

Рис. 25.1. Схема изменения размера зерна в зависимости от $T_{\text{нагр}}$ стали:
 а) наследственно мелкозернистые стали;
 б) наследственно крупнозернистые стали

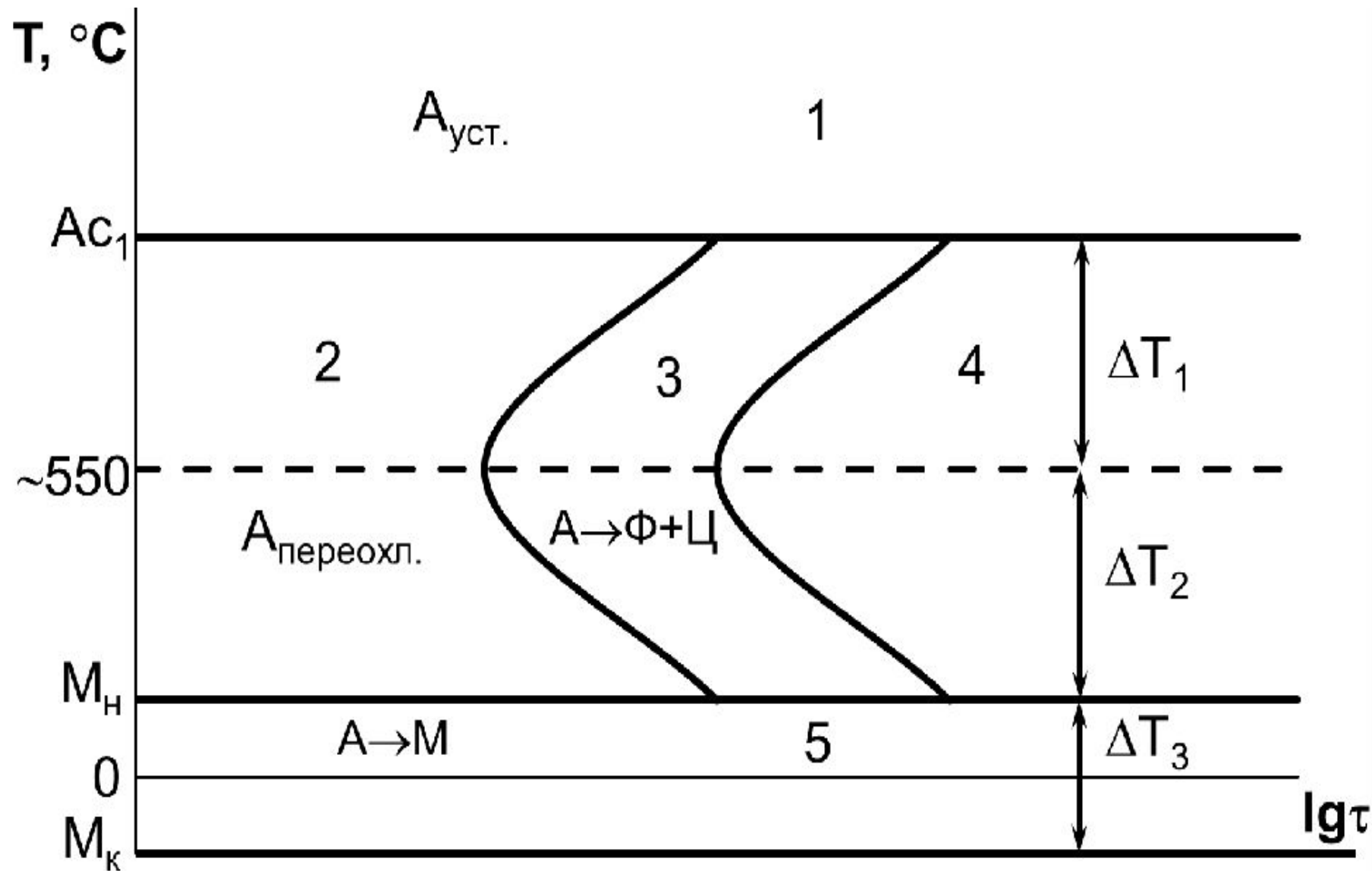


Рис. 27.1. Диаграмма изотермического превращения аустенита для эвтектоидной стали (0,8% С)

	Перлит	Сорбит	Троостит
Δ , мкм	0,5-0,7	0,3-0,4	0,1-0,2
Твёрдость, НВ	180	250	400

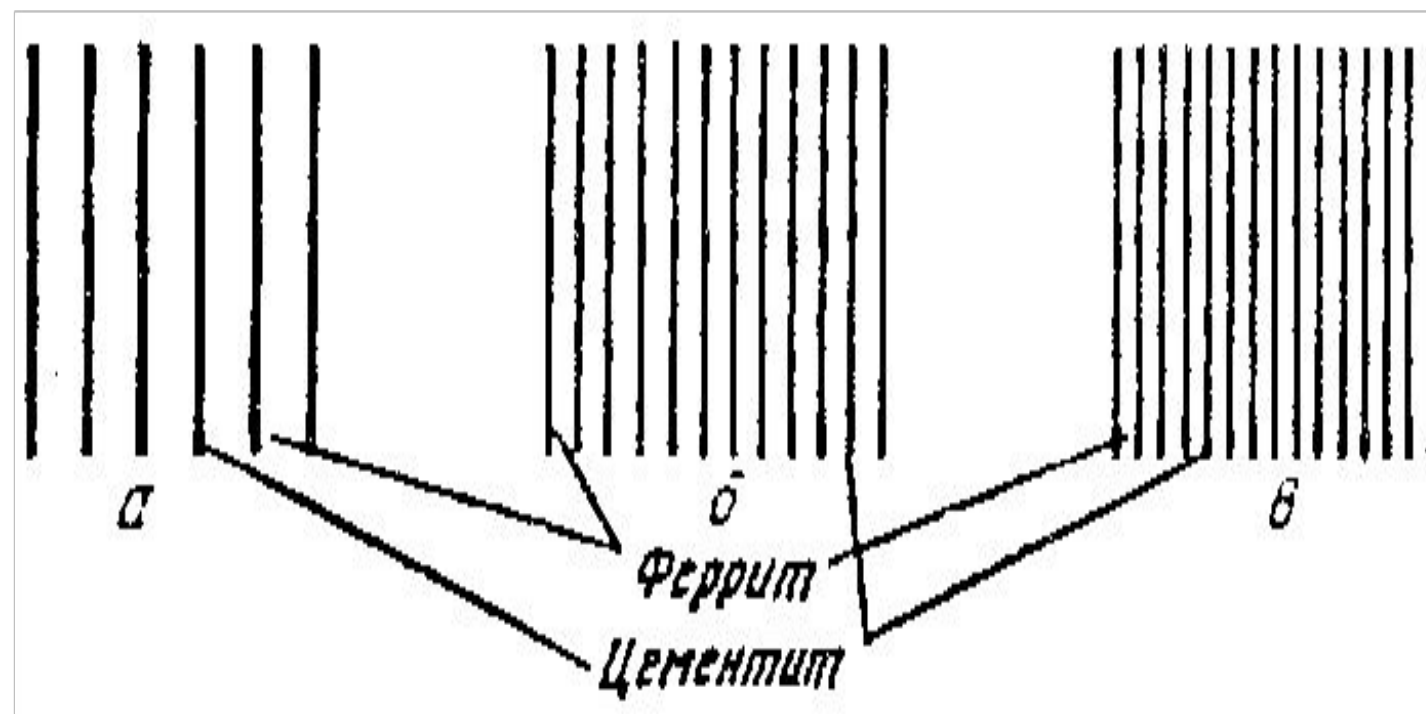


Рис. 27.2. Зависимость твёрдости перлитоподобных структур от межпластинчатого расстояния

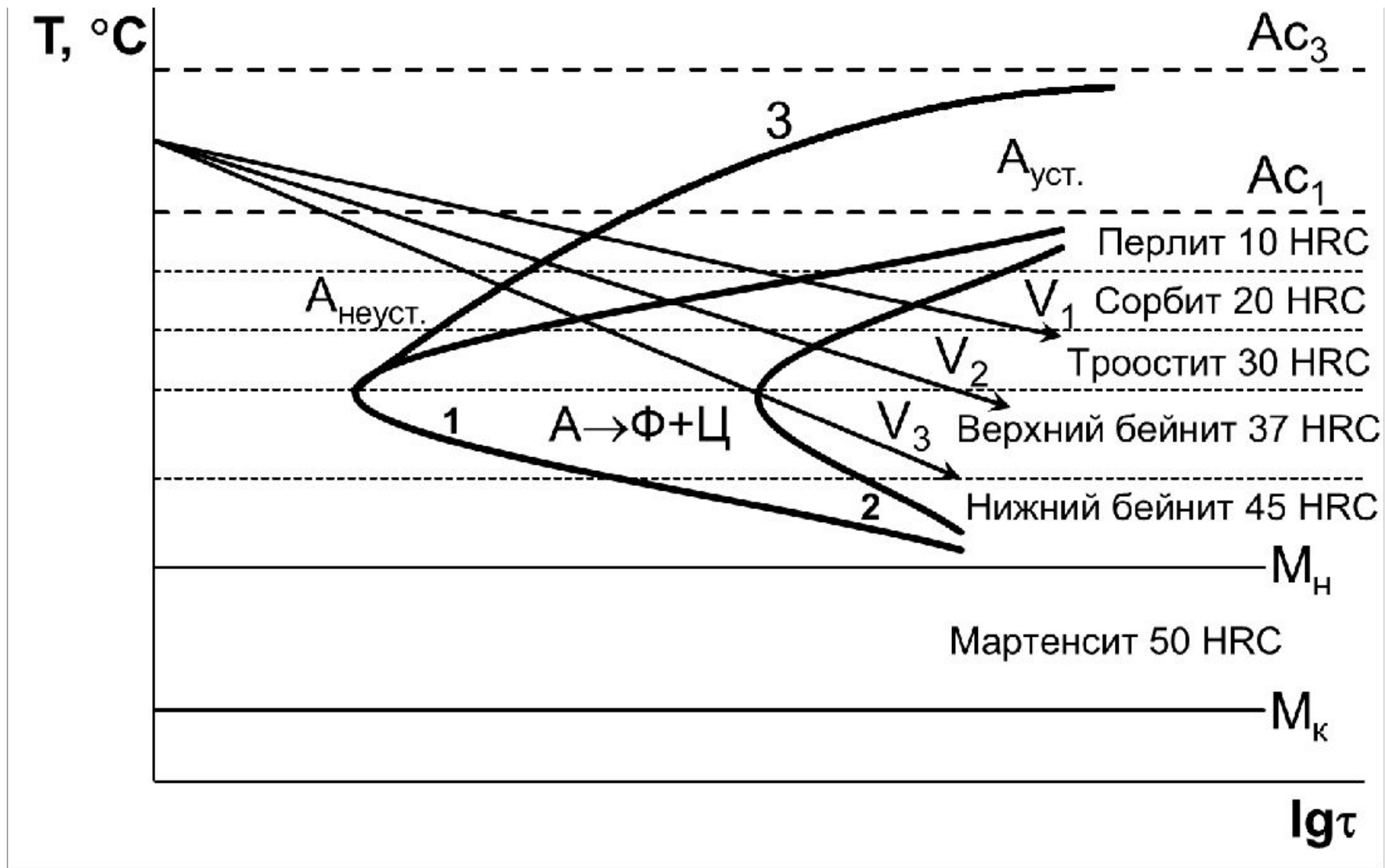


Рис. 27.3. Обобщённая диаграмма изотермического превращения аустенита углеродистой стали: 1, 2 – начало и конец превращения аустенита в перлит; 3 – начало выделения феррита в доэвтектоидных сталях (вторичного цементита в заэвтектоидных сталях)

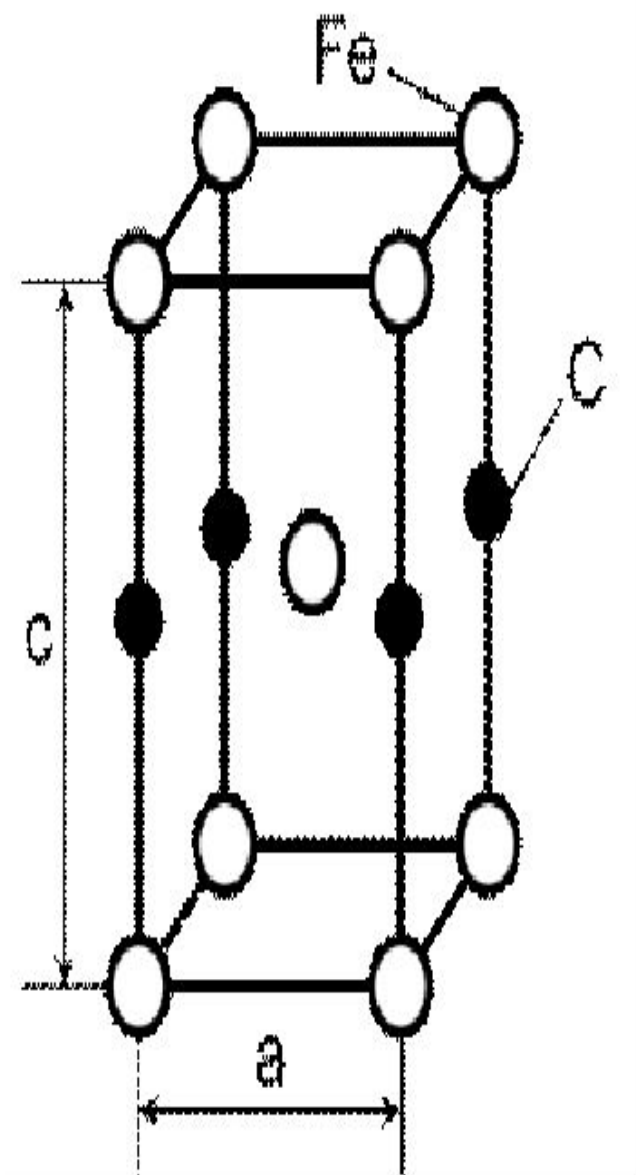


Рис. 28.1. КР мартенсита

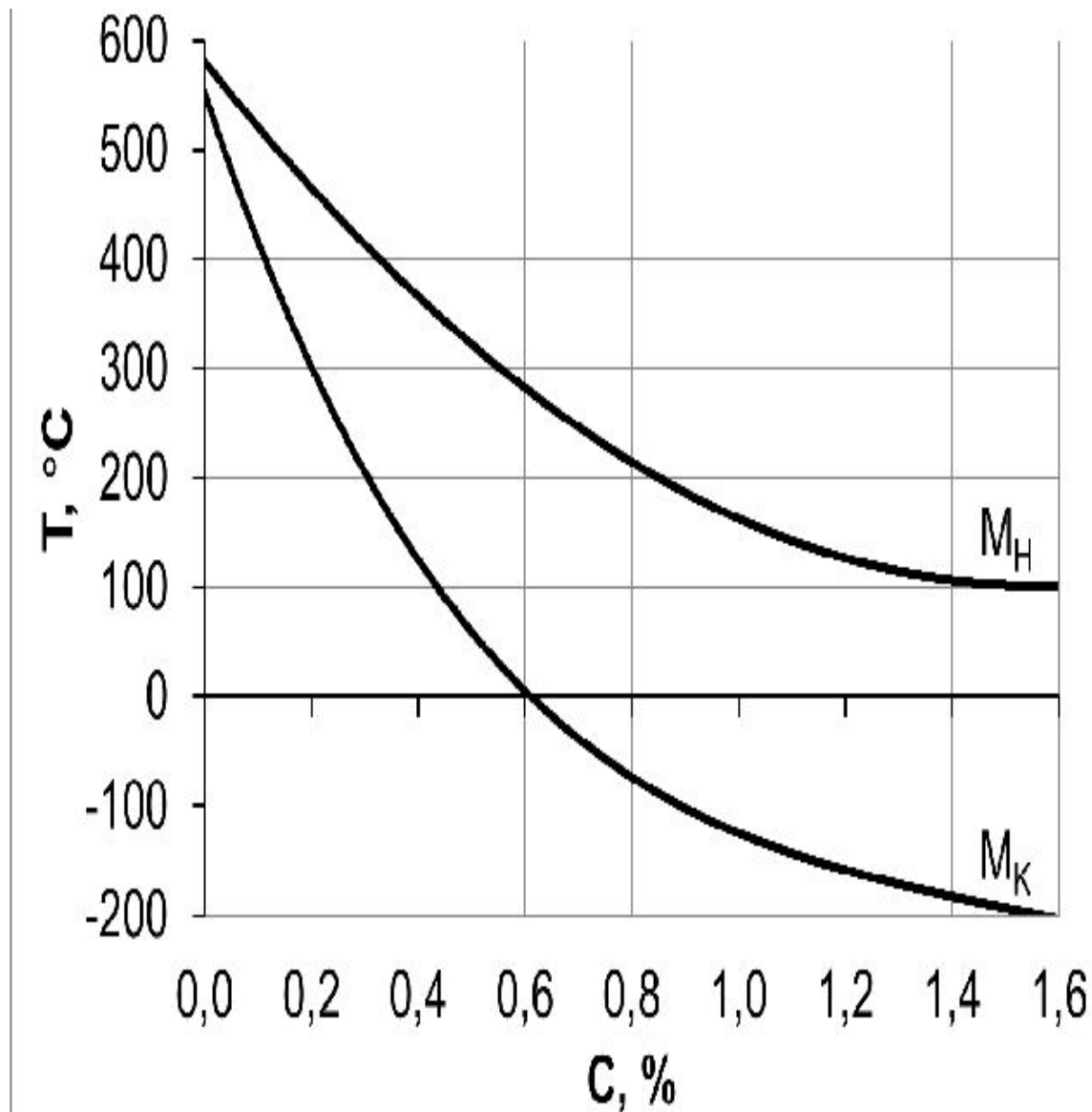
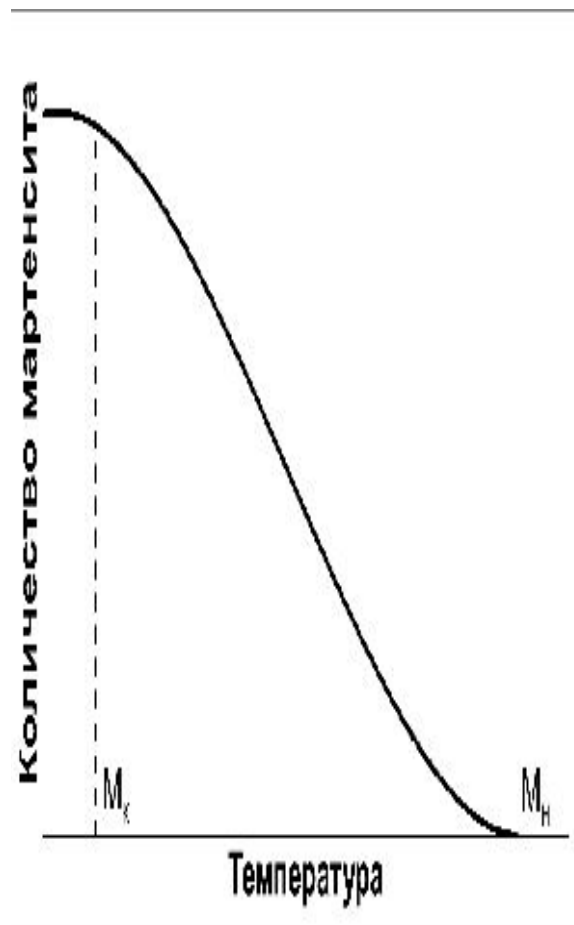
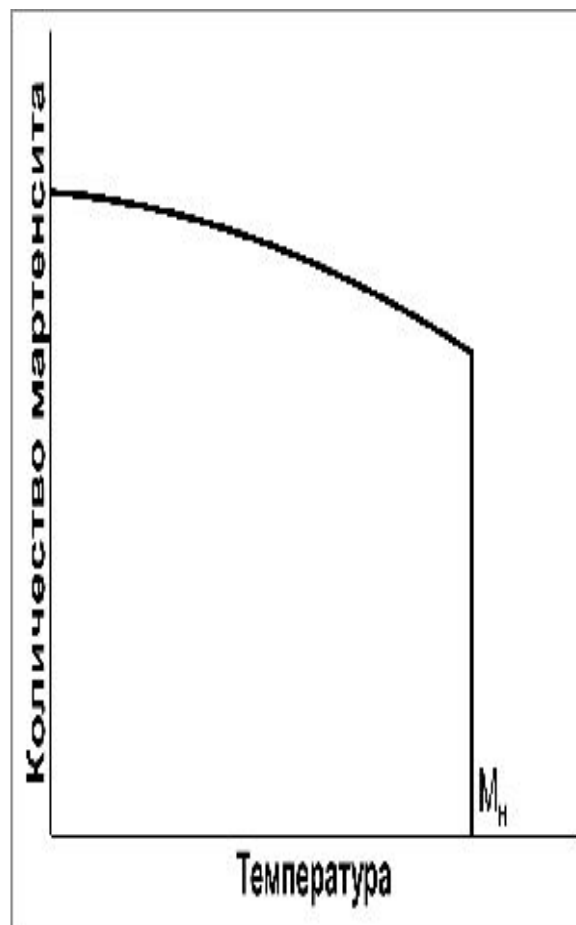


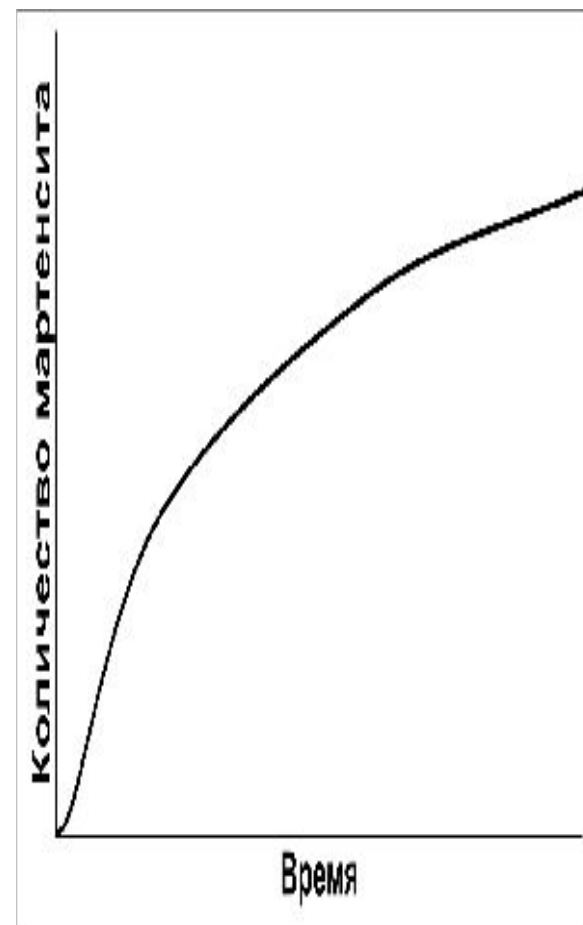
Рис. 28.2. Влияние содержания С в аустените на мартенситные точки стали



