

Министерство образования и науки Российской Федерации
Автономное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт неразрушающего контроля

СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Гормаков А.Н., доц. каф. ТПС
ИНК НИ ТПУ, 2017 г.

Металлы являются телами кристаллическими.

Кристаллическое состояние характеризуется закономерным (упорядоченным)

расположением атомов в пространстве. Рассмотрим элементарную ячейку кристаллической решетки.

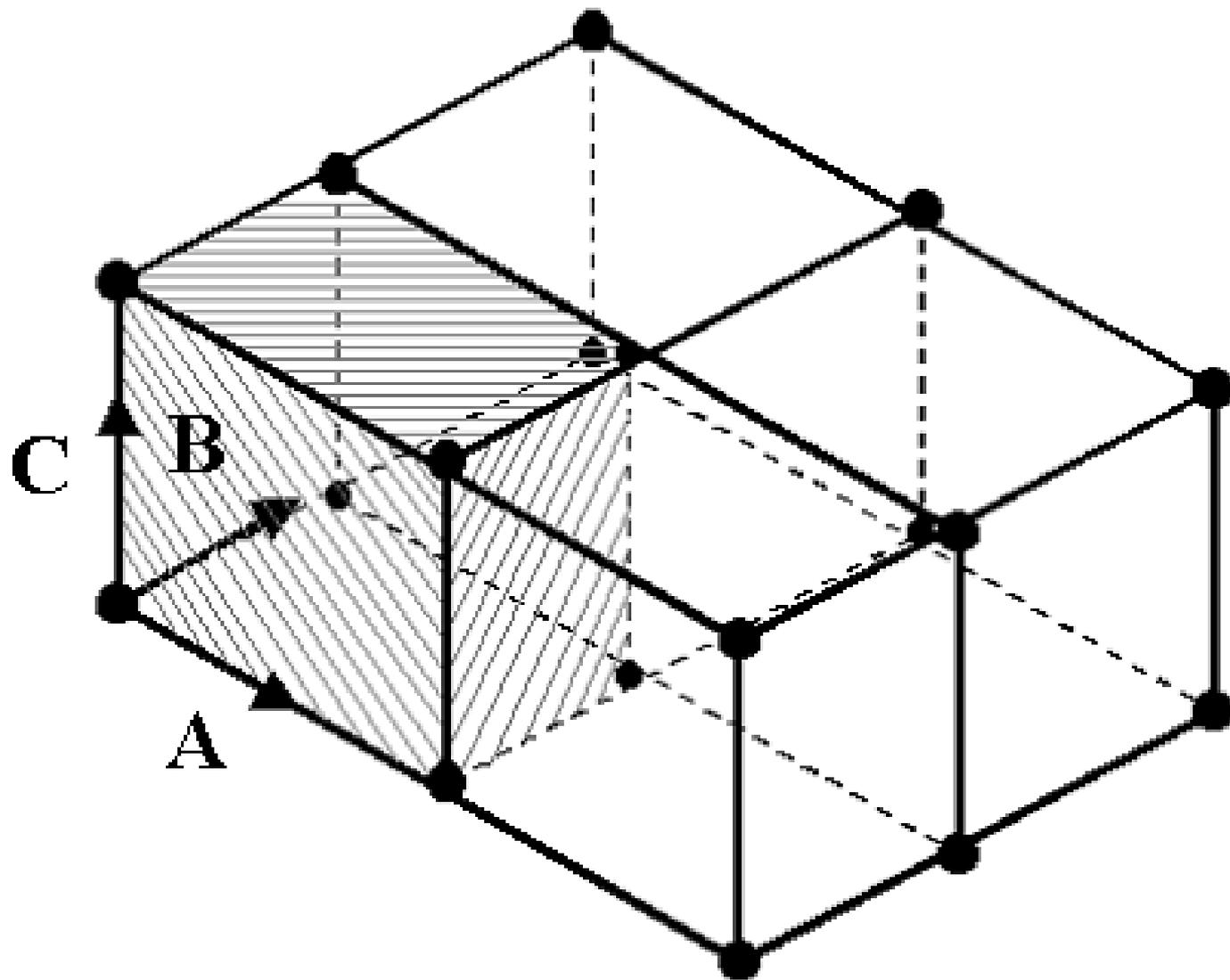


Схема кристаллической решетки

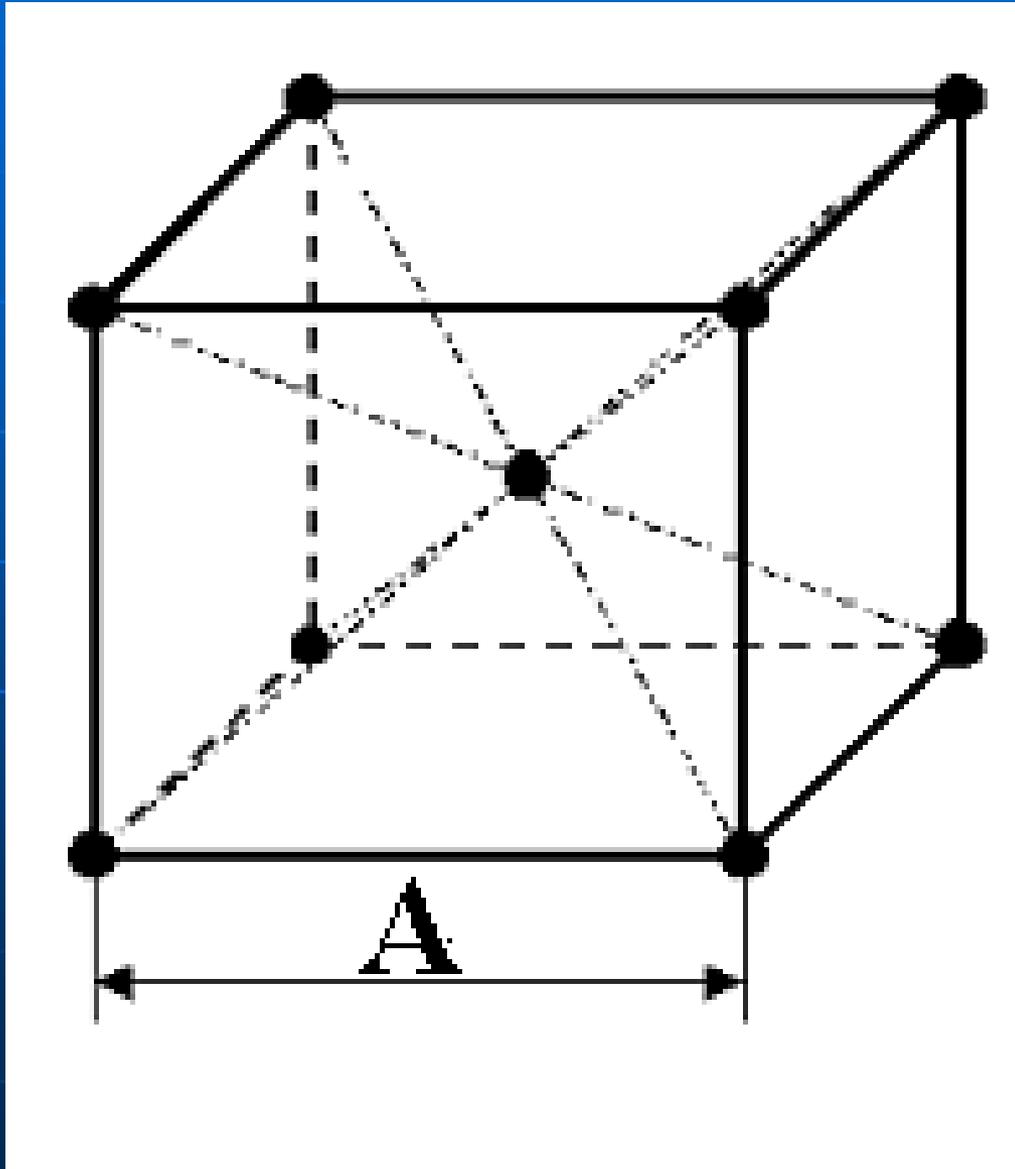
A, B, C – периоды кристаллической решетки

Элементарная ячейка показана
штриховкой. Расстояние между
узлами $0,1 \dots 0,7$ нм.

Частота колебаний ионов
атомов в узлах

кристаллической решетки –
 10^{13} Гц.

