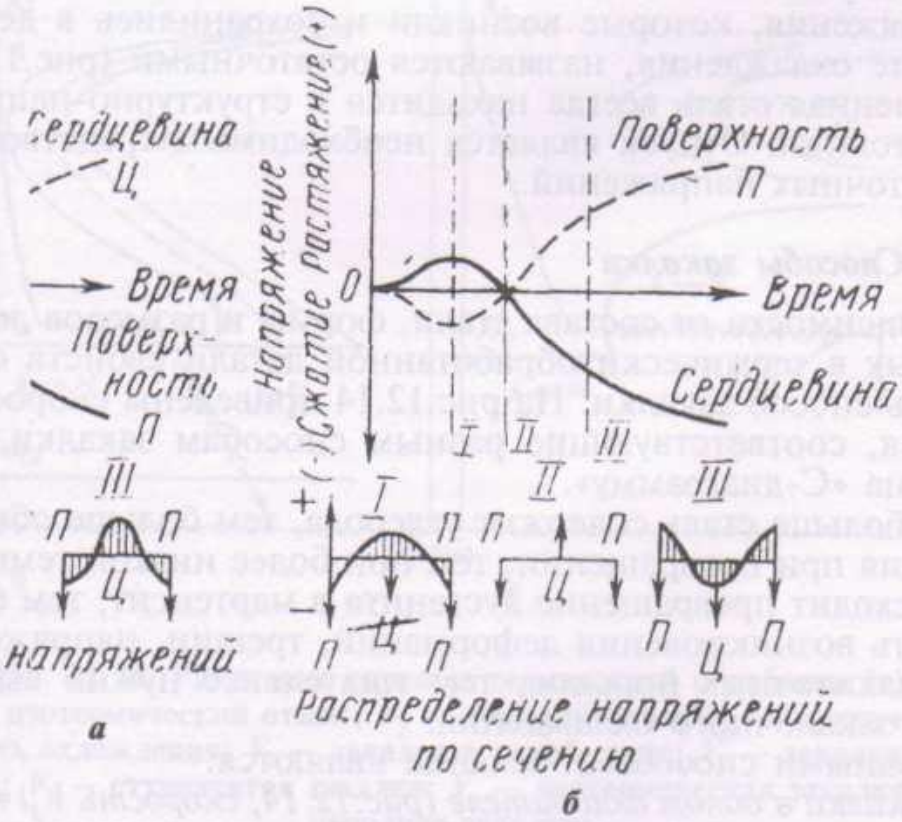


Рис. 12.12. Схема возникновения внутренних напряжений при охлаждении стали: *а* — тепловые, *б* — структурные

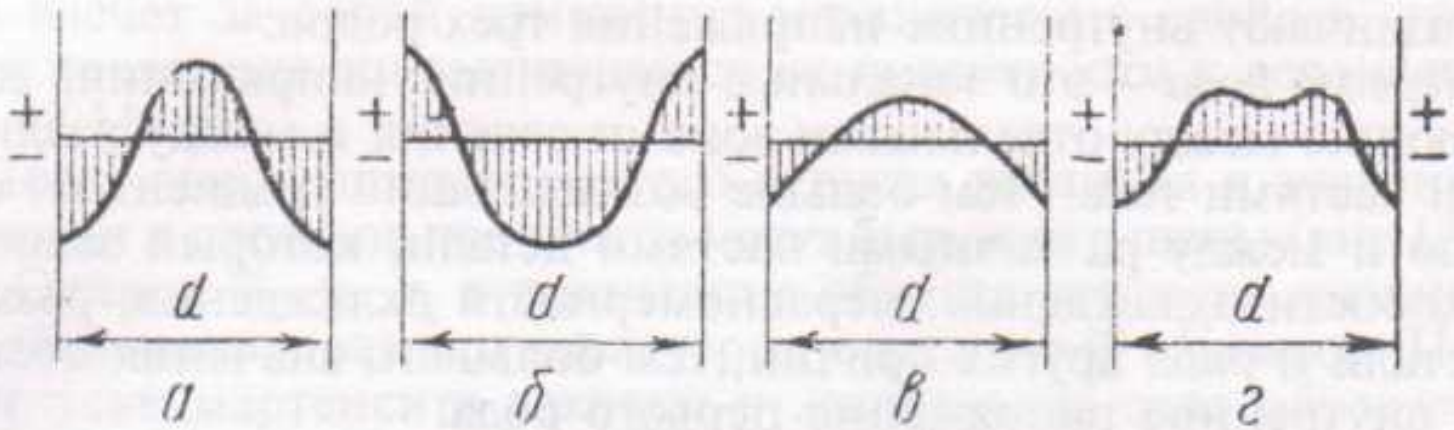


Рис. 12.13. Схема суммирования остаточных напряжений: *а* — тепловые, *б* — структурные, *в* — от структурной неоднородности, *г* — суммарные

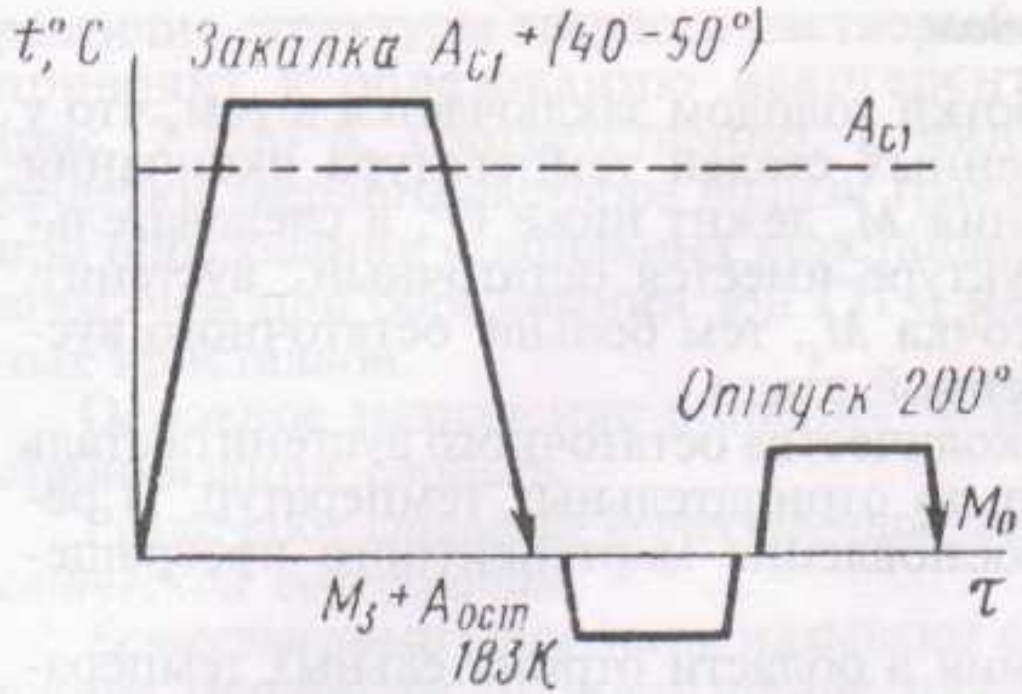


Рис. 12.16. Схема режима термической обработки стали холодом

Таблица 12.5

Интервал мартенситного превращения, количество остаточного аустенита после закалки и обработки холодом и прирост твердости некоторых марок сталей

Марка стали	Интервал мартенситного превращения		Количество остаточного аустенита, %		Прирост твердости после обработки холодом HRC
	$M_н$, °C	$M_к$, K	после закалки	после охлаждения	
У7	300—255	218	<5	<1	0,5
У8	255—230	218	3—8	1—6	1,0
У9	230—210	218	5—12	3—10	1—1,5
У10	210—175	213	6—18	6—18	1,5—3
У12	175— 160	203	10—23	4—12	3—4
Х05	150—140	178	15—30	2—14	3—7
7Х	280—230	218	3—10	1—8	1
Х	175—145	183	10—28	5—14	3—6
7Х3	240—185	213	4—17	2—14	2—5
9ХС	210—185	213	6—17	4—12	1,5—2,5
ШХ9	195—150	188	7—27	4—14	2—5
ШХ15	180—145	183	9—28	4—14	3—6
ХВГ	155—120	163	13—45	2—17	10
6ХГ	290—230	218	8	<6 1	
15—20Х*	175—150	188	10—25	5—12	3—5

Примечание. Разбег в значениях Мн определяется пределом отклонения химического состава стали по ГОСТу.

* Данные относятся к цементованному слою.

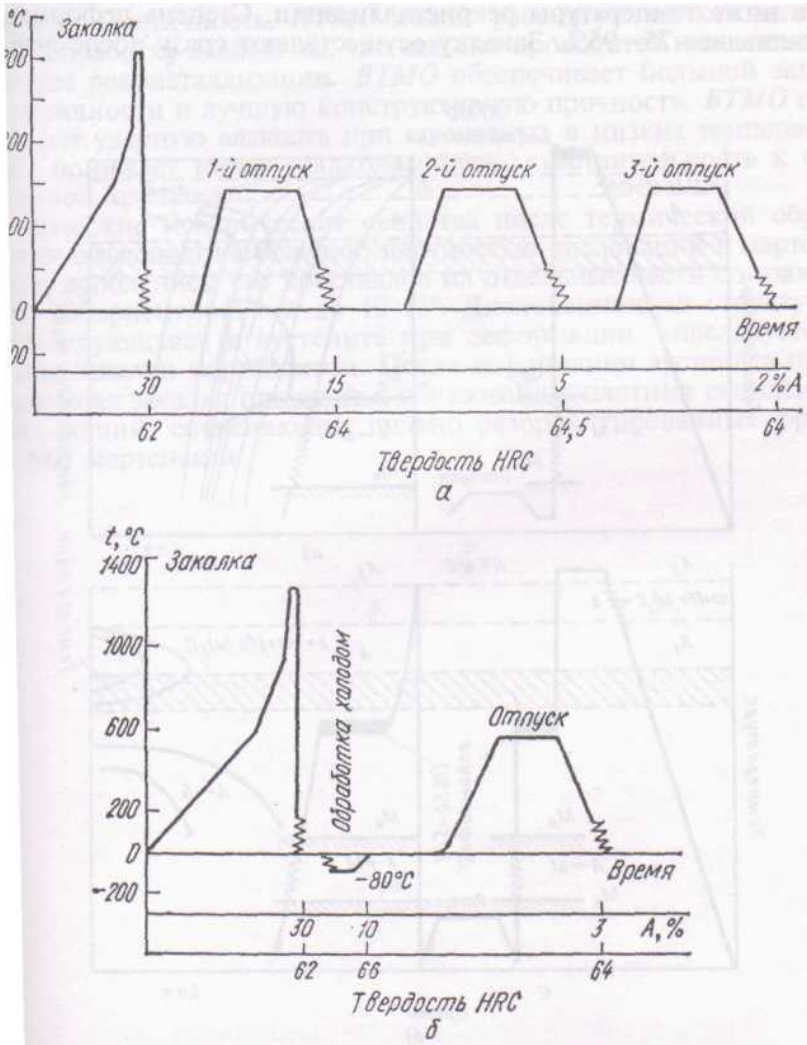


Рис. 12.17. Схемы режимов термической обработки инструментов из быстрорежущей стали без обработки холодом *(а)* и с обработкой холодом *(б)*

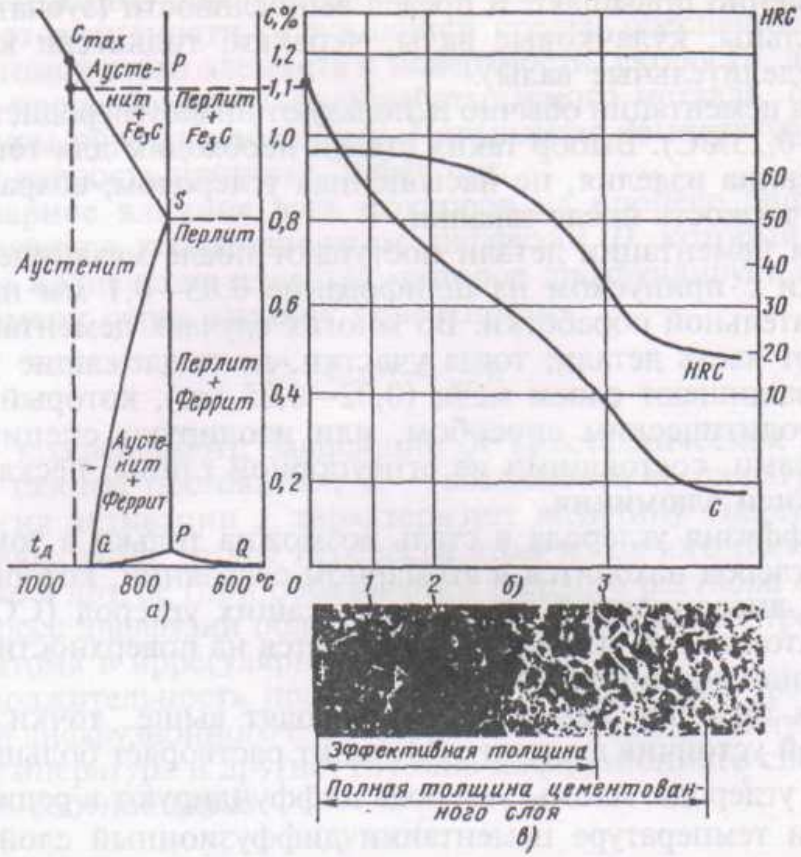


Рис. 13.2. Диаграмма состояния Fe — FeC (а), изменение содержания углерода, твердости после закалки (б) и микроструктуры после медленного охлаждения по толщине цементованного слоя (в)

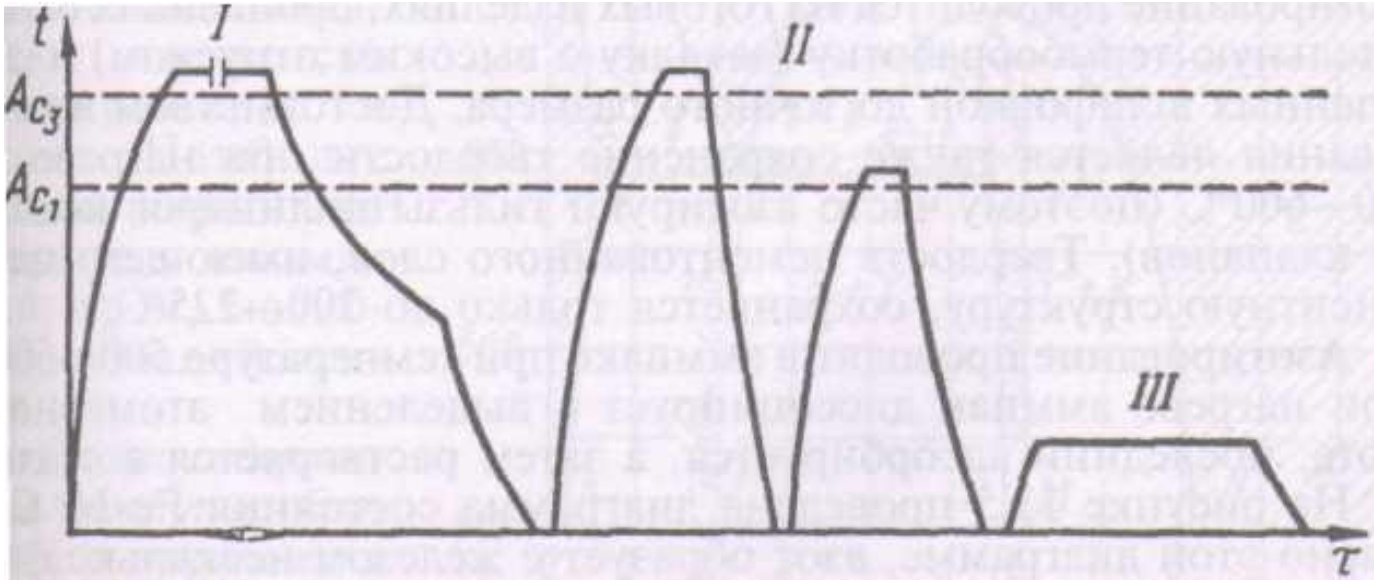


Рис. 13.3. Режим термической обработки ответственных деталей машин после цементации (схема): I — цементация; II — двойная закалка; III — низкий отпуск

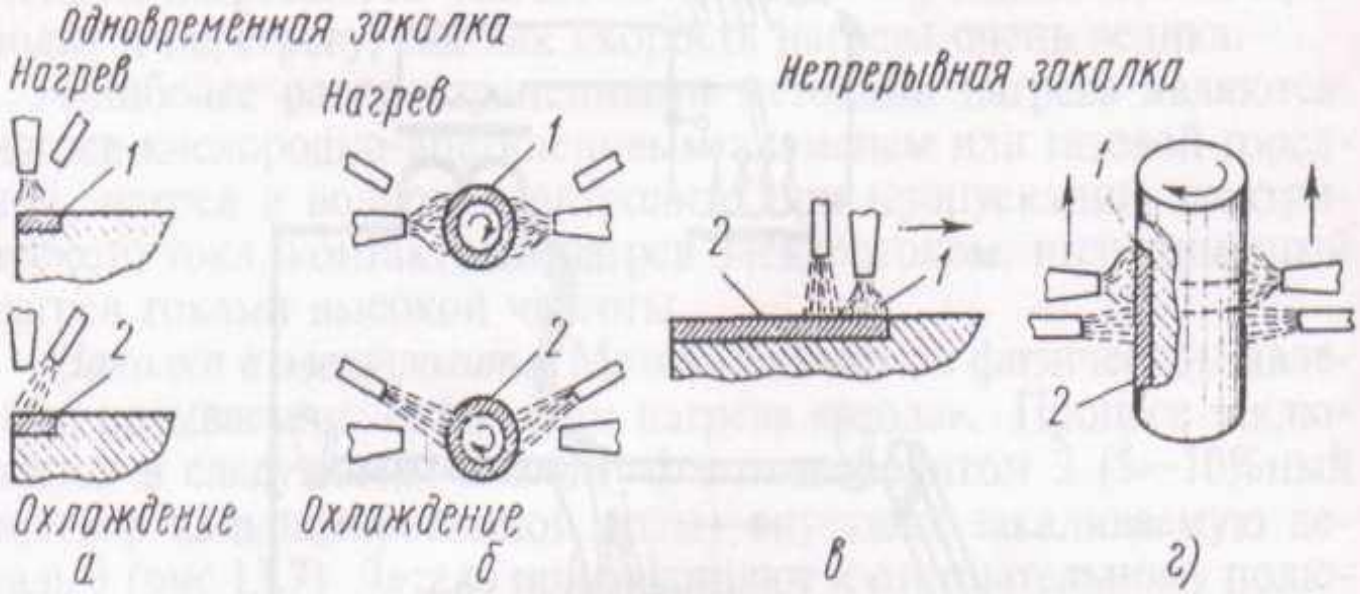


Рис. 13.9. Схема способов пламенной закалки:
а — стационарный, б — вращательный, в — поступательный,
г — комбинированный; 1 — зона нагрева, 2 — зона охлаждения