(а)



(б)



(в)

Рис. 28.3. Схема атермического (а), взрывного (б) и полностью изотермического мартенситных превращений (в)

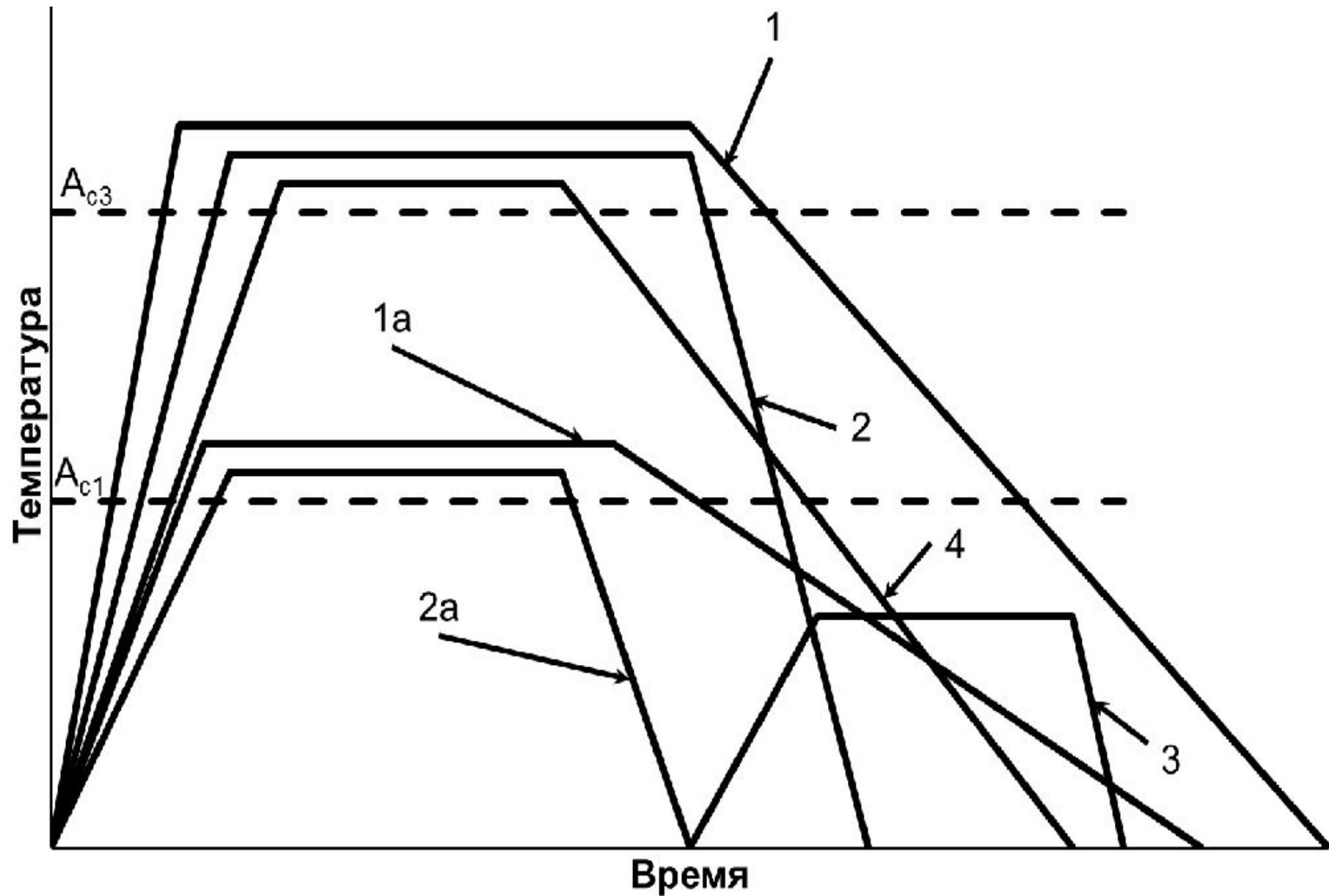


Рис. 29.1. Графики различных видов ТО:
отжига (1, 1а), заковки (2, 2а), отпуска (3), нормализации (4)

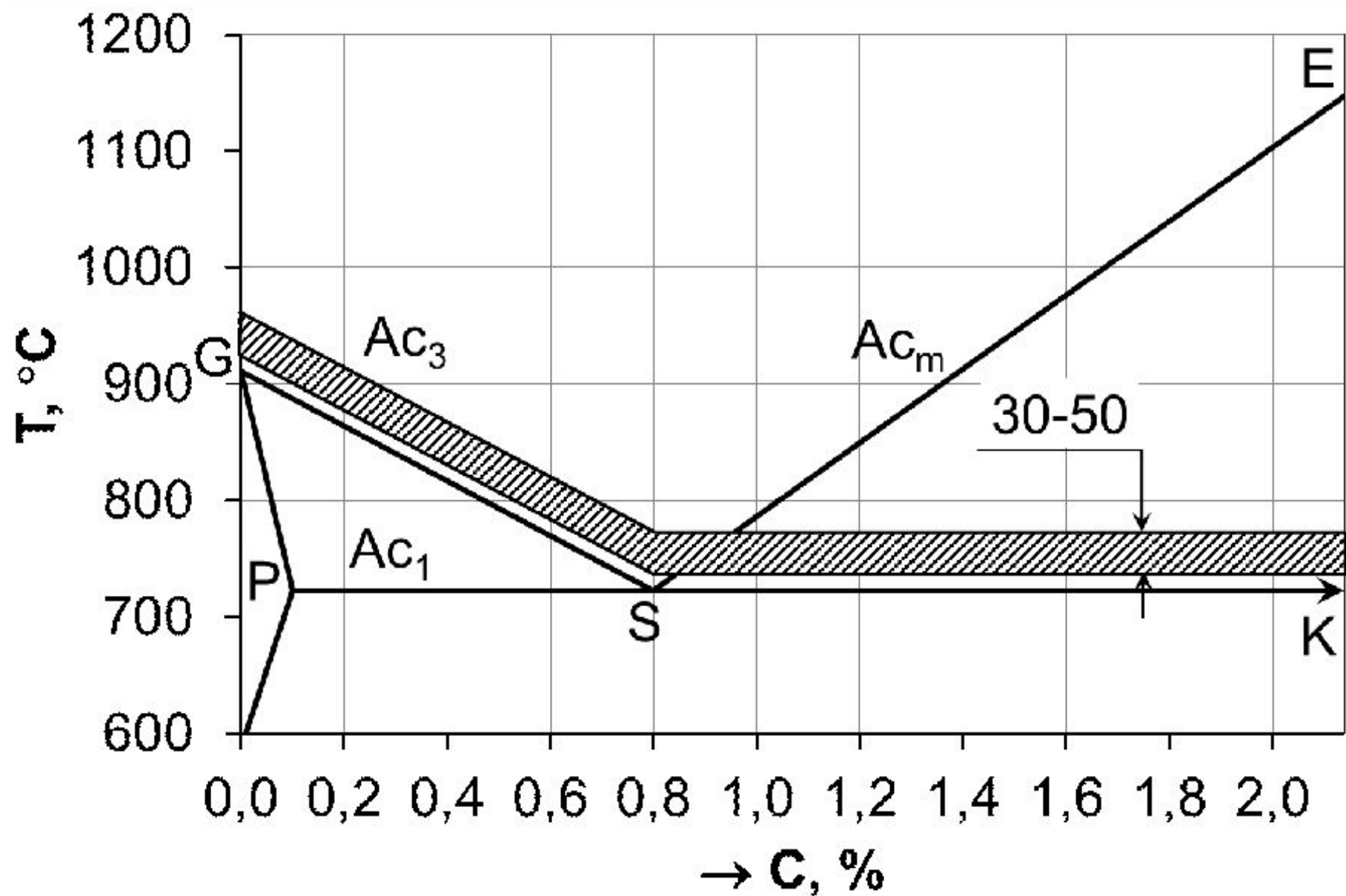


Рис. 30.1. Левая часть диаграммы «Fe-Fe₃C». Оптимальный T-интервал нагрева стали под закалку

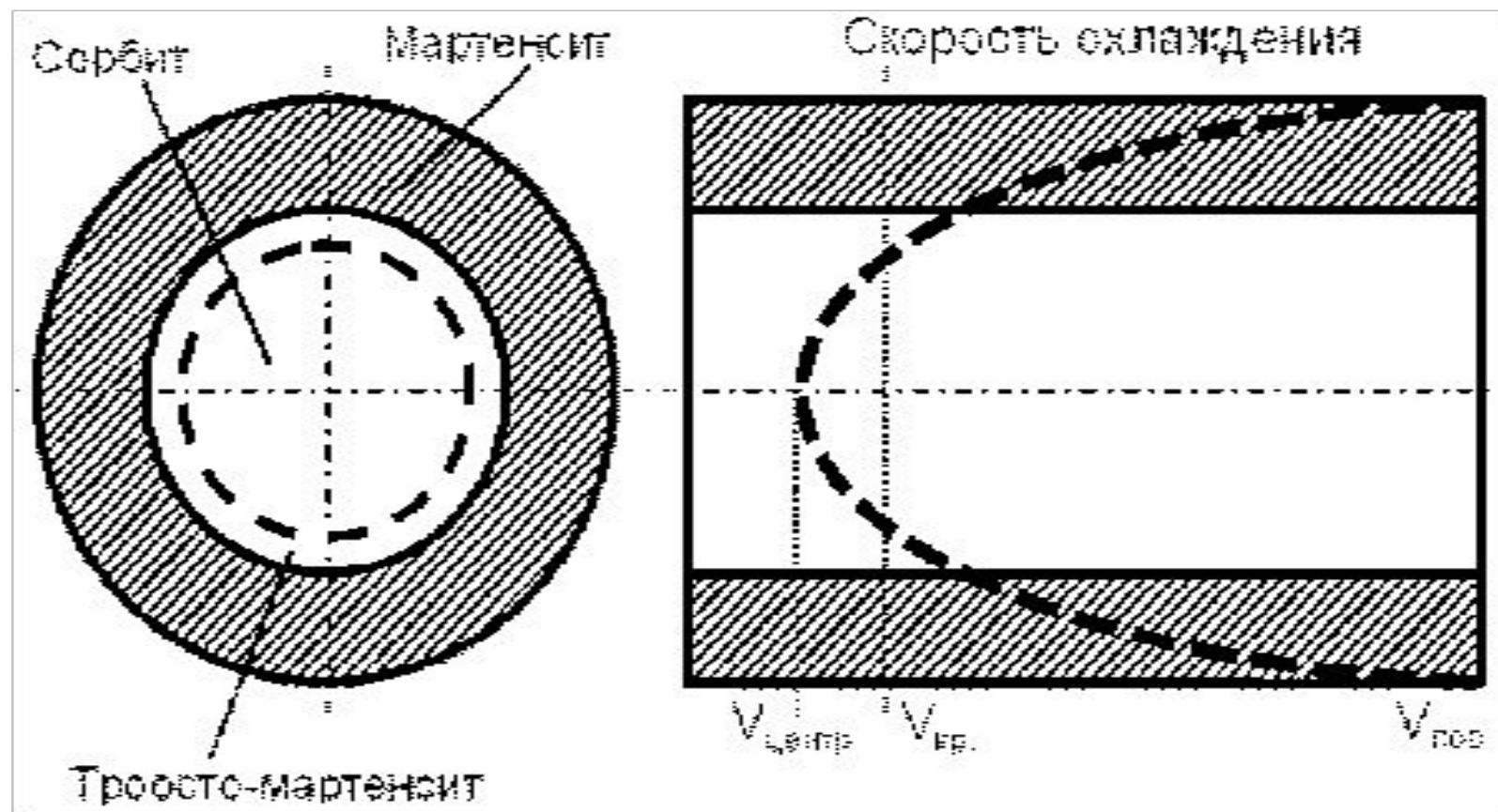


Рис. 30.2. Распределение скоростей охлаждения при закалке цилиндрического изделия и соответствующее распределение структур по его сечению (глубина закалённого слоя заштрихована)

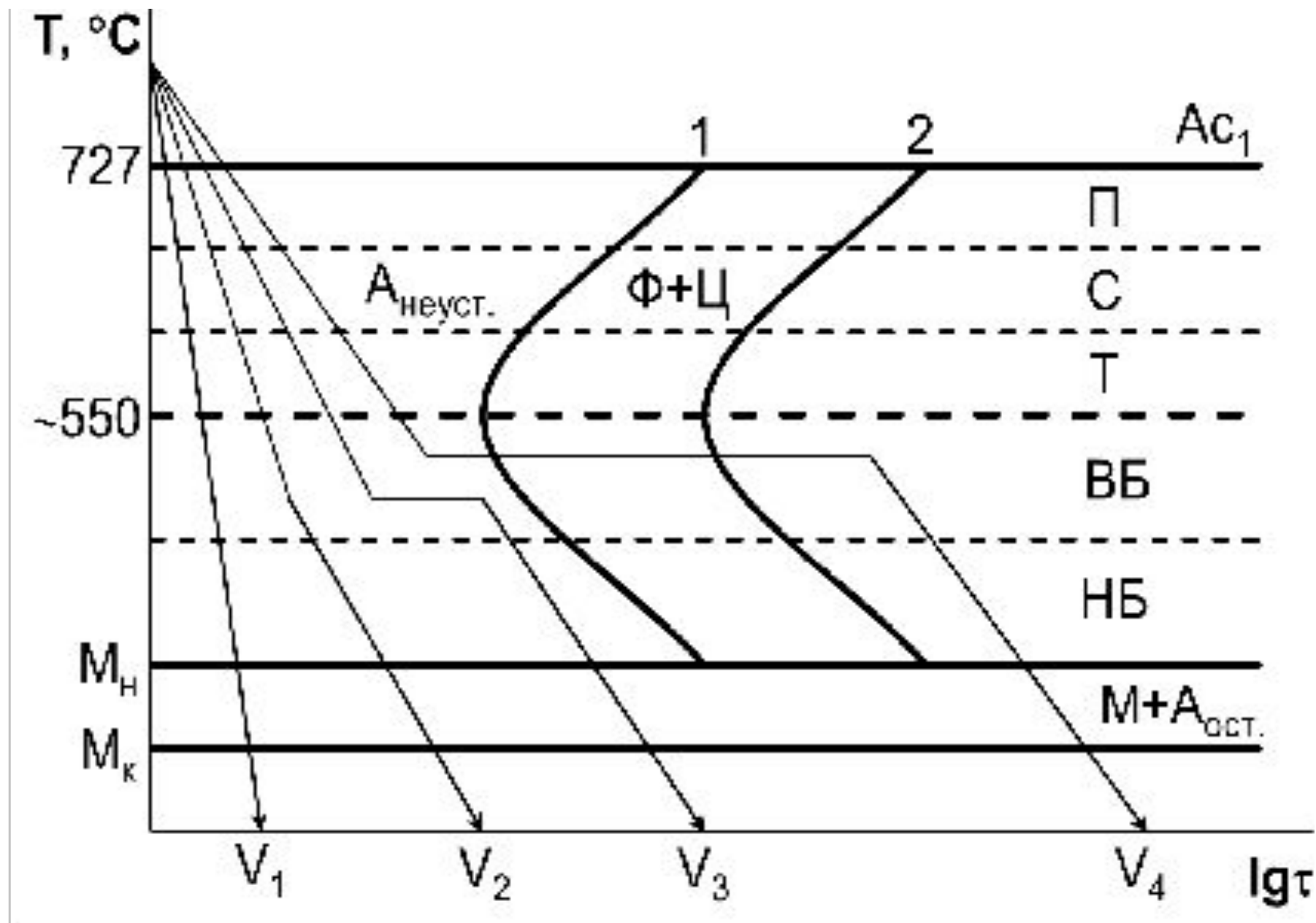
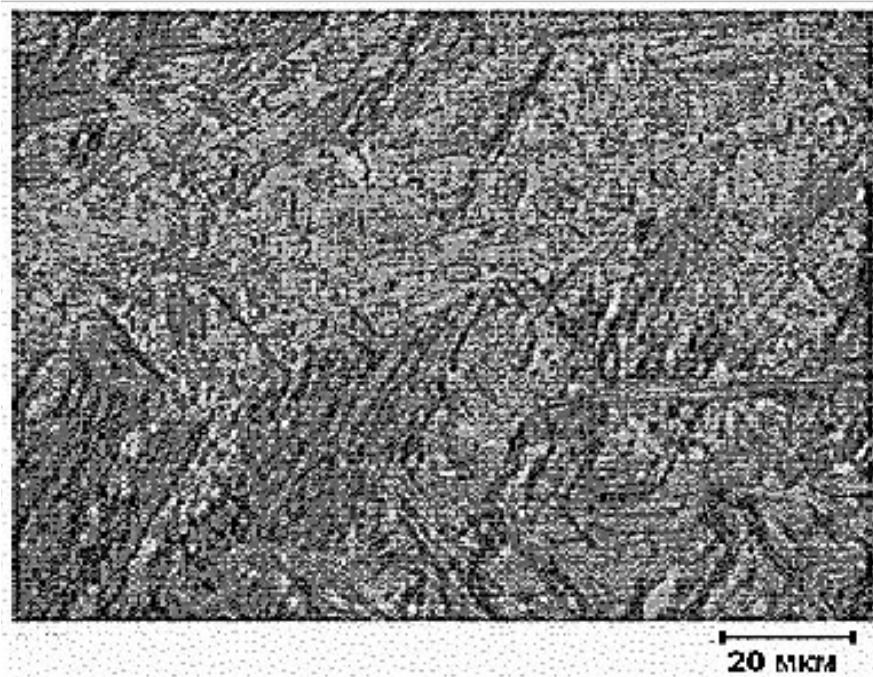
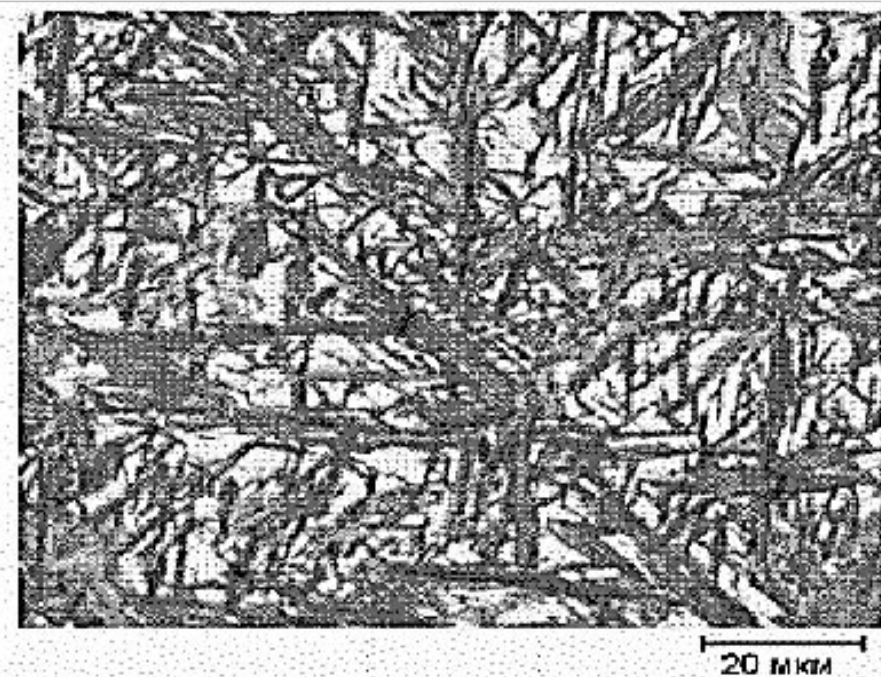


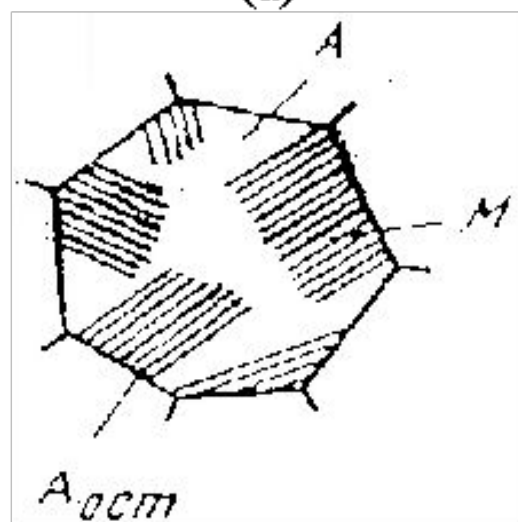
Рис. 30.3. Разновидности закалки



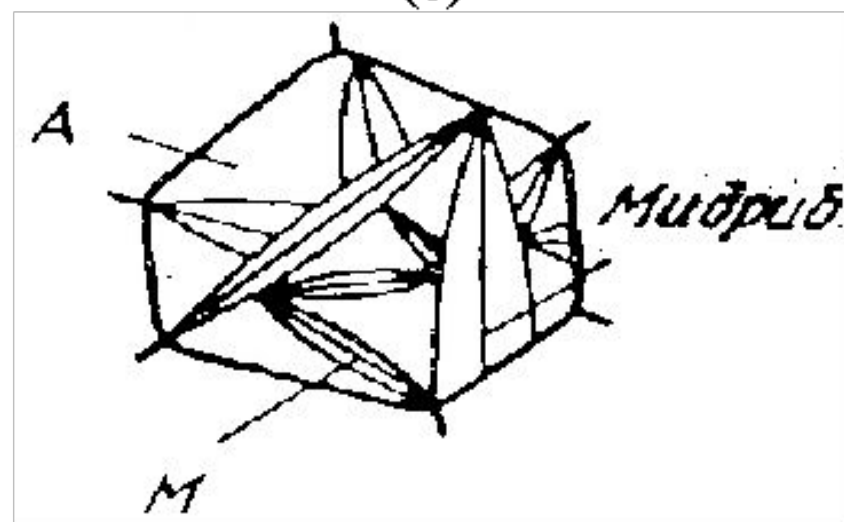
(a)



