

Лекция 3

Микроструктура материалов

Содержание

- Дефекты кристаллического строения
- Реальное строение материалов
- Структура поверхности

Введение

В предыдущей лекции были рассмотрены совершенные кристаллы. Однако, кристаллические материалы редко, если вообще когда-либо, обладают совершенной (идеальной) структурой. Если бы материалы имели совершенную структуру, она была бы неизменной. Однако известно, что структура и свойства большинства материалов: металлов и металлических сплавов, полимеров, керамик и стекол изменяются как благодаря введению других элементов, так и при термомеханическом воздействии на материал. Важно подчеркнуть, что изменение свойств материалов, прежде всего, связано с изменением плотности, распределением и взаимодействием несовершенств (дефектов) кристаллической структуры.

Классификация дефектов кристаллического строения

Идеальных кристаллов, в которых все атомы находились бы в положениях с минимальной энергией, практически не существует. Отклонения от идеальной решетки могут быть временными и постоянными. К постоянным несовершенствам относятся:

Точечные дефекты (вакансии, примеси). Точечные дефекты малы во всех трех измерениях, их размеры по всем направлениям не больше нескольких атомных диаметров.

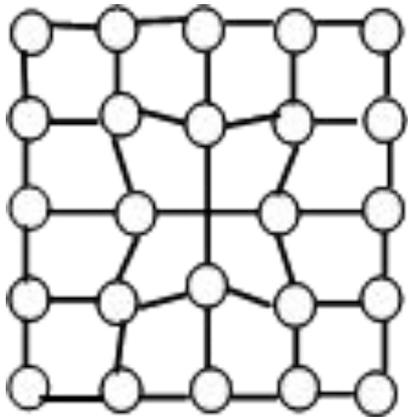
Линейные дефекты (дислокации, цепочки вакансий). Линейные дефекты имеют атомные размеры в двух измерениях, а в третьем - они значительно больше размера, который может быть соизмерим с длиной кристалла.

Поверхностные дефекты имеют малую толщину и значительные размеры в двух других измерениях. Обычно это места стыка двух ориентированных участков кристаллической решетки.

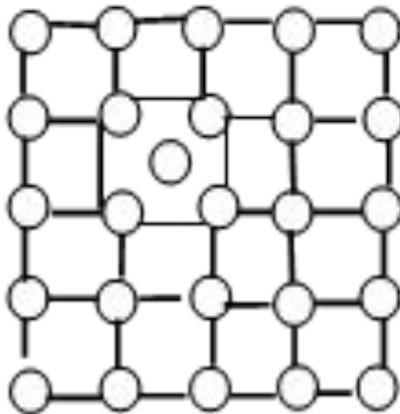
Объемные дефекты это закрытые и открытые поры, трещины. Объемные дефекты имеют относительно большие размеры, несоизмеримые с атомным диаметром, во всех трех измерениях.

Модели кристаллов с точечными дефектами.

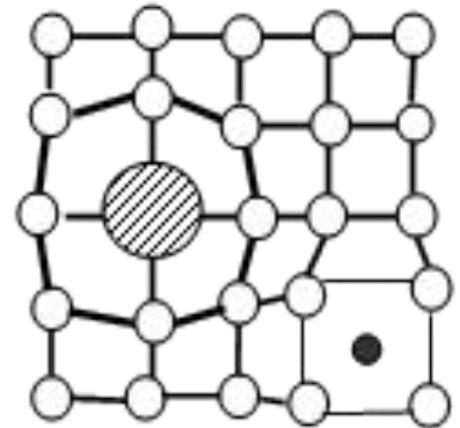
а – вакансия, б – межузельный атом, в) - атомы примесей



а



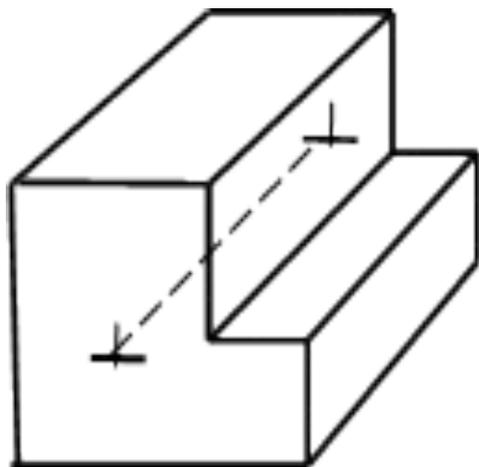
б



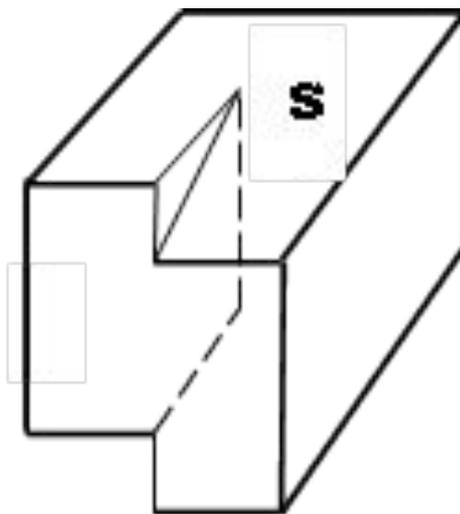
в

Дислокации

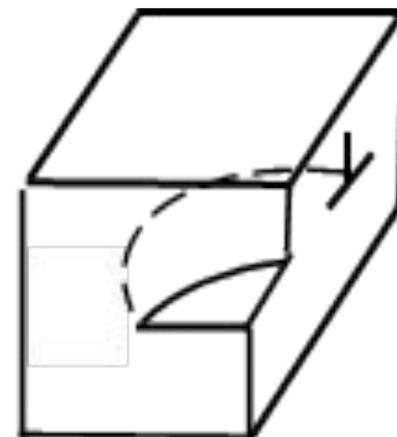
а – краевая, б – винтовая, в – смешанная.



