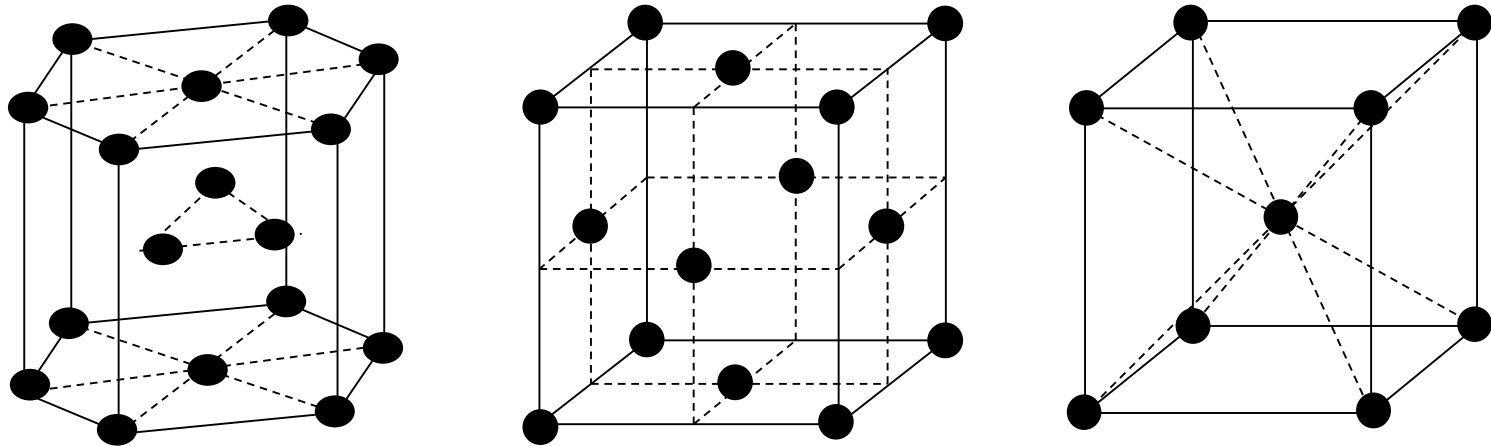


Термическая обработка

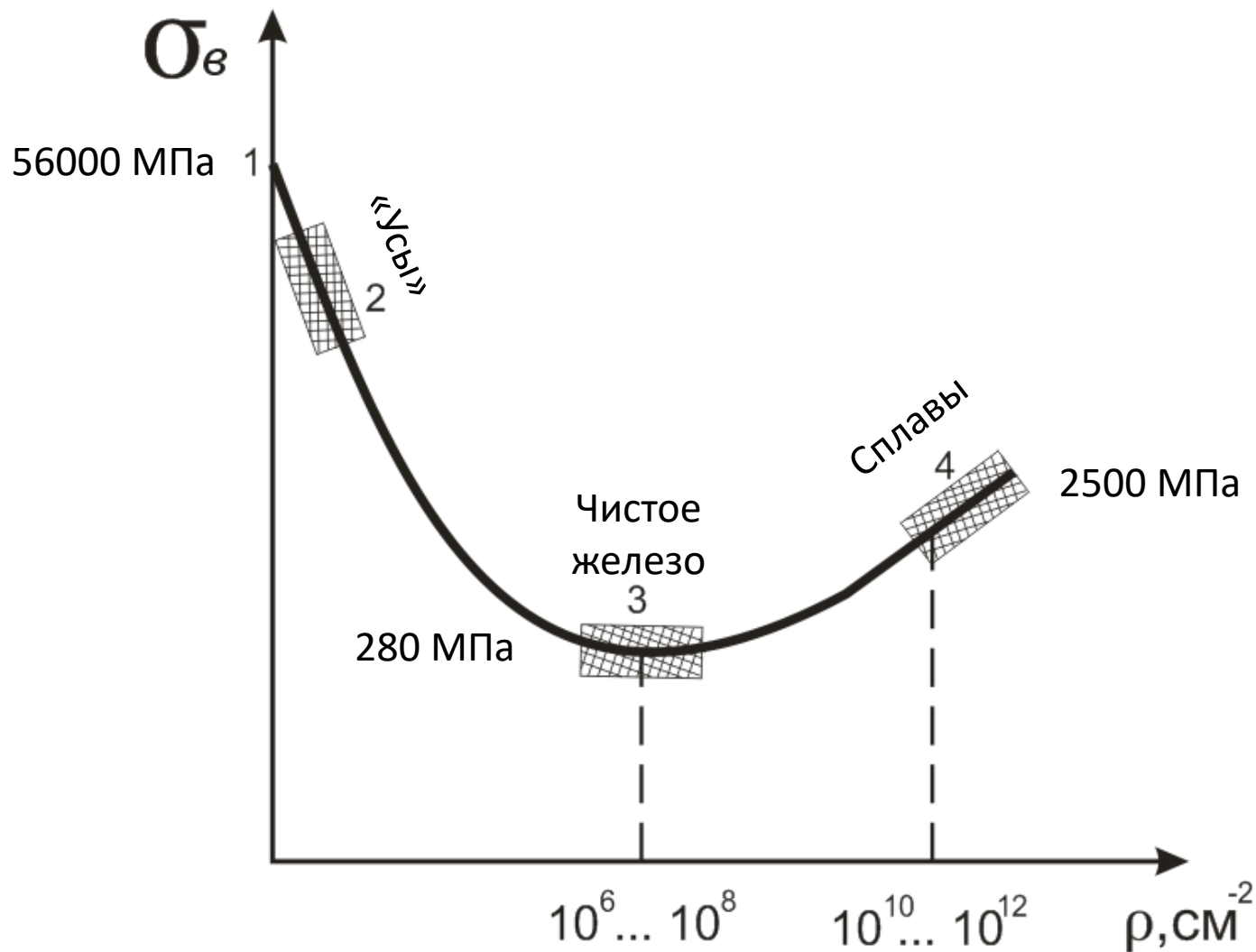
Теоретические основы

Атомно-кристаллическое строение металлов

