

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Цель работы

1. Получить представление о видах дефектов в кристаллах и их влиянии на прочность материалов.
2. Ответить на вопросы индивидуального задания.

Основные сведения по теме работы

Кристаллы – это материалы, имеющие упорядоченное расположение частиц в пространстве (рис. 1, б). Эти частицы могут представлять собой атомы, ионы или молекулы.

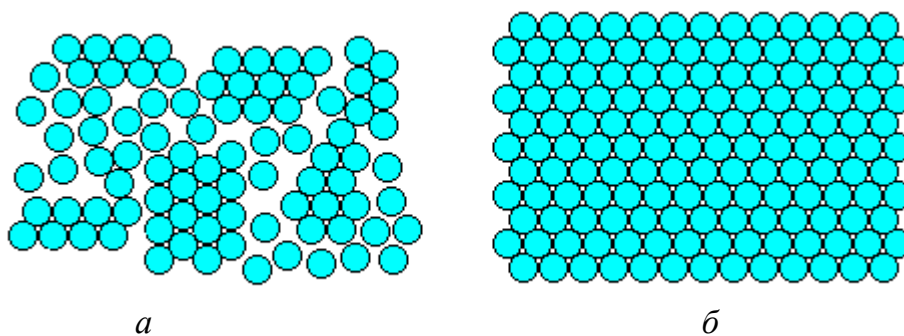


Рис. 1. Неупорядоченное (а) и упорядоченное (б) расположение атомов

Идеальные кристаллы в природе не встречаются. Реальные кристаллы, в том числе металлы, всегда имеют отклонения от правильного строения, или дефекты.

Дефекты кристаллического строения классифицируют по геометрическому признаку – по размерам. Различают точечные, линейные, поверхностные и объёмные дефекты.

1) *Точечными* называют дефекты, которые малы во всех трёх пространственных направлениях, т. е. соизмеримы с межатомным расстоянием. Это вакансии, межузельные атомы, примеси замещения и внедрения.

Вакансия – это отсутствие атома в узле кристаллической решётки, «пустое место». Атомы вокруг вакансии сближаются, так как в этом месте $F_{\text{пр}} > F_{\text{отт}}$. Кристалл как бы сжимается, стремится «залечить» дефект (рис. 2, а).

Вакансии играют огромную роль в процессах диффузии: они способствуют движению атомов внутри металла.

Число их растёт с увеличением температуры: атомы с поверхности металла могут улетать, получив дополнительную энергию, а образовавшиеся вакансии продвигаются вглубь металла.

Межузельный атом – это собственный, «родной» атом металла, выбитый из узла. Их всегда меньше, чем вакансий. Вокруг межузельного атома соседи раздвигаются: здесь $F_{\text{отт}} > F_{\text{пр}}$ (рис. 2, б).

Примесной атом, или **примесь** – это атом другого, «чужого» вещества, попавшего в металл (обычно из руды при выплавке). Примесные атомы могут замещать собственные в узлах кристаллической решётки (*примесь замещения*) или занимать поры между ними (*примесь внедрения*). Примесные атомы искажают решётку сильнее, чем собственные межузельные (рис. 3).

Из всех точечных дефектов существенное влияние на прочность металла оказывают только примеси, особенно примеси внедрения. Они затрудняют пластическую деформацию металла, поэтому повышают прочностные характеристики.

2) **Линейными** называют дефекты, которые малы только в двух пространственных направлениях, а в третьем имеют протяжённость в тысячи и миллионы межатомных расстояний. Эти дефекты называют **дислокациями**. Дислокации бывают краевые, винтовые и смешанные.

Краевая дислокация – это область под краем незавершённой, недостроенной атомной плоскости в металле. (Можно сказать и «над краем», так как понятия «низ» и «верх» в тонкой структуре металла не имеют значения.) Недостроенная плоскость является как бы «лишней», нарушающей идеальную структуру металла (рис. 4, а). Её называют **экстра-плоскостью**.

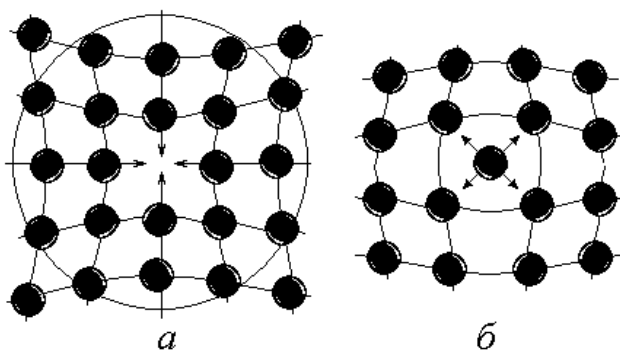


Рис. 2. Точечные дефекты: вакансии (а) и межузельный атом (б)

