

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ДЕФОРМИРОВАННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ ТИТАН

Л. Р. РЕЗЯПОВА¹, Р. Р. ВАЛИЕВ², Е. В. САФРОНОВА³

¹ luiza.rezyapova.97@mail.ru, ² rovaliev@gmail.com

^{1,3} ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

² Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация. В данной работе проведено исследование эволюции структуры ультрамелкозернистого (УМЗ) титана в интервале температур 500-900 °С после равноканального углового прессования по схеме конформ (РКУП-К) и волочения. Установлено изменение размера зерна и фазового состава при старении УМЗ материала с изменением температурного режима. Наибольшее значение микротвердости 295 ± 10 НВ достигнуто в интервале температур 700-800 °С. В результате увеличения температуры старения до 900 °С в титане прошла полная рекристаллизация и средний размер зерен составил 24 мкм.

Ключевые слова: титан; РКУП-Конформ; волочение; термическая обработка; Ti-Grade 4; ультрамелкозернистая структура; УМЗ материалы.

Титановые сплавы являются наиболее привлекательными металлическими материалами для биомедицинских применений [1]. Обладая исключительной биосовместимостью, чистый титан признан лучшим материалом для имплантатов. Однако его механические характеристики ниже чем в титановых сплавах, в связи с этим в последние годы уделяется большое внимание новым подходам к повышению прочностных свойств, за счет формирования ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры методами интенсивной пластической деформации (ИПД) [2]. Среди различных методов ИПД, одним из наиболее эффективных методов является равноканальное угловое прессование (РКУП) по схеме конформ, позволяющее формировать УМЗ структуру в титане и повышать его прочность в форме длинномерных прутков [2,3]. УМЗ материалы демонстрируют значительное повышение прочности, сверхпластичного поведения и в некоторых случаях улучшенную биосовместимость.

В данной работе исследовали эволюцию структуры УМЗ титана Grade 4 после термической обработки в интервале температур 500-900 °С после равноканального углового прессования (РКУП) по схеме Конформ и волочения. Дальнейшее исследова-

ние в просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) выявило наличие частиц вторых фаз.

С помощью оптико-эмиссионного анализа исследовали химический состав исследуемого Ti-Grade 4 (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав Ti-Grade 4

Ti	Fe	Si	Mn	Cr	Ni	Al
Осн.	0,172	0,012	0,003	0,007	0,003	0,005
V	Sn	Pd	C	Cu	B	Co
0,002	0,019	0,004	0,066	0,004	0,002	0,011

Методом РКУП-конформ были получены прутки технически чистого титана Grade 4 с профилем 11×11 мм после 6 проходов (Тоснастки=250 °С; Тзаготовки=250 °С). После дальнейшего волочения был изготовлен пруток с круглым сечением диаметром 8 мм.

Структуры материала прутка исследованы с помощью оптической микроскопии.

После деформации в материале образовалась УМЗ структура ($d = 0,16$ мкм), которая является стабильной до 500 °С. Нагрев образцов до 600 °С привел к началу роста зерен и образованию полосовой структуры вдоль направления волочения. При повышении температуры происходит дальнейший рост и при 900 °С средний размер зерен составил 22 ± 3 мкм (рис. 1).

