ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

**посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/256

**ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БИОИНЕРТНЫХ СПЛАВОВ НА
ОСНОВЕ ТИТАНА, ЦИРКОНИЯ И НИОБИЯ МЕТОДОМ ИНТЕНСИВНОЙ
ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

¹Ерошенко А.Ю., ^{1,2} Шаркеев Ю.П., ^{1,3} Химич М.А., ¹ Глухов И.А.,

¹Уваркин П.В., ^{1,3} Майрамбекова А.М., ¹Толмачев А.И.

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

²*НИ Томский политехнический университет, Томск*

³*НИ Томский государственный университет, Томск*

Сплавы систем Ti-Nb и Zr-Nb, которые содержат только биоинертные металлы, обладают высокой коррозионной стойкостью, биоинертностью, что делает их перспективными материалами для изготовления имплантатов [1,2]. Особый интерес для медицины представляют титановые β -сплавы системы Ti-Nb, которые при концентрации ниобия 40-45 вес.% имеют низкий модуль упругости (50-60 ГПа), близкий к модулю упругости кортикальной костной ткани [1]. Однако широкое применение в медицине сплавов систем Ti-Nb и Zr-Nb сдерживается их низким уровнем прочностных свойств. Известно, что формирование наноструктурного (НС) и /или ультрамелкозернистого (УМЗ) состояния в металлах и сплавах методами интенсивной пластической деформации (ИПД) способствует увеличению прочности в сплавах и чистых металлах. НС и УМЗ состояние в металлических материалах, сформированное ИПД, представляет сложную комплексную микроструктуру, имеющую свои особенности (малый размер зерна субмикро- и нанопорядка, низкая плотность свободных дислокаций, наличие преимущественно большеугловых границ зерен и неравновесное состояние их границ) [3]. В связи с этим актуальными являются вопросы, связанные с исследованием микроструктуры, механических свойств и термической стабильности в широком температурном интервале таких материалов, что позволяет определить их область практического применения.

В работе представлены результаты исследования микроструктуры, фазового состава, механических свойств УМЗ сплавов на основе титана, ниобия и циркония. В качестве материала исследования были выбраны бинарные сплавы следующих составов: Ti-45 вес.% Nb (Ti-45Nb) и Zr-1 вес.% Nb (Zr-1Nb) в УМЗ состоянии. УМЗ структуру в сплавах формировали комбинированным методом интенсивной пластической деформации, который включал абс-прессование и многоходовую прокатку в ручьёвых валках при комнатной температуре с последующим дорекристаллизационным отжигом [4,5]. В сплаве Ti-45Nb УМЗ структура (средний размер структурных элементов – 0,25 мкм) имеет многофазное строение, представленное субзернами β -фазы, в объеме которых присутствуют наночастицы ω -фазы, и субзернами α -фазы. Микроструктура сплава Zr-1Nb состоит из матричных субзерен фазы α -Zr со средним размером структурных элементов 0,2 мкм и наночастиц второй фазы β -Nb.

Показано, что сформированная комбинированным методом ИПД УМЗ структура в сплавах Ti-45Nb и Zr-1Nb способствовала значительному повышению уровня механических свойств (микротвердость, пределы прочности, текучести и усталости) при сохранении низкого модуля упругости.

Получены экспериментальные данные по термостабильности УМЗ состояния для сплавов Ti-45Nb и Zr-1Nb в диапазоне температур 400-800 °С и временном диапазоне отжигов 1-360 часов. Установлено, что низкотемпературные отжиги сплава Ti-45Nb при 350 °С и 400 °С в интервале 1-360 часов не приводят к изменению характера УМЗ структуры и росту структурных элементов матричной β -фазы и α -фазы при некотором увеличении размера частиц неравновесной ω -фазы. Для сплава Zr-1Nb УМЗ структура стабильна при отжиге 400 °С до 10 часов с сохранением достигнутого при ИПД уровня микротвердости. При более длительных временах отжига в интервале 24-360 часов в сплаве Zr-1Nb имеют место интенсивные рекристаллизационные процессы, сопровождающиеся ростом элементов

структуры. При температурах выше 500 °С в течение 1 часа для сплавов Ti-45Nb и Zr-1Nb наблюдается тенденция к активному росту размера структурных элементов и существенному падению механических свойств с трансформацией УМЗ структуры в крупнокристаллическое состояние.

Для сплавов Ti-45Nb и Zr-1Nb получены зависимости предела текучести и микротвердости от характерного размера элементов зеренно-субзеренной структуры $d^{-1/2}$, на основе соотношения Холла-Петча с учетом фазового состава. Показано, что для сплава Zr-1Nb зависимость предела текучести от размера зерна в степени $-1/2$ является линейной во всем исследуемом интервале размеров зерен от ультрамелкозернистого до мелкозернистого состояния (0,2-1,9) мкм. Для сплава Ti-45Nb в диапазоне размеров структурных элементов от 0,25 до 0,43 мкм зависимость предела текучести от размера зерна в степени $-1/2$ имеет линейный характер. В сплаве Ti-45Nb выявлена переходная зона в интервале структурных элементов от 0,43 до 1,3 мкм с многофазной зеренно-субзеренной структурой, характеризующаяся трансформацией УМЗ состояния в мелкозернистое состояние и фазовым переходом по схеме $\alpha \rightarrow \beta$.

Биоинертные УМЗ и термически стабильные в интервале температур от комнатной до 350 °С сплавы на основе титана, ниобия и циркония, в том числе, с низкими значениями модуля упругости являются перспективными материалами для медицинских приложений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект III.23.2.2.

- 1 Niinomi M., Liu Y., Nakai M., Liu H., Li H. Biomedical titanium alloys with Young's moduli close to that of cortical bone // Regen. Biomater. 2016. No. 3 No. 3. P. 173-185.
- 2 Cionca N., Hashim D. Mombelli A. Zirconia dental implants: where are we now, and where are we heading? // Periodontol 2000. 2017. Vol. 73, 201. P. 241-258.
- 3 A.M. Glezer, E.V. Kozlov, N.A. Koneva, N. A. Popova ,I. A. Kurzina. Plastic Deformation of Nanostructured Materials. CRC Press Taylor &Francis Croup, Boca Raton, 2017. p. 334.
- 4 Yu.P. Sharkeev, A.Yu. Eroshenko, V.I. Danilov, A.I. Tolmachev, P.V. Uvarkin, Yu.A. Abzaev. Microstructure and Mechanical Properties of Nanostructured and Ultrafine-Grained Titanium and the Zirconium Formed by the Method of Severe Plastic Deformation. Russian Physics Journal. 2014. Vol. 56 (10). P. 1156-1162.
- 5 Sharkeev Y.P., Eroshenko A.Y., Danilov V.I., Glukhov I.A., Tolmachev A.I. Production of ultrafine-grain bioinert alloys. Steel in Translation. 2015. Vol. 45. № 2. P. 116-119.