ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций»

X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/297

СТРУКТУРА АМОРФНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО Ti-Ta-Ni СПЛАВА, СФОРМИРОВАННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОГО ТОНКОПЛЕНОЧНОГО СИНТЕЗА

[1,2]Семин В.О., [3]Яковлев Е.В., [4]Ротштейн В.П., [1]Мейснер Л.Л.
[1]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия
[2]Томский государственный университет, Томск, Россия
[3]Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия
[4]Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия

Модификация поверхности сплавов на основе никелида титана, обладающих высокими функциональными характеристиками среди материалов с эффектом памяти формы, относятся к числу перспективных направлений промышленного материаловедения. В микро-электро-механических системах широко применяются актуаторы на базе тонких пленок/лент из материалов с термомеханической памятью, механические и эксплуатационные свойства которых сильно зависят от структурного состояния поверхностных слоев. Как показывают результаты недавних исследований [1, 2], перспективным способом улучшения усталостных характеристик традиционных конструкционных сплавов на основе Al, Ni, Ti, а также функциональных сплавов на основе TiNi является формирование на их поверхности тонких (от 200 нм до 1 мкм) аморфных покрытий. Механическое поведение систем «аморфная пленка/подложка» в условиях циклических испытаний определяется физическими свойствами наносимой аморфной пленки (толщиной, составом, твердостью и пластичность) и адгезией с материалом подложки. В этой связи увеличение толщины наносимой пленки приводит к катастрофическому снижению адгезионных свойств и к её отслоению при знакопеременных нагрузках. Радикальным решением проблемы слабых адгезионных свойств является синтез аморфных поверхностных сплавов на поверхности TiNi, основанный на принципах аддитивных технологий. Так, в результате синтеза высоколегированных тонких (до 1-2 мкм) поверхностных сплавов, формируемых путем жидкофазного перемешивания систем «пленка/подложка» электронным пучком, между синтезированным слоем и подложкой образуются границы раздела диффузионного типа [3]. Можно ожидать, что высокая когезионная прочность сцепления наплавляемой пленки будет приводить к повышению упругопластических характеристик подложки. Целью работы является исследование структуры аморфных поверхностных Ti-Ta-Ni сплавов, сформированных путем импульсного электронно-пучкового плавления систем «Ti-Ta пленка/подложка TiNi».

Методика формирования поверхностных сплавов на подложке TiNi детально описана в работе [3]. Отметим, что подложка представляла собой промышленный сплав TiNi марки ТН1 (ООО «МАТЭК-СПФ») эквиатомного состава, а в качестве легирующей пленки была выбрана $Ti_{60}Ta_{40}$ (ат. %) пленка толщиной 50 и 100 нм. Импульсное плавление низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком (НСЭП) системы «Ti-Ta пленка/подложка TiNi» осуществляли на установке РИТМ-СП (Микросплав, Россия) в двух режимах: максимальная энергия электронов 17 кэВ, плотность энергии E_S=2±0.2 Дж/см^2; число импульсов n=5 и 10, число повторений N=20 и 10, соответственно. Электронно-микроскопические исследования проводились на просвечивающих электронных микроскопах (ПЭМ) JEM-2100 (JEOL, Япония) и JEM-2100F (JEOL, Япония) при ускоряющем напряжении 200 kV. Тонкие фольги для исследований в геометрии «cross-section» были приготовлены методом ионного травления на установке EM 09100IS (JEOL, Япония). Элементный состав материала определялся с помощью энергодисперсионного спектрометра (ЭДС) INCA Energy (Oxford Instruments, Великобритания), установленного на просвечивающем электронном микроскопе.

Анализ элементного состава по глубине, полученный методом ЭДС/ПЭМ показал, поверхностные сплавы, сформированные в двух режимах, характеризуются плавным диффузионным переходом от легированного слоя к подложке и концентрационным градиентом: $Ti_{50}Ni_{35+x}Ta_{15-x}$ (x=0–8 ат. %) и $Ti_{50}Ni_{30+x}Ta_{20-x}$, (x=0–10 ат. %). При расчетной

толщине
1–1.5 мкм наплавляемой Ti-Ta пленки средние составы поверхностных сплавов составляют $Ti_{50}Ta_{15}Ni_{35}$ и $Ti_{50}Ta_{17}Ni_{33}$ (ат. %).