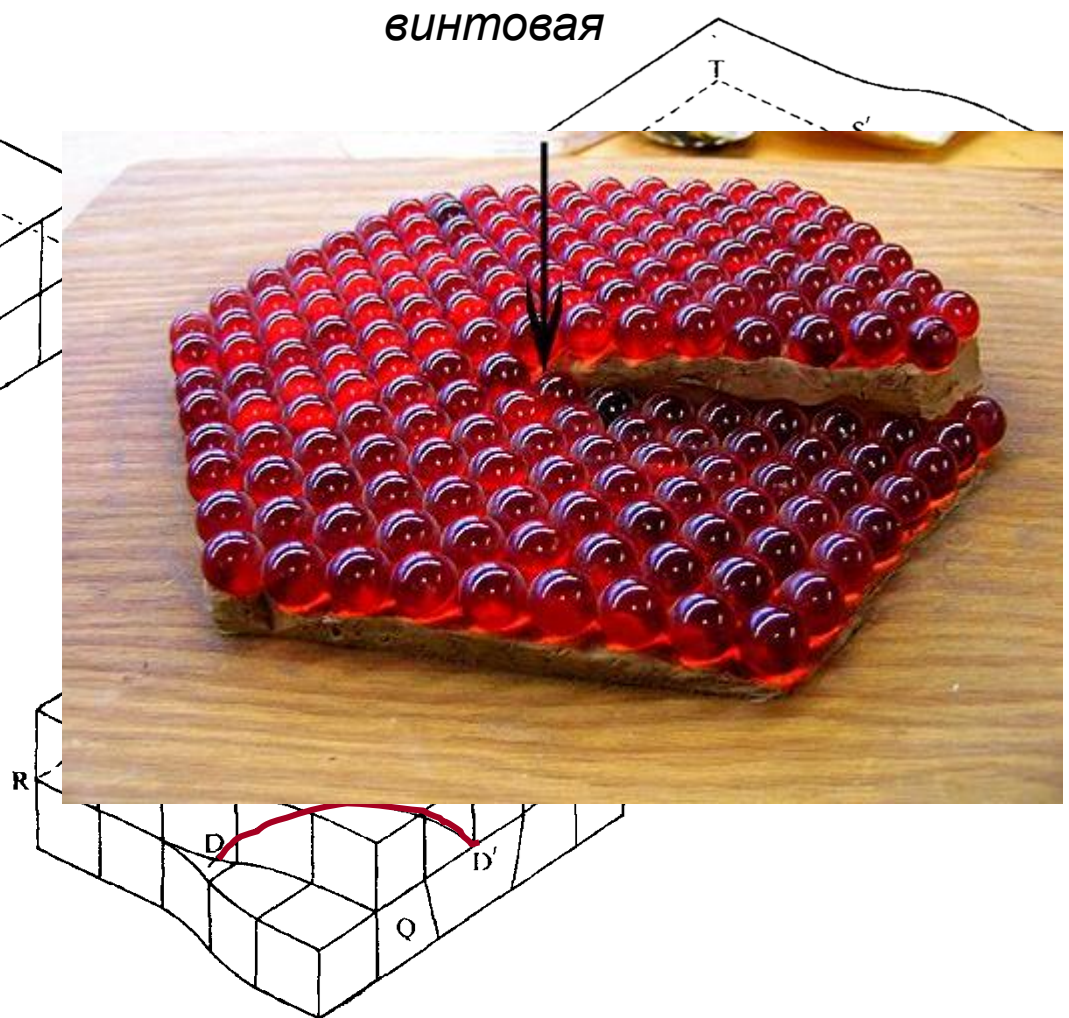
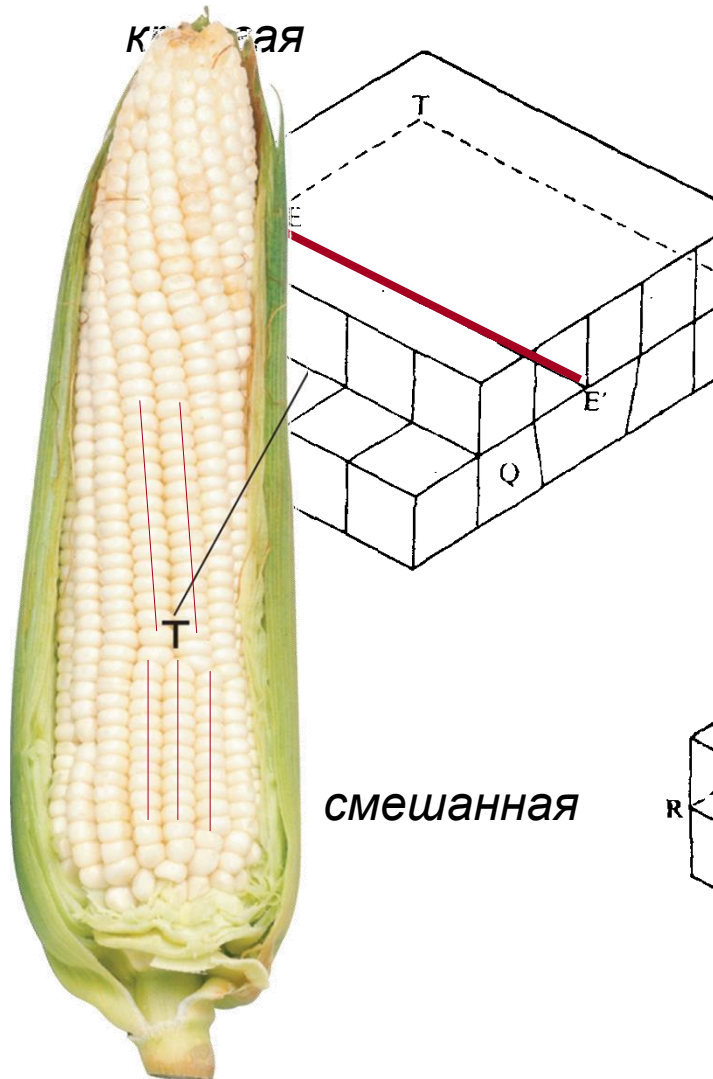


а – гексагональная плотноупакованная;
б – кубическая гранецентрированная;
в – кубическая объемно-центрированная

