

Л. Д. ЛИВШИЦ, В. Ф. ПРИЩЕПОВ, Ю. Н. РЯБИНИН

## ОСТАТОЧНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КАДМИИ, ВЫЗЫВАЕМАЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ

(Представлено академиком А. П. Виноградовым 17 VII 1973)

Гидростатическое давление, приложенное к поверхности поликристаллического материала, состоящего из различно ориентированных анизотропных зерен, может вызывать в последних остаточную деформацию. В кадмии, у которого сильная анизотропия упругих и прочностных свойств сочетается с низким напряжением течения (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>), остаточная деформация проявляется в виде искажения границ зерен, появления линий скольжения и двойников. Эти виды деформации наблюдались на поликристаллических образцах после нагружения гидростатическим давлением 1, 3 и 3 кбар соответственно (<sup>2</sup>).

В настоящей работе, в отличие от известных нам исследований, принималась во внимание не только величина гидростатического давления, но и другие, в первую очередь временные, факторы.

Образцы кадмия чистоты 99,95% представляли собой диски  $\varnothing$  4,5–6 мм и толщиной 0,6–0,9 мм. Число зерен  $N$  в плоскости шлифа зависело от глубины предварительной деформации (прокатки, раздавливания) и режима отжига и изменялось от 150–250 до 1000–1200 и более. Опыты заключались в подъеме давления, выдержке образца в течение заданного времени при максимальном давлении  $P_m$  и спуске давления. Величину  $P_m$  изменяли от 0,5 до 21 кбар, время выдержки — от 5 сек. до 100 час.

При  $P_m < 1$  кбар (например, при 0,5 кбар и выдержке 60 час. или 0,8 кбар и выдержке 100 час.) линии скольжения не наблюдаются. При  $P_m \geq 1$  кбар и выдержке 5 сек. часть зерен носит следы скольжения. С ростом  $P_m$  число таких зерен увеличивается, а сама деформация приобретает более грубый характер.

Следующим видом деформации являются двойники. Последовательное нагружение более высоким давлением сопровождается увеличением числа двойников и их ростом (рис. 1), вместе с тем может иметь место и исчезновение отдельных двойников (рис. 1*б*, *е*). Судя по распределению двойников на поверхности шлифа и по чисто аддитивному эффекту, который дает в кадмии повторное приложение давления, образование двойников в разных зернах происходит независимо. Деформация, как правило, локализована в пределах отдельных зерен, случаи четкой генетической связи остаточной деформации в соседних зернах являются единичными. Случаи «прострела» двойников через границы зерен, так же как появление собственной системы линий скольжения в двойниках, крайне редки и отмечались только при  $P_m = 20$ –21 кбар. Более распространенным в этих условиях является искривление в широких двойниках линий скольжения основного зерна, очевидно, возникших раньше.

Весьма сильным фактором, влияющим на количество зерен  $n$ , имеющих двойники, является величина скорости  $v$  снижения давления. Эффект изменения  $v$  от 0,4 до 2 кбар/сек сопоставим с эффектом изменения  $P_m$  от 6–7 до 10 кбар (рис. 2*а*).

В отличие от обнаруженного эффекта скорости разгрузки, изменение скорости подъема давления от 0,007 до 0,8 кбар/сек (при  $P_m = 10$  кбар) не приводит к заметному росту  $n$ .

В отдельной серии опытов разгрузка от  $P_m=10$  кбар до некоторого промежуточного давления  $P_{пр}$  проводилась со скоростью  $0,7-0,8$  кбар/сек, а от  $P_{пр}$  до атмосферного в 100 раз медленнее (режим I) или, наоборот, от  $P_m$  до  $P_{пр}$  со скоростью  $0,007$  кбар/сек, а от  $P_{пр}$  до атмосферного со скоростью  $0,7-0,8$  кбар/сек (режим II). Величина интервала давления, на котором  $v=0,7-0,8$  кбар/сек ( $P_m-P_{пр}$  при режиме I и  $P_{пр}$  — атмосферное при режиме II), обозначена ниже  $\Delta P$ .