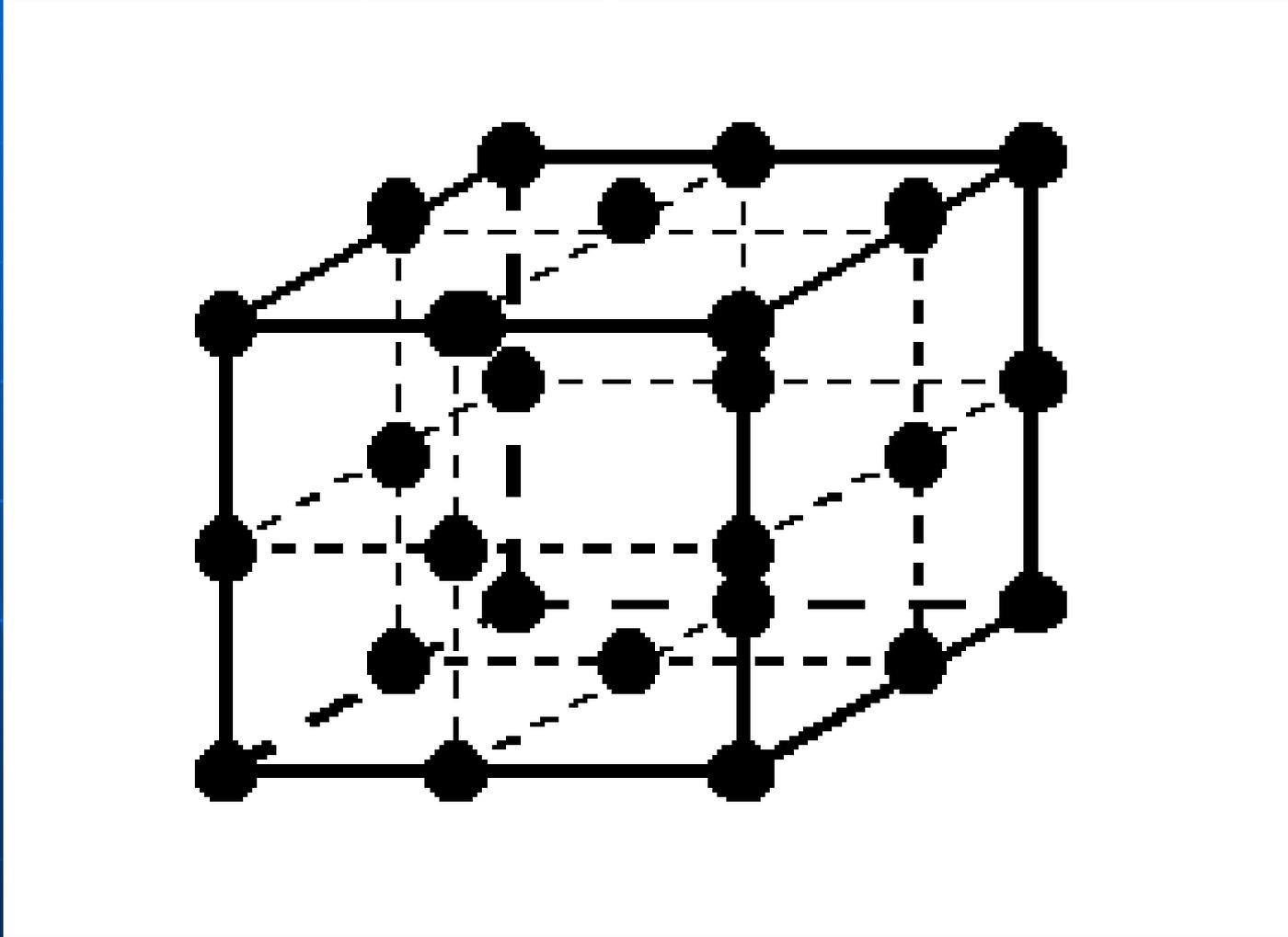
Элементарные кристаллические решетки материалов



Объемно –
центрированная
кубическая
(ОЦК) решетка.

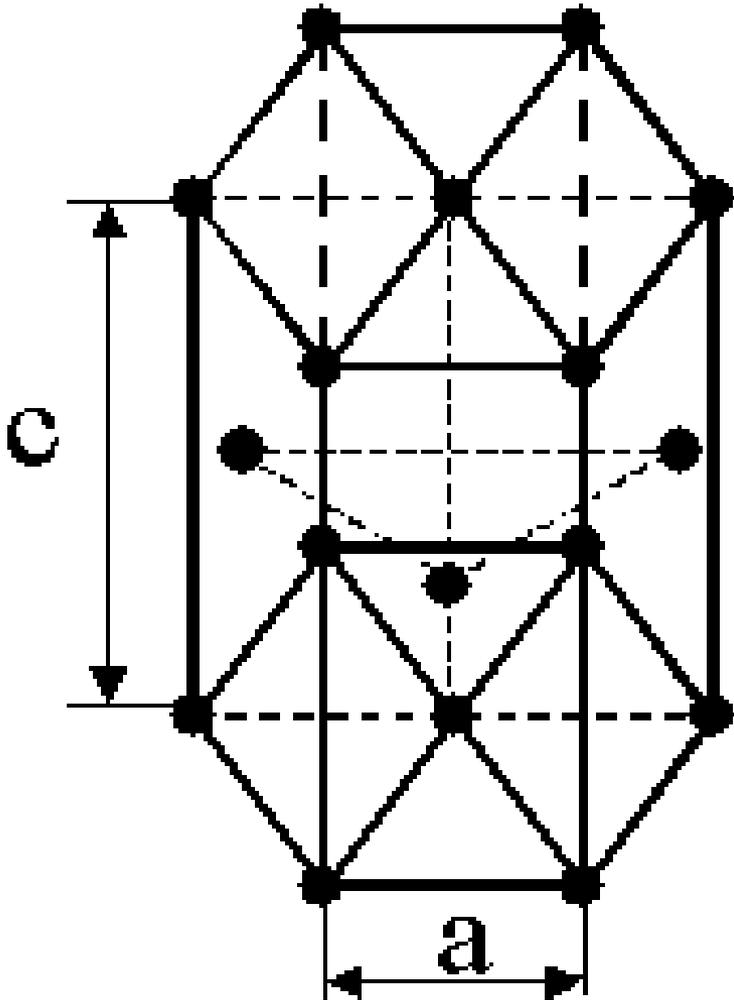
К, Na, Li,
Ta, W, V, Cr,
Nb, Ba, Fe α и
другие.

Гранецентрированная кубическая (ГЦК) решетка



Rb, Ce, Fe γ , Ni, Ag, Au, Pd, Pt, Cu, Ir и др

Гексагональная плотноупакованная (ГПУ) решетка



Такая
ячейка
характерна
для Mg, Cd,
Re, Os, Ru,
Zn, Be и др.

Энергия взаимодействия соседних атомов

В твердом состоянии металл представляет собой постройку, состоящую из положительно заряженных ионов, омываемых “газом” из свободных коллективизированных электронов.

Между ионами и коллективизированными электронами проводимости возникают электростатические напряжения, которые стягивают ионы.

Такая связь называется
металлической.

Атомы (ионы) располагаются
в кристаллической решетке на
таком расстоянии a_0 друг от
друга, при котором энергия
взаимодействия минимальна.

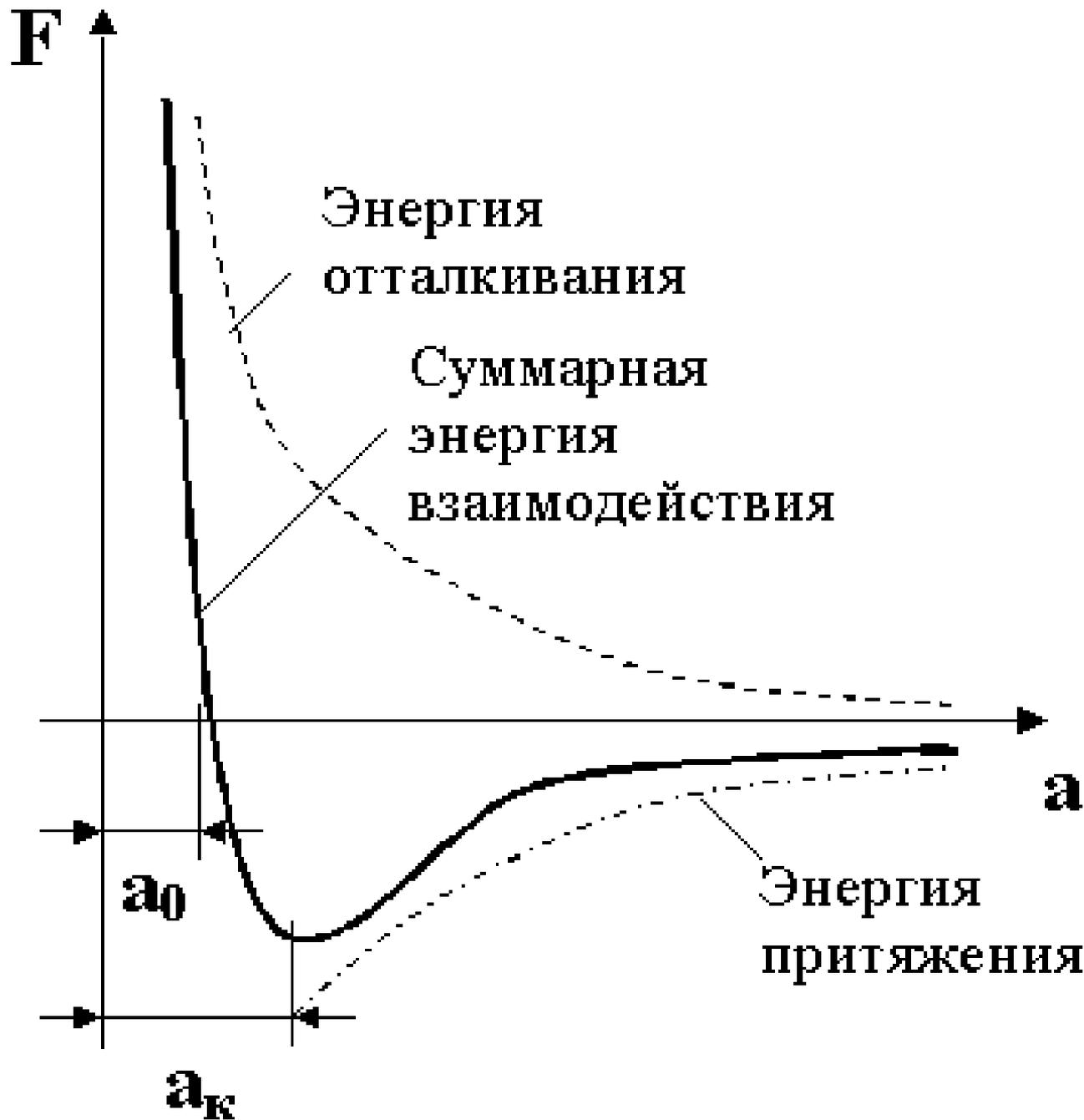


Схема
энергии
взаимодейств
ия двух
атомов в
зависимости
от
межатомного
расстояния