а

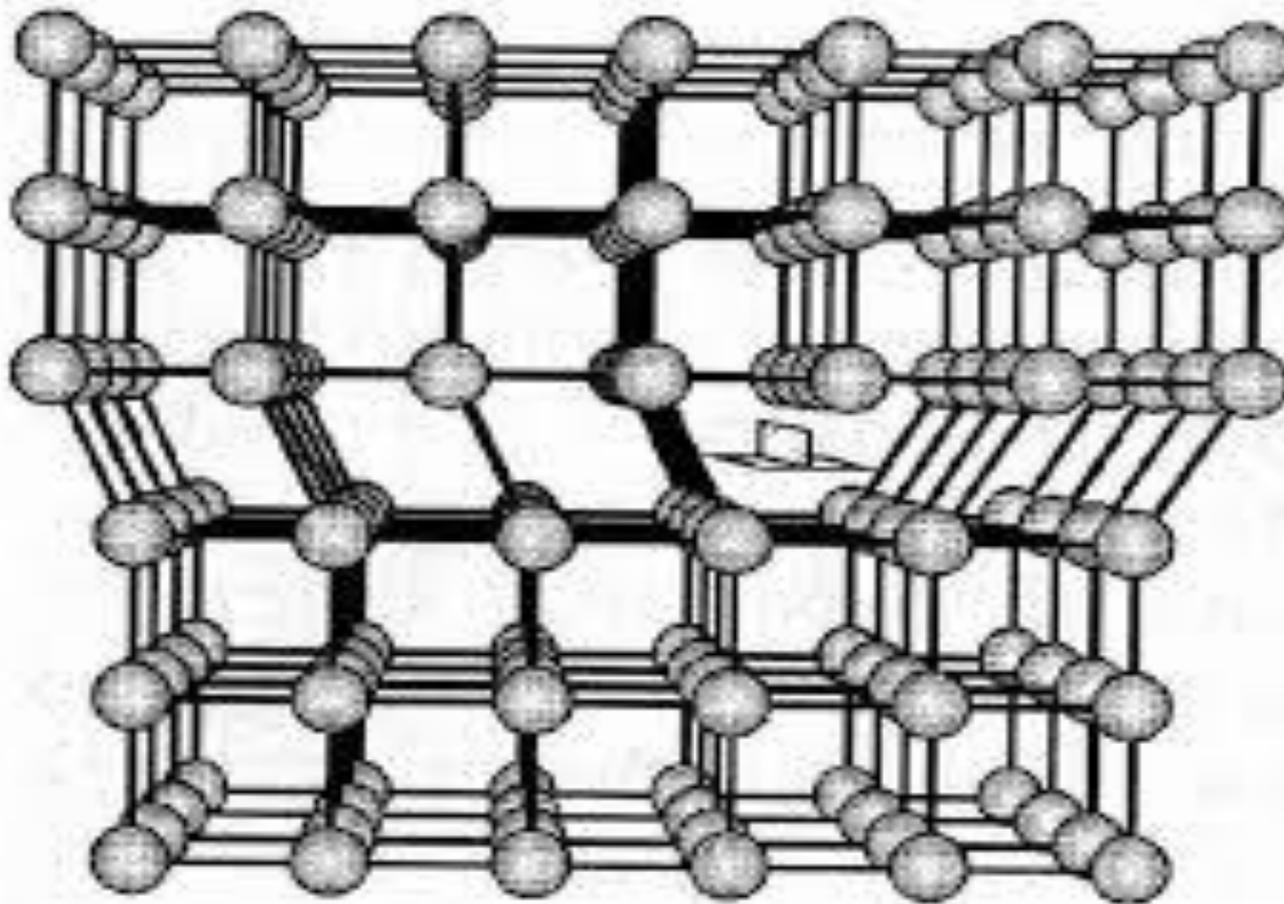


б



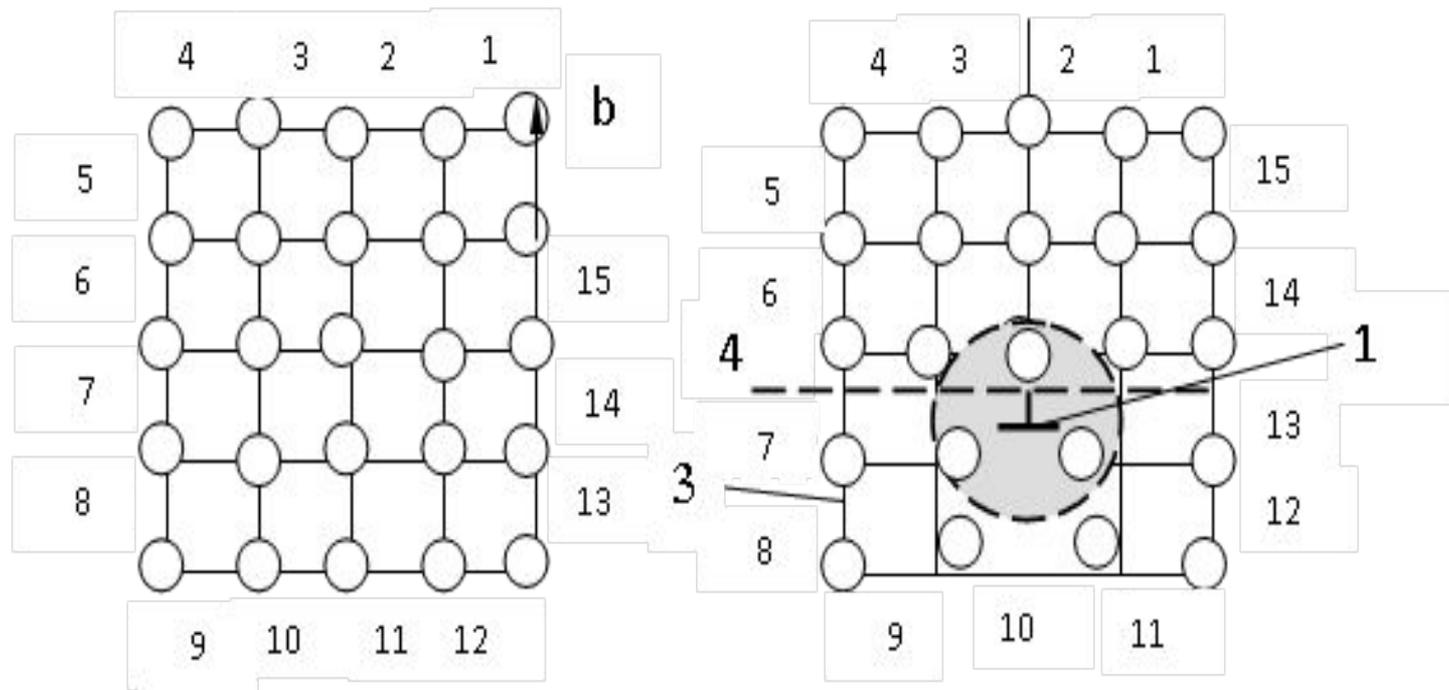
в

Краевая дислокация



Краевая дислокация

1 – ядро дислокации, 2 – экстраплоскость, 3 – контур Бюргера, 4 – плоскость скольжения.



Энергия и плотность дислокаций

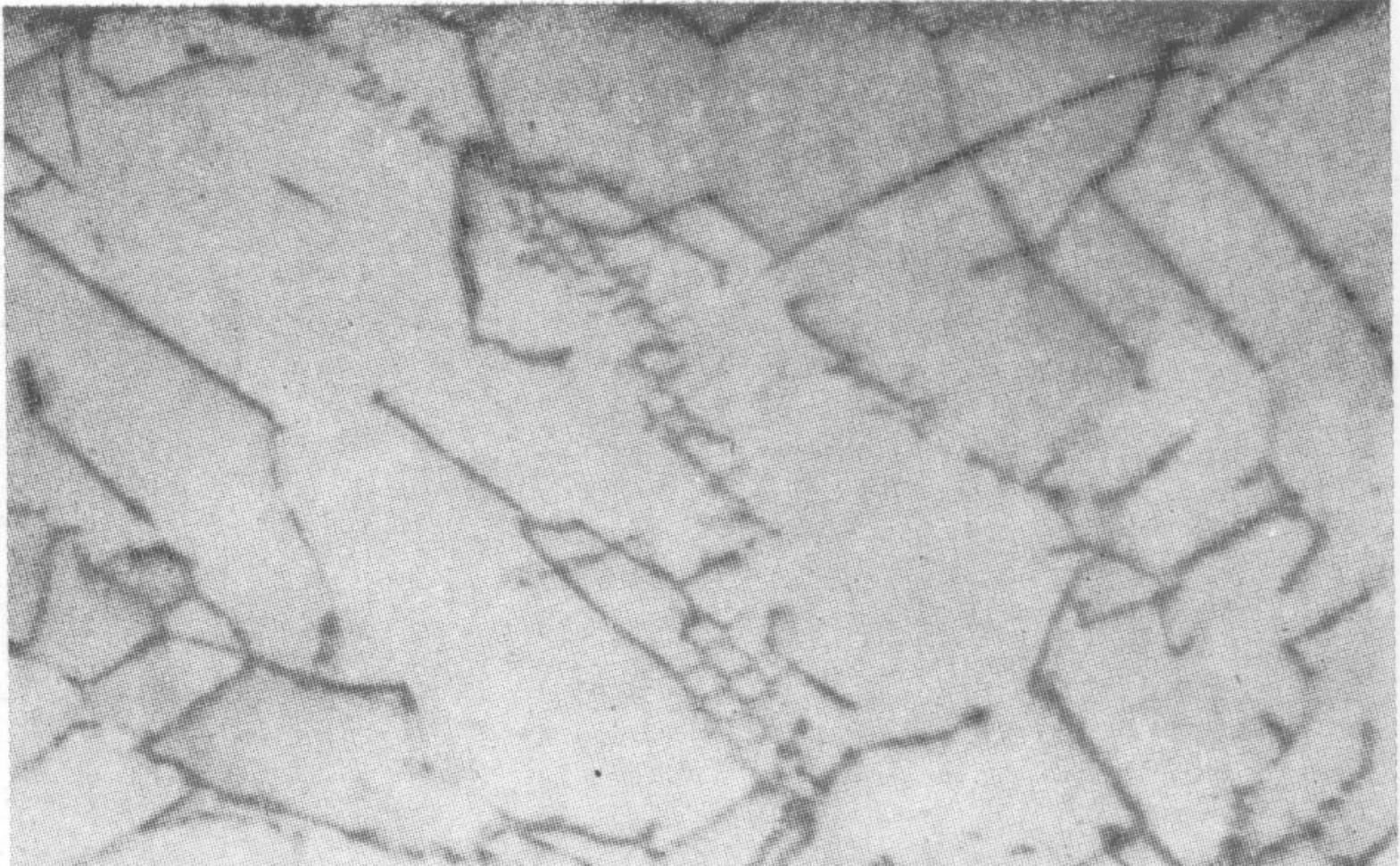
$$E_{\text{д}} = G \cdot \ell \cdot b^2,$$