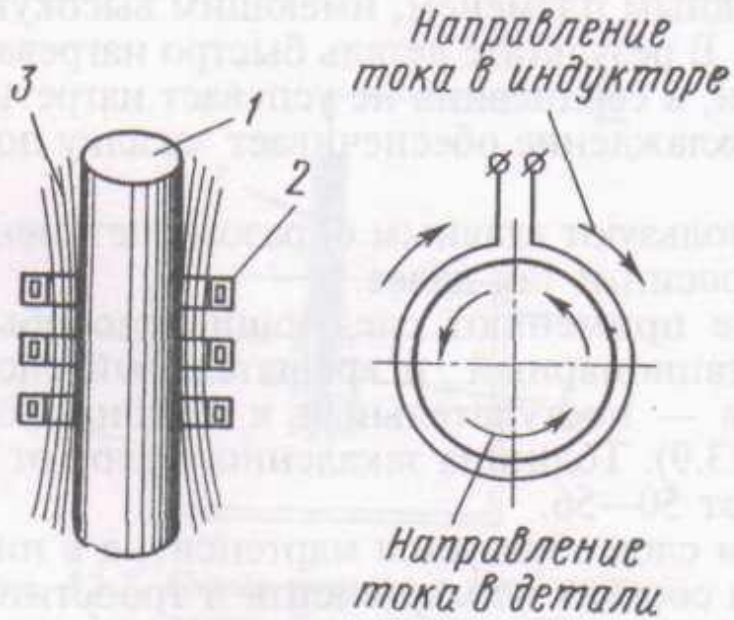


Рис. 13.10. Схема нагрева токами высокой чистоты

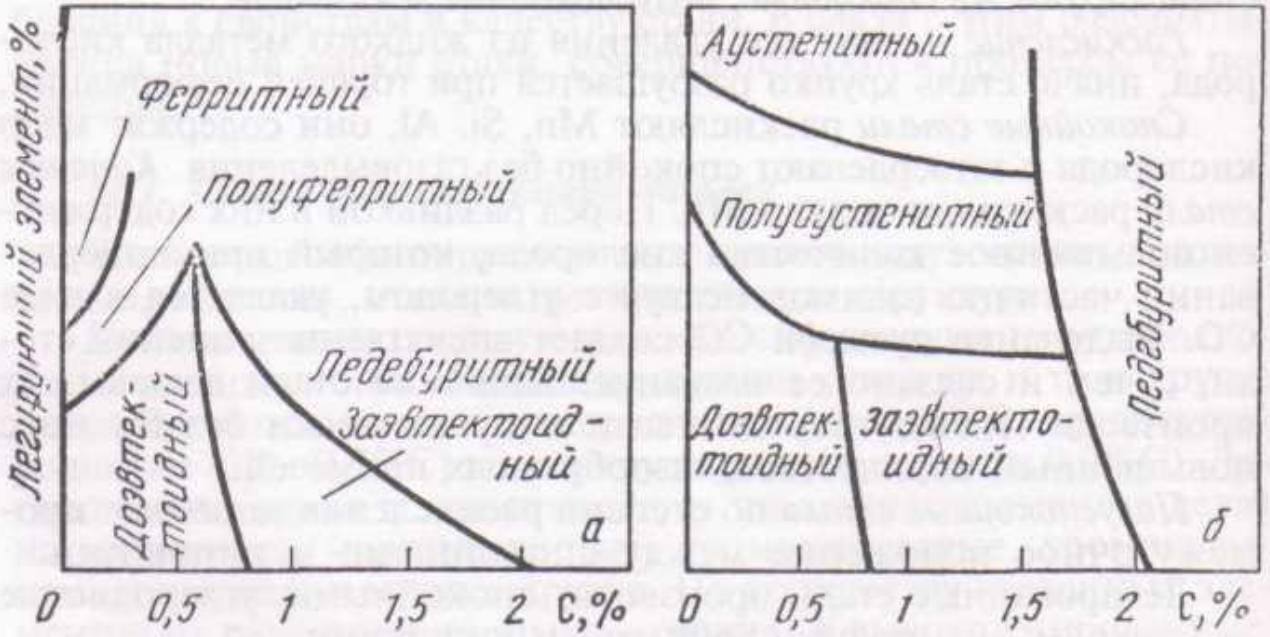


Рис. 14.1. Структурные диаграммы отожженных сталей (схема):
а — легирующий элемент сужает область γ-фазы;
б — легирующий элемент расширяет область γ-фазы

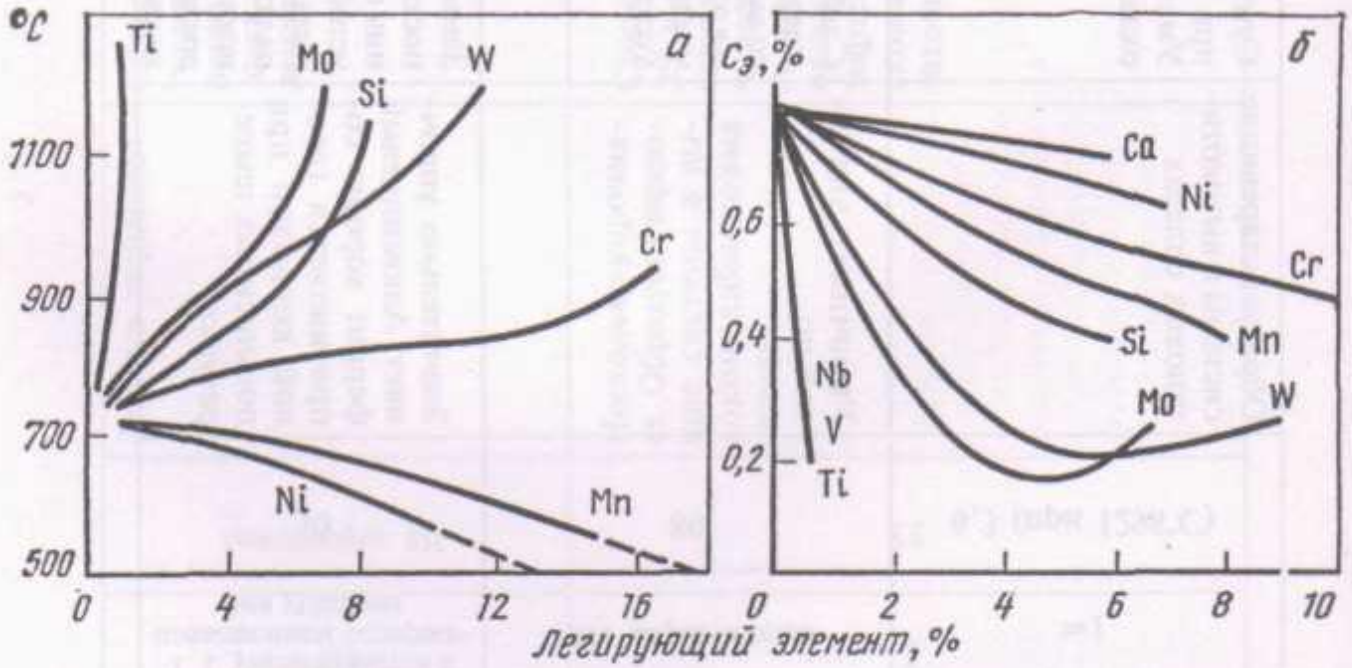


Рис. 15.1. Влияние легирующих элементов на температуру эвтектоидного превращения (а) и на содержание углерода в эвтектоиде (б)

Влияние легирующих элементов на изотермический распад аустенита

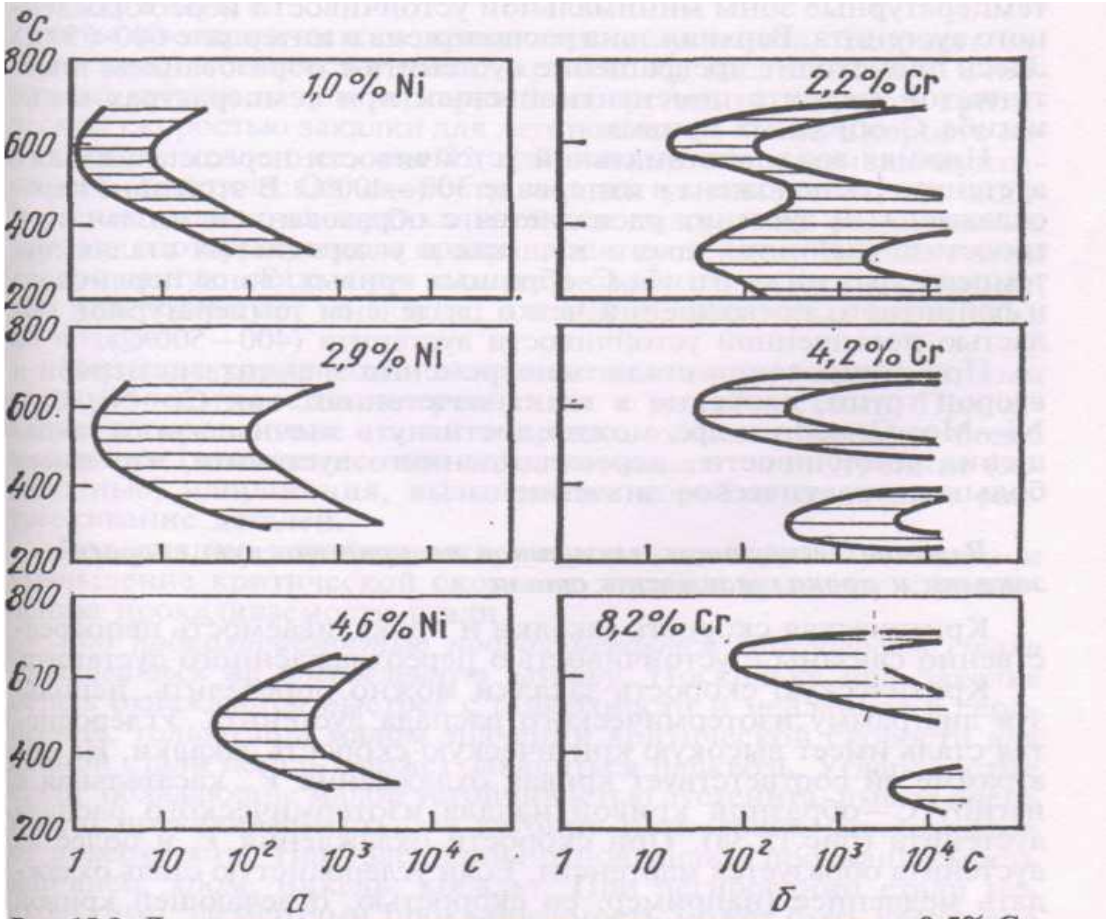


Рис. 15.2. Диаграммы изотермического распада аустенита стали с 0,5% С, легированной никелем (а) и хромом (б)

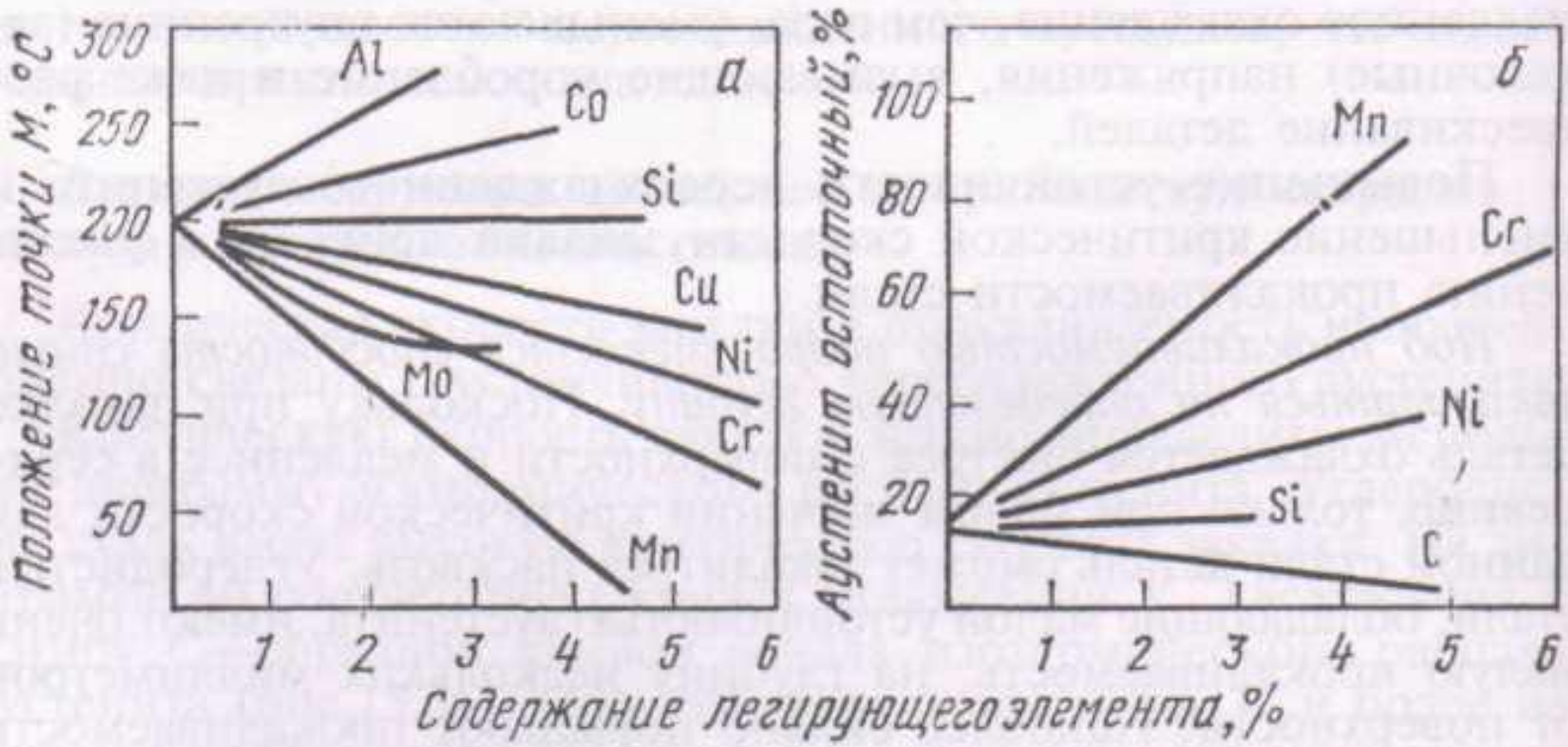


Рис. 15.4. Влияние легирующих элементов на температуру начала мартенситного превращения Мн(а) и на количество остаточного аустенита в стали после закалки (б)

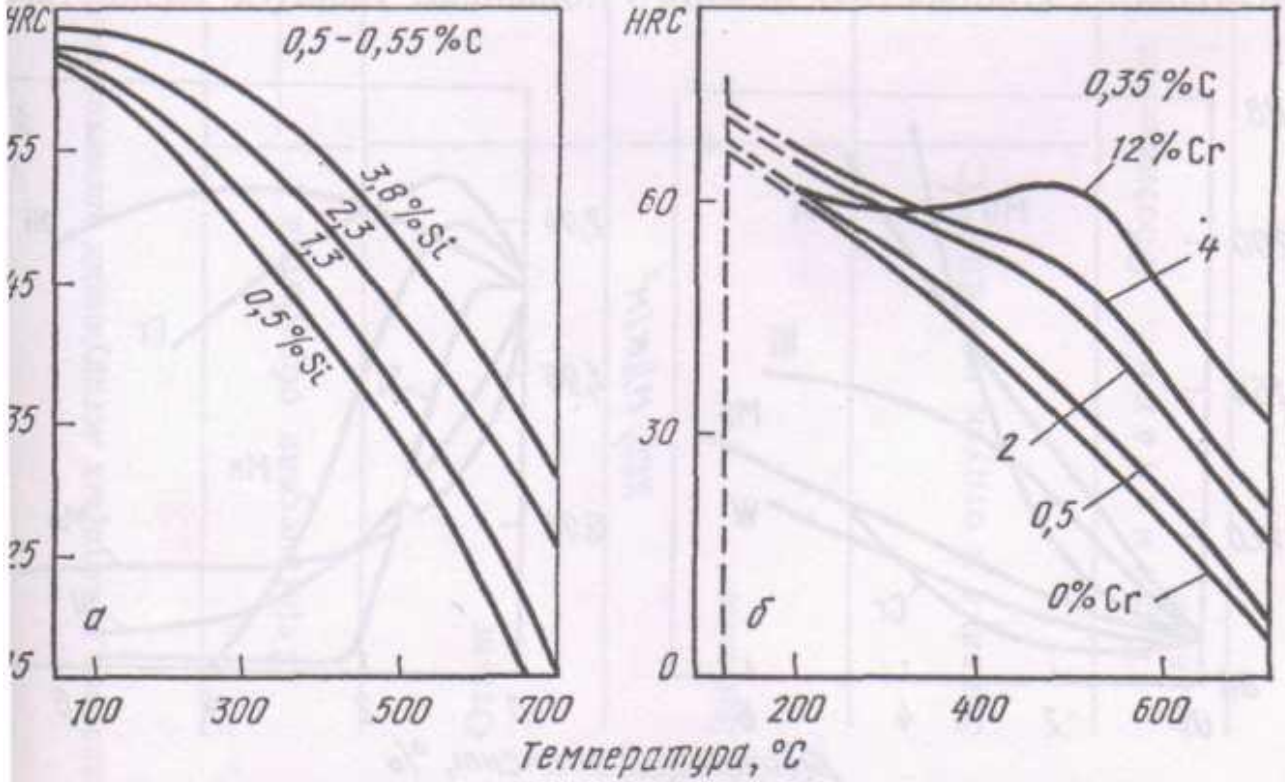


Рис. 15.5. Зависимость твердости закаленной стали с различным содержанием кремния (а) и хрома (б) от температуры отпуска