(б)



(в)



(г)

Рис. 30.4. Структуры и схемы реечного (а, в) и пластинчатого (игольчатого) (б, г) мартенсита

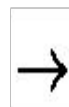


Рис. 30.5. Стадии образования мартенсита

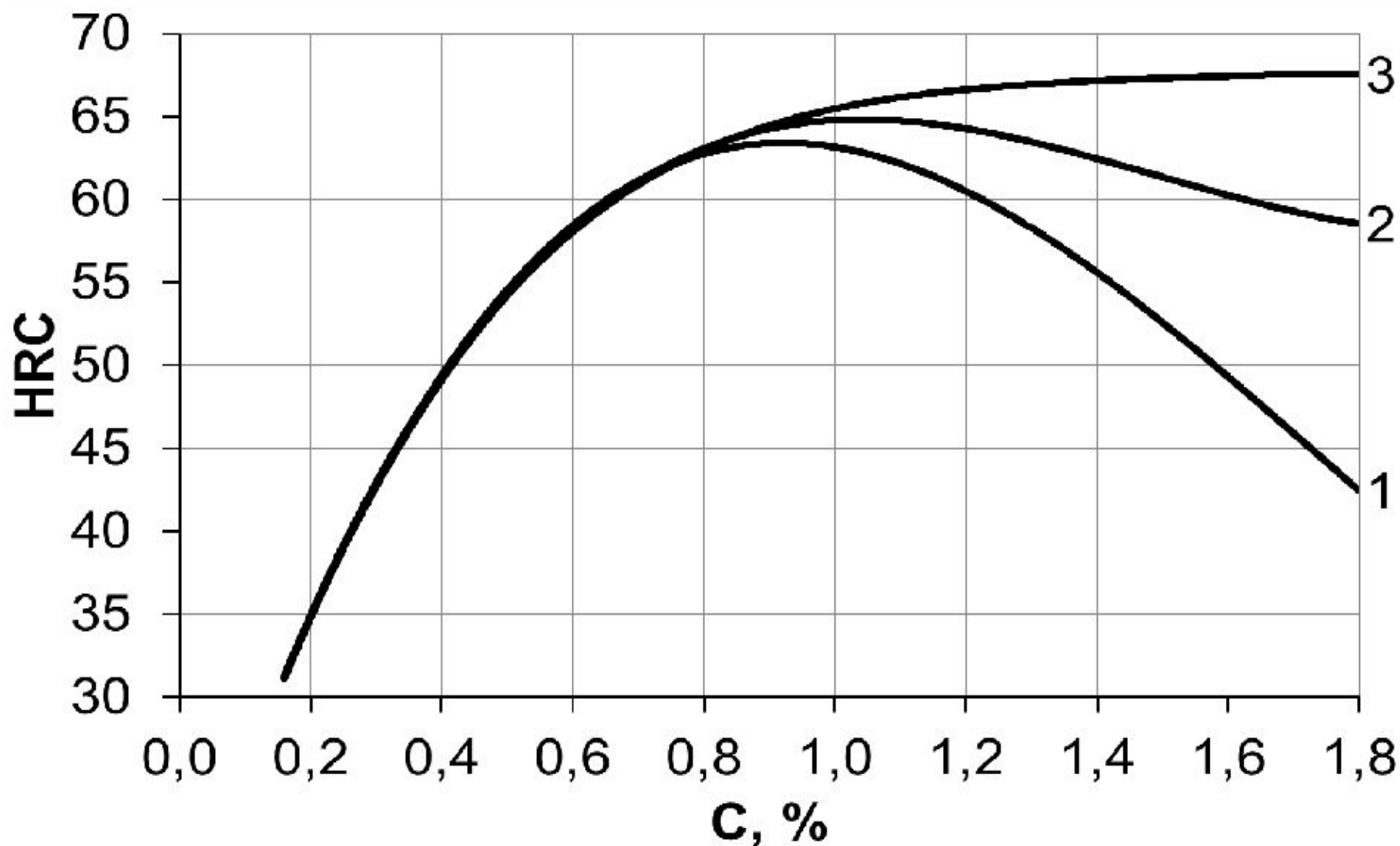


Рис. 30.6. Твёрдость HRC стали в зависимости от содержания С и $T_{\text{нагр}}$ под закалку: 1 – нагрев в аустенитную область (полная закалка); 2 – твёрдость заэвтектоидных сплавов при нагреве выше A_{c1} (неполная закалка); 3 – микротвёрдость мартенсита



Рис. 31.1.

Структура верхнего бейнита



Рис. 31.2.

Структура нижнего бейнита

T, °C

Ac₁ (727)



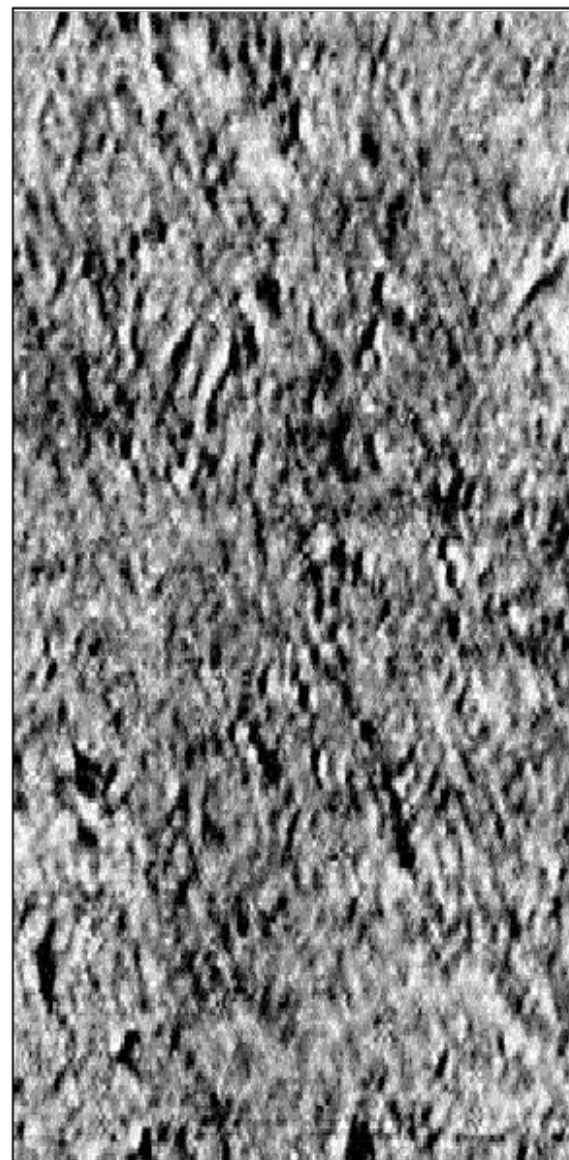
Рис. 33.1. Разновидности отпуска стали и получаемые структуры



(a)



(б)



(в)

Рис. 33.2. Структуры мартенсита (а), троостита (б) и сорбита (в) отпуска

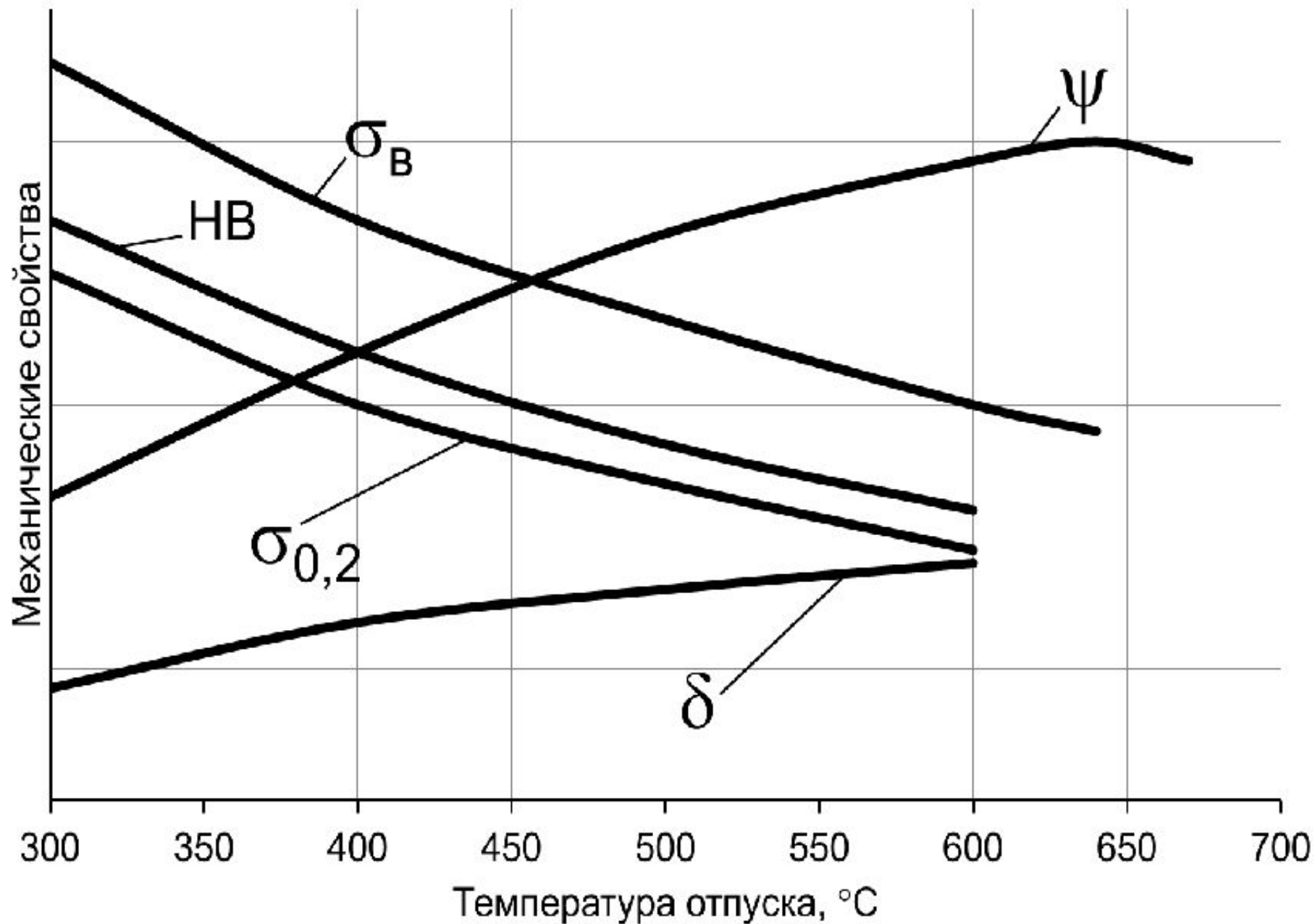
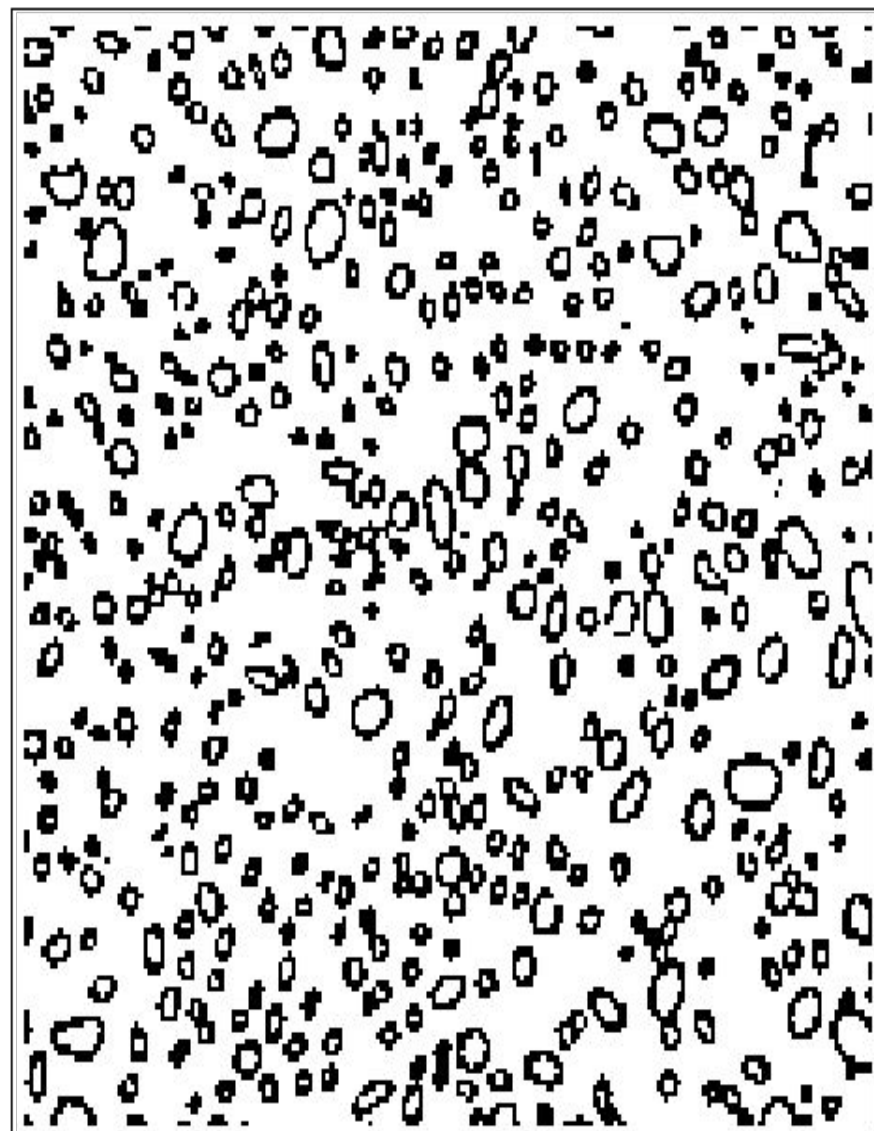
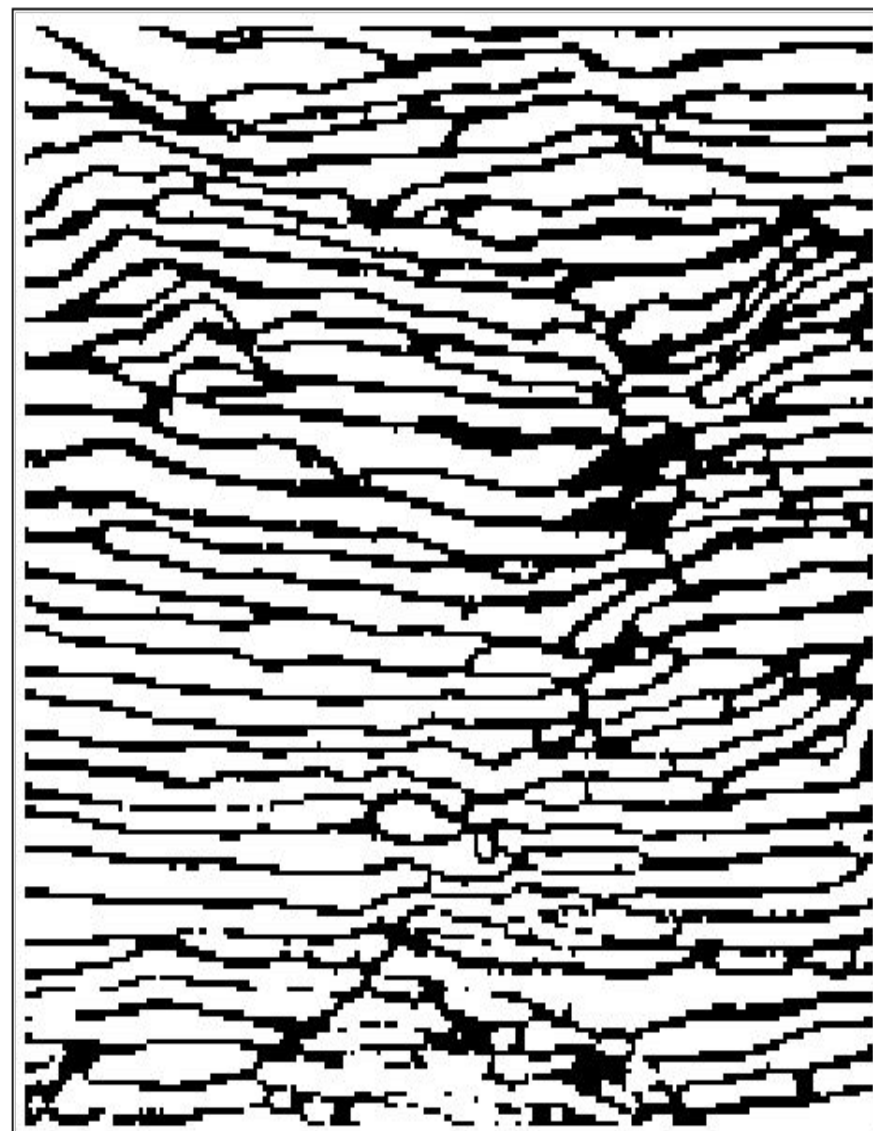


Рис. 33.3. Схема влияния T отпуска на механические свойства стали



(a)



(б)

Рис. 33.4. Схема структуры зернистой (а) и пластинчатой (б) феррито-цементной смеси

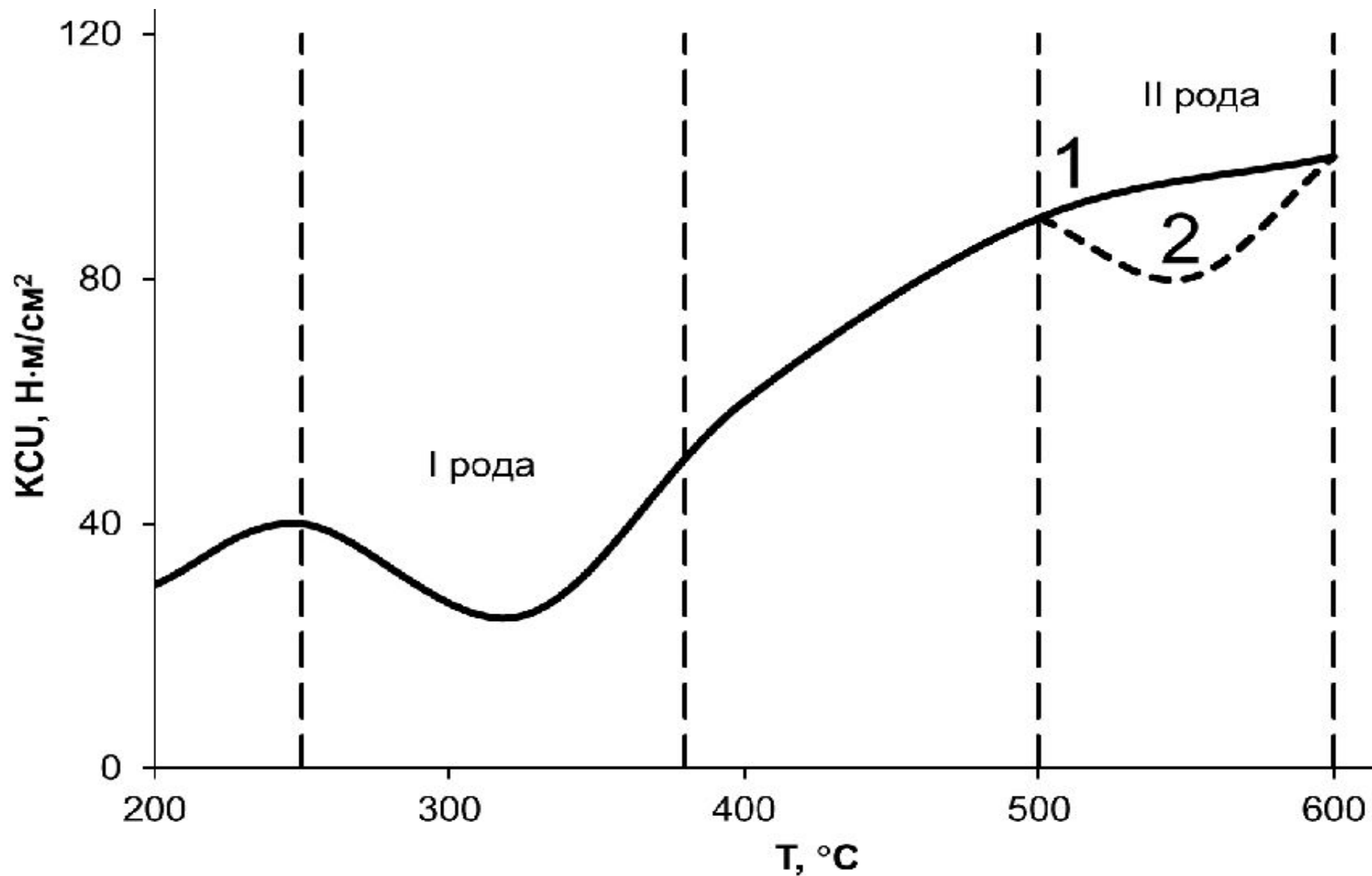


Рис. 33.5. Влияние T отпуска и скорости охлаждения на ударную вязкость сталей (1 – быстрое охлаждение, 2 – медленное охлаждение)