G – модуль сдвига,
 ℓ – длина дислокации,
 b – вектор Бюргерса

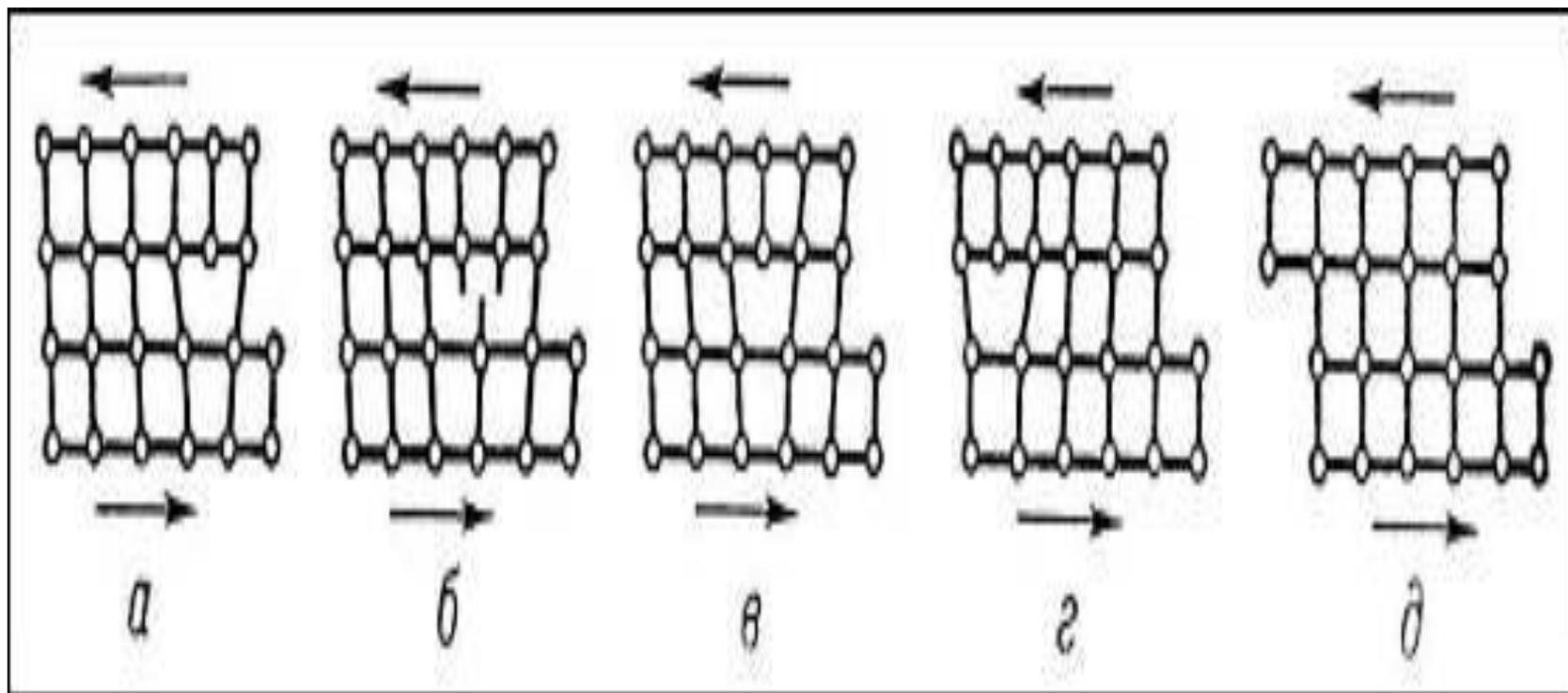
Плотность дислокаций ρ равна суммарной длине дислокаций $\sum \ell$ в единице объёма V :

$$\rho = \sum \ell / V$$

Дислокационная сетка.



Движение дислокации



Сила Пайерлса

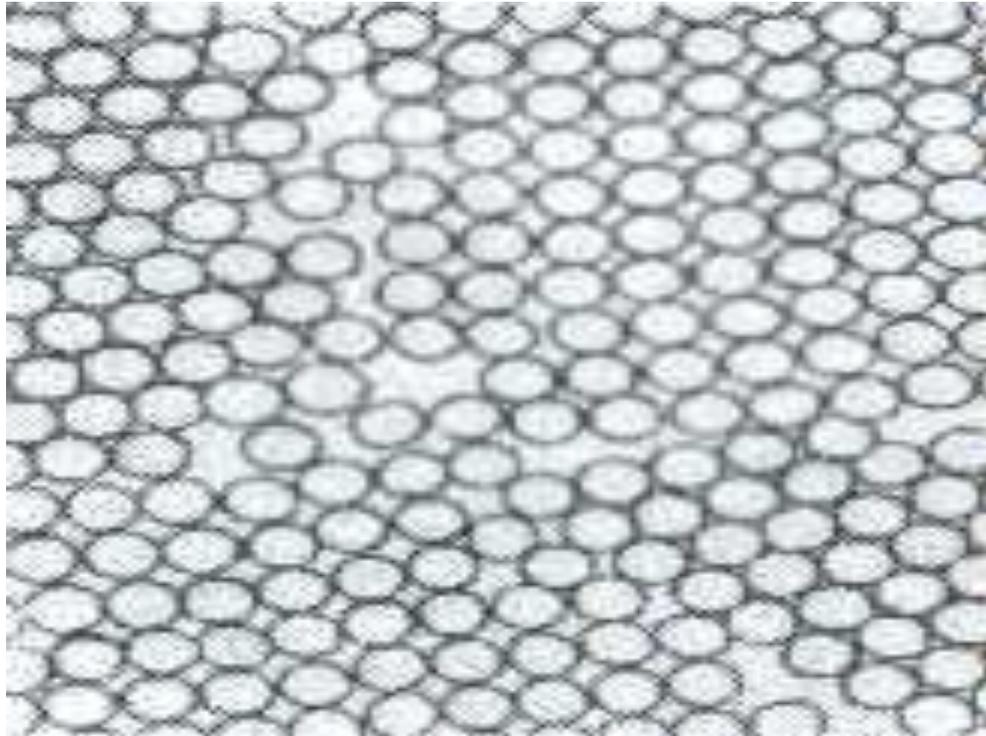
$$\tau_{\text{П}} = \frac{2G}{1-\mu} \exp\left(-\frac{2\pi}{1-\mu} \cdot \frac{d}{b}\right)$$

где G -модуль упругости при сдвиге; μ -коэффициент Пуассона; d -расстояние между соседними атомными плоскостями, в которых происходит скольжение; b - межатомное расстояние в направлении скольжения.

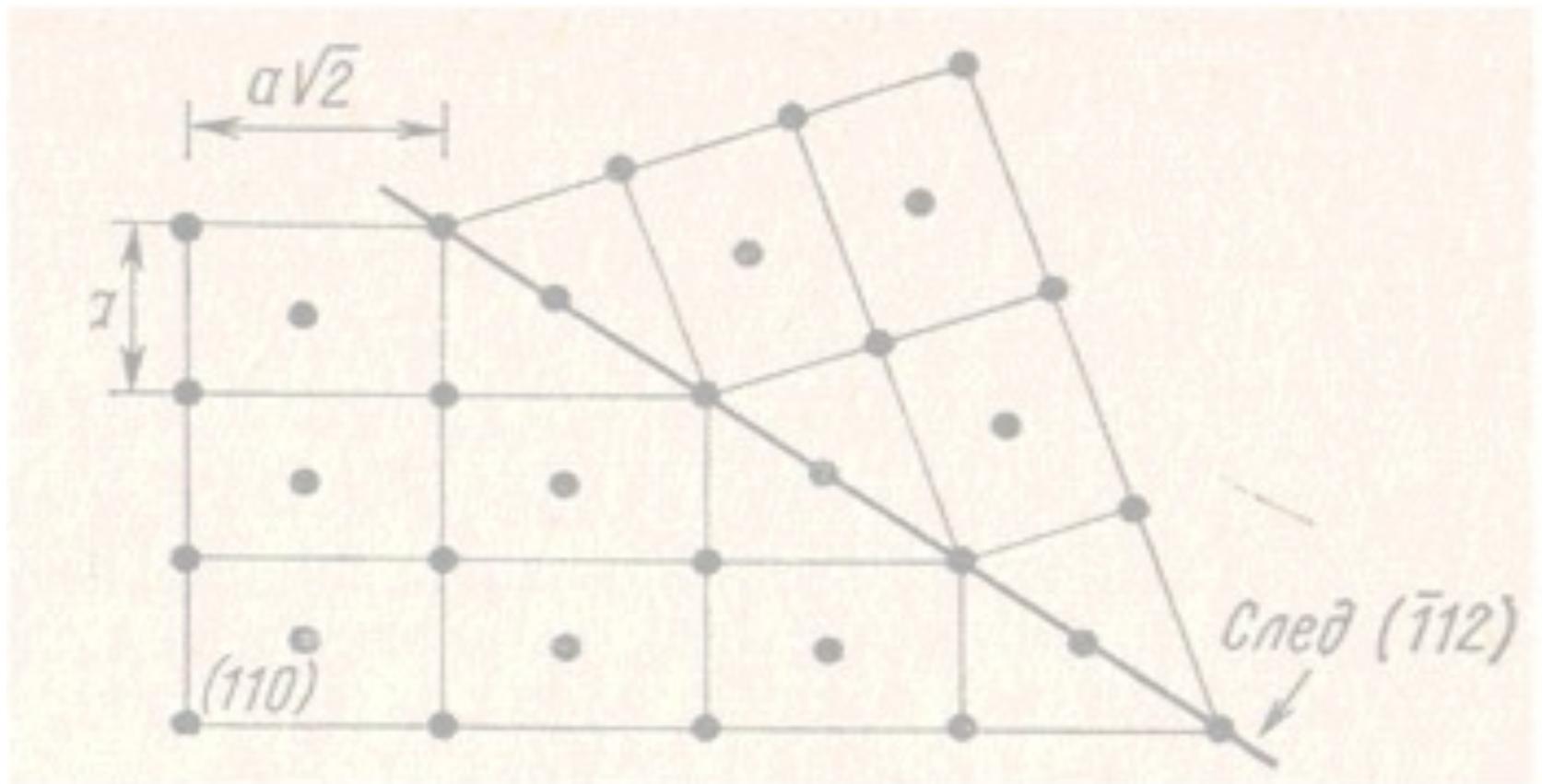
Модель границ зерен

Атомы, расположенные вдоль границы, имеют меньшие координационные числа, чем атомы, расположенные в решетке.

$$\text{Энергия границы } \gamma_{\text{гр}} = 2\gamma_{\text{п}} \cdot \cos(\theta/2)$$



Двойниковая граница.