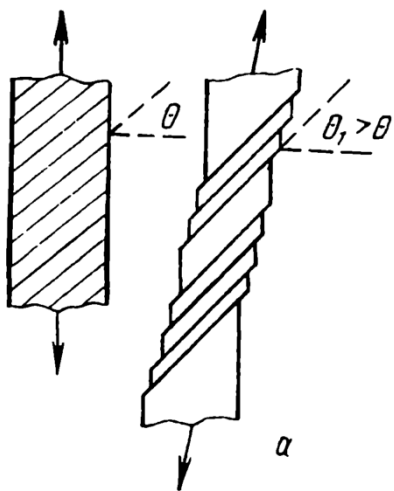
Зависимость предела прочности железа от плотности дислокаций



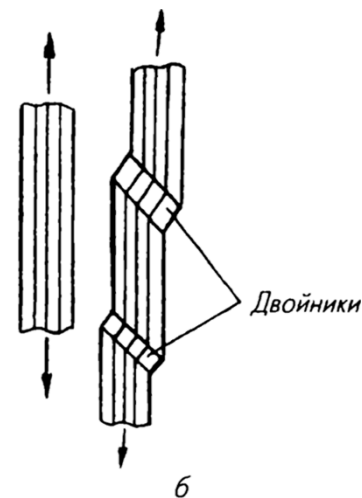
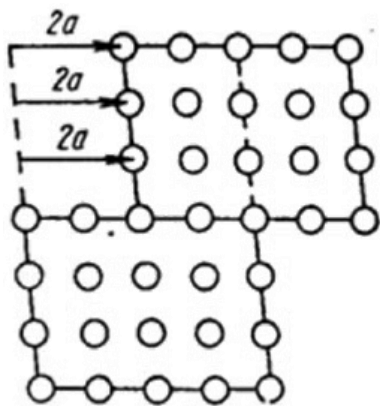
Виды дислокаций



Механизмы деформации металлов



Скользяние



Двойникование

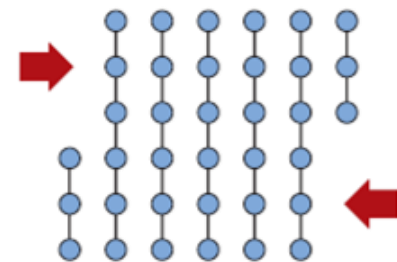
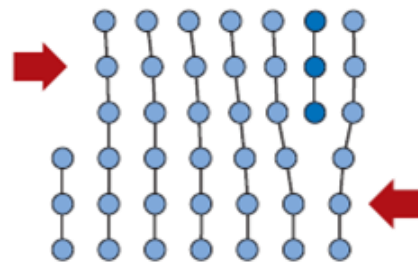
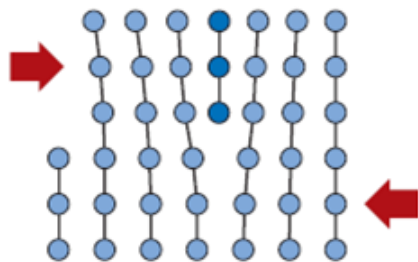
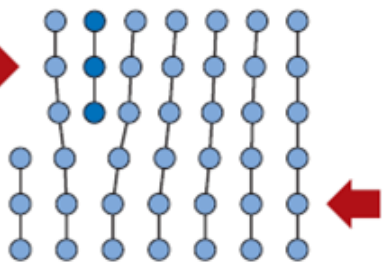
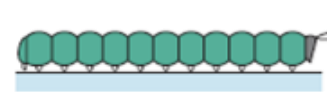
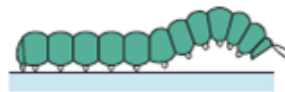
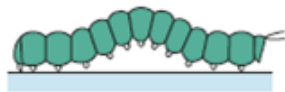
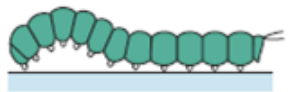
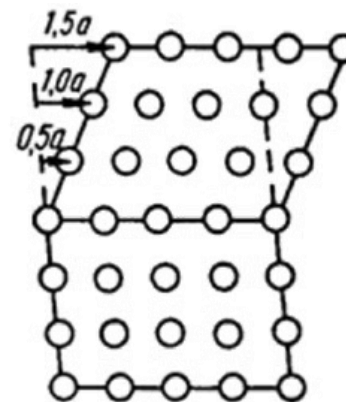
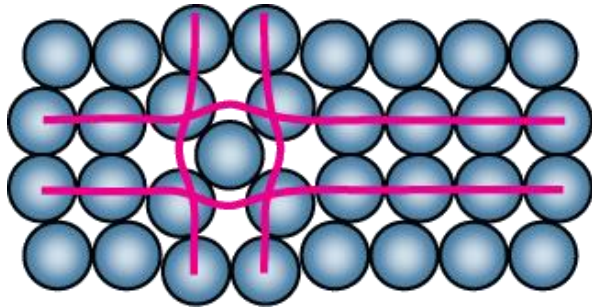
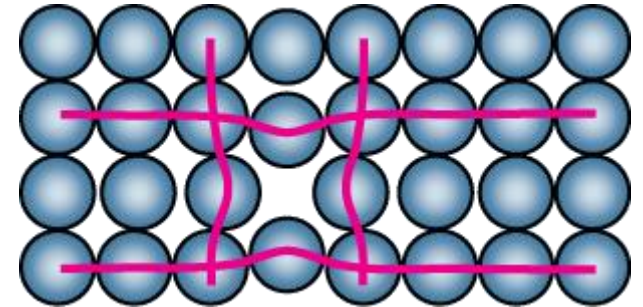


