

Научная статья

УДК 669

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ МЕТОДОМ ДИЛАТОМЕТРИИ ПРИ НАГРЕВЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Ti–Nb–Zr–Ta–Sn

**Анатолий Геннадьевич Илларионов, Дарья Сергеевна Рябова,
Даниил Евгеньевич Винокуров, Иван Вячеславович Казаков,
Стелла Владимировна Гриб¹**

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

¹ *s.v.grib@urfu.ru*

Аннотация. Методом дилатометрии исследованы фазовые превращения в сплаве системы Ti–Nb–Zr–Ta–Sn с исходной структурой β-фазы при нагреве в интервале температур 20...660 °С. По изменению коэффициента линейного термического расширения установлена последовательность фазовых превращений и температурные интервалы их реализации.

Ключевые слова: дилатометрия, коэффициент линейного термического расширения, титановый сплав, фазовые превращения

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (№ 0836–2020–0020).

Original article

PHASE TRANSFORMATIONS INVESTIGATION OF TITANIUM ALLOY OF THE Ti–Nb–Zr–Ta–Sn SYSTEM DURING HEATING BY THE DILATOMETRY METHOD

**Anatoly Gennadievich Illarionov, Daria Sergeevna Ryabova,
Daniil Evgenievich Vinokurov, Ivan Vyacheslavovich Kazakov,
Stella Vladimirovna Grib¹**

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

¹ *s.v.grib@urfu.ru*

Abstract. Phase transformations in an alloy of the Ti–Nb–Zr–Ta–Sn system with the initial structure of the β -phase were investigated during heating in the temperature range 20...660 °C by dilatometry. According to the change of the coefficient of thermal expansion, the sequence of phase transformations and temperature ranges of their realization were determined.

Keywords: dilatometry, coefficient of thermal expansion, titanium alloy, heating, phase transformations

Funding: the work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science (№ 0836–2020–0020).

Вследствие различия удельных объемов отдельных фаз фазовые превращения могут сопровождаться изменением объема образца. Так, в источнике [1] на примере сплавов системы Ti–Nb показано, что между удельными объемами α'' -, β - и ω -фаз выполняется соотношение — $V_{\alpha''} > V_{\beta} > V_{\omega}$. Метод дилатометрии позволяет фиксировать изменение линейных размеров (относительного удлинения) исследуемого образца и тем самым косвенно судить о фазовых превращениях, протекающих при нагреве. Преимуществом данного метода перед прямыми методами определения фазового состава (рентгенографии, электронной микроскопии) является отсутствие необходимости в трудоемкой подготовке большого числа образцов (из расчета по одному образцу на каждую температуру). Зачастую данные дилатометрии представляются через изменение коэффициента линейного термического расширения (КЛТР) от температуры нагрева, что и было сделано для опытного сплава Ti-38,4Nb-5,6Zr-2,3Ta-2,1Sn, масс. % (далее — TNZTS) с исходной структурой β -фазы, предназначенного для изготовления имплантатов. Одним из требований, предъявляемых к сплавам медицинского назначения, является низкое значение модуля упругости, максимально приближенное к таковому для костной ткани (13...30 ГПа [2]). Это необходимо для снижения риска разрушения костной ткани вокруг имплантата вследствие их механической несовместимости. Согласно источнику [3], минимальные значения модуля упругости могут быть получены в титановых сплавах со структурой β -фазы, поэтому важно знать, насколько метастабильная β -фаза, зафиксированная за счет комплексного легирования сплава TNZTS при комнатной температуре, устойчива к фазовым превращениям при последующем нагреве. Сплав TNZTS был подвергнут нагреву со скоростью 10 °/мин в статической атмосфере аргона на дилатометре “Linseis L78VD1600C”. По полученным экспериментальным данным рассчитан КЛТР спла-

ва. Анализ изменения КЛТР сплава TNZTS от температуры нагрева позволил выявить протекание следующих фазовых превращений. С уменьшением объема сплава, обеспечивая появление трех минимумов на кривой КЛТР, в интервале температур 160...385 °С идут последовательно превращения β -фазы с образованием несоизмеримой (V_{ω}), ω -фазы, а затем β' -фазы с изоморфной β -фазе решеткой, но отличающейся от него химическим составом, а в диапазоне 535...625 °С реализуется обратное α (α'') $\rightarrow\beta$ -превращение. С увеличением объема сплава, способствуя получению на кривой КЛТР двух максимумов, в диапазоне температур 385...535 °С идут последовательно процессы распада β -фазы с образованием в начале низкотемпературной α_n (α'')-фазы, а затем равновесной α -фазы. Таким образом, показано, что метастабильная β -фаза не испытывает превращений в сплаве TNZTS при нагреве до 160 °С.

Список источников

1. Исследование фазовых превращений в закаленных сплавах системы Ti-Nb / А. Г. Илларионов [и др.] // ФММ. 1994. Т. 78. № 2. С. 119–125.
2. Patel N. R., Gohil P. P. A Review on Biomaterials: Scope, Application & Human Anatomy Significance // IJETAE. 2012. V. 2. I. 4. P. 91–101.
3. Beta Ti Alloys with Low Young's Modulus / T. Ozaki [et al.] // Materials Transactions. 2004. V. 45. № 8. P. 2776–2779.

References

1. Illarionov A. G. Investigation of phase transformations in hardened alloys of the Ti-Nb system / A. G. Illarionov [et al.] // FMM. 1994. V. 78. № 2. P. 119–125.
2. Patel N. R., Gohil P. P. A Review on Biomaterials: Scope, Application & Human Anatomy Significance // IJETAE. 2012. V. 2. I. 4. P. 91–101.
3. Ozaki T., Matsumoto H., Watanabe S., Hanada S. Beta Ti Alloys with Low Young's Modulus // Materials Transactions. 2004. V. 45. № 8. P. 2776–2779.