

**ФОРМИРОВАНИЕ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ В СПЛАВЕ Ti-45 МАС.% Nb
МЕТОДОМ АВС-ПРЕССОВАНИЯ И ПРОКАТКИ ПО РАЗЛИЧНЫМ
ДЕФОРМАЦИОННЫМ РЕЖИМАМ**

А.С. Грибкова¹, А.М. Майрамбекова²

Научный руководитель: с.н.с., к.т.н. А.Ю. Ерошенко³

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

²Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

³Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

E-mail: asg41@tpu.ru

**FORMATION OF ULTRAFINE-GRAINED STRUCTURE IN Ti-45 WT. %Nb ALLOY BY ABC-
PRESSING AND ROLLING METHOD WITH DIFFERENT DEFORMATION REGIMES**

A.S. Gribkova¹, A.M. Mayrambekova²

Scientific Supervisor: Researcher., Dr. A.Yu. Eroshenko³

¹National research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

²National research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

³Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia, Tomsk, pr. Akademicheskii, 2/4, 634055

E-mail: asg41@tpu.ru

Abstract. *The investigation results of microstructure, phase composition, mechanical properties (microhardness) of bioinert binary alloys Ti-45 wt. %Nb (Ti-45Nb) in ultrafine-grained state were represented. The ultrafine-grained structure was produced by two-stage severe plastic deformation (SPD) method, which included the multiple abc-pressing and multi-pass rolling in grooved rolls for various deformation modes. The ultrafine-grained structure with average structural elements size of 0,15 μ m is formed in alloys as a result of SPD included 9 abc-pressing and the multi-pass rolling of the alloy in the initial state. Ultrafine-grained structure provides high level of mechanical properties (microhardness).*

Введение. Создание биоинертных имплантатов для замены костных тканей является актуальной задачей в ортопедии и стоматологии. На данный момент отдается предпочтение сплавам для изготовления имплантатов на основе титана, легированных биоинертными металлами, такими как ниобий, тантал, цирконий с низким модулем упругости (45-60 ГПа), сопоставимым с модулем упругости костной ткани. Модуль упругости технически чистого титана и титановых сплавов, таких как Ti-6Al-4V и Ti-6Al-7Nb, широко применяемых в медицине, находится в пределах 100-120 ГПа, что значительно выше модуля упругости кости (15-55 ГПа) [1]. Низкий модуль упругости имплантата позволяет равномерно распределять механические напряжения и деформации в системе «кость-имплантат». Легирование титана ниобием до 40-45 мас. % позволяет уменьшить модуль упругости до 55 ГПа, но при этом происходит снижение и прочностных характеристик [2]. Формирование в биоинертных сплавах

наноструктурного (НС) и ультрамелкозернистого (УМЗ) состояния методами интенсивной пластической деформации (ИПД) позволяет решить данную задачу и получать изделия со значительно более высокими механическими свойствами и низким модулем упругости.

В работе проведено исследование микроструктуры и механических свойств сплава системы Ti-45 мас.% Nb в УМЗ состоянии, сформированного комбинированным методом интенсивной пластической деформации, включающим abc-прессование и прокатку для различных деформационных режимов и исходных состояний сплава.

Экспериментальная часть. В качестве материала исследования был выбран сплав Ti-45 мас. %Nb (Ti-45Nb). Были исследованы образцы сплава в состоянии поставки и образцы после отжига при 1100 °С в течении 1 часа с последующей закалкой в воду. Для формирования УМЗ структуры в заготовках сплава в исходном состоянии и после закалки применяли комбинированный двухэтапный метод ИПД, состоящий из abc-прессования в интервале температур 500-400 °С и многоходовой прокатки [3]. На этапе прессования применяли одно-или трехкратное прессование при заданной температуре. Число прессований составило три или девять. В результате комбинированного ИПД были получены прутки с размерами 6×6×200 мм³. Исследование микроструктуры проводили методами оптической и электронной просвечивающей микроскопии. Микротвердость измеряли на микротвердомере Duramin – 5 при нагрузке 1 Н. Микроструктурные исследования и измерения микротвердости были выполнены для поперечного сечения прутка. Для измерения размера элементов структуры (зерна, субзерна, фрагменты) применяли метод секущих.

Результаты. На рис. 1а представлено оптическое изображение микроструктуры сплава в исходном состоянии. В структуре сплава наблюдаются полиэдрические зерна, средний размер которых составил 11 мкм. На рис. 1б изображена микроструктура сплава после закалки. В структуре сплава наблюдаются равноосные зерна со средним размером зерна 114 мкм.

