

05

О влиянии потока фотонов на свойства фольги Ni—Cu

© А.А. Колотов, Ф.З. Гильмутдинов, В.Я. Баянкин

Физико-технический институт УО РАН, Ижевск

E-mail: less@fti.udm.ru

Поступило в Редакцию 9 февраля 2004 г.

Рассматриваются результаты экспериментов по исследованию „эффекта дальнего действия“ при фотонном облучении прокатанных фольг Ni—Cu. Выявлены изменения микротвердости и состава поверхностных слоев как с облученной, так и с необлученной стороны исследуемых образцов, зависящие от времени облучения (дозы). На основании данных по измерению микротвердости, состава, а также результатов рентгеноструктурного анализа выдвигается гипотеза о роли исходного неравновесного состояния в механизмах фотонного „эффекта дальнего действия“.

Введение. В работах [1–3] было установлено, что при различных энергетических воздействиях на твердые тела (например, при ионном облучении) изменение свойств затрагивает слой, толщина которого существенно превышает рассчитанный из теории, подобное явление получило название „эффекта дальнего действия“ (ЭД). В настоящее время отсутствует единое мнение о механизмах ЭД. В работах [1,2] представлены различные модели ЭД; в большинстве работ основным механизмом, реализующим проявления ЭД, является возбуждение упругих волн ионным пучком и их взаимодействие с системой протяженных дефектов, в частности с примесно-дефектными кластерами и дислокациями, особенно в материалах с высокой концентрацией последних. Подобное явление было отмечено и при облучении металлических прокатанных фольг (плотность дислокаций последних может достигать значений $10^9 \div 10^{10} \text{ см}^{-2}$ [1,2]) потоками фотонов. В работах [1,3–5] показано, что данный эффект не обусловлен простым нагревом образцов при облучении, а имеет более фундаментальную природу.

Методы эксперимента. В качестве объектов исследования использовались прокатанные фольги 40% Ni–60% Cu толщиной 30 μm . Облучение образцов производилось галогенными лампами мощностью (W)

100 и 200 W на воздухе при фиксированном расстоянии от лампы до образца $R = 70$ mm. Спектральный состав излучения близок к спектру излучения лампы накаливания с вольфрамовой нитью. Для увеличения теплоотвода исследуемый образец закреплялся на массивной металлической пластине. Микротвердость (H) измерялась на приборе ПМТ-3 (нагрузка на индентор 20 g). Распределение компонентов по глубине поверхностных слоев, до и после облучения, исследовалось методом вторичной ионной масс-спектрометрии на масс-спектрометре МС-7201М с использованием распыления поверхности ионами аргона с энергией 4.5 keV при плотности тока $20 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (расчетная скорость распыления составляла 3 nm/min).

Результаты исследований и их обсуждение. Аналогично предыдущим исследованиям [2] получено, что в результате облучения при используемых мощностях ламп происходит изменение значений микротвердости (H) как на облученной, так и на обратной сторонах образцов. Исследование дозовой зависимости изменения микротвердости в широком интервале (рис. 1) показало, что H изменяется немонотонным образом, эти изменения носят знакопеременный характер, а при больших дозах стремятся к нулю. После прекращения облучения наблюдается смещение значений микротвердости к исходному, что может быть обусловлено релаксацией структуры (скорее всего дефектной) со временем к исходному состоянию, поскольку микротвердость является чувствительным структурным параметром. Аналогичные эффекты отмечались также в работах [3–5].

Таким образом, можно утверждать, что в результате облучения в объеме и в поверхностных слоях фольги происходят изменения структуры, которые сопровождаются перераспределением элементов в поверхностных слоях фольги (вблизи обеих поверхностей), о чем и свидетельствуют результаты вторично-ионной масс-спектрометрии. На рис. 2 для примера показано перераспределение компонентов относительно исходного состава после облучения образцов лампой мощностью 100 W в течение 3 s (анализ проводился в течение 1 h после облучения). В результате облучения перераспределение компонентов происходит как на облученной, так и в одинаковой степени на обратной стороне фольги, что является в данном случае проявлением ЭД. Облучение образцов сопровождается обогащением поверхности атомами никеля. Остается невыясненным вопрос, почему при облучении происходит обогащение поверхности атомами никеля? Можно предположить, что