Схема скольжения дислокации

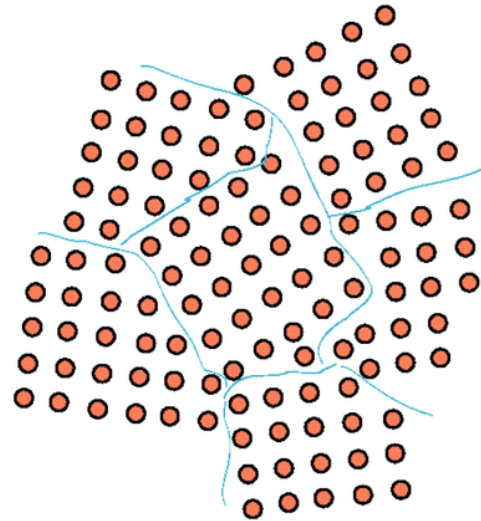
Дефекты кристаллической решетки



Атомы внедрения



Вакансии



Границы зерен

Механизмы упрочнения сталей

1. Получение кристаллов с совершенной структурой;
2. Создание барьеров, препятствующих движению дислокаций:
 - **дислокационное упрочнение** – увеличение плотности дислокаций за счет наклепа;
 - пример – холодная деформация стали;
 - **твердорастворное упрочнение** – введение легирующих элементов, искажающих исходную кристаллическую решетку;
 - пример – применение сплавов, закалка стали;
 - **дисперсионное упрочнение** – образовании мелких выделений второй фазы в матрице основного металла;
 - пример – закалка со старением алюминиевых и никелевых сплавов.
 - **зернограничное упрочнение** – увеличение протяженности границ зерен;
 - пример – рекристаллизация титановых сплавов.

Термическая обработка сплавов

Термической обработкой называется совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения твердых металлических сплавов с целью получения заданных свойств за счет изменения внутреннего строения и структуры.

Цель термообработки – придание сплавам таких свойств, которые требуются в процессе эксплуатации изделий.

Основные виды термической обработки
– **отжиг, закалка, отпуск и старение.**

Все операции термообработки разделяются на **разупрочняющие** (отжиг) и **упрочняющие** (закалка с отпуском или старением).

Разупрочняющая термообработка

Отжиг – термическая обработка, в результате которой металлы или сплавы приобретают структуру, близкую к равновесной. Отжиг вызывает разупрочнение металлов, сопровождающееся повышением пластичности и снятием остаточных напряжений.

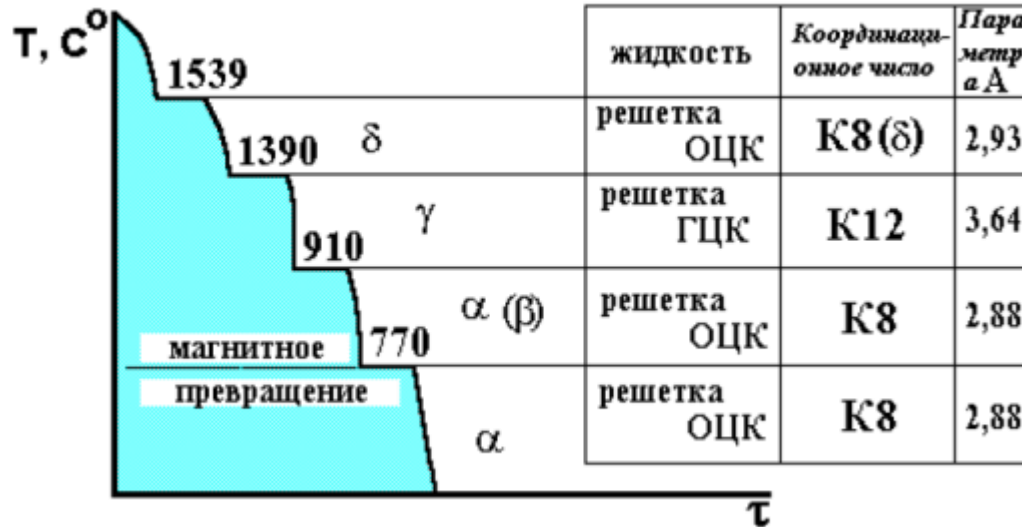
Отжиг заключается в нагреве изделий до определенной температуры, выдержке их при данной температуре с последующим медленным охлаждением вместе с печью. При этом заготовки или изделия получают устойчивую структуру без остаточных напряжений.

Цели отжига – снятие внутренних напряжений, устранение структурной и химической неоднородности, снижение твердости и улучшение обрабатываемости, подготовка к последующей операции термообработки.

Полиморфное превращение

Полиморфное превращение — фазовое превращение, состоящее в перестройке кристаллической решетки из одной полиморфной модификации в другую (более стабильную) при изменении температуры, давления или концентрации.

Полиморфизм железа



Упрочняющая термообработка

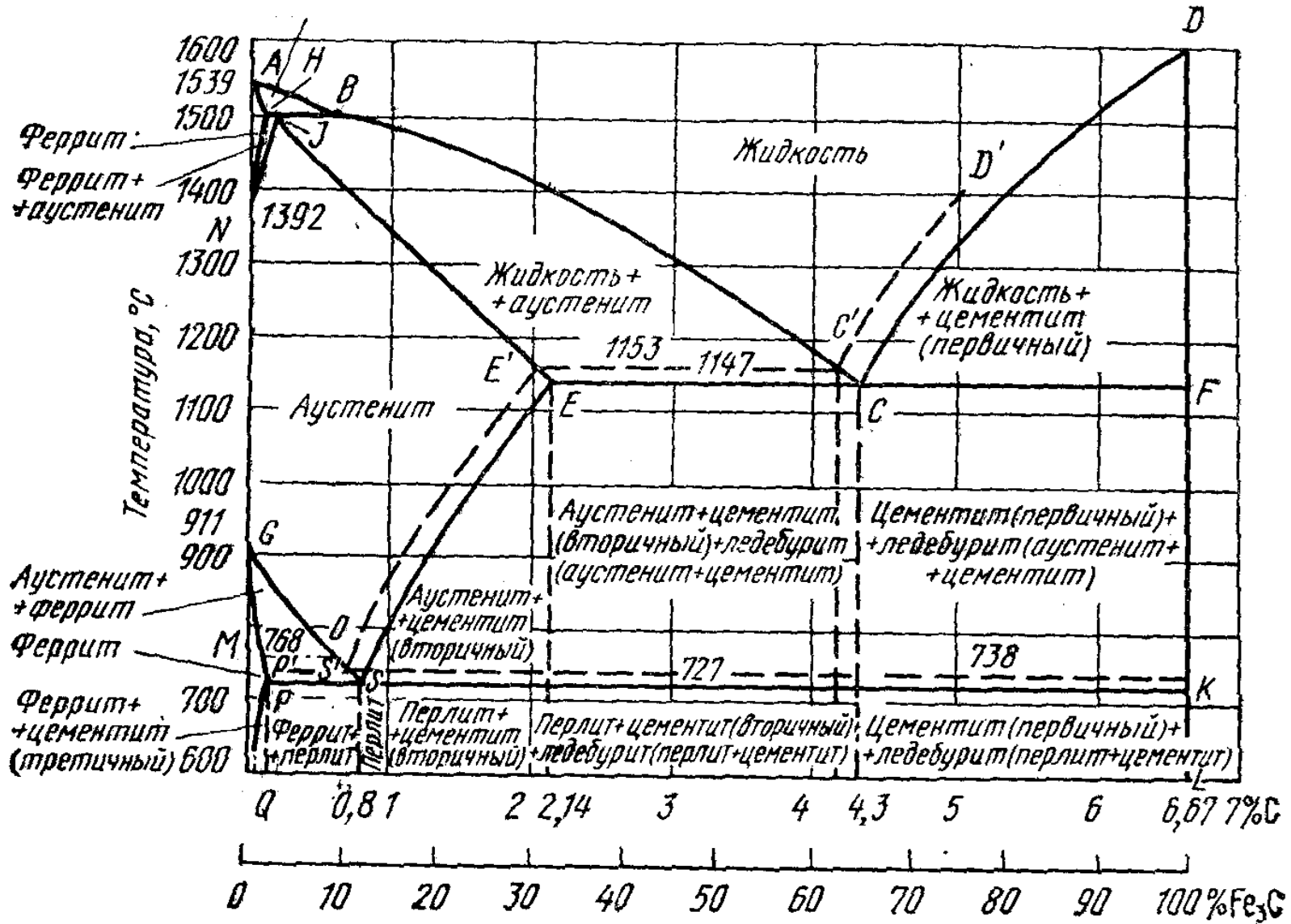
Закалка – ТО, в результате которой в сплавах образуется неравновесная структура пересыщенного твердого раствора.

