

ВЛИЯНИЕ СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ

Д.В. Загуляев, С.В. Коновалов, В.Е. Громов

Экспериментально изучено влияние слабых магнитных полей ($B < 300$ мТл) на микротвердость поликристаллического алюминия. Показано, что микротвердость алюминия линейно зависит от индукции магнитного поля. Установлена зависимость микротвердости от времени выдержки в магнитном поле и обнаружено насыщение микротвердости при достижении определенного времени выдержки.

Ключевые слова: магнитное поле, микротвердость, поликристаллический алюминий, магнитоупругий эффект.

Исследованию влияния магнитных полей (МП) на физические и механические свойства немагнитных монокристаллических материалов посвящено значительное количество работ (см., например, обзоры [1-3]). Впервые магнитоупругий эффект (МПУ) был обнаружен в 1987 г. группой ученых под руководством профессора Алыица В.И. [4]. Было установлено явление перемещения дислокаций под действием постоянного МП в кристаллах NaCl в отсутствие механических напряжений, которое в дальнейшем получило название МПУ. Дальнейшие исследования в этой области показали, что МПУ приводит к понижению предела текучести [5, 6], уменьшению микротвердости [7-11] и внутреннего трения [12]. Интерес к данному явлению не случаен, поскольку, кроме теоретического, оно имеет практическую значимость, например, при оценке изменения свойств материалов энергетических установок, в которых имеются магнитные поля.

Влияние МП на пластические свойства поликристаллических металлов, обладающих парамагнитными свойствами, изучено недостаточно. В этой связи целью настоящей работы является установление феноменологии влияния МП на такую микромеханическую характеристику металлов, как микротвердость.

В работе использовали образцы поликристаллического Al с размерами $1 \times 1 \times 2$ см³. Они предварительно механически полировались, химически травились (0,2 мл - HF; 0,9 мл - HNO₃; 2,6 мл - HCl; 100 мл - H₂O) и отжигались при 700 К в течение 2 часов с последующим охлаждением в печи. Источником МП служил электромагнит с регулированием индукции магнитного поля путем изменения тока в катушках. Отметим, что геометрия магнитного поля во всех испытаниях оставалась постоянной. Индукция МП измерялась миллитесламетром с точностью до 0,01 мТл и варьировалась в пределах от 0 до 300 мТл. Измерения микротвердости проводились с помощью микротвердомера ПМТ-3 для трех вариантов: без воздействия МП, сразу после выдержки в МП и после определенных интервалов времени; при этом варьировалось значение индукции МП и время выдержки в нем. Значение микротвердости усреднялось не менее чем по 50 измерениям на разных образцах.

Количественно эффект влияния магнитного поля характеризовался относительным изменением микротвердости:

$$\xi = \frac{HV - HV_0}{HV_0},$$

где HV - значение микротвердости образца, выдержанного в МП, HV_0 - исходное значение микротвердости.

Как видно из рис. 1 микротвердость поликристаллического алюминия после удаления из МП релаксирует до исходного значения, причем полная релаксация микротвердости происходит за время порядка 30 ч. Похожие зависимости получены Головиным Ю.И. на полимерах [7], кристаллах C₆₀ [8] и NaCl [10]. Отметим, что повторная выдержка алюминия, микротвердость которого еще не достигла исходного значения, в МП приводит к изменению микротвердости до таких же значений, как и при первоначальной обработке в МП.

