

УДК 669.295:620.172:620.186

**А. Г. Стоцкий* , Т. В. Яковлева, Г. С. Дьяконов, А. В. Поляков,
И. П. Семёнова**

Институт физики перспективных материалов УГАТУ, г. Уфа

*stockii_andrei@mail.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук И. П. Семёнова

МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT8M-1 ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ПОСЛЕ РОТАЦИОННОЙ КОВКИ

В данной работе особое внимание было уделено исследованию стабильности структуры и механических свойств ультрамелкозернистого титанового сплава VT8 M-1 в интервале температур 300–550 °С. Показано, что ультрамелкозернистый титановый сплав VT8 M-1 является термостабильным и сохраняет повышенные механические характеристики до температуры 450 °С.

Ключевые слова: титановые сплавы, ротационная ковка, механические свойства, термическая стабильность

A. G. Stotskiy* , T. V. Yakovleva, G. S. Dyakonov, A. V. Polyakov, I. P. Semenova

MECHANICAL BEHAVIOR OF THE TITANIUM ALLOY VT8M-1 AT HIGH TEMPERATURES AFTER ROTARY SWAGING

In this work, special attention was devoted to studying the stability of the structure and mechanical properties of the ultrafine-grained titanium alloy VT8M-1 in the temperature range 300–550 °C. It is shown that the ultrafine-grained titanium alloy VT8M-1 is thermostable and retains increased mechanical characteristics to a temperature of 450 °C.

Key words: Titanium alloys, rotary swaging, mechanical properties, thermal stability

Титановые сплавы востребованы в авиационной отрасли, поскольку имеют высокую прочность, малый вес и высокую коррозионную стойкость [1]. В частности, из двухфазного ($\alpha + \beta$) титанового

сплава ВТ8М-1 (Ti—5,3Al—4,0Mo—1,2Zr—1,3Sn—0,2Si) изготавливаются лопатки компрессора газотурбинных двигателей [2]. Данный сплав эксплуатируется при температурах до 450 °С. Совершенствование конструкций современных газотурбинных авиационных двигателей предполагает использование материалов с повышенными механическими характеристиками. В этой связи весьма актуальной задачей является разработка материалов с высокими механическими характеристиками, стабильными при длительных температурно-напряженных условиях. Целью данной работы является исследование механических свойств и термостабильности УМЗ сплава ВТ8М-1 при эксплуатационных температурах.

В работе представлены результаты исследования микроструктуры и механических свойств крупнозернистого (КЗ) и ультрамелкозернистого (УМЗ) сплава ВТ8М-1 при комнатной и повышенных температурах, а также влияние длительных нагревов (до 500 часов) на термостабильность структур сплава в обоих состояниях при максимальной температуре эксплуатации 450 °С. Микроструктура ВТ8 М-1 в КЗ состоянии представляет собой дуплексную структуру, средний размер зерен первичной α -фазы 3 мкм, объемная доля $\alpha_{\text{глоб}} \approx 65\%$. Микроструктура ВТ8 М-1 в УМЗ состоянии представлена вытянутыми зернами первичной α -фазы шириной 1 мкм и ультрамелкозернистой смесью α и β фаз со средним размером 0,5 мкм. УМЗ структура с сплаве ВТ8 М-1 была получена методом ротационнойковки при температуре 750 °С, накопленная истинная степень деформации составила $\varepsilon = 1,56$.

Исследована термическая стабильность сплава ВТ8 М-1, проведены длительные (до 500 часов) отжиги сплава в КЗ и РК состояниях. Показано, что УМЗ микроструктура, также, как и КЗ, остается без каких-либо значимых изменений (рис. 1, а, б). Исследование УМЗ структуры методом ПЭМ показало снижение плотности дислокаций и совершенствование границ с увеличением длительности отжига до 500 ч (на рис. 1, в).

Механические испытания сплава ВТ8 М-1 на растяжение показали, что после 100 часового отжига при $T = 450$ °С прочность УМЗ и КЗ состояния возрастает примерно на 50 МПа (рис. 2, а). Увеличение длительности отжига до 300 часов приводит к дополнительному повышению прочности КЗ состояния на 50 МПа, а с увеличением длительности выдержки свыше 400 часов наблюдается обратный эффект. Относительное удлинение сплава с КЗ структурой при увеличе-

нии длительности отжига изменяется немонотонно, тогда как в сплаве с УМЗ структурой данный параметр остается примерно на одном и том же уровне (рис. 2, б).