Сближение атомов (ионов) на расстояние, меньшее a_0 , или удаление их на расстояние, большее a_0 , осуществимо лишь при совершении определенной работы против сил отталкивания и притяжения.

При $a = a_k$ сила притяжения между атомами максимальна (a_k — критическое расстояние, после увеличения которого, происходит разрушение решетки)

Дефекты кристаллической решетки металлов

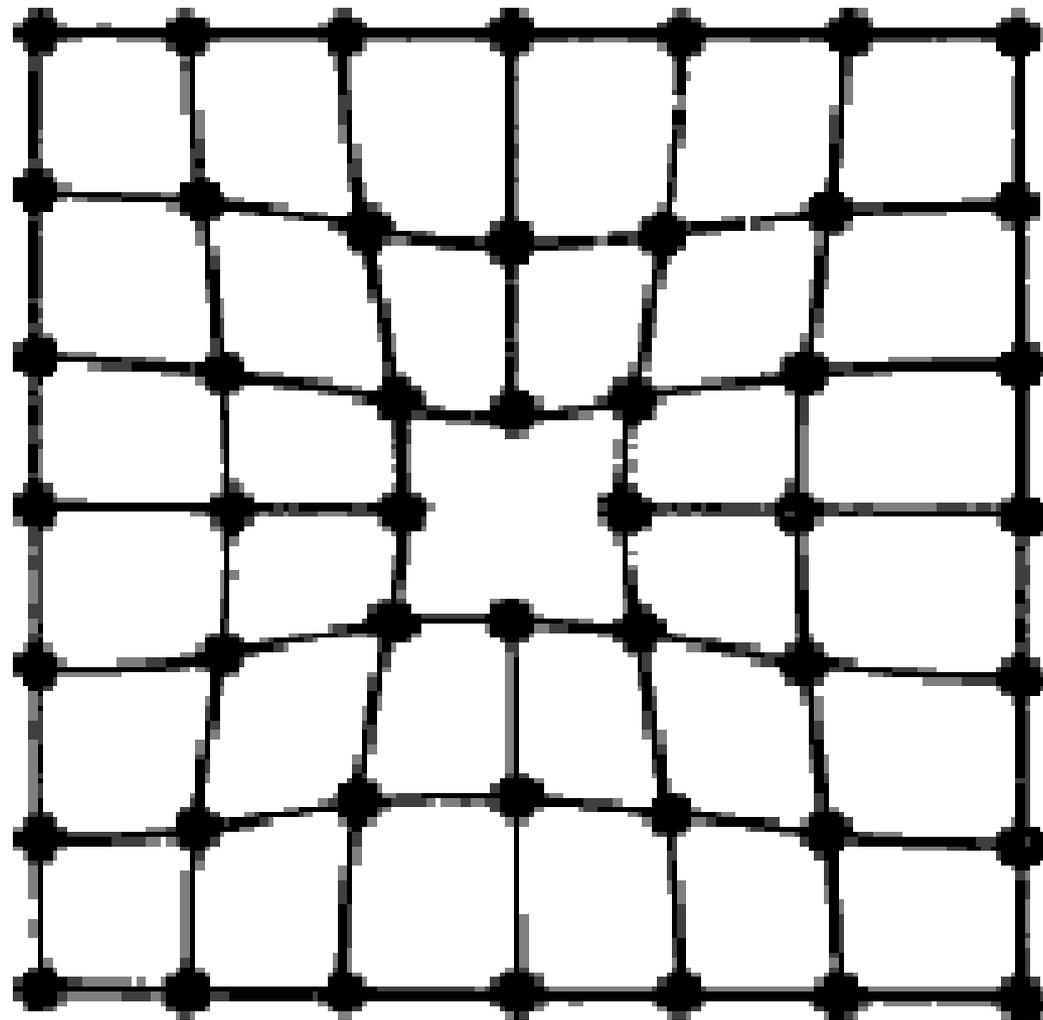
В любом реальном кристалле всегда имеются дефекты строения. Дефекты кристаллического строения подразделяют на точечные, линейные (одномерные) и поверхностные (двухмерные).

Точечные дефекты

Эти дефекты малы во всех трех измерениях и их размеры не превышают нескольких атомных диаметров.

К точечным дефектам относятся:

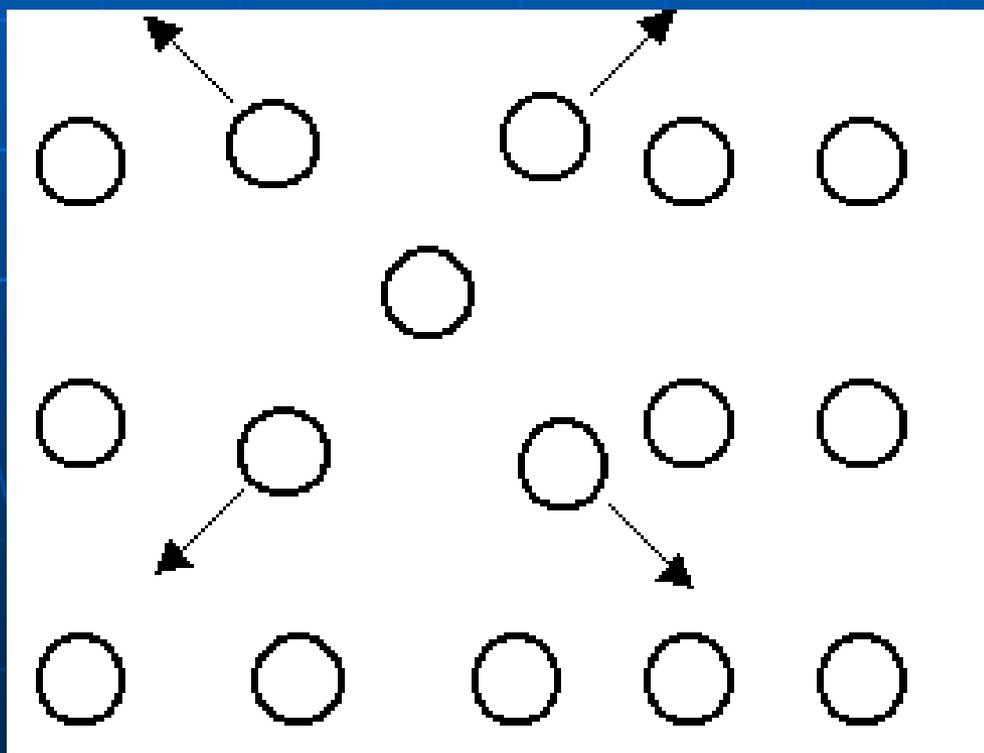
- *вакансии* (дефекты Шотки), т.е. узлы решетки, в которых атомы отсутствуют;

