

МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО СПЛАВА ВТ8М-1 ПРИ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ И ОТЖИГАХ

А. Р. Ибатуллин¹, Г. С. Дьяконов²

¹ ask_ibat@mail.ru, ² dgr84@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. В данной работе исследовано влияние отжигов на микроструктуру ультрамелкозернистых заготовок, которые были получены в ходе изотермической деформации при $T=780^{\circ}\text{C}$. Перед изотермической деформацией сплав ВТ8М-1 подвергался ротационной ковке (РК). Было показано, что РК приводит к образованию ультрамелкозернистой структуры в сплаве. Измерения микротвердости показали, что термообработка ультрамелкозернистых заготовок позволяет повысить их микротвердость.

Ключевые слова: титановый сплав ВТ8М-1; ротационная ковка; УМЗ структура; отжиг; микротвердость.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно наибольшую долю в общем объеме конструкционных материалов составляют металлические, а затем керамические, полимерные и композиционные материалы. Металлические материалы обладают наилучшим соотношением между прочностью и пластичностью, возможностью регулирования этого соотношения путем изменения состава и технологических методов воздействия на структуру и фазовый состав и, соответственно, на конструкционную прочность, что в конечном итоге определяет выбор их применения в конкретных конструкциях. К основным требованиям современных технологий относят снижение массы таких конструкций, с сохранением или повышением прочности материала. Такие методы деформационно-термической обработки как ротационная ковка позволяют деформировать заготовку, достигая необходимых высоких степеней деформации и уменьшать размер зерен. Формирование такой измельченной структуры позволяет получить материал с очень высокими прочностными свойствами. Дальнейшая термообработка такого дефор-

мированного материала также позволяет изменить его свойства. Поэтому в данной работе рассмотрена эволюция ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры титанового сплава ВТ8М-1 при горячей деформации и последующих отжиге, также проанализировано влияние отжигов на микротвердость УМЗ сплава.

МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом, используемым в данной работе, был титановый сплав ВТ8М-1, химический состав представлен в таблице 1. Исходная структура сплава глобулярно-пластинчатая, средний размер первичной альфа фазы 3 мкм, средняя толщина пластин альфа и бета фаз 0,2 мкм.

Исследуемые состояния сплава ВТ8М-1:

Сплав ВТ8М-1 после ротационнойковки (РК);

Сплав ВТ8М-1 после ротационнойковки и последующей изотермической деформации при $T=780^{\circ}\text{C}$ (РК+ИД).

Для исследования микроструктуры сплава проводилась механическая обработка поверхности и последующая электролитическая полировка. Такой вид полировки

необходим для успешного исследования материала методом оптической и сканирующей микроскопии. Преимуществом такой полировки, по сравнению с механической, является удаление микрошероховатостей и остатков абразива после механической обработки. Термообработку проводили в муфельной печи Nabertherm. Микроструктуру сплава исследовали при помощи оптического микроскопа Olympus GX51 и сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6390.

ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА ПОСЛЕ РК

После того как сплав подвергли обработке методом РК зерна первичной альфа фазы заметно вытянулись в направлении вытяжки и приобрели искривленную форму в поперечном сечении. Подобная морфология зерен первичной альфа фазы обусловлена особенностями пластического течения материала при ротационной ковке. Видно, что после РК формируется однородная по сечению структура (рис. 1). Обработка сплава методом РК приводит к формированию ультрамелкозернистой структуры со средним размером зерен первичной альфа фазы $\sim 2,5$ мкм и вторичными зернами размером 0,3 мкм. Пластинчатая альфа и бета фаза фрагментируется с последующим образованием мелких глобул. Глобуляризация пластинчатой составляющей происходит по механизму образования и роста канавок [1]. Размер образовавшихся глобул вторичной альфа фазы составляет около 0,3 мкм. На изображении видно преобладание зерен первичной альфа фазы в структуре (рис. 1). Объемная доля первичной альфа фазы составляет примерно 58%.