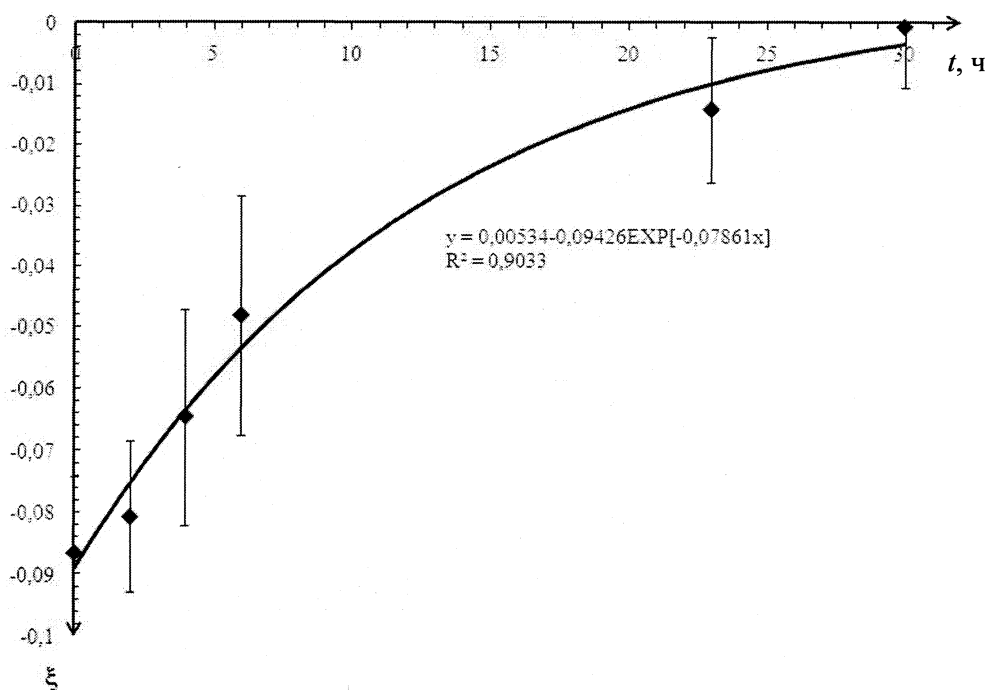


Рис. 1. Релаксация ξ после одного часа выдержки в МП ($B = 300$ мТл)

Из зависимости ξ от индукции МП (рис. 2) видно, что влияние магнитного поля на микротвердость не наблюдается для значений индукции < 150 мТл, а при дальнейшем увеличении индукции МП эффект линейно возрастает, что говорит о существовании порогового значения B_p . Подобное значение величины B_p было получено в [13] на монокристаллах NaCl, Al, LiF ($B_p \approx 200$ мТл), а насыщение МПЭ наступало при значениях магнитной индукции порядка 300–500 мТл.

Обобщенные зависимости ξ от времени выдержки в МП различной индукции представлены на рис. 3. Видно, что значение ξ достигает своего максимума при времени выдержки в МП по-

