

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР НАН БЕЛАРУСИ ПО
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ
БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ФТТ-2011

*АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА*

V Международная научная конференция
18-21 октября 2011 г., Минск

РАДИАЦИОННОЕ И РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ТУГОПЛАВКИХ
МЕТАЛЛОВ V, Nb и Mo, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

М.В. Гольцев¹⁾, В. П. Гольцев²⁾

¹⁾Белорусский государственный медицинский университет, Беларусь, 220116, г. Минск,
пр. Дзержинского, 83, тел. (017)2719629, e-mail: mgoltsev@mail.ru

²⁾Белорусский государственный университет, Беларусь, 220050, г. Минск,
пр. Независимости, 4, тел. (017)2095134

Актуальным направлением современной физики твердого тела является использование концентрированных потоков энергии с целью модификации свойств поверхности металлов и сплавов [1, 2].

Использование высокоэнергетических ионов, как показали исследования последних лет, позволяют получить модифицированные слои толщиной десятки и более микрометров, однако физика протекающих в них процессов еще изучена недостаточно. Отметим, что важное значение имеет установление механизмов радиационно-стимулированных структурно-фазовых превращений и их связь с целенаправленным изменением механических, коррозионных, трибологических и других поверхностных свойств [3].

Принято считать, что изменение физико-механических свойств металлов в результате облучения ионами зависит от кристаллической структуры, ее дефектности, от энергии и сорта бомбардирующих частиц, флюенса и температуры. В работе изучались ванадий, ниобий и молибден, отнесенные к металлам VA и VIA групп и являющиеся перспективными материалами новой техники [4].

Образцы ванадия толщиной 500 мкм исследовались в различных состояниях: деформированном, рекристаллизованном при 1400 К и облученном ионами ^{129}Xe с энергией 124 МэВ дозой 10^{13} ион/см²; образцы ниобия и молибдена – в виде фольг отожженных при температуре полной рекристаллизации (1575 К) и облученные ионами аргона ^{40}Ar с энергией 60 КэВ дозами $1 \cdot 10^{14} \dots 1 \cdot 10^{16}$ ион/см². Образцы имели чистоту 99,92...99,99 %. Облучение проводили с использованием ускорительного комплекса, включающих ускорители У-300 и У-0400 ФЛЯР-ОИЯИ г. Дубна, плотность ионных пучков Φ которых составляла $2 \cdot 10^{11} \dots 2 \cdot 10^{12}$ ион/см² с, скорость генерации дефектов $G - 10^7$ с.н.а/с, температура облучения поддерживалась на уровне 310 К. Проективные пробеги R_p для образцов Nb и Mo составляли ≤ 1 мкм, для V – 8,6 мкм. Дозу повреждения ($1,0 \cdot 10^{-2} \dots 6 \cdot 10^{-3}$ с.н.а), концентрацию дефектов

K_w и другие характеристики радиационного повреждения оценивали с использованием компьютерной программы TRIM-90.

Изучение фазового состава и структуры облученных образцов проводили методами рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра ДРОН-3 и растровой электронной микроскопии (РЭМ) с помощью микроскопа LEO-1455VP.

Упрочнение образцов при имплантации оценивали по изменению микротвердости с помощью микротвердомера ПМТ-3 с индентером Виккерса при нагрузках 0,1...2,0 Н.

Облучение образцов V, Nb и Mo ионами высоких энергий при температуре 310 К приводит к повреждению структуры, что проявляется в смещении дифракционных пиков (110), (200) и (211) с одновременным изменением формы линий (рис.1). Видно, что у деформированных образцов линии уширены. Рекристаллизация приводит к сокращению ширины рентгеновских линий, что связано с уменьшением плотности дислокаций, образовавшихся из скоплений точечных дефектов радиационного происхождения. Исследование тонкой структуры облученных ванадия, ниобия и молибдена в рамках гармонического анализа уширение рентгеновских линий указывает на определенную связь ее параметров с изменением микротвердости от дозы облучения (рис.2).