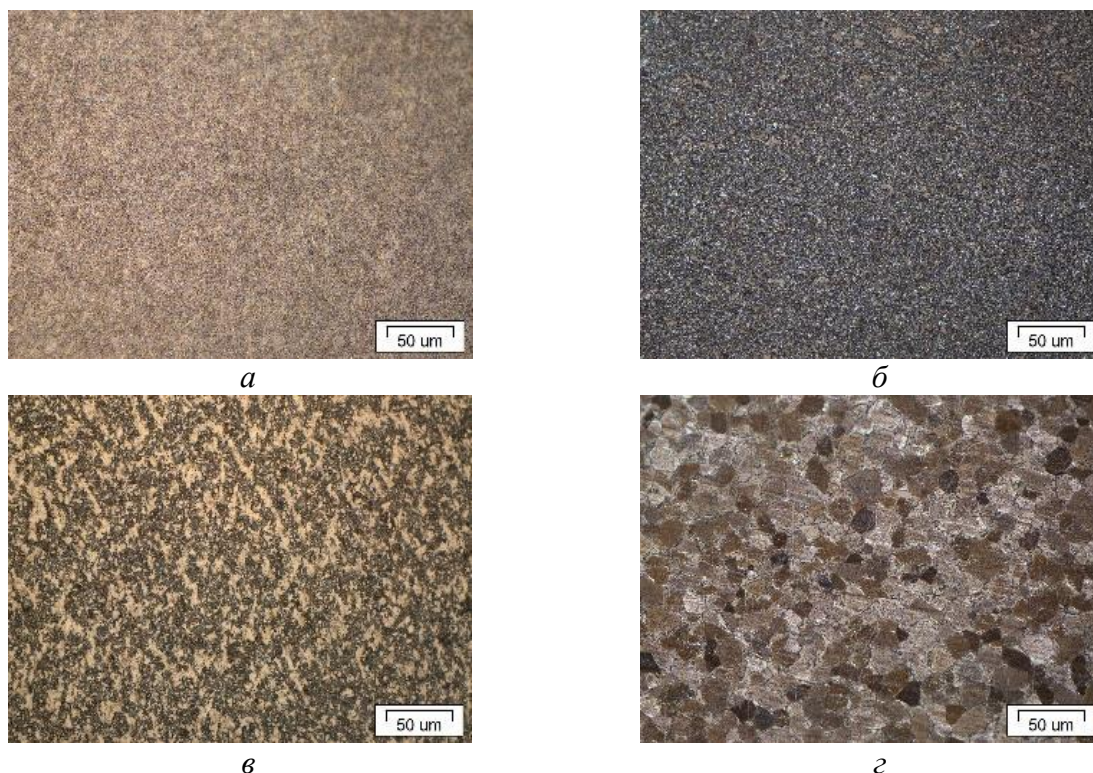


Рис. 1. Микроструктура Ti-Grade 4 в различных состояниях:
а – после РКУП-К и волочения; *б* – после РКУП-К и волочения+500 °С;
в – после РКУП-К и волочения+600 °С; *г* – после РКУП-К и волочения+900 °С

Измерения микротвердости проводились на приборе «Dugamín» путем вдавливания стандартной алмазной пирамидки с квадратным основанием и углом при вершине 136 ° при нагрузке 100г и ее длительности приложения 10 секунд.

Микротвердость непрерывно падает при температурах до 650 °С и ее среднее значение 268 ± 15 HV. Наибольшее значение достигнуто в интервале температур отжига 700–800 °С, которое составляет 295 ± 10 HV. Снижение микротвердости до 258 ± 10 HV при температурах более 800 °С вызвано сильным ростом зерен.

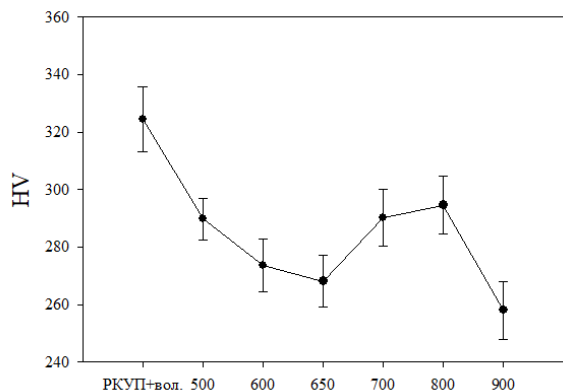


Рис. 2. Микротвердость Ti-Grade 4 после РКУП-К-волочения и отжига при различных температурах

При помощи просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) были исследованы образцы в исходном состоянии и после отжига 700 и 800 °С. На снимках видны частицы вторых фаз, расположенные на границах зерен и в виде скоплений по всему объему (рис. 3). Размеры частиц варьируются от 0,03 до 0,13 мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Установлено, что после отжига при температурах от 600 ° и выше в Ti-Grade 4, подвергнутого обработке РКУП_К и волочению происходит значительный рост размера зерна с 0,16 мкм до 24 мкм при 900 °С.

