

Влияние постоянного магнитного поля и импульсного электрического тока на среднюю линейную плотность двойникующих дислокаций в кристаллах висмута

© А.И. Пинчук, С.Д. Шаврей

Мозырский государственный педагогический институт,
247760 Мозырь, Белоруссия

E-mail: APinchook@usa.net

(Поступила в Редакцию в окончательном виде 29 декабря 2000 г.)

Показано, что одновременное воздействие на кристаллы висмута импульсного электрического тока и постоянного магнитного поля существенно снижает среднюю линейную плотность двойникующих дислокаций, локализованных на границах клиновидных двойников. Снижение средней линейной плотности двойникующих дислокаций сопровождается падением микротвердости образцов.

В последние десятилетия широко изучается влияние внешнего электрического и магнитного полей на пластичность и прочность металлов. Физические механизмы этих процессов требуют дополнительных исследований [1]. В работе [2] была выдвинута концепция, согласно которой импульс тока и другие внешние энергетические воздействия выступают в роли инициатора разрядки дислокационных скоплений. Наблюдаемый в этом случае скачок деформации осуществляется за счет энергии внутренних напряжений, накопленных в процессе предварительной пластической деформации.

Для экспериментального подтверждения этой теории необходимо рассмотреть поведение металла в процессе его пластического деформирования на уровне отдельных дислокационных ансамблей. Это связано с неоднородностью пластической деформации как в пространстве, так и во времени [3]. Поскольку двойникующие дислокации локализованы на границах раздела матрица–двойник [4], клиновидные двойники, образующиеся при вдавливании алмазного индентора в плоскость спайности (111) кристаллов висмута, могут стать удобными модельными объектами.

Идея эксперимента заключалась в следующем. Авторами было замечено, что без воздействия внешних полей средняя линейная плотность двойникующих дислокаций ρ остается неизменной (в пределах экспериментальной погрешности) при увеличении нагрузки на индентор, ведущий к росту двойника. Если одновременное воздействие импульсов тока и постоянного магнитного поля (МП), обуславливающее значительный скачок деформации, выступает в роли инициатора разрядки скоплений двойникующих дислокаций, то величина ρ должна уменьшаться.

1. Материал и методика эксперимента

Для исследований использовались монокристаллы висмута, выращенные по методу Бриджмена из сырья химической чистоты. Раскалыванием монокристалла висмута по плоскости спайности (111) получалась глад-

кая поверхность, пригодная для исследований без дальнейшей обработки. Образцы имели вид прямоугольных призм размером $10 \times 5 \times 5$ мм. Исследования проводились с помощью микротвердомера ПМТ-3. Созданная нами установка для помещения образца в МП позволила исключить инструментальные эффекты, возникающие при наложении на образец постоянного МП. Особое внимание в работе было уделено жесткости элементов крепления образца к экспериментальной установке и жесткости самой установки.

Алмазный индентор вдавливался в плоскость спайности (111) кристаллов висмута, находившихся в постоянном МП. Изучались криновидные двойники системы $\{110\}\langle 001\rangle$. Векторы нагрузки \mathbf{P} , плотности тока \mathbf{j} и магнитной индукции \mathbf{B} образовывали три взаимно перпендикулярных вектора. Векторы \mathbf{j} и \mathbf{B} лежали в плоскости спайности (111). Импульс тока, имевший длительность $t_{\text{имп}} = 4 \cdot 10^{-4}$ с, пропускался после вдавливания (в течение 20 с) индентора в плоскость (111). Плотность импульсов тока варьировалась в пределах $j_{\text{имп}} = 0-70$ А/мм². Индукция постоянного МП в образце была равна $B = 0.2$ Т. Вес груза на штоке индентора был постоянен и равен $P = 0.14$ Н. Экспериментальная погрешность не превышала 3%.

Средняя линейная плотность двойникующих дислокаций на границах раздела двойник–матрица находилась по формуле $\rho = h/La$, где a — параметр кристаллической решетки в направлении, перпендикулярном движению двойникующих дислокаций, h — ширина клиновидного двойника у устья, L — его длина. Подробно использованная методика и оборудование описаны в работе [5].