Объемные дефекты

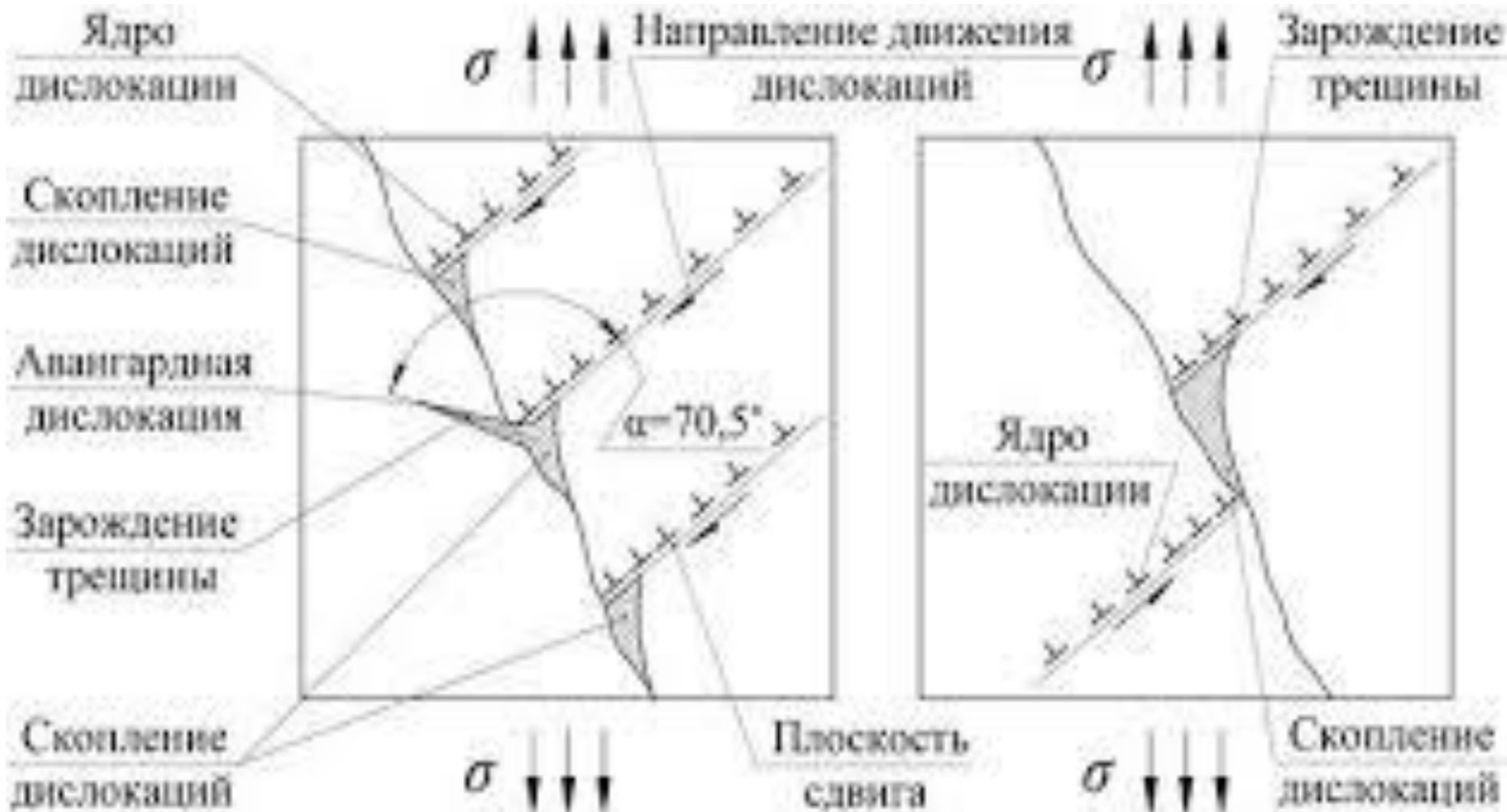
К объемным дефектам в кристаллах относятся микротрещины и микропоры. Энергетическое условие зарождения микротрещины

можно записать в виде:

$$Zbt > a\gamma,$$

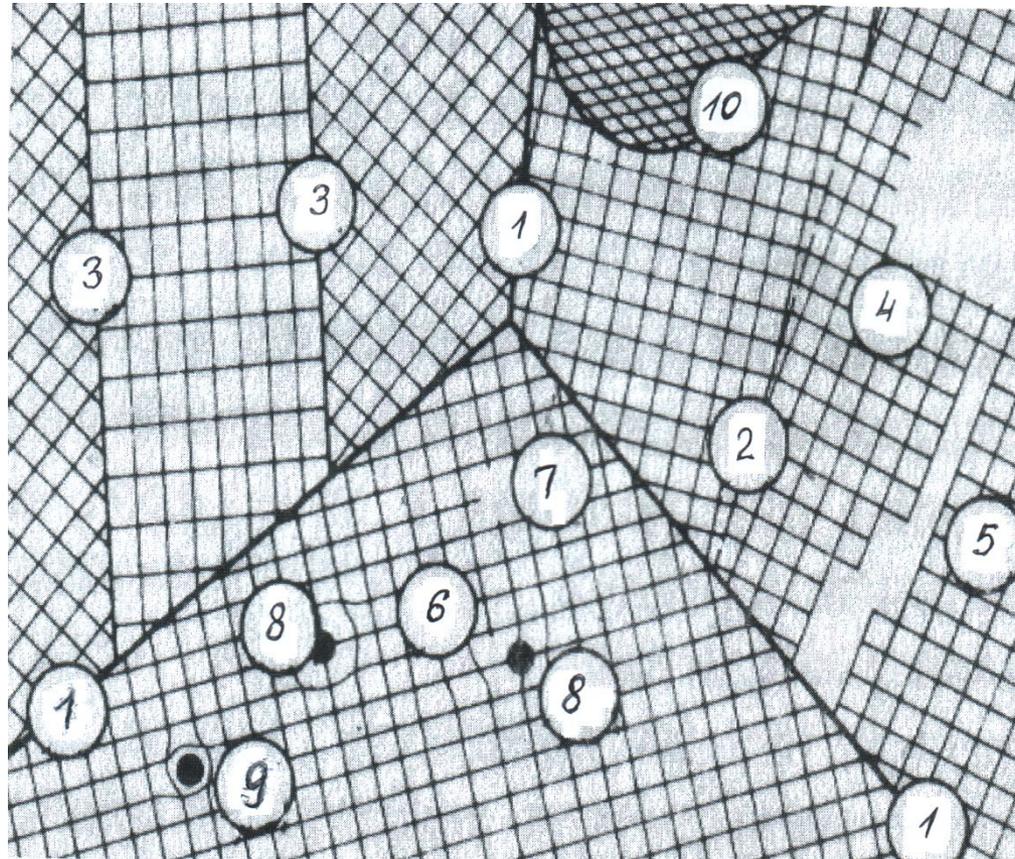
где Z – число дислокаций в скоплении, b – величина вектора Бюргерса, t – напряжение сдвига, γ – удельная поверхностная энергия, a – эмпирический коэффициент

Схема зарождения микротрещин (модель Зинера – Стро – Петча) и параллельных полосах сдвига (модель Орована)