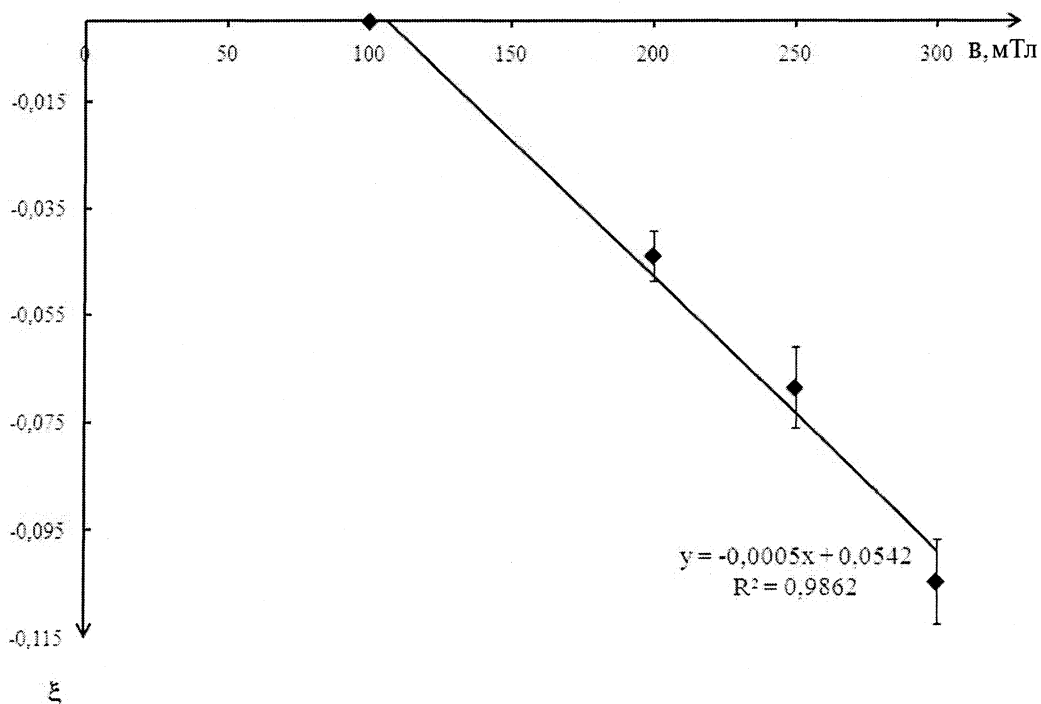


Рис. 2. Зависимость ξ от индукции магнитного поля

рядка 2 часов, дальнейшее увеличение времени не приводит к усилению эффекта. Значения максимального эффекта для поликристаллического алюминия при значениях магнитной индукции 200, 250 и 300 мТл равны $4,0 \pm 0,9$ %, $7,12 \pm 1,2$ %, $12,5 \pm 0,9$ % соответственно.

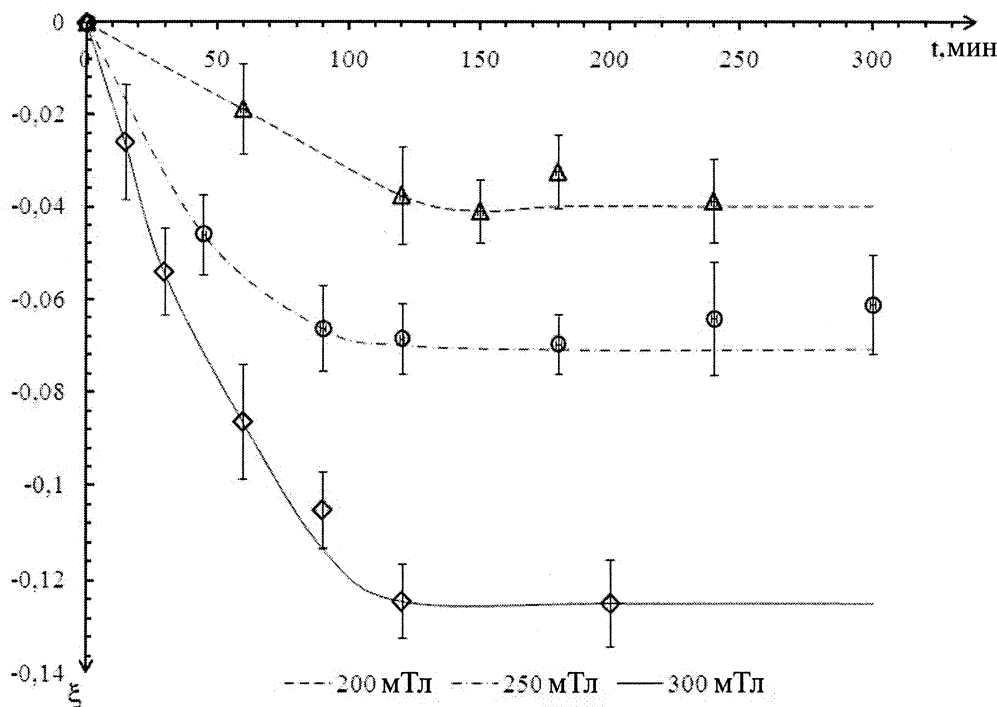


Рис. 3. Зависимость ξ от времени выдержки в магнитном поле

Одно из возможных объяснений зависимостей на рис. 1-3 может быть связано с откреплением дислокаций от парамагнитных центров под действием МП. Данное явление происходит в результате спин-зависимых переходов в системе «примесь - ядро дислокации» с последующим движением дислокаций в поле дальнедействующих внутренних напряжений в кристалле [14]. В рамках этой модели происходит разрушение локальных барьеров за некоторое характерное время.

Таким образом, можно предполагать, что одним из механизмов влияния МП на микротвердость поликристаллического алюминия является стимулированное МП движение дислокаций. Для однозначного выяснения физической природы влияния слабых магнитных полей необходимо проведение прецизионных исследований по эволюции дислокационных субструктур, в том числе методами просвечивающей электронной микроскопии.