2) Максимальная микротвердость 295 ± 10 HV достигнута после термообработок в интервале температур 700–800 °С. Такое изменение микротвердости связано с выделением частиц вторых фаз на границах зерен в интервале 700–800 °С, что свидетельствует о том, что в материале прошел процесс старения.

3) Выделение мелкодисперсных частиц вторых фаз на границах и в теле зерна в интервале 700–800 °С подтверждено прямыми наблюдениями в ПЭМ.

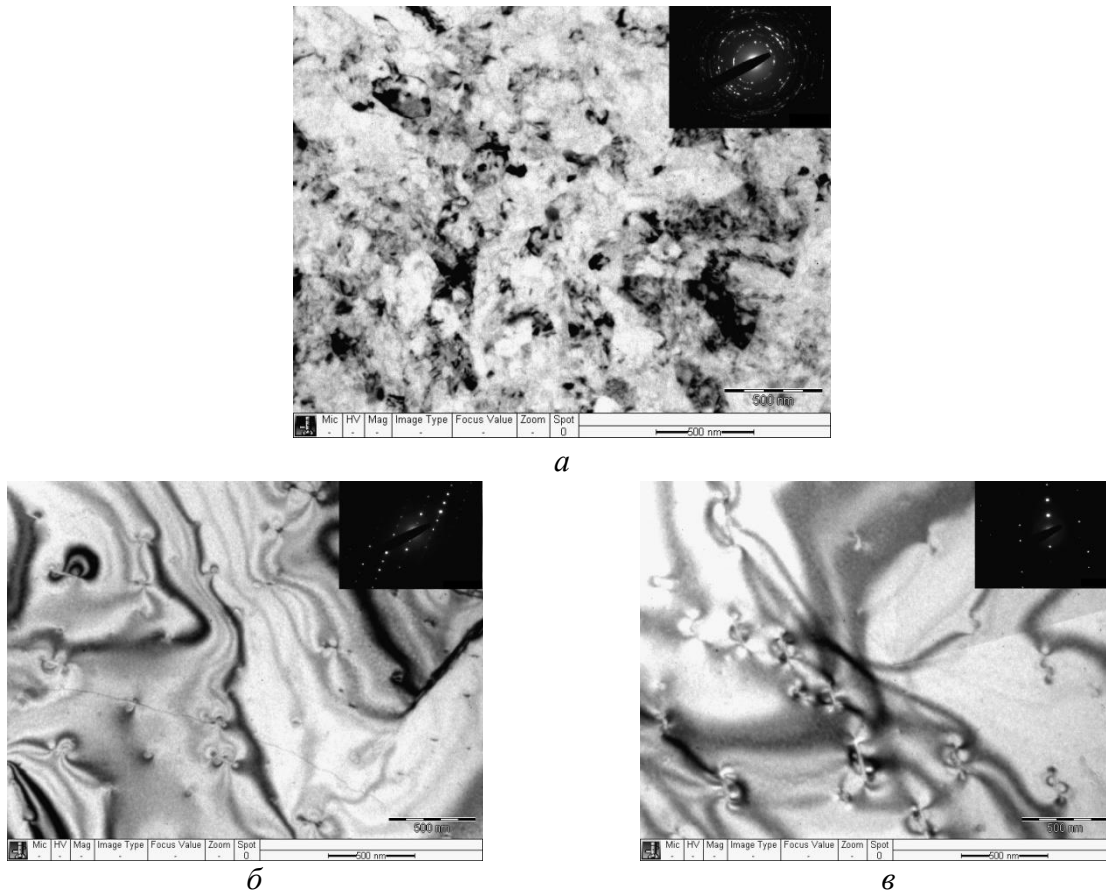


Рис. 3. Микроструктура Ti-Grade 4, наблюдаемая в ПЭМ, в различных структурных состояниях:
 а – после РКУП-К и волочения; б – после РКУП-К и волочения +700 °С; в – после РКУП-К и волочения +800 °С

