

ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В СПЛАВЕ Ni-Ti ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНОВ КРИПТОНА И СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

В.П. Полтавцева¹⁾, Н.Н. Коваль²⁾, С.Б. Кислицин¹⁾, В.И. Антонюк¹⁾

¹⁾Институт ядерной физики, Республика Казахстан, Алматы, 050032, ул. Ибрагимова 1, +7(727) 386-68-39, e-mail: poltavtseva@inp.kz; skislitsin@inp.kz; antonyuk@inp.kz

²⁾Институт сильноточной электроники, Россия, Томск, 634055, проспект Академический 2/3, +7(3822) 49-17-06, koval@hcei.tsc.ru

Выявлена последовательность образования новых фаз под воздействием сильноточного электронного пучка в сплаве Ni-Ti до и после имплантации тяжелых ионов криптона с энергией 280 кэВ и 1,75 МэВ/а.е.м. до флюенсов 5×10^{20} и 1×10^{20} м² соответственно. Обнаружено расщепление отражения (110) и одновременное появление триплета отражения (211), что свидетельствует о перераспределении атомов под воздействием сильноточного электронного пучка и формировании частиц R-фазы в сплаве Ni-Ti, предварительно имплантированном ионами криптона высокой энергии. Установлено также, что для имплантированных ионами криптона обеих энергий сплава Ni-Ti характерно образование отражений, возможно, наиболее близких по своему положению к тем, которые соответствуют структуре интерметаллида TiNi₃.

Введение

Важной особенностью различных материалов при имплантации тяжелых ионов является проявление радиационно-стимулированных эффектов, таких как образование новых фаз, фазовых переходов, создание наноструктур и т.д. далеко в запробужной области, т.е. в их объеме. Для двухфазного сплава Ni-Ti характерно протекание в результате имплантации ионов криптона, радиационно-стимулированного фазового перехода B19→B2 при любых энергиях ионов и в широком интервале флюенсов имплантации, вследствие чего наблюдается сдвиг температур мартенситного перехода в область более низких температур [1-3]. На наш взгляд, последовательное воздействие тяжелых ионов инертных газов и сильноточных электронных пучков позволит значительно повысить температуры мартенситных превращений либо изменить их характер, что имеет большое практическое значение [4].

В докладе представлены экспериментальные результаты по влиянию обработки сильноточным электронным пучком на фазовый состав сплава Ni-Ti, предварительно имплантированного ионами криптона.

Материал и методы исследования

Исследовали образцы размером 20000×3300×600 мкм³ полупромышленного сплава Ni-Ti. По данным микрорентгеноспектрального анализа состав данного сплава Ni - 53,46вес.%, Ti - 46,54вес.%. Перед имплантацией и обработкой сильноточным электронным пучком поверхность образцов готовили с помощью механической шлифовки и полировки по стандартной технологии.

Имплантацию ионов ⁸⁴Kr⁺¹⁴ с энергией 280 кэВ и 1,75 МэВ/а.е.м. до флюенсов 5×10^{20} и 1×10^{20} м² соответственно осуществляли на ускорителе ДЦ-60 Евразийского университета (г. Астана). Площадь повреждения $\sim 1 \times 10^{-4}$ м². Температура

образца в процессе имплантации не превышала 370 К.

Обработка сильноточным электронным пучком (СЭП) производилась в Институте сильноточной электроники СО РАН (Томск, Россия) на установке «Соло» [5,6]. Плотность энергии, передаваемой мишени, составляла ~ 7 Дж/см², длительность воздействия – 50 мкс, ток – 45 А, напряжение – 15 кВ, количество и частота следования импульсов облучения - N = 3 импульса и f = 0,3 Гц.

Рентгенофазовый анализ в геометрии Θ - Θ (глубина анализа 8 мкм) проводили на дифрактометре D8 ADVANCE с использованием излучения рентгеновской трубки с Cu-анодом и графитового монохроматора дифрагированного пучка. Отношение содержания мартенсита к аустениту оценивали на основе отношения интенсивностей рентгеновских линий, расположенных при $2\Theta = 41,23^\circ$ и $2\Theta = 42,25^\circ$.

Результаты исследования

На приведенной на рис. 1, а дифрактограмме исходного образца сплава Ni-Ti видны рентгеновские линии отражения, принадлежащие аустенитной фазе с ОЦК – кристаллической решеткой (B2 структура) и мартенситной фазе с моноклинной кристаллической решеткой (B19 структура), а также следы фазы Ti с гексагональной кристаллической решеткой. Отношение интенсивностей рентгеновских линий мартенсита к аустениту составляет 0,42.

В результате воздействия сильноточного электронного пучка, во-первых, как в исходном образце (рис. 1, б), так и предварительно имплантированных ионами криптона образцах обогащенного никелем сплава Ni-Ti (рис. 1, в и г) происходит приближение к стехиометрии с выделением никеля в виде твердого раствора с гексагональной кристаллической структурой. При этом степень приближения к стехиометрии и содержание никеля возрастают по сравнению с необработанным образцом и становятся

максимальными для образца, имплантированного ионами криптона низкой энергии.

