

ровать их свойства. Установлены оптимальные составы для получения композиционной керамики с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект T13ИНЗ-002) и ГПНИ НАН Беларуси (задание 1.03).

Список литературы

- 1 Шевченко А.В., Рубан А.К., Дудник Е.В. Высокотехнологичная керамика на основе диоксида циркония // Огнеупоры и техническая керамика.- 2000.- № 9. - С.2-8.
- 2 Antsiferov, V.N., Porozova S.E., Kulmetyeva V.B. Production of Ceramic Material on the Base of Nanocrystalline Zirconium Dioxide Stabilized with Yttrium Oxide // Structural chemistry of partially ordered systems, nanoparticles and nanocomposites: Topical meeting of the European Ceramic Society (27-29 June 2006, Saint-Petersburg, Russia). – St-Petersburg.- 2006. – P. 155-156.
- 3 Ульянова Т.М., Крутько Н.П., Титова Л.В. Процессы формирования и твердофазного взаимодействия оксидов в наноструктурных волокнах и порошках // Сборник научных статей «Наноструктуры в конденсированных средах» Минск: Издательский центр БГУ.- 2011.- С. 67-72.
- 4 Duwez, P., Odell F. Quantitative analysis of cubic and monoclinic zirconia by X-ray diffraction //J. Amer. Ceram. Soc. – 1949. - V. 32.- N1.- P. 180 - 183.
- 5 Ilyushchanka A.Ph., Shevchenok A.A., Ulyanova T.M., Titova L.V., Kulbitskaja L.V., Stepkin M.O. Alumina Ceramics Modified by Nanostructured Al₂O₃-MgO Whiskers// Proceedings of the European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes - Euro PM2013, ed. by Chalmers University of Technology, Gothenburg (Sweden) .- 2013.- pp. 225-230.

ОСОБЕННОСТИ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ КЛИНОВИДНЫХ ДВОЙНИКОВ

Чикова Т. С., Ховатов П. А.

*Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь,
t.chikova@grsu.by*

Деформационное двойникование, присущее многим технически важным металлам и сплавам, является одним из основных видов дислокационной пластичности кристаллов. Однако до настоящего времени не существует дислокационного теоретического описания всех стадий его развития. Подробно экспериментально изучена и исчерпывающе описана в рамках теории дислокаций только первая стадия – упругое двойникование [1]. В основу дислокационной теории упругого двойникования кристаллов положено экспериментальное изучение изменения формы и размеров двойника в зависимости от величины внешней нагрузки. Установлено, что упругий двойник остается очень тонким в течение всего процесса роста в кристалле, при этом отношение его толщины h к длине L составляет порядка $h/L \sim 10^{-4} - 10^{-3}$. Двойничающие дислокации, реализующие перестройку кристаллической структуры, расположены по контуру двойниковой прослойки и их распределение вдоль упругого двойника определяется условием равновесия кристалла с двойником под нагрузкой. Плотность распределения дислокаций вдоль двойниковых границ является непрерывной функцией и связана с толщиной двойника h . Малость параметра h/L позволяет считать упругий двойник плоским, что дает основания сформулировать для него ряд допущений, упрощающих решение задачи о равновесии макроскопического скопления одноименных дислокаций, находящихся во внешнем упругом поле под действием сил сопротивления со стороны кристаллической решетки.

Как только деформационный двойник заклинивается, т.е. перестает выходить из кристалла после разгрузки, характер его дальнейшего развития с ростом внешнего усилия существенно изменяется. Не только исчезает плавная зависимость длины и толщины клиновидного двойника от нагрузки, но обнаруживается непропорциональное и несинхронное изменение его размеров и искажение формы клина [2, 3]. Параметр h/L для остаточных двойников составляет $h/L \sim 10^{-2} - 10^{-1}$ и упрощения, возможные для формулировки дислокационной модели упругого двойника здесь уже не допустимы. В [1] показано, что в случае остаточного клиновидного двойника напряжения в упругой среде вокруг него при заданной внешней нагрузке определяются условиями на границе двойника, которые связаны с силами неупругого происхождения. Наличие стопоров в структуре кристалла, обеспечивающих заклинивание двойника приводит к тому, что условия зарождения двойникующих дислокаций на каждой из границ становятся неодинаковыми, что приводит к различию в силе неупругого происхождения на двух границах.