Сплав нагревают выше температуры фазового превращения в твердом состоянии, после чего быстро охлаждают, чтобы предотвратить равновесное превращение при охлаждении.

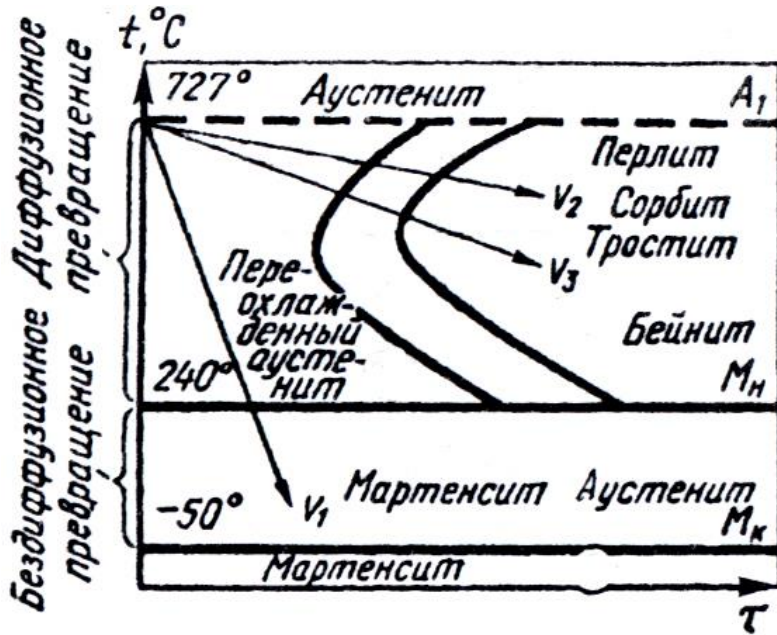
Отпуск –ТО, в результате которой в предварительно закаленном сплаве происходит фазовое превращение, приближающее его структуру к равновесной. После отпуска происходит распад пересыщенного твердого раствора, сформировавшегося при закалке. Отпущенная структура обеспечивает более высокие механические свойства по сравнению с отожженным состоянием.

Старение – ТО, в результате которой из пересыщенного твердого раствора выделяются мелкодисперсные частицы второй фазы, формирующие равновесную структуру. Старение закаленного сплава приводит к повышению прочности, без значительного снижения пластичности.

