

РАДИАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ОЦК- И ГЦК- МЕТАЛЛОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ТЯЖЕЛЫМИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ

М.В.Гольцев¹⁾, А.Хофман²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Ф. Скорины 4, 220080 Минск, Беларусь.
Тел. +375 17 2208893. E-mail: Victor@phys.bsu.unibel.by

²⁾Объединенный институт ядерных исследований, 141980, Дубна, Московская обл.,
Тел. 09621 64741

Исследовалось радиационное повреждение группы металлов Al, Zr, Cu, Ni, Fe после их облучения тяжелыми ионами Ne²², Ar⁴⁰, Kr⁸⁴ и Xe¹²⁹ с энергиями более 1 МэВ/а.е.м. Расчет характеристик облучения-сечения образования дефектов по глубине, их концентрация, длины проективных пробегов велся с использованием ЭВМ. Изучено радиационное упрочнение, зависящее от флюенса облучения и стремящееся к насыщению. Уровень насыщения эффектов связан с массой ионов.

I. Введение

В настоящее время радиационные эффекты при воздействии тяжелых высокоэнергетических ионов весьма интенсивно изучаются. Это связано, во-первых, с модификацией структуры и свойств материалов для нужд новой техники, во-вторых, для корреляции радиационного повреждения при облучении частицами различного сорта и прогнозирования их поведения в разнообразных условиях и, наконец, с целью развития новых математических моделей радиационного повреждения твердых тел и оценок степени изменения их основных физико-механических характеристик.

Заметим, что при высокоэнергетическом ионном облучении проявились новые ядерно-физические эффекты, требующие учета. В частности, в ОИЯИ г.Дубна указано на необходимость термостабилизации образцов при облучении [1], в ФТИ г.Харьков, предложен учет ядерных реакций и вносимый продуктами ядерных реакций вклад на изменение структурных повреждений и др. [2], в наших работах указывается на связь радиационно-стимулированных облучением процессов и стабильность структурно-фазового состояния [3]. Следует принять, что характер радиационного упрочнения металлов играет преобладающую роль при их использовании в образцах новой техники.

II. Методика эксперимента

Изменение состава, структуры и свойств твердого тела при облучении является результатом взаимосвязанных процессов. Для воспроизводства того или иного радиационного повреждения необходимо создать определенную степень подобию основных процессов.

В качестве объектов исследования были выбраны чистые металлы и сплавы (табл.1), радиационное упрочнение и охрупчивание которых в конечном счете определяют характер радиационного повреждения.

Облучение проводили с использованием ускорительного комплекса ОИЯИ, включающих ускорители ИЦ-100, У-200, У-400 и У400М [4] (табл.).

3-я международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом» 6-8 октября 1999 г. Минск, Беларусь
3-d International Conference «Interaction of Radiation with Solids» October 6-8 1999 Minsk Belarus

Таблица 1

Характеристики облучения			
Материал	Тип иона	Энергия, МэВ	Флюенс, 1/см ²
Al	Xe ¹²⁹	124	10 ¹³ – 10 ¹⁵
Zr	Ne ²⁰	230	10 ¹⁴ – 10 ¹⁵
	Ar ⁴⁰	460	10 ¹⁴ – 10 ¹⁵
Cu	Xe ¹²⁹	124	10 ¹⁵ – 10 ¹⁶
Ni	Ne ²⁰	26,9	10 ¹⁴ – 10 ¹⁵
		170	10 ¹⁴ – 10 ¹⁵
	Ar ⁴⁰	230	10 ¹³ – 10 ¹⁶
		46,3	10 ¹² – 10 ¹⁵
Xe ¹²⁹	124	10 ¹² – 10 ¹⁵	
Fe	Kr ⁸⁴	246	10 ¹³ – 10 ¹⁴

Величины пробегов R_p, сечение образования дефектов σ_d, концентрацию дефектов κ_v и т.п. получены с использованием компьютерной программы TRIM-90 [5].

Проективный пробег ионов Xe¹²⁹ с энергией 124 МэВ соответственно равен R_{Al} = 12 мкм, R_{Ni} = 5,5 мкм, R_{Cu} = 6 мкм. Различные вариации сорта иона и их энергии так изменяли длину пробега в Fe: для Ne²² (143 МэВ), Ar⁴⁰ (266 МэВ), Kr⁸⁴ (246 МэВ) и Kr⁸⁴ (210 МэВ) - пробег был равен - 38,9; 29,2; 13,4 и 11,1 мкм.