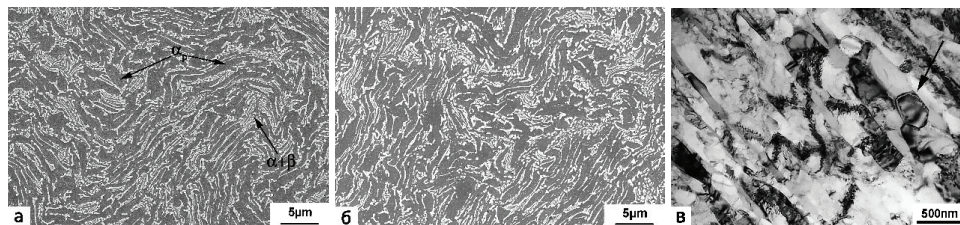


Рис. 1. Микроструктура прутка ВТ8 М-1 после ротационнойковки в поперечном сечении прутка: а — до отжигов; б — после отжига 500 ч при $T=450\text{ }^{\circ}\text{C}$; в — ПЭМ образца ВТ8 М-1 после отжига 500 ч при $T=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а и б — РЭМ, в — ПЭМ)

Механические испытания при повышенных температурах показали, что УМЗ сплав ВТ8 М-1 вплоть до $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеет более высокие прочностные характеристики почти на 200 МПа в сравнении с КЗ аналогом (рис. 2, в). При температурах $450\text{--}550\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдается интенсивное разупрочнение УМЗ сплава. Стоит отметить двукратное повышение удлинения УМЗ состояния по сравнению с КЗ при $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ (40 и 18 % соответственно) [4].

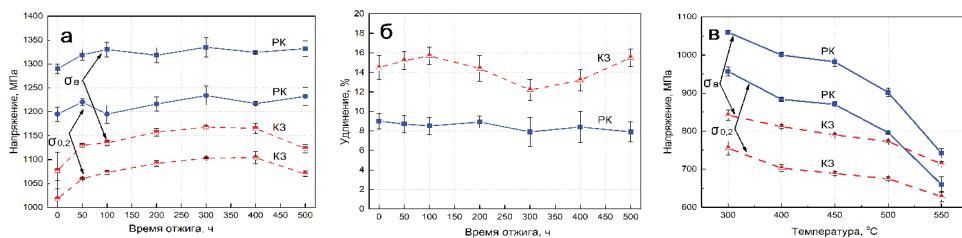


Рис. 2. Механические характеристики сплава ВТ8 М-1 в КЗ и РК состояниях после длительных отжигов при $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$:

а — изменение $\sigma_{\text{в}}$ и $\sigma_{0,2}$; б — изменение относительного удлинения до разрушения; в — механические характеристики сплава ВТ8 М-1 при температурах испытания $300\text{--}550\text{ }^{\circ}\text{C}$

По результатам исследований было показано, что УМЗ сплав ВТ8 М-1 в условиях 500 часовых отжигов является термически ста-

бильным вплоть до 450°С как по структурным параметрам, так и по механическим свойствам. Механические испытания при 300–550 °С также свидетельствуют о термостабильности УМЗ сплава ВТ8 М-1 при эксплуатационных температурах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ
(грант № 18-79-10158).*

Механические испытания выполнены в ЦКП научно-образовательного центра «Нанотех» ФГБОУ ВО УГАТУ.

Литература

1. Moiseyev V. N. Titanium alloys: Russian aircraft and aerospace applications. CRC Press Taylor & Francis Group, 2006. 207 pp.
2. Павлова Т. В., Кашапов О. С., Ночовная Н. А. Титановые сплавы для газотурбинных двигателей // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. № 5. С. 8–14.
3. Thermal stability of titanium alloy VT8M-1 with ultrafine-grained structure/A. G. Stotskiy [et al.] // The 14th World Conf. on Titanium (Nantes). URL: <https://www.titanium2019.com>.
4. Mechanical behavior at elevated temperatures of the ultrafine-grained titanium alloy VT8M-1 processed by rotary swaging / A. G. Stotskiy [et al.] // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2019. V. 672. № 012060. Pp. 1–4.