

ОБ ЭФФЕКТЕ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ В МЕТАЛЛАХ ПРИ МАЛЫХ ДОЗАХ

Д.И. Тетельбаум, Е.В. Курильчик, Ю.А. Менделева, Т.П. Смирнова
*Научно-исследовательский физико-технический институт Нижегородского
 госуниверситета имени Н.И. Лобачевского, 603950, Нижний Новгород, просп. Гагарина, 23/3,
 e-mail: Tetelbaum@phys.unn.ru*

Приведены экспериментальные данные, демонстрирующие общность и различия закономерностей дальнего действия влияния ионного и светового облучений на механические свойства металлов. Сделан вывод о необходимости выработки общего подхода к этим явлениям.

Введение

В течение последних 10 лет нами проводятся интенсивные исследования так называемого "малодозного эффекта дальнего действия" (ФПМ) в металлах (см., например, [1]). Эффект проявляется в дальнедействующих изменениях свойств при ионном облучении, детектируемых в основном по изменению микротвердости на необлученной стороне фольги.

Закономерности этого эффекта оказались очень необычными с точки зрения "нормальных" представлений физики ионной имплантации. Действительно, прошлый опыт и теоретические работы приучили к тому, что любые изменения свойств материалов при ионном облучении зависят сразу от многих параметров, характеризующих исходный материал, бомбардирующий пучок и условия облучения: стоит изменить какой-то один параметр; - дозу, энергию ионов, плотность ионного тока и т.д., как результат облучения тоже изменится. Это относится не только к изменениям, фиксируемым в пределах пробега ионов, но и к дальнедействующим изменениям, наблюдающимся при больших дозах ("большедозный эффект дальнего действия"). В случае же МЭД мы наблюдаем удивительную инвариантность – нечувствительность ряда параметров, характеризующих изменения свойств, к параметрам, относящимся к указанным выше факторам. Так, существует универсальная пороговая величина энергии ионов, при которой наблюдаются изменения на необлученной стороне (~30 кэВ); дозовые зависимости относительного изменения микротвердости имеют характерный немонотонный вид, повторяющийся для разных ионов, энергий, плотностей тока, материалов. Примеры инвариантности можно продолжить.

Всё это заставило задуматься над тем, не сталкиваемся ли мы здесь с проявлением нового универсального феномена, присущего твёрдым телам (по-видимому, с высокой степенью структурного несовершенства, т.е. далёким от равновесия), через которые проходит поток энергии, когда результат воздействия в значительной степени не зависит от вида энергии (причем речь не идет о тривиальном тепловом действии энергетического потока). (В отличие от "специфических" форм воздействий, присущих конкретным видам облучения, нужно говорить о

неком неспецифическом воздействии, связанном с переносом энергии).

Одним из первых "сигналов" к такому выводу послужило то, что в случае электронного облучения дозовая зависимость изменения микротвердости фольг оказалась точно такой же, как и в случае ионного облучения. (Уже тот факт, что для ионного облучения с преобладанием электронного торможения дозовая зависимость идентична таковой для облучений, при которых преобладает упругое торможение, наводил на эту мысль).

Еще более показательным стал факт установления изменений микротвердости фольг под действием столь "мягкого" вида излучения, как свет – эффект фотомеханической памяти металлов (ФПМ) [2-4]. При этом закономерности ФПМ оказались во многом похожими на закономерности МЭД.

Основная часть

В настоящем сообщении для нескольких металлов подробно анализируются общие черты и различия указанных выше эффектов. В докладе приведены дополнительные аргументы в пользу не чисто термической природы явления. Изучено влияние естественного окисла в ФПМ. Делается вывод о невозможности объяснения МЭД и ФПМ деформационными статическими факторами типа термоупругости и необходимости привлечения динамических механизмов. Недостаток места не позволяет подробно описать все эти результаты, поэтому здесь мы ограничимся несколькими примерами.

Для дозовой зависимости изменений микротвердости фольг пермаллоя в МЭД характерно наличие двух максимумов, "разнесенных" по дозе примерно на порядок величины [1]. Исследование дозовой зависимости ФПМ показало [4], что если откладывать дозу в Дж/см², то наблюдаются тоже два максимума приблизительно в тех же местах, что и для МЭД (рис.1). Но это не единственное сходство. Для фольг сплава Cu₆₀Ni₄₀ ионное облучение приводит к уменьшению микротвердости с необлученной стороны. То же самое наблюдается и при облучении светом. При ионном облучении результат не зависит от плотности тока (при одной и той же дозе) в широком интервале плотностей (0,1-10 мкА/см²).