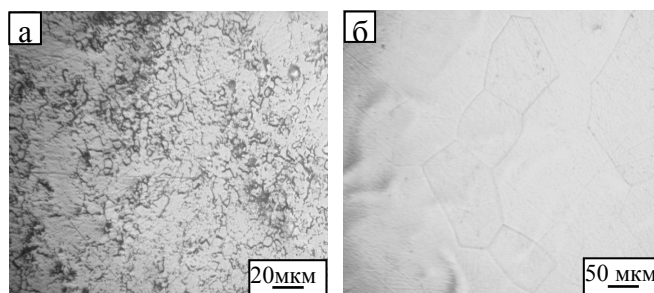


Рис. 1. Оптическое изображение микроструктуры сплава Ti-45 мас. %Nb в исходном состоянии: а - состояние поставки; б - в состоянии после закалки

В результате ИПД по всему объему заготовки сплава Ti-45Nb было сформировано УМЗ состояние (рис. 2). На светлопольных изображениях наблюдалось два типа элементов структуры. В структуре наблюдаются более крупные субзерна β -фазы и более мелкие субзерна α -фазы. Субзерна α -фазы находятся по границам и на стыках элементов структуры β -фазы. В объеме субзерен β -фазы локализованы эллипсоидные частицы ω -фазы с размерами 10 нм. На микродифракциях (рис. 2 а,б) наблюдаются рефлексы, расположенные по окружностям, что может указывать на измельчение структуры, и это свидетельствует о наличии субзерен с большеугловыми разориентировками.

Значения средних размеров структурных элементов и микротвердости сплава *Ti-45 мас.% Nb*, сформированного комбинированным методом интенсивной пластической деформации, включающим abc-прессование и прокатку для различных деформационных режимов и исходных состояний сплава представлены в таблице 1.

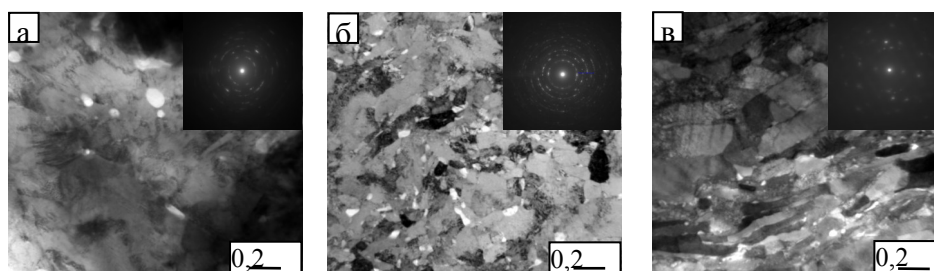


Рис. 2. Светлопольные электронно-микроскопические изображения сплава *Ti-45 мас.% Nb*: а- после режима 3abc-прессования и прокатки в исходном состоянии; б- после режима 9abc-прессования и прокатки в исходном состоянии; в- после режима 3abc-прессования и прокатки после закалки

Таблица 1

Микротвердость и размер структурных элементов сплава *Ti-45 мас. % Nb* в УМЗ состоянии для различных деформационных режимов

Режим деформаций	В исходном состоянии	В состоянии закалки	3 abc-прессование с прокаткой в исходном состоянии	3 abc-прессование с прокаткой в закаленном состоянии	9 abc-прессование с прокаткой в исходном состоянии
Микротвердость, МПа	1690	1720	2370	2400	2500
Размер структурных элементов, мкм	11±5	114±20	α-фаза 0.043 β фаза 0.18	α-фаза 0,0558 β-фаза 0,33	α-фаза 0.041 β-фаза 0.15

Заключение. В результате комбинированной ИПД для всех выбранных деформационных режимов и различных исходных состояний в сплаве *Ti-45 мас. % Nb* формируется УМЗ структура, представленная субзернами α- и β-фаз. Внутри субзерен β-фазы наблюдаются наночастицы ω-фазы. Применение режима ИПД, включающего 9 abc-прессование и последующую прокатку сплава в исходном состоянии позволяет повысить эффективность измельчения структурных элементов до 0,15 мкм. При этом уровень микротвердости достигает максимальной величины, равной 2500 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abdel-Hady Gepreel M., Niinomi M. Biocompatibility of Ti-alloys for long-term implantation // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. 2013 – Т. 20 – С.407-415
2. Valiev R.Z., Zhilyaev A.P., Langdon T.G. Bulk Nanostructured Materials: Fundamentals and Applications/ под редакцией John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA – TMS, 2014. – С. 456
3. Sharkeev Y.P., Eroshenko A.Yu., Glukhov I.A., Zhu Qi., Tolmachev A. I. Microstructure and mechanical properties of Ti-40 mass % Nb alloy after severe plastic deformation. // Physical Mesomechanics of Multilevel Systems. - 2014. – Т. 1623 - С. 567-570