

ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ДВОЙНИКОВАНИЕМ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВИСМУТА В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Шаврей С.Д., Пинчук А.И.

Мозырский государственный педагогический университет
247760, г. Мозырь, ул. Студенческая, 28

В последнее время возрос интерес к изучению влияния магнитного поля (МП) на пластическую деформацию различных материалов [1-2]. Несмотря на значительные достижения в этой области, практически не изучен вопрос о процессе двойникования в МП. Важным фактором, определяющим несомненную актуальность исследований в данной области, является то, что скольжение и двойникование являются взаимосвязанными процессами. Это дает возможность изучать влияние МП на оба процесса одновременно. Кроме этого экспериментальное изучение воздействия МП на металлы, где пластическая деформация реализуется перемещением как полных, так и частичных дислокаций, может способствовать углублению представлений о физических механизмах магнитопластического эффекта (МПЭ).

Монокристаллы висмута выращивались из сырья чистотой 99.97% (с примесью свинца) по методу Бриджмена. Выращенные кристаллы отжигались при температуре 200°C в течение 2 часов. С целью устранения возможных инструментальных эффектов, возникающих при приложении МП к образцу все детали установки и нагрузочного узла микротвердомера ПМТ-3 (грузы, оправка алмазной пирамидки и др.) были изготовлены из неферромагнитных материалов. При проведении эксперимента кристалл помещался в геометрическом центре зазора сердечника электромагнита. Зарождение и рост двойников осуществлялось деформированием четырехгранным алмазным индентором плоскости спайности (111) монокристаллов висмута. Усреднение проводилось по результатам измерений двойников не менее 20 отпечатков. Экспериментальные данные оценивались с учетом погрешности измерений, которая не превышала 3%. Подробно методика эксперимента описана в [3].

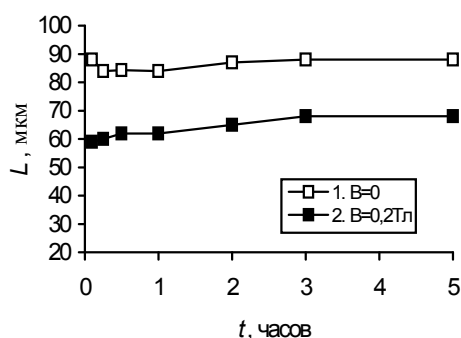


Рис. 1. Зависимость средней длины двойника L от времени воздействия t сосредоточенной нагрузки.

Впервые обнаружено, что комбинированное приложение МП и сосредоточенной нагрузки приводит к частичному падению размеров двойников и снижению их количества вокруг отпечатка. Приложение и отключение МП после микроиндентирования не меняет картину пластической деформации двойникованием. МПЭ в кристаллах висмута, который заключается в уменьшении размеров двойников и снижении их числа, наблюдался в том случае, когда МП и сосредоточенная нагрузка одновременно прилагались к образцу. Обращение знака поля не вносило изменений в результат пластической деформации двойникованием [4].

Изучение МПЭ от длительности воздействия сосредоточенной нагрузки $P=0,14$ Н в МП $B=0,2$ Тл показало, что длина двойников в присутствии МП существенно

меньше, чем без поля (рис. 1). Этот факт свидетельствует об уменьшении среднего пробега двойниующих дислокаций при приложении МП к образцу. В указанном интервале t воздействие сосредоточенной нагрузки практически не изменяет длину двойников L как при приложении МП, так и без него, т.е. средний пробег двойниующих дислокаций не зависит от времени воздействия сосредоточенной нагрузки. В то же время размножение двойниующих дислокаций не прекращается, о чем свидетельствует экспериментальный факт увеличения ширины h двойников у устья. При этом приложение МП заметно подавляет этот процесс [4].

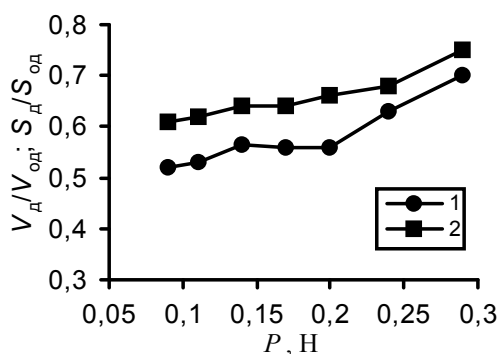


Рис. 2. Зависимость отношений V_d/V_{od} (линия 1) и S_d/S_{od} (линия 2) от нагрузки на индентор P .

При изучении роста двойников под воздействием сосредоточенной нагрузки в течение $t=5$ мин при изменении веса груза на штоке индентора в диапазоне $P=0,09-0,3$ Н без поля и при наложении МП с индукцией $B=0,2$ Тл на образцы монокристаллов висмута получено, что длина и ширина двойников линейно зависит от нагрузки как в МП, так и без него. Установлено, что влияние постоянного МП на средний пробег двойниующих дислокаций не зависит от нагрузки. Приложение постоянного МП частично подавляет процесс размножения двойниующих дислокаций [5].

Снижение размеров двойников в МП приводит к заметному падению среднего сдвойникованного объема V_d и средней площади границ раздела двойник-матрица S_d (при малых P почти в 2 раза, рис. 2). При увеличении P отношения V_d/V_{od} и S_d/S_{od} возрастают, что указывает на поверхностный характер МПЭ [5].

