

05

Влияние предварительной магнитной обработки на твердость сплавов Ti–Ni

© А.В. Бродовой, С.Г. Бунчук, А.Н. Лукьянов

Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича
НАН Украины, Киев
Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева
НАН Украины, Киев
E-mail: S-bunchuk@mail.ru

Поступило в Редакцию 11 августа 2009 г.

Экспериментально исследовано влияние магнитного поля на фазовый состав и твердость Ti–Ni сплавов. Показано, что в зависимости от вида магнитного поля (однородное или неоднородное) происходит изменение фазового состава образцов, что приводит к существенному изменению их твердости.

Никелид титана — наиболее известный из материалов, обладающих свойствами сверхупругости и памяти формы. В никелиде титана при охлаждении исходная $B2$ (CsCl) структура претерпевает термоупругое мартенситное превращение с образованием фазы низкой симметрии. Решетка этой фазы близка к орторомбической $B19$ с моноклинным искажением. Главная особенность таких сплавов — это способность к взаимной трансформации физических свойств: действуя на сплав одними параметрами, получаем изменение других, причем в самых разных комбинациях. При этом эффект воздействия зависит не только от количества и вида действующих величин, но и от их последовательности [1].

В настоящей работе мы поставили задачу: проверить возможность изменения твердости слабомагнитного плавленного никелида титана после его экспозиции в магнитном поле.

Объектами исследований были выбраны пластины плавленного интерметаллида TiNi. Плавленный интерметаллид TiNi получали в дуговой печи МИФИ-9-3 в атмосфере аргона, который предварительно очищался путем взаимодействия примесей азота и кислорода с расплавом высокотемпературного Ti–Zr-геттера. Материалом для шихты служили электролитический никель и йодидный титан в соотношении

56% по массе Ni — 44% по массе Ti. В процессе выплавки с целью усреднения состава слиток 8 раз переплавлялся. Кристаллизация сплава происходила со скоростью 3–5 mm/min.

Беспористый слиток электроискровым методом был разрезан на пластины толщиной 3 mm, которые с целью снятия напряжений и гомогенизации состава отжигали при вакууме ($\sim 10^{-3}$ Pa) при $T = 1173$ K в течение 6 h.

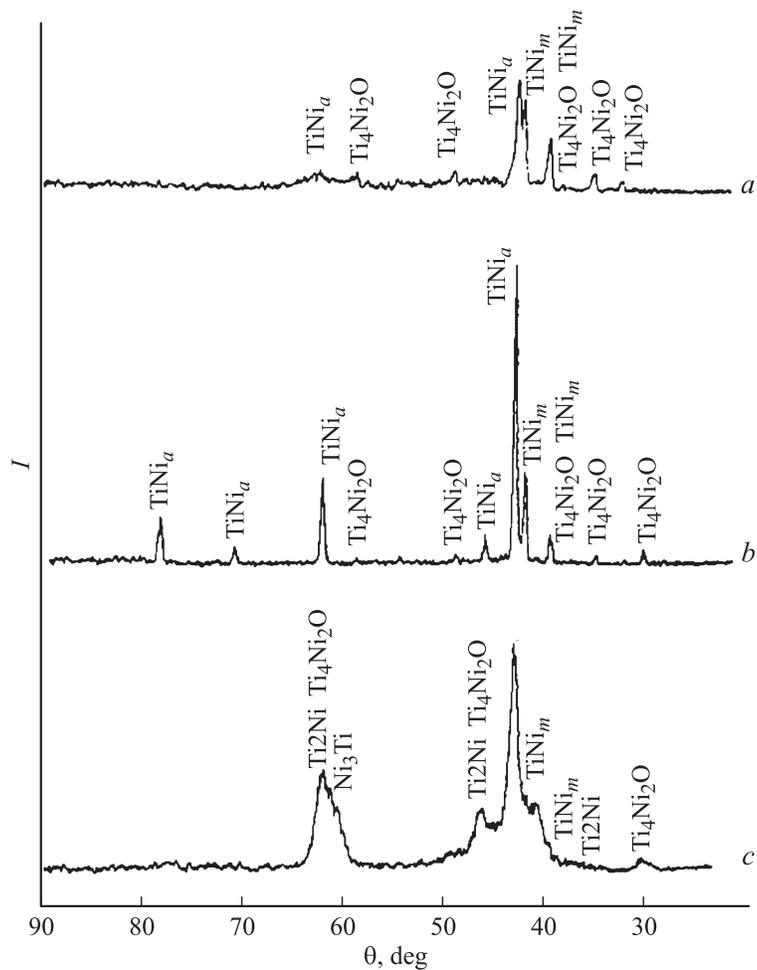
Рентгенофазным анализом установлено, что выплавленный состав соответствует фазе TiNi со структурой B2 (CsCl). Рентгенофазовый анализ осуществлялся дифрактометрическим методом на рентгеновском дифрактометре типа Дрон-2 в $\text{CuK}\alpha$ -излучении.