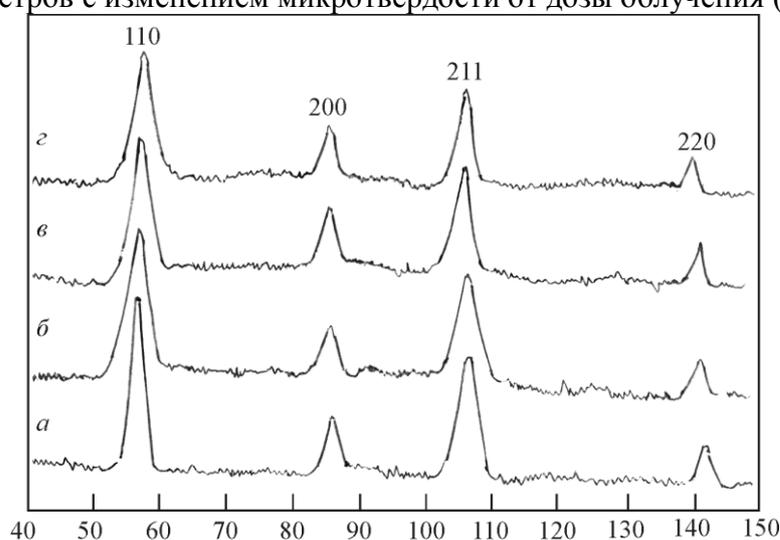


Рис.1. Профили рентгеновских линий ванадия: а – рекристаллизованного и облученного ионами ^{129}Xe , б – деформированного и облученного ионами ^{129}Xe дозой $1 \cdot 10^{13}$ ион/см 2 , в – отожженного при 1373К, г – деформированного

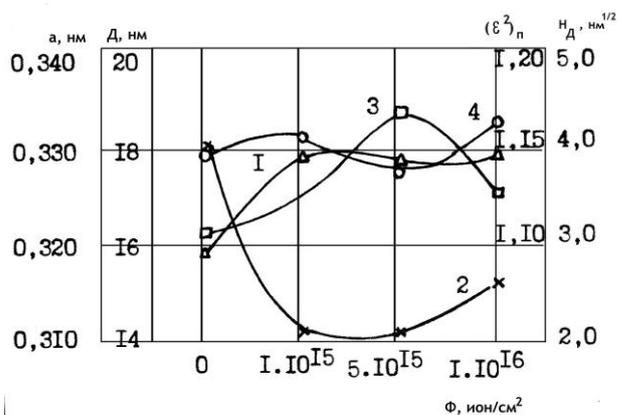


Рис.2. Влияние дозы облучения ионами Ag на параметр решетки a (1), размер областей когерентного рассеяния D (2), микронапряжений $\sqrt{\varepsilon^2}$ (3) и микротвердости H_d (4) образцов ниобия

Хорошо известно, что микротвердость обобщенно определяет механические свойства металла в условиях напряженного состояния и изменение микротвердости ΔH характеризует собой упрочнение вещества:

$$\Delta H = k \Delta \sigma_{нТ}$$

Обработка результатов измерения микротвердости облученных образцов хорошо описывается зависимостью вида:

$\Delta H = \Delta H_0 [1 - \exp(-\alpha \Phi)]^n$, где ΔH_0 – предельная величина, к которой стремится прирост микротвердости ΔH при флюенсах $\Phi > 1/\alpha$; n – показатель, равный 1/2, α – коэффициент, равный для V – $5 \cdot 10^{-10}$, Nb – $6 \cdot 10^{-11}$, Mo – $5 \cdot 10^{-11}$.

В последние годы внимание специалистов вновь привлекло явление радиационно-термического упрочнения, которому подвержены тугоплавкие ОЦК-металлы при повышенных температурах.

Изменение микротвердости облученных образцов ванадия, молибдена и ниобия при пострadiационном отжиге качественно согласуются для разных типов облучения (рис.3). При этом легко можно заметить наличие эффектов радиационно-термического упрочнения, максимальное значение которого находится в области температур 500...550К. С увеличением температуры отжига наблюдается восстановление прочностных свойств со снижением микротвердости интенсивно протекающих при температурах 600...900 К, что можно отнести к процессам термического возврата.