Диаграмма Fe-C

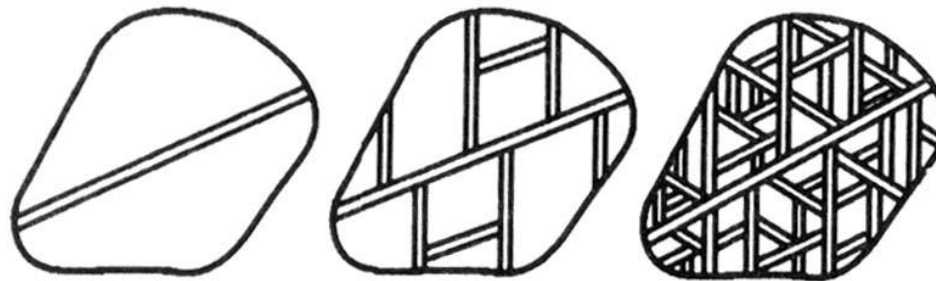


Закалка стали

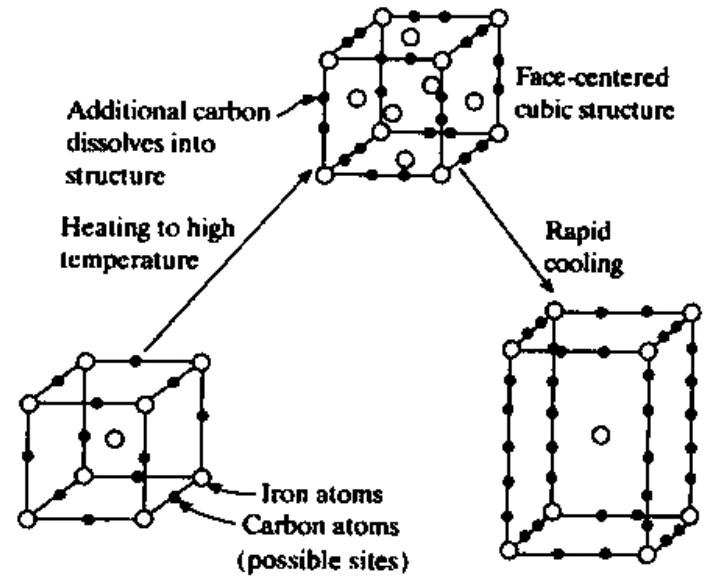
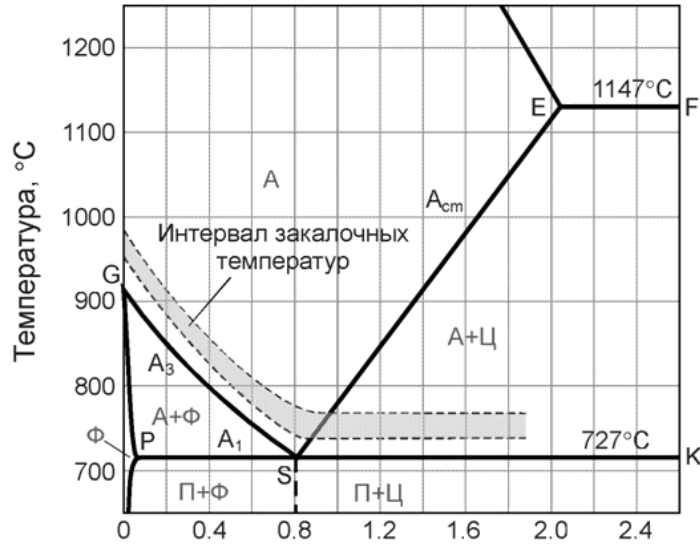


При охлаждении нагретой под закалку стали со скоростью выше критической (для конструкционных сталей охлаждение в воду) вместо диффузионного превращения аустенита в перлит, происходит бездиффузионное **мартенситное превращение**.

Образуется **мартенсит** — пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железе.



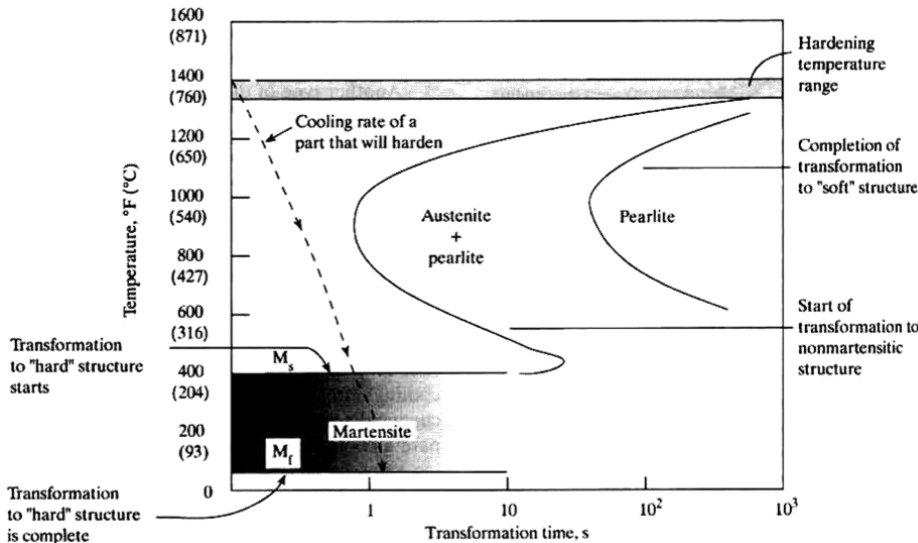
Закалка стали



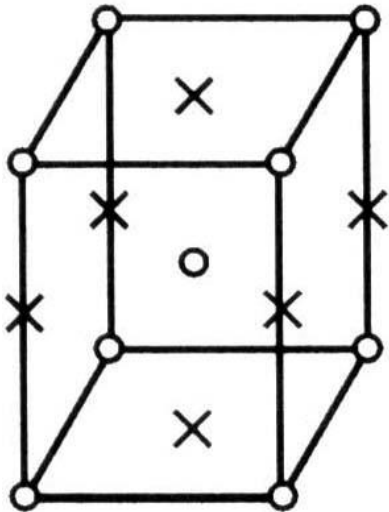
Room temperature body-centered cubic structure

Room temperature body-centered tetragonal structure

(d) Quench hardening



Закалка стали

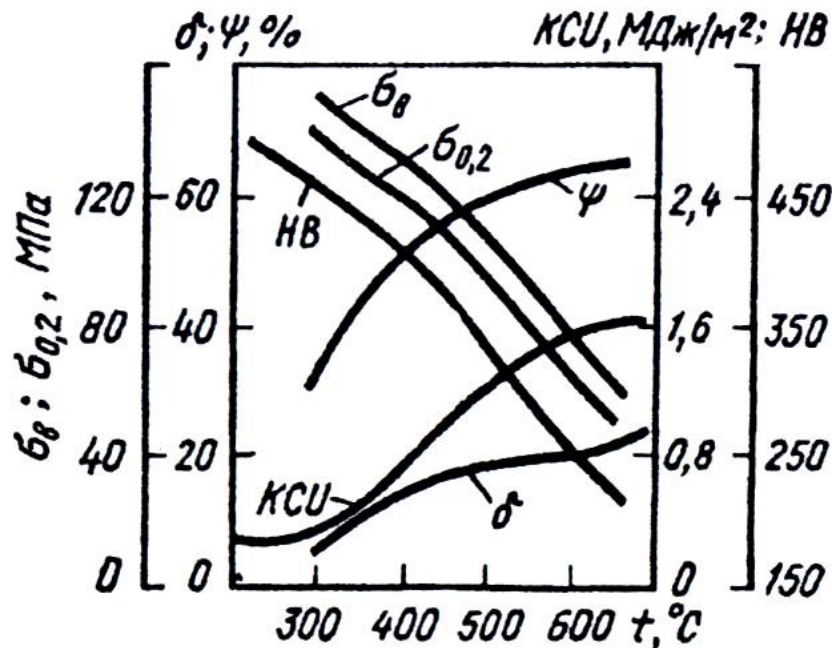


Мартенсит имеет ту же концентрацию углерода, что и исходный аустенит. Из-за высокой пересыщенности углеродом решетка мартенсита сильно искажается, вытягиваясь и приобретая вместо кубической тетрагональную форму. Благодаря этому, мартенсит имеет высокую твердость (до HRC 65) и хрупкость.