Наличие высокой концентрации никеля в поверхностном слое и высокие скорости закалки расплава при обработке НСЭП ~ $4 \cdot 10^8$ К/с [3] способствовали тому, в поверхностном слое поверхностных Ti-Ta-Ni сплавах толщиной до 2 мкм сформировалась аморфная структура. На электронно-микроскопических изображениях наблюдается характерный для аморфной фазы дисперсный адсорбционный контраст типа «соль-перец» (Рис. 1). Согласно анализу нанодифракций, характеризующих аморфную структуру на различной глубине от поверхности, радиусы диффузных гало сильно варьируются d=2.02÷2.19 Å. Обнаруженные закономерности в изменении элементного состава и радиусов диффузных гало на различном удалении от поверхности говорят о перераспределении атомов на первой координационной сфере.

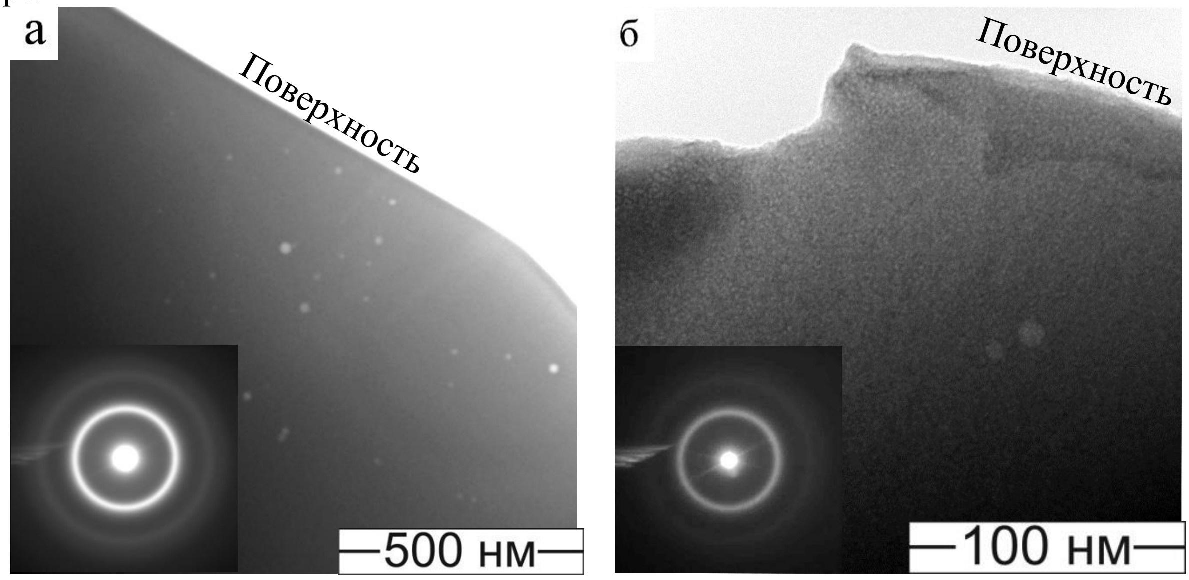

Рис. 1. Светлопольные изображения аморфной структуры в поверхностных сплавах среднего состава $Ti_{50}Ta_{15}Ni_{35}$ (а) и $Ti_{50}Ta_{17}Ni_{33}$ (б) (ат. %).
Вставки на (а, б) – микродифракции от наружного аморфного слоя

Количественные данные о параметрах топологического и химического атомного ближнего порядка в аморфной фазе были получены с помощью построения функций радиального распределения атомов G(r) по данным нанодифракций. С помощью структурной модели, предложенной в работе [4], было показано, что топологический ближний порядок в аморфных поверхностных Ti-Ta-Ni сплавах хорошо описывается структурами координационных многогранников (КМ) на основе интерметаллических фаз Ti_2Ni и B2(TiNi). При этом основными типами кластеров в структуре аморфного поверхностного сплава выступают КМ, характерные для элементарной ячейки Ti_2Ni: икосаэдр Ti_7Ni_6 и кластер $Ti_{11}Ni_4$.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 18-19-00198 (от 26.04.2018).

Литература

1. Thin-film metallic glasses for substrate fatigue-property improvements / H. Jia [et al] // Thin Solid Films. 2014. Vol. 561. P. 2–27.
2. Fracture resistance of dental nickel-titanium rotary instruments with novel surface treatment: Thin film metallic glass coating / C.-W. Chi [et al] // J. Form. Med. Association. 2017. Vol. 116. P. 373–379.
3. Microstructural characterization of Ti-Ta-based surface alloy fabricated on TiNi SMA by additive pulsed electron-beam melting of film/substrate system / L. L. Meisner [et al] // J. Alloys Comp. 2018. Vol. 730. P. 376–385.
4. From clusters to phase diagrams: composition rules of quasicrystals and bulk metallic glasses / C. Dong [et al] // J. Phys. D: Appl. Phys. 2007. Vol. 40. P. R273–R291.