Остаточный двойник конечной толщины, также как и упругий, образован набором двойникующих дислокаций, расположенных по контуру прослойки, однако специфика формы прослойки не позволяет записать простое соотношение для функции плотности распределения двойникующих дислокаций на границах раздела. Теоретическое решение задачи о равновесной форме остаточного двойника конечной толщины в неоднородном поле напряжений требует надежных экспериментальных данных о дислокационной структуре межфазных границ раздела двойник-материнский кристалл. Измерение формы и размеров остаточных клиновидных двойников в металлах должно выполняться с высокой точностью и из-за сложности эксперимента проводится для наиболее простых случаев: прямолинейных [4] или когерентных двойниковых границ [5].

№ 1		№ 2		№ 3		№ 4	
L , мкм	h , мкм						
0	0,7	0	0,23	0	0,36	0	0,24
0,50	0,69	0,64	0,36	0,44	0,36	0,23	0,17
1,10	0,65	1,26	0,32	0,85	0,36	0,58	0,12
1,74	0,56	1,96	0,36	1,25	0,21	0,94	0,11
2,30	0,63	2,62	0,22	1,54	0,06	1,39	0,06
2,81	0,69	3,45	0,22	2,4	0,06	1,87	0
3,41	0,72	4,20	0,21	3,00	0,06		
3,96	0,69	4,80	0,20	3,41	0,06		
4,54	0,55	5,47	0,09	3,80	0		
5,12	0,63	6,11	0				
5,71	0,56						
6,24	0,47						
6,98	0,36						
7,58	0,25						
8,32	0,19						
9,00	0,18						
9,65	0,12						
10,46	0,11						
11,08	0,05						
11,78	0						

Исследование рельефа поверхности сдвойникового металла и измерение размеров остаточных клиновидных двойников сложной формы с необходимой точностью возможно методом атомной силовой микроскопии (АСМ), который позволяет получать трехмерные изображения топографических особенностей поверхности образцов в нанометровом диапазоне. В работе изучены деформационные двойники, возникшие при индентировании плоскости спайности монокристалла цинка четырёхгранной алмазной пирамидкой на автоматическом микротвердомере НWMMТ-X7. Отпечаток индентора и серия образовавшиеся вокруг него клиновидных двойников исследовались с помощью атомно-силового микроскопа АСМ «NT-206» со стандартными кремниевыми кантилеверами CSC-37, CSC-38 и с разрешением по вертикали 0,2 нм и по горизонтали 2,0 нм. Измерялась ширина клиновидного двойника вдоль его длины. В таблице в качестве примера приведены данные для всех двойников, появившиеся у одного отпечатка при выдержке кристалла под нагрузкой 0,05 Н в течение 10 с при комнатной температуре.

Длина двойника L отсчитывалась от устья клина у отпечатка (рис. 1), где значение L принималось равным нулю. В вершине свободного клиновидного двойника ширина всегда равна нулю. Это установлено экспериментально и обосновано теоретически в макроскопической теории двойникования [6].

Все исследованные двойники имеют некогерентные границы, кроме того границы двойников 1, 2 и 3 криволинейны. Оказалось, что ни для одного из двойников экспериментальную зависимость ширины от длины клина невозможно аппроксимировать простой функцией $h(L) = B\sqrt{L}$, предложенной в [4] для остаточного двойника с некогерентными границами. Во всех случаях зависимости $h(L)$ носят более сложный характер.

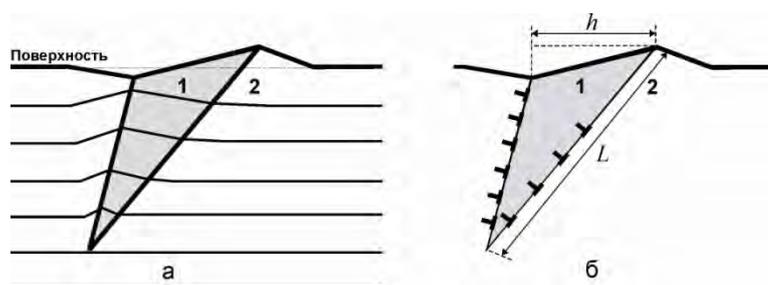


Рис. 1. Клиновидный механический двойник в кристалле (а), дислокационная модель клиновидного двойника (б): 1 – двойниковая прослойка; 2 – основной кристалл; L – длина двойника; h – ширина двойника.

