

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

---

материалов с повышенными механическими характеристиками. Показана эффективность использования приемов механической активации наполнителей и совместной активации компонентов композита с целью получения материалов с повышенной износостойкостью и улучшенными физико-механическими показателями.

### **ФОРМИРОВАНИЕ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО СОСТОЯНИЯ В БИОИНЕРТНОМ НИЗКОМОДУЛЬНОМ ТИТАН-НИОБИЕВОМ СПЛАВЕ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ АБС-ПРЕССОВАНИЯ И ПРОКАТКИ**

<sup>1</sup>Ерошенко А.Ю., <sup>1,2</sup>Шаркеев Ю.П., <sup>1</sup>Глухов И.А., <sup>1</sup>Уваркин П.В.,  
<sup>3</sup>Майрамбекова А.М., <sup>1</sup>Толмачев А.И.

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

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия,*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*  
*eroshenko@ispms.tsc.ru*

В работе представлены результаты исследования микроструктуры, фазового состава, механических свойства (предел прочности, предел текучести, микротвердость) и их термической стабильности для биоинертного низко модульного сплава на основе титана и ниобия, содержащего 40-45%Nb в ультрамелкозернистом состоянии (УМЗ). УМЗ состояние в сплаве получали двухэтапным методом интенсивной пластической деформации (ИПД), который включал многократное абс-прессование по заданной схеме и многоходовую прокатку с последующим дорекристаллизационным отжигом. Перед деформационной обработкой заготовки сплава в литом состоянии отжигали при температуре 1100 °С в течение 1 часа в аргоне с последующей закалкой в воду. В ходе закалки в сплаве были сформированы зерна  $\beta$ -фазы (твердый раствор титана и ниобия с ОЦК-решеткой) с размерами 150-1700 мкм, в объеме которых присутствовали игольчатые включения метастабильной мартенситной  $\alpha''$ -фазы.

В результате двухэтапной ИПД была сформирована УМЗ структура со средним размером структурных элементов 0.3 мкм, которая обеспечивает повышение уровня механических свойств (предел прочности, предел текучести и микротвердость). Данные просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа показали, что в ходе деформационной обработки метастабильная мартенситная  $\alpha''$ -фаза трансформируется в стабильные  $\beta$ -фазу твердого раствора титана и ниобия и  $\alpha$ -фазу, а в объеме матричных зерен  $\beta$ -фазы идентифицируются выделения метастабильной наноразмерной  $\omega$ -фазы с размерами 10-20 нм.

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

---

Исследована эволюция микроструктуры и механических свойств указанного сплава в УМЗ состоянии и установлен интервал термостабильности УМЗ структуры и механических свойств. Показано, что отжиги УМЗ сплава при 350 °С и 400 °С в интервале 1-360 часов не приводят к изменению характера УМЗ структуры и росту структурных элементов  $\beta$ - и  $\alpha$ -фаз, но незначительно увеличивается размер неравновесной  $\omega$ -фазы. Наличие наноразмерной  $\omega$ -фазы положительно влияет на термостабильность УМЗ состояния при долговременном термическом воздействии. Нагрев и выдержка при 350 °С сохраняют стабильность механических свойств (микротвердости) в течение 120 часов.

Высокотемпературный отжиг при температуре 500 °С в течение одного часа способствует частичной рекристаллизации структуры без изменения фазового состава и увеличению среднего размера структурных элементов  $\beta$ -фазы и  $\alpha$ -фазы до 0.45 мкм при сохранении УМЗ состояния. В результате высокотемпературного часового отжига при 800 °С наблюдается трансформация УМЗ структуры в крупнокристаллическую с фазовым превращением по схеме  $\alpha \rightarrow \beta$  и с сохранением наноразмерной  $\omega$ -фазы в объеме  $\beta$ -зерен. Наличие наноразмерной  $\omega$ -фазы в объеме  $\beta$ -зерна при отжиге 800 °С за счет эффекта дисперсного упрочнения позволяет сохранить высокий уровень пределов текучести и прочности при предельной пластичности до 16%.

Формирование в сплаве Ti-40-45 мас.%Nb УМЗ многофазного ( $\beta + \alpha + \omega$ )-состояния со средним размером структурных элементов 0.3 мкм позволяет достичь высоких прочностных свойств (предел текучести – 920 МПа, предел прочности – 1040 МПа, микротвердость – 3000 МПа) при низком уровне модуля упругости до 65 ГПа.

Работа выполнена в рамках Программ фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, Президиума РАН, программа 35.