2. Результаты измерений

Прежде всего следует отметить, что скачок деформации и изменение ρ имеют место только при совместном воздействии нагрузки на индентор, постоянного МП и импульсов тока. Наблюдаемый эффект не проявляется при отсутствии какого-либо из трех факторов. Под скач-

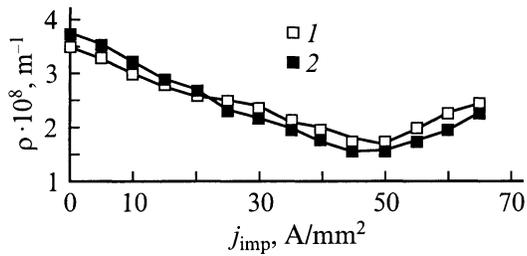


Рис. 1. Зависимость средней линейной плотности двойни-
кующих дислокаций ρ от плотности импульсного тока $j_{\text{имп}}$.
 $B = 0.2\text{ Т}$, $P = 0.14\text{ Н}$. 1 — положительный заряд от Хол-
ловской поляризации образца на плоскости спайности (111),
2 — отрицательный заряд на этой же плоскости.

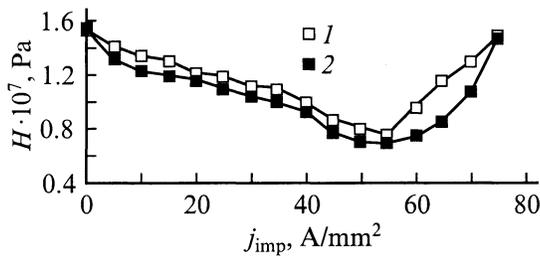


Рис. 2. Зависимость микротвердости H от плотности импульс-
ного тока $j_{\text{имп}}$. $B = 0.2\text{ Т}$, $P = 0.14\text{ Н}$. 1, 2 — то же, что и на
рис. 1.

ком деформации в данном случае понимается увеличение
длины и ширины у устья клиновидных двойников [6–8].

На рис. 1 показана зависимость ρ от плотности им-
пульсного тока $j_{\text{имп}}$. Из рис. 1 видно, что под воздействии
внешних полей имеет место ярко выраженный эффект
падения ρ (примерно в 2 раза). Поскольку отношение
 L/h есть дистанция между двойникующими дислокация-
ми, выраженная в межатомных расстояниях [4], из рис. 1
можно сделать вывод о том, что среднее междислока-
ционное расстояние существенно увеличивается, и си-
лы отталкивания между одноименными двойникующими
дислокациями снижаются. С точки зрения энергетиче-
ского подхода этот экспериментальный результат озна-
чает, что рост двойниковой прослойки, т.е. удлинение
клиновидного двойника, происходит за счет снижения
энергии локальных упругих напряжений, запасенных в
ходе предварительной пластической деформации.

Из сравнения рис. 1 и 2 видно, что ρ и микротвер-
дость H являются взаимосвязанными параметрами. Падение
 ρ сопровождается интенсификацией двойникового
явления, что в свою очередь может являться одной из причин
снижения H .

При возникновении электропластического эффекта в
кристаллах висмута, который проявляется по дости-
жении порогового значения плотности импульса тока
 $j_{\text{имп}} = 50\text{ А/мм}^2$ [9], ρ и H начинают возрастать.
Физическая картина этого явления пока неясна.

Список литературы

- [1] Ю.И. Головин. Изв. вузов. Чер. металлургия 8, 67 (1993).
- [2] А.М. Рошупкин, И.Л. Батаронов. Изв. вузов. Физика 3, 57 (1996).
- [3] В.И. Лихтман, Е.Д. Щукин, П.А. Ребиндер. Физико-хими-
ческая механика металлов. Изд-во АН СССР, М. (1962).
304 с.
- [4] А.М. Косевич, В.С. Бойко. УФН 104, 2, 201 (1971).
- [5] A.I. Pinchook, V.S. Savenko. J. Appl. Phys. 86, 5, 2479 (1999).
- [6] В.С. Савенко, А.И. Пинчук, В.В. Понарядов, В.Б. Злотник.
Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 1, 2, 27 (1995).
- [7] V.S. Savenko, A.I. Pinchook, V.B.Zlotnik, S.D. Shavrey.
Z. Metallkund. 7, 498 (1998).
- [8] А.И. Пинчук, В.С. Савенко, С.Д. Шаврей. Изв. РАН. Сер.
физ. 61, 5, 932 (1997).
- [9] В.С. Савенко, В.И. Спицын, О.А. Троицкий. ДАН СССР 283,
5, 1181 (1985).