Поскольку в каждой кристаллографической плоскости находится только одна двойниковающая дислокация, локализованная на границе раздела двойник-матрица, то форма двойника отражает расположение двойниковающих дислокаций по контуру клиновидной прослойки. Классическая дислокационная модель клиновидного двойника предполагает, что он образован одноименными двойниковающими дислокациями, зарождающимися в устье и перемещающимися в направлении двойникования (рис. 1б).

Для всех изученных двойников в цинке наблюдаются неравные приращения толщины двойника Δh в различных сечениях, что свидетельствует о неравномерности распределения двойниковающих дислокаций на криволинейных двойниковых границах. Размеры и форма двойника 4 имеют стандартный вид (рис. 1а) и соответствуют дислокационной модели, приведенной на рис. 1б. В двойнике 3 уменьшение ширины клина от устья к вершине происходит немонотонно, он имеет два протяженные участка с постоянными значениями ширины. Дислокационную модель двойника 3 также можно представить набором одноименных двойниковающих дислокаций с учетом выявленных особенностей их распределения по границам. В двойниках 1 и 2 с ростом длины на отдельных участках происходит не уменьшение, а увеличение ширины двойника с последующим ее убыванием, то

есть двойниковые границы имеют выпуклости. Такие клиновидные двойники не только не соответствуют классической модели с прямолинейными границами (рис. 1б), но их невозможно моделировать совокупностью одноименных дислокаций. На выпуклых участках границ возможны дислокационные реакции полных и двойнивающих дислокаций, гетерогенное зарождение двойнивающих дислокаций на дефектах структуры вблизи межфазной границы двойник-матрица. Развитие некогерентных двойниковых границ в металле в условиях предшествующего и сопутствующего скольжения зависит не только от характера и параметров нагружения, но и от локальных структурных особенностей в зоне деформирования кристалла.

Список литературы

- 1 Косевич, А. М. Дислокационная теория упругого двойникового кристаллов / А. М. Косевич, В. С. Бойко // Успехи физ. наук. – 1971. – Т. 104. № 2. – С. 201–254
- 2 Башмаков, В. И. Эволюция геометрии двойниковых границ в висмуте при увеличении нагрузки / В. И. Башмаков, Т. С. Чикова // Кристаллография. – 2002. – Т. 47, № 3. – С. 537–542
- 3 Башмаков, В. И. Двойникование и раздвойникование сдвойникованных кристаллов висмута и цинка при индентировании / В. И. Башмаков, Т. С. Чикова, Н. Н. Дуб // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2003. – Т. 8, Вып 4. – С. 601–603
- 4 Гиндин, И. А. Экспериментальное определение формы и расчет поля напряжений заклинившихся двойниковых прослоек / И. А. Гиндин, Л. А. Чиркина // Физика твердого тела. – 1969 – Т. 11, №. 1. – С. 120–123
- 5 Мазилова, Т. И. Тонкая структура когерентных двойниковых границ в металлах / Т. И. Мазилова, И. М. Михайловский, Е. И. Луговская // Физика низких температур. – 2000, – Т. 26, № 12, – С. 1241–1244
- 6 Лифшиц, И. М. О макроскопическом описании явления двойникового кристаллов / И. М. Лифшиц // Журн. exper. и теор. физики. – 1948. – Т. 18, Вып. 12. – С. 1134–1143

КОНСТРУКЦИЯ ТЕРМОЗАПОРНОГО КЛАПАНА С ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ИЗ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Рубаник В.В. мл., Непомнящая В.В.

*Институт технической акустики НАН Беларуси
Витебск, Республика Беларусь;
Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь.*

В настоящее время широкое практическое применение в различных отраслях промышленности находят сплавы, проявляющие эффект памяти формы, в частности, изделия с TiNi элементами. Работа их основана на проявлении эффекта сверхупругости или эффекта памяти формы (ЭПФ). Эффект памяти формы — способность восстанавливать исходную форму при нагреве через интервал обратного мартенситного превращения после предварительного деформирования в низкотемпературной мартенситной фазе [1]. На сегодняшний день известно уже более сотни сплавов с памятью формы на базе разных химических элементов. Однако семейство нитиноловых остается самым распространенным. Элементы из сплавов с памятью формы на основе никелида титана способны в узком температурном интервале от 5 до 40 °С восстанавливать предварительно заданные однократные и обратимые деформации [2].