

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

3. Manninen M. On the mixture model for multiphase flow. VTT Publications 288 / M. Manninen, V. Taivassalo, S. Kallio. Technical Research Centre of Finland, Espoo, 1996.

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ  
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИЛЬНОТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ  
ПУЧКОМ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ И УПРУГО-  
НАПРЯЖЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ  
СПЛАВА TiNi**

<sup>1,4</sup>Мейснер Л.Л., <sup>1</sup>Миронов Ю.П., <sup>1</sup>Мейснер С.Н.,

<sup>1,3</sup>Ротштейн В.П., <sup>2</sup>Марков А.Б., <sup>2</sup>Яковлев Е.В..

<sup>1</sup>*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия,*

<sup>2</sup>*Институт сильноточной электроники СО РАН, Россия,*

<sup>3</sup>*Томский государственный педагогический университет, Россия*

<sup>4</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*  
*llm@ispms.tsc.ru*

Поверхностным свойствам сплавов TiNi и способам их изменения уделяется большое внимание благодаря их использованию в медицине. Поверхностные свойства металлических материалов определяются фазовыми и структурными состояниями в их объемах, однако их можно заметно улучшить путем изменения или модификации таких состояний локально в приповерхностных слоях. Эффективным способом улучшения поверхностных свойств металлических материалов является обработка их поверхности низкоэнергетическим (10-30 keV) сильноточным (10-25 кА) электронным пучком (НСЭП). Поверхностная обработка сплавов TiNi с использованием НСЭП приводит к улучшению их коррозионной стойкости, однако ухудшает механические свойства. Модифицированные НСЭП поверхностные слои TiNi являясь концентраторами упругих напряжений на микромасштабном уровне, оказывают влияние на структуру и свойства нижележащих немодифицированных слоев в десятки раз большей толщины. Поиск оптимальных режимов НСЭП-обработки сплавов TiNi, не приводящих к понижению их функциональных характеристик, остается актуальной задачей и требует системных исследований влияния отдельных параметров этих обработок на структурно-фазовые и упруго-напряженные состояния этих сплавов в зонах прямого воздействия пучком и термического влияния, а также в более глубоких слоях.

В докладе представлены результаты исследований влияния числа импульсов НСЭП-обработки поверхности TiNi сплава на структурно-фазовые и упруго-напряженные состояния в зоне облучения и под ней, а также их изменение по глубине от облученной поверхности.

Образцы размерами 10×10×1 мм приготовлены из листового проката сплава TiNi (МАТЭК-СПФ, Россия) состава Ti-50(ат.%)Ni (далее – TiNi).

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

Облучение поверхности образцов микросекундным ( $2,8 \pm 0,3$  мкс) НСЭП проводили на электронно-пучковой машине РИТМ-СП (Микросплав, Россия) в режиме поверхностного плавления при постоянной плотности энергии пучка ( $E_s = 3,9 \pm 1$  Дж/см<sup>2</sup>) и различном числе импульсов ( $n = 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128$ ).

Элементный состав на поверхности образцов определяли методами волно- и энергодисперсионной спектроскопии на растровом электронном микроскопе EVO 50 (Цейсс, Германия, ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН). Рентгенодифракционный анализ образцов проводили на дифрактометре ДРОН-7 (Буревестник, Россия). С использованием рентгеновского Co-K $\alpha$  и Cu-K $\alpha$  излучения, симметричной и асимметричной схем отражений получены дифракционные картины от слоёв различной толщины, а также кривые качания от образцов до и после НСЭП-обработки. Разделены дифракционные эффекты от зон расплава и термического влияния, составляющих модифицированный слой.

Установлено, что после воздействия НСЭП на поверхность TiNi при  $n=2$  исходное однофазное состояние в поверхностном слое с  $B2^{init}$  структурой изменяется на двухфазное  $B2^{init}+B19'$  ( $B19'$  – мартенситная фаза с моноклинной структурой). Объемная доля фазы  $B19'$  растет при увеличении числа импульсов НСЭП от  $n=2$  до  $n=8$ , а затем уменьшается. Одновременно, на дифрактограммах наблюдаются эффекты, свидетельствующие о формировании в поверхностном слое фазы со структурой  $B2^{surf1}$ , отличающейся от исходной параметром решетки и текстурой (т. кристаллизации аксиального типа с осью текстуры  $\langle 010 \rangle_{B2}$ , перпендикулярной облученной поверхности образца). С увеличением числа импульсов НСЭП от  $n=16$  наблюдается формирование в модифицированном слое фазы  $B2^{surf2}$  другой текстуры:  $\langle 010 \rangle_{B2}$ , перпендикулярна облученной поверхности. При дальнейшем росте числа импульсов она становится преобладающей. Величины рассеяния текстур в переплавленном слое  $\Delta\rho_{\langle 100 \rangle_{B2}}$  и  $\Delta\rho_{\langle 110 \rangle_{B2}}$  не превышали  $3^\circ$ .

Установлено, что под облученными поверхностями образцов TiNi формируются поля остаточных напряжений плоскостного типа: вдоль нормали к поверхности – деформация сжатия ( $\epsilon_{\perp} < 0$ ), параллельно поверхности – деформация растяжения ( $\epsilon_{\parallel} > 0$ ). Выполнены оценки деформации кристаллической решетки для всех выявленных структурных состояний фазы B2 ( $B2^{init}$ ,  $B2^{surf1}$ ,  $B2^{surf2}$ ) определены условия НСЭП обработок, обеспечивающие оптимальный уровень этих деформаций и, соответственно, остаточных упругих напряжений, индуцированных НСЭП.

Исследования выполнены в соответствии с государственным заданием (проект ФНИ 23.2.1).