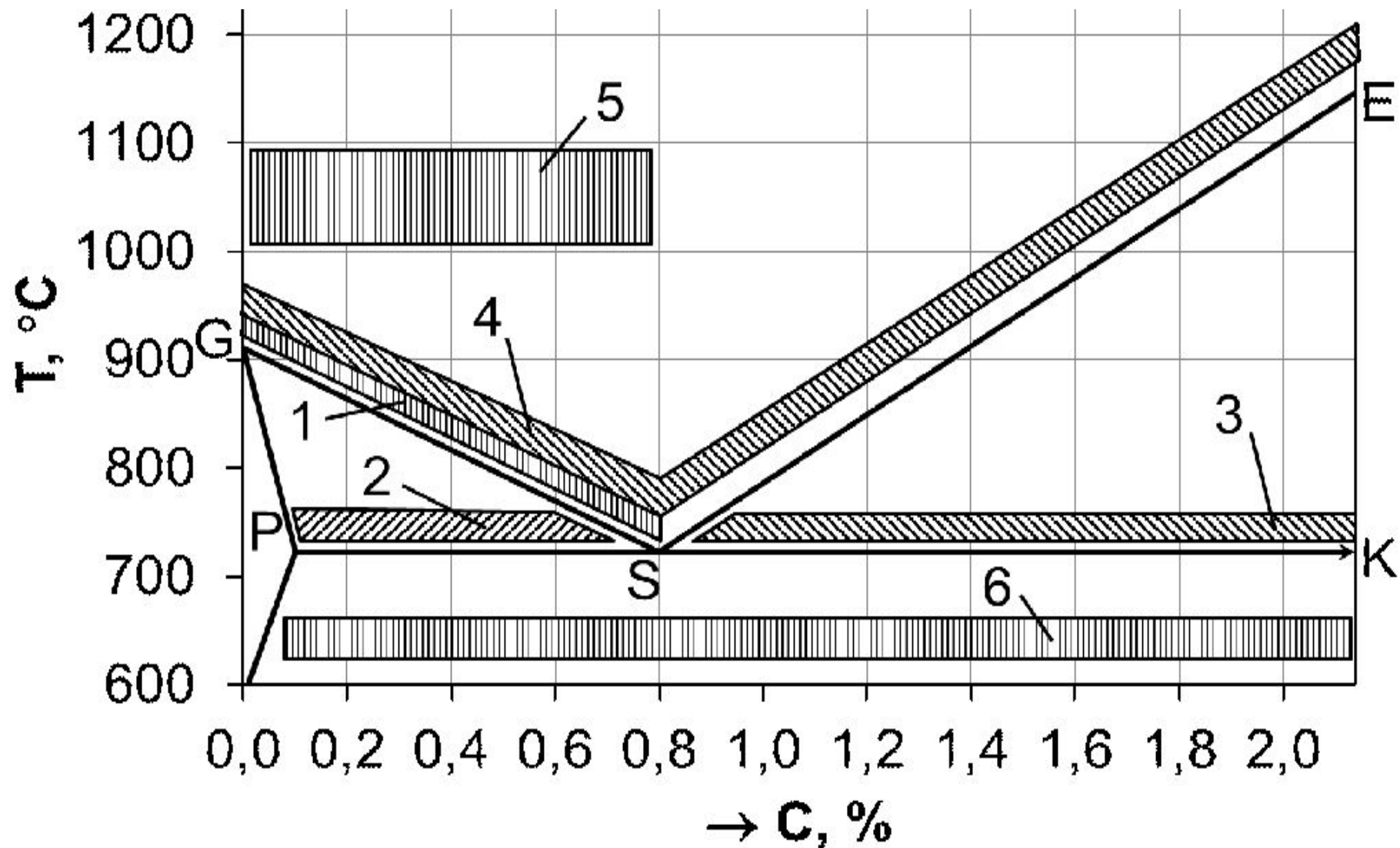
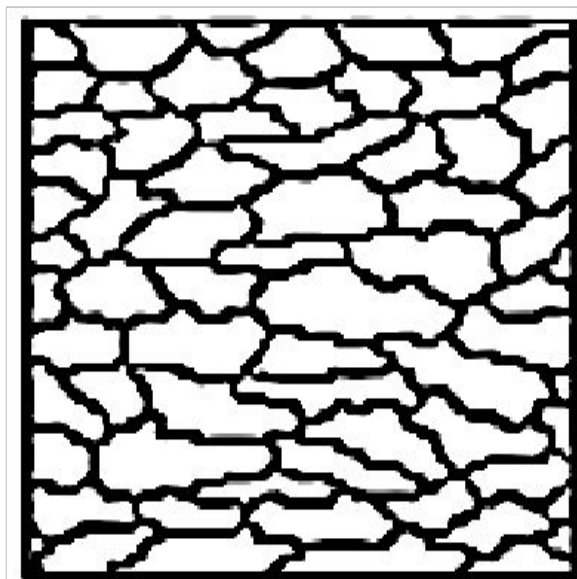
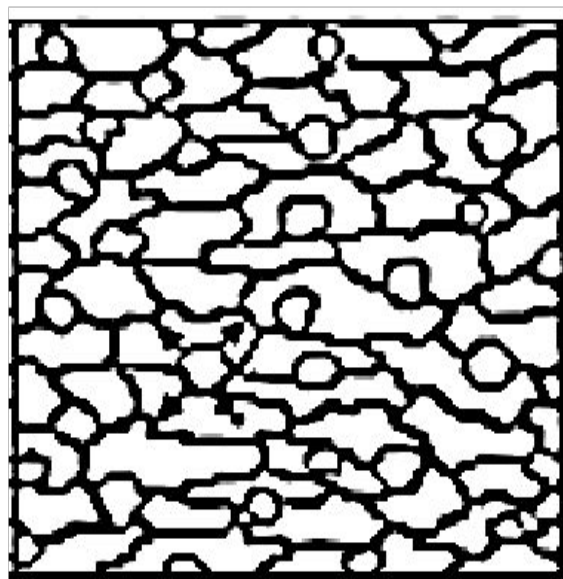


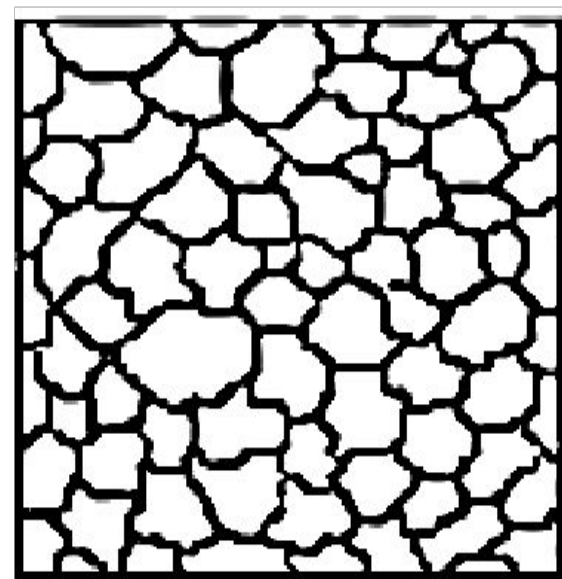
Рис. 34.1. $T_{\text{нагр}}$ стали при некоторых видах отжига 1-го и 2-го рода:
 1 – полный отжиг; 2 – неполный отжиг; 3 – сфероидизирующий отжиг;
 4 – нормализационный отжиг (нормализация); 5 – гомогенизация;
 6 – рекристаллизационный отжиг



$T < T_{\text{рекр.}}$
наклёп

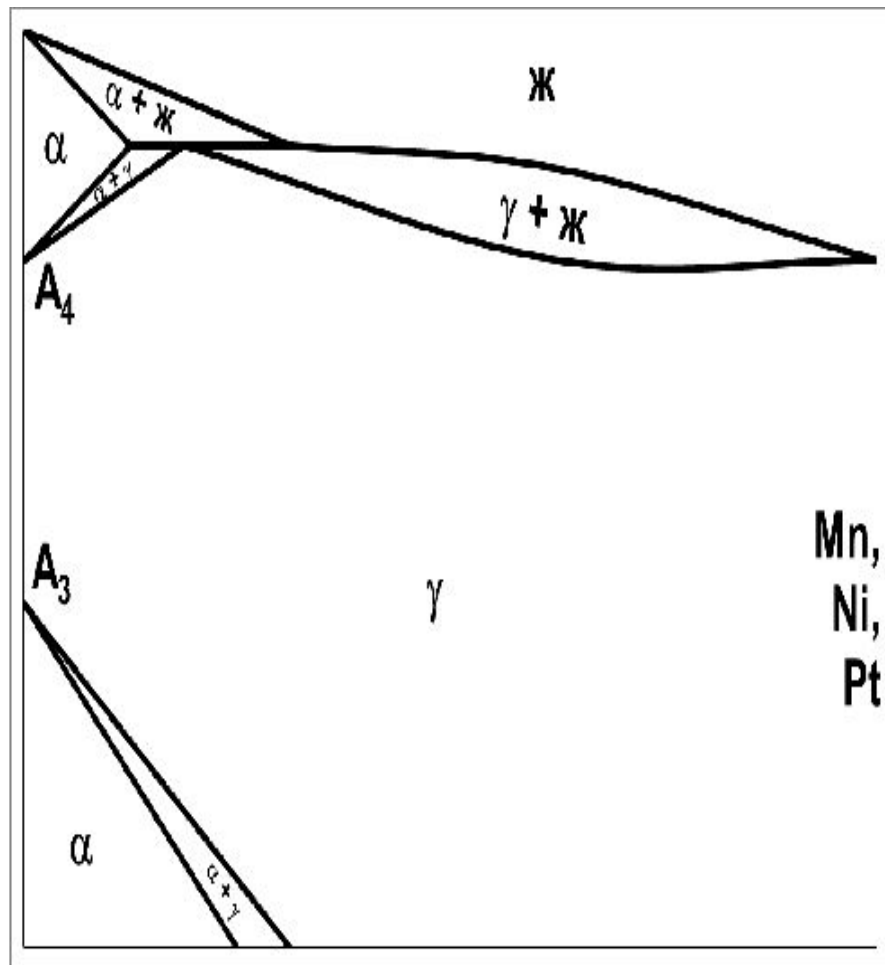


$T = T_{\text{рекр.}}$
начало первичной
рекристаллизации

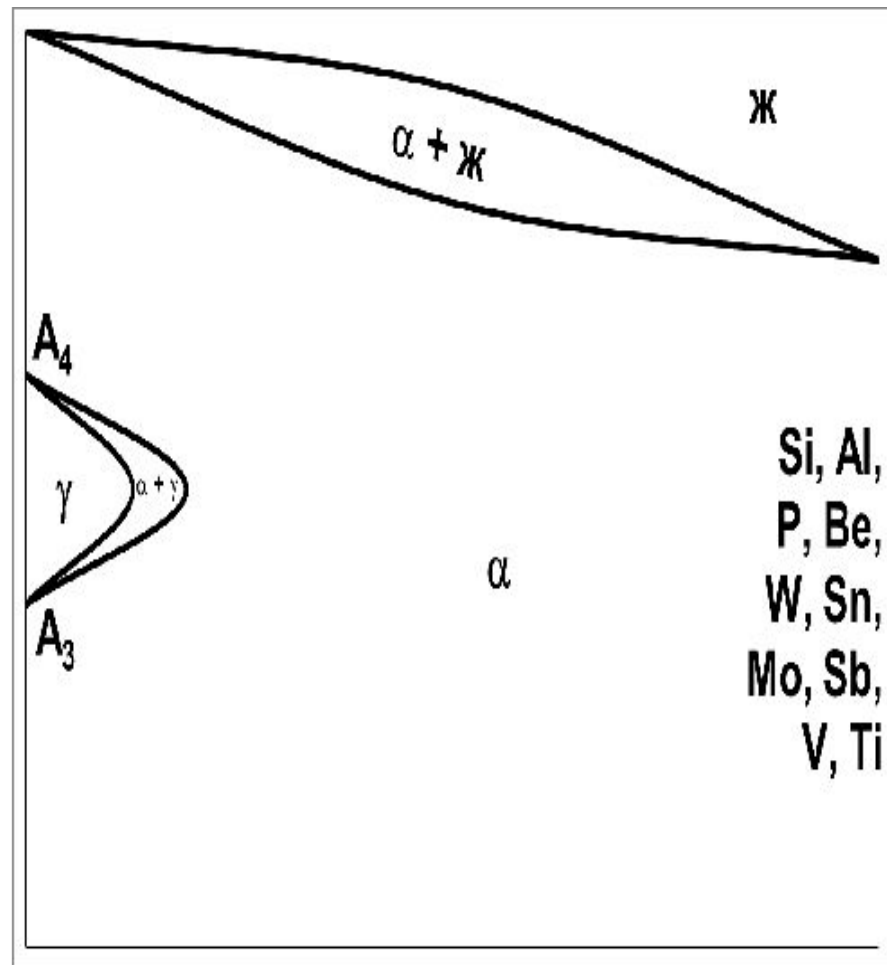


$T > T_{\text{рекр.}}$
окончание первичной
рекристаллизации

Рис. 34.2. Изменение структуры наклёпанного металла при рекристаллизационном отжиге



(а)

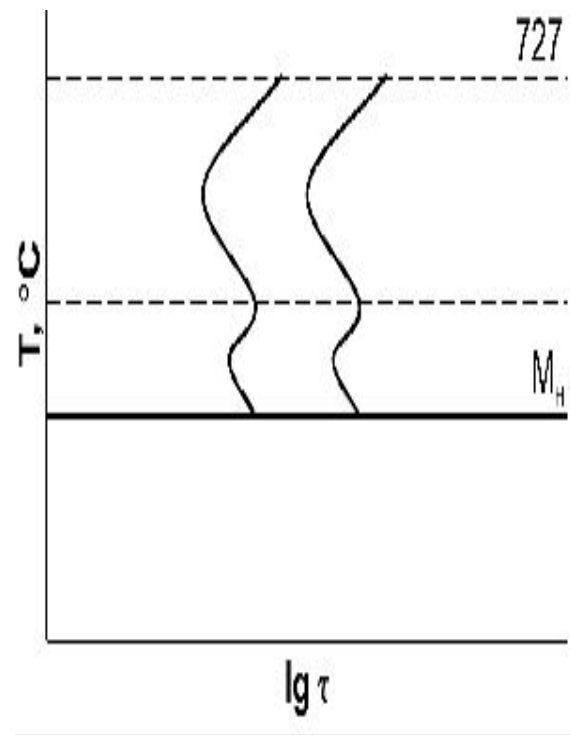


(б)

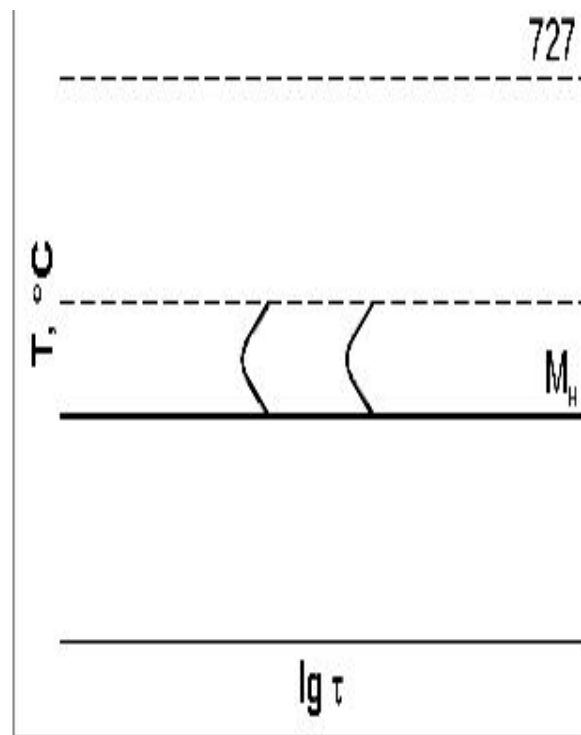
Рис. 35.1. Схематические диаграммы состояния «Fe-ЛЭ»:

а – для ЛЭ, расширяющих аустенитную область;

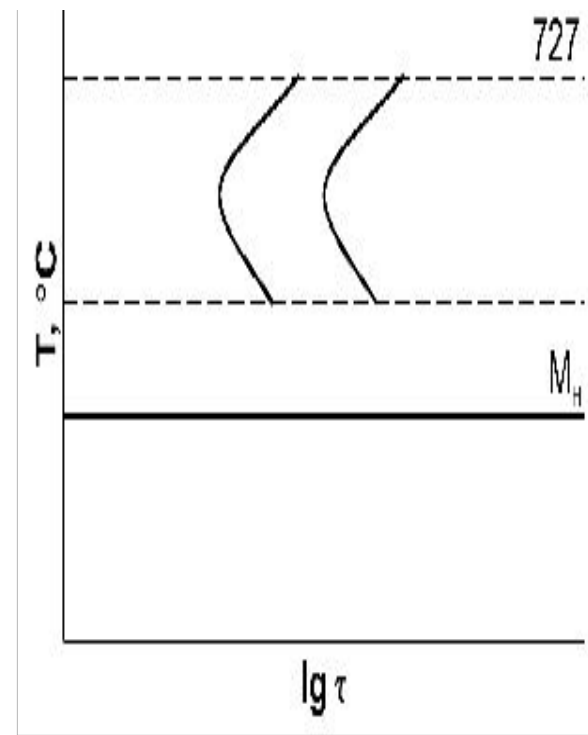
б – для ЛЭ, сужающих аустенитную область



(а)

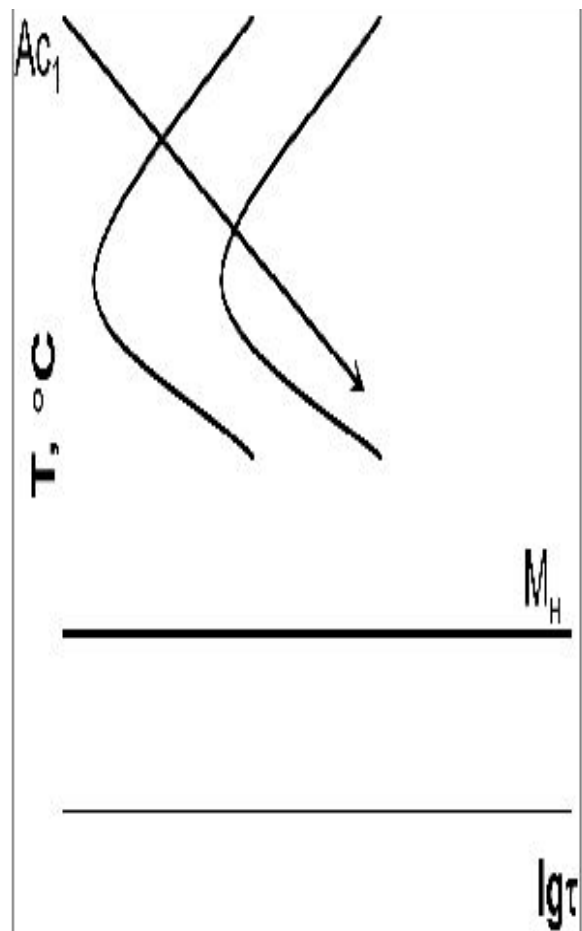


(б)

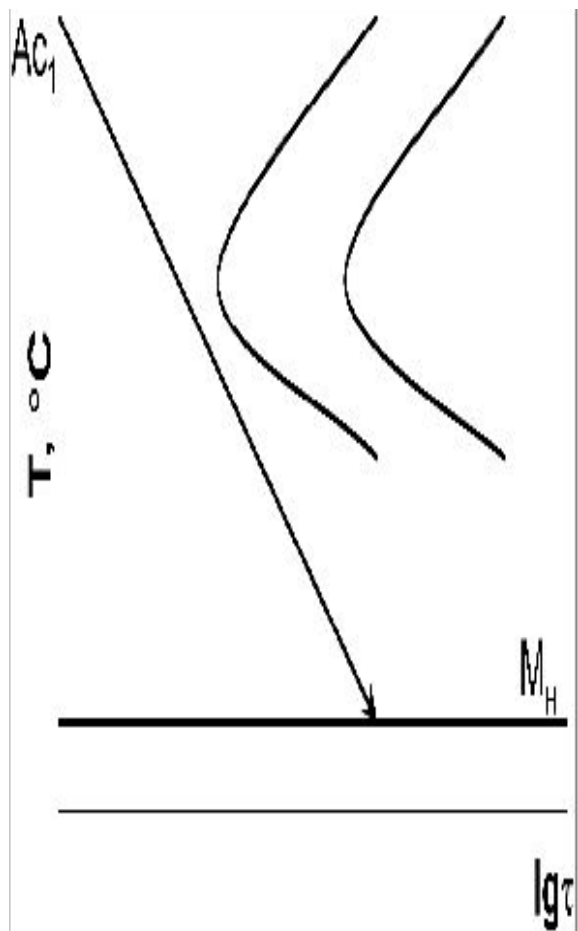


(в)

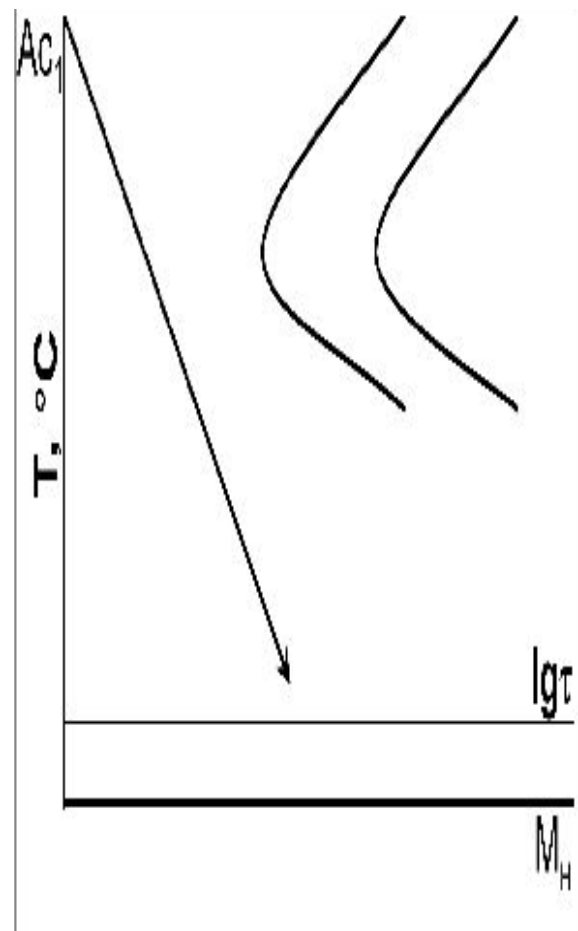
Рис. 35.2. Диаграммы изотермического превращения аустенита для высоколегированных инструментальных сталей (а), высокохромистых коррозионностойких сталей (б) и сложнолегированных конструкционных сталей (в)



(а)

