

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**  
**Перспективные материалы**  
**с иерархической структурой**  
**для новых технологий**  
**и надежных конструкций**  
**9 - 13 октября 2017 года**  
**Томск, Россия**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

Томск – 2017

#### 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

---

зависимости от размера при различной концентрации. Используя общепринятые формулы, для определения эффективных характеристик смеси в случае растяжения и сжатия, определяя коэффициенты для матрицы и смеси, возможно определить параметры Ламэ для наполнителя.

В экспериментальной части работы были подготовлены образцы на растяжение и сжатие из эпоксидной смолы DER-330 с добавлением нанопорошка диоксида кремния Аэросил А-380 (0-2 % масс.), а также нанопорошков диоксида кремния различной дисперсности. Определение упругих модулей на растяжение и сжатие осуществлялось на испытательной машине Zwick/Roell Allround Z005 при постоянных скорости нагружения или перемещении, чтобы прийти к одноосному напряженному или деформированному состоянию для случаев растяжения и сжатия соответственно. Сделаны выводы о применимости той или иной модели гомогенизации для оценки свойств наполнителя.

### **УПРАВЛЕНИЕ МОРФОЛОГИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ СПЛАВА НА ОСНОВЕ Ti-Ta, СФОРМИРОВАННЫМ НА TiNi ПОДЛОЖКЕ АДДИТИВНЫМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА**

<sup>1,3</sup>Гудимова Е.Ю., <sup>1,3</sup>Шабалина О.И., <sup>1</sup>Мейснер С.Н.,

<sup>2</sup>Яковлев Е.В., <sup>1,3</sup>Мейснер Л.Л.

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия,

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия,

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

*ShabalinaO@vtomske.ru*

В настоящее время перспективной технологией поверхностной модификации металлических материалов с целью повышения их функциональных характеристик является обработка низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком (НСЭП) [1]. Комбинация методов магнетронного осаждения и НСЭП, основанная на принципах аддитивных технологий, может позволить сформировать поверхностные сплавы с заданными структурой и свойствами, которые невозможно получить с помощью традиционных методов обработки. Изменяя параметры

#### 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

электронного пучка, такие как плотность энергии, количество и длительности импульса, можно контролировать и управлять физико-химическими свойствами поверхностных слоев материала. Целью данной работы – исследование морфологии поверхности и химического состава сплава на основе Ti-Ta, сформированного на TiNi подложке аддитивным методом с использованием электронного пучка.

В работе исследовались плоские образцы сплава TiNi марки TN1. Модификация поверхностей образцов проводилась на установке «РИТМ-СП» (ИСЭ СО РАН, г.Томск). Параметры предварительной НСЭП обработки поверхности образцов TiNi:  $U=25$  кВ,  $n=32$ . Формирование поверхностного сплава Ti-Ta на подложке TiNi осуществлялось путем 20-кратного чередования магнетронного осаждения покрытия (50 нм) заданного состава  $Ti_{70}Ta_{30}$  (ат.%) и последующей НСЭП обработки системы пленка (Ti-Ta)/подложка (TiNi) в режиме плавления:  $U=15$  кВ,  $n=5$ . Исследование топографии поверхности образцов проводили на оборудовании ЦКП «НАНОТЕХ» (ИФПМ СО РАН, г. Томск): оптическом микроскопе «AXIOVERT-200MAT» (Zeiss, Германия) и оптическом интерферометре – профилометре «New View 6200» (Zygo, США). Послойный элементный анализ химического состава образцов проводили на Оже – электронном спектрометре (ОЭС) «Шхуна-2» (ТПУ, Россия).

Анализ профилей распределения элементного состава, показал, что на поверхности исходного образца TiNi концентрация титана ~21 ат.% и никеля ~3 ат.%, а кислорода ~51 ат.% и углерода ~25 ат.%. После предварительной НСЭП обработки на поверхности присутствуют: никель ~4 ат.%, титан ~34 ат.% и кислород ~48 ат.%, углерод ~14 ат.%. Формирование Ti-Ta поверхностного сплава привело к обеднению поверхности по никелю, содержание которого близко к 0 ат.% на глубине до ~20 нм. Концентрация титана, кислорода и углерода в этих образцах составляет ~41 ат.%, ~27 ат.% и 26 ат.%, соответственно.

