

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НИКЕЛИДА ТИТАНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ С РАЗНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ЭНЕРГИИ

Остапенко М.Г.¹, Мейснер Л.Л.^{1,3}, Лотков А.И.¹, Гудимова Е.Ю.^{1,3}, Захарова М. А.²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, Томск Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск Россия

³Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск Россия

artifakt@ispms.tsc.ru

В настоящее время все большее распространение получает использование импульсных воздействий электронными пучками для модификации поверхности и поверхностных свойств металлов, сталей и сплавов [1, 2]. Короткодействующий электронный импульс с высокой плотностью энергии приводит к появлению температурных полей в поверхностных слоях, обеспечивая сверхбыстрый нагрев, который может привести к плавлению кристаллических фаз в этих слоях. Кроме того, в области переплава, формируются поля упругих напряжений, которые, в свою очередь, могут вызывать деформацию в подслоях материала, лежащих ниже зоны переплава [3]. В результате, не только в областях прямого воздействия электронным пучком и переплава, но и в нижележащих слоях обрабатываемых материалов возможно формирование неравновесных структурно-фазовых состояний, которые и отвечают за изменение физико-химических и механических свойств материалов на поверхности и приводят к улучшению этих свойств [4].

Цель данной работы – исследовать влияние импульсных электронно-пучковых воздействий с различной плотностью энергии в пучке на изменение структурно-фазовых состояний в поверхностных слоях никелида титана.

В работе исследовались плоские образцы из сплава $Ti_{49,5}Ni_{50,5}$ размерами $(1 \times 15 \times 15)$ мм³, которые подвергались импульсным электронно-пучковым воздействиям с использованием источника сильноточных электронных пучков низкой энергии при следующих параметрах воздействия: плотность энергии в электронном пучке составила $E_1=15$ Дж/см² и $E_2=20$ Дж/см²; длительность импульса $\tau=150$ мкс, количество импульсов $N=5$. Рентгеновские исследования структурных состояний фаз, формирующихся в приповерхностных слоях TiNi проводили на дифрактометре ДРОН-7 (Буревестник, Россия, ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН, г. Томск) в CoK_{α} -излучении по симметричной и асимметричной схемам съемок.

Выявлено, что на рентгеновских дифракционных картинах от образцов TiNi после электронно-пучковой обработки, полученных при использовании симметричной схемы съемок, то есть в условиях, обеспечивающих максимально возможную глубину проникновения рентгеновских лучей в материал, кроме дифракционных рефлексов от фазы B2 на дифрактограммах наблюдаются дополнительные рефлексы, соответствующие мартенситной фазе B19' никелида титана, и отсутствуют рефлексы фазы со структурой типа Ti₂Ni, обнаруженные на рентгенограммах исходных образцов. Оценка объемной доли мартенситной фазы по суммарной интенсивности рефлексов, принадлежащих фазам B2 и B19' показала, что содержание фазы B19' возрастает от ~10 об. % до ~20 об. % при увеличении плотности энергии в пучке от E₁=15 Дж/см² до E₂=20 Дж/см². На дифракционных картинах, полученных при использовании асимметричных съемок от облученных образцов обнаружено, что с уменьшением угла скольжения α, то есть с уменьшением толщины анализируемого слоя, интенсивность рефлексов фазы B19' понижается и при минимальном угле скольжения α=3° близка к нулю. Это означает, что в новом перекристаллизованном слое мартенситной фазы нет. Таким образом, анализ экспериментальных данных выявил, что в результате электронно-пучковой обработки с E₁=15 Дж/см² и E₂=20 Дж/см² на поверхности образцов TiNi сформировался модифицированный слой толщиной 8–10 мкм, не содержащий мартенситную фазу и фазу со структурой типа Ti₂Ni, а рентгеновские рефлексы мартенситной фазы B19', которые наблюдаются на дифракционных картинах образцов, полученных по симметричной схеме съемок, обусловлены наличием фазы B19' в глубинных слоях, расположенных под модифицированной поверхностью.