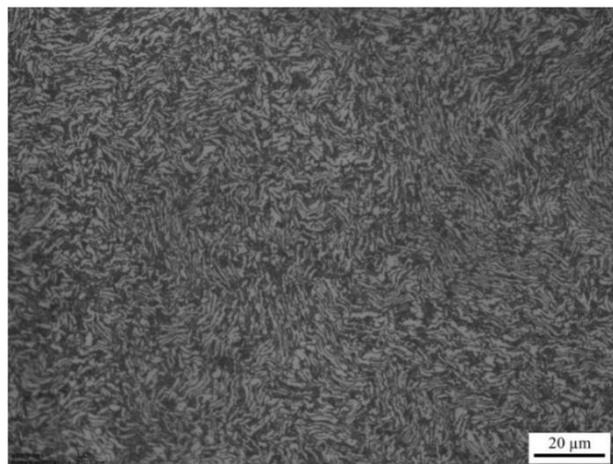


Рис. 1. Макроструктура сплава VT8M-1 после ротационнойковки, поперечное сечение прутка, оптическая микроскопия

АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА VT8M-1 ПОСЛЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ТЕРМООБРАБОТКИ

После РК для придания формы заготовка деформировалась в изотермических условиях при температуре $T=780^{\circ}\text{C}$. Горячая изотермическая деформация УМЗ сплава привела к развитию рекристаллизации зерен вторичных альфа и бета фаз. Их размер увеличился до 0,7 мкм. Далее УМЗ заготовки подвергались отжигам при $T=500^{\circ}\text{C}$ и 600°C .

Изотермическая деформация при $T=780^{\circ}\text{C}$ и последующая термическая обработка привели к некоторым изменениям микроструктуры УМЗ титанового сплава VT8M-1 (рис. 2 и 3).

Видно, что после деформации при $T=780^{\circ}\text{C}$ и термической обработке $T=500^{\circ}\text{C}$ размер зерен первичной фазы увеличился до ~ 4 мкм (рис. 2). Объемная доля светлой первичной альфа фазы практически не изменилась и составляет около 55%. На изображении микроструктуры видно также увеличение размеров глобул вторичной фазы.

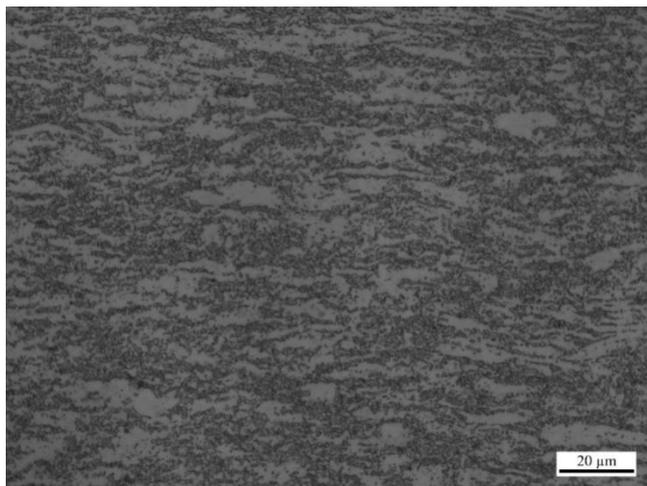


Рис. 2. Микроструктура сплава VT8M-1 после изотермической деформации при $T=780^{\circ}\text{C}$ и последующего отжига при 500°C , 6 часов (оптическая микроскопия)