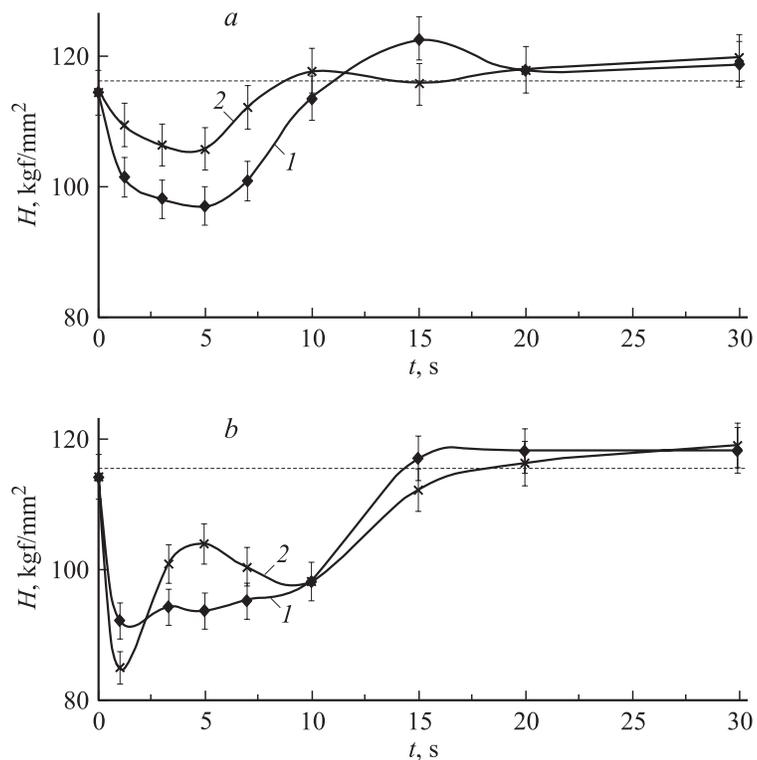


Рис. 1. Зависимость микротвердости от времени облучения: 1 — облученный образец, 2 — необлученный. Мощность облучающей лампы: *a* — $W = 100$ W; *b* — $W = 200$ W.

подобное соотношение компонентов является нестабильным по отношению даже к исходному состоянию и вызвано дополнительной „накачкой энергии“, что, в свою очередь, приводит к релаксации системы к исходному состоянию в течение нескольких часов после засветки.

Для выявления роли структурного состояния в проявлении „фотонного эффекта дальнего действия“ исследовались фольги, отожженные при 600°C в вакуумной печи в течение 30 min. Как показали измерения микротвердости отожженных образцов, эффект в данном случае не наблюдается. Таким образом, основываясь на полученных эксперимен-

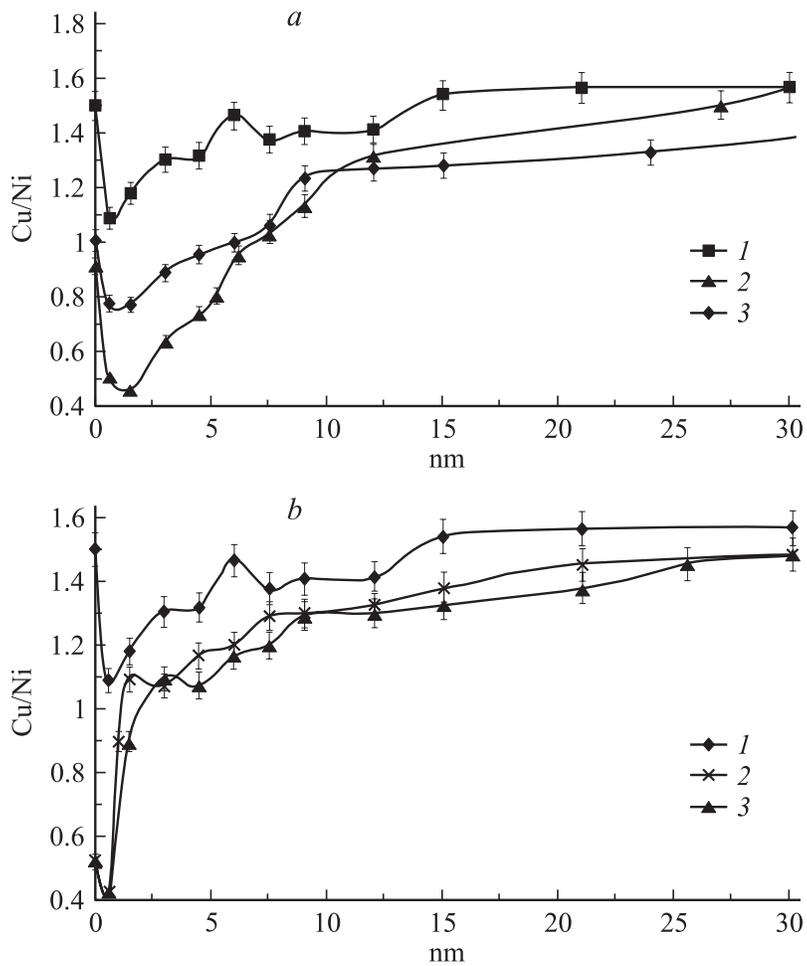


Рис. 2. Профиль распределения компонентов по глубине на поверхности фольги после облучения ($W = 100 \text{ W}$, $t = 3 \text{ s}$); *a*: 1 — исходный состав, 2 — облученная сторона через 5 min после облучения, 3 — облученная сторона через 50 min после облучения; *b*: 1 — исходный состав, 2 — обратная сторона через 15 min после облучения, 3 — обратная сторона через 40 min после облучения.