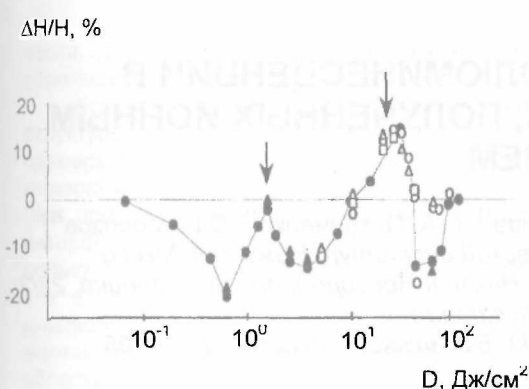


Рис.1. Зависимость относительного изменения микротвердости фольг пермаллоя-79 от дозы при облучении светом лампы накаливания (20 Вт) – темные символы и галогенной лампы (300 Вт) – светлые символы. Кружки, треугольники и квадратики обозначают результаты независимых опытов. Стрелками указаны дозы (в Дж/см²), соответствующие максимумам кривой $\Delta H/H$ для случая ионного облучения

В случае ФПМ для фольг пермаллоя оказалось, что дозовые кривые совпадают (в пределах погрешности) при изменении интенсивности потока в десятки раз (рис.1).

В случае ФПМ изменение микротвердости имеет место только при наличии естественного окисла (ЕО) с облучаемой стороны. По-видимому, именно в ЕО формируются деформационные волны (ДВ), стимулирующие перестройку дефектной системы металла [2-4]. Не ясно, играет ли роль ЕО и при ионном облучении (в этом случае ДВ непосредственно генерируются ионами).

При несомненном сходстве, между МЭД и ФПМ имеются и различия. В случае МЭД изменения H происходят с обеих сторон фольги, тогда как для ФПМ – преимущественно на необлученной стороне (еще один парадокс!). При ионном облучении произошедшие изменения сохраняются годами, тогда как при фотонном существенная релаксация происходит уже в течение нескольких часов, а через год изменения практически исчезают. По-видимому, разница связана с более сильными ДВ в случае МЭД, способными "перебросить" систему дефектов через относительно высокие потенциальные

барьеры в более стабильные состояния. Несмотря на эти различия, отмеченные черты сходства для двух видов облучения нельзя считать случайными. На наш взгляд, они подтверждают высказанную выше мысль о необходимости выработки единого подхода к дальнедействующим явлениям при облучении (относительно слабыми энергетическими потоками) твердых тел, в особенности находящихся в далёких от равновесия состояниях. Не исключено, что в дальнейшем эта идея может быть экстраполирована и на воздействия энергетических потоков небольшой мощности на жидкости, полимеры и другие объекты, в том числе биологические. (Интересно, что, например, в низкоэнергетической лазерной терапии наиболее эффективны те же дозы, о которых идет речь в данном сообщении [5]).

Заключение

На основе анализа экспериментальных результатов сделан вывод о необходимости при изучении взаимодействия различных потоков энергии, в т.ч. ионов, с веществом (особенно находящимся в неравновесном состоянии), наряду со специфическими видами взаимодействия, принимать во внимание неспецифические явления, зависящие лишь от вида вещества, его состояния и экспозиционной дозы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 02-02-16670).

Список литературы

1. Tetelbaum D.I., Kuril'chik E.V., Latisheva N.D. // Nucl. Instr. Meth. - 1997. - V.127-128. - P.153.
2. Tetelbaum D.I., Azov A.Yu., Kuril'chik E.V., Bayankin V.Ya., Gilmudtinov F.Z. and Mendeleva Yu.A. // Vacuum. - 2003. - V.70. - P.169.
3. Тетельбаум Д.И., Азов А.Ю., Голяков П.И. // ПЖТФ. - 2003. - Т.29. - В.2. - С.35.
4. Тетельбаум Д.И., Курильчик Е.В., Азов А.Ю., Менделева Ю.А., Таболкин М.В. // Поверхность. - 2003. - Т.4. - С.67.
5. Илларионов В.Е. - Основы лазерной терапии. М.: Изд. "Респект", 1992. - 123 с.

ABOUT LONG-RANGE EFFECT IN METALS AT SMALL DOSES

D.I. Tetelbaum, E.V. Kuril'chik, Yu.A. Mendeleva, T.P. Smirnova

Physico-Technical Research Institute of University of Nizhny Novgorod, 23/3 Gagarin prospect, 603950, Nizhny Novgorod, e-mail: Tetelbaum@phys.unn.ru

Experimental data showing the similarities and differences in regularities of long-range influence of ion and light irradiation on the mechanical properties of metals are presented. The conclusion about the requirement of elaboration of approach to these phenomenons is done.