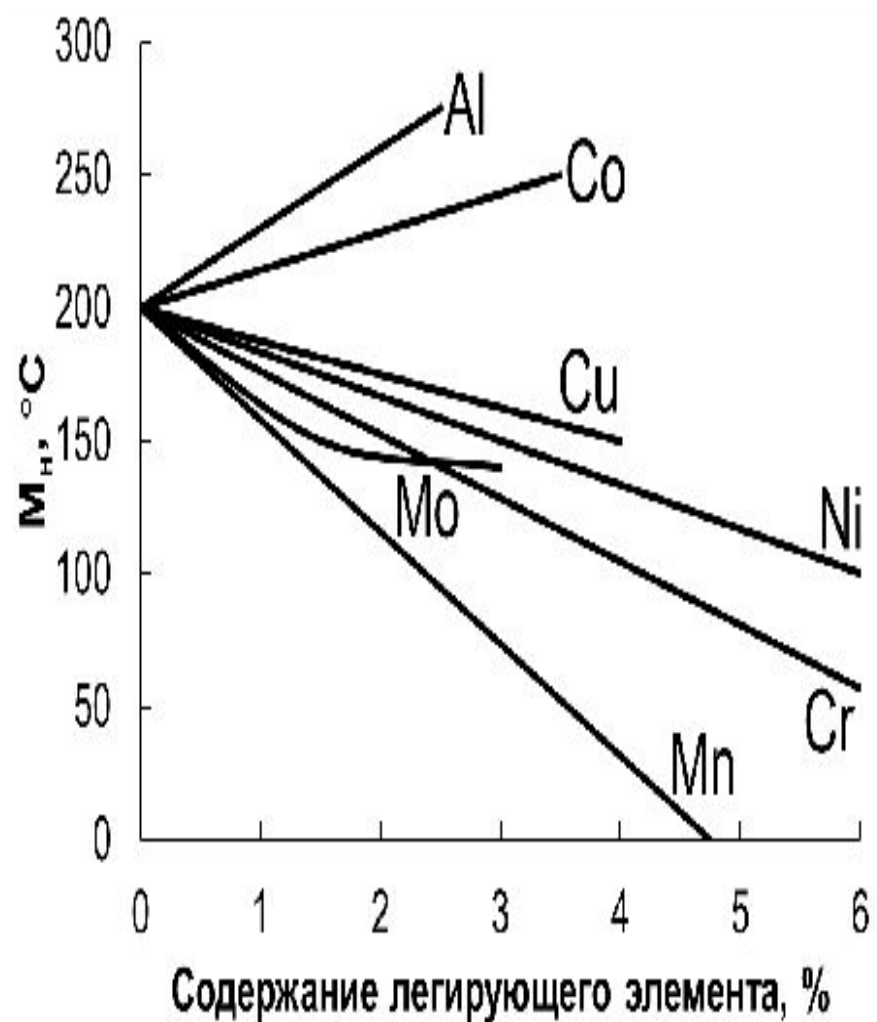


(б)

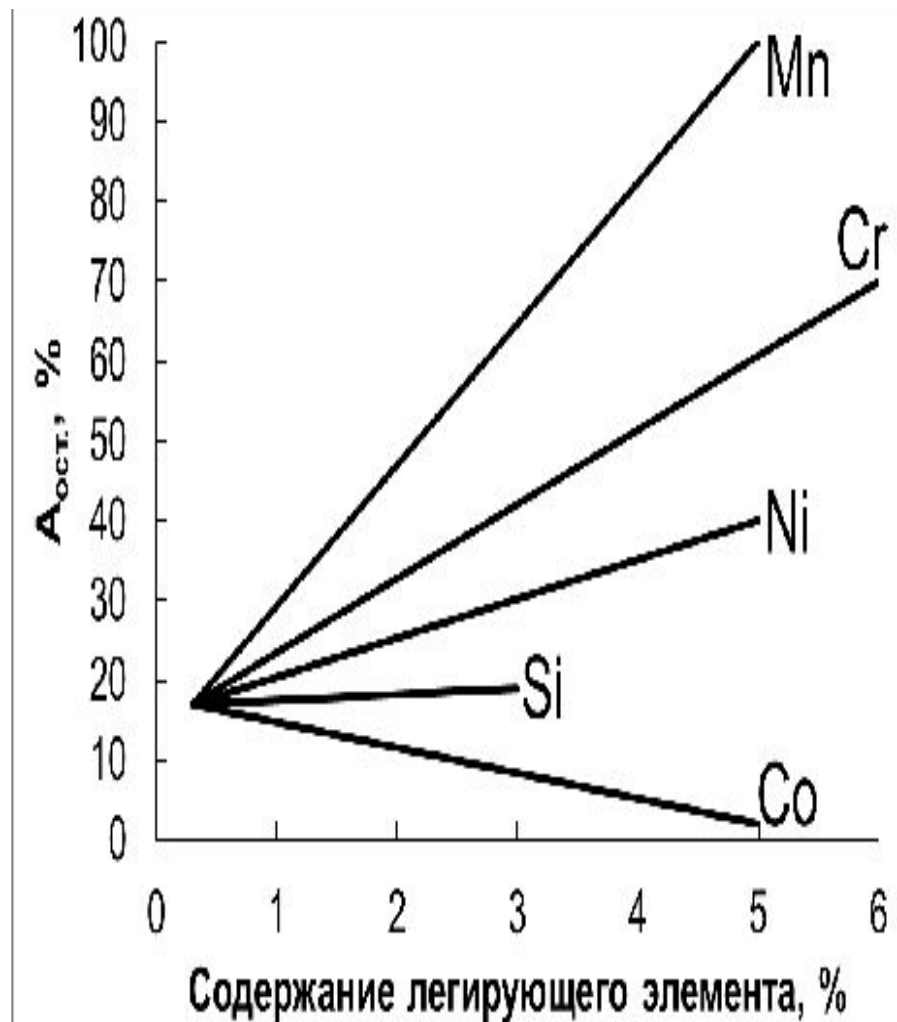


(в)

Рис. 36.1. Диаграммы изотермического распада аустенита для сталей перлитного (а), мартенситного (б) и аустенитного (в) классов



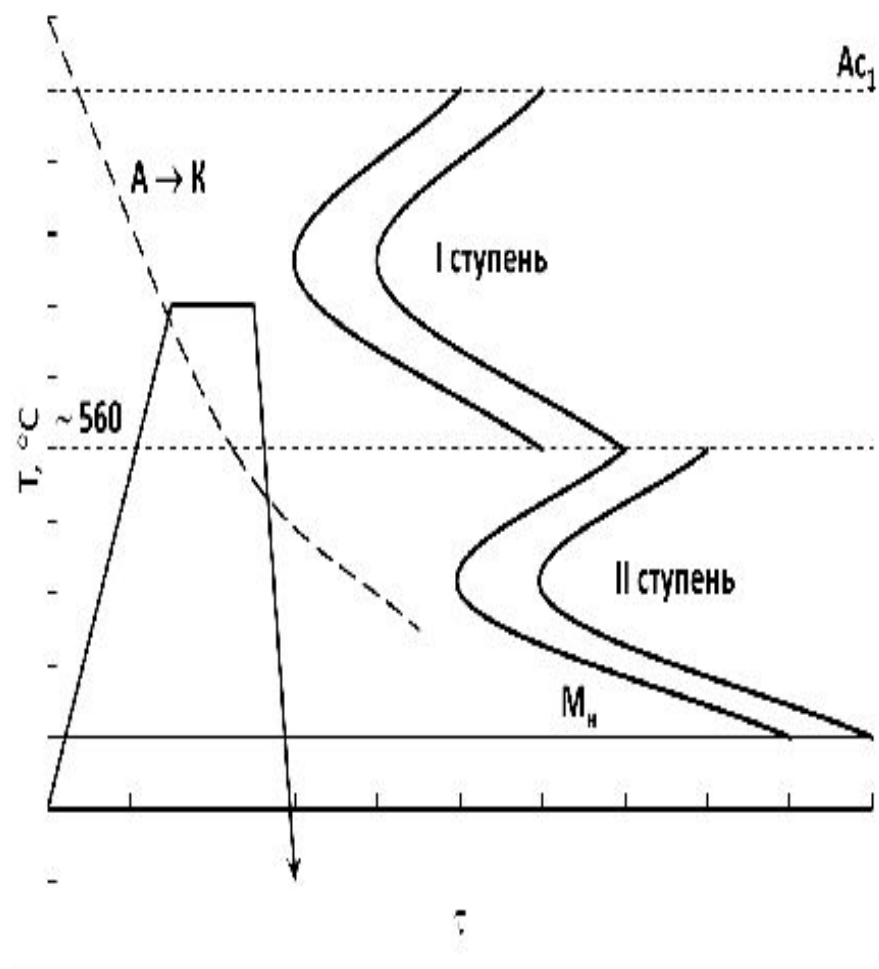
(a)



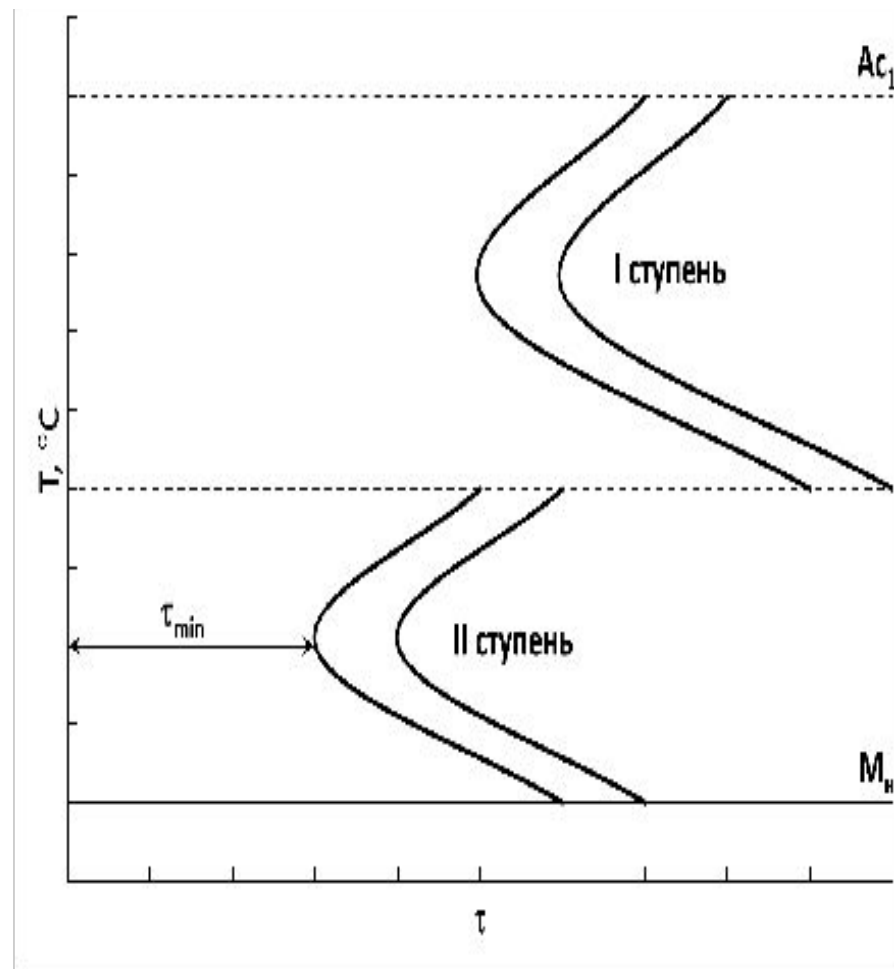
(б)

Рис. 37.1. Влияние легирующих элементов в стали У10 на:

T мартенситного превращения (а), количество остаточного аустенита (б)



(а)



(б)

Рис. 37.2. Диаграммы изотермического распада аустенита легированных сталей с различным расположением ступени бейнитного превращения и нанесённым графиком отпуска на вторичную твёрдость

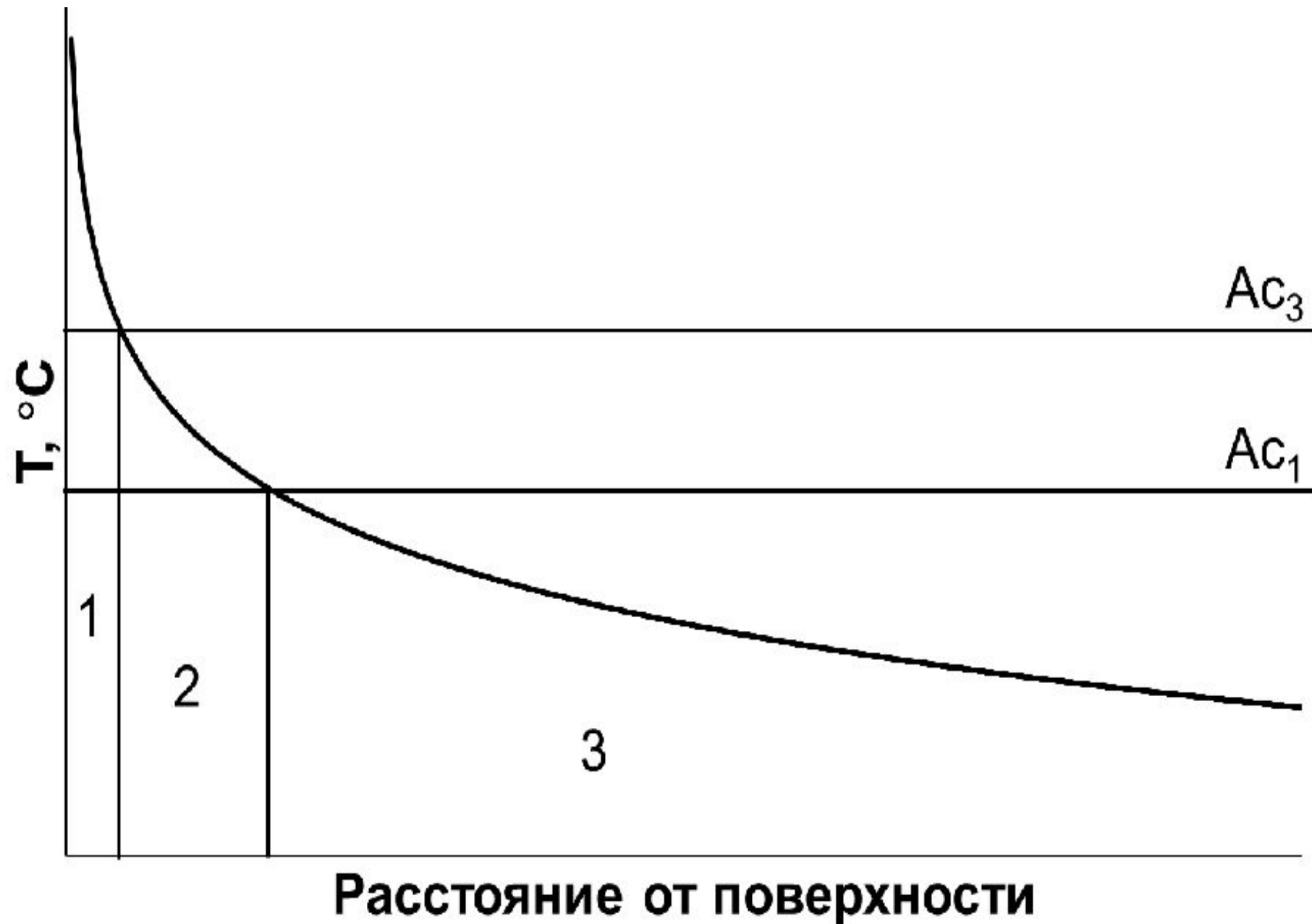


Рис. 38.1. Т-распределение по глубине при поверхностной закалке

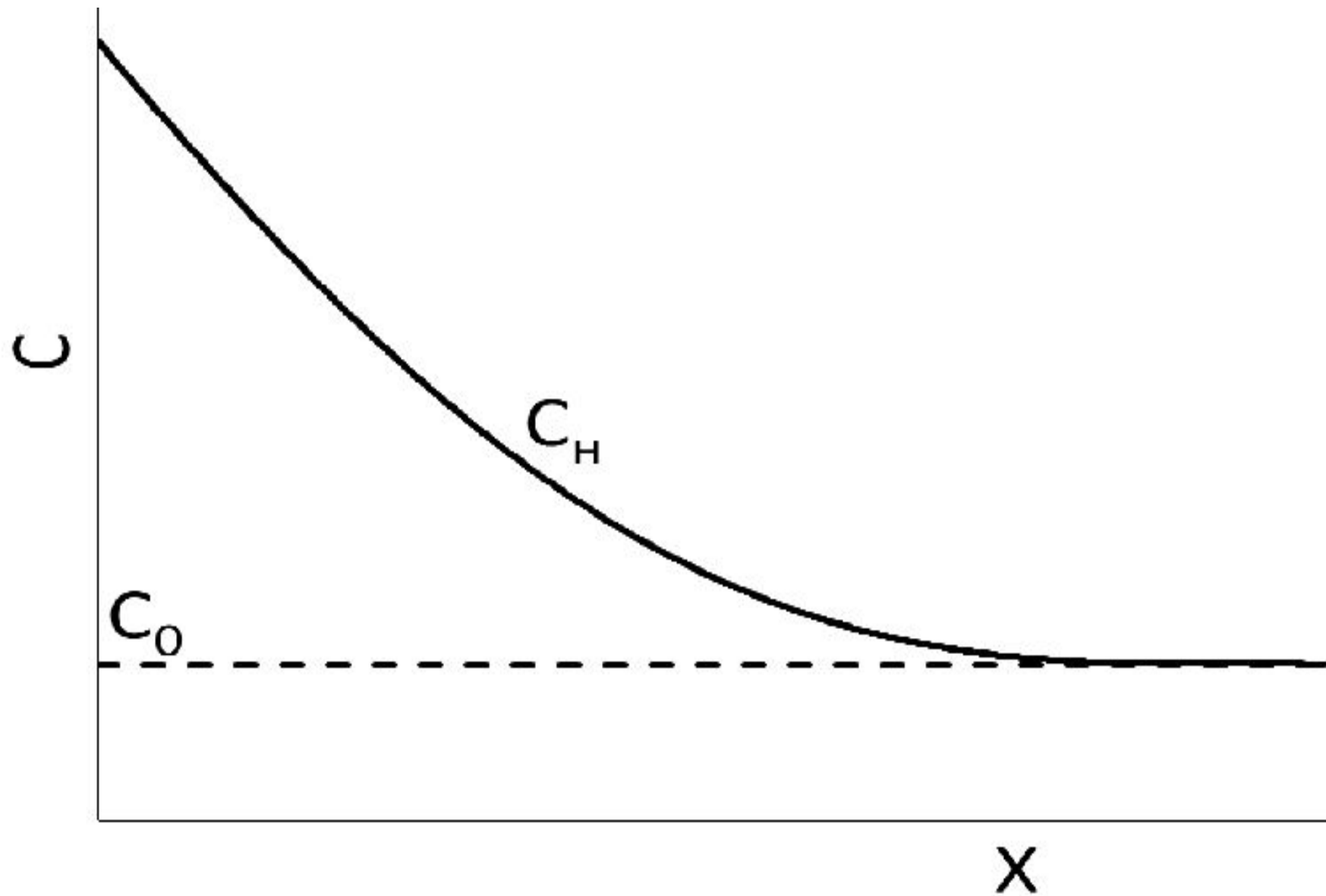


Рис. 38.2. Распределение насыщающего элемента в диффузионной зоне: X – расстояние от поверхности, C₀ – исходная концентрация насыщающего элемента в стали, C_H – концентрация насыщающего элемента