Дефекты кристаллического строения

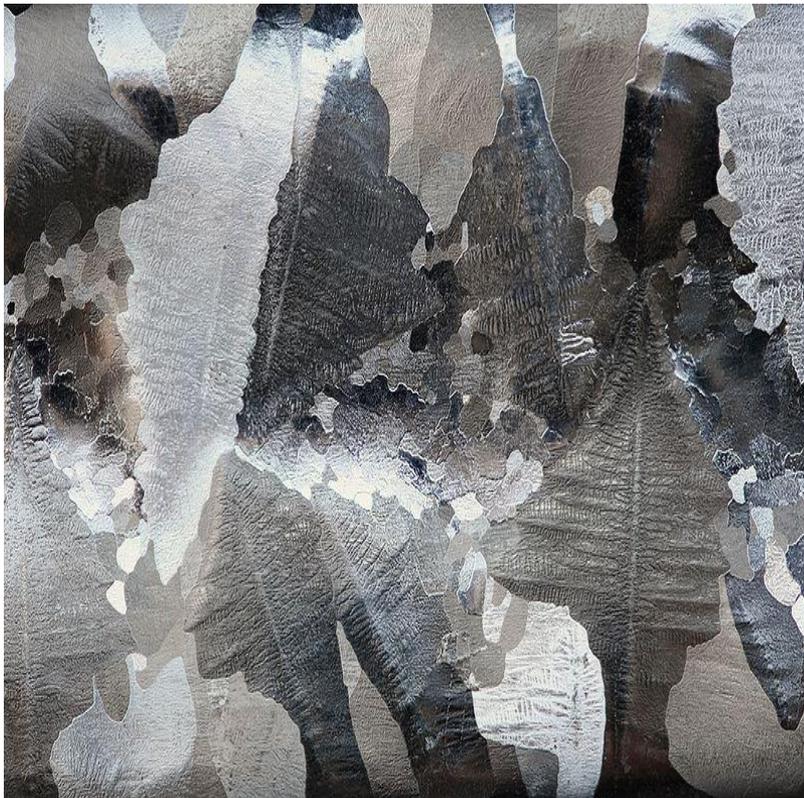
1- большеугольная граница, 2- малоугольная граница, 3 - двойниковая граница, 4 - микропора, 5 - микротрещина, 6 - краевая дислокация, 7 - вакансия, 8 - атом замещения, 9 – атом внедрения, 10 - межфазная граница.



Поликристаллическое строение

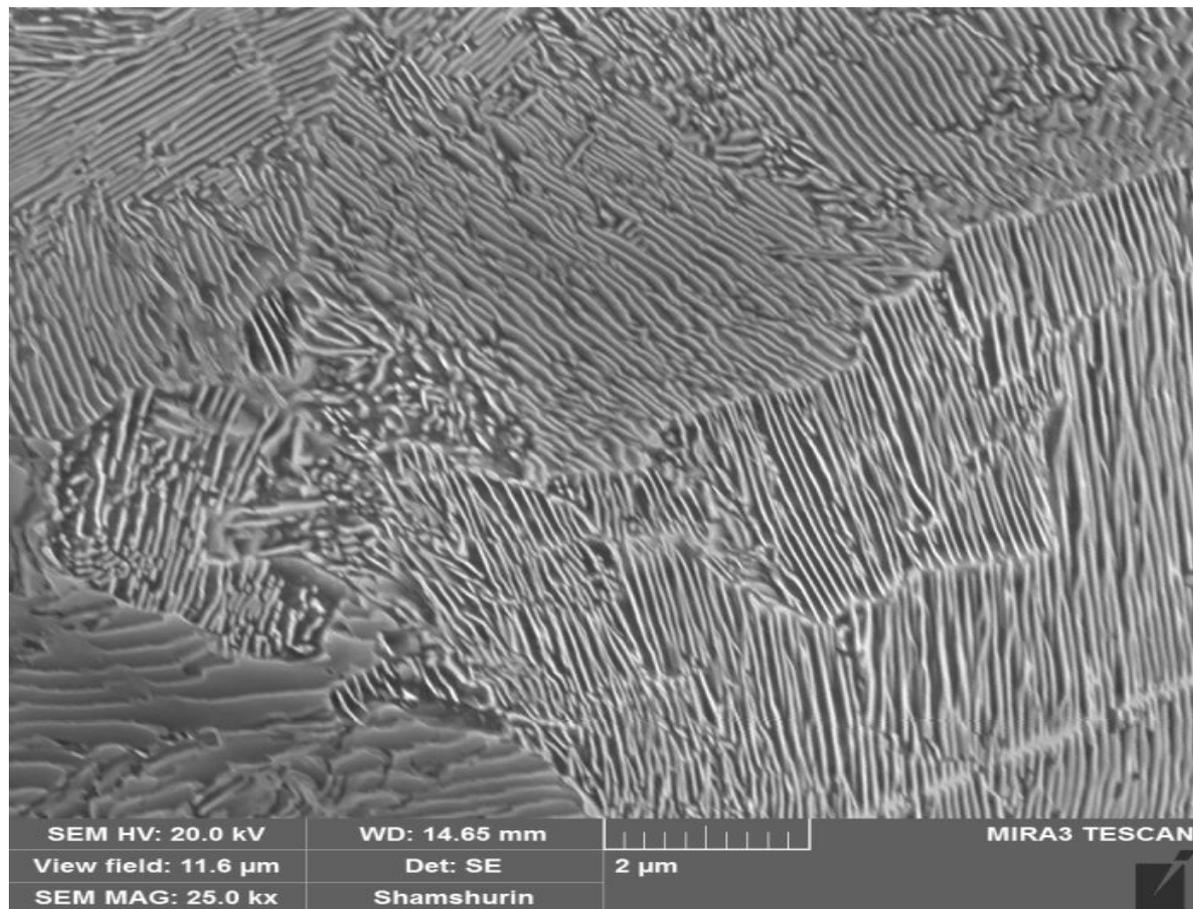
- Применяемые в машиностроении материалы, как правило, являются поликристаллическими. Если твердое тело содержит более одного кристалла, то естественно возникают области несогласованности в местах соприкосновения соседних кристаллов. Каждый отдельный кристалл называют зерном, а область несогласованности – границей зерен. Ориентировка атомных плоскостей кристалла претерпевает скачок при переходе через границу.
- Каждое зерно в поликристаллическом материале представляет собой монокристалл, а если присутствуют только кристаллы одинакового химического состава (одна фаза), то все зерна имеют одинаковую кристаллическую структуру, отличаясь только размерами и ориентировкой атомных плоскостей. Такая структура называется микроструктурой, так как она может быть обнаружена лишь при помощи микроскопа. Микроструктура материала характеризуется размером, формой и ориентировкой зерен. Каждая из этих особенностей влияет на свойства материалов.

Микроструктура металлов.
Световой микроскоп. x 500.



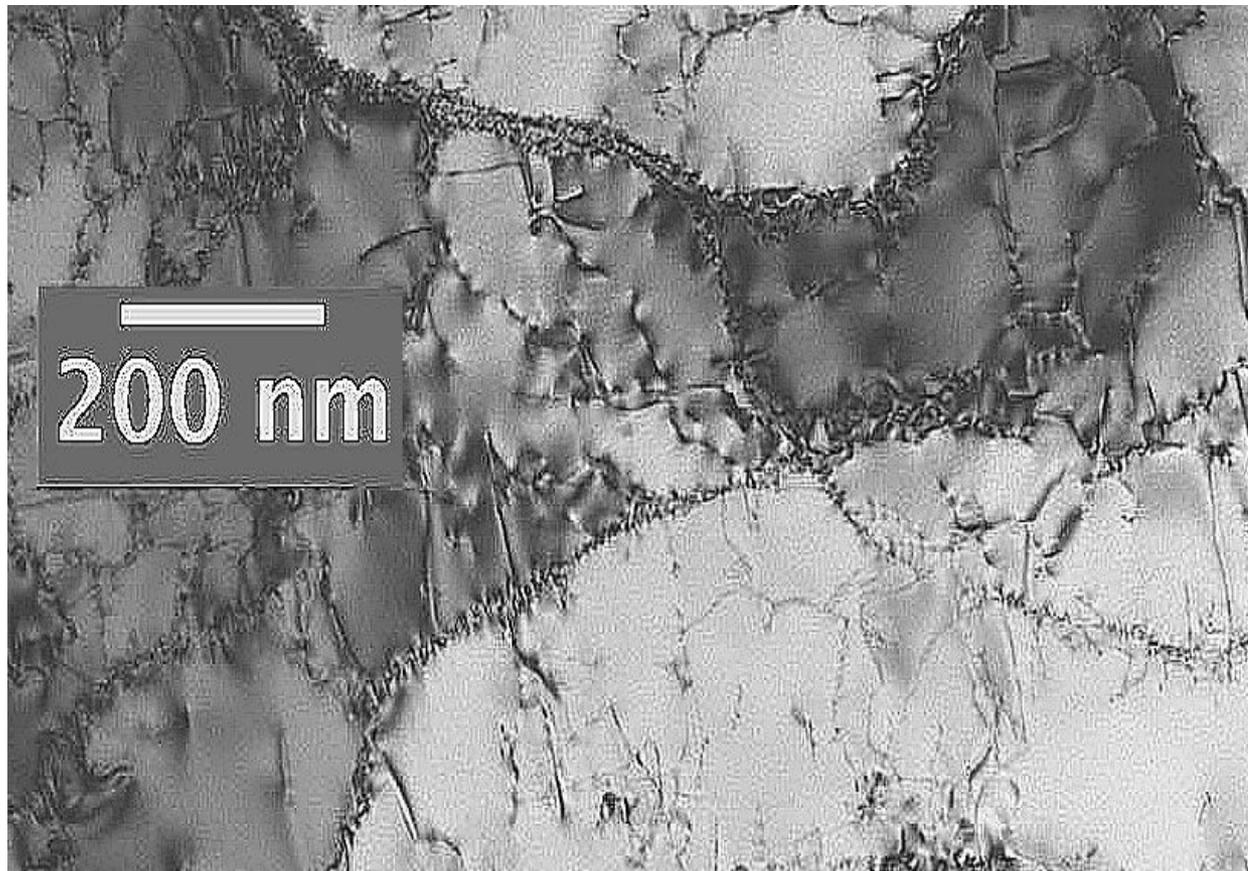
Микроструктура эвтектоидной стали. Растровый электронный микроскоп x10000.