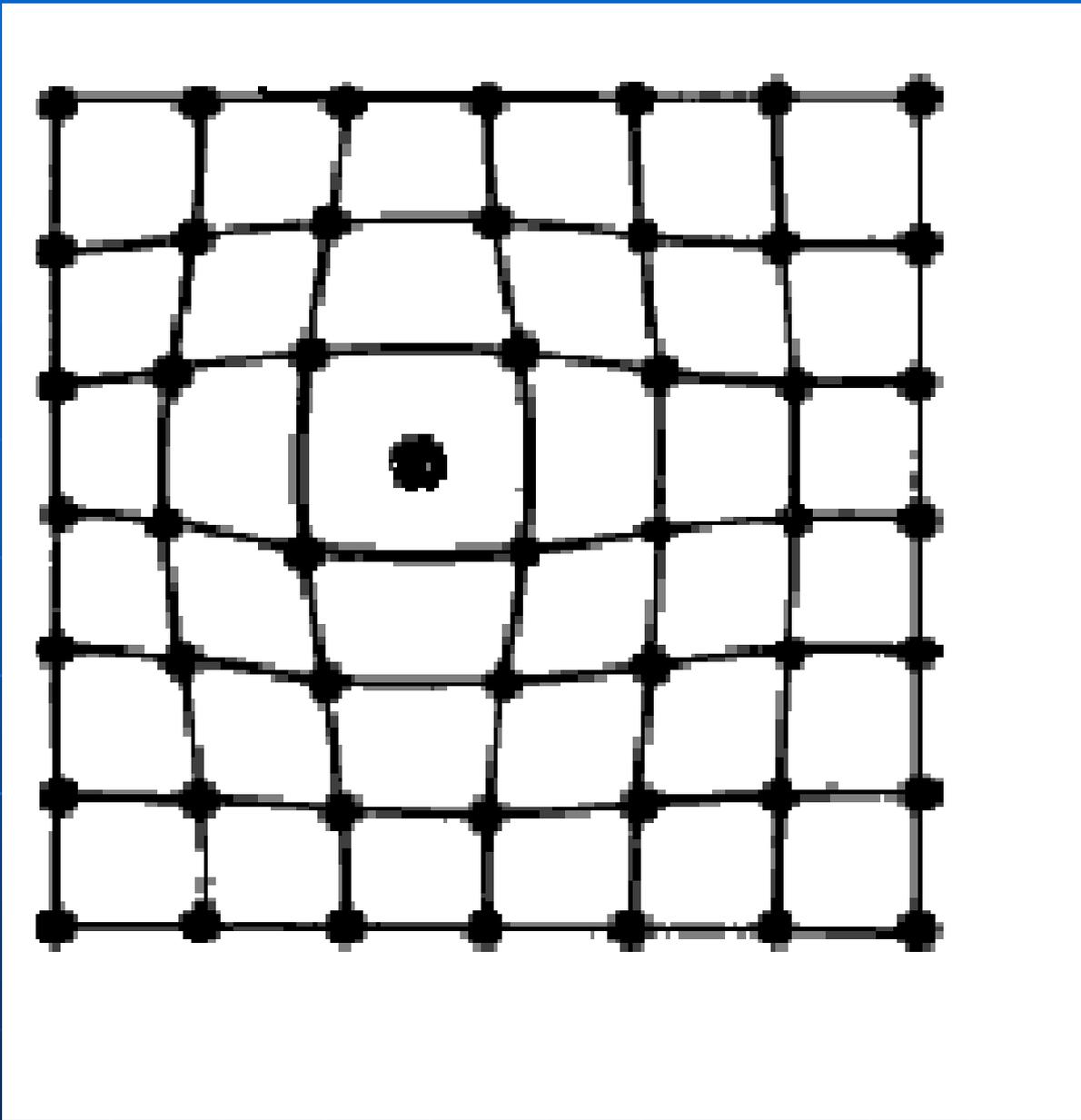


вакансия

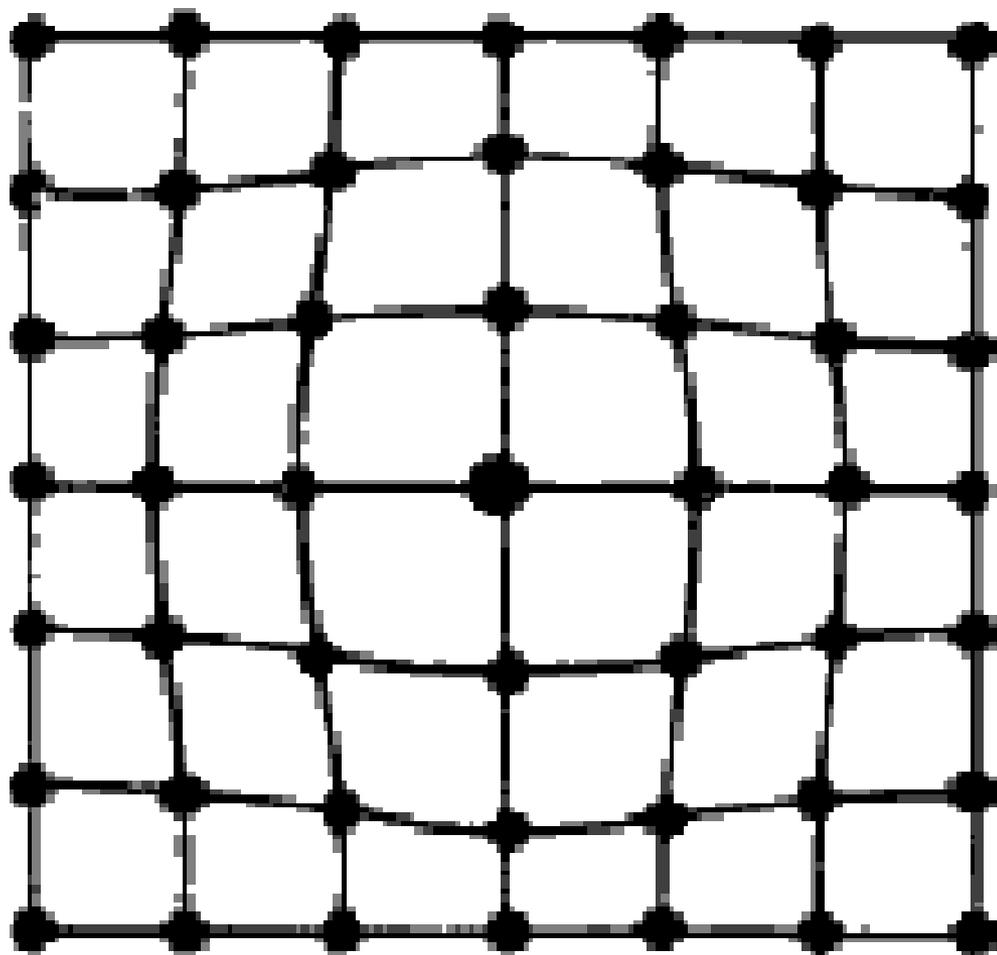
межузельные атомы

(дефекты Френкеля образующиеся в результате перехода атома из узла решетки в междуузлие).





межузельный атом



Атом внедрения

К линейным дефектам кристаллического строения металлов относятся дислокации — особый вид несовершенства кристаллической решетки, который образуется в результате локальных необратимых смещений отдельных участков кристалла.

Краевая дислокация представляет собой искажение кристаллической решетки, вызванное наличием в ней “лишней” атомной полуплоскости (нижний край лишней полуплоскости АВ), внедрившейся в верхнюю часть кристаллической решетки. Здесь решетка упруго деформирована. В верхней части она шире, чем в нижней, что вызывает соответствующее искажение расстояния между атомами

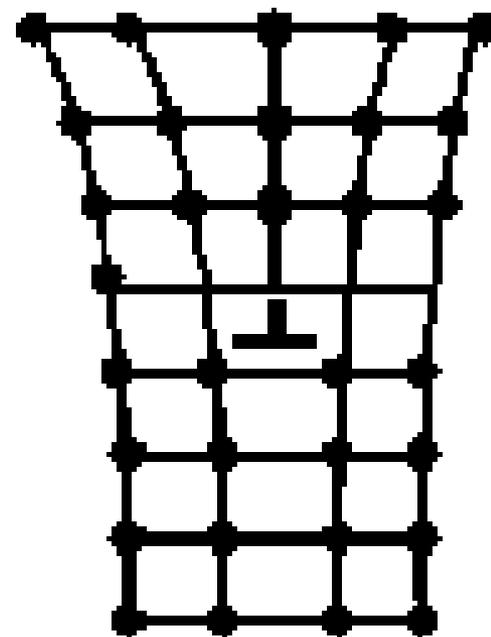
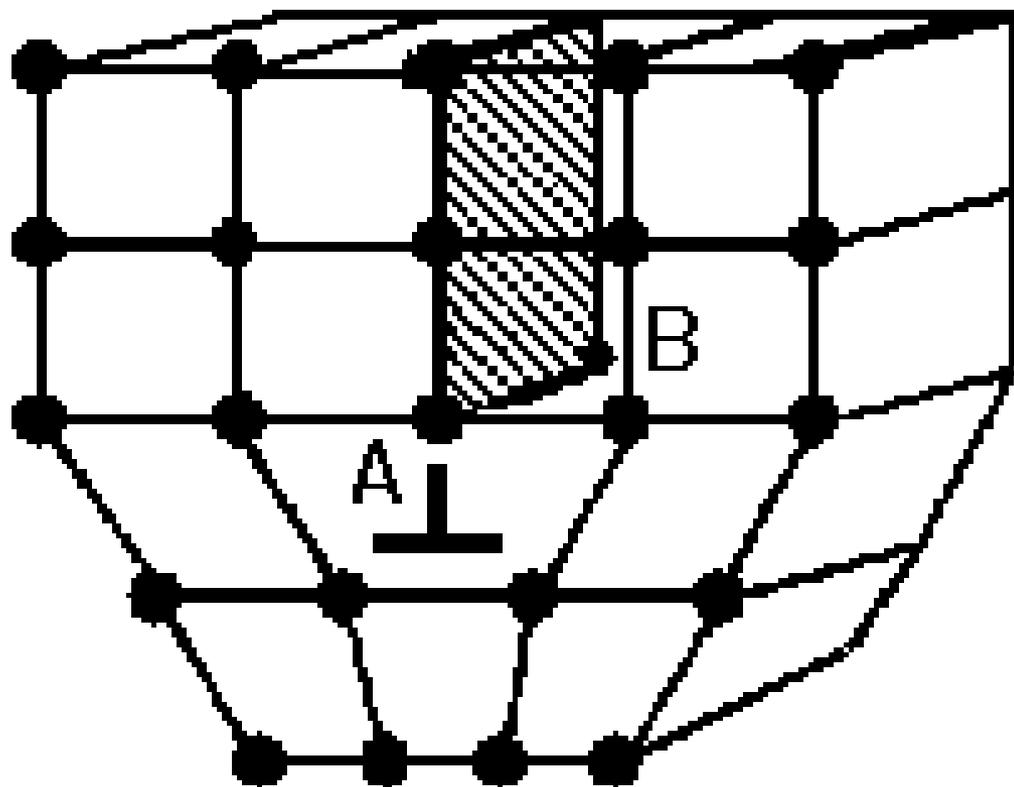