$\text{П} + \text{Ц}_{\text{II}}$

П

$\text{П} + \text{Ф}$

Рис. 38.3. Структура цементованного слоя

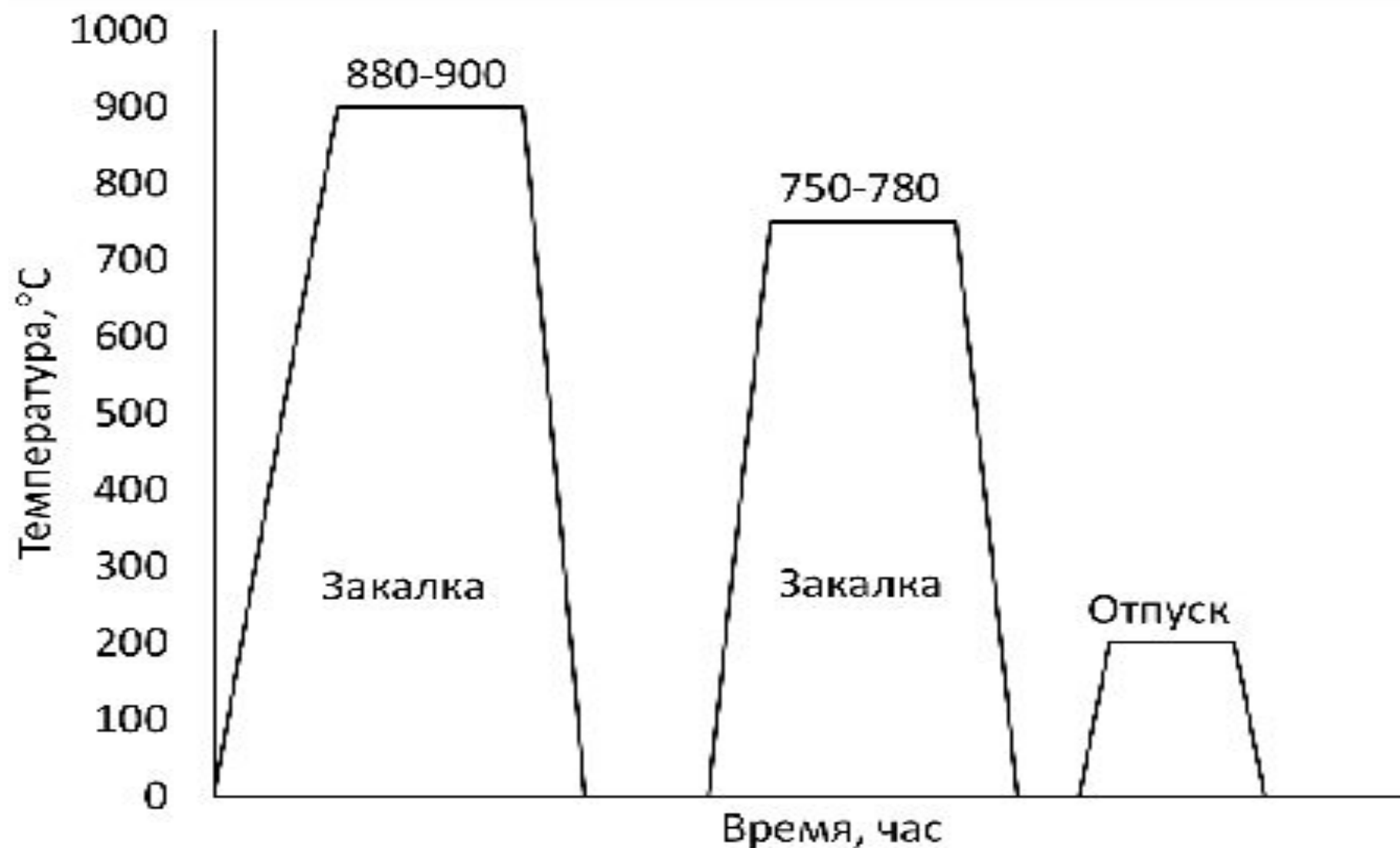


Рис. 38.4. ТО углеродистой стали после цементации

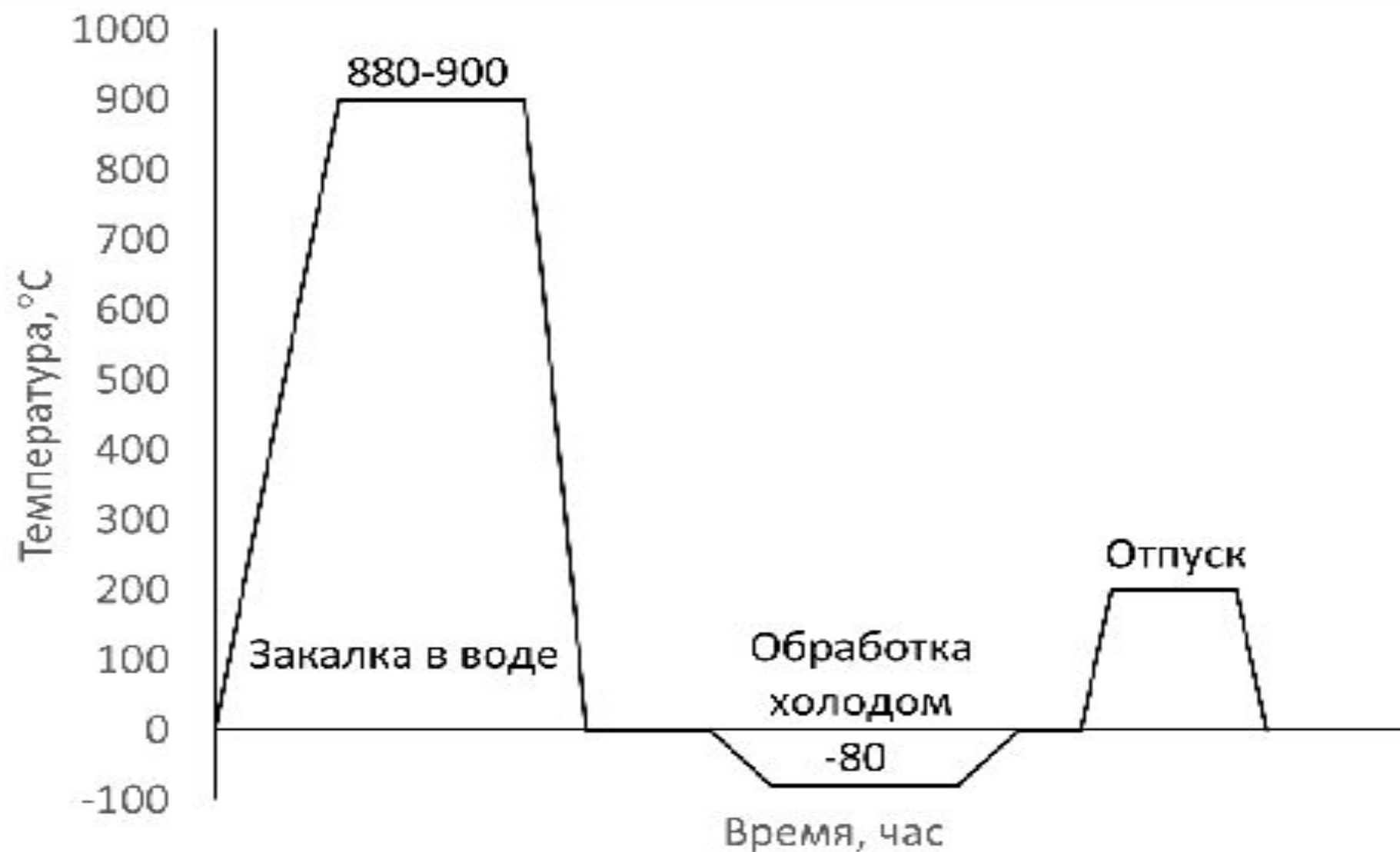


Рис. 38.5. ТО легированной стали после цементации

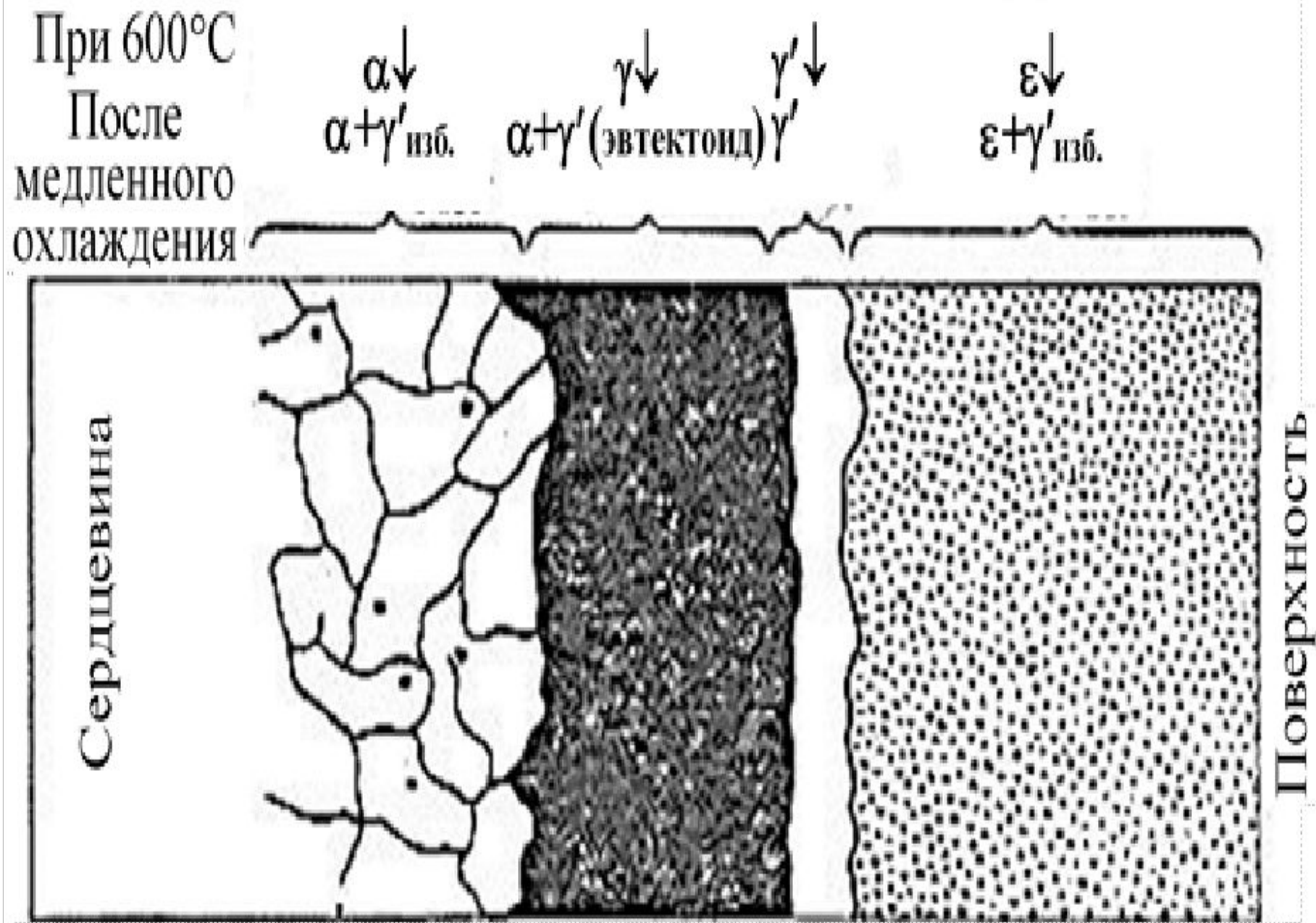


Рис. 38.6. Структура азотированного слоя



Рис. 38.7. Диаграмма состояния «Fe-N»

Процесс ХТО	Состав порошковой смеси, %
Алитувание	49,0-49,5 Al; 49,0-49,5 Al ₂ O ₃ ; 1-2 NH ₄ Cl; 99,5 FeAl; 0,5 NH ₄ Cl
Хромирование	50 FeCr; 43 Al ₂ O ₃ ; 7 NH ₄ Cl; 60 FeCr; 38,8 каолин; 1,2 NH ₄ Cl
Силицирование	40 Si; 59 Al ₂ O ₃ ; 1 NH ₄ Cl; 75 FeSi; 20 шамот; 5 NH ₄ Cl

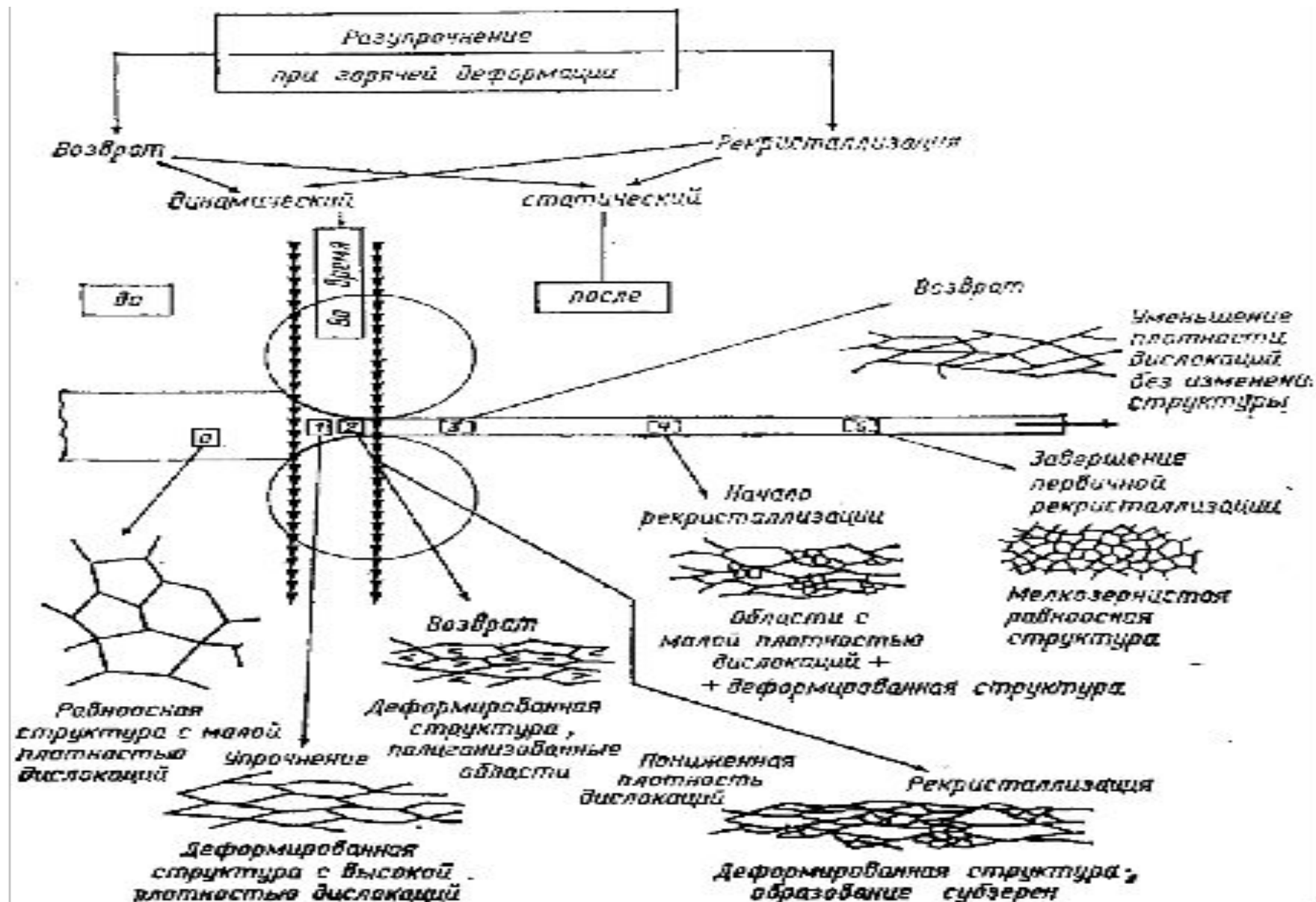


Рис. 38.8. Схема процессов разупрочнения при горячей прокатке

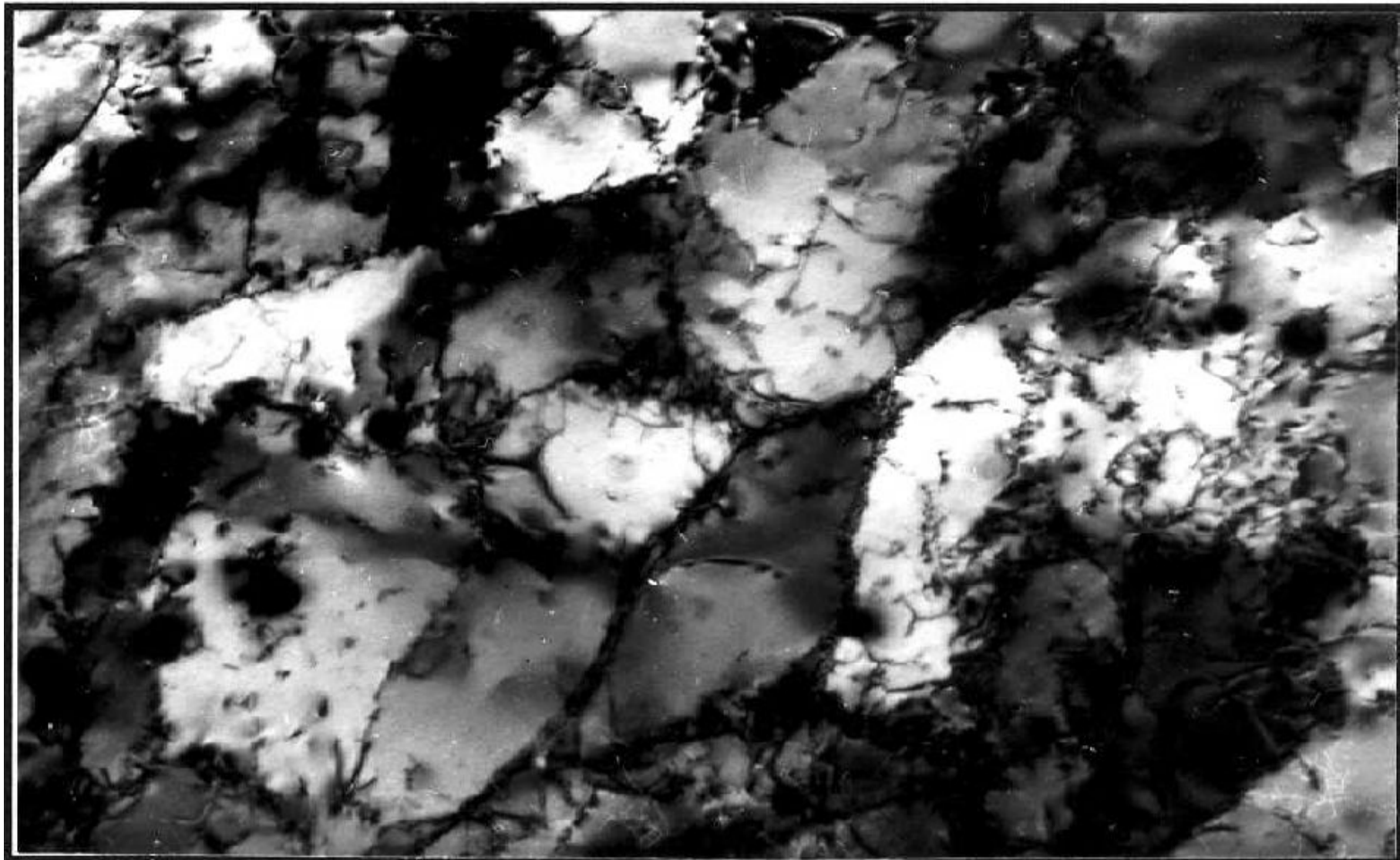


Рис. 38.9. Структура горячедеформированной аустенитной стали X18H10T после большой степени деформации ($\epsilon = 35-40\%$) с хорошо развитой субзеренной структурой, размеры субзерен около 1 мкм в поперечнике;
 $\times 22\ 000$

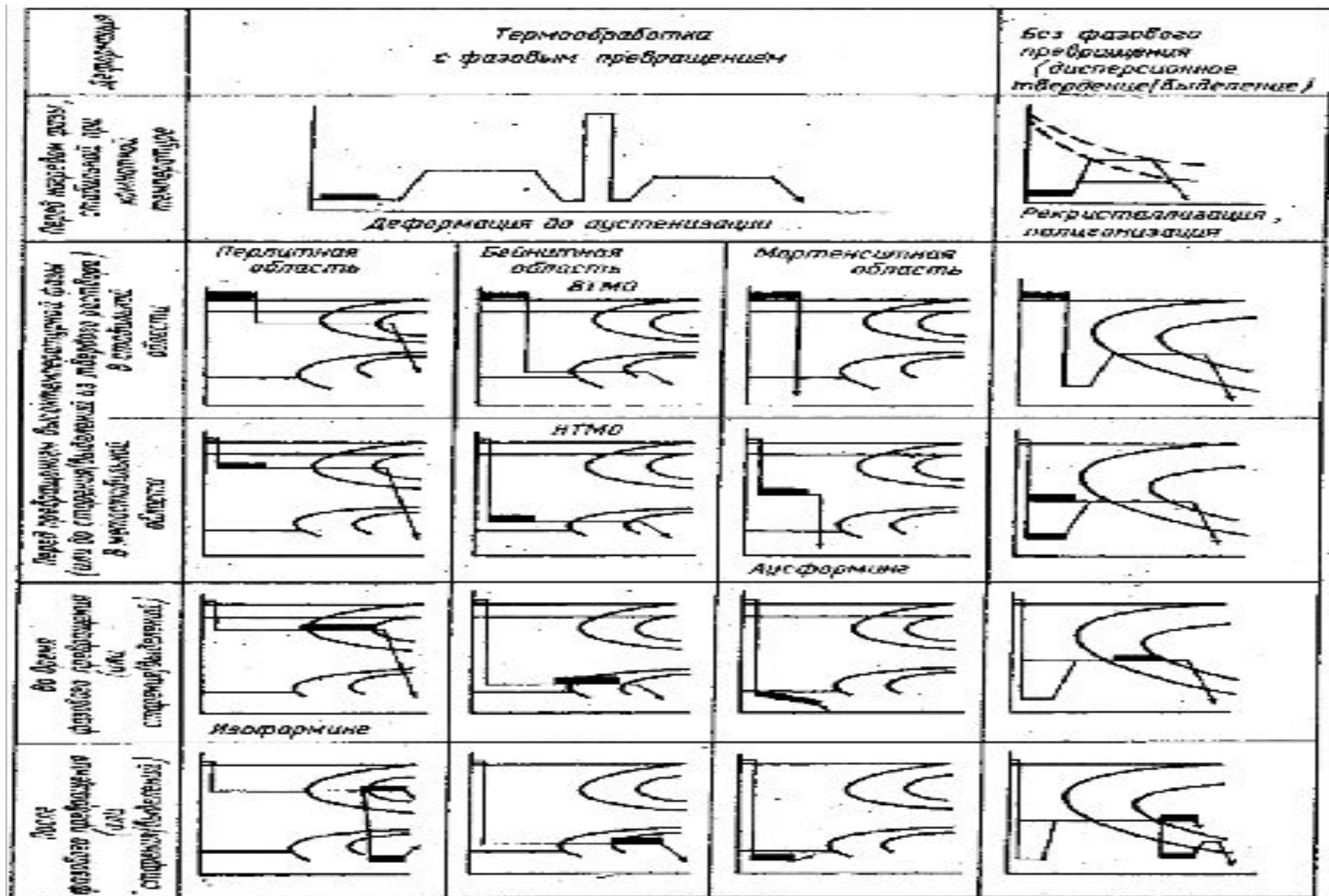


Рис. 38.10. Классификация видов ТМО

Конструкционные материалы:



Металлические –
сплавы на основе
железа (чистое железо,
стали, чугуны);
стали и сплавы с
особыми физическими
свойствами; цветные
металлы и сплавы;
композиты с
металлической
матрицей

Неметаллические –
полимеры, резины;
композиты материалы с
неметаллической
матрицей;
неорганические
материалы

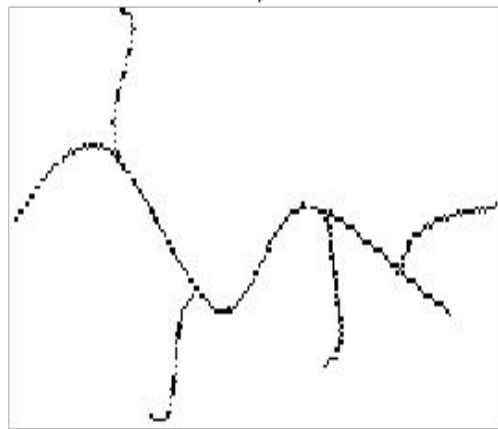
Со специальными
свойствами



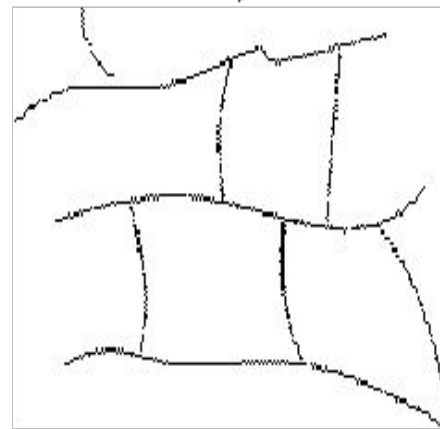
а)



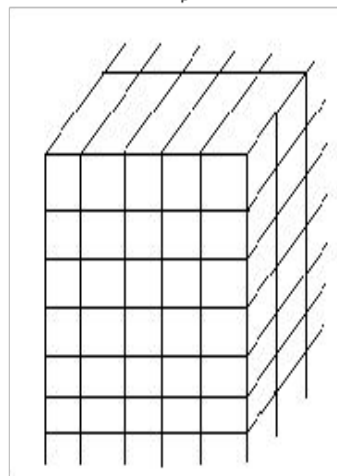
б)



в)



г)



д)

Рис. 39.1. Типы структур полимеров:
линейная (а); линейно-разветвлённая (б);
лестничная (в); сетчатая (г);
пространственная (д).

