

Научная статья

УДК 669.295:661.882

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT14 ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

Лариса Николаевна Кириллова<sup>1</sup>, Полина Витальевна Гадай<sup>2</sup>,  
Федор Валерьевич Водолазский<sup>3</sup>, Ярослав Игоревич Космацкий<sup>4</sup>,  
Максим Александрович Шабанов<sup>5</sup>, Наталья Александровна Ширинкина<sup>6</sup>,  
Анатолий Геннадьевич Илларионов<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,5,6,7</sup> Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>4</sup> АО «РусНИТИ», Челябинск, Россия

<sup>3</sup> *f.v.vodolazskiy@urfu.ru*

**Аннотация.** В данной работе проведено исследование структурных и фазовых превращений при моделировании процессов горячей деформации титанового сплава VT14 ( $\alpha+\beta$ )-мартенситного класса в диапазоне температур 925–975 °С. Уставлено, что после горячей деформации в сплаве VT14 формируется крайне неоднородная структура «ковочного креста». Микродюрометрические характеристики также неоднородны по сечению полуфабриката и колеблются в интервале от 362 до 435 HV, более высокие значения соответствуют участкам с наиболее деформированной структурой.

**Ключевые слова:** титановый сплав VT14, термомеханическое моделирование, структура, фазовый состав, микродюрометрия

**Финансирование:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18–79–10107–П).

Original article

## STRUCTURE, PHASE COMPOSITION AND MECHANICAL PROPERTIES OF TITANIUM ALLOY VT14 IN HOT DEFORMATION SIMULATION

**Larisa Nikolaevna Kirillova<sup>1</sup>, Polina Vitalievna Gaday<sup>2</sup>,  
Fedor Valerievich Vodolazsky<sup>3</sup>, Yaroslav Igorevich Kosmatsky<sup>4</sup>,  
Maxim Aleksandrovich Shabanov<sup>5</sup>, Natalia Aleksandrovna Shirinkina<sup>6</sup>,  
Anatoly Gennadievich Illarionov<sup>7</sup>**

<sup>1,2,3,5,6,7</sup> Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

<sup>4</sup> АО „Rusniti“, Chelyabinsk, Russia

<sup>3</sup> *f.v.vodolazskiy@urfu.ru*

**Abstract.** The study of structural and phase transformations of hot deformation simulation of  $(\alpha+\beta)$ -titanium alloy VT14 in the temperature range 925–975 °C is carried out. It was found that after hot deformation of VT14 alloy, a inhomogeneous structure of the “forging cross” is formed. Microdurometric characteristics are also inhomogeneous over the cross-section of the semi-finished product and vary in the range from 362 to 435 HV, higher values correspond to areas with the most deformed structure.

**Keywords:** titanium alloy VT14, thermal-mechanical simulation, structure, phase composition, microdurometry

**Funding:** the research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (project № 18–79–10107–P).

Титановый сплав ВТ14 является очень широко используемым в науке и технике [1; 2], принадлежит к  $(\alpha+\beta)$ -мартенситному классу титановых сплавов. Разработка технологии изготовления полуфабрикатов из данного сплава требует изучения структурных и фазовых превращений в ходе моделирования условий горячей деформации в различных температурных областях: при температурах существования  $\beta$ -фазы, температурах, близких к полиморфному превращению, и температурах  $(\alpha+\beta)$ -области.

Материалами для исследования послужили цилиндрические образцы ( $\text{Ø}10 \times 15$  мм) из титанового сплава ВТ14, полученные на ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА». Моделирование горячей деформации осуществлялось одноосным сжатием (осадкой) на симуляторе термомеханических процессов *Gleeble 3800* с использованием модуля *Hydrawedge*. Температуры деформации: 925 °C ( $\alpha+\beta$ -область), 950 °C (близкое к  $T_{\text{мп}}$ ) и 975 °C ( $\beta$ -область), скорость деформации составляла  $1 \text{ с}^{-1}$ . Микроструктура исследовалась с помощью микроскопа *OLYMPUS GX51*. Рентгеноструктурный фазовый анализ был проведен на установке *Bruker D8 Advance* в медном  $K_{\alpha}$ -излучении. Микродюрометрические

измерения проводились с помощью прибора *MHTX CSM Instruments*.

Анализ макро- и микроструктуры образцов из титанового сплава ВТ14 после горячей деформации при температурах 925...975 °С показал, что образуется крайне неоднородная структура «ковочного креста». Микроструктура сплава, деформированного при температуре 925 °С, соответствующей температуре ( $\alpha+\beta$ )-области, представлена деформированными  $\beta$ -зернами, внутри которых можно увидеть первичные выделения  $\alpha$ -фазы размером 10 мкм, вытянутые вдоль направления деформации. Между первичными выделениями наблюдаются темные области с дисперсными выделениями  $\alpha$ -фазы. Повышение температур деформации до 975 °С способствует получению более однородной крупнозернистой структуры. С помощью рентгеноструктурного фазового анализа было установлено, что период кристаллической решетки  $\beta$ -фазы практически не зависит от температуры деформации. Анализ микродюрометрических характеристик образца показал неоднородное распределение твердости и модуля упругости по сечению полуфабриката; значения твердости колеблются в интервале от 362 до 435 НV; значения модуля упругости колеблются от 99 до 112 ГПа; более высокие значения этих характеристик соответствуют участкам с наиболее деформированной структурой.

#### Список источников

1. Полуфабрикаты из титановых сплавов / В. К. Александров [и др.]. М. : ОНТИ ВИЛС. 1996. 581 с.
2. Ильин А. А., Колачев Б. А., Полькин И. С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства : справочник. М. : ВИЛС–МАТИ. 2009. 520 с.

#### References

1. Semi-finished products from titanium alloys / V. K. Aleksandrov [et al.]. M. : ONTI VILS. 1996. 581 p.
2. Ilyin A. A., Kolachev B. A., Polkin I. S. Titanium alloys. Composition, structure, properties : directory. M. : VILS-MATI. 2009. 520 p.