Пластинчатый
перлит



Микроструктура аустенитной стали.
Просвечивающий электронный микроскоп x200000

Фрагментированная структура с высокой плотностью дислокаций



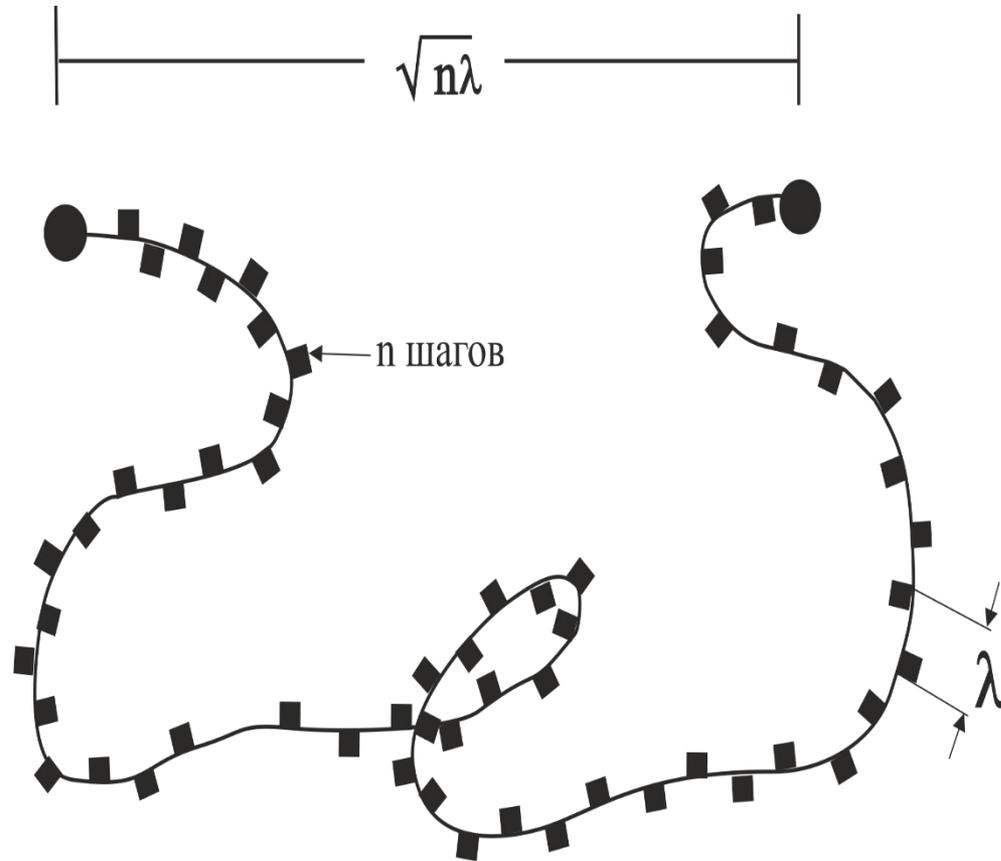
Микроструктура полимеров.

Важнейшим элементом структуры полимеров является молекула (молекулярная цепь), которая состоит из большого количества мономеров (звеньев). Для получения твердого полимера с высоким комплексом свойств молекулы должны быть достаточно длинными, т. е. состоять из нескольких сот и даже тысяч звеньев.

Молекулы полимеров практически никогда не бывают прямыми. Связь C – C допускает вращение и, следовательно, направление цепи может изменяться. Таким образом, молекулярная цепь приобретает сложную форму в виде спирали. При повышенных температурах структура полимера представляет плотный клубок сплетенных молекул, которые могут легко скользить относительно друг друга. Такое состояние полимера подобно вязкой жидкости. При охлаждении полимера расположение молекул сохраняется и полученный твердый полимер будет иметь аморфную (хаотичную) структуру. Однако, если молекулы сохраняют линейность, то при охлаждении межмолекулярные связи стягивают молекулы в параллельные пучки и образуются кристаллы.

Форма молекулярной цепи в твердом аморфном полимере

λ

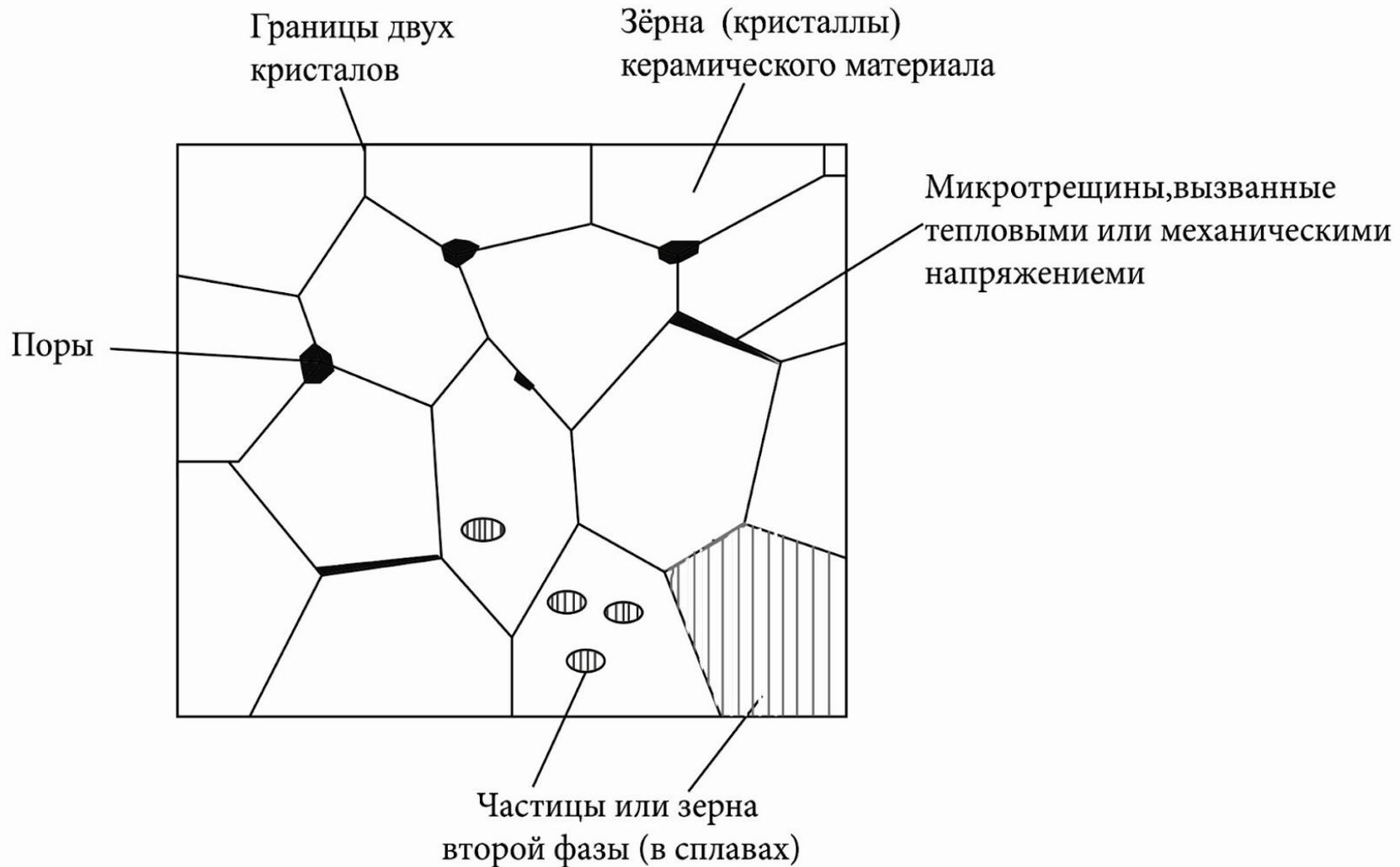


Микроструктура керамических материалов

Керамика представляет собой поликристаллические материалы, микроструктура которых аналогична микроструктуре поликристаллических металлов. Каждое зерно представляет собой более или менее совершенный кристалл, соприкасающийся с соседними кристаллами по границам зерен. Структура границ керамических зерен более сложна, чем у металлов, поскольку ионы с одноименными зарядами отталкиваются, и, по мере возможности, требования валентности должны выполняться на самой границе, так и внутри зерен.