ПОЛИМЕРЫ



термопластичные

термореактивные

Основа пластмасс



связующее

наполнитель

пластификатор

стабилизатор

краситель

РЕЗИНЫ

↓	↓	↓	↓	↓
Каучук (связующее)	Наполнитель (сажа, оксид кремния, оксид титана, мел, тальк)	Пластификатор (канифоль, вазелин)	Стабилизатор (парафин, воск)	Вулканизатор (сера, оксид цинка)

Процесс изготовления сырой резины: пластифицирование → введение компонентов → смешивание → каландрование.

Процесс изготовления резинового изделия: пластифицирование → смешивание → каландрование → формообразование → вулканизация.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ (стеклопластики, углепластики, оргпластики и др.)



матрица

наполнитель

металлическая

неметаллическая

по геометрии:

нульмерный (порошок), одномерный (нить), двумерный (полотно)

по расположению:

нульмерный, одноосный (нити расположены в одном направлении), двухосный (нити расположены в двух осях), трёхосный (нити образуют пространственную решётку)

СТЕКЛО

3 типа оксидов в стекле



стеклообразующие
(оксиды Si, B, P, As)

модифицирующие
(оксиды ЦМ и ЦЗМ:
(Na, K, Li, Ca, Ba)

промежуточные
(оксиды Al, Pb, Ti, Fe)

Разновидности стекла



Кварцевое стекло

Пеностекло

Ситаллы

МАТЕРИАЛЫ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

↓	↓	↓
электронные материалы	материалы с особыми оптическими свойствами	проводниковые материалы

Группы конструкционных материалов в зависимости от выбранного принципа их классификации:

- материалы, обеспечивающие жёсткость, статическую и циклическую прочность (стали);
- материалы с особыми технологическими свойствами;
- износостойкие материалы;
- материалы с высокими упругими свойствами;
- материалы с малой плотностью;
- материалы с высокой удельной прочностью;
- материалы, устойчивые к воздействию температуры и рабочей среды.

СТАЛИ

↓			↓		
углеродистые			легированные		
↓	↓	↓	↓	↓	↓
низкоуглеродистые, C < 0,25%	среднеуглеродистые, C 0,25-0,60%	высокоуглеродистые, C > 0,60%	низколегированные, < 2,5% легирующих элементов	среднелегированные, от 2,5 до 10% легирующих элементов	высоколегированные, > 10% легирующих элементов

Классификация сталей по назначению

↓	↓	↓	↓
конструкционные (для строительных и машиностроительных изделий)	инструментальные (режущего инструмента, штампового и измерительного). Для режущего инструмента – низкой теплостойкости, полутеплостойкие и теплостойкие. Штамповые – для холодного и горячего деформирования	с особыми физическими свойствами (с определёнными магнитными характеристиками или малым коэффициентом линейного расширения: электротехническая сталь, суперинвар)	с особыми химическими свойствами (нержавеющие, жаростойкие, жаропрочные, кислотостойкие)

Коррозионностойкие стали



низкоуглеродистые
(детали конструкций)

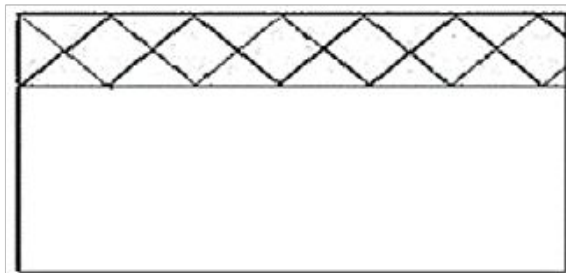


высокоуглеродистые (различные
инструменты – ножи, скальпели)

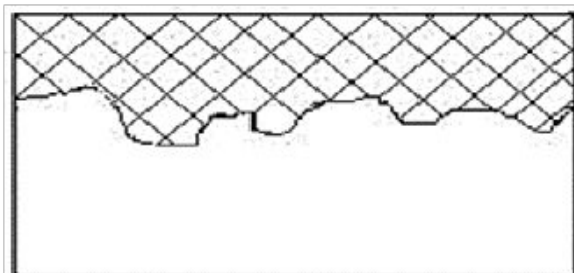
↑ коррозионную стойкость Cr, (Al, Si ↑ хрупкость).

Коррозионностойкий эффект → при содержании Cr > 12%.

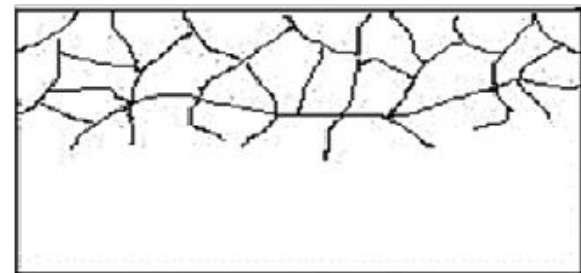
Ni формирует аустенитную структуру стали, дополнительно ↑ её
коррозионную стойкость, в т.ч. при нагреве.



а)



б)



в)

Потеря массы Δm (мг/см²) с единицы поверхности

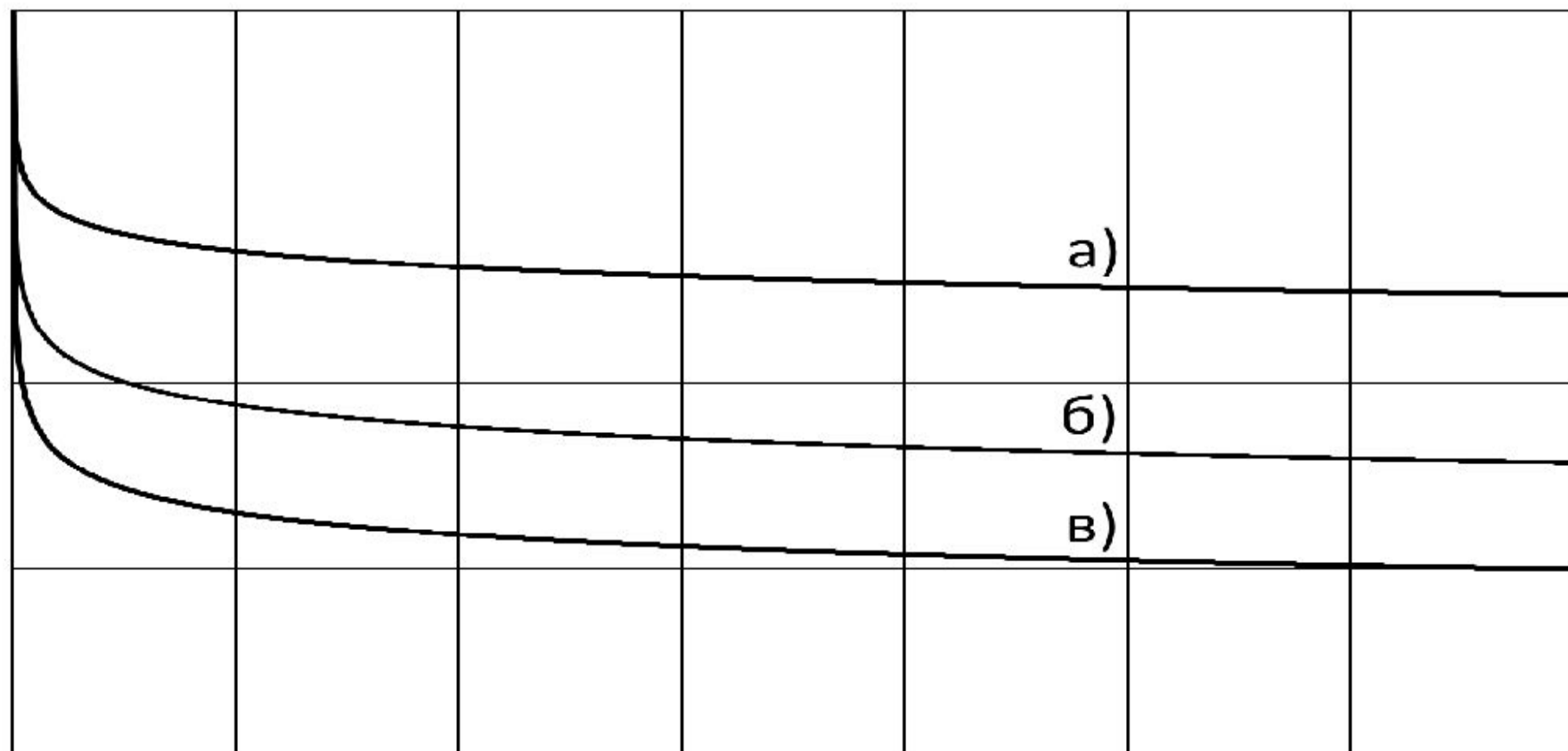


Рис. 39.2. Зависимости относительного влияния равномерной, местной и межкристаллитной коррозии на прочность листового дюралюминия

Жаростойкость – способность материала сопротивляться химической коррозии при высоких температурах.

Жаропрочность – способность материала сопротивляться деформации и разрушению при высоких температурах.

Жаропрочность стали придают Cr, V, W, Mo.

Примеры жаропрочных сталей:

12ХМФ, 08Х12ВНМФ, 12Х18Н10Т, 08Х18Н9.

Классификация сталей по степени раскисления

↓	↓	↓
кипящие (кп)	полуспокойные (пс)	спокойные (сп)

Классификация сталей по качеству

↓	↓	↓	↓
обыкновенного качества; $S < 0,06\%$, $P < 0,07\%$	качественные; $S < 0,035\%$, $P < 0,035\%$	высококачественные; $S < 0,025\%$, $P < 0,025\%$	особовысококачественные; $S < 0,015\%$, $P < 0,025\%$

Классификация стали обыкновенного качества по поставкам

↓	↓	↓
группа «А» – по механическим свойствам (может иметь повышенное содержание S или P)	группа «Б» – по химическому составу	группа «В» – с гарантированными механическими свойствами и химическим составом

Маркировка углеродистых сталей обыкновенного качества:

«Ст» + № (1...6) в зависимости от химического состава и механических свойств.

Обозначение степени раскисления (кп, пс, сп) – после марки.

Категория стали (2-5) – после обозначения степени раскисления (1-я категория не указывается).

Группа стали (Б, В) – перед маркой (группы А не указывается).

Буква «Г» после номера марки – повышенное содержание марганца.

Маркировка качественных углеродистых сталей



конструкционных:

«Сталь», далее двухзначная цифра – среднее содержание углерода в сотых долях процента.



инструментальных (У):

«У», далее 1 или 2 цифры – среднее содержание углерода в десятых долях процента.

Маркировка качественных легированных сталей – идентична маркировке качественных углеродистых сталей.

Обозначение легирующих элементов, входящих в состав стали:

А – N; К – Co; Т – Ti; Б – Nb; М – Mo; Ф – V; В – W; Н – Ni; Х – Cr;

Г – Mn; П – P; Ц – Zr; Д – Cu; Р – B; Е – Se; С – Si; Ю – Al; Ч – P3M

Отсутствие цифры после индекса – содержание элемента 0,8-1,5%, кроме Mo и V (< 0,2-0,3%), а также В (~ 0,001%).

Особенности маркировки высококачественных и особовысококачественных

сталей: Основная маркировка – идентична качественным сталям. В конце марки для высококачественной – буква «А», для особовысококачественной – буква «Ш».

Шарикоподшипниковая сталь – перед содержанием углерода в десятых долях процента ставятся буквы «ШХ».

Быстрорежущие (сложнолегированные) стали – после буквы «Р» указывается процентное содержание элемента.

Автоматные стали – после буквы «А» указывается среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Специальные методы получения высоколегированных сталей проставляются

через тире в конце марки: ВД – вакуумно-дуговой переплав, Ш – электрошлаковый переплав, СШ – обработка синтетическим шлаком.

ЧУГУНЫ

Классификация чугунов по состоянию углерода



белые

половинчатые

графитизированные

Классификация и маркировка графитизированных чугунов



Серый с
пластинчатым
графитом:

«СЧ» + σ_B^{\min}

Высокопрочный с
шаровидным
графитом:

«ВЧ» + σ_B^{\min}

Ковкий с
хлопьевидным
графитом:

«КЧ» + σ_B^{\min}

С
вермикулярным
графитом:

«ЧВГ» + σ_B^{\min}

Классификация и маркировка чугунов с особыми свойствами



Антифрикционные:
«АЧ» + 1-я буква обозначения чугуна
С, В или К (СЧ, ВЧ или КЧ) +
порядковый номер (1, 2, ...)

Жаростойкие:
«ЖЧ» + буквенное обозначение
легирующих элементов и их
процентное содержание

АЛЮМИНИЙ



особочистый (А999)

высокочистый (А995, А95)

технической чистоты
(А85, А7Е, А0 и др.)

Маркировка: «А» + цифра доли процента свыше 99%.

«Е» в конце обозначения – при повышенном содержании Fe и пониженном – Si.

Алюминиевые сплавы



деформируемые

(маркировка: «АД» + степень чистоты)

литейные



термоупрочняемые

термонеупрочняемые

термоупрочняемые

термонеупрочняемые

Деформируемые алюминиевые сплавы	
↓	↓
Термоупрочняемые (маркировка: дюралюмины «Д» + порядковый номер сплава; высокопрочные сплавы «В» + порядковый номер сплава)	Термонеупрочняемые (маркировка: начальные буквы компонентов + цифры содержания легирующих элементов)
Литейные алюминиевые сплавы	
↓	↓
Термоупрочняемые	Термонеупрочняемые
Маркировка	
↓	↓
с порядковым номером: «АЛ» + порядковый номер	по составу: «АК» + среднее процентное содержание элемента («М» – Cu, «К» – Si, «Ц» – Zn, «Н» – Ni)
Антифрикционные алюминиевые сплавы	
(маркировка: «А» + начальные буквы входящих в состав элементов и их процентное содержание)	
↓	↓
Литейные	Деформируемые

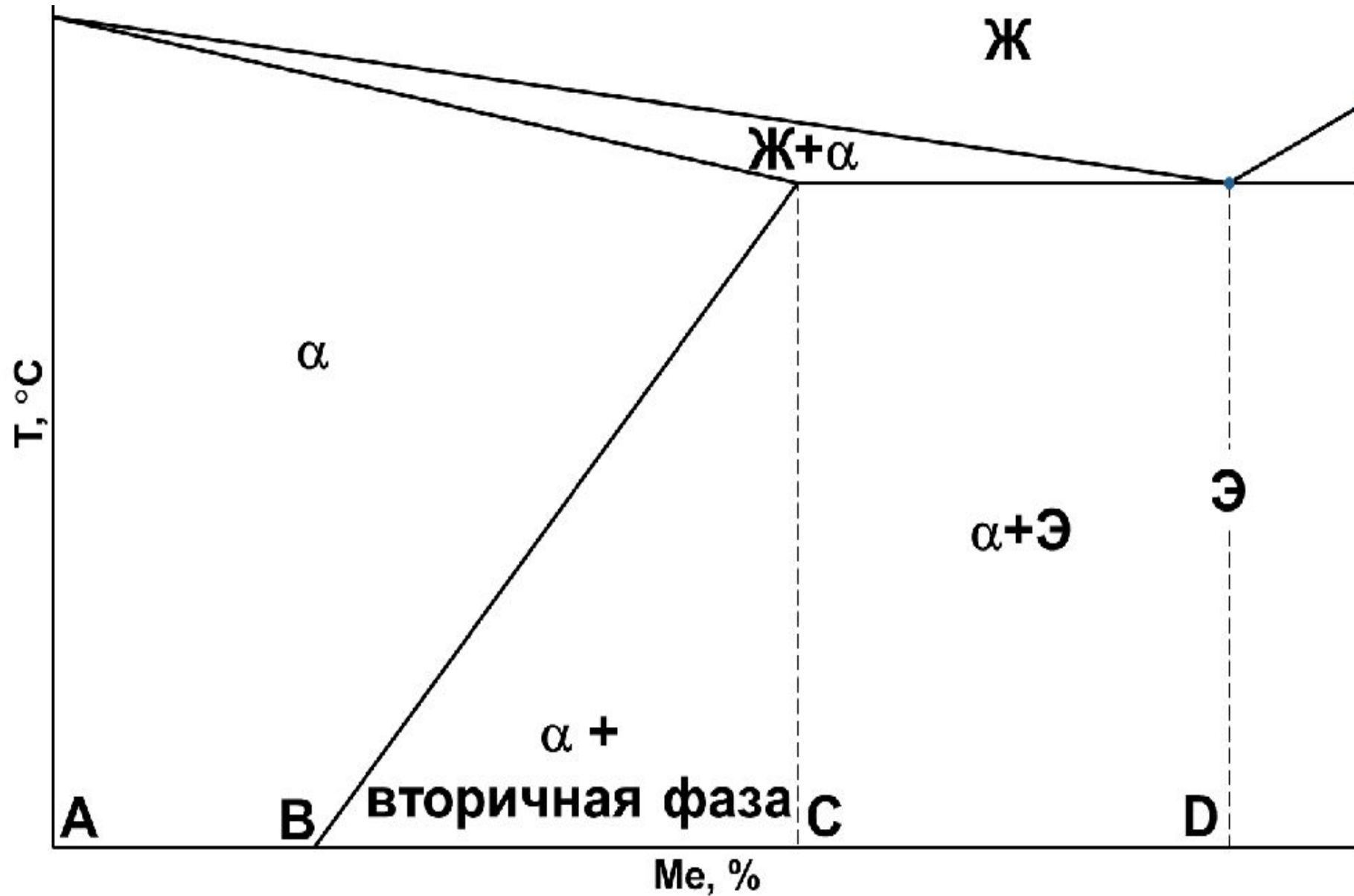
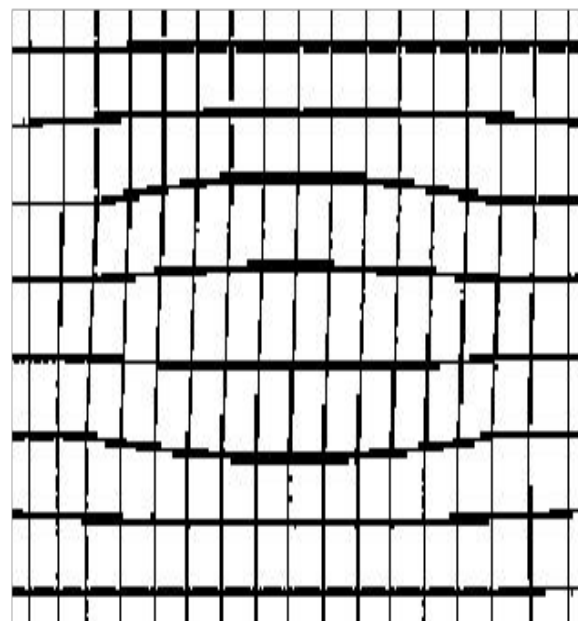
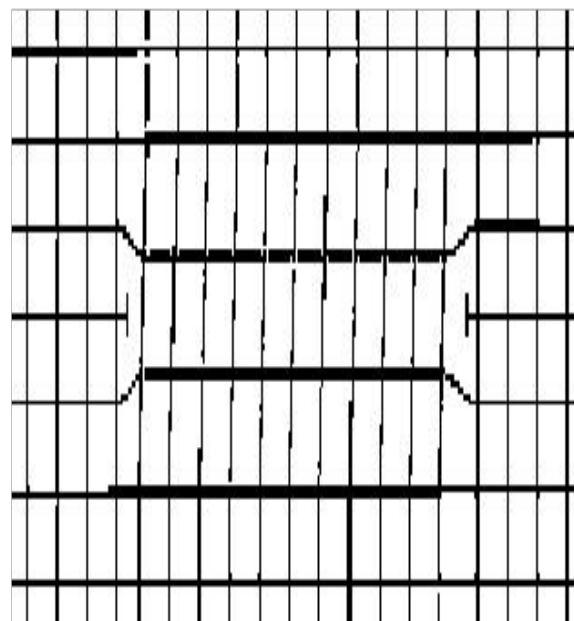


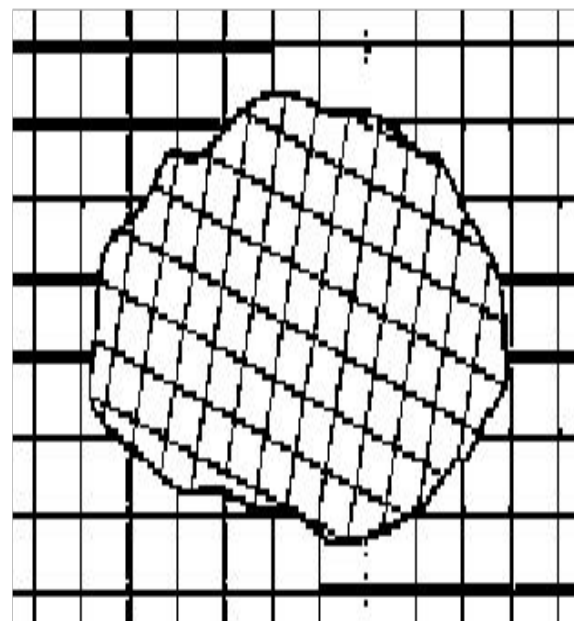
Рис. 39.3. Типовая диаграмма (схема) состояния системы «Al – легирующий элемент (Me)»



а



б



в

Рис. 39.4. Когерентные (а), полукogerентные (б) и некогерентные (в) границы раздела между выделениями и матрицей

