

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: 10.17223/9785946217408/296

**НЕУПРУГИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «АМОРФНЫЙ ПОВЕРХНОСТНЫЙ
Ti-Ta-Ni СПЛАВ/ПОДЛОЖКА TiNi», СФОРМИРОВАННОЙ
ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВЫМ СПОСОБОМ**

^{1,2}Мухамедова Р.Р., ^{1,2}Сёмин В.О., ¹Нейман А.А., ^{1,2}Мейснер Л.Л.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

²НИ Томский государственный университет, Томск, Россия

Сплавы на основе никелида титана широко применяются для изготовления медицинских инструментов и имплантатов ввиду уникального сочетания их физико-механических и химических свойств. Одной из проблем эксплуатации TiNi имплантатов заключается в их низкой усталостной долговечности. В настоящее время одним из способов решения данной проблемы на ряде других материалов, например, титановых сплавов, является формирование тонких аморфных пленок/покрытий на поверхностях готовых изделий. Согласно [1], можно предположить, что создание поверхностных сплавов на подложке из никелида титана будет способствовать повышению критического напряжения/деформации до разрушения, а также количества циклов «нагружение-возврат» при механических испытаниях TiNi образцов.

Зачастую циклические испытания систем «покрытие/подложка» при нагрузках, соизмеримых с пределом текучести материала подложки, приводят к отслаиванию покрытия из-за слабых адгезионных свойств последних. Поэтому перспективным представляется создание на поверхности TiNi образца поверхностного слоя в виде поверхностного сплава на основе Ti-Ta, так как в этом случае отсутствуют границы раздела между поверхностным сплавом и подложкой. Ti-Ta сплавы проявляют высокотемпературный ЭПФ и обладают близкими к TiNi упруго-пластическими характеристиками. Для практического применения сплавов на основе TiNi важно обеспечивать высокие функциональные свойства. Иными словами, покрытия или модифицированные поверхностные слои на поверхности TiNi сплава не должны ухудшить их свойства неупругости.

Целью работы является исследование аморфно-нанокристаллической структуры поверхностного сплава, сформированного аддитивным способом, и ее влияния на неупругие свойства системы «аморфный Ti-Ta-Ni поверхностный сплав/подложка TiNi».

Формирование поверхностного слоя Ti-Ta аддитивным методом осуществлялось в едином вакуумном цикле на модифицированной автоматизированной установке РИТМ-СП [2], оснащенной источником НСЭП и магнетронной распылительной системой. В качестве подложки был использован сплав TiNi состава Ti–55,08 Ni–0,051 C–0,03 O–0,002N (вес. %). Перед началом осаждения подложка обрабатывалась низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком (НСЭП) (плотность энергии $E_s=3.4$ Дж/см², количество импульсов $n=32$) для предотвращения локального отслоения легирующей Ti-Ta пленки. Импульсное плавление системы пленка/подложка осуществляли в режиме $E_s=2$ Дж/см², $n=5$. Число циклов «осаждение+плавление» подбиралось таким, чтобы ожидаемая толщина «наплавленного» Ti-Ta слоя составляла ~1.5 мкм. Исследования структуры поверхностного слоя проводили на просвечивающем электронном микроскопе (JEM 2100, Jeol, Япония) при ускоряющем напряжении 200 кВ, оснащенный энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) (INCA, Oxfordinstruments). Неупругие свойства определялись с помощью метода обратных крутильных колебаний.

В приповерхностной области поверхностного сплава формируется сложная градиентная слоистая структура, состоящая из нескольких подслоев. В ходе электронно-микроскопического исследования было установлено, что поверхностный слой толщиной 2 мкм является аморфным. Вблизи границы «аморфная фаза-кристалл» на глубине ~2 мкм находится подслой толщиной 500 нм с нанокристаллическими частицами, относящимися к фазе Ti₂Ni. На глубине 2.5 – 3 мкм обнаруживается эвтектическая структура (рисунок 1а). Как показал дифракционный анализ, эта эвтектика соответствует смеси фаз B2 + Ti₂Ni (рисунок 1б). Ниже слоя с эвтектической структурой расположены ламели мартенсита (рисунок 1а).