Литература

1. Головин, Ю.И. Магнитопластичность твердых тел (Обзор) / Ю.И. Головин // ФТТ. - 2004. - № 5. - С. 769-803.
2. Альшиц, В.И. Магнитопластический эффект: основные свойства и физические механизмы / В.И. Альшиц // Кристаллография. - 2003. - № 5. - С. 826-854.
3. Урусовская, А.А. Эффекты магнитного воздействия на механические свойства и реальную структуру немагнитных кристаллов / А.А. Урусовская, В.И. Альшиц, А.Е. Смирнов // Кристаллография. - 2003. - № 5. - С. 855-872.
4. О движении дислокаций в кристаллах NaCl под действием постоянного магнитного поля / В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, Т.М. Перекалина и др. // ФТТ. - 1987. - № 2. - С. 467-471.
5. Урусовская, А.А. О влиянии магнитного поля на предел текучести и кинетику макропластичности кристаллов LiF / А.А. Урусовская, В.И. Альшиц, А.Е. Смирнов и др. // Письма в ЖЭТФ. - 1997. - № 6. - С. 470-474.
6. Деформация кристаллов LiF в постоянном магнитном поле / В.А. Альшиц, А.А. Урусовская, А.Е. Смирнов, Н.Н. Беккаур // ФТТ. - 2000. - № 2. - С. 270-272.
7. Головин, Ю.И. Новый тип магнитопластических эффектов в линейных аморфных полимерах / Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов // ФТТ. - 2001. - № 5. - С. 827-832.

8. Влияние импульсного магнитного поля на микротвердость монокристаллов C_{60} / Ю.А. Осипьян, Ю.И. Головин, Д.В. Лопатин и др. // Письма в ЖЭТФ. - 1999. - Т. 69. - Вып. 2. - С. 110-113.

9. Влияние магнитного поля на пластичность, фото- и электролюминесценцию монокристаллов ZnS / Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов, А.А. Баскаков и др. // Письма в ЖЭТФ. - 1999. - Т. 69. - Вып. 2. - С. 114-118.

10. Обратимые и необратимые изменения пластических свойств кристаллов NaCl, вызванные действием магнитного поля / Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов, Д.В. Лопатин и др. // ФТТ. - 1998. - № 11. - С. 2065-2068.

11. Пинчук, А.И. Влияние постоянного магнитного поля и импульсного электрического тока на среднюю линейную плотность двойникующихся дислокаций в кристаллах висмута / А.И. Пинчук, С.Д. Шаврей // ФТТ. - 2001. - № 8. - С. 1416-1417.

12. Тяпунина, Н.А. Влияние магнитного поля на неупругие свойства кристаллов LiF / Н.А. Тяпунина, В.Л. Красников, Э.П. Белозерова // ФТТ. - 1999. - № 6. - С. 1035-1040.

13. Магнитопластический эффект и спин-решеточная релаксация в системе дислокация - парамагнитный центр / В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, О.Л. Казакова и др. // Письма в ЖЭТФ. - 1996. - Т. 63. - Вып. 8. - С. 628-633.

14. Альшиц, В.И. «*In situ*» изучение магнитопластического эффекта в кристаллах NaCl методом непрерывного травления / В.И. Альшиц, Е.В. Дарицкая, Е.А. Петржик // ФТТ. - 1991. - № 10. - С. 3001-3009.

Поступила в редакцию 31 июля 2009 г.

WEAK MAGNETIC FIELDS INFLUENCE ON MICROHARDNESS OF POLYCRYSTALLINE ALUMINUM

Weak magnetic fields ($B < 300$ mT) influence on microhardness of poly crystalline aluminum is studied experimentally. It is shown that microhardness of aluminum linearly depends on an induction of a magnetic field. Dependence of microhardness on release time in a magnetic field is determined and saturation of microhardness is revealed under attainment of certain release time.

Keywords: magnetic field, microhardness, polycrystalline aluminum, magnetoplastic effect.

Zagulyaev Dmitry Valerievich - Postgraduate student of Physics Department, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk.

Загуляев Дмитрий Валерьевич - аспирант, кафедра физики, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.

e-mail: zagulyaev_dv@physics.sibsiu.ru

Konovalov Sergey Valerievich - Cand. Sc. (Physics and Mathematics), Associate Professor of Physics Department, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk.

Коновалов Сергей Валерьевич - кандидат технических наук, доцент, кафедра физики, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.

e-mail: konovalov@physics.sibsiu.ru

Gromov Victor Evgenievich - Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Professor, Head of the Physics Department, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk.

Громов Виктор Евгеньевич - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.

e-mail: gromov@physics.sibsiu.ru