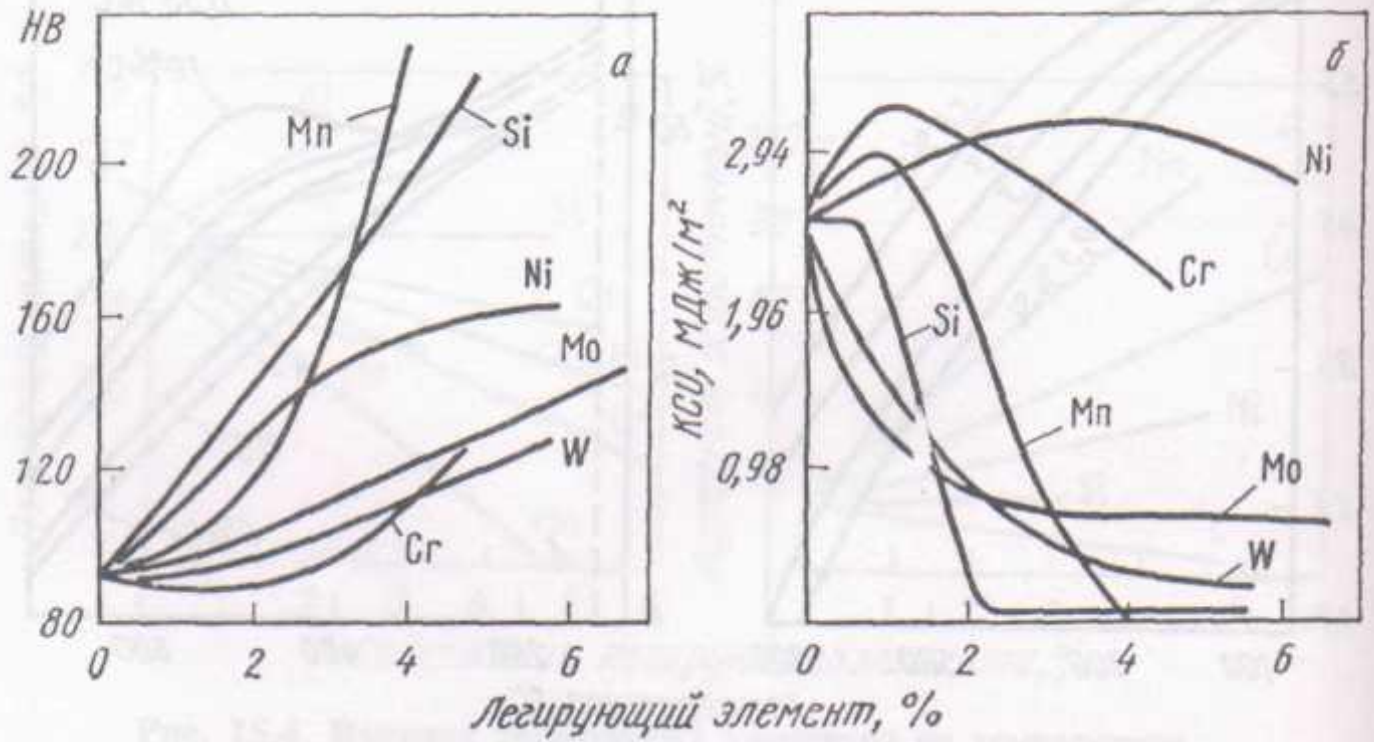


Рис. 15.6. Зависимость твердости и ударной вязкости феррита от содержания легирующих элементов

Таблица 15.2

Распределение некоторых легирующих элеметов между основными фазами в зависимости от вида термической обработки

Термическая обработка	Легирующие элементы	
	в феррите	в карбидной фазе
Отжиг	Ni, Si, Al, Cu, $\boxed{\text{Mn}}$, Cr, Mo, W	Mn, $\boxed{\text{Cr}}$, $\boxed{\text{Mo}}$, $\boxed{\text{W}}$, Nb, V, Zr, Ti
Закалка	Ni, Si, Al, Cu, Mn, Cr, Mo, W	Nb, V, Zr, Ti
Закалка и отпуск при 600° С	Ni, Si, Al, Cu, $\boxed{\text{Mn}}$, Cr, Mo	Mn, $\boxed{\text{Cr}}$, $\boxed{\text{Mo}}$, $\boxed{\text{W}}$, Nb, V, Zr, Ti

Примечание. Обозначение в рамке указывает фазу преимущественного распределения.

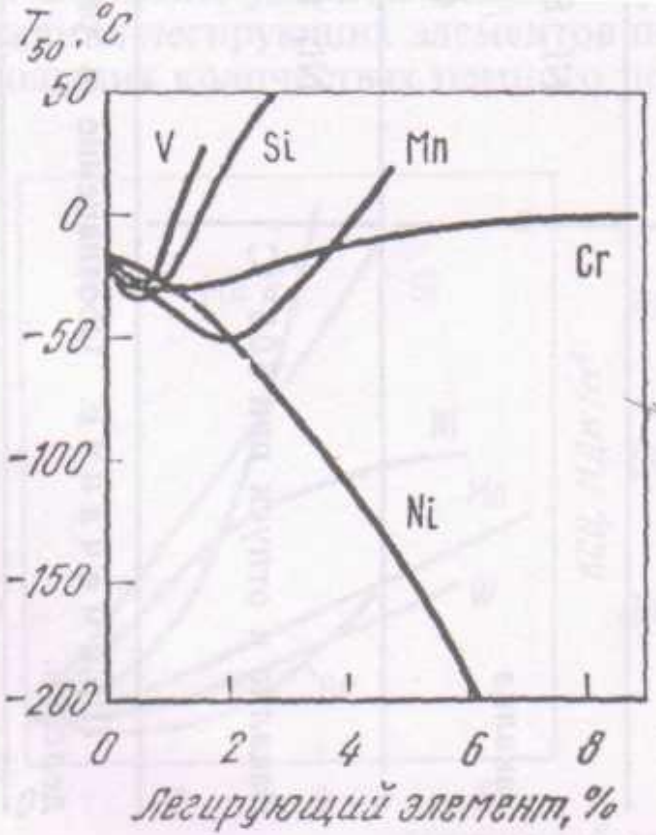
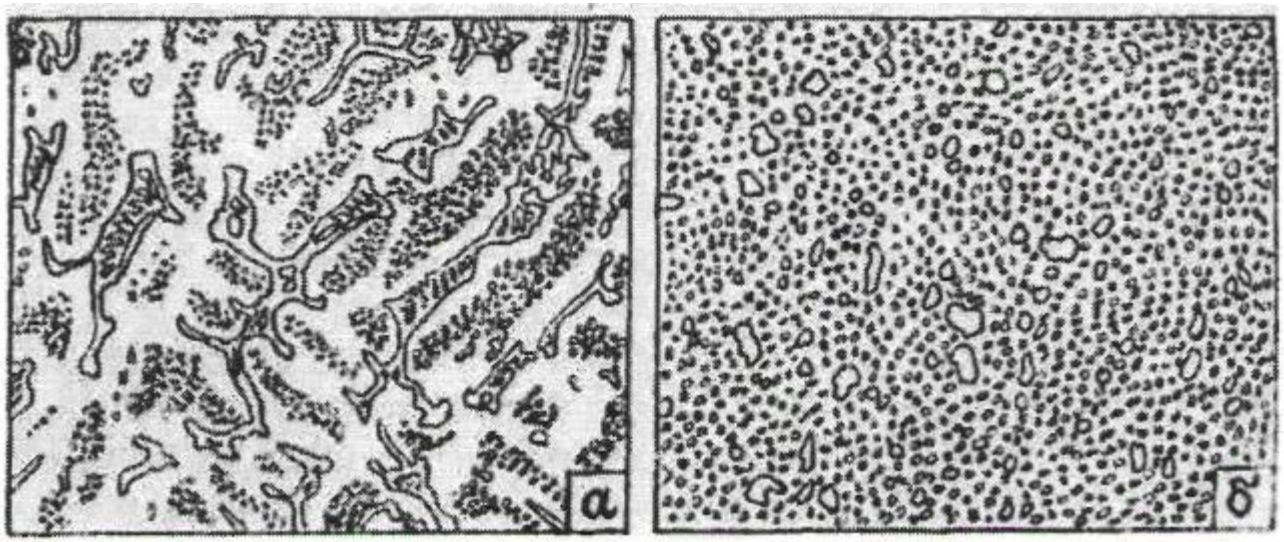


Рис. 15.7. Влияние легирующих элементов на температуру перехода феррита в хрупкое состояние (порог хладноломкости T_{50})

Схема микроструктуры быстрорежущей стали в литом состоянии (а) и после ковки и отжига (б).



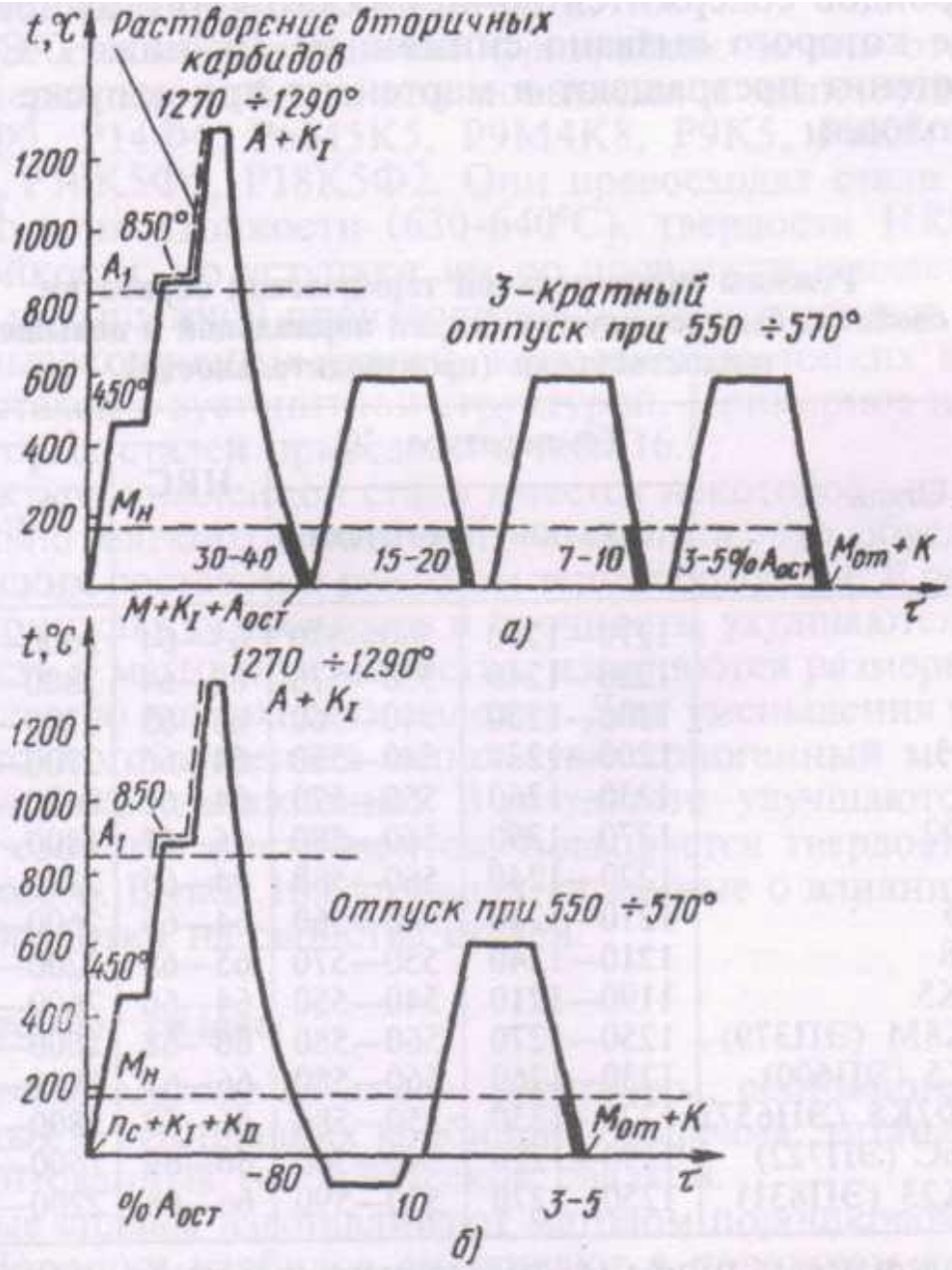
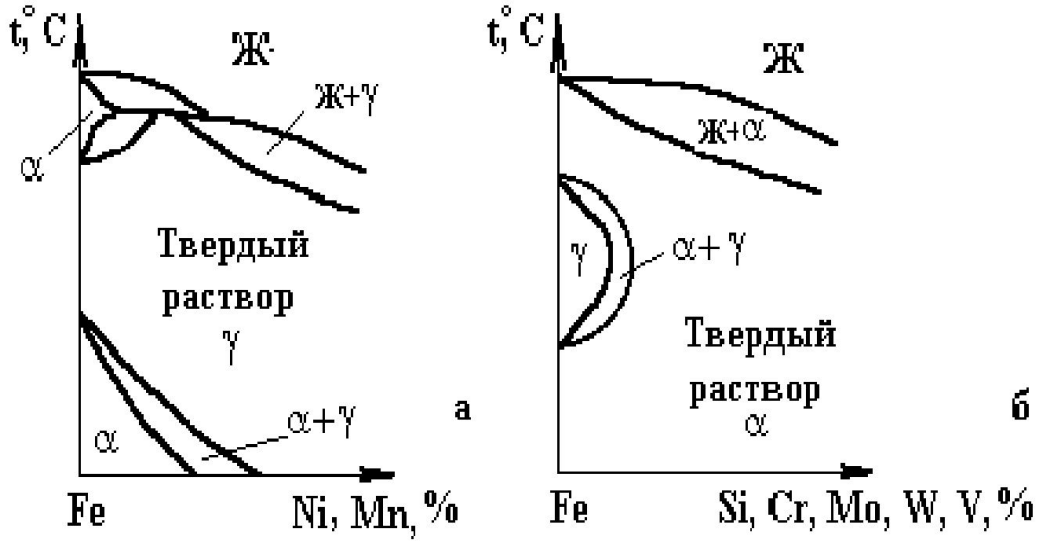


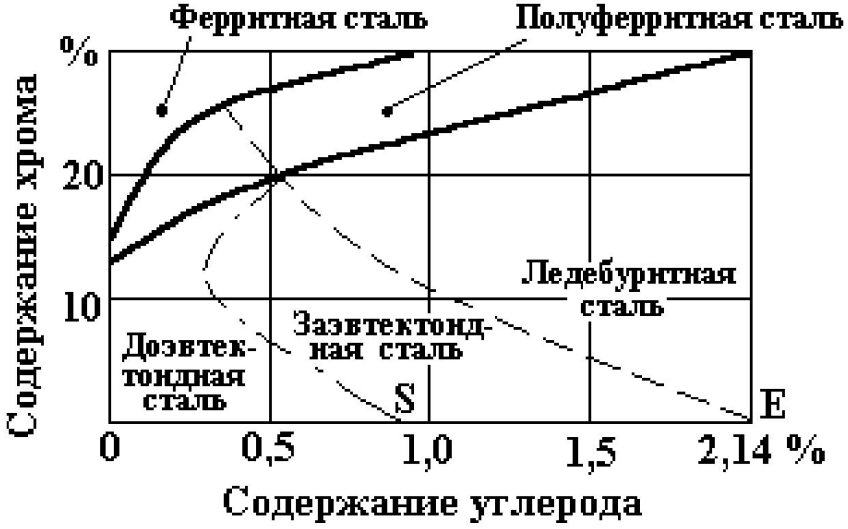
Рис. 16.1 Схема термической обработки быстрорежущей стали: а — без обработки холодом; б — с обработкой холодом

- Листовая сталь для холодной штамповки
- ГОСТ4041
- 08Ю,08ЮА,08пс, 10 , 10ЮА
- Группы прочности К250(250)260, 270
- Категории вытяжки Н, ВГ,СВ
- Структура- феррит+изолированные участки перлита

Схема диаграмм состояний железо – легирующий элемент



Структурная диаграмма хромистых сталей в равновесном состоянии (после отжига)



Стали повышенной обрабатываемости резанием

- ГОСТ1414
- S 0,08-0,3
- P до0,06
- C до 0,35
- A20 C-0,20
- A12 C0,12
- A40Г
- A35E

Стали общего назначения (обыкновенного качества)

- ГОСТ 380
- Ст 0, Ст1,Ст2кп,Ст3пс
- S ≤ 0,055
- P ≤ 0,045

Качественные стали

- S ≤ 0,04
- P ≤ 0,035
- ГОСТ1050
- Сталь05,08,15,40,…
- 08кп,10пс

Легированные стали.Маркировка.