Схема краевой дислокации
в кристаллической решетке

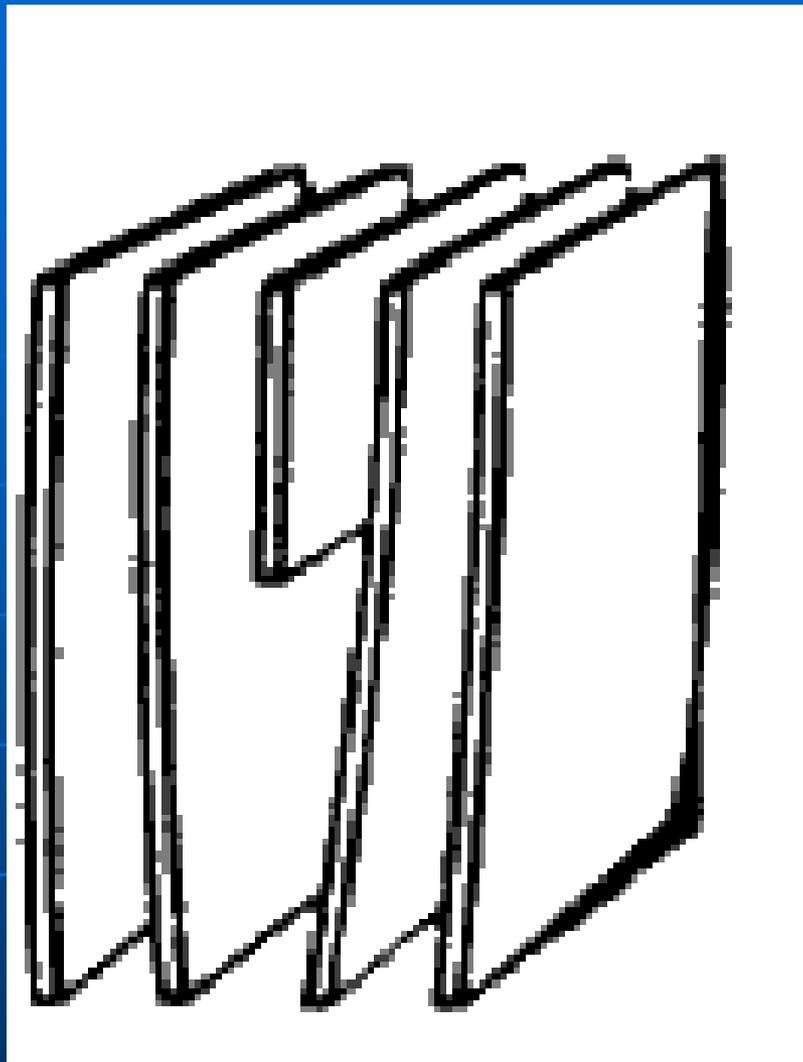


Схема краевой дислокации
в кристаллической решетке

Винтовая дислокация формируется под действием сил сдвига P . Сдвиг распространяется от переднего края кристалла до линии АВ. При этом правая передняя часть кристалла смещается вниз на период кристаллической решетки. Такая деформация искажает расстояние между атомами **неравномерно**.

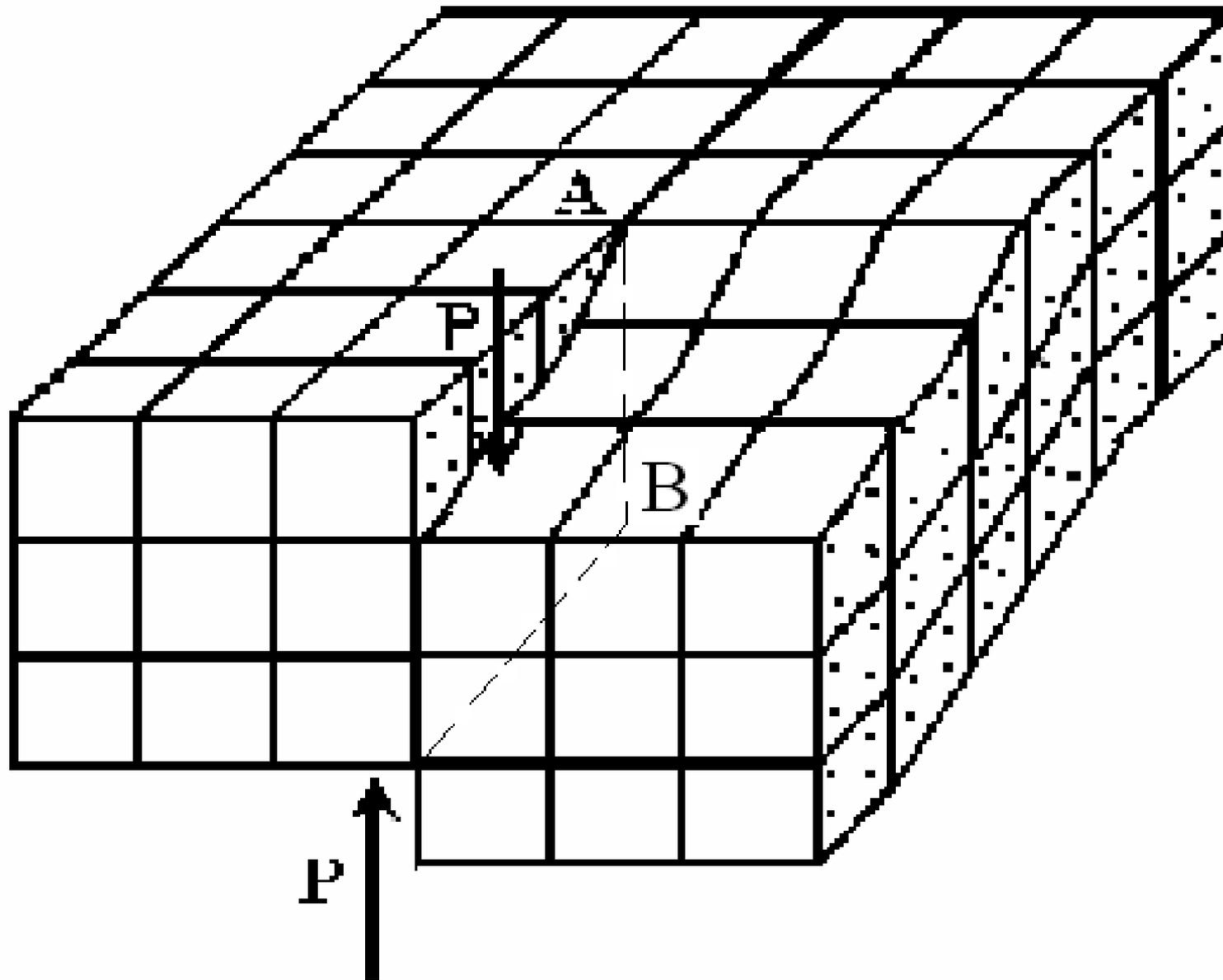


Схема винтовой дислокации

Дислокационная структура материала характеризуется *плотностью дислокаций*.