Согласно данным оптической микроскопии и профилометрии на поверхности исходного образца TiNi наблюдаются дисперсно-распределенные частицы TiC [2], размеры которых ~10 мкм, а так же остаточные следы проката материала. Результаты измерения в двух взаимно-перпендикулярных направлениях (1-параллельно и 2-перпендикулярно направлению проката (НП)) показали, что средняя шероховатость ( $R_a$ ) и средний период ( $S_m$ ) в исходных образцах параллельно НП составляют  $R_{a1}=(0.387\pm 0.200)$  мкм,  $S_{m1}=43$  мкм, а перпендикулярно НП параметры увеличиваются практически в 2 раза:  $R_{a2}=(0.974\pm 0.176)$  мкм,  $S_{m2}=92$  мкм. Было обнаружено, что обработка поверхности НСЭП приводит к выглаживанию поверхности и удалению следов проката и частиц TiC. Достижение топографической однородности подтверждается близкими значениями параметров шероховатости:  $R_{a1}=(0.240\pm 0.069)$  мкм,  $S_{m1}=28$  мкм

#### 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

и  $R_{a2}=(0.250\pm 0.085)$  мкм,  $S_{m2}=27$  мкм. В образцах с Ti-Ta поверхностным сплавом формируется однородная поверхность по морфологическому признаку относительно исходного состояния, параметры шероховатости составляют:  $R_{a1}=(0.232\pm 0.074)$  мкм,  $S_{m1}=48$  мкм и  $R_{a2}=(0.351\pm 0.176)$  мкм,  $S_{m2}=50$  мкм.

Таким образом, в работе (1) был определен режим предварительной НСЭП обработки сплавов на основе TiNi, который приводит к топографической однородности поверхности; (2) показана возможность формирования Ti-Ta поверхностного сплава с заданным химическим составом и морфологией поверхности аддитивным методом с использованием электронного пучка.

Исследования физико-химических свойств сплава TiNi после предварительной НСЭП обработки проводились в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы (проект 23.2.1); с Ti-Ta поверхностным сплавом на подложке TiNi – при финансовой поддержке грантом РФФИ №15-13-00023 (от 18.05.2015).

#### Литература

1. Бойко В. И., Валяев А. Н., Погребняк А. Д. Модификация металлических материалов импульсными мощными пучками частиц // Успехи физической химии. – 1999. – Т. 169. – № 11. – С. 1243–1271.
2. Meisner L.L., Markov A.B., Rotshtein V.P., Ozur G.E., Meisner S. N., Yakovlev E. V., Gudimova E.Yu. Formation of microcraters and hierarchically-organized surface structures in TiNi shape memory alloy irradiated with a low-energy, high-current electron beam // AIP Conference Proceedings. – 2015. – Vol. 1683. – P. 020145(1-6).

#### STRUCTURAL DISORDER AND KINETIC PROPERTIES OF GRAPHENE AT LOW TEMPERATURES

<sup>1,2</sup>Bobenko N.G., <sup>1</sup>Egorushkin V.E., <sup>3</sup>Melnikova N.V., <sup>1,2</sup>Ponomarev A.N.,  
<sup>4</sup>Belosludtseva A.A., <sup>4</sup>Barkalov L.D.

<sup>1</sup> Institute of Strength Physics and Materials Science of SB RAS, Tomsk, Russia

<sup>2</sup> National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>3</sup> V.D. Kuznetsov Siberian Physical Technical Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia

<sup>4</sup> Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia  
nlitvin86@mail.ru

A theoretical study of the DOS, resistivity and thermal conductivity of a metallized epitaxial graphene with impurities and structural inhomogeneous of the short-range order type is performed. The authors of [1] estimated such characteristics as the electron-phonon relaxation length, the corresponding relaxation time, and the diffusion coefficient. Table 1 summarizes their