- Н-никель, М- молибден, К- кобальт,Х-хром
- В - вольфрам,Т- титан, А(в середине марки) – азот, С-кремний, Г- марганец, Д- медь, Ф – ванадий, Б – ниобий,
- Ю - алюминий
- С – перед буквами,
- Конструкционные стали-40Х , 20Х13
- Инструментальные стали 9ХС, ХВГ

Цементуемые стали

Некоторые типовые примеры марок цементуемых сталей	Механические свойства сердцевины детали		
	Предел прочности, σ_B, МПа	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Ударная вязкость, мДж/м^2
1.Малонагруженные детали машин (прокаливаемость при закалке малая)			
Углеродистые стали марок:10,15,20	380…460	245…295	малая (не приводится)
2.Средненагруженные детали машин (прокаливаемость при закалке в сечениях 10…20мм)			
Легированные стали марок 15Х,20Х, 15ХР, 20ХР и др.	730…830	590…690	0,8…1,2
3.Высоконагруженные детали машин (прокаливаемость при закалке в зависимости от марки стали от 20 до 100мм)			
Легированные стали марок 12ХГМ, 20ХГР, 25ХГМ, 12ХН3А, 15ХГН2ТА, 20ХН2М и др.	980…1270	830…1080	0,7…1,0

Высокопрочные конструкционные стали

- $\sigma_в \geq$ 1500МПа
- 30ХГСН2А
- 30Х2ГСН2ВМ
- 40ХН2СМА
- 03Н18К9М5Т σв ≥ 2000МПа(со стареющим мартенситом)

Улучшаемые стали

Улучшаемые стали	Предел прочности	Предел текучести	Ударная вязкость	Прокаливаемость
Углеродистые 35,40,45	600-700	400-600	0,4-0,5	10-12
Хромистые 40Х,45Х Хромомарганцовистые 35ХГ	900-1100	700-850	0,6-0,9	20-50
Хромоникелевые 40ХН Хромомарганценикелевые 40ХГН Хромоникельмолибденовые 40ХН2МА Хромоникелемолибденованадиевые 38ХН3МФА	1000-1200	800-1100	0,7-1	75-100

Шарикоподшипниковые стали

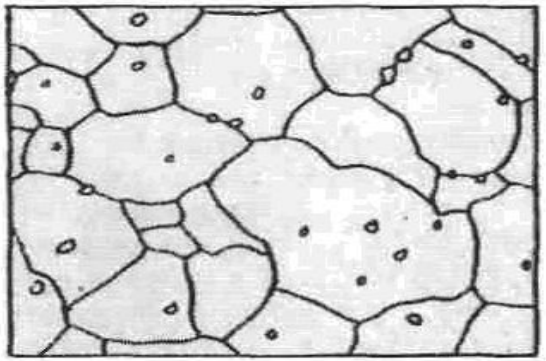
- ШХ4 С-1,0 хром-0,4;
- ШХ9 С-1,0 хром-0,9;
- ШХ15 С-1,0 хром-1,5;
- 20Х2Н4А (с цементацией глубиной до3,5 мм)
- 95Х18 С-1,0 хром-18
- ГОСТ 801

Рессорно-пружинные стали

- 65, 65Г, 60С2А, 65С2ВА, 50ХФА
- ГОСТ 14959
- Структура- з. перлит
- Т.О.:
- Закалка + ср. отпуск HRC42-48
- структура-троостит

Аустенитная сталь высокой износостойкости

- (сталь Гадфильда)
- 110Г13Л (1,1% углерода и 13% марганца)

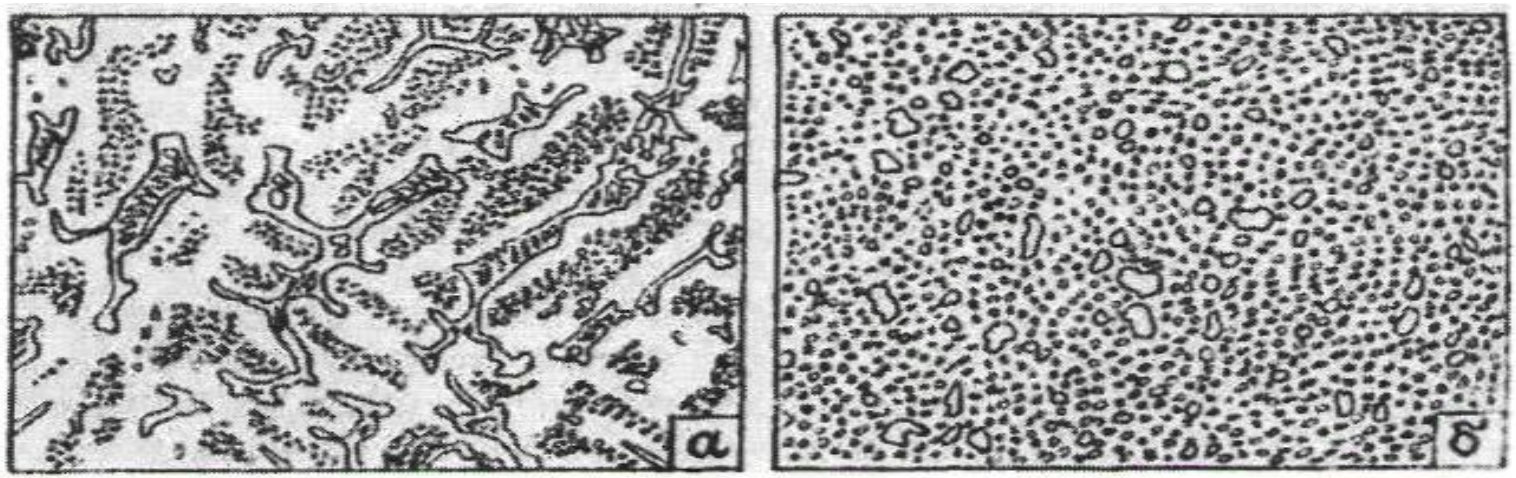


- *Стали для режущего инструмента* должны иметь следующие свойства:
- 1.Высокую твердость (HRC 60…65) и износостойкость для сохранения формы и размеров режущих кромок при резании.
- 2.Высокую прочность для предотвращения выкрашивания и поломок инструмента.
- 3.Удовлетворительную вязкость для предупреждения поломок при вибрациях и ударах.

- *Углеродистые стали* У10, У11, У12 (число показывает среднее содержание углерода в десятых долях процента) используются для изготовления инструментов, работающих с небольшими скоростями (метчики, развертки, плашки и др.). Из *легированных сталей* преимущественно применяются хромистые стали и стали с дополнительными добавками марганца и других элементов (Х, ХГ, 9ХС, ХВГ и др.). Они используются для изготовления фасонного инструмента (сверла, фрезы, протяжки и др.).
- Окончательная термическая обработка инструмента состоит из закалки и низкого отпуска.

Быстрорежущие стали

- 1 углерода 5,5…18% вольфрама, 3…4% хрома, 1…5% ванадия и 0,5…5,5% молибдена
- Теплостойкость 600-650ºС
- Исходная структура-з.перлит



- Стали нормальной производительности (умеренной теплостойкости) Р6М5, Р12
- .Стали повышенной производительности (высокой теплостойкости) Р14Ф4, Р9К5, Р9К10, Р18К5Ф2
- Порошковые Р6М5К5 МП, Р6М5Ф3 МП
- Безвольфрамовые 11М5Ф

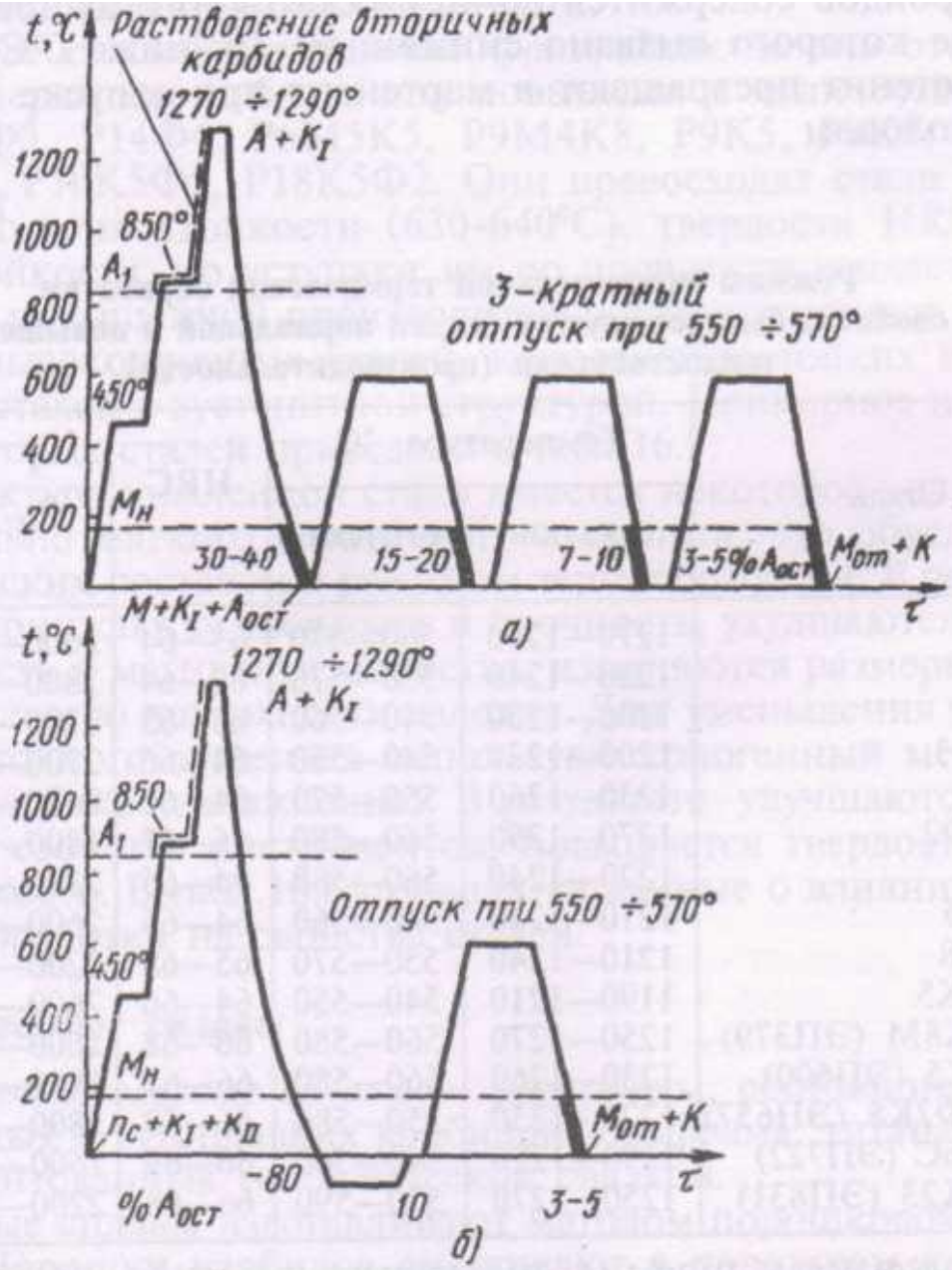


Рис. 16.1 Схема термической обработки быстрорежущей стали: а — без обработки холодом; б — с обработкой холодом

Сверхтвердые материалы.

- № п/пНаименование материалаМикротвердость HV, МПа1Природные алмазы981002Синтетические алмазы99290…981003Кубический нитрид бора BN68670…784804Вюрцитный (гексагональный) нитрид бора BN49050…784805Композиционные материалы≤49050

Твердые сплавы состоят из карбидов вольфрама, титана и тантала (WC, TiC, TaC) с небольшими добавками кобальта

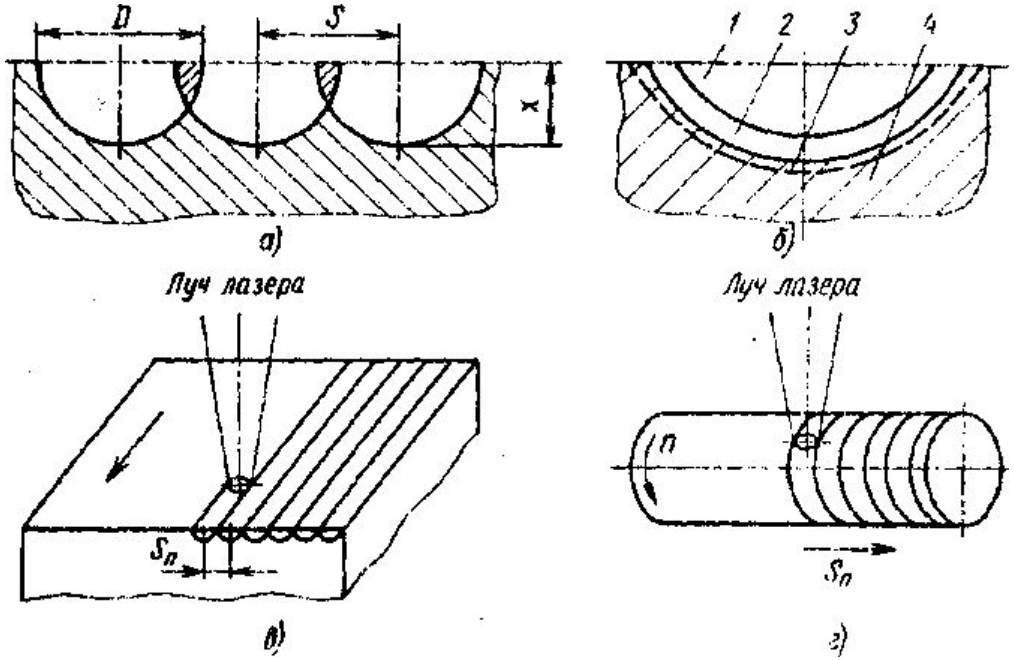
- 1.Вольфрамовые марок ВК2, ВК3М, ВК6, ВК8, ВК20, ВК30 с разным содержанием кобальта (в сплаве ВК2 – 2% Co и т.д.) для обработки хрупких материалов (чугун, стекло и др.).
- 2.Титановольфрамовые Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В с разным содержанием кобальта и карбидов титана (например, в сплаве Т15К6-15%TiC, 6%Co, WC – ост.) для обработки вязких материалов (сталей и др.).
- 3.Титанотанталовольфрамовые ТТ7К12 (4%TiC, 3%TaC, 12%Co – ост.) для тяжелого чернового точения стальных поковок, штамповок, отливок.

В соответствии с международной классификацией ИСО твердые порошковые инструментальные сплавы для обработки резанием разделяются на три группы:

- *Р* – при обработке дают «сливную» стружку (например, Т15К6);
- *К* – при обработке дают дробленую стружку (например, ВК6);
- *М* – универсальные для обработки сталей и чугунов (например, ТТ8К6, ВК6-ОМ).

Схема нагрева лазером для поверхностной закалки:

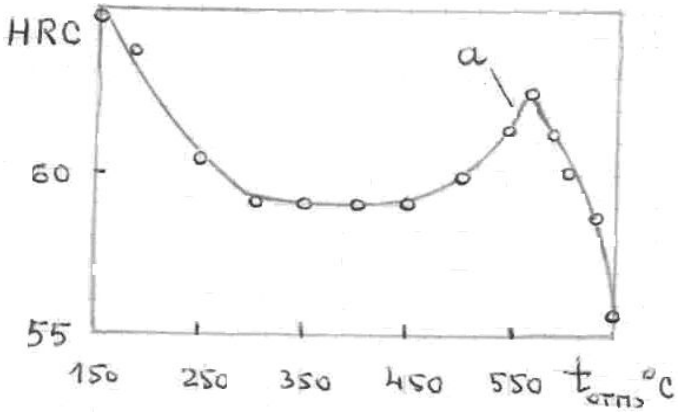
а — схема расположения зон термического воздействия(D — диаметр зоны лазерного воздействия, S — шаг обработки, x — толщина упрочненного слоя); б — схема строения зоны упрочнения; 1 — зона плавления; 2 — зона термического влияния; 3 — зона неполной закалки; 4 — исходная структура; в — схема упрочнения плоской поверхности непрерывными лазерами с периодическим смещением детали с шагом Sn; г — обработка цилиндрической детали с постоянной осевой подачей Sn



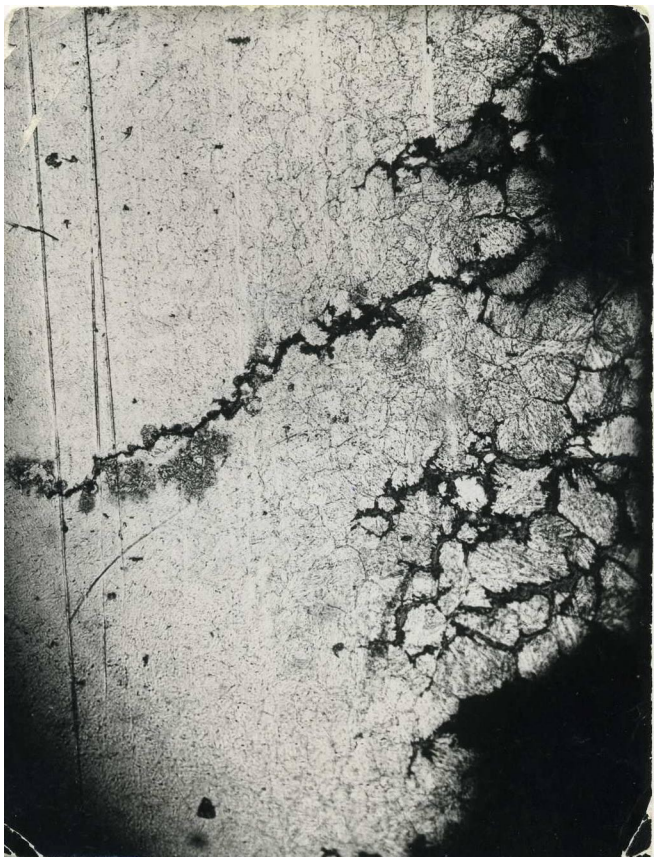
Сравнительные характеристики некоторых быстрорежущих сталей даны в табл. 13.

- Марка сталиТвердость HRC, МПat,СР6М564…663150…3550620Порошковая:Р6К5 МП68…693000…330063095Х6М3Ф3Т663100…350062011М5ФЮ65…674000630

.Зависимость твердости закаленной стали 11М5Ф от температуры отпуска (закалка от температуры 1020С): а – « вторичная» твердость.



