

# 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  $\rho$  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  $\rho$  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-

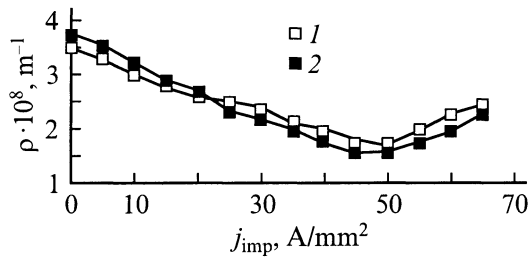
кая поверхность, пригодная для исследований без дальнейшей обработки. Образцы имели вид прямоугольных призм размером  $10 \times 5 \times 5$  мм. Исследования проводились с помощью микротвердомера ПМТ-3. Созданная нами установка для помещения образца в МП позволила исключить инструментальные эффекты, 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/мм<sup>2</sup>. 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%.

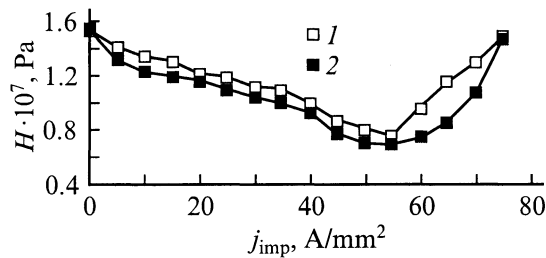
Средняя линейная плотность двойникующих дислокаций на границах раздела двойник–матрица находилась по формуле  $\rho = h/La$ , где  $a$  — параметр кристаллической решетки в направлении, перпендикулярном движению двойникующих дислокаций,  $h$  — ширина клиновидного двойника у устья,  $L$  — его длина.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

## 2. Результаты измерений

Прежде всего следует отметить, что скачок деформации и изменение  $\rho$  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  $\rho$  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  $\rho$  от плотности им-  
пульсного тока  $j_{\text{имп}}$ . Из рис. 1 видно, что под воздействи-  
ем внешних полей имеет место ярко выраженный эффект  
падения  $\rho$  (примерно в 2 раза). Поскольку отношение  
 $L/h$  есть дистанция между двойнивающими 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 двойнивающими  
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  $\rho$  и микротвер-  
дость  $H$  являются взаимосвязанными параметрами. Падение  
 $\rho$  сопровождается интенсификацией двойникового  
процесса, 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],  $\rho$  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. Шукин, 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).