

РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ВАНАДИЯ И ЕГО СПЛАВОВ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ КСЕНОНА ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

М.В.Гольцев¹⁾, А.Хофман²⁾, В.П.Гольцев¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, Беларусь, 220050, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 4, тел. + 375172208893, e-mail: Victor@phys.bsu.unibel.by

²⁾Объединенный институт ядерных исследований, Россия 141980, г. Дубна, Московская область, тел. + 7962164741

Исследовано изменение микротвердости в имплантированных ионами ксенона с энергией 124 МэВ флюенсом $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ ванадия и его сплавах с Ti, Al, Nb, Fe и Mo. Упрочнение материала связывается с эффектами легирования и радиационно-термическим твердением.

Введение

Большой интерес для специалистов, работающих по проблеме материалов для новой техники, имеют работы по радиационной физике твердого тела, включающие вопросы теории и практики создания радиационностойких материалов и изучения радиационных эффектов в поле ионизирующих излучений.

Одним из перспективных материалов в этом плане является ванадий, который с одной стороны может служить базовым для создания новых радиационностойких сплавов, а с другой – хорошим модельным материалом при исследовании радиационного повреждения.

Важнейшей характеристикой радиационной стойкости материалов является скорость протекания в них кристаллохимических процессов за счет ввода радиационных дефектов (точечных дефектов, кластеров, дислокационных петель и пор) [1]. Считается, что в области низких температур (упрочнение, охрупчивание) и высоких температур (распухание, распад сплавов, диффузионная ползучесть) под действием радиации возникают явления, которые могут вызвать изменения физико-химических свойств.

Для устранения повреждений нужно вводить различные стоки для радиационных дефектов. К числу таких приемов следует отнести оптимальное легирование, пластическую деформацию, термообработку.

I. Методика эксперимента

Ванадий, как известно, является весьма не простым элементом, в связи с чем, при легировании, деформации, облучении и термическом воздействии в нем протекают сложные процессы взаимодействия радиационных дефектов с примесными атомами, распадом растворов и выделением вторых фаз в результате старения. Радиационное и радиационно-термическое упрочнение изучали на чистом (99,95%) ванадии и его сплавах с Ti, Al, Nb, Fe и Mo. Сплавы после гомогенизации прокатывались до толщины 500 мкм со степенью обжатия 70 %, часть из которых подвергалась рекристаллизации при температуре 1375K в течение 1 часа. Облучение образцов проводилось на ускорителе тяжелых ионов У-300 ОИЯИ при температурах порядка комнатной ионами ксенона – 129 с энергией 124МэВ флюен-

сом $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, что соответствовало дозе повреждения $D_{\text{хе}} = 1,2 \cdot 10^{-2}$ с.н.а. при скорости генерации дефектов $\sim 10^{-7}$ сна/с.э

Микротвердость определяли по методу Виккерса при нагрузках от 0,1 до 1,00Н, что обеспечивало глубину индентирования в пределах $(0,3 \dots 0,5)R_p$, и согласно выполненным оценкам с помощью программы TRIM, составляла 8,6мкм.

Структурно фазовый анализ проводился с использованием дифрактометра ДРОН-3. Образцы на различных стадиях изучения радиационно-термического старения подвергались постимплантационному отжигу от 450 до 925K.

II. Экспериментальные результаты

Значение микротвердости H_d для глубин индентирования $\sim 3,0 \text{ мкм}$ ванадия и его сплавов в деформированном и рекристаллизованном состоянии сведены в табл.1.

Таблица 1

Состав, ат. %	Структ. состоян.	Микротвердость, ГПа	
		Исходн.	Облуч.
V	деформ.	1,2	1,4
	рекрист.	0,9	1,2
V+1,0 Ti	деформ.	2,7	3,2
	рекрист.	1,	1,8
V+2,0 Al	деформ.	2,8	3,1
	рекрист.	1,5	1,8
V+5,0 Al	деформ.	1,9	2,8
	рекрист.	1,8	2,3
V+2,0Nb	деформ.	2,6	2,9
	рекрист.	1,9	2,2
V+2,0Fe	деформ.	2,5	2,7
	рекрист.	1,6	1,9
V+2,0Mo	деформ.	2,1	2,6
	рекрист.	1,8	2,3

Из приведенных результатов следует, что облучение ванадия ионами ксенона приводит к заметному упрочнению. Легко заметить, что легирование ванадия также сопровождается повышением микротвердости. Наибольшая степень упрочнения отмечается у деформированных образцов.

С учетом сказанного, самостоятельный интерес представляет степень радиационного упрочнения в зависимости от состава и исходного состояния сплавов ванадия, в том числе и при пострадиационном отжиге.

Определение микротвердости ванадия и его сплавов после отжига при 675, 725 и 925K в течение 1 часа позволило выявить новый пик радиационно-термического упрочнения, максимальное значение которого приходится на температуру 675K. При более высоких температурах отжига наблюдается восстановление прочностных свойств.

В табл. 2 приведены значения микротвердости ванадия и его сплавов в исходном состоянии H_0 , после облучения ионами ксенона – $H_{обл}$, соответствующее максимуму радиационно-термическому упрочнению в результате пострadiaционного отжига – $H_{рт}$, и микротвердость $H_{тр}$, обусловленную упрочнением при образовании твердого раствора в результате легирования без эффектов старения. Последняя легко может быть определена из концентрационных зависимостей микротвердости для серии отожженных легированных сплавов.

Таблица 2
Микротвердость ванадия и его сплавов и их структура

Состав, ат. %	Микротвердость, ГПа			
	H_0	$H_{обл}$	$H_{рт}$	$H_{тр}$
V	0,93	1,19	1,29	0,80
V+2,0 Al	1,50	1,78	2,03	0,95
V+5,0 Al	1,87	2,30	2,60	1,20
V+1,0 Ti	1,30	1,89	2,63	0,89
V+2,0Nb	2,02	2,34	2,54	1,50
V+2,0Fe	1,61	1,81	2,02	1,30

Заключение

Эффект старения сплавов в необлученном состоянии, согласно термодинамическим оценкам, оказываются большим для сплавов с более химически активными элементами по отношению к примесям, чем ванадий. При легировании химически менее активными, чем ванадий, элементами, старение усиливается вследствие уменьшения растворимости примесей внедрения. Количественно вклад старения характеризуется величиной ($H_0 - H_{тр}$).

Список литературы

1. Иванов Л.И. // Исследование и разработка материалов для РТС. – М.: Наука, 1981. – С.165-169.
2. Дедюрин И.И., Гомозов Л.И., Вотинов С.Н. // Физ. и хим. Материалов, №5. – 1983. – С. 22-23.

THERMO – RADIATION STRENGTHEN OF VANADIUM AND ITS ALLOYS DURING HIGH ENERGY IMPLANTATION OF Xe IONS

M.V.Goltsev¹⁾, A.Hofman²⁾, V.P.Goltsev¹⁾,

¹⁾Belarusian State University, F. Scorina Av. 4, Minsk 220050, Belarus

Tel. +375 17 2208893, e-mail: e-mail: Victor@phys.bsu.unibel.by

²⁾United Institute of Nuclear Researches, 141980, Dubna, Moscow reg., Russia

Tel. +7962164741

The change of microhardness in vanadium and its alloys with Ti, Al, Nb, Fe and Mo implanted by Xe ions with energy 124MeV and exposure dose $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ has been investigated. The strengthen of the material is connected with doping effects and thermo-radiation hardening.