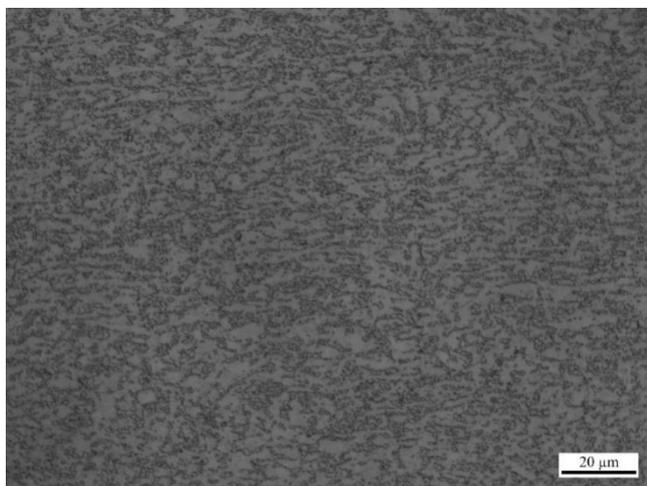


Рис. 3. Микроструктура сплава VT8M-1 после изотермической деформации при $T=780^{\circ}\text{C}$ и последующего отжига при 600°C , 6 часов (оптическая микроскопия)

После шестичасовой выдержки в печи при температуре $T=600^{\circ}\text{C}$ структура визуально изменяется. Зерна светлой первичной альфа фазы все также имеют неправильную форму, а их размер увеличивается до 5 мкм. Объемная доля первичной фазы составляет около 60%. Заметно увеличились размеры глобул вторичной фазы.

Исследования микроструктуры методом сканирующей электронной микроскопии позволили проанализировать мелкие элементы структуры сплава (рис. 4 и 5). После отжига УМЗ заготовки при $T=500^{\circ}\text{C}$ в течение 6 часов размер зерен/субзерен вторичной фазы увеличился в среднем до 1 мкм (рис. 4). На рис. 4 видно, что процесс глобуляризации практически полностью завер-

шился. Этому способствовала достаточно большая накопленная степень деформации и сравнительно высокая температура изотермической деформации ($T=780^{\circ}\text{C}$).

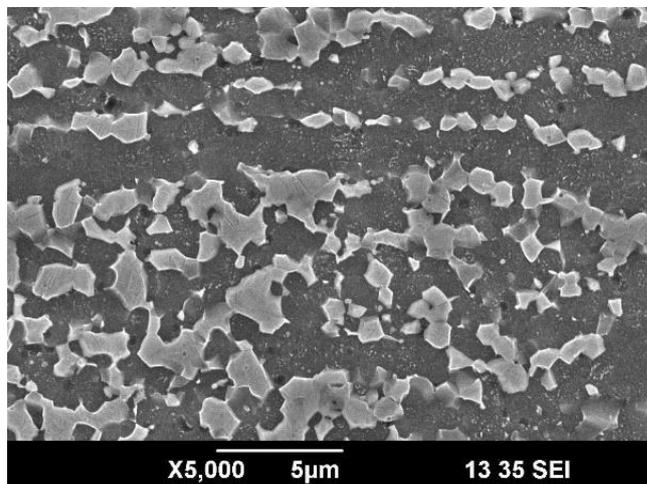


Рис. 4. Микроструктура сплава VT8M-1 после изотермической деформации при $T=780^{\circ}\text{C}$ и последующего отжига при 500°C , 6 часов (сканирующая микроскопия)

После отжига при $T=600^{\circ}\text{C}$ (рис. 5) видно, что размер глобулярных зерен/субзерен бета фазы в этом случае составляет около 1,5 мкм. Рост зерен может происходить за счет развития статической рекристаллизации в ходе отжига.