Способность стали закаливаться на мартенсит называется **закаливаемостью**. Она характеризуется значением твердости, приобретаемой сталью после закалки, и зависит от содержания углерода. Стали с низким содержанием углерода (до 0,3 %) практически не закаливаются, и закалка для них не применяется.



Отпуск стали



Отпуск стали – термическая обработка, следующая за закалкой и заключающийся в нагреве стали до температуры ниже критической, выдержке и охлаждении.

Цель отпуска – получение более равновесной по сравнению с мартенситом структуры, снятие внутренних напряжений, повышение вязкости и пластичности.

Основной процесс, происходящий при отпуске – **распад мартенсита**, т.е. выделение углерода из пересыщенного твердого раствора в виде карбида железа.

Низкий отпуск стали



Низкий отпуск проводится при температуре 150-200 °С. Образуется структура **мартенсит отпуска**. Мартенсит отпуска отличается от мартенсита закалки наличием мелкодисперсных частиц карбидов и меньшей степенью тетрагональности кристаллической решетки.

В результате низкого отпуска **снимаются внутренние напряжения**, происходит некоторое **увеличение пластичности и вязкости без заметного снижения твердости и износостойкости**.

Низкому отпуску подвергают **режущий и мерительный инструмент**, а также **машиностроительные детали**, которые должны обладать высокой твердостью и износостойкостью.

Средний отпуск стали

При **среднем отпуске** производится нагрев до 350-450 °С. Из мартенсита полностью выделяется углерод и образуется мелкоигольчатая смесь феррита и цементита. Такая структура стали полученная при среднем отпуске называется **тростит отпуска**.

При среднем отпуске происходит некоторое снижение твердости при значительном **увеличении предела упругости** и улучшении сопротивляемости действию ударных нагрузок.



Применяется для
**пружин, рессор,
ударного инструмента.**

Высокий отпуск стали

Высокий отпуск проводится при **550-650°C**. При нагреве до таких температур происходит коагуляция и сфероидизация частиц цементита в механической смеси феррита и цементита. Структура с округлыми зёрнами основных фаз называется **сорбит отпуска**.

В результате высокого отпуска твердость и прочность снижаются значительно, но сильно возрастают вязкость и пластичность и получается **оптимальное** для конструкционных сталей **сочетание механических свойств**.



Применяется **для деталей, подвергающихся действию высоких циклических и ударных нагрузок**

Деформируемые алюминиевые сплавы

1XXX – чистый алюминий;

2XXX – сплавы систем Al–Cu–Mg, Al–Cu–Mn: Д16, Д1, В65, АК6;

3XXX – сплавы системы Al–Mn: АМц, ММ;

4XXX – сплавы системы Al–Si: АК7, АК12;

5XXX – сплавы системы Al–Mg: АМг1, АМг6;

6XXX – сплавы системы Al–Mg–Si: АД31, АВ;

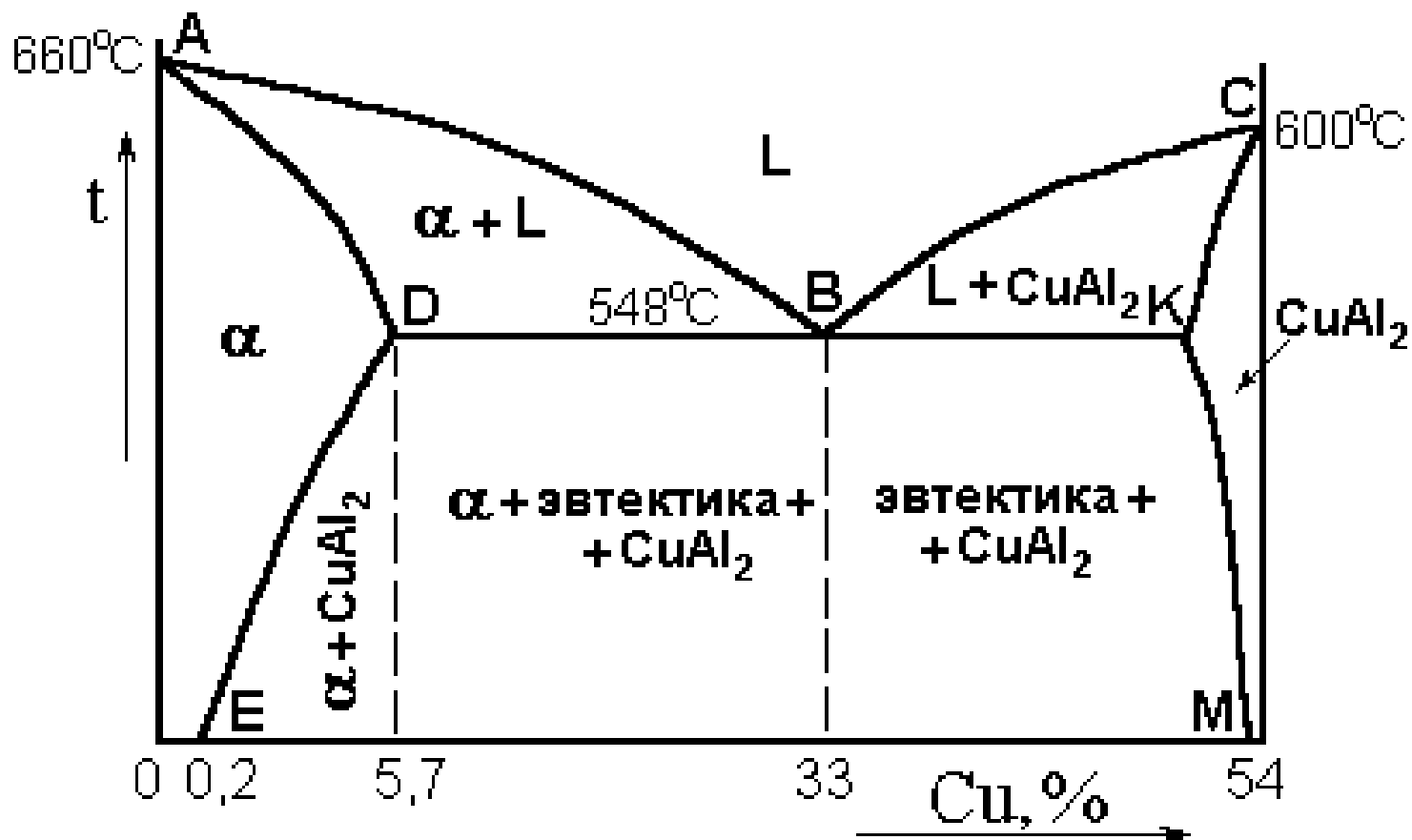
7XXX – сплавы системы Al–Zn–Mg: В95, 1915, В93пч.