Коррозия



Коррозионностойкие стали

- Хрома≥12%
- 20Х13,…40Х13
- 12Х18Н10,12Х17Г9АН4
- 08Х18Н10Т
- 06Х15Н5Д2Т
- 13Х15Н4АМ3

Жаропрочные и жаростойкие стали

- 08Х18Н10Т (600ºС)-аустенитный
- ХН38ВТ (800ºС) -аустенит
- 06Х14Н6Д2МБТ (400ºС)-мартенсит
- 10Х11Н23Т3МР- аустенит+ интерметаллиды
- 37Х12Н8МФБ -аустенит+ карбиды

Алюминий и его сплавы

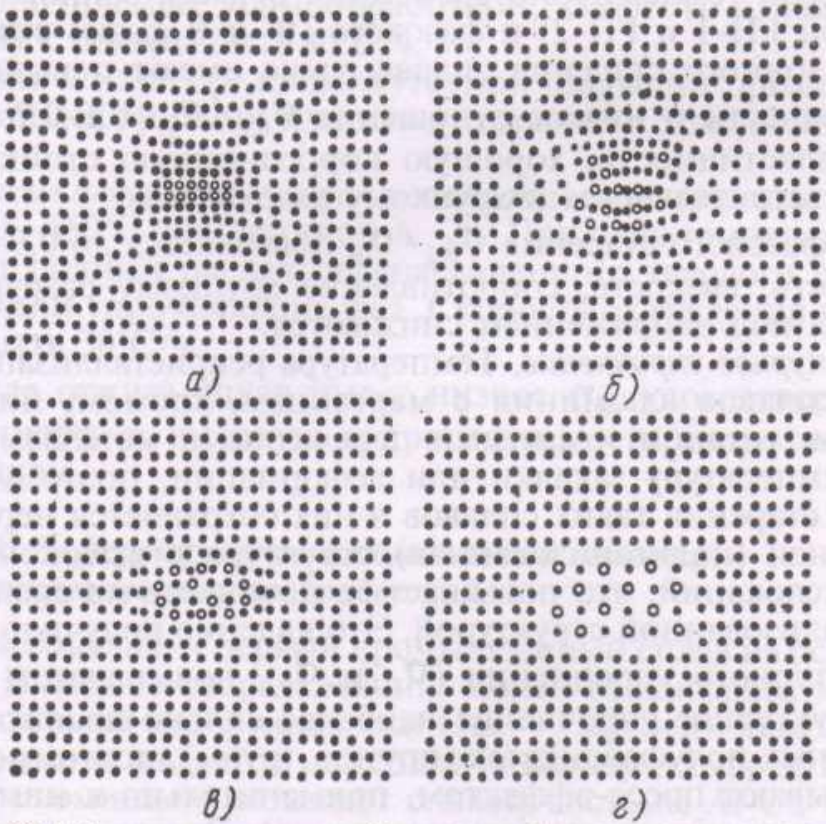
- Чистый А999,А95,А0,А5,А7
- Деф не упроч то АМг2(1520)АМц(1400)
- Дюралюмины Д16(1160), Д19(1920)
- Высокопрочные В95(1950),1933
- Ковочные АК4-1(1441),АК6(1360),АК8
- Алюминий-литиевые 1420
- Литейные
- силумин АЛ2(АК12),АЛ9(АК7ч),
- ВысокопрочныеВАЛ10(АМ4,5Кд),АЛ19(АМ5)

Таблица 77

Состав и механические свойства плавленых вольфрамовых сплавов

№ сплава	Химический состав, %	Состояние материала	Температура испытания, °С	σ_b, кГ/мм²	δ, %	ψ, %	E, кГ/мм²
1	0,8Nb, остальное W	Рекристаллизованный	20	—	—	—	40000
			1000	20—24	45—48	80—90	36000
			1500	14—15	48—58	90—95	34000
			1700	12—14	52—58	90—95	32000
			1200	8—8,5	60—70	95—96	28000
			2250	6	70—72	95—96	—
			2500	2	—	95	—
			2700	1	—	—	—
2	30Re, остальное W	Деформированный	21	218	6	—	—
			1095	119,5	7	—	—
			1315	56,0	8	—	—
			1650	21,0	9	—	—
			1800	14,0	5,6	—	—
		Рекристаллизованный	21	137	5	—	—
			1095	105,5	7	—	—
			1315	95,0	8	—	—
			1650	35,0	13	—	—
3	25Mo, 0,11Zr, 0,05C, остальное W	Горячепрессованный	980	69,1	—	—	—
			1316	51,6	—	—	—

Схема распада пересыщенного твердого раствора дюралюмина при нагреве



ис. 20.1 Схема выделения избыточных фаз из твердого раствора при ении: а — зоны ГП1; б — зоны ГП2; в — θ′-фаза; г — θ-фаза ($CuAl_2$)

Состав и механические свойства молибденовых сплавов, применяемых в СССР и за рубежом

Таблица 78

Страна	Марка сплава	Химический состав, %	Вид полуфабриката и состояние	Температура испытания, °С	Механические свойства					
					E, кГ/мм²	σ_b, кГ/мм²	δ, %	$a_н$, кГ·м/см²	$\sigma_{0,5/100}$, кГ/мм²	σ_{100}, кГ/мм²
СССР	ВМ1	0,1—0,4Ti, 0,08—0,25Zr, 0,01C, остальное Mo	Лист толщиной 1 мм (степень деформации 95%)	—70	—	100	7	—	—	—
				—30	—	90	9	—	—	—
				20	33000	80	10	—	—	—
				600	30000	55	7	—	—	—
				800	29800	50	—	—	—	—
				1000	28000	42	14	—	22	32
				1200	27000	34	14	—	—	9
				1500	24000	14	25	—	—	—
				1800	18500	10	45	—	—	—
	ВМ2	0,1—0,2Ti, 0,35—0,4Zr, 0,02C, остальное Mo	Прессованный пруток диаметром 18—20 мм (степень деформации 82—85%)	20	33330	75	10	0,3	—	—
				300	32180	—	—	12	—	—
				800	30000	57	13	12	—	—
				1000	28000	52	10	—	26	38
				1200	27000	45	13	—	—	16
				1500	24000	16	15	—	—	—
				1800	18500	9	18	—	—	—
				2000	—	3	20	—	—	—
США	—	0,5Ti, 0,07Zr, 0,02C, остальное Mo	Прессованные прутки после снятия напряжений	20	—	84	—	—	—	—
				980	—	54	—	—	—	49
				1315	—	38	—	—	—	—
	—	1,25Ti, 0,2Zr, 0,32C, остальное Mo	То же	20	—	85	—	—	—	—
				980	—	64	—	—	—	38
				1315	—	43	—	—	—	23
	—	25W, 0,11Zr, 0,05C, остальное Mo	»	20	—	96	—	—	—	—
				980	—	69	—	—	—	39
				1315	—	52	—	—	—	24
	—	25Re, остальное Mo	»	20	—	178	6	—	—	—
				1500	—	15	9	—	—	—
				1800	—	6	25	—	—	—

Ниобиевые сплавы

Состав и физические свойства промышленных ниобиевых

Страна	Марка сплава	Химический состав, %	Температура плавления, °С	Плотность, г/см³	Теплоемкость, *кал/г·град*
СССР	ВН2	4,5Mo, остальное Nb	2400	8,7	0,058 (20° С); 0,074 (800° С); 0,075 (1000° С); 0,078 (1100° С); 0,08 (1300° С); 0,08 (1500° С); 0,092 (2100° С); 0,095 (2400° С);
	ВН2А	4,2Mo, 0,7Zr, остальное Nb	2400	8,65	0,068 (100° С); 0,077 (500° С); 0,085 (800° С); 0,077 (1000° С); 0,087 (1200° С); 0,08 (1400° С); 0,087 (1500° С); 0,0907 (1800° С); 0,16 (2000° С)
США	F48	5Mo, 15W, 1Zr, остальное Nb	2480	9,42	—
	F82	33Ta, 1Zr, остальное Nb	2500	10,14	—
	CB-74	10W, 5Zr, остальное Nb	—	—	—
	CB-65	7Ti, 0,8Zr, остальное Nb	—	—	—
	Д31	10Mo, 10Ti, остальное Nb	2250	—	0,074 (20° С)

Силумин

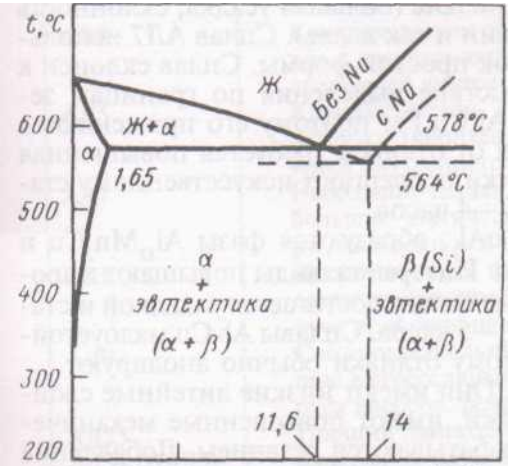
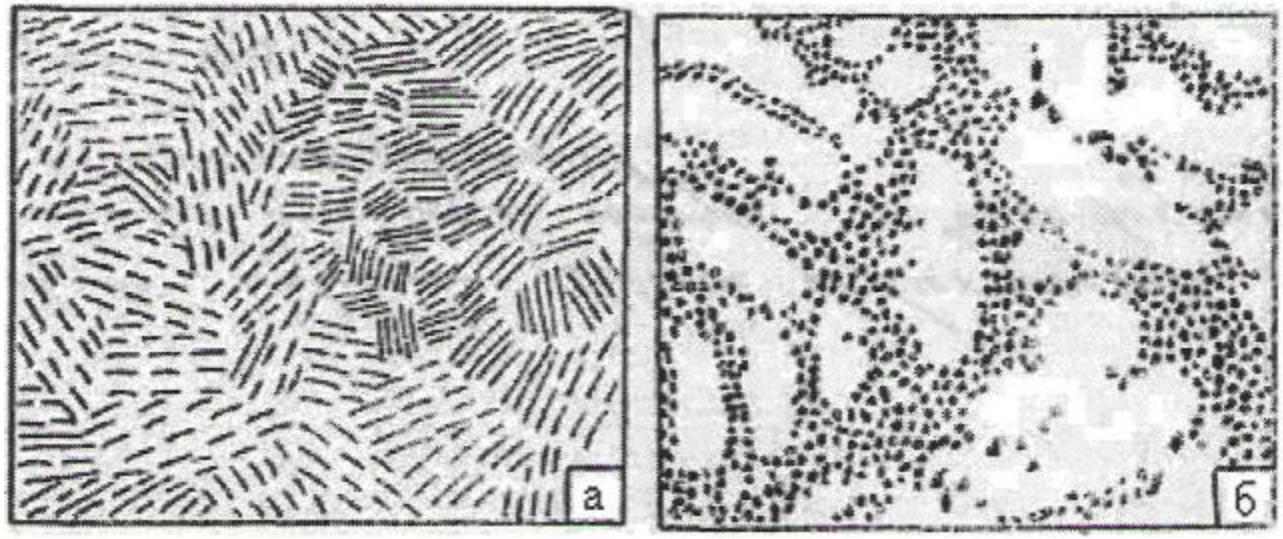


Рис. 20.2 Диаграмма состояния Al-Si и влияние кремния на механические свойства сплавов: штрихованная линия — диаграмма состояния после модифицирования

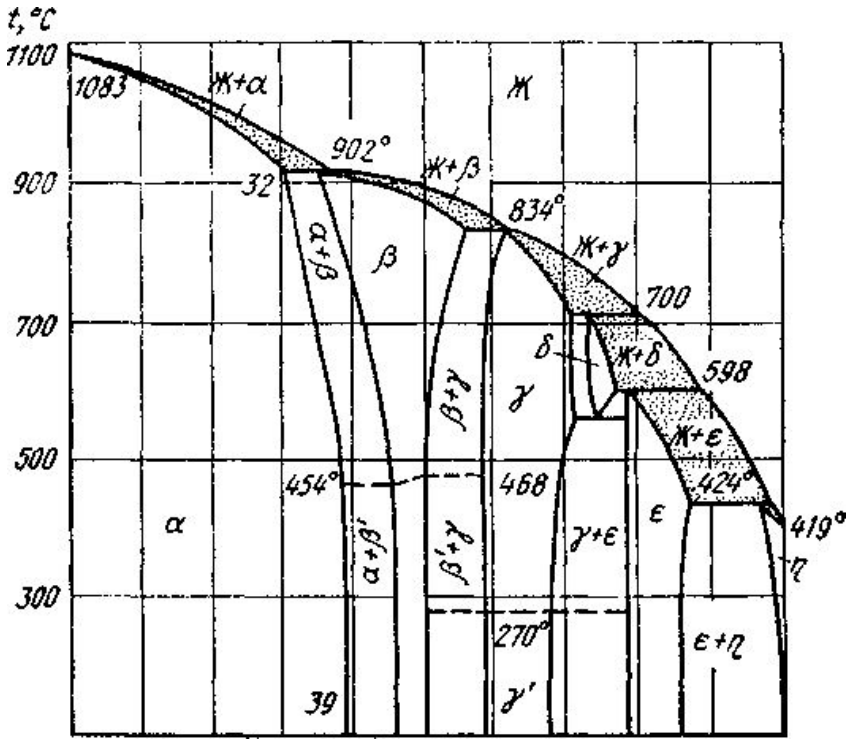
Силумин без натрия (а)и с натрием(б)



Медь и ее сплавы

- Чистая медь М0(пр<0,1),М1(пр0,1,М3(пр0,3)
- Латунь Cu+Zn
- Деформируемые Л63,Л86,ЛС59-1
- Литейные ЛЦ40,ЛЦ23А6Ж3Мц2
- Бронза Cu+Sn,Al,Cd,Fe и др
- БрО19,БрА5
- БрОФ4-0,25
- БрА10Ж4Н4

Диаграмма состояния медь—цинк



- **Классификация сверхтвердых материалов**.
- Наименование материала
- Микротвердость HV, Мпа
- Природные алмазы 981002
- Синтетические алмазы 99290…981003
- Кубический нитрид бора BN 68670…784804
- Вюрцитный (гексагональный) нитрид бора BN49050…784805
- Композиционные материалы≤49050

Твердые порошковые сплавы состоят из карбидов вольфрама, титана и тантала (WC, TiC, TaC) с небольшими добавками кобальта

- 1.Вольфрамовые марок ВК2, ВК3М, ВК6, ВК8, ВК20, ВК30 с разным содержанием кобальта (в сплаве ВК2 – 2% Co и т.д.) для обработки хрупких материалов (чугун, стекло и др.).
- 2.Титановольфрамовые Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В с разным содержанием кобальта и карбидов титана (например, в сплаве Т15К6-15%TiC, 6%Co, WC – ост.) для обработки вязких материалов (сталей и др.).
- 3.Титанотанталовольфрамовые ТТ7К12 (4%TiC, 3%TaC, 12%Co – ост.) для тяжелого чернового точения стальных поковок, штамповок, отливок.

В соответствии с международной классификацией ИСО твердые порошковые инструментальные сплавы для обработки резанием разделяются на три группы:

- *Р* – при обработке дают «сливную» стружку (например, Т15К6);
- *К* – при обработке дают дробленую стружку (например, ВК6);
- *М* – универсальные для обработки сталей и чугунов (например, ТТ8К6, ВК6-ОМ).

Сравнительные характеристики некоторых быстрорежущих сталей даны в табл. 13.

- Марка сталиТвердость HRC,МПаt,С
- Р6М5 64…663150…3550620
- Порошковая:Р6К5МП 68…693000…330063095Х6М3Ф3Т66310 0…3500620
- 11М5ФЮ 65…67 4000630

.Зависимость твердости закаленной стали 11М5Ф от температуры отпуска (закалка от температуры 1020С): а – « вторичная» твердость.

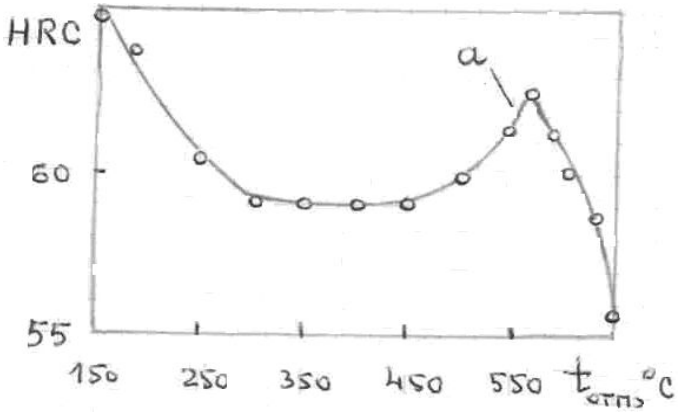


ТАБЛИЦА 14.9. **Механические свойства тугоплавких металлов**

Металл	При 25 °С				При 1100 °С			
	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	*HB*	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ, %
	МПа		%			МПа		
Ванадий	200–220	100–115	25	75	80	60	30	35–40
Ниобий	200–350	120–260	25–50	60–100	50–80	70	57	35–42
Тантал	200–400	180	50–70	95	90–125	120	57	43
Хром	270	190	0–3	0	90–100	25–85	–	–
Молибден	800–900	420–450	10–15	–	150–170	175	110	70
Вольфрам	600–1100	–	0	0	360–400	235	200	52

Примечания: 1. Значения приведены для металлов технической чистоты в рекристаллизованном состоянии.

2. Механические свойства ванадия приведены для температуры 1000 °С.