Роль внешнего воздействия на структуру образцов выполняло постоянное однородное ($B = 0.5$ T) или неоднородное ($dB/dx = 0.3$ T/mm) магнитное поле. Неоднородное магнитное поле создавалось встречным расположением полюсов магнитов. Время выдержки образцов в наших экспериментах составляет около 1 месяца.

По данным рентгенофазового анализа (см. рисунок) до обработки в магнитном поле структура исследуемых сплавов состоит из следующих фаз (в % по массе): аустенитной — 55, мартенситной — 45%. Длительная выдержка образцов TiNi в магнитном поле приводила к перераспределению содержания в них аустенитной и мартенситной фаз. Рентгенографические исследования пластин TiNi, обработанных в однородном магнитном поле, свидетельствуют об увеличении доли аустенитной фазы с 55 до 77% при одновременном уменьшении мартенситной составляющей с 45 до 23%. После обработки исходной пластины TiNi в неоднородном магнитном поле рентгенографически установлено, что доля аустенита уменьшилась от 55 до 49%, содержание мартенсита также уменьшилось от 45 до 16%. При этом обнаружены новые фазы: Ti_2Ni , Ni_3Ti и кислородная η — фаза $\text{Ti}_4\text{Ni}_2\text{O}$.

Одновременно с проведением рентгеновского анализа нами выполнялись измерения твердости (HV) сплавов TiNi. Для исследований использовался твердомер „SHIMADZY“ HNV-200. Индентирование проводилось при комнатной температуре алмазным индентором (пирамидой Виккерса) при нагрузке $P = 1$ kg, время действия 20 s. Твердость $HV = 1.854 P/d^2$, где d — диагональ отпечатка.

Среднеарифметическое значение из пяти измерений твердости исходных образцов TiNi равно $HV = 356$ kg/mm². После экспонирования образцов в однородном магнитном поле наблюдается существенное



Сравнение дифрактограмм сплавов TiNi при комнатной температуре: *a* — исходный TiNi; *b* — после экспонирования в однородном магнитном поле; *c* — после экспонирования в неоднородном магнитном поле.

понижение их твердости $HV = 37.5 \text{ kg/mm}^2$. Экспонирование образцов в неоднородном магнитном поле приводит к увеличению их твердости до значений $HV = 876 \text{ kg/mm}^2$.

Влияние магнитного поля на твердость TiNi, по-видимому, связано с изменениями его фазового состава [2]. Этот вывод подтверждается рентгеноструктурными исследованиями. Интересно отметить, что значения твердости мартенситной и аустенитной фаз практически одинаковы [3]. Однако увеличение процентного содержания аустенитной фазы за счет мартенситной приводит к уменьшению плотности межфазных границ, что понижает твердость сплавов TiNi после экспонирования в однородном магнитном поле. Для случая неоднородного магнитного поля роль зернограницных выделений избыточных фаз Ni₃Ti, Ti₂Ni [4] в повышении твердости, видимо, определяющая.

Список литературы

- [1] *Корнилов И.И., Белоусов О.К., Качур Е.В.* Никелид титана и другие сплавы с эффектом „памяти“. М.: Наука, 1977. 180 с.
- [2] *Бродовой А.В., Братанич Т.И., Копылова Л.И., Скороход В.В., Бунчук С.Г.* // Металлофизика и новейшие технологии. 2006. Т. 28. № 10. С. 1351–1357.
- [3] *Buehler W.I., Wiley R.C.* // Transactions of ASM. 1962. V. 55. P. 269–276.
- [4] *Беляев С.П., Реснина Н.Н., Колесникова О.С.* // Материаловедение. 2006. № 11 (116). С. 2–4.