Во-вторых, обнаружено расщепление рентгеновской линии отражения (110) и одновременное появление триплета линии (211) фазы В2 для образца, предварительно имплантированного ионами криптона высокой энергии (рис. 1, г и 2, г). Известно [4,7,8], что эффекты расщепления и появления триплета указанных линий отражения являются рентгеновскими признаками протекания фазового превращения $B2 \rightarrow R$.

Далее отметим, что уменьшение значения межплоскостного расстояния d (увеличение 2θ) рентгеновской линии отражения фазы В2 (рис. 2) по сравнению с необработанным образцом дополнительно подтверждает выше сделанный вывод о приближении к стехиометрии при воздействии сильноточного электронного пучка исходного и предварительно имплантированных ионами криптона образцов сплава Ni-Ti.

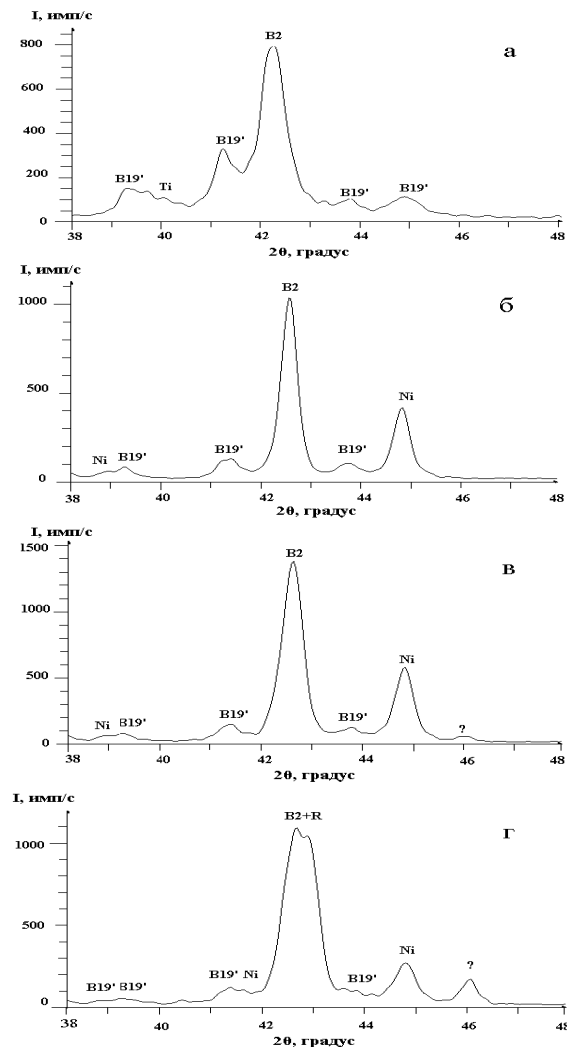


Рис. 1. Дифрактограммы сплава Ni-Ti до (а) и после воздействия СЭП исходного образца (б) и предварительно имплантированных ионами ^{84}Kr с энергией 280 кэВ (в) и 1,75 MeV/a.e.m. (г)

Ранее эффект расщепления отражения (110) фазы В2 наблюдали после 6 часового отжига при 250°C сплава Ti + 51 ат.% Ni после закалки от 600 и 800°C [7]. С помощью наиболее чувствительного по сравнению с рентгенофазовым анализом метода малоуглового рассеяния нейтронов авторами данной работы выявлено наличие наноразмерных зон с различным обогащением атомами Ni и Ti и отличными от их концентрации в матрице.

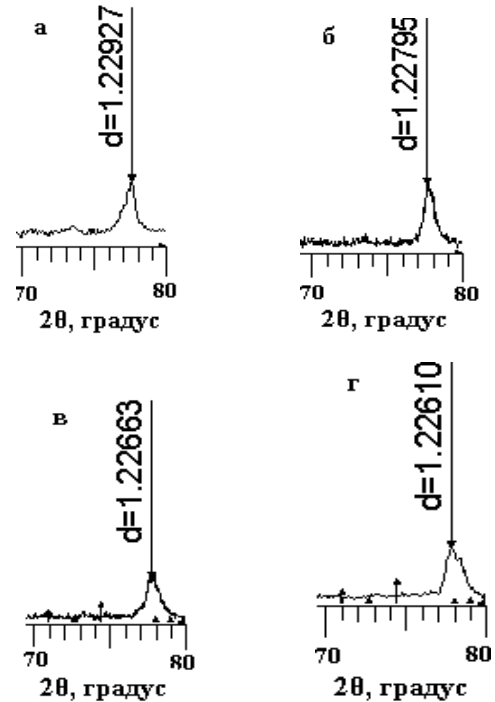


Рис. 2. Рентгеновская линия отражения (211) сплава Ni-Ti до (а) и после обработки СЭП исходного образца (б) и предварительно имплантированных ионами ^{84}Kr с энергией 280 кэВ (в) и 1,75 MeV/a.e.m. (г)

Из полученных результатов следует, что в результате предварительной имплантации тяжелых ионов криптона высокой энергии в сплав Ni-Ti происходят структурные изменения, облегчающие протекание под воздействием сильноточного электронного пучка процессов перераспределения атомов и дальнейшему развитию и формированию частиц R-фазы.