Пережог в сплаве 1160

Термическая обработка алюминиевых сплавов

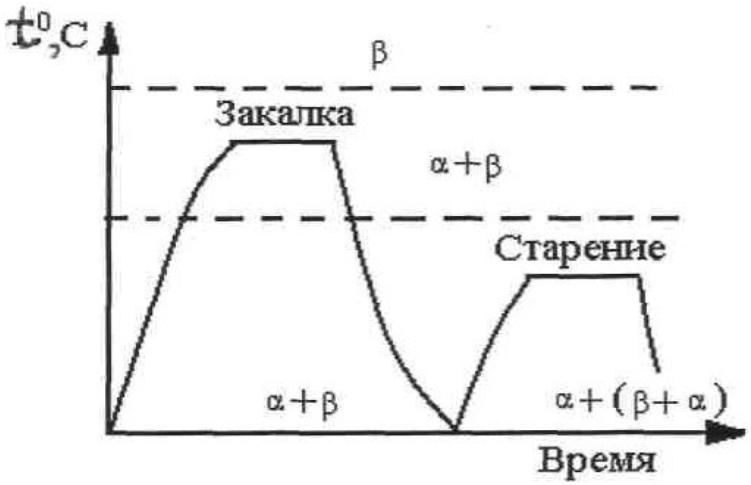


Диаграмма состояния медь—цинк

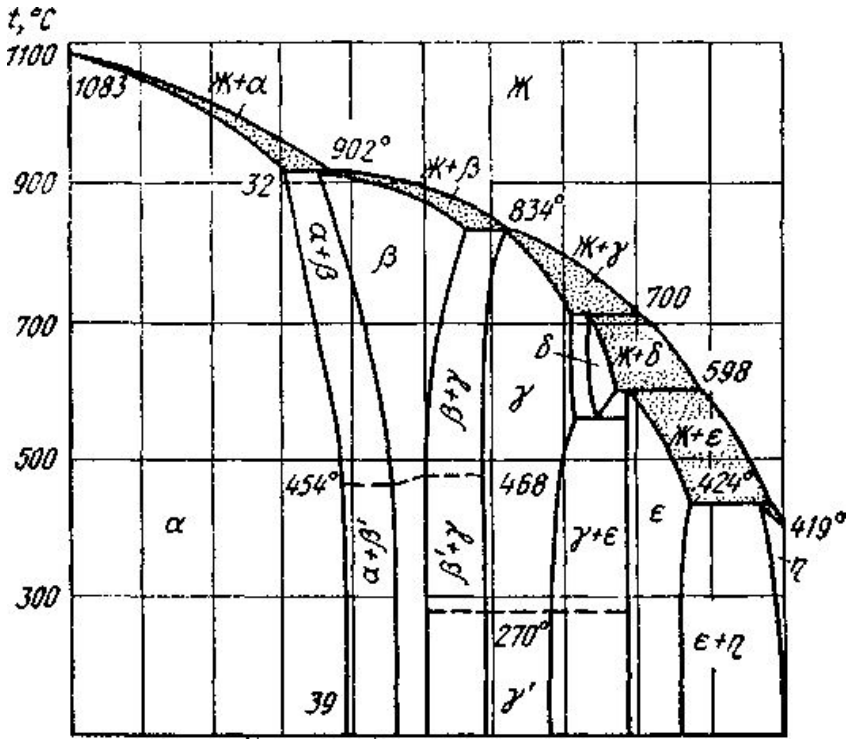


Диаграмма состояний медь-алюминий

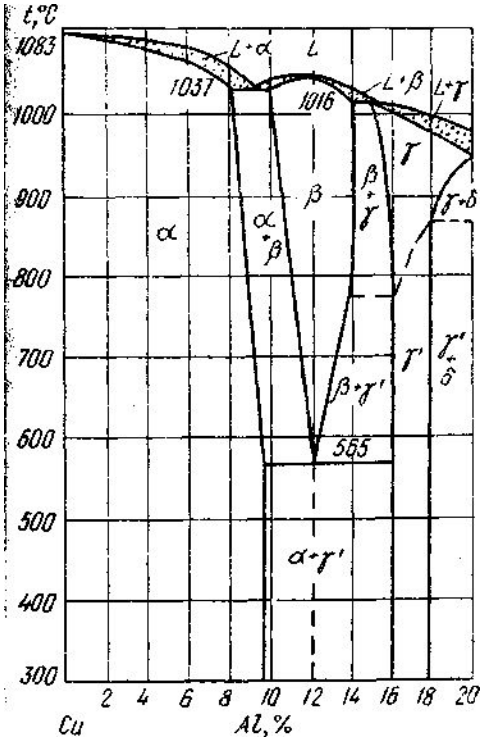


Диаграмма состояния Cu—Be

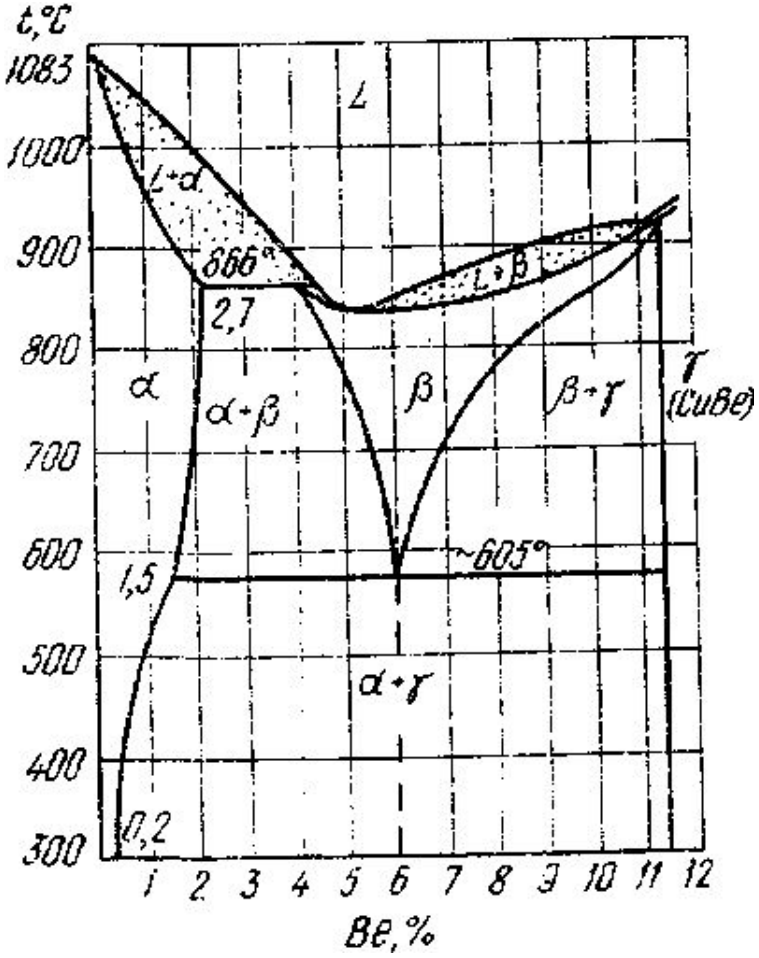
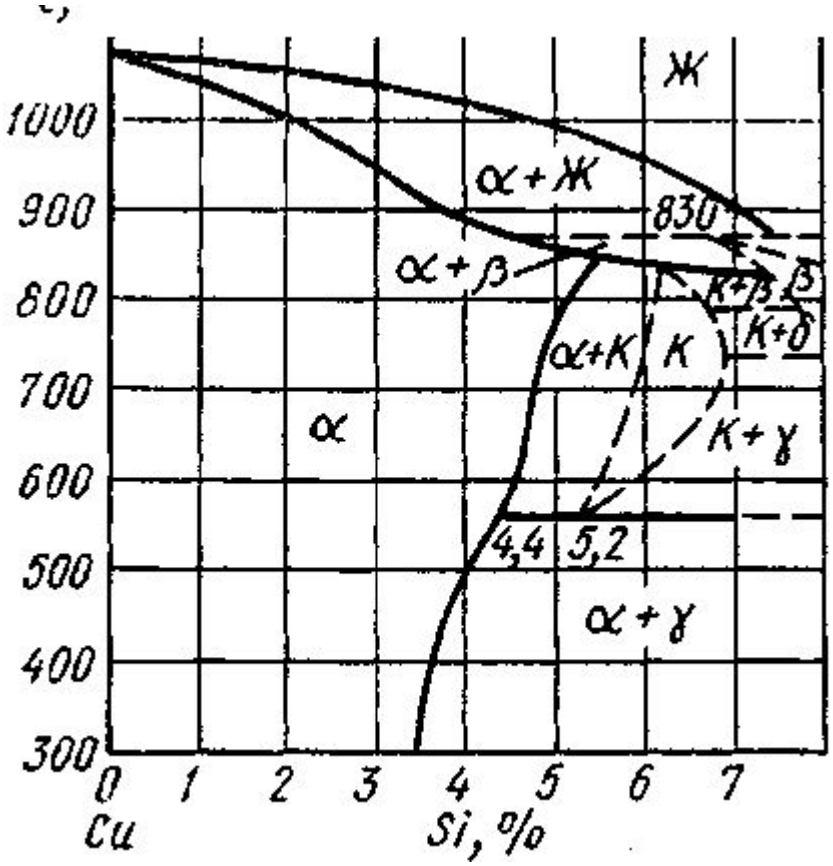


Диаграмма медь-кремний



Силумин

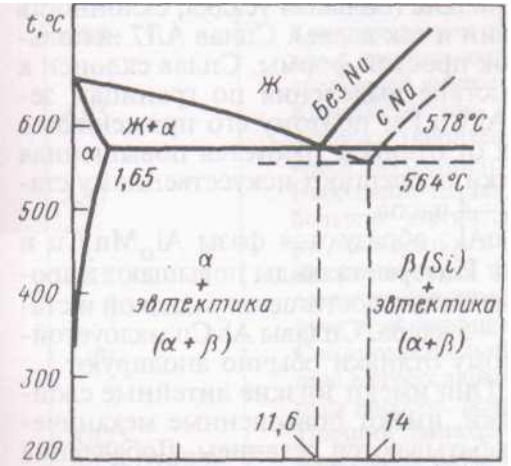
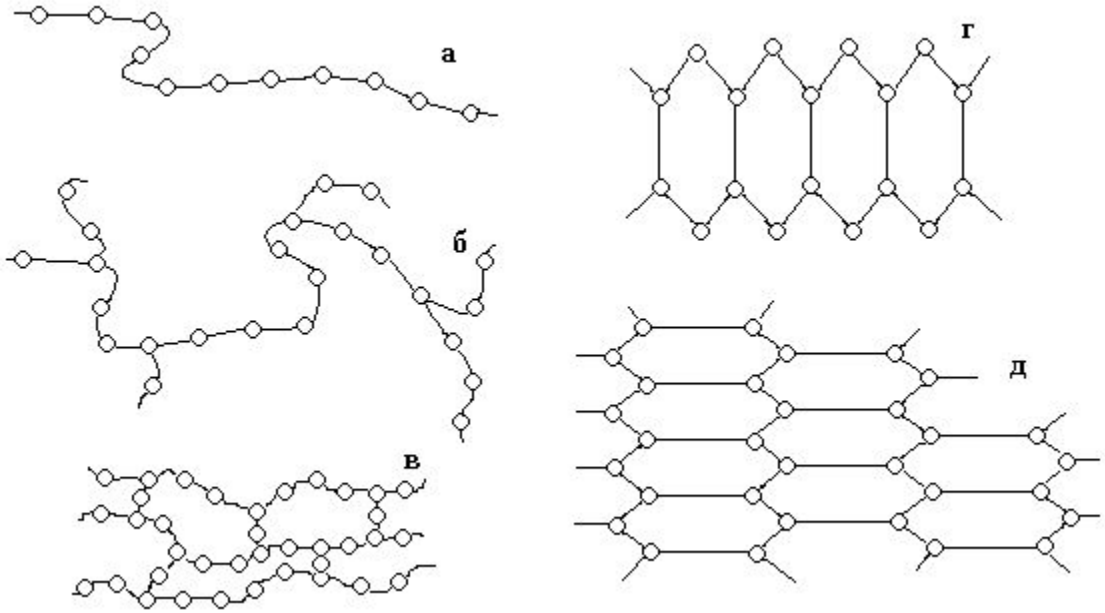


Рис. 20.2 Диаграмма состояния Al-Si и влияние кремния на механические свойства сплавов: штрихованная линия — диаграмма состояния после модифицирования

Строение макромолекул полимерных материалов



Из истории титана

- 1790г- открыт В. Грегор
- 1825г-получен грязный,Берцелиус
- 1925г-получен чистыйВан Аркель и Де Бур
- 1940г- метод Кроля- получается губка
- Пр-во 1948г-2тн, 1953-2100тн, 1966-22000тн

Чистый титан

- Плотность-4,5
- Т пл -1672
- Сод в земле 0,6
- Кр решетка ГПУ (при Тниже 882);ОЦК (при Т выше 882
- Теплопроводность 16,76Вт/м°С;железо 83,8
- σв-343 (железо 19,3)
- Уд прочность 8 (железо-2,5)

Применение титановых сплавов

Таблица 22.5

Технологические свойства и область применения титановых сплавов

Сплав	Класс прочности	Технологические свойства				Коррозионная стойкость	Область применения
		Термическая обработка	Пластичность	Свариваемость	Обработка резанием		
ВТ1-00	Малопрочные высокопластичные	Неупрочняемые	Высокая	Хорошая	Удовлетворительная	—	Слабонагруженные детали сложной конфигурации, работающие при температуре от —253 °С до 150 °С
ВТ-0						Отличная	
ОТ4-0						Хорошая	Детали сложной конфигурации, работающие длительно при температуре 300—350 °С и кратковременно при температуре до 500—600 °С
ОТ4-1						—	Тонкостенные детали сложной формы, работающие длительно до температуры 300 °С (3000 ч) и 350 °С (2000 ч)
ОТ4	Среднепрочные		В горячем состоянии хорошая, в холодном удовлетворительная		Хорошая	Хорошая	Детали, длительно работающие до температуры 350—400 °С
ВТ5			В горячем состоянии хорошая		Удовлетворительная		Сварные детали, работающие при температуре от —253 до 400 °С

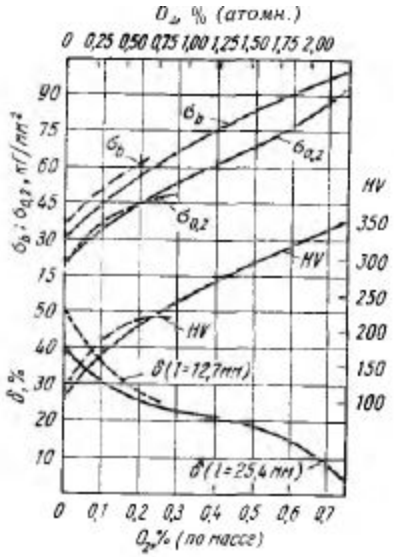


Рис. 135. Влияние кислорода на механические свойства титана

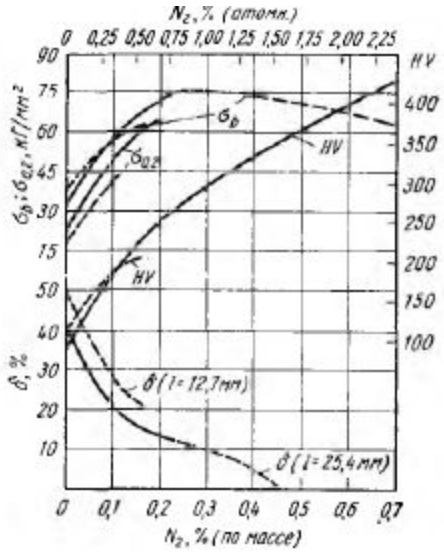


Рис. 136. Влияние азота на механические свойства титана

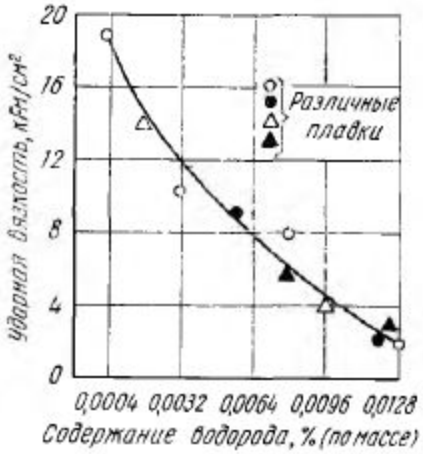


Рис. 137. Влияние водорода на ударную вязкость титана

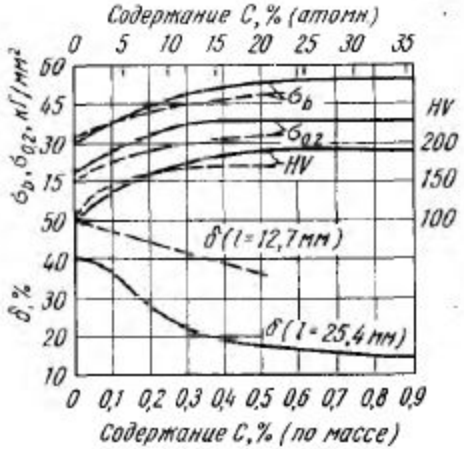
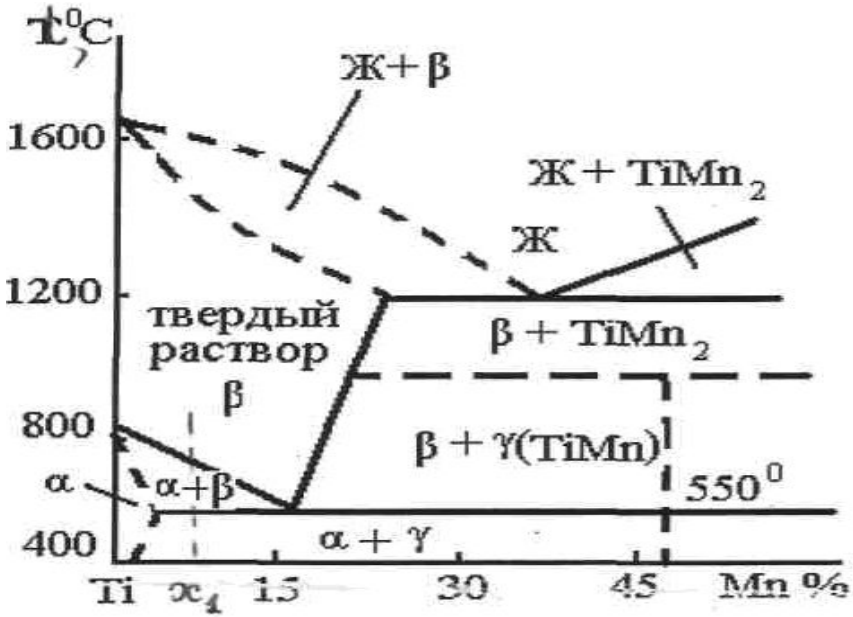