Секция 5. Деградация тонких пленок и многослойных покрытий как иерархически организованных структур

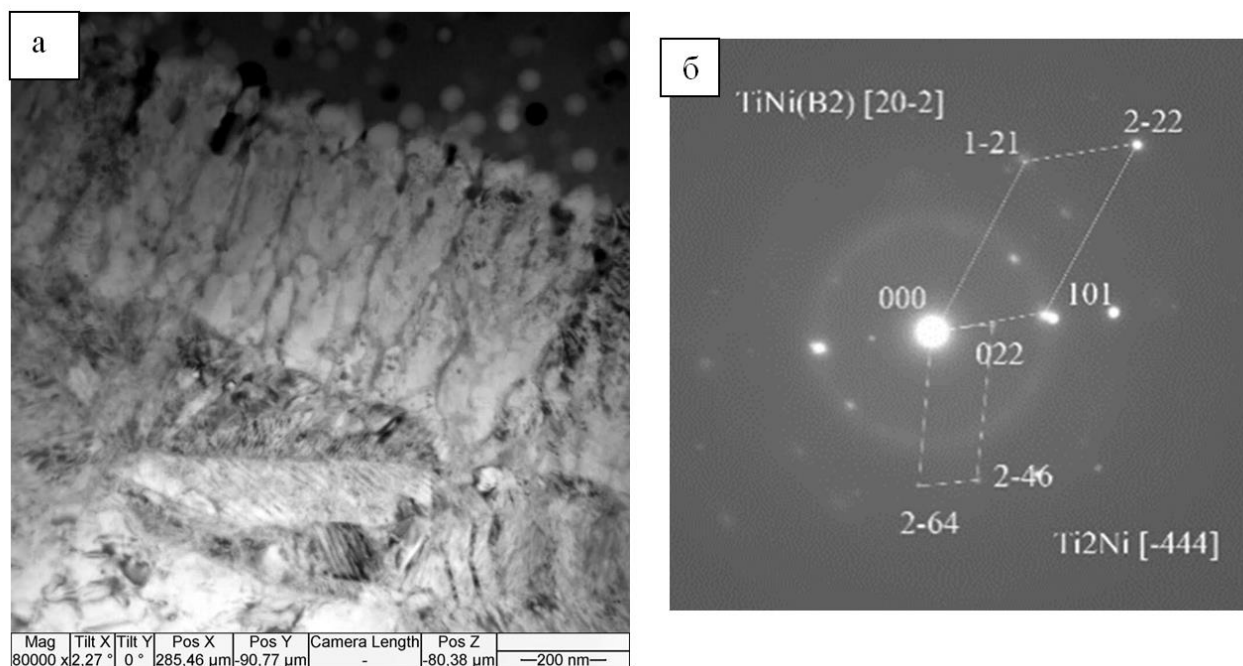


Рисунок 1 – Светлопольное (а) изображение структуры в поперечном сечении образца TiNi с поверхностным сплавом на глубине 2.5 – 3 мкм и соответствующая микродифракционная картина (б).

Концентрационный профиль элементов, полученный методом ЭДС/ПЭМ, в поверхностном слое композита показывает, что поверхностный сплав характеризуется концентрационным градиентом $Ti_{50}Ni_{30+x}Ta_{20-x}$, ($x=0-10$ ат. %) и плавным диффузионным переходом легированного слоя к подложке. Толщина легированного танталом слоя не превышает 3.5 мкм.

Было установлено, что диаграммы накопления и возврата деформации в исходных образцах TiNi и в образцах с поверхностным сплавом качественно имеют взаимно подобный вид, вне зависимости от температуры испытаний. Однако в образцах с поверхностным сплавом наблюдается перераспределение вкладов механизмов сверхэластичности и памяти формы в величину восстанавливаемой неупругой деформации. Установлено, что формирование поверхностного сплава на подложке TiNi не приводит к ухудшению свойств мартенситной неупругости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российским научным фондом, проект №18-19-00198 (26.04.2018).

Литература

1. Lee C. M. Fatigue property improvements of Ti-6Al-4V by thin film coatings of metallic glass and TiN: a comparison study // *Thin Solid Film*. – 2014. – № 561. – P. 33–37.
2. Установка Ритм-СП для формирования поверхностных сплавов / А. Б. Марков [и др.] // *Приборы и техника эксперимента*. – 2011. – №6. – С. 122–126.