

05;07;12

## **Дальнодействующее влияние слабого фотонного облучения (с длиной волны $0.95 \mu\text{m}$ ) на механические свойства металлов**

© Д.И. Тетельбаум, А.А. Трофимов, А.Ю. Азов,  
Е.В. Курильчик, Е.Е. Доценко

Научно-исследовательский физико-технический институт  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

Поступило в Редакцию 2 декабря 1997 г.  
В окончательной редакции 30 апреля 1998 г.

Установлено, что при облучении фольг пермаллоя толщиной  $18 \mu\text{m}$  светом с длиной волны  $0.95 \mu\text{m}$  в течение  $0.2\text{--}100 \text{ s}$  происходит повышение микротвердости с обеих сторон. Обнаруженное явление не связано с радиационным нагревом и обсуждается с точки зрения модели, ранее предложенной для объяснения малодозного эффекта дальнодействия при ионном облучении.

Ранее [1–5] нами были обнаружены изменения механических свойств прокатанных металлических фольг при малых ( $10^{13}\text{--}10^{16} \text{ cm}^{-2}$ ) дозах ионного или электронного облучения. Поскольку изменения простираются на расстояния, много большие пробегов бомбардирующих частиц (вплоть до противоположных сторон фольг с толщиной  $10\text{--}100 \mu\text{m}$ ), явление было названо малодозным эффектом дальнодействия. Согласно предложенной нами модели [6], данный эффект обусловлен действием возбуждаемых при облучении упругих волн (УВ) на систему протяженных дефектов. Характерной особенностью является то, что последний наблюдается не только в случаях облучения, при которых возможно выбивание атомов из узлов и когда энергия частиц затрачивается в основном на упругие (ядерные) потери, но и тогда, когда прямое выбивание атомов невозможно, а торможение частиц происходит преимущественно за счет неупругих (электронных) потерь энергии. Это обстоятельство стимулировало постановку опытов, в которых возбуждение электронной системы металла осуществляется путем не корпускулярного, а светового (лазерного) облучения со средней плотностью мощности того же

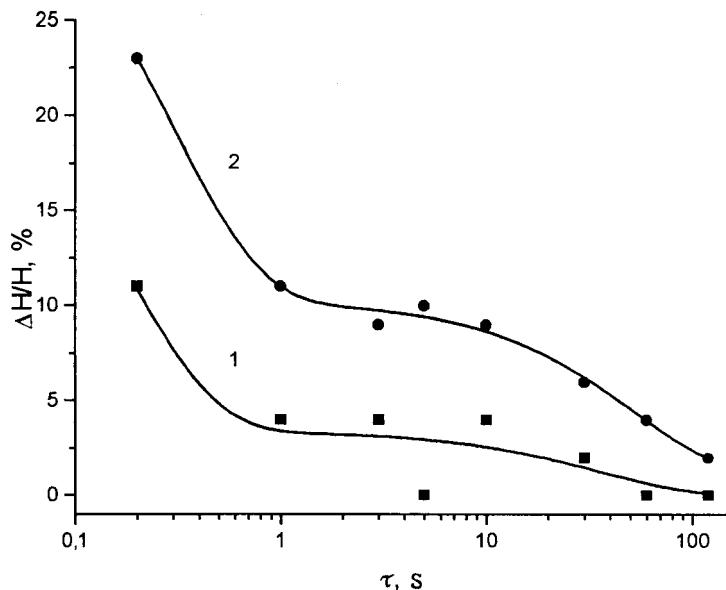
порядка, как и в случае корпускулярного облучения. Макроскопический нагрев при этом незначителен, а поглощение энергии происходит в тонком приповерхностном слое фольги. Основное различие состоит в том, что при корпускулярном облучении энергия вносится в виде пространственно-временных "сгустков" (каскадов), а при световом — квазиоднородно в плоскости, параллельной поверхности.

В настоящей работе в качестве объекта исследования использовались фольги пермаллоя-79 — материала, для которого было выполнено большинство исследований по малодозному эффекту дальнего действия. Толщина фольги составляла  $18 \mu\text{m}$ . Для засветки использовалось излучение полупроводникового лазера с длиной волны  $0.95 \mu\text{m}$  (в непрерывном режиме). Плотность мощности составляла  $0.25 \text{ W/cm}^2$ . Микротвердость  $H$  измерялась на микротвердомере ПМТ-3. Данные усреднялись по 10 отпечаткам, каждый из которых измерялся по 4 раза. При этом погрешность среднего арифметического не превышала 3% на уровне вероятности 0.9. Отклонения  $H$  для различных образцов до облучения также не выходили за этот предел. Нагрузка выбрана равной 50 г, при которой глубина отпечатка составляла  $\sim 1.5 \mu\text{m}$ .