Плотность дислокаций в кристалле определяется как среднее число линий дислокаций, пересекающих внутри тела площадку площадью 1 м^2 , или как суммарная длина линий дислокаций в объеме 1 м^3

$$\rho = \frac{\Sigma}{V}$$

$(cm^2; m^2)$

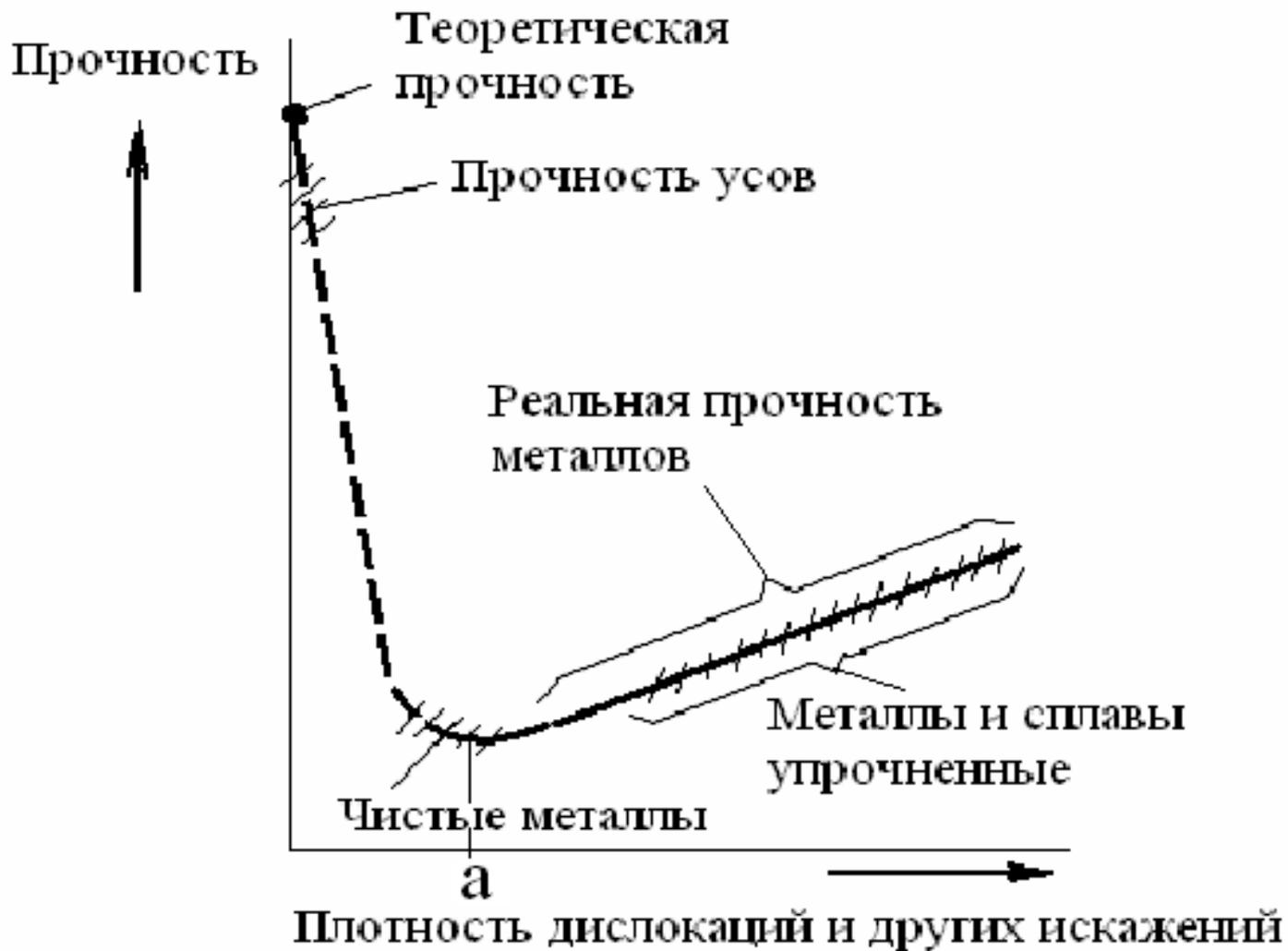
Плотность дислокаций изменяется в широких пределах и зависит от состояния материала.

- После тщательного отжига плотность дислокаций составляет

$10^5 \dots 10^7$ м².

- В кристаллах с сильно деформированной кристаллической решеткой плотность дислокаций

достигает $10^{15} \dots 10^{16}$ м².



Плотность дислокации в значительной мере определяет прочность материала

Минимальная прочность определяется критической плотностью дислокаций .

Если плотность меньше значения ρ_0 , то сопротивление деформированию резко возрастает, а прочность приближается к теоретической. Повышение прочности достигается созданием металла с бездефектной структурой, а также повышением плотности дислокаций, затрудняющим их движение.

В настоящее время созданы кристаллы без дефектов – нитевидные кристаллы длиной до 2 мм, толщиной 0,5...20 мкм - “усы” с прочностью, близкой к теоретической:
для железа - 13000 МПа

При упрочнении металлов увеличением плотности дислокаций, она не должна превышать значений $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$.

В противном случае образуются трещины.

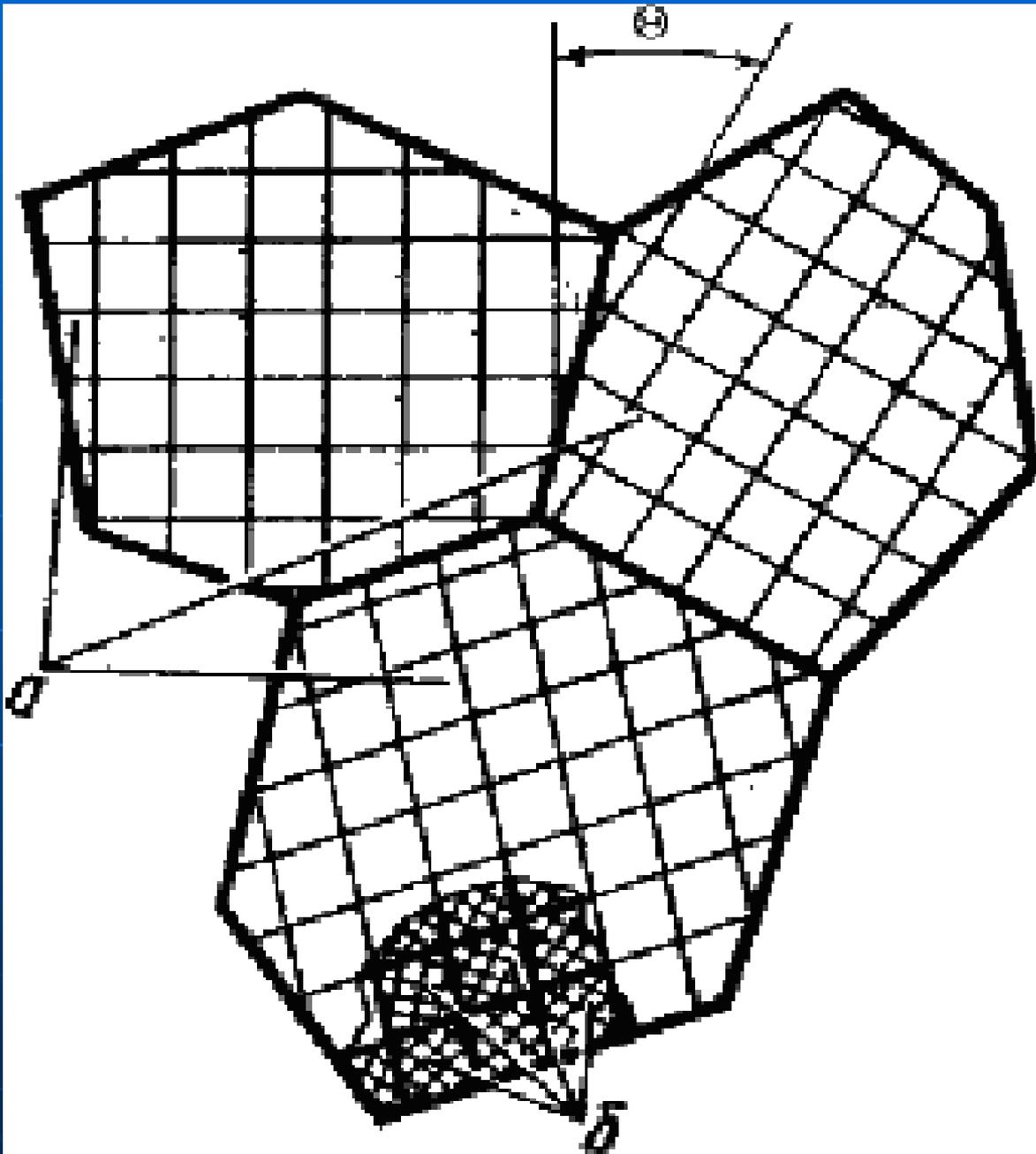
Дислокации влияют не только на прочность и пластичность, но и на другие свойства кристаллов.

С увеличением плотности дислокаций возрастает внутреннее напряжение, изменяются оптические свойства, повышается электросопротивление металла.

Дислокации увеличивают среднюю скорость диффузии в кристалле, ускоряют старение и другие процессы,

уменьшают химическую
стойкость, поэтому в результате
обработки поверхности кристалла
специальными веществами в
местах выхода дислокаций
образуются ямки.

Дислокации образуются при образовании кристаллов из расплава или газообразной фазы, при срастании блоков с малыми углами разориентировки θ .
Образуются дислокации при деформации, в процессе кристаллизации, при термической обработке.



*Поверхностные
дефекты –
границы зерен,
фрагментов и
блоков*

*Разориентация
зерен и
блоков
в металле*

Размеры зерен составляют до 1000 мкм. Углы разориентации составляют до нескольких десятков градусов (☺).

Граница между зернами представляет собой тонкую в 5 – 10 атомных диаметров поверхностную зону с максимальным нарушением порядка в расположении атомов.

Строение переходного слоя способствует скоплению в нем дислокаций. На границах зерен повышена концентрация примесей, которые понижают поверхностную энергию.