В-третьих, отметим, что в предварительно имплантированных ионами криптона образцах сплава Ni-Ti наблюдается рентгеновская линия отражения новой фазы, количество которой увеличивается с увеличением энергии ионов (рис.1, в и г). Идентифицировать точно эту фазу ни по угловому положению линий отражения, ни по межплоскостному расстоянию не удалось.

Обнаруженные отражения, возможно, наиболее близки по своему положению к тем, которые соответствуют структуре интерметаллида TiNi_3 [4,7,9]. Однако более неравновесное состояние фазы В2 вследствие предварительной имплантации тяжелых ионов криптона и более пересыщенный никелем исследуемый нами сплав, а также различия в

термообработке – отжиг при 800⁰С и последующее охлаждение с печью [7] и обработка сильноточным электронным пучком оказывают влияние на формирование фазы TiNi₃.

Заключение

В результате проведенного рентгенофазового анализа неимплантированного и имплантированного ионами криптона с энергией 280 кэВ и 1,75 МэВ/а.е.м. полупромышленного сплава Ni-Ti и дополнительно обработанных сильноточным электронным пучком установлено, что:

а) независимо от состояния сплава до обработки сильноточным электронным пучком происходит приближение к стехиометрии с выделением Ni в виде твердого раствора с гексагональной кристаллической структурой;

б) наблюдается расщепление отражения (110) и одновременное появление триплета отражения (211) фазы В2 для предварительно имплантированного ионами криптона высокой энергии сплава Ni-Ti, что свидетельствует о перераспределении атомов под воздействием сильноточного электронного пучка и формировании частиц R-фазы;

в) для имплантированных ионами криптона обеих энергий сплава Ni-Ti характерно образование отражений, возможно, наиболее

близких по своему положению к тем, которые соответствуют структуре интерметаллида TiNi₃.

Список литературы

1. Полтавцева В.П., Антонюк В.И., Куреев В.В. // Фундаментальное и прикладное материаловедение: Труды VIII Международной научной школы-конференции. – Барнаул, 2011. – С.65.
2. Кислицин С.Б., Полтавцева В.П., Антонюк В.И. // Взаимод. Излучений с твердым телом: Материалы VIII Международной конференции. – Мн., 2009. – С. 92.
3. Poltavtseva V.P. // Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows: Proceedings X International conference. Tomsk, 2010. – P. 441.
4. Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н., Ясенчук Ю.Ф. и др. Никелид титана. Медицинский материал нового поколения. – Томск: Изд-во МИЦ, 2006. – 296 с.
5. Коваль Н.Н., Шанин П.М., Девятков В.Н. и др. // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – 1. – С. 135.
6. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. // Известия вузов. Физика. – 2008. – 5. – С. 60.
7. Лотков А.И., Гришков В.Н., Анохин С.В., Кузнецов А.И. // Известия вузов. Физика. – 1982. – 10. – С. 11.
8. Хачин В.Н., Паскаль Ю.И., Гюнтер В.Э. и др. // Физика металлов и металловедение. – 1978. – Т.46. - Вып.3. – С. 511.
9. Диаграммы состояния двойных металлических систем. – М.: Машиностроение, 2001. – Т.3, книга 1. – С. 655.

PHASE FORMATION IN NI-TI ALLOY UNDER SEQUENTIAL ACTION OF KRYPTON IONS AND HIGH CURRENT ELECTRON BEAM

V.P. Poltavtseva¹, N.N. Koval², S.B. Kislitsin¹, V.I. Antonyuk¹

¹Institute of Nuclear Physics, Republic of Kazakhstan, Almaty, 050032, Ibragimov str. 1, +7(727) 386-68-39, e-mail: poltavtseva@inp.kz; kislitsin@inp.kz; antonyuk@inp.kz

²Institute of High Current Electronics, Russia, Tomsk, 634055, Akademicheskii ave. 2/3, +7(3822) 49-17-06, koval@hcei.tsc.ru

The sequence of new phases formation under the influence of high current electron beam in the Ni-Ti alloy is revealed before and after implantation by krypton heavy ions of 280 keV and 1.75 MeV/a.m.u. energy to the fluences 5×10^{20} and 1×10^{20} m⁻², respectively. Splitting of the reflection (110) and simultaneous appearance of the triplet reflection (211) was found which points to redistribution of atoms under the action of high current electron beam, development and formation of the R-phase particles in the Ni-Ti alloy, previously implanted by high energy krypton ions. It was established that formation of the reflections possibly closest by their location to those corresponding to the structure of TiNi₃ intermetallic is typical for the Ni-Ti alloy implanted by krypton ions of both energies.