



Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уральский государственный горный университет»

**XX УРАЛЬСКАЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ДЕКАДА**

## **СБОРНИК ТЕЗИСОВ**

LXIV Международной конференции  
«Актуальные проблемы прочности»  
4 – 8 апреля, 2022 года  
Екатеринбург, Россия

Екатеринбург 2022

продолжить исследование в этом направлении и рассмотреть другие экспериментальные данные, которые получены для других металлических материалов, чтобы можно уверенно подтвердить превосходство аппроксимации [3] над аппроксимацией [1–2].

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, проект 20–08–00387.*

8. F.H. Norton, *Creep of steel at high temperatures* (Mc. Graw-Hill Book Company, New York, 1929).
9. R.W. Bailey, *Trans. World Power Conf.* 3 (Токуо, 1929).
10. С.А. Шестериков, М.А. Юмашева, *Изв. АН СССР. Механика твердого тела* 1, сс. 86–92 (1984).
11. V.V. Nazarov, A.R. Lepeshkin, *Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures* 1, pp. 36–42 (2017).
12. В.В. Назаров, *Завод. лаб. Диагн. матер.* 81(6), сс. 57–60 (2015).

## **ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СПЛАВА Ti-Ni-Ta-Si НА НЕУПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ КРУЧЕНИЕМ**

**А.А. Нейман<sup>1</sup>, Ф.А. Дьяченко<sup>1</sup>, Л.Л. Мейснер<sup>1,2</sup>, В.В. Лобань<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
Томск, [nasa@ispms.ru](mailto:nasa@ispms.ru)

<sup>2</sup>НИ Томский государственный университет, Томск

Сплавы с эффектом памяти формы на основе никелида титана применяются в качестве материалов, выполняющих при определенных условиях механическую работу. Медицинское приложение подразумевает миниатюрность изделий и этих сплавов. Формируемые на их поверхностях функциональные покрытия должны обладать высокой адгезионной прочностью, а их пластические свойства должны быть сопоставимы свойствам подложки из никелида титана.

Формирование тонкого поверхностного сплава (ПС) аддитивным методом решает проблему адгезионной прочности. Данная работа посвящена исследованию неупругих свойств композитной системы «Ti-Ni-Ta-Si ПС на подложке TiNi».

ПС создавали на установке «РИТМ-СП» (ООО «Микросплав», Россия) методом одновременного магнетронного осаждения чистых элементов Ti, Ta и Si с последующим электронно-пучковым переплавом в едином вакуумном цикле. За один цикл формировали магнетронное покрытие состава  $Ti_{60}Ta_{30}Si_{10}$  и переплавляли его десятикратным импульсным воздействием при плотности пучка  $E_s = 1.7 \text{ J/cm}^2$ . ПС синтезирован за 10 циклов, а его толщина составила не более 1 мкм. Плавлению подвергается и покрытие, и TiNi основа, в результате формируется четырехкомпонентный Ti-Ni-Ta-Si ПС. ПС синтезирован на образцах в виде игл квадратного сечения из сплава TiNi с размерами рабочей части 1x1x18мм.

Механические испытания кручением проведены на установке «НДВ-100» (ООО «Метротест», Россия) при постоянной скорости деформирования (70 град./мин). За один цикл испытания образец закручивали до величины деформации 4%, затем раскручивали до достижения нулевого значения напряжения, циклы повторяли 20 раз. В исследовании проведен анализ циклической устойчивости физико-механических характеристик и неупругих свойств композита на основе TiNi. Методами электронной микроскопии проведена оценка механической совместимости композитной системы «Ti-Ni-Ta-Si ПС/TiNi».

Наличие ПС не изменяет вид деформационных кривых, однако они имеют более низкие значения напряжения мартенситного сдвига, поскольку ПС характеризуется более низкими значениями предела текучести и высокими пластическими свойствами. Не обнаружено критического влияния на неупругие свойства TiNi-сплава, их уровень остается близким к исходному. После 20 циклов нагружения-разгрузки на ПС формируются микротрещины, разрушения и отслаивания от TiNi-подложки не наблюдается.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант РФФ №22-29-00047).

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВЫХ ОБРАБОТОК НА ЭВОЛЮЦИЮ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ В СИСТЕМЕ «ПОВЕРХНОСТНЫЙ Ti-Ni-Nb-Si СПЛАВ/TiNi-ПОДЛОЖКА»**

**М.Г. Остапенко<sup>1</sup>, В.О. Семин<sup>1</sup>, Л.Л. Мейснер<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, Томск

Email: [artifakt@ispms.ru](mailto:artifakt@ispms.ru)

Основной проблемой при биомедицинском применении сплавов с памятью формы на основе TiNi, является высокое содержание токсичных ионов никеля Ni [1]. Одним из путей решения этой проблемы является создание дополнительных защитных покрытий на поверхности TiNi [2]. Известно, что система Ti-Nb-Ni представляется перспективной, с точки зрения легко аморфизируемого состава для формирования на поверхности TiNi аморфно-нанокристаллической структуры (металлического стекла) [3]. Из-за отсутствия границ зерен и других дефектов, металлические стекла обладают высокими механическими свойствами, коррозионной стойкостью и биосовместимостью. Импульсные низкоэнергетические высокоточные электронные пучки (НСЭП) позволяют осуществлять на поверхности обрабатываемого материала синтез поверхностных сплавов (ПС) с градиентным составом и аморфной или нанокомпозитной структурой [4].

Целью данной работы является анализ эволюции структурно-фазовых состояний в поверхностных слоях Ti-Nb-Si ПС/TiNi, сформированной в результате как аддитивного тонкопленочного электронно-пучкового (АТП-ЭП) синтеза поверхностного сплава (ПС), так и пост-НСЭП обработки.

Структурные исследования проводили на образцах с Ti-Nb-Si ПС/TiNi, полученных АТП-ЭП способом синтеза системы [пленка (Ti<sub>60</sub>Nb<sub>30</sub>Si<sub>10</sub>), 100 нм/ подложка TiNi] [3]. После синтеза поверхностного сплава, часть образцов подвергали 10-кратной пост-НСЭП обработке при  $E_S=1.7$  Дж/см<sup>2</sup>. Такие образцы далее обозначены – Ti-Nb-Si ПС/TiNi +ЭП. Рентгенодифракционные (XRD) исследования проводили на дифрактометре Shimadzu XRD-6000 (Japan, НОИЦ “Наноматериалы и нанотехнологии” НИ ТПУ, Россия, г. Томск) в Cu-K<sub>α</sub> излучении ( $\lambda=1.54$  Å) в симметричной геометрии Брегга-Брентано  $\theta$ - $2\theta$ .

В работе проведено исследование фазового состава и его изменения в образцах Ti-Nb-Si ПС/TiNi после АТП-ЭП синтеза, а также после дополнительных НСЭП обработок.