

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Л. А. ШРЕЙНЕР и Г. И. ЕПИФАНОВ

**О КОЭФФИЦИЕНТЕ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
МОНОКРИСТАЛЛОВ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 30 III 1954)

Для поддержания постоянной скорости течения металлического монокристалла необходимо, как известно, непрерывно увеличивать скалывающее напряжение, действующее в плоскости скольжения. Это явление, получившее название упрочнения, объясняется, видимо, тем, что по мере смещения одной части кристалла относительно другой в узкой полосе, располагающейся у плоскости скольжения, накапливаются негомогенные смещения атомов, искажающие решетку и препятствующие свободному прохождению сдвига.

Упрочнение плоскости скольжения непрерывно растет по мере увеличения абсолютного кристаллографического сдвига вдоль этой плоскости. За количественную меру упрочнения принимают обычно тангенс угла наклона кривой, выражающей зависимость скалывающего напряжения τ_k от величины удельного кристаллографического сдвига a . Назовем эту величину эффективным коэффициентом упрочнения. Для монокристаллов кадмия, цинка и олова кривые течения выражаются в первом приближении линейным уравнением

$$\tau_k = c + \lambda a, \quad (1)$$

вследствие чего эффективный коэффициент упрочнения

$$\lambda = \frac{d\tau_k}{da} \quad (2)$$

сохраняет постоянное значение вдоль всей кривой течения (начиная с предела текучести).

Эффективный коэффициент упрочнения не выражает, однако, истинного упрочнения плоскостью скольжения, в чем легко убедиться из следующего расчета. Обозначим: H — расстояние между крайними плоскостями скольжения (плоскостями AA и BB , см. рис. 1); M — общее смещение нижней плоскости скольжения BB относительно верхней AA в направлении сдвига; n — число пачек скольжения; s — сдвиг отдельных пачек скольжения относительно друг друга; h — их среднюю толщину. Тогда удельное кристаллографическое смещение выразится следующим образом:

$$a = \frac{M}{H} = \frac{s}{n}. \quad (3)$$

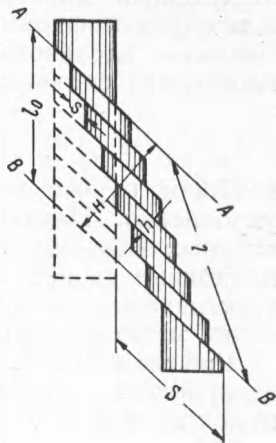


Рис. 1. Схема деформации металлического монокристалла

Подставляя значение a в уравнение (1), получим

$$\tau_k = c + \lambda \frac{s}{h}. \quad (1')$$

Коэффициент упрочнения плоскостей скольжения (назовем его истинным коэффициентом упрочнения) будет, очевидно, равен

$$K = \frac{d\tau_k}{ds} = \frac{\lambda}{h}. \quad (4)$$

В отличие от λ , имеющего размерность напряжения, истинный коэффициент упрочнения имеет размерность напряжение / длина, что вполне естественно, так как степень упрочнения плоскостей скольжения определяется не относительной, а абсолютной величиной сдвига частей кристалла относительно друг друга.

Из отношения (4) видно, что эффективный коэффициент упрочнения

$$\lambda = hK \quad (5)$$

определяется не только истинной упрочняемостью плоскостей скольжения, но зависит также от средней толщины пачек скольжения — от «степени диспергирования» монокристалла при деформировании. Для двух одинаковых монокристаллов, растянутых до одного и того же значения удельного сдвига, отношение коэффициентов упрочнения плоскостей скольжения

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{h_2}{h_1} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (6)$$

в общем случае не равно отношению эффективных коэффициентов упрочнения. Неучет этого обстоятельства может привести к неправильным выводам относительно влияния различных факторов на деформационные свойства кристаллов, как это имеет место, например, при трактовке влияния адсорбционно-активных сред на коэффициент упрочнения металлических монокристаллов.

Работами П. А. Ребиндера и В. И. Лихтмана (1) показано, что адсорбционно-активные среды вызывают понижение предела текучести монокристаллов и увеличение скорости их течения при постоянной растягивающей нагрузке, а эффективный коэффициент упрочнения при этом уменьшается. Отсюда делается вывод о понижении упрочняемости кристаллов при деформировании (1, 2). Такой вывод не вызывал бы никаких сомнений, если бы характер течения кристаллов в активной и в неактивной средах оставался одним и тем же. Однако, как показывают работы В. И. Лихтмана (3), пластическое течение в кристаллах, растягиваемых в активных средах, идет путем сдвигов по значительно большему числу плоскостей скольжения, чем в средах неактивных. Вследствие этого одинаковые величины удлинения кристалла и удельного кристаллографического сдвига в присутствии активных сред достигаются при меньшем значении абсолютного сдвига вдоль отдельных плоскостей скольжения, что и вызывает уменьшение эффективного коэффициента упрочнения. Истинный же коэффициент упрочнения отдельных плоскостей скольжения не только не уменьшается, а наоборот, увеличивается.

Так, по данным В. И. Лихтмана (2), эффективный коэффициент упрочнения монокристаллов олова при растяжении в воздухе $\lambda_0 = 0,54$, а при растяжении в 0,2% растворе олеиновой кислоты в вазелиновом масле $\lambda = 0,12$. В то же время толщина пачек скольжения при переходе от растяжения в воздухе к растяжению в 0,2% растворе олеиновой кислоты уменьшается с $h_0 = 52 \mu$ до $h = 3,6 \mu$. Отношение истинных коэффициентов упрочнения монокристаллов, растягиваемых в ра-

створе олеиновой кислоты K и в воздухе K_0 , будет, на основании (6). $K/K_0 = 3$. Раствор олеиновой кислоты вызывает, таким образом, не уменьшение, а наоборот, увеличение истинного коэффициента упрочнения монокристаллов олова в ~ 3 раза.

Об упрочняющем действии активных сред свидетельствуют также опыты П. Д. Новокрещенова по исследованию знакопеременного кручения монокристаллов и поликристаллических образцов олова ⁽³⁾ и опыты Т. Ю. Любимовой по изучению поверхностного наклепа металлов в различных активных средах ⁽⁴⁾.

Большинство исследований действия сред на растяжение металлов проведено на кристаллах олова и свинца, для которых упрочняющее действие сред внешне маскируется их диспергирующим действием. При исследовании же других металлов дело ограничивалось изучением лишь начальной стадии деформирования, когда решающими являются адсорбционное ослабление поверхности кристалла и возникновение большего числа центров сдвигообразования. Это привело к неправильному выводу о разупрочняющем действии сред, хотя на самом деле во всех исследованных случаях среды, облегчающие возникновение пластических сдвигов, вызывают не уменьшение, а наоборот, увеличение истинного коэффициента упрочнения.

Институт физической химии
Академии наук СССР

Поступило
26 III 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ П. А. Ребиндер, В. И. Лихтман, ДАН, 56, № 7 (1947). ² В. Л. Лихтман, Усп. физ. наук, 39, 3 (1949). ³ П. Д. Новокрещенов, Н. Е. Маркова, П. А. Ребиндер, ДАН, 68, № 3 (1949). ⁴ Т. Ю. Любимова, П. А. Ребиндер, ДАН, 63, № 2 (1948).