Многие керамические материалы являются пористыми. Пористость керамики может достигать 20%. Поры и микротрещины ослабляют материал. Они в конечном итоге определяют прочность материала при растяжении.

Микроструктура кристаллической керамики.



Микроструктура композитов

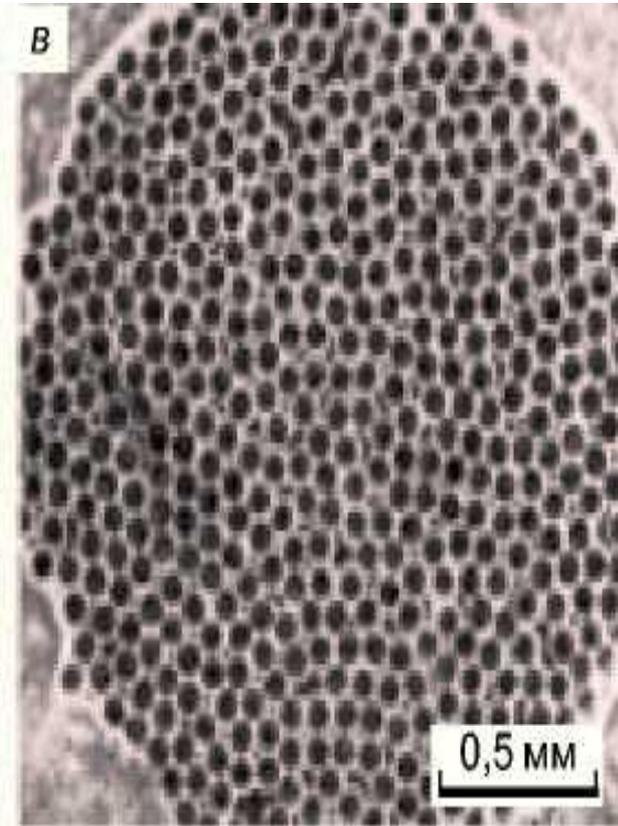
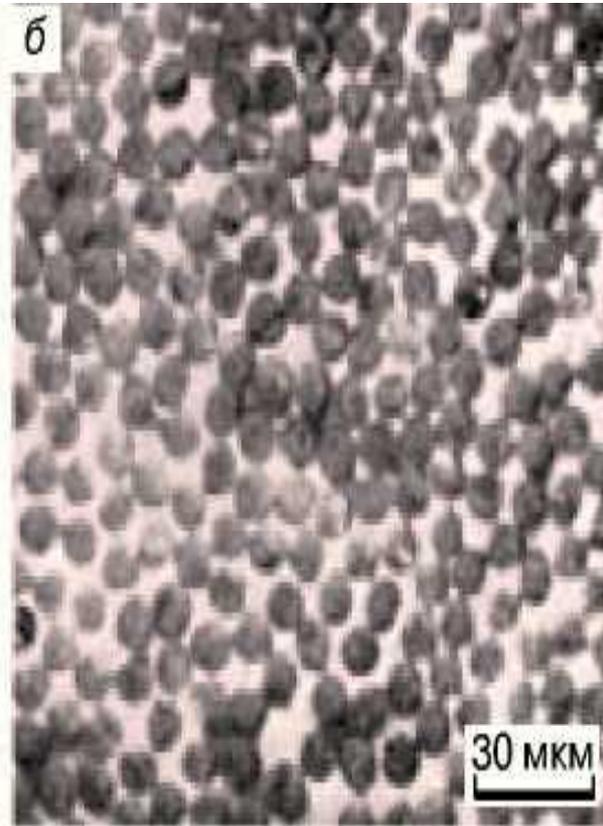
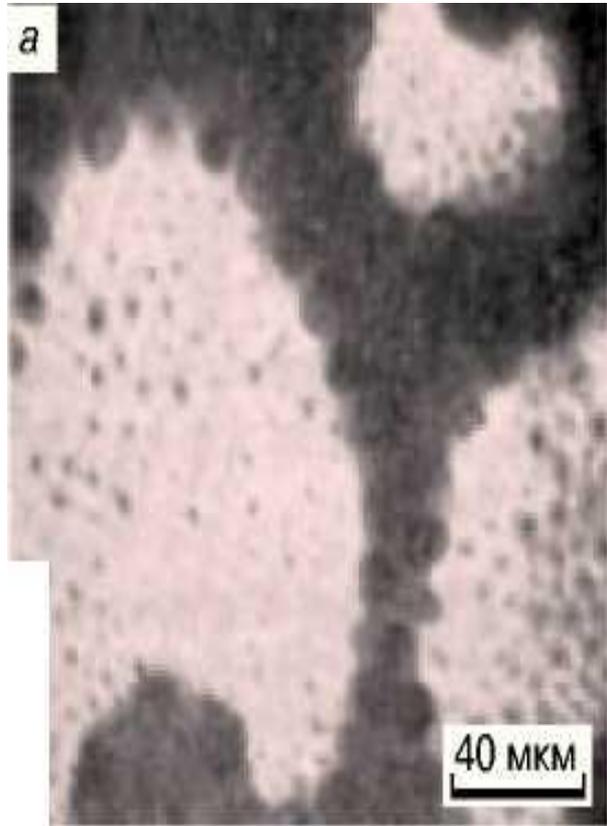
По структуре композиты делятся на несколько основных классов: волокнистые, слоистые, упрочненные частицами и нанокомпозиты.

Волокнистые композиты армированы волокнами или нитевидными кристаллами – древесину (лигнин плюс целлюлоза) можно отнести к этому классу композитов.

Уже небольшое содержание наполнителя в композитах такого типа приводит к появлению качественно новых механических свойств материала. Широко варьировать свойства материала позволяет также изменение ориентации, размера и концентрации волокон. Кроме того, армирование волокнами придает материалу анизотропию свойств (различие свойств в разных направлениях), а за счет добавки волокон проводников можно придать материалу электропроводность вдоль заданной оси.