Рис. 138. Влияние углерода на механические свойства титана

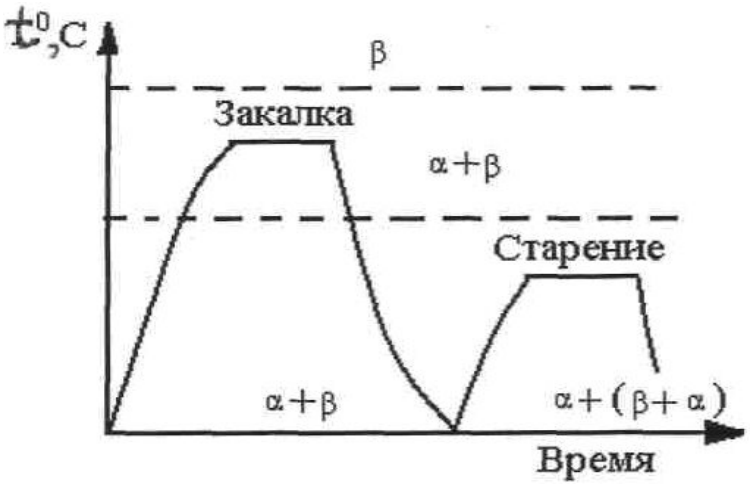
Технически чистый титан

на	Примеси, % (не более)			
	Fe	Si	C	O
	0,18 0,12 0,3	0,10 0,08 0,15	0,07 0,05 0,10	0,12 0,10 0,15

Диаграмма титан-марганец



Термическая обработка титановых сплавов



Сплавы титана

Марка	Содержание элементов, % (по массе)	$\sigma_в$, МПа	σ_{02}, МПа	δ, %
	α-сплавы			
ВТ5	5 Al	700—950	660—850	10—15
ВТ5-1	5 Al; 2,5 Sn	750—950	650—850	10—15
	α+β-сплавы мартенситного класса			
ВТ3-1	6 Al; 2,5 Mo; 0,2 Si; 0,5 Fe; 2 Cr	1100—1200	1050—1100	12—14
ВТ6	6 Al; 4 V	1100—1150	1000—1050	14—16
ВТ14	4,5 Al; 3,0 Mo; 1,0 V	1150—1400	1080—1300	6—10
	Псевдо-β-сплавы			
ВТ15	4 Al; 11 Cr; 8 Mo	1300—1500	—	4—8

Таблица 20. **Механические свойства типичных титановых сплавов** [1]

Сплав	Содержание элементов, % (по массе)	$\sigma_в$, МПа	δ, %	ψ, %	$a_н$, МДж/м²
		α-сплавы			
ВТ5	5 Al	750—900	10	25	0,50
ВТ5-1	5 Al; 2,5 Sn	800—1000	10	25	0,40
		Псевдо-α-сплавы			
ОТ4-1	1,5 Al; 1,0 Mn	600—750	15	35	0,45
ВТ20	6,0 Al; 2,0 Zr; 1,0 Mo; 1,0 V	950—1100	10	25	0,40
		α + β-сплавы мартенситного класса			
ВТ6	6,0 Al; 4,0 V	900—1070/1100	10/6	30/20	0,40/0,30
ВТ14	4,5 Al; 3,0 Mo; 1,0 V	900—1070/1120	10/6	35/12	0,50/0,25
ВТ23	5,0 Al; 2,5 Mo; 4,5 V; 1,0 Cr; 0,5 Fe	1050—1200/1250	10/6	30/18	0,40/0,25
		α + β-сплавы переходного класса			
ВТ22	5,0 Al; 5,0 Mo; 5,0 V; 1,0 Cr; 1,0 Fe	1100—1250/1300	9/6	25/16	0,30/0,20
		Псевдо-β-сплавы			
ВТ32	2,0 Al; 8 Mo; 8,0 V; 1,0 Cr; 1,0 Fe	800—950/1200	15—6	50/20	0,45/0,25

[1] В числителе — механические свойства в отожженном состоянии, в знаменателе — после закалки и старения.

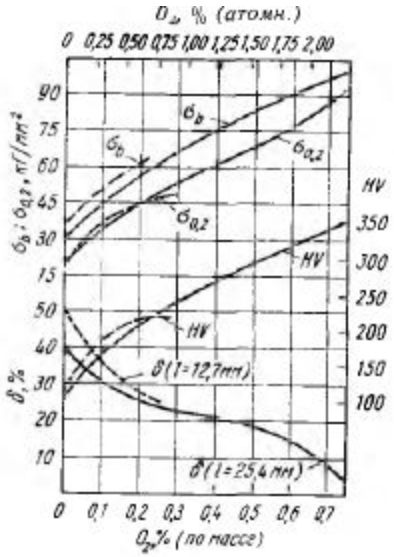


Рис. 135. Влияние кислорода на механические свойства титана

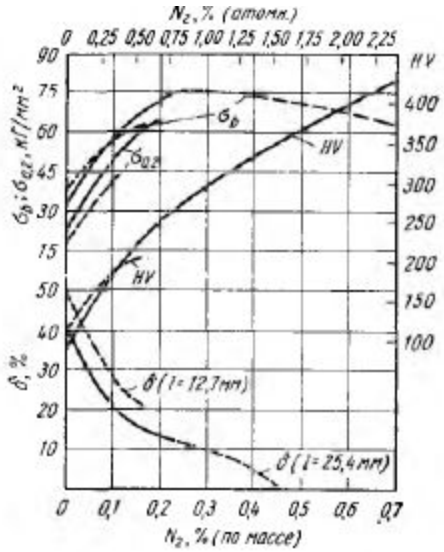


Рис. 136. Влияние азота на механические свойства титана

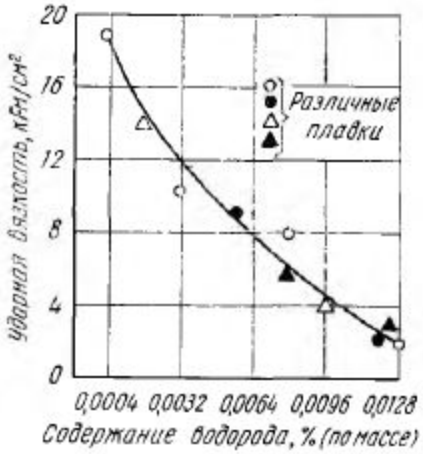


Рис. 137. Влияние водорода на ударную вязкость титана

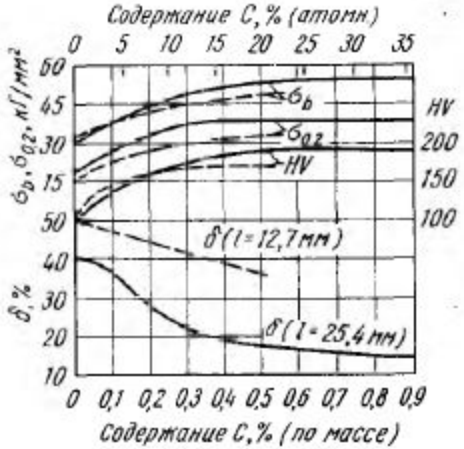


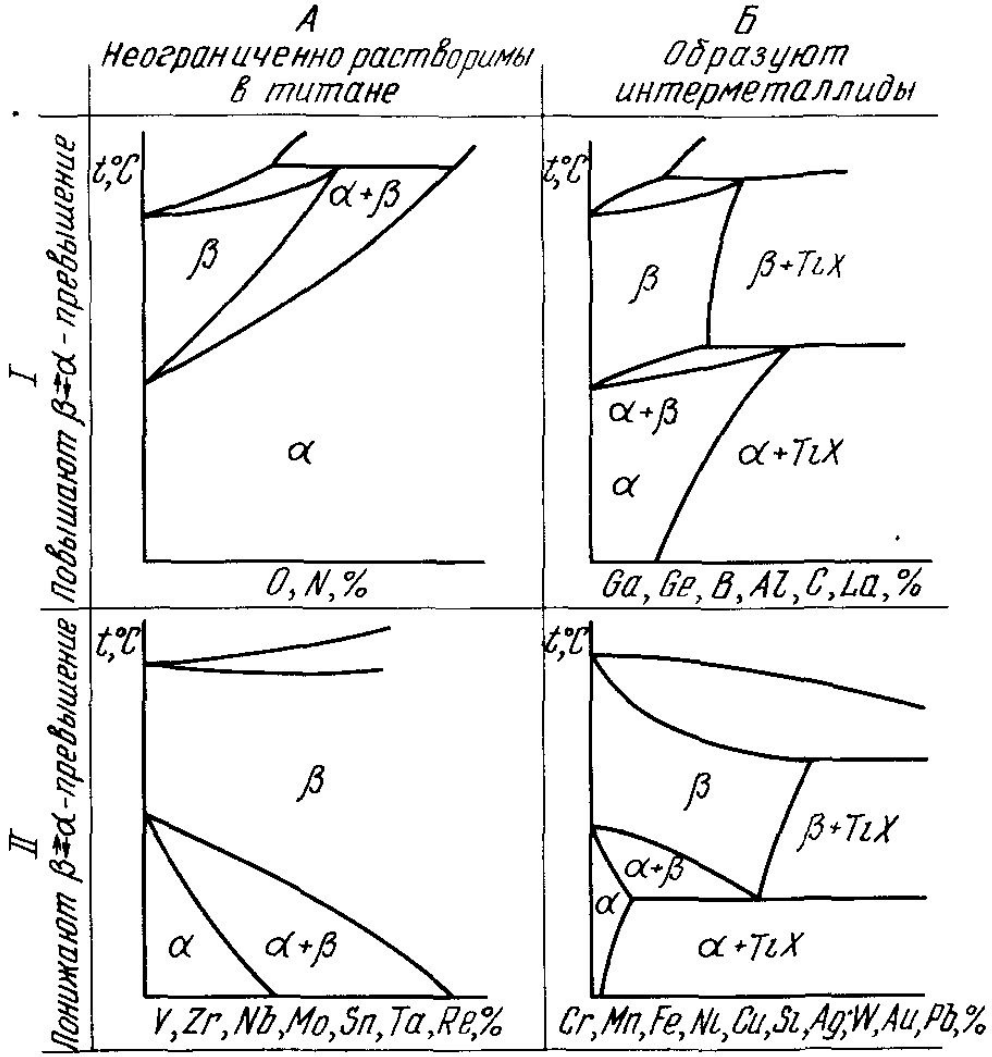
Рис. 138. Влияние углерода на механические свойства титана

Таблица 20. **Механические свойства типичных титановых сплавов**[1]

Сплав	Содержание элементов, % (по массе)	$\sigma_в$, МПа	δ	ψ	$a_н$, МДж/м²
			%		
		α-сплавы			
ВТ5	5 Al	750—900	10	25	0,50
ВТ5-1	5 Al; 2,5 Sn	800—1000	10	25	0,40
		Псевдо-α-сплавы			
ОТ4-1	1,5 Al; 1,0 Mn	600—750	15	35	0,45
ВТ20	6,0 Al; 2,0 Zr; 1,0 Mo; 1,0 V	950—1100	10	25	0,40
		α + β-сплавы мартенситного класса			
ВТ6	6,0 Al; 4,0 V	900—1070/1100	10/6	30/20	0,40/0,30
ВТ14	4,5 Al; 3,0 Mo; 1,0 V	900—1070/1120	10/6	35/12	0,50/0,25
ВТ23	5,0 Al; 2,5 Mo; 4,5 V; 1,0 Cr; 0,5 Fe	1050—1200/1250	10/6	30/18	0,40/0,25
		α + β-сплавы переходного класса			
ВТ22	5,0 Al; 5,0 Mo; 5,0 V; 1,0 Cr; 1,0 Fe	1100—1250/1300	9/6	25/16	0,30/0,20
		Псевдо-β-сплавы			
ВТ32	2,0 Al; 8 Mo; 8,0 V; 1,0 Cr; 1,0 Fe	800—950/1200	15—6	50/20	0,45/0,25

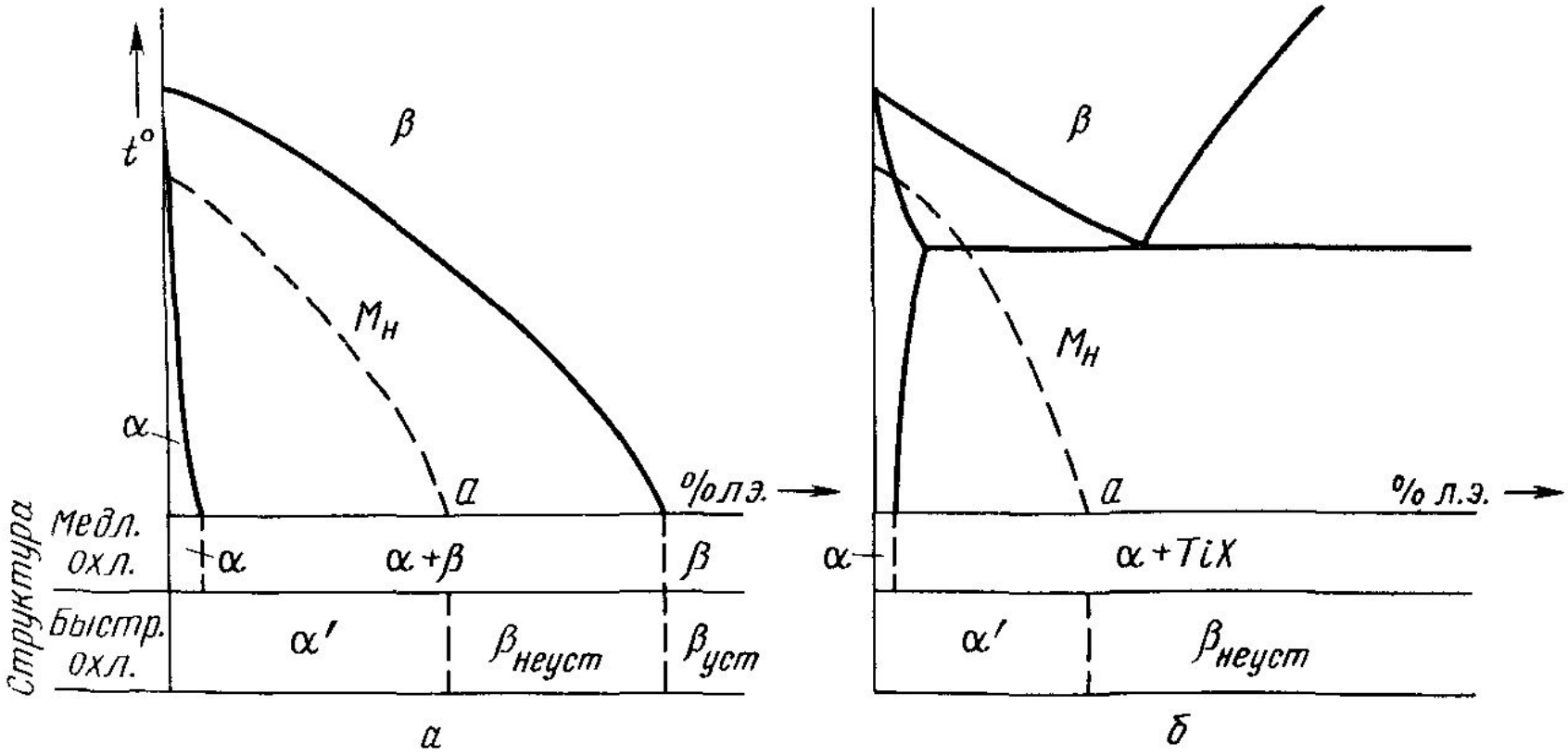
[1] В числителе — механические свойства в отожженном состоянии, в знаменателе — после закалки и старения.