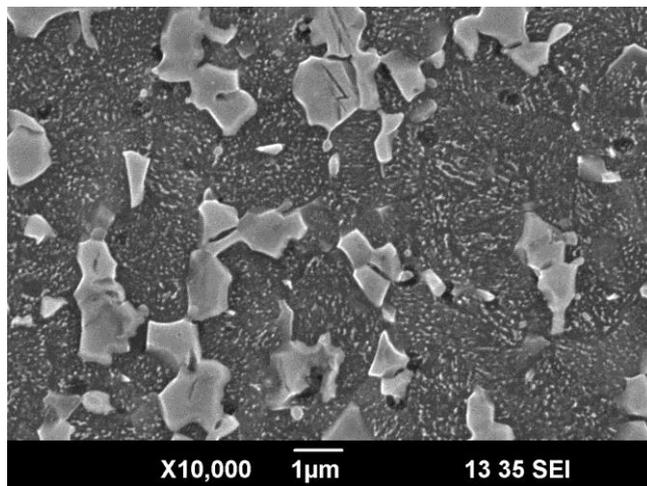


Рис. 5. Микроструктура сплава VT8M-1 после изотермической деформации при $T=780^{\circ}\text{C}$ и последующего отжига при 600°C , 6 часов (сканирующая микроскопия)

ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ПОСЛЕ ОТЖИГОВ УМЗ СПЛАВА VT8M-1

Проведены измерения микротвердости образцов титанового сплава после изотер-

мической деформации и последующих отжигов. Полученные данные измерений представлены на рис. 6.

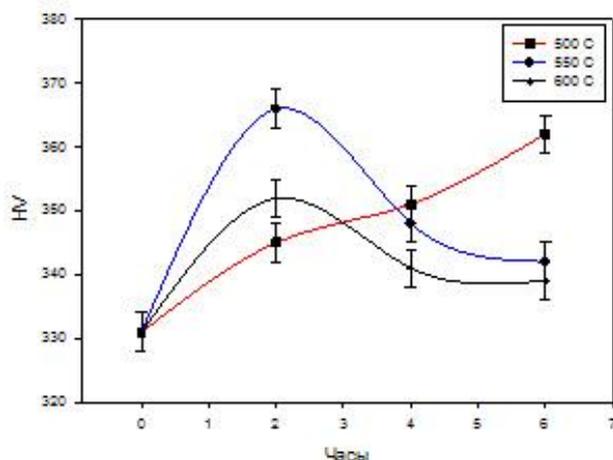


Рис. 6. Изменение микротвердости УМЗ заготовки VT8M-1 с увеличением длительности отжига при температурах 500, 550 и 600°C

При температуре отжига $T=500^{\circ}\text{C}$ наблюдается монотонное повышение микротвердости образца с увеличением длительности отжига. Это может быть связано с развитием старения, выделением третичной альфа фазы [2,3] а также формированием дислокационных границ и ячеек, как было показано на примере псевдо-альфа сплава [4,5].

При повышении температуры отжига до 550°C изменение микротвердости уже не монотонное. Видно, что после 2 часов отжига значение микротвердости достигает своего максимального значения 366 HV, обеспеченное видимо развитием старения. Дальнейшее увеличение длительности отжига до 6 часов приводит к снижению прочности материала, что, по-видимому, может быть связано с перестариванием.

Проведение отжига при 600°C в течение 2 часов приводит к небольшому повышению микротвердости до 351 HV, и далее, с увеличением длительности отжигов до 4 и 6 часов, наблюдается снижение значения микротвердости до 340 HV, которое может быть обеспечено как развитием рекристаллизации вторичных фаз, так и ростом третичной альфа фазы (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был исследован УМЗ титановый сплав VT8M-1 после изотерми-

ческой деформации и последующей термической обработки.

Было показано, что в ходе деформационной обработки методом РК формируется структура с первичной альфа фазой размером ~ 3 мкм и вторичных фаз около 0,3 мкм.

Сканирующая микроскопия показала, что после ротационной ковки и последующей деформации при $T=780^{\circ}\text{C}$ процесс глобуляризации пластинчатой составляющей сплава завершился практически полностью. Горячая деформация УМЗ сплава при $T=780^{\circ}\text{C}$ привела к развитию рекристаллизации зерен вторичных альфа и бета фаз, их размер увеличился до 0,7 мкм.