Выявлено, что для образцов, облученных с E₁=15 Дж/см² параметр решетки составил $a_{B2} = 3.0316 \pm 0.0005 \text{ \AA}$, что значительно превышает значения a_{B2} для образцов, облученных с E₂=20 Дж/см² – $a_{B2} = 3.0252 \pm 0.0005 \text{ \AA}$ (рис.1). При увеличении толщины анализируемого слоя параметры решеток стремятся к значению фазы B2, полученному по симметричной схеме съемок, которое не превышает величину параметра решетки для исходного образца $a_{B2}^0 = 3.0140 \pm 0.0005 \text{ \AA}$. Известно, что на изменение параметра решетки в исследуемых образцах может оказывать влияние изменение концентрации Ti и Ni в модифицированном поверхностном слое за счет растворения вторичной фазы Ti₂Ni. Выявлено, что в обоих отмеченных случаях вблизи поверхности параметр решетки фазы B2 соответствует фазе B2 обогащенной титаном, по сравнению с его исходным содержанием в этой фазе до облучения [5]. При увеличении толщины

анализируемого слоя наблюдается уменьшение a_{B2} до $a_{B2} \approx 3.0120 \text{ \AA}$, соответствующих значениям a_{B2} для фазы B2, в которой концентрация атомов титана соответствует исходной $\sim 49,5 \text{ ат.}\%$.

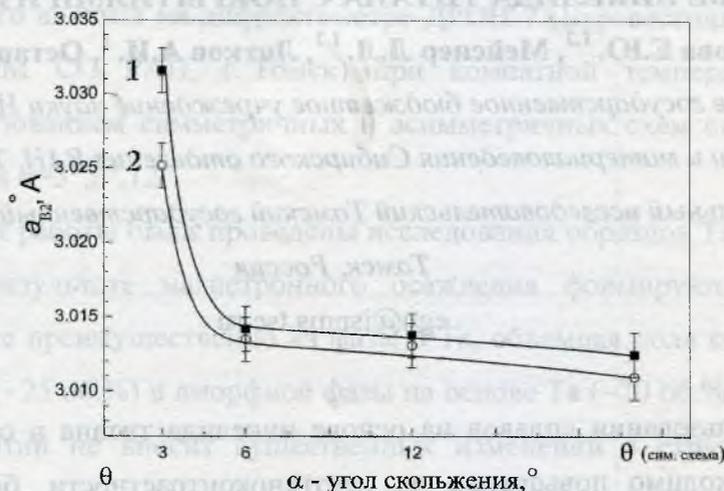


Рисунок 1. Изменение экстраполяционных значений параметра решетки фазы B2 в поверхностных модифицированных слоях образцов TiNi после электронно-пучковой обработки с плотностью энергии в пучке $E_1=15 \text{ Дж/см}^2$ (кривая 1) и $E_2=20 \text{ Дж/см}^2$ (кривая 2), полученных по симметричной и асимметричным схемам съемок с углами скольжения $\alpha=3^\circ, 6^\circ$ и 12°

Таким образом, анализ дифракционных картин, изменения фазового состава и параметров решеток фаз B2 по глубине анализируемого слоя образцов TiNi после облучения импульсными низкоэнергетическими высокоточными электронными выявил, что растворение фазы Ti_2Ni в поверхностном, расплавляемом на глубину до $\sim 10 \text{ мкм}$, слое приводит к изменению соотношения Ti и Ni в основной фазе B2, образовавшейся в результате затвердевания расплавленного слоя. Сформированная в этом модифицированном слое основная фаза обогащена титаном, по сравнению с его исходным содержанием в фазе B2 до облучения.

Исследования проведены в рамках Г/б проектов № III.23.2.1, Государственного контракта № 16.522-11-2019 и при финансовой поддержке стипендиального фонда Президента Российской Федерации (СП-236.2012.4).

1. Бойко В.И., Валяев А.Н., Погребняк А.Д. УФН. – 1999. – Т.169. – №11. С. 1243-1271.
2. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов: Монография / К.К. Кадыржанов, Ф.Ф. Комаров, А.Д. Погребняк, В.С. Русаков, Т.Э. Туркебаев. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 640 с.
3. Zhang, K., Zou J., Bolle B., and Grosdidier T. Vacuum, 2013, Vol. 87, pp. 60-68.
4. Zhang, K. M., Yang, D. Z., Zou, J. X., Grosdidier, T., & Dong, C. Surface and Coatings Technology, 2006, Vol. 201(6), pp. 3096-3102.
5. Гришков В.Н., Лотков А.И. ФММ. – 1985. – Т.60. – В.2. С. 351 – 355.