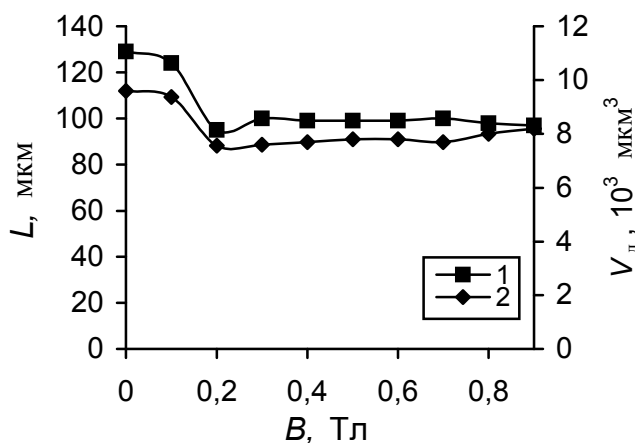


Рис. 3. Зависимость средней длины двойников L (линия 1) и среднего сдвойникованного объема V_d (линия 2) от индукции магнитного поля B .

Обнаружена чувствительность микротвердости H монокристаллов висмута к приложению МП [4]. При этом H слабо зависит от нагрузки. Без приложения МП к образцу H несколько увеличивается с ростом P . Это находится в качественном согласии с законом Мейера.

При изучении МПЭ в зависимости от индукции МП получено, что для кристаллов висмута существует пороговое значение МП с индукцией $B_0 \approx 0,2$ Тл, по достижению которого средние размеры двойников уменьшаются (для L рис. 3, линия 1). При $B > 0,2$ Тл L практически не изменяется, что свидетельствует о насыщении наблюдаемого эффекта. Падение L является основной причиной снижения сдвойникованного объема V_d

при $B \approx 0,2$ Тл (линия 2 на рис. 3) [6].

Учитывая взаимосвязь двойникования и скольжения, рассмотрена зависимость отношения $\Delta H/H$, являющегося мерой деформационного упрочнения, от расстояния l до центра предварительного отпечатка, где $\Delta H = H' - H$ - разность микротвердостей деформированных (H') и недеформированных (H) областей поверхности кристалла. Показано [6], что приложение МП существенно увеличивает размеры упрочненных областей поверхности кристалла (размеры дислокационной розетки), т.е. МП стимулирует скольжение. Кроме этого опытные данные, полученные методом избирательного травления, указывают на то, что приложение МП стимулирует работу всех плоскостей скольжения. Возникающее в результате этого деформационное упрочнение объясняет тот факт, что микротвердость не уменьшается при имеющем место пластифицирующем влиянии МП. При послепороговом увеличении индукции МП микротвердость практически не изменяется [6].

Изучение формы двойников в МП показало, что угол раствора конца двойника близок к 180^0 . Это указывает на то, что двойник приобретает термодинамически равновесную длину, причем за сравнительно короткое время (несколько минут), тогда как без МП это происходит за десятки часов. Плотность двойникующих дислокаций на конце двойника при этом резко возрастает [7].

Неизменность картины двойникования при изменении знака поля, предполагает магнитострикционную природу наблюдаемого эффекта. С другой стороны магнитострикция в однородном МП, подобно тепловому расширению, может привести свободный кристалл лишь к изменению его размеров. Напряжения возникают в неоднородном поле. Величина магнитострикционного напряжения с ростом индукции МП должна увеличиваться, в то время как в настоящей работе получено, что при увеличении индукции МП поля, начиная с $B \approx 0,2$ Тл наблюдается насыщение МПЭ. Следует отметить и то, что в случае действия магнитострикционного механизма снятие МП приводило бы к восстановлению картины двойникования до значения без МП. Тот факт, что без нагрузки МП не меняет картину пластической деформации двойникованием, также свидетельствует не в пользу магнитострикционного механизма.

Возможной причиной наблюдаемого эффекта является то, что МП создают условия для открепления дислокаций от парамагнитных стопоров в результате спин-зависимых переходов в системе ядро дислокации – парамагнитный стопор, а дальнейшее движение дислокаций происходит в поле внутренних напряжений кристалла под действием внешней нагрузки [2]. Полученные нами экспериментальные результаты отсутствия эффекта без приложения нагрузки и наличие порогового МП подтверждают это предположение.

[1] В.И.Альшиц, Е.В.Даринская, О.Л.Казакова. ФТТ **40**, 1, 81, (1998).

[2] Ю.И. Головин. ФТТ **46**, 5, 769, (2004)

[3] А.И.Пинчук, С.Д.Шаврей. Металлофизика. Новейшие технологии **22**, 12, 43 (2000).

[4] А.И.Пинчук, С.Д.Шаврей. ФТТ **43**, 1, 39 (2001).

[5] С.Д.Шаврей, А.И.Пинчук. Письма в ЖТФ **29**, 15, 35 (2003).

[6] А.И.Пинчук, С.Д.Шаврей. ФТТ **46**, 9, 1603 (2004).

[7] А.И.Пинчук, С.Д.Шаврей. Письма в ЖТФ **31**, 3, 67, (2005).