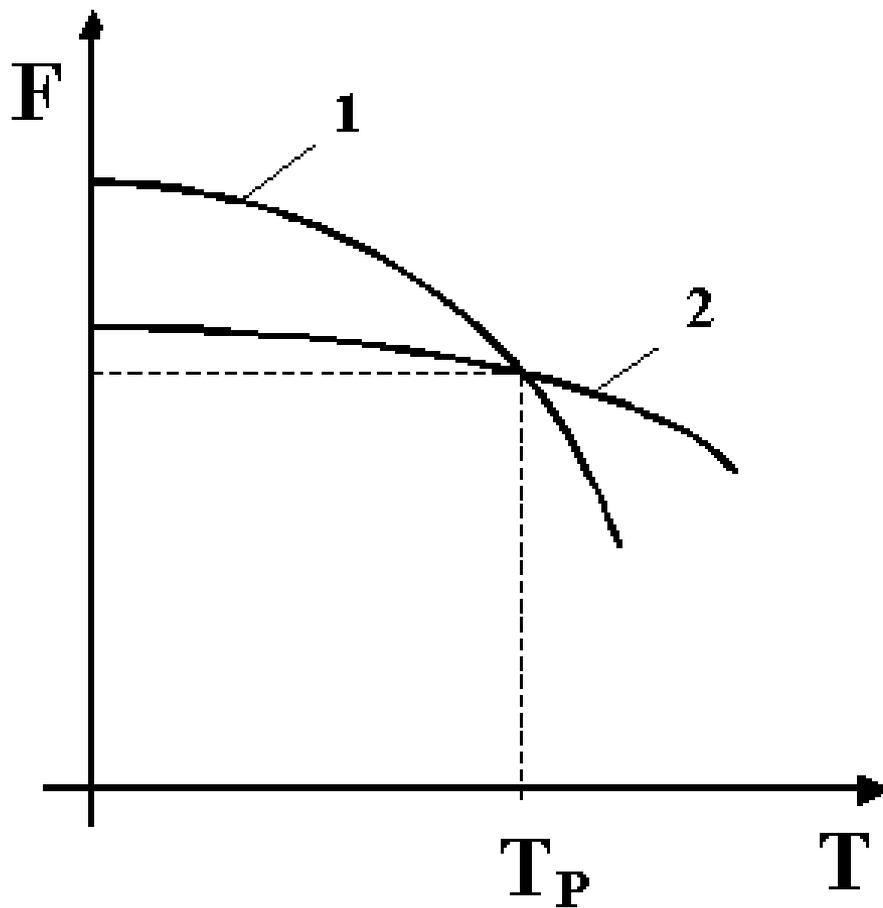
Однако и внутри зерна (б) никогда не наблюдается идеального строения кристаллической решетки. Имеются участки, разориентированные один относительно другого на несколько градусов. Эти участки называются *фрагментами*.

Процесс деления зерен на
фрагменты называется
фрагментацией или
полигонизацией.

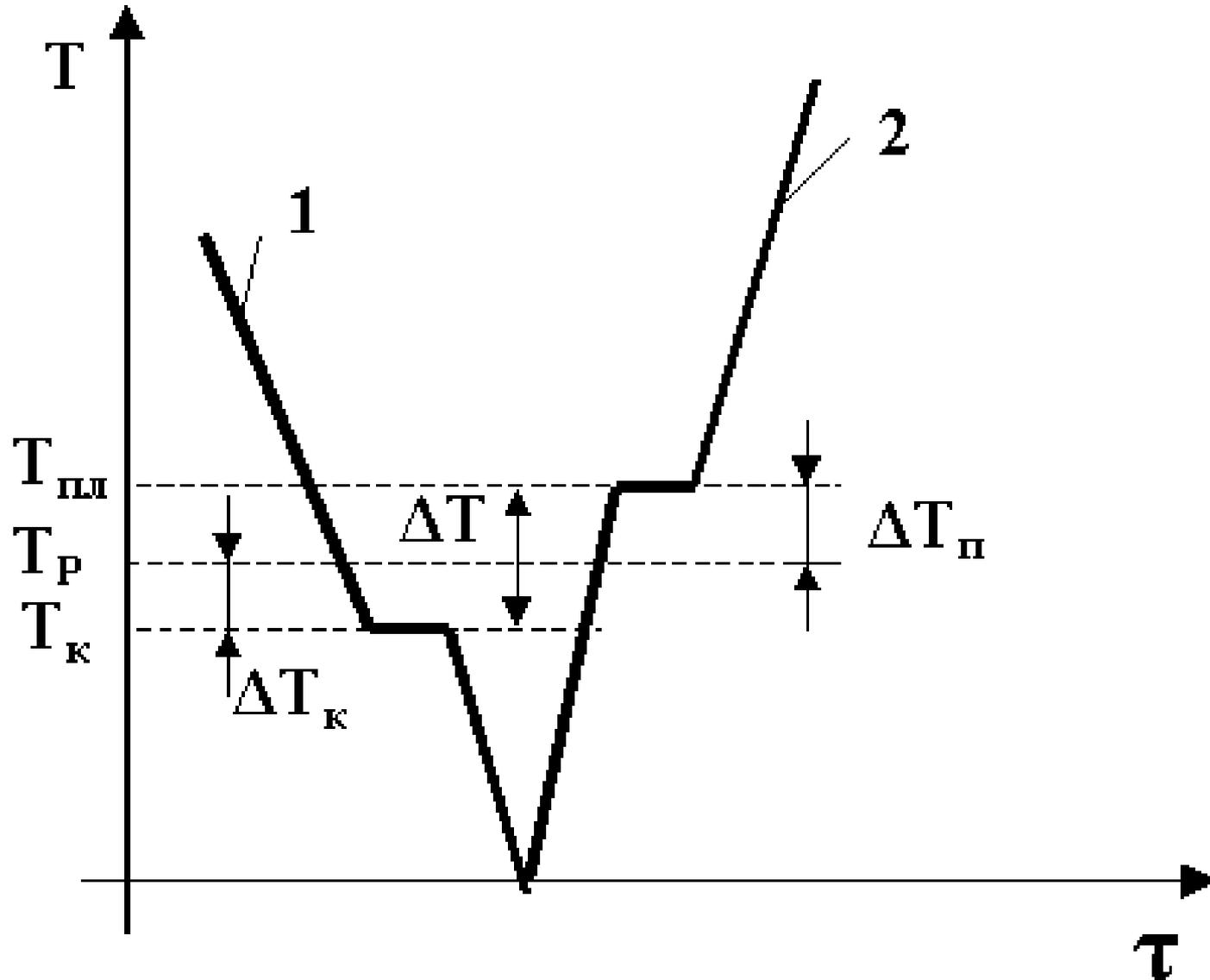
В свою очередь каждый фрагмент
состоит из блоков, размерами
менее 10 мкм,
разориентированных на угол
менее одного градуса.

Любое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном. Возможен переход из одного состояния в другое, если новое состояние в новых условиях является более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

С изменением внешних условий свободная энергия изменяется по сложному закону различно для жидкого и кристаллического состояний.