Диаграммы состояния титановых сплавов

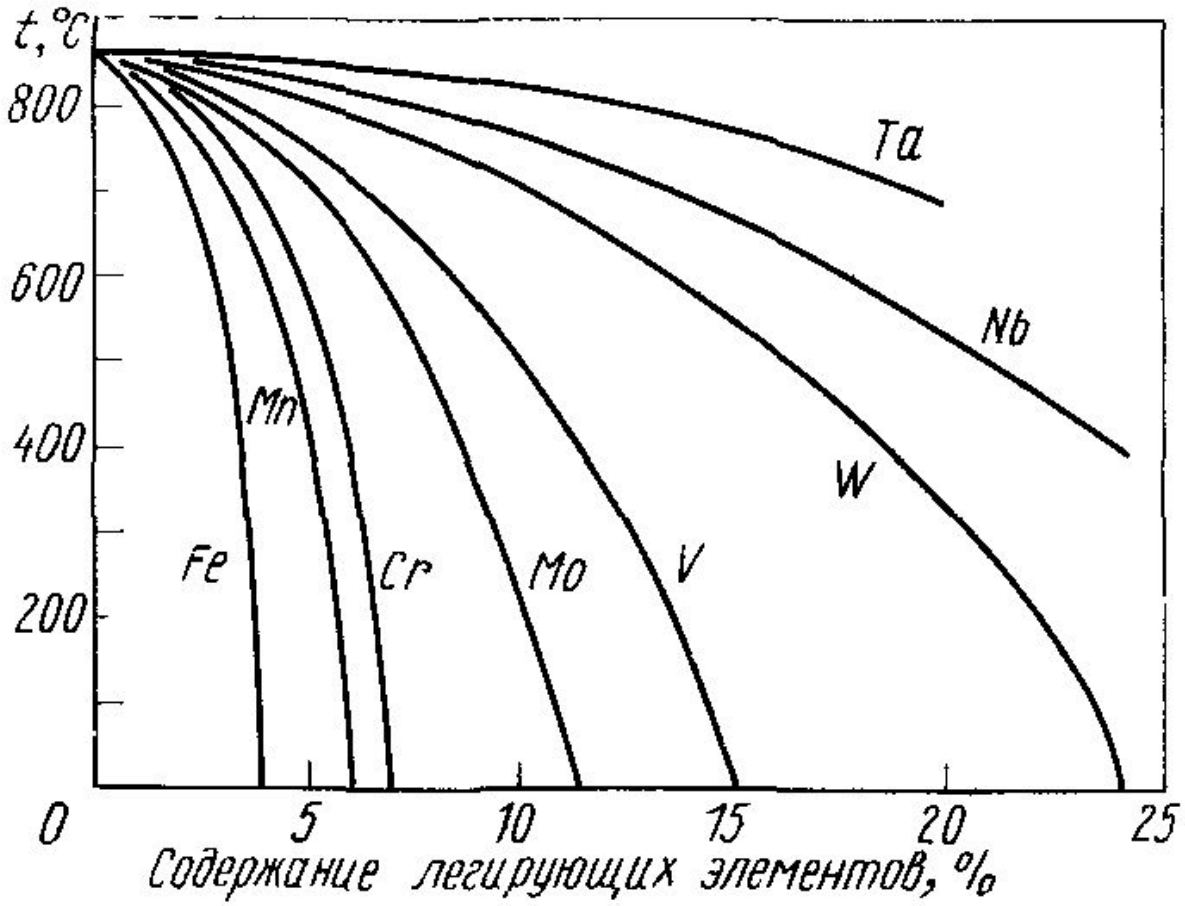


а

Образование структур в титановых сплавах в зависимости от скорости охлаждения и содержания легирующего элемента



Влияние легирующих элементов на температуру начала мартенситного превращения в титане



ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ МАГНИЯ

Таблица 22.12

Физические свойства литейных магниевых сплавов

Сплав	ρ т/м³	$\alpha 10^6$, °C⁻¹ (при 20—200°C)	λ Вт/(м·°C)	c, Дж/(кг·°C)	$\rho_1 \cdot 10^6$, мкОм·м
МЛ2	1,80	27,3	133,9	1046,7	—
МЛ3	1,78	27,0	104,7	1046,7	—
МЛ4, МЛ4пч	1,83	27,6	79,5	1046,7	—
МЛ5, МЛ5пч, МЛ5он	1,81	28,1	78,9	1046,7	0,134
МЛ6	1,81	27,3	78,9	1046,7	—
МЛ7-1	1,76	27,7	78,3	1046,7	—
МЛ8	1,82	27,2	120,5	1004,8	—
МЛ9	1,76	27,1	117,2	—	0,072
МЛ10	1780	28,0	113,0	1046,7	0,084
МЛ11	1800	—	117,2	1046,7	0,073
МЛ12	1810	27,3	133,9	962,9	0,066
МЛ15	1830	26,9	138,1	921,1	0,068
МЛ19	1790	27,7	87,9	1130,4	0,096

Полимеры

- По характеру расположения в пространстве элементарных звеньев различают полимеры линейного (а), разветвленного (б), пространственного (в), лестничного (г) и паркетного (д) строения. В условных схемах кружками обозначены элементарные химические группы, а черточками – ковалентные связи

Магний

- Атомный номер 12
- Атомная масса 24,3
- Плотность при 20°С, г/см^3 1,74
- Температура плавления, °С 651
- Атомный диаметр, нм 0,32
- Удельная теплопроводность при 20°С, Вт/(м.К) 1391

Сплавы магния

Таблица 22.11

Деформируемые магниевые сплавы и область их применения

Сплав	Химический состав, % (основа магний)						Свойства при комнатной температуре					Вид полуфабриката	Предельная рабочая температура, °С		Область применения
	Al	Mn	Zn	Zr	Nd	Другие элементы	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ %	НВ, МПа	KCU, кДЖ/м²		Длительная	Кратковременная	
МА1	–	1,3–2,5	–	–	–	–	190–220	120–140	5–10	400	–	Все виды	150	200	Сварные детали несложной конфигурации, детали арматуры бензо-и маслосистем, не несущие больших нагрузок
МА2	3,0–4,0	0,15–0,5	0,2–0,8	–	–	–	260–280	160–180	5–15	450	120	То же	150	200	Кованые и штампованные детали сложной конфигурации для сварных конструкций
МА2-1	3,8–5,0	0,2–0,6	0,6–1,5	–	–	–	270–310	160–230	8–12	420	70	То же	150	200	Панели, штамповки сложной конфигурации для сварных конструкций
МА5	7,8–9,2	0,15–0,5	0,2–0,8	–	–	–	300–330	220–240	8–14	550	–	Прессованные, поковки, штамповки	150	200	Нагруженные детали
МА8	–	1,5–2,5	–	–	–	–	220–250	140–160	7–12	400	50	Все виды	200	250	Листы, плиты, штамповки сложной конфигурации для сварных конструкций
МА11	–	1,5–2,5	–	–	2,5–3,5	0,13–0,25 Ni	260–280	130–160	5–14	–	35	Прутки, штамповки, листы	250	300	Детали, нагревающиеся в процессе эксплуатации
МА12	–	–	–	0,3–0,8	2,5–3,5	–	230–280	130–180	9–12	–	130	Прутки, листы, плиты, профили	250	300	Детали, нагревающиеся в процессе эксплуатации
МА14	–	–	5,0–6,0	0,3–0,9	–	–	320–340	220–290	6–14	600	60	То же	150	200	Высоконагруженные детали
МА15	–	–	2,5–3,5	0,45–0,9	–	0,7–1,0La 1,2–2,0 Cd	300–320	250–260	5–14	600	100	Прутки, профили, листы	150	200	Детали сварных конструкций, требующие повышенного предела текучести при сжатии
МА19	–	–	5,5–7,0	0,5–0,9	1,4–2,0	–	380–400	330–360	5–8	800	50	Прессованные, поковки, штамповки	150	200	Детали сварных конструкций, для которых требуются повышенный предел прочности и текучесть при растяжении и сжатии *1

*1 Хорошо сваривается контактной, шовной и точечной сваркой.

Примечание. Модуль нормальной упругости деформируемых магниевых сплавов составляет 41 000—43 000 МПа.

Таблица 22.14

Области применения литейных магниевых сплавов

Сплав	Вид термической обработки	Предельная рабочая температура, °С		Область применения
		Длительная	Кратковременная	
МЛ2	—	150	200	Детали, от которых требуется повышенная коррозионная стойкость и герметичность (горловины, бензобаки, бензомасляная арматура и др.)
МЛ3	—	До 150	До 150	Детали с высокой герметичностью (детали арматуры корпусов насосов и др.)
МЛ4	Т4	150	250	Детали двигателей и других агрегатов, работающие в условиях высокой коррозионной стойкости, статических и динамических нагрузок (корпуса приборов и инструментов, штурвалы и др.).
МЛ5	Т4	150	250	Сплав общего назначения. Нагруженные детали, работающие в условиях морской атмсоферы, а также детали двигателей, приборов и др. (тормозные барабаны, кронштейны, штурвалы и др.).
МЛ6	Т6	До 150	—	Высоко- и средненагруженные детали (детали приборов, аппаратуры, корпуса и др.)
МЛ8	Т6	150	200	Нагруженные детали (реборды, барабаны колес и другие конструкции)
МЛ9	Т6	250—300	350—400	Детали двигателей, приборов и др.
МЛ10	Т6	250	350	Нагруженные детали различных конструкций, двигателей, приборов и агрегатов, требующие высокой герметичности и высокой стабильности размеров
МЛ11	Т6	250	300	Детали двигателей, приборов и агрегатов, требующие повышенной герметичности и не испытывающие высоких нагрузок при комнатной температуре
МЛ12	Т6	200	250	Нагруженные детали (реборды, барабаны колес и другие конструкции)
МЛ15	Т1	200	300—350	Нагруженные детали двигателей, приборов, агрегатов, требующие герметичности

Примечания: 1. Сплавы МЛ4 и МЛ5 повышенной чистоты. 2. Виды термической обработки: Т1 — старение; Т4 — гомогенизация и закалка на воздухе; Т6 — гомогениазция, закалка на воздухе и старение.

- 1. Линейные структуры, состоящие из пачек развернутых макромолекул. В структуре пластических масс пачки макромолекул обычно соединяются в крупные нитеобразные структурные образования (фибрилы) (рис. а). У каучукоподобных полимеров пачки макромолекул сливаются в более крупные полосатые структуры (рис. б).
- 2. Глобулярные (шарообразные) структуры пластических масс из свернутых макромолекул с повышенной гибкостью. Отдельные глобулы из нескольких макромолекул сливаются в частицы более крупного размера из десятков и сотен макромолекул. Глобулы объединяются в группы (рис. в).
-

Надмолекулярные структуры в полимерах

ТАБЛИЦА 14.10. **Механические свойства тугоплавких сплавов**

Сплав	При 25 °С			При 1200 °С		σ_{100}, МПа
	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ, %	$\sigma_в$, МПа	δ, %	
	МПа					
На основе ниобия:						
ВН2А (4,1 Mo; 0,7 Zr; ⩽ 0,08 C)	800–900	620	4–5	240–260	–	130 (при 1100 °С)
ВН4 (9,5 Mo; 1,5 Zr; 0,3 C)	810	730	16	550	–	280 (при 1100 °С)
На основе тантала:						
Ta + 10 W	760	520–710	3,5	300–490 105*	1,2 30*	140 (при 1200 °С) 35 (при 1650 °С)
На основе хрома:						
ВХ1И (до 1Y)	270	190	3	80	–	24 (при 1200 °С)
ВХ2 (0,15 Ti; 0,2 V; 1 Y)	350	240	3	250	30	65 (при 1100 °С)
ВХ4 (32 Ni; 0,15 Ti; 0,25 V, 1,5 W)	950	800	8	240**	12**	–
На основе молибдена:						
ВМ1 (0,4 Ti; ⩽ 0,01 C)	800	680	10	340	14	80–90 (при 1200 °С)
ВМ3 (1,1 Ti; 0,5 Zr; 0,4 C; 1,4 Nb)	800–860	–	0,03	550	12	250–270 (при 1300 °С)
Mo + 40 Re	840	–	2–8	130***	–	–
На основе вольфрама:						
W + 27 Re	1400	–	4	700	12***	42 (при 1600 °С)
W + 15 Mo	–	–	–	175	27****	–

* При 2000 °С.
** При 1000 °С.
*** При 1500 °С.
**** При 1600 °С.

ТАБЛИЦА 14.9. **Механические свойства тугоплавких металлов**

Металл	При 25 °С				При 1100 °С			
	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	*HB*	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ, %
	МПа		%			МПа		
Ванадий	200–220	100–115	25	75	80	60	30	35–40
Ниобий	200–350	120–260	25–50	60–100	50–80	70	57	35–42
Тантал	200–400	180	50–70	95	90–125	120	57	43
Хром	270	190	0–3	0	90–100	25–85	–	–
Молибден	800–900	420–450	10–15	–	150–170	175	110	70
Вольфрам	600–1100	–	0	0	360–400	235	200	52

Примечания: 1. Значения приведены для металлов технической чистоты в рекристаллизованном состоянии.

2. Механические свойства ванадия приведены для температуры 1000 °С.

Нанокристаллические материалы

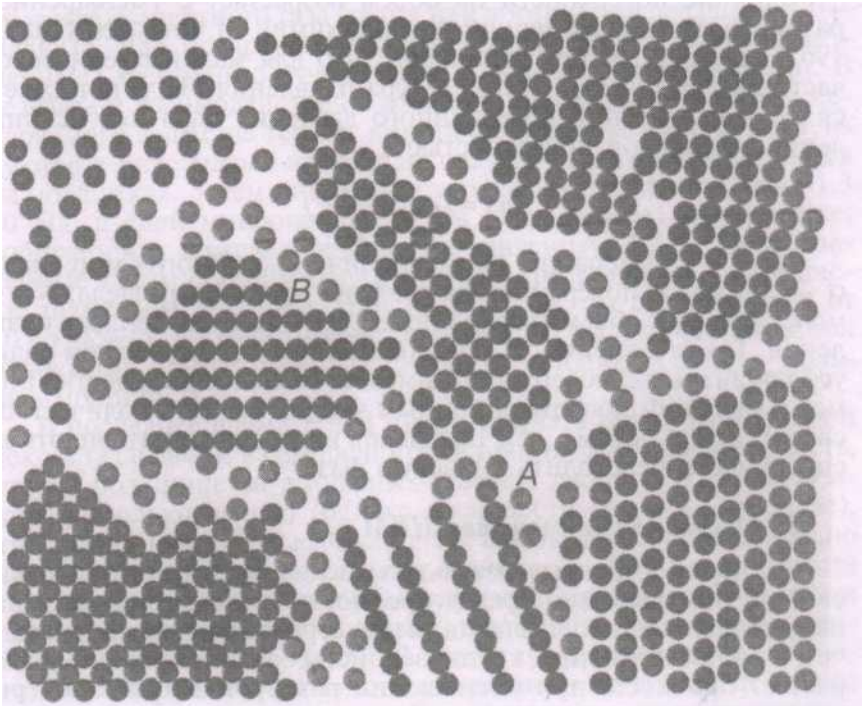


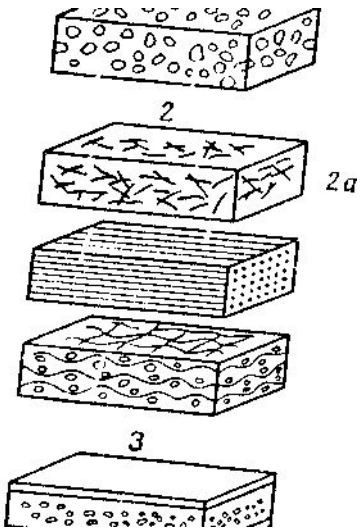
Рис. 24.12. Схематическое представление структуры нанокристаллического материала. Темные кружки — атомы кристаллитов, светлые — межкристаллитные границы

Таблица 24.5

Свойства некоторых армированных волокнами металлов

Матрица	Волокно	Содержание волокна, %	Прочность при растяжении, кгс/мм^2	Прочность/плотность σ/ρ, 10 км
Al	SiO_2	47	91	3,75
	Al_2O_3	35	112,7	3,55
	Al_2O_3	10	3,6	1,17
	B	10	30,1	1,13
	B_4C	10	20,3	0,76
Ni	B	8	268,8	3,67
	Al_2O_3*	19	119,7	1,50
	W	40	112,7	0,86
Ag	Al_2O_3*	24	162,4	0,18
	Si_3O_4*	15	28,0	0,03
	Mo*	20	67,2	0,11
Cu	W	77	178,5	0,10

*Короткие волокна или усы.


2
2a
3

. Схемы армирования композиционных материалов:I — однонаправленная; II — двухнаправленная; III — трехнаправленная; IV — четырехнаправленная; 1—5 — укладка волокон(1— прямоугольная, 2 — гексагональная,3 — косоугольная, 4 — с искривленными волокнами, 5 — система из п нитей)

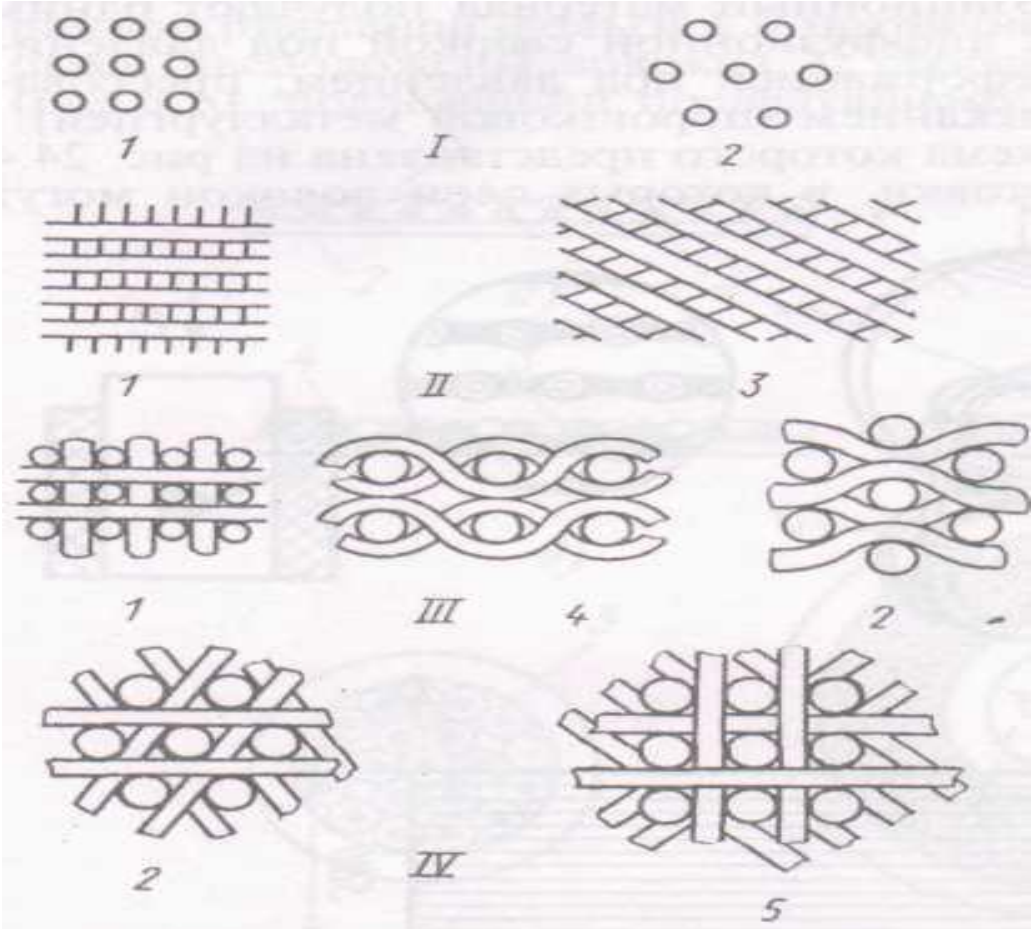


Рис. 24. 3. Схемы армирования композиционных материалов:
I — однонаправленная; II — двухнаправленная; III — трехнаправленная; IV — четырехнаправленная; 1—5 — укладка волокон (1— прямоугольная, 2 — гексагональная,