Сплавы классифицируются по термической обработке:

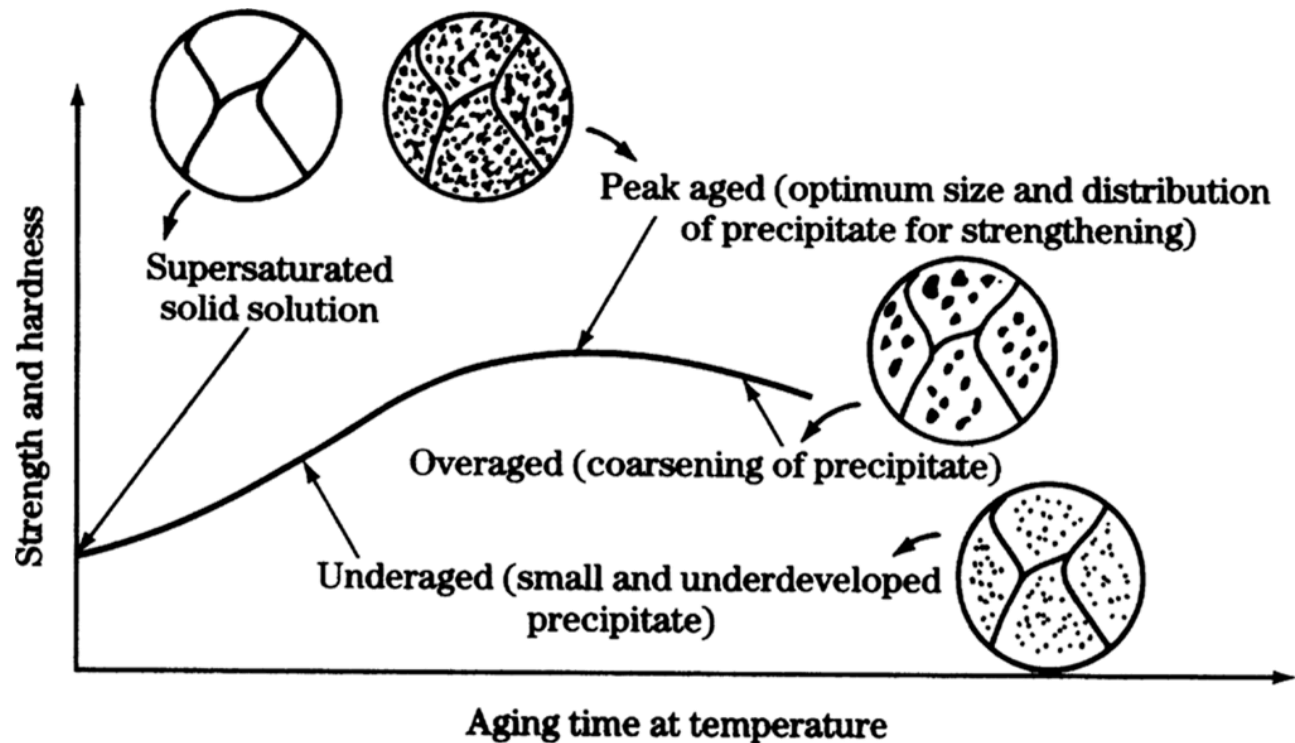
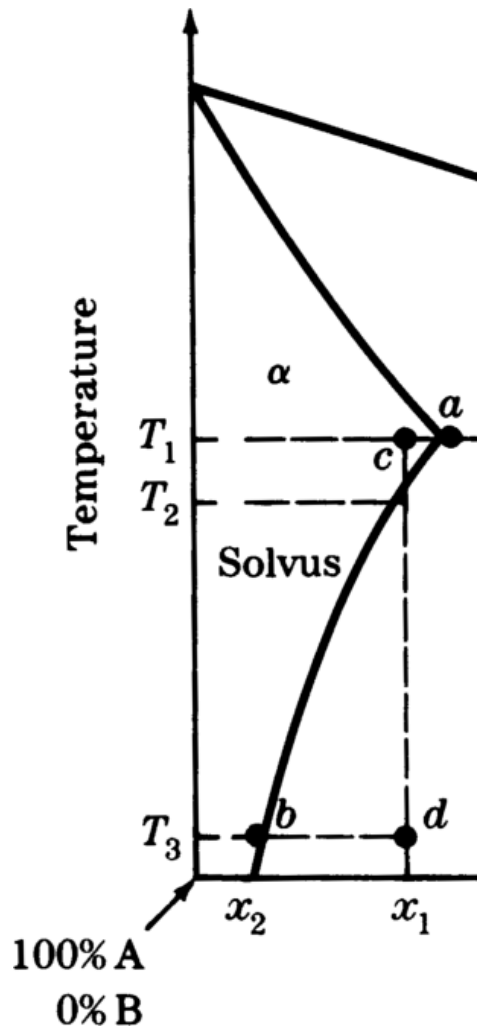
– термически неупрочняемые: Al–Mn; Al–Mg;

– термически упрочняемые: Al–Cu–Mg, Al–Cu–Mn.

Термообработка алюминия



Закалка без полиморфного превращения + старение



Механизмы упрочнения жаропрочных сталей и сплавов на никелевой основе

- Твердорастворное упрочнение
 - Cr, Co, Mo, W, V, Ga.
- Интерметаллидное упрочнение
 - γ' Ni₃(Al,Ti)
 - γ'' Ni₃(Nb,Ta)
- Карбидное упрочнение
 - M₂₃C₆
 - M₆C₆
 - MC