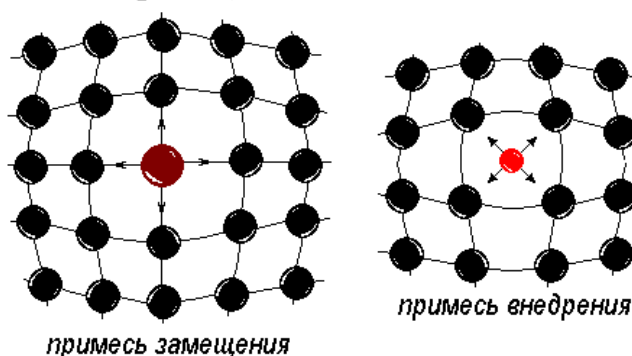


Рис. 3. Точечные дефекты: примесные атомы

Краевая дислокация может возникнуть при воздействии силы P , деформирующей кристалл: в верхней части кристалла сдвиг прошёл до линии AB , а левее этой линии кристалл остался недеформированным. Возникла экстра-плоскость, её край AB и есть линия краевой дислокации (рис. 4, *б*).

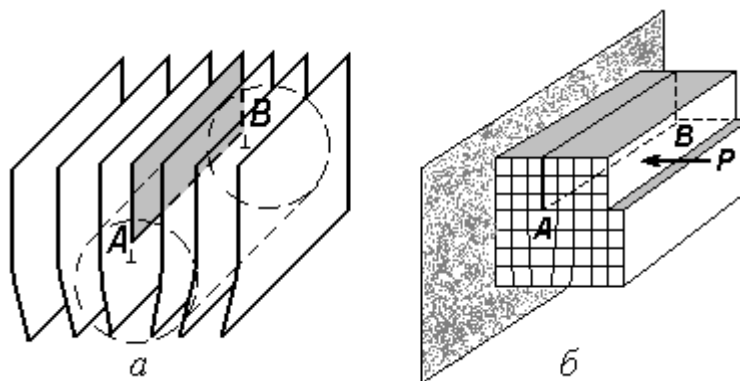


Рис. 4. Краевая дислокация (*а*) и возникновение дислокации при сдвиге (*б*)

У края экстра-плоскости создается разрежение атомов, поэтому ближайшие к нему атомы сдвигаются в сторону отсутствующего ряда. Решётка здесь стремится сжаться, «закрыть» дефект. Область искажения решётки мала в двух направлениях, а в третьем может проходить через весь кристалл. Можно представить краевую дислокацию как трубку диаметром в 2-3 межатомных расстояния, но очень большой длины. В эту разреженную область должны стремиться атомы примесей, так как это энергетически выгодно.

Винтовая дислокация подобна винтовой лестнице; это атомная плоскость, закрученная в спираль и ставшая винтовой поверхностью.

Условно можно представить, что винтовая дислокация возникает, если надрезать кристалл до какой-то прямой AB , а затем сдвинуть одну надрезанную половину вниз относительно другой на одно межатомное расстояние. В области надреза образуется ступенька на каждой атомной плоскости. Получается, что весь кристалл представляет собой винтовую поверхность, «закрученную» вокруг линии AB (рис. 5).

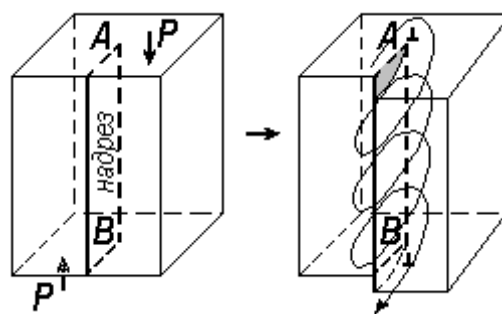


Рис. 5. Винтовая дислокация

Чаще всего встречаются **смешанные дислокации**: краевая и винтовая переходят одна в другую. На рис. 6 АВ – линия смешанной дислокации.

Количество дислокаций в металле характеризуют их плотностью. **Плотность дислокаций** ρ – это суммарная их длина в единице объёма:

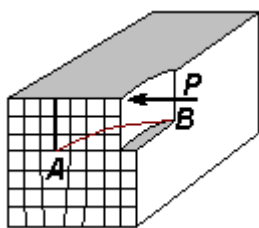


Рис. 6. Смешанная дислокация

$$\rho = \frac{\sum l}{V} [\text{см}^{-2}].$$

Дислокации возникают при зарождении и росте кристаллов, а также при деформации.

Дислокации играют важнейшую роль в теории прочности, пластичности и разрушения металлов. Влияние их на прочность неоднозначно: с появлением дислокаций прочность идеального кристалла резко снижается, но при очень большой их плотности снова начинает расти (рис. 7).