Для исследования радиационного упрочнения (разупрочнения) нами применялся метод микротвердости с использованием приборов ПМТ-3 и "Neophot-2". В дальнейшем этот метод использовался для оценок механических свойств в локальных зонах облучения [6].

III. Экспериментальные результаты

Эффект радиационного упрочнения изучали при глубинах проникновения индентора в материал соизмеримых с величиной проективного пробега.

На рис. приведены зависимости изменения микротвердости от флюенса ионов Хе и Кг с энергией 124 и 246 МэВ. Для выполнения указанного выше условия, на образцах Fe облученных ионами с энергией 246 МэВ производилось послойное удаление металла, ~ 8 мкм.

Полученные зависимости хорошо описываются выражением в виде:



$$\Delta H = \Delta H_0 [1 - \exp(-\alpha\Phi)]^n,$$

где ΔH_0 – предельная величина, к которой стремится прирост микротвердости. ΔH при флюенсах $\Phi > 1/\alpha$, показатель n равен для Ni и Cu $\sim 1/2$, а для Al и Fe ~ 1 [1].

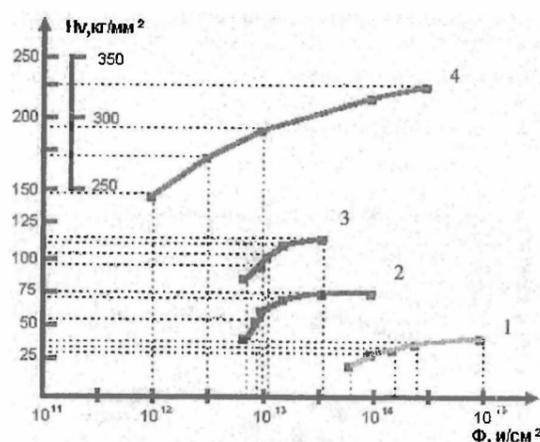


Рис. Зависимость микротвердости Al (1), Cu (2), Ni (3), облученных ионами Xe^{129} с энергией 124 МэВ и Fe(4) – ионами Kr^{84} с энергией 246 МэВ

IV. Заключение

Пучки тяжелых ионов с энергией от 1 до 10 МэВ/а.е.м. позволяют иметь высокую дефектообразующую способность, проективный пробег таких ионов составляет 5-100 мкм, что позволяет считать такие объекты макроскопическими и использовать их в образцах новой техники.

Список литературы

1. Хофман А. Рад. термич. эфф. изм. физ.-мех. свойств реакторн. материалов при облучен. заряж. частицами высоких энергий, Автореф. диссерт. 14-99-116. – М., 1999.
2. Зеленский В.Ф., Неклюдов И.М., Черняева Т.П. Радиационные дефекты и распухание металлов. – Киев.: Наук.думка, 1988. – 296 с.
3. Болтушкин В.И., Гольцев В.П., Гольцев М.В. // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии: Тез. доклад. 3 межд. конф. – Гродно, 1998 – с.73.
4. Флеров Г.Н. и др. // Циклотрон. комплекс тяжелых ионов ЛЯР. Препринт ОИЯИ 9-84-556. – Дубна, 1988.
5. Ziegler J.F., Handbook of stopping Cross-Sections for Energetic Ions in all Elements, New York, Pergamon Press, 1980, p.430.
6. Хофман А. // Применение метода испытаний на микротвердость для определения радиац. упрочнения стали: Сообщение ОИЯИ, Р.14-95-477. – Дубна, 1995.

RADIATING HARDENING BCC- AND FCC- METALLS WITH AN IRRADIATION BY HEAVY HIGH-ENERGY IONS

M.V.Goltsev¹⁾, A.Hofman²⁾

¹⁾ Belarussian State University, pr. F. Scoriny 4, 220080 Minsk, Belarus.
Tel. +375 17 2208893. E-mail: Victor@phys.bsu.unibel.by

²⁾ The incorporated institute of nuclear researches, 141980, Dubna, Moscow province, Tel./Fax 0962164741

The radiating damage of group of metals Al, Zr, u, Ni and Fe, after their irradiation by heavy ions Ne22, Ar40, Kr84 and Xe129 with energy more than 1 MeV/a.e.m. was investigated. Account of the characteristics of an irradiation sections of formation (training) of defects on depth, their concentration, length proection of run was conducted with use of the COMPUTER. The radiating hardening is investigated which has appeared dependent from fluency of an irradiation and aspiring to saturation. The level of saturation of effects of hardening is connected to weight of ions.