Измерение микротвердости образцов показало, что при температуре термической обработки 500°C происходит монотонное повышение микротвердости образца. При повышении температуры до 550°C и 600°C микротвердость изменяется немонотонно. Выдержка в течение 2 часов приводит к достижению максимального значения, а затем микротвердость начинает снижаться. Этот процесс может обеспечиваться как за счет рекристаллизации вторичных фаз, так и за счет роста третичной альфа фазы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Жеребцов, С. В.** Динамическая сфероидизация пластинчатой структуры двухфазного титанового сплава VT6 в ходе деформации при 800°C // Деформация и разрушение материалов. 2012. (10), с 16-24. [S.V. Zherebtsov. Dynamic spheroidization of the lamellar structure of a VT6 two-phase titanium alloy during deformation at 800°C , (in Russian), Deformation and fracture of materials, vol. 10, pp 16-24, 2012.]
- Попов А.А., Ледер М.О.** Влияние легирования на выделение интерметаллидных фаз в жаропрочных титановых сплавах Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014 г. [A.A. Popov, M.O. Leder The effect of alloying on the separation of intermetallic phases in heat-resistant titanium alloys, Yekaterinburg: P.H. of the Ural University, 2014.]
- Илларионов, А.Г.** Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов –Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. –137 с. [A.G. Illarionov. Technological and operational properties of titanium alloys, Ekaterinburg: P.H. of the Ural University, 2014, p. 137.]
- Кашапов О. С., Павлова Т. В., Калашников В. С., & Заводов А. В.** Явление образования и низкотемпературного распада метастабильных твердых растворов с выделением дисперсных частиц третичной α -фазы в жаропрочных титановых сплавах //Труды ВИАМ. 2018. Т 8. №68. С 3-22. [O.S. Kashapov, T.V. Pavlova, V.S. Kalashnikov, & A.V. Zavodov The phenomenon of formation and low-temperature decay of metastable solid solutions with the release of dispersed parti-

cles of the tertiary α -phase in heat-resistant titanium alloys (in Russian) in Proceedings of VIAM, T 8, No. 68, pp 3-22, 2018.]

5. Sun Z., Li X., Wu H., Yang H. Morphology evolution and growth mechanism of the secondary Widmanstätten α phase in the TA15 Ti-alloy // Materials Characterization. 2016. Vol. 118. P. 167–174. [Z. Sun, X. Li, H. Wu, H. Yang. Morphology evolution and growth mechanism of the secondary Widmanstätten α phase in the TA15 Ti-alloy, in Materials Characterization, Vol. 118, P. 167–174, 2016.]

ОБ АВТОРАХ

ИБАТУЛЛИН Аскар Рашитович, студент 4-го курса, (бакалавр) УГАТУ, специальность 28.03.02 Наноинженерия

ДЬЯКОНОВ Григорий Сергеевич, канд. техн. наук, н. с. НИИ Физики Перспективных Материалов УГАТУ.

METADATA

Title: Microstructure and mechanical properties of VT8M-1 ultrafine-grained alloy with hot deformation and annealing

Authors: A.R. Ibatullin¹, G.S. Dyakonov²

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹ask_ibat@mail.ru, ²dgr84@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (23), pp. 47-51, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: In this work, we studied the effect of annealing on the microstructure of ultrafine-grained billets, which were obtained during isothermal deformation at $T = 780^\circ \text{C}$. Before isothermal deformation, the VT8M-1 alloy was subjected to rotary swaging (RS). It was shown that RS leads to the formation of an ultrafine-grained structure in the alloy. Microhardness measurements showed that the heat treatment of ultrafine-grained billets can increase their microhardness.

Key words: VT8M-1 titanium alloy, rotary swaging, UFG structure, annealing, microhardness

About authors:

IBATULLIN, Askar Rashitovich, 4th year student, USATU, specialty 03.28.02 Nanoengineering

DYAKONOV, Grigory Sergeyich, Ph.D., Researcher, Institute of Physics of Advanced Materials USATU