Поскольку после снижения давления со скоростью  $0,007$  кбар/сек относительное число зерен, содержащих двойники, не превышает  $1,5\%$  (на

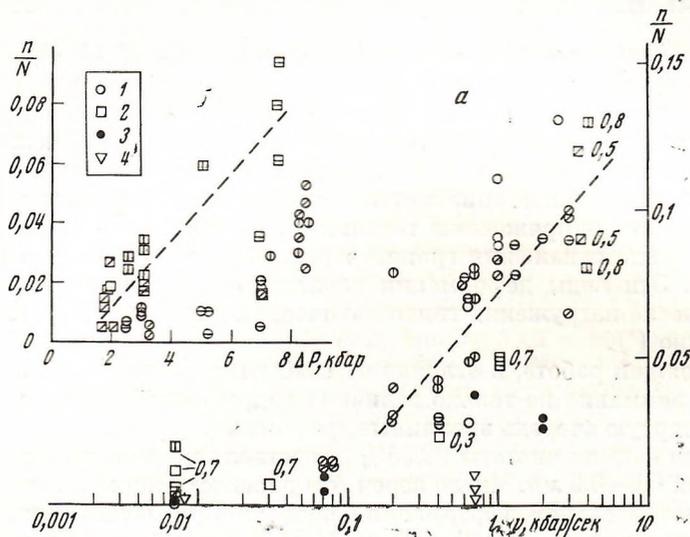


Рис. 2. а — связь  $n/N$  и  $v$  при  $P_m=10$  кбар (1, 2), 6 и 7 кбар (3) и 3 и 4,3 кбар (4). 1, 3, 4 — скорость подъема давления  $0,007$  кбар/сек. Цифры у квадратов обозначают скорость подъема давления в кбар/сек. При  $P_m=10$  кбар и  $0,2 \leq v \leq 4$  кбар/сек коэффициент корреляции  $n/N$  и  $\lg v$   $r=0,8$ . б — связь  $n/N$  и  $\Delta P$  при  $P_m=10$  кбар. 1 — разгрузка по режиму I, 2 — разгрузка по режиму II. В опытах по режиму II при  $P_m=10$  кбар и  $1,5 \leq \Delta P \leq 8,5$  кбар коэффициент корреляции  $n/N$  и  $\Delta P$   $r=0,9$ . Коэффициенты корреляции вычислялись в предположении линейной зависимости (пунктир) между соответствующими величинами в указанных интервалах изменения аргумента

рис. 2а  $n/N \leq 1,5 \cdot 10^{-2}$ ), логично допустить, что в этих опытах большинство двойников образуется при разгрузке со скоростью  $v=0,7-0,8$  кбар/сек, и сопоставить получаемое значение  $n/N$  с величиной  $\Delta P$  (рис. 2б).

Как показано на рис. 2б,  $n/N$  возрастает с увеличением  $\Delta P$ , причем при разгрузке по режиму I  $n/N$  оказывается меньшим, чем при разгрузке по режиму II. В последнем случае двойники наблюдаются и при таких значениях  $P_{пр}$ , которые, будучи взяты в качестве  $P_m$ , не дают заметного количества двойников.

На рис. 2 перечеркнутые значки относятся к образцам, для которых определено число зерен на  $1 \text{ мм}^2$ : горизонтальная, наклонная и вертикальная черточки обозначают 10—25, 28—43 и 50—65 зерен на  $1 \text{ мм}^2$  соответственно. Случайное расположение перечеркнутых значков на графиках позволяет заключить, что изменение (в указанных выше пределах) средних размеров зерен металла не отражается на описанном в настоящей работе эффекте скорости снижения давления.