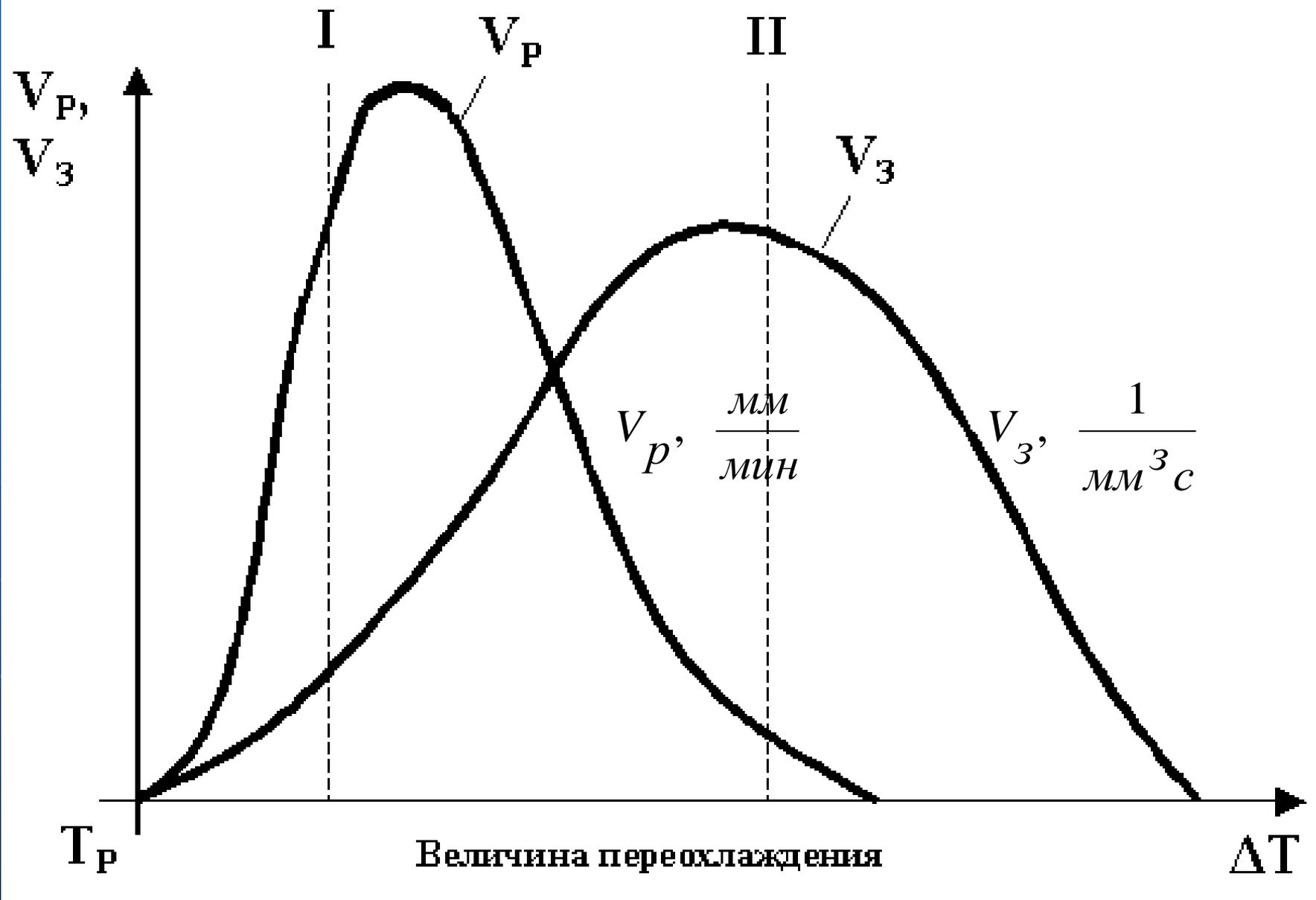


Зависимость свободной энергии жидкой 1 и твердой 2 фаз от температуры



Характерный вид кривых охлаждения (1) и нагрева (2) чистого металла

Русский инженер Чернов Д.К.
первым в 1878 году установил, что
процесс кристаллизации состоит из
двух элементарных процессов (рис.):
 V_z – скорость роста числа зачатков
(центров кристаллизации),
 V_p – скорость роста кристаллов.



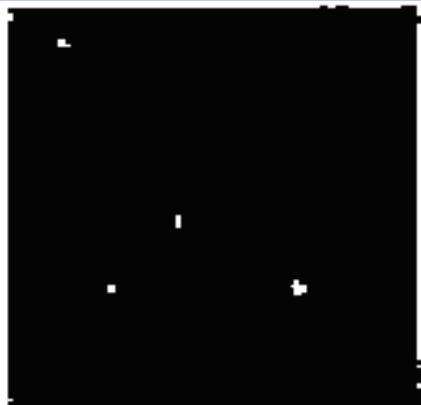
Зависимость скорости роста кристаллов V_p и V_z образования зародышей

Этапы процесса кристаллизации:

1. В твердом состоянии все металлы имеют кристаллическое строение.
2. При переходе из жидкого состояния в твердое в отдельных частях жидкой фазы образуются частички правильно построенных атомов (зародышей).
3. Дальнейший рост кристаллов идет за счет надстройки атомов из жидкой фазы к зародышам.

4. Движущейся силой процесса кристаллизации является свободная энергия системы. Системе выгодно, чтобы свободная энергия была минимальной.

5. Скорость всего процесса кристаллизация определяется двумя величинами: V_P и V_3 .



1c



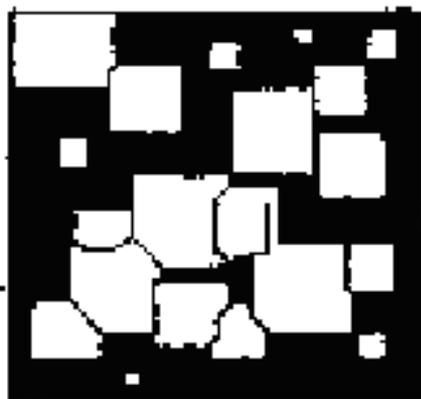
2c



3c



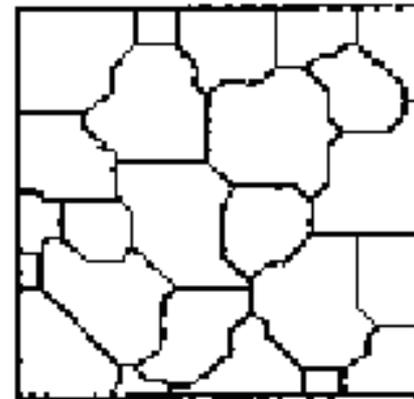
4c



5c



6c



7c

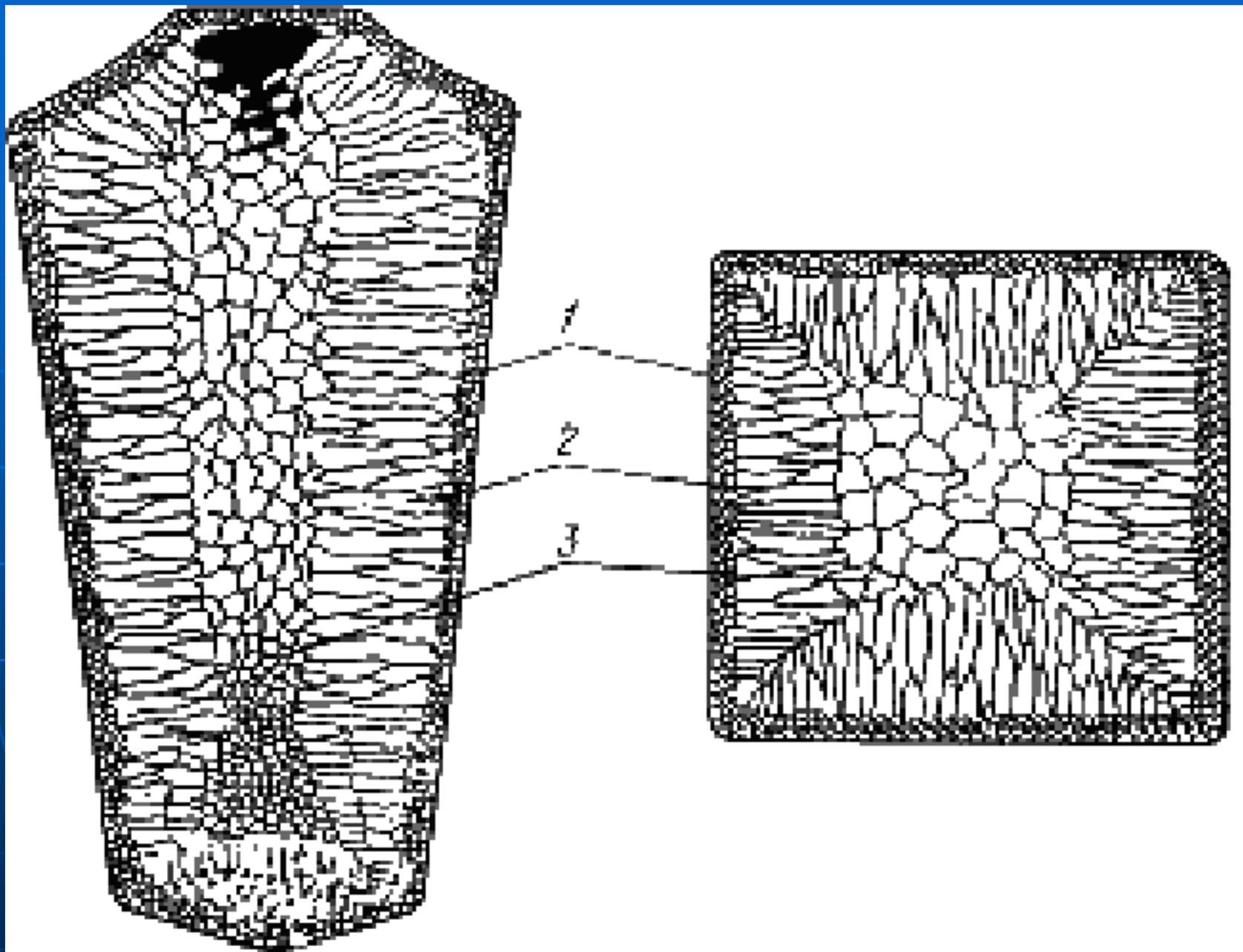


Схема стального слитка

Слиток состоит из трех зон:

- мелкокристаллическая корковая зона;
- зона столбчатых кристаллов;
- внутренняя зона крупных равноосных кристаллов.

Кристаллизация корковой зоны идет в условиях максимального переохлаждения. Скорость кристаллизации определяется большим числом центров кристаллизации. Образуется мелкозернистая структура. Жидкий металл под корковой зоной находится в условиях меньшего переохлаждения.

Число центров ограничено и процесс кристаллизации реализуется за счет их интенсивного роста до большого размера.

Рост кристаллов во второй зоне имеет направленный характер. Они растут перпендикулярно стенкам изложницы, образуются древовидные кристаллы — дендриты. Растут дендриты с направлением, близким к направлению теплоотвода.



Схема дендрита по Чернову Д.К.