Микроструктура композитов

а – древесина, б – стеклопластик, в – Cu + W/



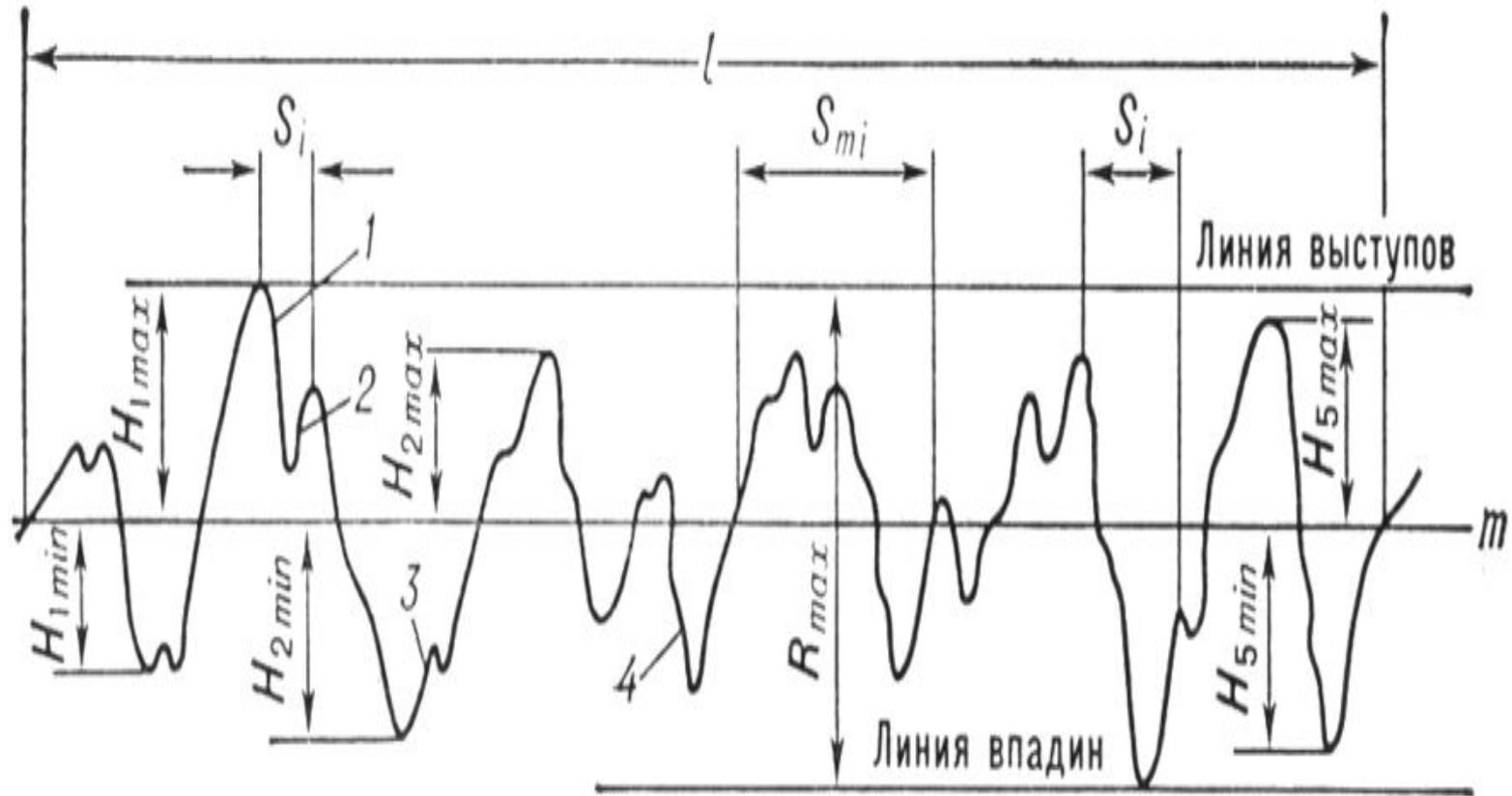
Структура поверхности

Атомы находящиеся на поверхности характеризуются меньшим координационным числом, так как с внешней стороны они лишены соседей. Следовательно, поверхностные атомы будут иметь более высокую энергию по сравнению с находящимися во внутренних областях конденсированной фазы. Эта избыточная энергия может быть названа поверхностной энергией.

Неупорядоченность на поверхности кристаллов больше, чем неупорядоченность внутри кристалла. Следовательно, свойства поверхности будут отличаться от свойств кристалла.

Структуру поверхности можно также рассматривать на различных масштабных уровнях: макро, микро и нано.

Схема шероховатости поверхности.



Поверхность кристалла алюминия.
Растровый электронный микроскоп x11000.



Сингулярная и вицинальные поверхности.

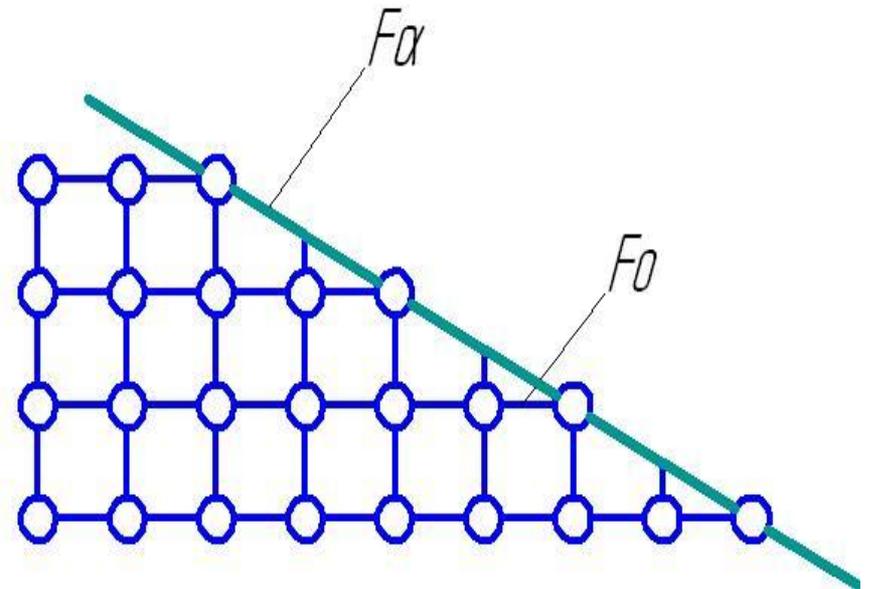
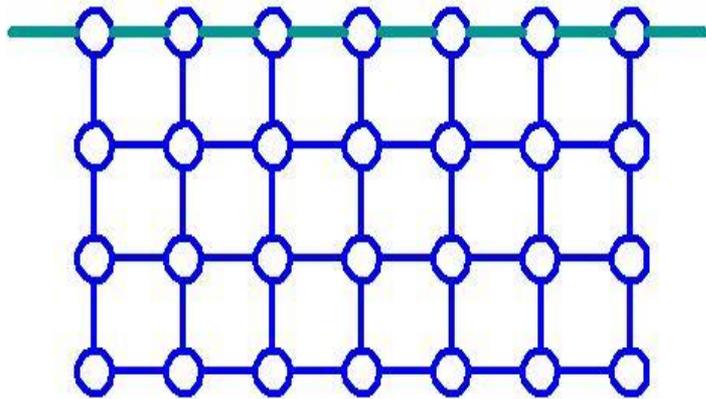
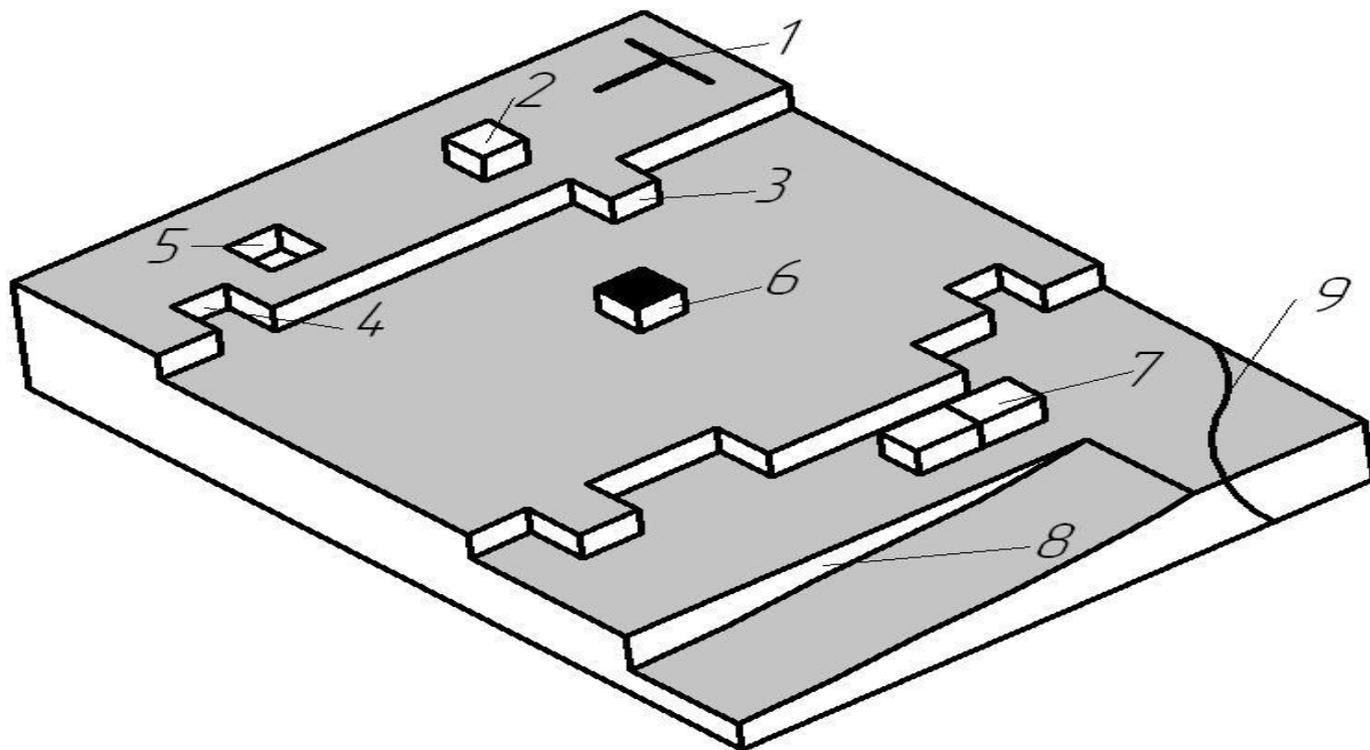


Схема строения реальной поверхности

1 – краевая дислокация, 2 – адатом, 3 – адатом на ступени, 4 – вакансия на ступени, 5 – вакансия, 6 – примесный атом, 7 – пара адатомов, 8 – винтовая дислокация, 9 – граница.



Заключение

Свойства материала определяются его структурой, которая по степени локальности может быть разделена на следующие уровни:

Макроструктура, составляющие которой различаются невооруженным глазом или при небольших увеличениях до 50 крат. Примером макроструктуры является крупнозернистое строение сплавов, структура первичной кристаллизации, состоящая из дендритных (древовидных кристаллов, строение излома и т.д.;

Микроструктура, характеризует фазовый состав; форму, распределение, объемное соотношение и дисперсность фазовых составляющих, различима она только при увеличениях оптического или электронного микроскопов от 50 до 30000 кратного увеличения и более.

Кристаллическая структура – индивидуальна для каждой из твердых фаз и характеризует закономерность периодически повторяющегося расположения атомов, ионов или молекул в пространстве. Экспериментально может изучаться с помощью дифракции рентгеновских лучей.