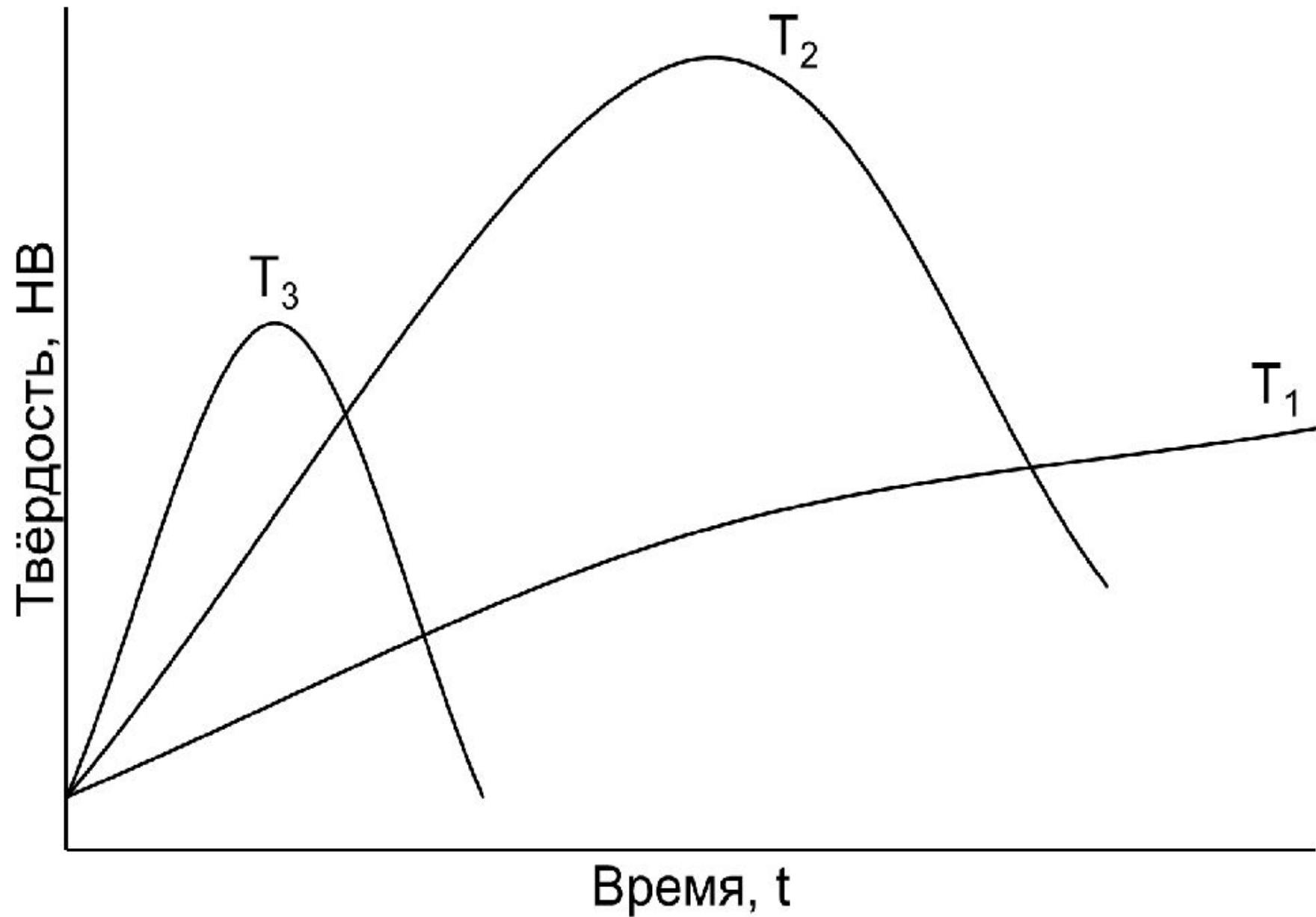


Рис. 39.5. Схема зависимости твёрдости закалённого дуралюмина от времени старения при различных T -ах старения ($T_1 < T_2 < T_3$)

МЕДЬ

↓	↓	↓	↓	↓	↓
МВЧк (99,993% Cu+Ag)	М00 (99,99% Cu+Ag)	М0 (99,95% Cu+Ag)	М1 (99,9% Cu+Ag)	М2 (99,7% Cu+Ag)	М3 (99,5% Cu+Ag)

Маркировка: после обозначения марки – буква «к», «б» или «р» (катодная, бескислородная или раскисленная).

Медные сплавы

↓	↓
бронзы	латуни

Маркировка медных сплавов



бронз:

«Бр», далее первые буквы названий образующих сплав основных элементов и цифры, указывающие количество элемента в процентах.

Остальное – Cu.



латуней:

«Л», далее первые буквы названий образующих сплав основных элементов и цифры, указывающие количество элемента в процентах.

Остальное – Zn.

Обозначение легирующих элементов,

входящих в состав медных сплавов:

А – Al; Мц – Mn; Су – Sb; В – Be; Мш – As; Т – Ti; Ж – Fe; Н – Ni; Ф – P;

К – Si; О – Sn; Х – Cr; Кд – Cd; С – Pb; Ц – Zn; Мг – Mg; Ср – Ag

Отсутствие цифры после индекса – содержание элемента 0,8-1,5%.

Буква «Л» в конце марки указывает, что сплав литейный.

Титановые сплавы:

Маркировка: «ВТ» + порядковый номер, за исключением 5-ти сплавов (ОТ4-0, ОТ4, ОТ4-1, ПТ-7М, ПТ-3В).

Магниевые сплавы:



Литейные

Маркировка: «МЛ» + порядковый номер сплава



Деформируемые

Маркировка: «МА» + порядковый номер сплава

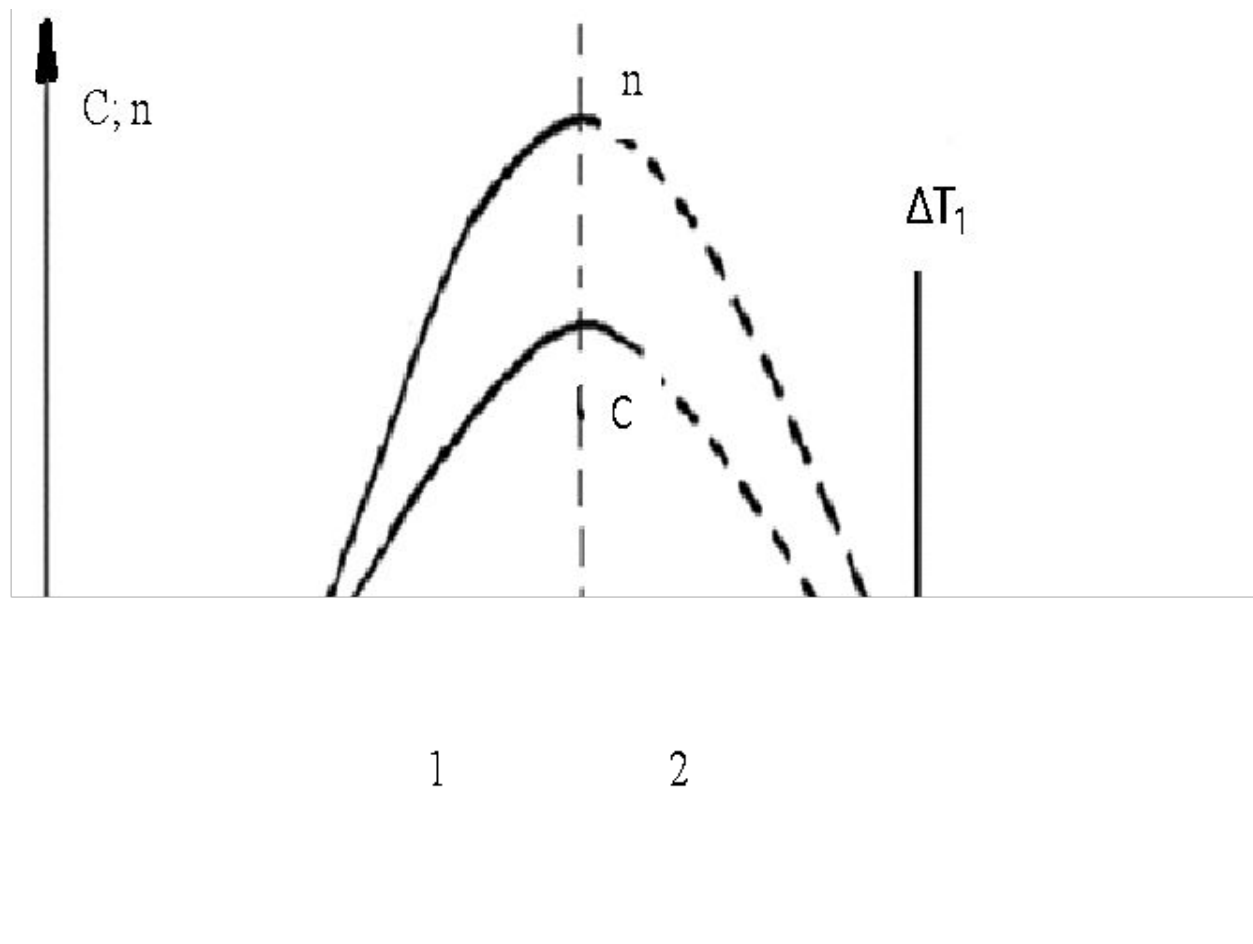


Рис. 40.1. Кривые Таммана для металлических сплавов.

ΔT_1 – степень переохлаждения при скорости охлаждения $10^6 \frac{\text{гр}}{\text{сек.}}$

КЛАССИФИКАЦИЯ И СОСТАВ АМОРФНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕКОЛ

Системы «МЕ-металлоид» $Me_{80}X_{20}$, где
Me – редкоземельные и переходные
Me: Mn, Fe, Co, Ni, Pd, Au, Pt; X –
металлоиды: B, C, Si, Ge, P, N, S.

Пример:

$Fe_{80}P_{13}B_7$; $Ni_{80}S_{20}$; $Fe_{40}Ni_{40}S_{14}B_6$

Системы «Me-Me».

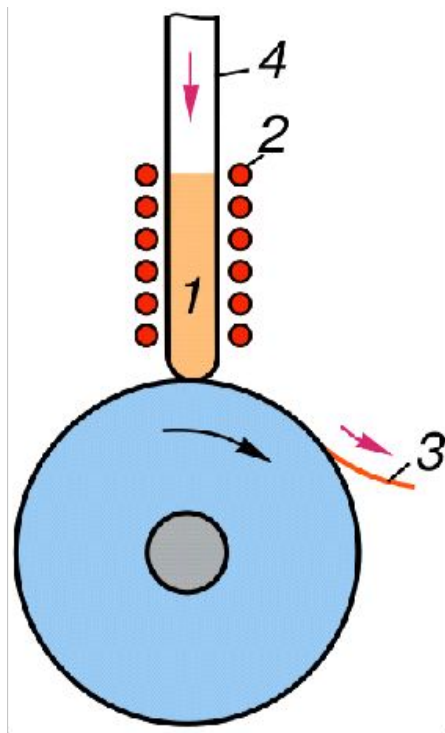
а) поздние переходные Me:

Fe, Co, Ni, Rh, Pd, Cu.

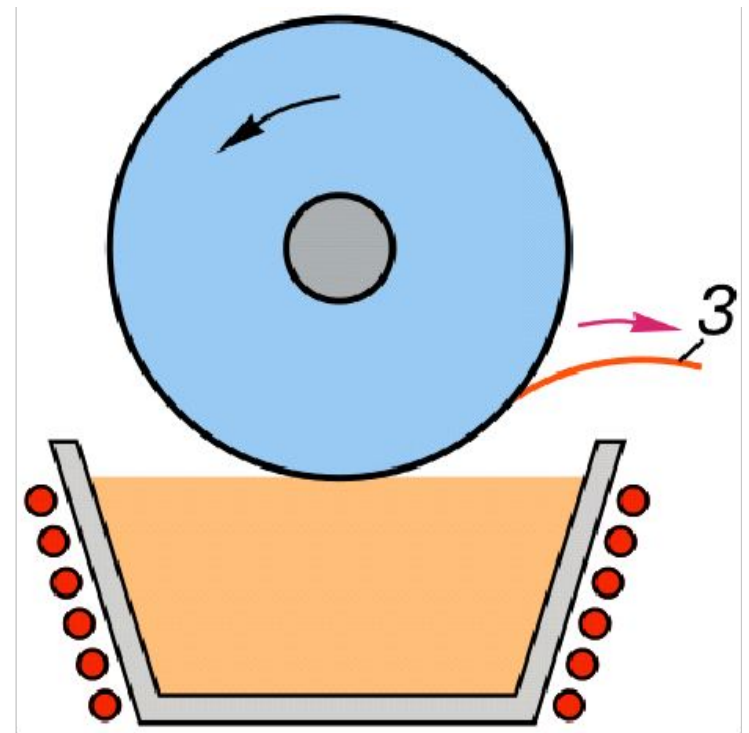
б) ранние переходные Me: Sc, Ti, V.

Пример:

Zr-Cu; Nb-Ni; Ti-Ni; Ta-Ni.



а)



б)

Рис. 40.2. Схемы установок для получения аморфных сплавов закалкой из жидкого состояния:

а) нанесение расплава на вращающийся металлический диск или цилиндр;

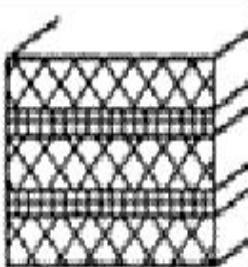
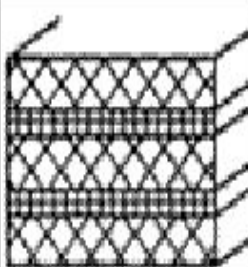
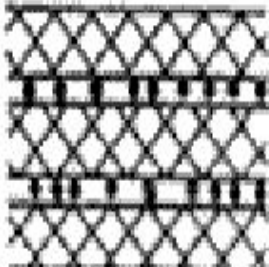
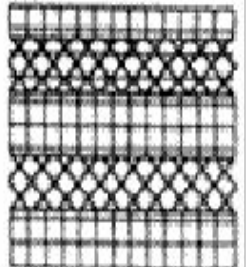
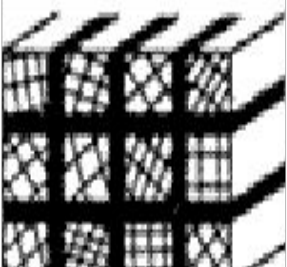

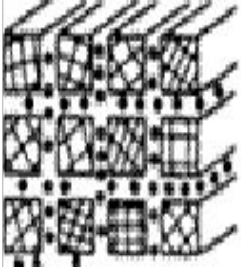
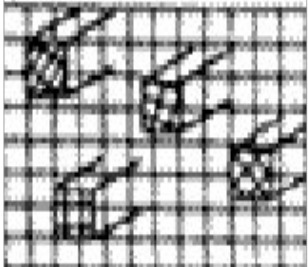
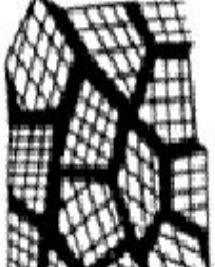
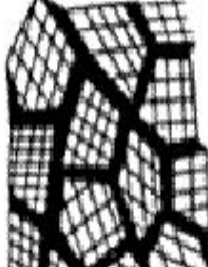
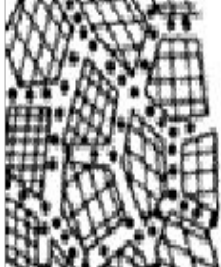
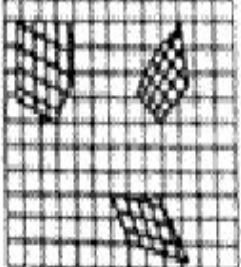
б) извлечение расплава вращающимся диском;

1 – расплав, 2 – нагревательное устройство (индукционная печь), 3 – лента аморфного сплава, 4 – кварцевая трубка

КЛАССИФИКАЦИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Наноизделия. Размер ≤ 100 нм	нанопорошки, нанопроволоки, нановолокна тонкие пленки, нанотрубки
Микроизделия. Размер ≤ 2 мм	проволоки, ленты, фольги
Массивные наноматериалы. Размер > 2 мм	однофазные: стёкла, гели, пересыщенные твёрдые растворы
	многофазные: сложные сплавы и керамики
Композиты с компонентами из наноматериалов	с наноизделиями: с наночастицами, с нановолокнами, с ионно-модифицированной поверхностью
	с микроизделиями: с наноструктурными волоконками или частицами, наноструктурными покрытиями или слоями
	со сложным сочетанием компонентов

Основные типы структур наноматериалов

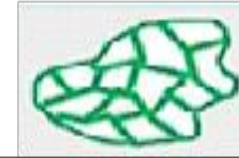
Характер распределения	Кристаллитное			Матричное
Химический состав	Состав кристаллитов и границ одинаковый	Различный состав кристаллитов при одинаковом составе границ	Различный состав и кристаллитов и границ	Кристаллиты распределены в матрице другого состава
Слоистая форма кристаллитов				
Волокнистая форма кристаллитов				
Равноосная форма кристаллитов				

Наиболее важные причины уникальных свойств наночастиц и наноматериалов

Большая доля приповерхностных атомов



Увеличение объёмной доли границ раздела



Искажение КР у поверхности

Эффективный сток для кристаллических дефектов

Неравновесность границ зёрен

Упругие дальнедействующие напряжения

Тонкие физические эффекты взаимодействия электронов со свободной поверхностью

Поверхностные эффекты механических свойств и повышение микротвёрдости

Большая доля приповерхностных атомов

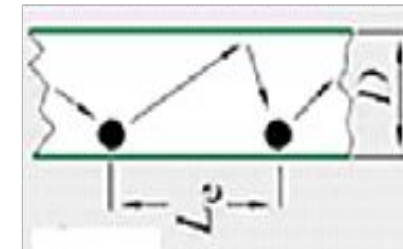
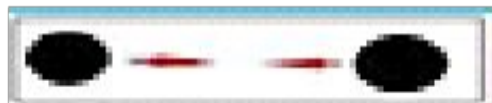
Облегчённость миграции атомов



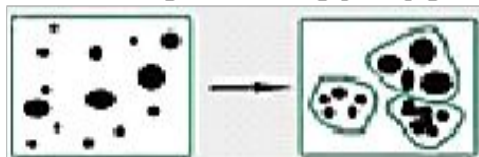
Увеличение объёмной доли границ раздела

Зависимость процессов переноса от размера и формы зерна при $\lambda < \lambda_{\text{eff}}$
 λ_{eff} – эффективная длина свободного пробега носителей

Более выраженные силы притяжения атомов



Склонность к самоорганизации кластерных структур



Возможность проявления квантовых эффектов

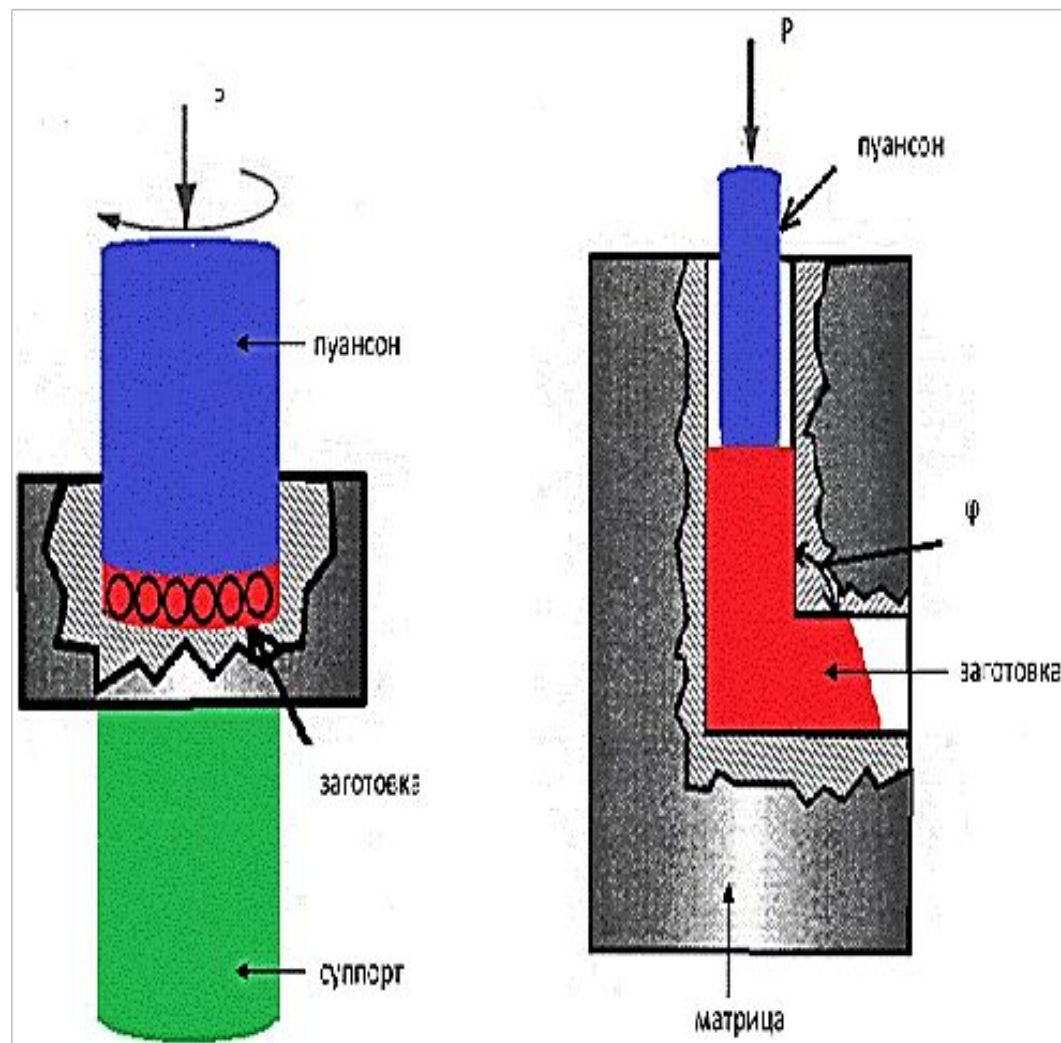


Рис. 41.1. Схемы методов интенсивной пластической деформации:

- а) кручение под высоким давлением;
- б) равноканальное угловое прессование.