Авторы благодарят сотрудников центра коллективного пользования «Нанотех», Уфимский государственный авиационный технический университет, за помощь в проведении научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Elias S.N., Lima J.H.C., Valiev R.Z., Meyers M.A. Biomedical applications of titanium and its alloys // JOM 60 (3). 2008. P. 46-49. [S.N. Elias, J.H.C. Lima, R.Z. Valiev, M.A. Meyers, "Biomedical applications of titanium and its alloys" JOM 60 (3), 2008, pp. 46-49.]
2. Валиев Р.З. Объемные наноструктурные материалы: фундаментальные основы и применения/ Р.З. Валиев, А.П. Жилиев, Т. Дж. Лэнгдон. СПб.: Эко-Вектор, 2017. 479 с. [R.Z. Valiev, Bulk nanostructured materials: fundamental principles and applications, (in Russian). St. Petersburg: Eco-Vektor, 2017.]
3. Raab G. J, Valiev R.Z., Lowe T.C., Zhu Y.T. Continuous processing of ultrafine grained Al by ECAP-Conform // Materials Science and Engineering: A, 382(1-2). 2004. P. 30-34. [G.J. Raab, R.Z. Valiev, T.C. Lowe, Y.T. Zhu, "Continuous processing of ultrafine grained Al by ECAP-Conform" Materials Science and Engineering: A, 382(1-2), 2004, pp. 30-34.]
4. Dyakonov G. S., Mironov S., Semenova I.P., Valiev R.Z., Semiatin S.L. Annealing behavior of severely-deformed titanium Grade 4// Materials Science and Engineering: A. 2019. V. 742. P. 89-101. [G.S. Dyakonov, S. Mironov, N. Enikeev,

I.P. Semenova, R.Z. Valiev, S.L. Semiatin " Annealing behavior of severely-deformed titanium Grade 4" Materials Science and Engineering: A. 2019, vol . 742, pp. 89-101.]

ОБ АВТОРАХ

РЕЗЯПОВА Луиза Рустамовна, аспирант 1-го курса обучения, Инженер лаборатории ЦКП «Нанотех» УГАТУ. Диплом магистр по направлению материаловедение и техн. мат-лов (УГАТУ, 2019).

ВАЛИЕВ Роман Русланович, мл. науч. сотр. НИИ ФПМ УГАТУ. Диплом инженер по машинам и технологиям высокоэффективных процессов обработки (УГАТУ, 2009). Канд. техн. наук (2018г.) по специальности 05.16.08 - Нанотехнологии и наноматериалы (металлургия и материаловедение). Иссл. в обл. объемных наноструктурных металлов и вакуумно-плазменных защитных покрытий.

САФРОНОВА Елена Витальевна, магистр 1-го курса. Диплом бакалавр по направлению материаловедение и техн. мат-лов (УГАТУ, 2019).

METADATA

Title: Influence of heat treatment on deformed technically pure titanium

Authors: L. R. Rezyapova¹, R. R. Valiev², E. V. Safronova³

Affiliation:

^{1,3} Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

² St Petersburg University (SPBU), Russia.

Email: ¹ luiza.rezyapova.97@mail.ru, ² rovaliev@gmail.com

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (22), pp. 120-123, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: In this paper research conducted the evolution of the structure of ultrafine-grained (UFG) titanium in the temperature range 500–900 °C after equal-channel angular pressing (ECAP) and drawing. The change in grain size and phase composition during aging of the UFG material with a change in temperature was established. The highest microhardness value of 295 ± 10 HV was achieved in the temperature range of 700-800 °C. As a result of an increase in the aging temperature to 900 °C, complete recrystallization took place in titanium and the average grain size was 24 μm .

Key words: titanium, ECAP-Conform, heat treatment, Ti-Grade 4, ultra-fine grain, UFG materials.

About authors:

REZYAPOVA, Luiza Rustamovna, Postgrad. (PhD) Student, Dept. of Materials Science and Engineering.

VALIEV, Roman Ruslanovich, Ph.D. in Engineering Science (USATU, 2018).

SAFRONOVA, Elena Vitalievna, Grandmaster, Dept. Materials Science and Engineering.