

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТИ НИЗКОМОДУЛЬНОГО СПЛАВА Ti-40 мас. %Nb В УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОМ СОСТОЯНИИ

*А.Н. ЕМЕЛЬЯНОВ<sup>1</sup>, А. МАЙРАМБЕКОВА<sup>2</sup>, И.А. ГЛУХОВ<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

<sup>3</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

e-mail: ane1@tpu.ru

В настоящее время успешное применение в медицине находят вентильные биоинертные металлы – титан, цирконий, ниобий и их сплавы. Титан и его сплавы широко используются в качестве материалов для медицинских имплантатов из-за их хорошей биосовместимости, высокой коррозионной стойкости и хороших механических свойств. Однако, модуль упругости у титана и титановых сплавов медицинского назначения находится в пределах 100-120 ГПа, что значительно выше модуля упругости костной ткани (15-55 ГПа) [1]. Низкий модуль упругости материала имплантата, сопоставимый с модулем упругости для костной ткани, позволяет осуществлять равномерное распределение деформаций и механических напряжений в системы «кость-имплантат». В качестве материала имплантата представляет наибольший интерес применение биоинертных титановых  $\beta$ -сплавов, например, сплавов систем Ti-Nb или Ti-Nb-Zr с низким модулем упругости. Легирование титана ниобием до 40-45 мас. % позволяет уменьшить модуль упругости до 55 ГПа, что сопоставимо с модулем упругости кости, но при этом происходит снижение прочностных характеристик [2]. Формирование в биоинертных сплавах наноструктурного (НС) и ультрамелкозернистого (УМЗ) состояния методами интенсивной пластической деформации (ИПД) позволяет решить данную проблему и получать, в итоге, заготовки и изделия со значительно более высокими механическими свойствами.

Целью работы являлось исследование термостабильности структуры УМЗ сплава (Ti-40 мас. %Nb) в различных сечениях образцов.

В качестве материала исследования был выбран сплав Ti-40 мас. % Nb (Ti40Nb). Перед деформационной обработкой заготовки сплава Ti40Nb в литом состоянии отжигали при температуре 1100 °С в течение 1 часа в аргоне с последующей закалкой в воду. После закалки микроструктура сплава Ti40Nb состояла из матричных  $\beta$ -зерен с размерами 120-650 мкм и  $\alpha$ '-мартенсита. Для формирования УМЗ структуры в исследуемых сплавах применяли комбинированный двухэтапный метод ИПД, состоящий из многократного *abc*-прессования на гидравлическом прессе МИСС 6000 и многоходовой прокатки на прокатном стане с последующим рекристаллизационным отжигом [3]. В результате прокатки получали заготовки в форме прутков с размерами поперечного сечения (6×6×300) мм. Для снятия внутренних напряжений и повышения пластичности готовые прутки Ti40Nb отжигали при температуре 350 °С в течение одного часа. Исследование термостабильности проводилось на основе фотографий структуры, полученных на электронном микроскопе JEOL JEM-2100. Исследованы образцы после обжига при температурах 400, 500, 600 и 700 °С и времени выдержки при данных температурах один час.

Комбинированным методом ИПД в сплаве Ti40Nb было сформировано ультрамелкозернистое состояние со средним размером структурных элементов 0,20 мкм в поперечном сечении и 0,35 мкм в продольном сечении.

Результаты обработки фотографий микроструктуры приведены на рисунке 1. На нем приведены графики изменения размера зерен (а) и коэффициентов их неравноосности (б) в зависимости от температур примененных отжигов.

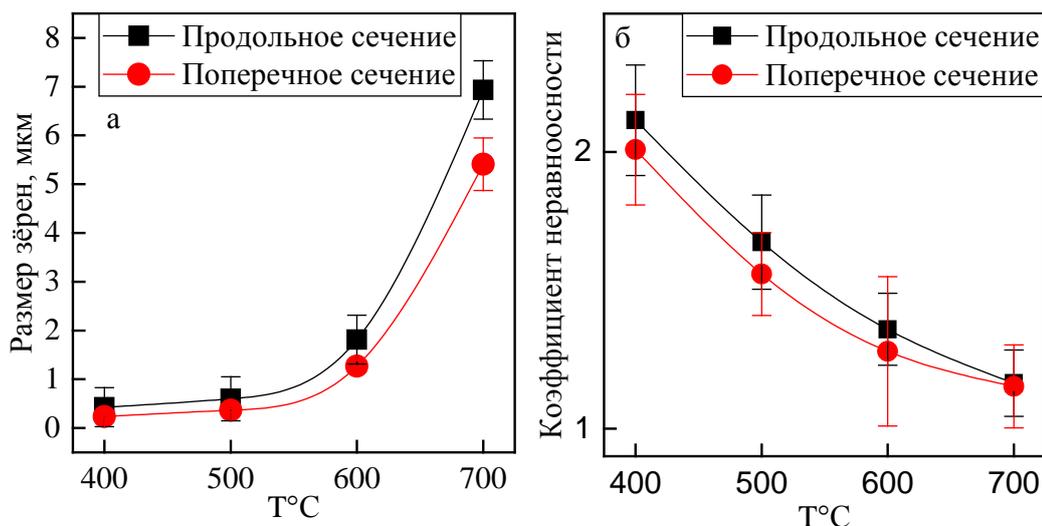


Рисунок 1 – Распределение зерен по размерам (а) и их равноосность (б) по различным сечениям

Показано, что после отжигов при температурах 400°C, 500°C сохраняется УМЗ состояние. При этом средний размер зерен в поперечном сечении прутков составил 0,23 мкм и 0,36 мкм, а в продольном – 0,43 мкм и 0,6 мкм соответственно. После отжигов при температурах 600°C, 700°C наблюдаются существенный рост размеров зерен. Средний размер элементов структуры составляет 1,26 мкм и 5,40 мкм для поперечного сечения; 1,81 мкм и 6,93 мкм для продольного сечения прутков соответственно. Таким образом, структура образцов после данных отжигов, согласно известной классификации, к УМЗ состоянию не относится.

Из рисунка 1.б видно, что отжиги приводят к получению более однородной структуры (нормализации), т.е. коэффициенты неравноосности элементов структуры стремятся к 1, при котором зерна будут равноосными.

Граница термостабильности УМЗ структуры сплава Ti40Nb составляет 500°C. Отжиги при большей температуре приводят к значительной рекристаллизации образца. При этом коэффициент неравноосности стремится к 1.

#### Список литературы

1. Yurii P. Sharkeev, Anna Yu. Eroshenko, Ivan A. Glukhov, Zeming Sun, Qifang Zhu, Vladimir I. Danilov and Alexei I. Tolmachev. Microstructure and Mechanical Properties of Ti-40 mass % Nb Alloy after Megaplastic Deformation Effect // AIP Conference Proceedings. 2015, 1683, 020206-1–020206-4
2. Valiev R.Z., Zhilyaev A.P., Langdon T.G. Bulk Nanostructured Materials: Fundamentals and Applications // Publ. Wiley and TMS, Hoboken, USA, 2014. P.456.
3. Sharkeev Y.P., Eroshenko A.Y., Glukhov I.A., et al. Microstructure and mechanical properties of Ti-40 mass % Nb alloy after megaplastic deformation effect. AIP Conf. Proc. New York: AIP Publishing LLC. 2015; 1683: 020206.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН; Программы фундаментальных исследований СО РАН, 2013 – 2016гг., проект III.23.2.2.*