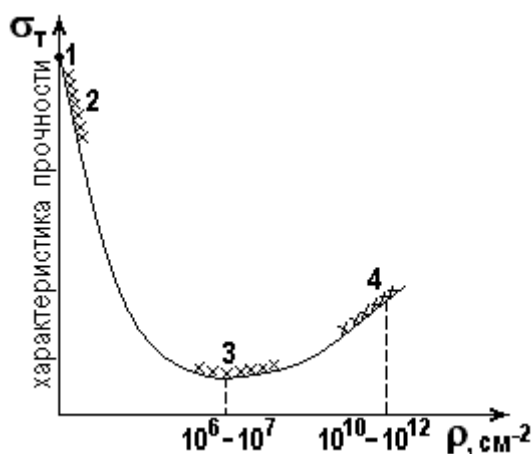


Рис. 7. Влияние плотности дислокаций на прочность:

1 – идеальный кристалл; 2 – «усы», кристаллы с минимальной плотностью дефектов; 3 – отожжённые металлы; 4 – сильно деформированные металлы с высокой плотностью дислокаций

3) **Поверхностными** называют дефекты, которые малы в одном направлении, а в двух других – намного больше межатомного расстояния. Это **границы зёрен** в поликристаллах, границы субзёрен и двойников (рис. 8).

Угол разориентировки между двумя соседними зёрнами может быть любым, а между двумя субзёрнами в зерне – не более 6° .

Очень важно хорошо представлять, что граница зерна – это не «стена» из чего-то между соседними зёрнами и не пустота между ними.

Это область, где нарушается строго упорядоченное строение металла: атомные плоскости в одном зерне не имеют продолжения в соседнем, там атомные плоскости расположены в другом направлении.

Надо также не забывать, что границы зёрен – не линии, хотя именно так мы видим их на отполированной и протравленной поверхности металла. Это поверхности раздела между зёрнами, представляющими собой неправильные многогранники. Каждое зерно как бы «завёрнуто» в свою границу.

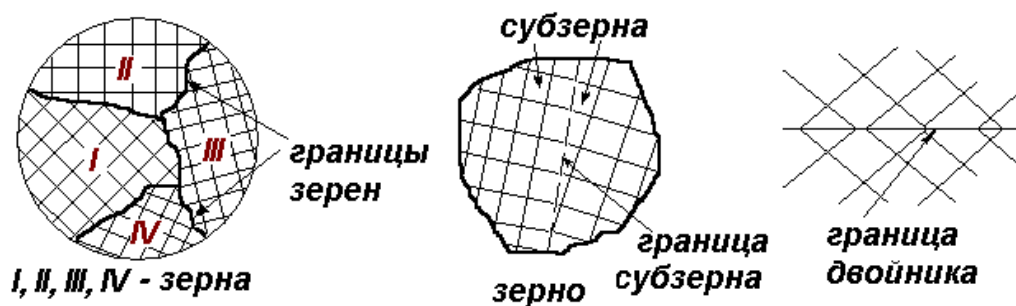


Рис. 8. Поверхностные дефекты: границы зёрен, субзёрен и двойников

Влияние поверхностных дефектов на прочность металла велико: границы зёрен и субзёрен являются препятствиями для развития деформации, а значит – упрочняют металл. Чем больше поверхность границ в единице объёма, тем прочнее металл.

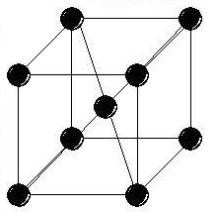
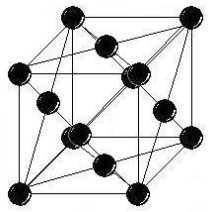
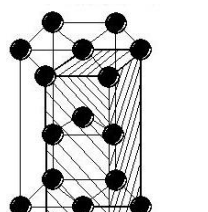
4) *Объёмные* дефекты во всех трёх измерениях намного больше межатомного расстояния. Это раковины, поры, зародыши трещин, неметаллические включения. Все объёмные дефекты являются очагами возможного разрушения, т. е. влияют на прочность отрицательно.

Наименьший объём кристаллической решётки, который характеризует расположение атомов в кристалле, называют **элементарной кристаллической ячейкой**. Перемещая элементарную кристаллическую ячейку вдоль трёх пространственных осей, можно получить кристалл любой величины, так же как из одинаковых кирпичиков строятся разные по величине и архитектуре здания.

По форме элементарных ячеек все кристаллические материалы подразделяются на 7 *кристаллических систем*. Любую из них можно охарактеризовать шестью параметрами: тремя линейными (размерами a , b и c ячейки по трем осям координат) и тремя угловыми (углами α , β и γ между этими отрезками).

У металлов чаще всего встречаются три *типа кристаллических решёток* (из 14 возможных); они относятся к кубической и гексагональной системам (табл. 1).

Таблица 1
Кристаллические решётки металлов

Тип решётки	Объёмно-центрированная кубическая решётка (ОЦК)	Гранецентрированная кубическая решётка (ГЦК)	Гексагональная плотноупакованная решётка (ГПУ)
Параметры	$a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b \neq c$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$
Вид элементарной ячейки			
Металлы с таким типом решётки	Cr, Mo, W, V, Ta, Nb, Fe $_{\alpha}$	Cu, Ni, Ag, Au, Pb, Pt, Al, Fe $_{\gamma}$	Mg, Co, Zn, Cd, Be, Zr, Ti $_{\alpha}$

На изображении ГПУ решётки показаны три соседних элементарных ячейки, чтобы было понятно, почему эта решётка называется гексагональной. Одна из ячеек выделена жирными линиями и штриховкой.