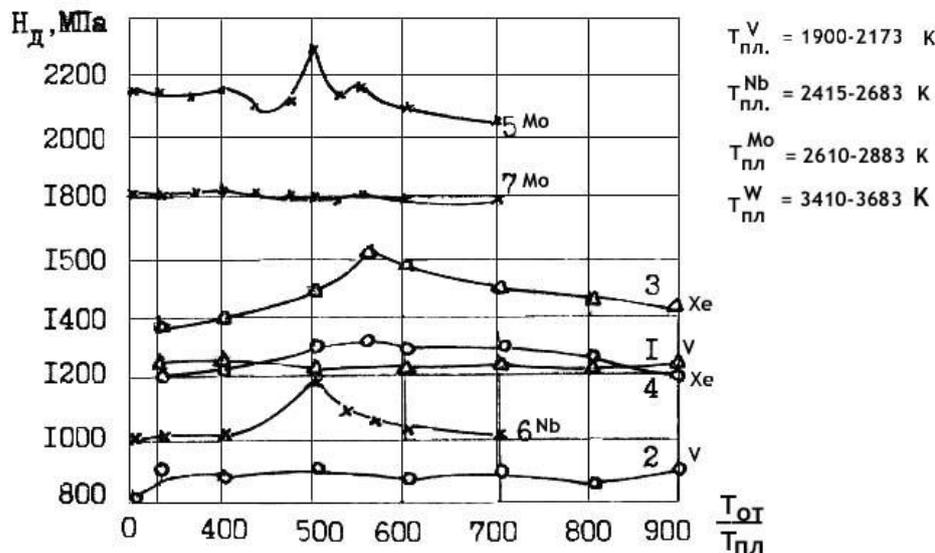


Рис.3. Зависимость микротвердости ванадия, отожженного при 1173 и 1273 К (1, 2) и облученного ^{129}Xe от температуры пострadiационного отжига (3, 4), молибдена (5), и ниобия (6), облученного дозой $2 \cdot 10^{19}$ ион /см² и необлученного молибдена (7), после отжига

Обнаруженные пики упрочнения в районе 450...550 К соответствуют температурам, при которых происходят процессы структурных превращений в результате миграции присутствующих в металлах атомов кислорода, углерода и азота с образованием фаз

внедрения и взаимодействия дислокаций с точечными дефектами или их скоплениями, что подтверждает примесной механизм радиационно-термического упрочнения [5].

Обобщение результатов по данной теме позволило прийти к выводу о наличии тесной связи между концентрацией вакансионных кластеров, их размером и микротвердостью тугоплавких металлов в зависимости от дозы и температуры облучения, что указывает на возможную реализацию модели «барьерного» упрочнения.

Литература

- [1] Ф.Ф. Комаров. Ионная имплантация в металлы. Metallurgia, М. (1990). 216 с.
- [2] В.М. Анищик, В.П. Гольцев, М.В. Драко и др. Модификация структуры и свойств металлов и сплавов ионными и плазменными пучками. В сб.: Избранные научные труды БГУ. Вып. IV. Физика. / Под ред. В.М. Анищика. БГУ, Мн., (2001). С. 396.
- [3] М.В. Гольцев, А.Хофман. Модификация структуры и свойств твердых тел пучками тяжелых ионов высоких энергий. БГМУ, Мн. (2006). 234 с.
- [4] Б.А. Кагин, Д.М. Скоров, В. Л. Якушин. Проблемы выбора материалов для термоядерных реакторов. Энергоатомиздат, М.(1985). С.184.
- [5] Ш.Ш. Ибрагимов. В сб.: Радиационные эффекты в металлах. Труды II Всесоюзн. Совец./ Под ред. Ш.Ш. Ибрагимова. Наука, Алма-Ата. (1981). С.189.