На рисунке приведены относительные изменения  $H$ , произошедшие в результате облучения, как для облученной, так и для противоположной стороны фольги, в зависимости от длительности засветки  $\tau$  (так как длительность измерялась секундомером, значение  $\tau = 0.2 \text{ s}$  — сугубо ориентировочное). Видно, что приращения микротвердости ( $\Delta H/H$ ) существенно превышают погрешность, а систематический характер зависимости от  $\tau$  служит дополнительным свидетельством реальности эффекта. Уменьшение величины  $\Delta H/H$  со временем облучения показывает, что на кривой  $\Delta H/H$  должен существовать максимум при времени, меньшем, чем 0.2 s.

Чтобы проверить, не связано ли изменение  $H$  при облучении с нагревом образца лазерным лучом, были определены значения  $H$  для фольг, подвергшихся кратковременных отжигам (2 min) в печи при температурах до 373 К. Изменений  $H$  по сравнению с исходным значением в пределах погрешности не обнаружено. В нашем случае температура образцов при облучении заведомо была ниже 373 К, т.е. наблюдаемый эффект не связан с радиационным нагревом.

Обсудим теперь обнаруженный эффект. В литературе известно [7,8], что облучение твердых тел жестким (вакуумным) ультрафиолетом может приводить к генерации дефектов. Однако предложенные в [7,8]



Зависимость относительных изменений микротвердости от длительности засветки: 1 — облученная сторона, 2 — противоположная сторона.

механизмы дефектообразования для ИК-диапазона ( $0,95 \mu\text{m}$ ), очевидно, непосредственно не применимы. К тому же они не объясняют того факта, что на обратной стороне фольги изменения  $H$  больше, чем для облучаемой. Известен также фотомеханический эффект [9], заключающийся во влиянии (при измерении  $H$ ) на глубину отпечатка подсветки, проводимой непосредственно во время индентирования. Однако в нашем случае изменение  $H$  имеет место после засветки и сохраняется по крайней мере в течение месяца (хотя замечена частичная релаксация изменений на протяжении нескольких суток или недель). Чтобы подчеркнуть отличие от фотомеханического эффекта [9], уместно назвать обнаруженное нами явление эффектом фотомеханической памяти металлов.

По нашему мнению, в соответствии с соображениями, приведенными в начале статьи, природа эффекта в основном та же, что и в случае малодозного эффекта дальнодействия при ионном облучении: изменения

$H$  происходят вследствие генерации УВ и их воздействия на исходные протяженные дефекты типа дислокаций, границ зерен, и т.д. Подробнее о этом механизме см. [1–6]. В процессе генерации УВ при фотонном облучении большую роль может играть внутренний фотоэффект — выбивание электронов из металла в естественный окисел, а затем — развитие атомных процессов, похожих на описанные в [7]. Однако при этом не обязательно должно происходить образование точечных дефектов в окисле — для генерации УВ достаточно сообщить атомам окисла импульсы за счет кулоновских сил, связанных с перезарядкой.

Факт немонотонного изменения  $\Delta H/H$  со временем воздействия можно объяснить аналогично явлению немонотонной зависимости от дозы при ионном облучении. Тот факт, что для необлученной стороны  $\Delta H/H$  больше, чем для облученной, с позиций модели УВ объясняется конкуренцией процессов ослабления (диссипации) УВ и их усиления при вторичных процессах [10]. Разумеется, приведенные объяснения носят предварительный характер, так как эффект нуждается в более детальном исследовании. Заметим, что аналогичный описанному эффект был нами установлен не только для фольг пермаллоя, но и для фольг меди. Более того, предварительные опыты показали, что, как и в случае ионного облучения [5], наблюдается передача изменений  $H$  через границы раздела фольг при облучении стопок. Можно предположить, что эффект носит достаточно общий характер и присущ твердым телам с высокой степенью структурного несовершенства.

## Список литературы

- [1] Павлов П.В., Тетельбаум Д.И., Курильчик Е.В. и др. // Высоочастотные вещества. 1993. № 4. С. 26–31.
- [2] Тетельбаум Д.И., Курильчик Е.В. // Высоочистые вещества. 1995. № 2. С. 98–100.
- [3] Тетельбаум Д.И., Сорвина В.П., Курильчик Е.В. // Изв. РАН. Сер. физ. 1996. Т. 60. № 5. С. 210–212.
- [4] Тетельбаум Д.И., Курильчик Е.В., Сидорова А.И. и др. // Металлы. 1996. № 5. С. 114–116.
- [5] Tetelbaum D.I., Kurilchik E.V., Latisheva N.D. // Nucl. Instrum. and Meth. In Phys. Res. B. 1997. 127/128. P. 153–156.
- [6] Павлов П.В., Семин Ю.А., Скупов В.Д. и др. // ФТП. 1986. Т. 20. С. 503–507.

- [7] *Клингер М.И., Луцик Ч.Б., Машовец Т.В.* и др. // УФН. 1985. Т. 147. В. 3. С. 523–558.
- [8] *Козьма А.С., Малыгин С.В., Соболев О.В.* и др. // ФММ. 1991. № 7. С. 168–175.
- [9] *Новиков Н.Н.* // Укр. физ. журн. 1972. Т. 17. N 5. С. 724–733.
- [10] *Семенов Ю.А., Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И.* // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 3. С. 273–276.