тальных данных, можно предположить, что „эффект дальнего действия“ при фотонном облучении обусловлен исходной неравномерностью структуры фольги, т.е. упругонапряженного состояния, полученного вследствие прокатки. Предполагается, как и в работах [3–5], что основным механизмом проявления „эффекта дальнего действия“ является возбуждение упругих волн и их взаимодействие с исходными структурными несовершенствами; естественно, возникает вопрос об источнике возбуждения. Возможен следующий механизм „эффекта дальнего действия“ при фотонном облучении. С квантово-механической точки зрения взаимодействие излучения с веществом есть резонансное явление, соответствующее равенству энергии фотона энергии перехода системы в другое состояние. Как правило, в первую очередь это выражается в возбуждении электронной подсистемы металла. Одной из основных энергетических характеристик металла является работа выхода, равная энергии удаления электрона с уровня Ферми на бесконечность. Но в нашем случае энергия падающего излучения мала для возбуждения электронной подсистемы в металле, что, на первый взгляд, противоречит предложенной модели. Однако, как показано в ряде работ [6,7], при деформации может происходить существенное понижение работы выхода электрона. В первую очередь это связано с изменением периодичности электронной плотности, что в свою очередь изменяет электростатический потенциал внутри металла. Кроме того, огромную роль в понижении работы выхода играют поверхностные дислокации, оказывающие диссипативный эффект при выходе на поверхность (не только внешнюю) и тем самым способствующие снижению работы выхода электрона. Дополнительное фотон-электронное взаимодействие может усиливать эффект и зависит от частоты излучения. Таким образом, в системе возможен фотоэффект. Модель фотоэффекта была также предложена другими авторами [3], однако в отличие от механизма модели, предложенной нами, последняя основывалась на наличии оксидного слоя. В результате фотоэффекта происходит возбуждение электронной подсистемы поверхности, т.е. образуется локализованная дырка. Подтверждением данной гипотезы может служить полученное нами изменение потенциала на поверхности образцов при облучении фотонами. Если при этом время локализации дырки сравнимо с периодом тепловых колебаний атомов, возможны структурные превращения на поверхности.

Таким образом, можно предположить, что благодаря упругонапряженному состоянию образцов в данных условиях возможен фотоэффект,

который может приводить к нарушению энергетического баланса в системе, в структурах с развитой дислокационной структурой это отражается в сдвиге дислокационных петель в сторону стоков (поверхность, границы зерен и т.д.) что, вероятно, и является движущей силой диффузии атомов никеля к поверхности. В поле упругих напряжений этот процесс может приобретать лавинообразный характер, что сопровождается изменением дефектной структуры поверхностных слоев и объема, причем как на облученной стороне, так и благодаря эффекту дальнего действия на обратной. Рассматривая зависимость эффекта от времени облучения (т.е. от дозы облучения), можно предположить, что в начальные моменты (при малых временах облучения) концентрация подвижных дефектов сравнительно невелика и петли свободно передвигаются, изменяя дислокационную структуру. При более длительном облучении увеличивается интенсивность передвижения петель дислокаций. Движущиеся петли дислокаций могут сталкиваться друг с другом. Если петли имеют различную ориентацию, то при столкновении они образуют „сидячие“ петли дислокаций, которые являются стопорами для других, сталкивающихся с ними петель, что приводит к невозможности их дальнейшего передвижения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 02–02–16670).

Список литературы

- [1] *Тетьбаум Д.И., Курильчик Е.В., Азов А.Ю.* и др. // Поверхность. Сер. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2000. № 5. С. 87–89.
- [2] *Мартыненко Ю.В.* // Итоги науки и техники. Сер. Пучки заряженных частиц и твердое тело. Т. 7. М.: ВИНТИ, 1993. С. 82–112.
- [3] *Тетьбаум Д.И., Азов А.Ю., Голяков П.И.* // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. В. 2. С. 35–41.
- [4] *Тетьбаум Д.И., Трофимов А.А., Азов А.Ю.* и др. // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. В. 23. С. 9–13.
- [5] *Тетьбаум Д.И., Курильчик Е.В., Азов А.Ю.* и др. // Поверхность. 2003. № 4. С. 67–69.
- [6] *Pogosov V.V., Shtepa O.M.* // Металлофизика и новейшие технологии. 2002. Т. 24. № 12. С. 1651–1656.
- [7] *Журавлев В.А.* Лекции по квантовой теории металлов. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 240 с.