Обнаруженная зависимость  $n/N$  от скорости снижения давления свидетельствует о том, что при быстрой разгрузке значительная доля накопленной при сжатии энергии освобождается с помощью наиболее быстрого в этих условиях процесса деформации, т. е. путем двойникования, тогда как

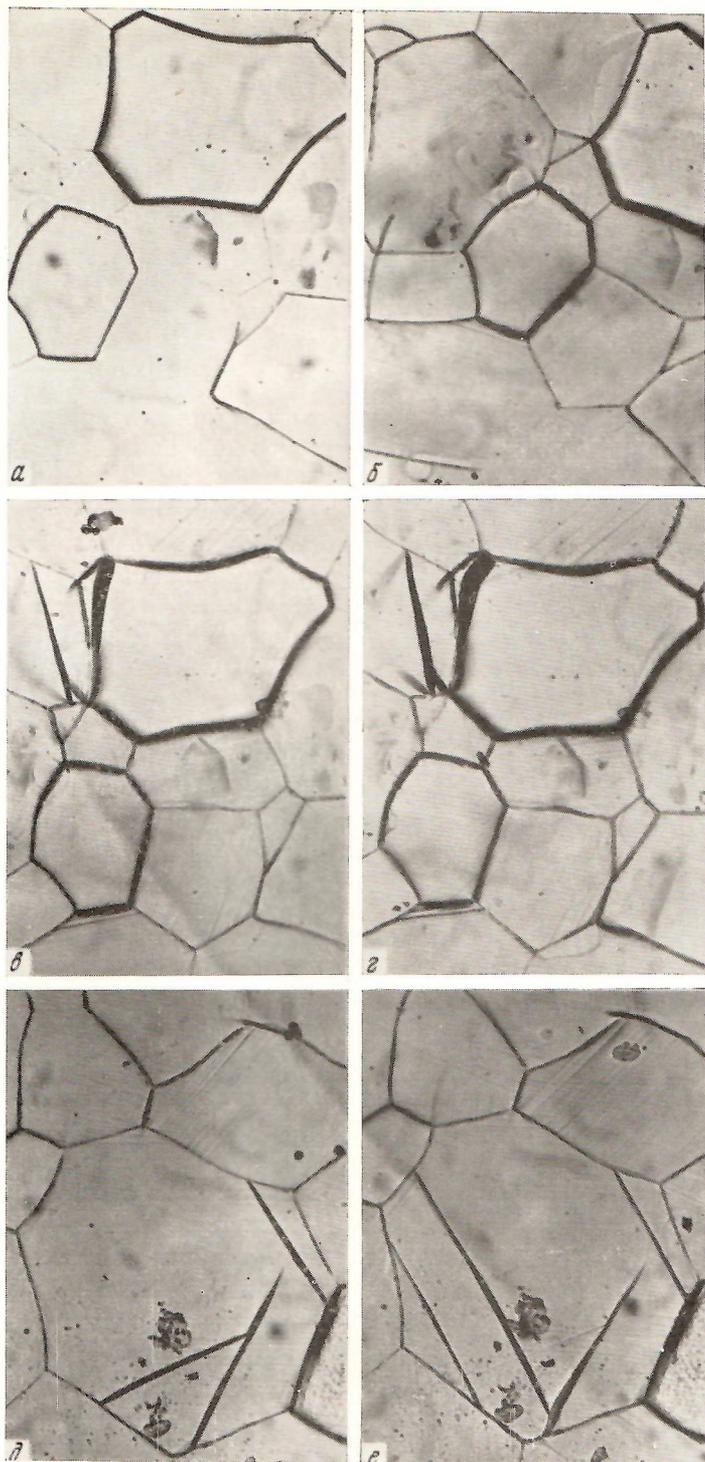


Рис. 1. Микроструктура кадмия. *a* — исходное состояние для фото *b* — *g*; *b* — *e* — после последовательного нагружения давлением  $P_m=4$  (*b*), 7 (*c*, *d*) и 10 (*e*, *e*) кбар соответственно, скорость снижения давления после каждого обжатия 0,7—0,8 кбар/сек (58,5×, при репродуцировании увеличено примерно в 3 раза)

при медленном снижении давления обусловленные анизотропией сжимаемости скальвающие напряжения успевают релаксировать иными путями.

Авторы благодарят С. С. Орлова за полезное обсуждение результатов этой работы.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
17 VII 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> *Е. Шмид, В. Боас*, Пластичность кристаллов в особенности металлических, М.-Л., 1938.    <sup>2</sup> *T. E. Davidson, J. C. Uy, A. P. Lee*, Trans. AIME, v. 233, 820 (1965).