

УДК 669.72

А. В. Желнина^{1, 2}*, М. С. Калиенко^{1, 2}, Н. В. Щетников¹, А. Г. Илларионов²¹ Корпорация ВСМПО-АВИСМА, г. Верхняя Салда² Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

*avzhelnina@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМОВ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЯЧЕЕК ФАЗ ПРИ СТАРЕНИИ СПЛАВА Ti–10V–2Fe–3Al

В работе установлена эволюция кристаллической решетки фаз при старении сплава Ti–10V–2Fe–3Al. С увеличением продолжительности старения наблюдается изменение объемов элементарных ячеек фаз, что связано с изменением концентрации α - и β -стабилизаторов в единице объема фаз.

Ключевые слова: титановый сплав Ti–10V–2Fe–3Al, объем элементарной ячейки, РСФА

A. V. Zhelnina, M. S. Kalienko, N. V. Schetnikov, A. G. Illarionov

RESEARCH OF THE PHASES UNIT CELL VOLUME CHANGE DURING AGING OF Ti–10V–2Fe–3Al ALLOY

The evolution of phase's unit cell volume during aging of Ti-10V-2Fe-3Al alloy is established. The change of unit cell volume of the phases is observed with increase of aging time, which is associated with the change of α -, β -stabilizers concentration in the phases.

Key words: Ti–10V–2Fe–3Al alloy, crystal lattice period, X-ray diffraction

Сплав Ti–10V–2Fe–3Al относится к (α + β)-титановым сплавам переходного класса и широко используется в авиастроении для изготовления высокопрочных конструкционных элементов благодаря высокой удельной прочности, вязкости разрушения и усталостной прочности [1; 2].

В преобладающем большинстве случаев окончательный комплекс свойств сплава Ti–10V–2Fe–3Al реализуется после упрочняющей термической обработки, включающей закалку из (α + β)-области

для фиксации метастабильной β -фазы и последующего старения для дисперсионного упрочнения сплава за счет распада пересыщенного β -твердого раствора, в котором образуется мелкодисперсная вторичная α -фаза.

В работах [3; 4] показано, что при распаде β -твердого раствора концентрация легирующих элементов во вторичной α -фазе титана изменяется и зависит от продолжительности старения. С увеличением продолжительности выдержки при старении β -стабилизаторы (ванадий, железо) диффундируют из вторичной α -фазы в β -фазу, а алюминий переходит из β -твердого раствора в α -фазу. Метод РСФА позволяет анализировать динамику происходящих диффузионных процессов и исследовать результирующее изменение периодов кристаллической решетки фаз.

Цель представленной работы — исследовать эволюцию кристаллической решетки фаз при старении закаленного из двухфазной области сплава Ti–10V–2Fe–3Al.

Материалом для исследования был пруток из сплава Ti–10V–2Fe–3Al производства ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА».

Исследование проведено на образцах после упрочняющей термической обработки, включающей закалку с температуры ($\alpha+\beta$)-области с охлаждением в воде и старение при температуре 500 °С с выдержкой от 30 мин до 32 ч.

Рентгеноструктурный фазовый анализ (РСФА) образцов проводили с использованием дифрактометра Bruker D8 Advance.

На рис. представлены закономерности изменения объема элементарной ячейки β -фазы (*a*) и объема элементарной ячейки первичной и вторичной α -фазы (*b*) закаленных образцов сплава Ti–10V–2Fe–3Al в зависимости от времени старения. Полученные закономерности изменения кристаллической решетки фаз являются следствием перераспределения химических элементов между фазами.

С увеличением времени старения объем элементарной ячейки β -фазы уменьшается, что связано с увеличением концентрации β -стабилизаторов в единице объема β -фазы.

Основное влияние на периоды кристаллической решетки α -фазы оказывают алюминий, ванадий и углерод, так как растворимость железа в α -фазе незначительная, не более 0,05 ат. %. Алюминий и ванадий уменьшают периоды кристаллической решетки α -фазы, углерод увеличивает. Вторым фактором, который влияет на эволюцию пери-

одов решеток фаз при старении, является скорость диффузии легирующих элементов, которая отличается как между элементами, так и в фазах титана.

С увеличением продолжительности старения происходит увеличение объема элементарной ячейки вторичной α -фазы и уменьшение объема элементарной ячейки первичной α -фазы. Изменение объема элементарной ячейки вторичной α -фазы, вероятнее всего, связано со снижением содержания ванадия, так как его концентрация в сплаве 10 % и коэффициент перераспределения между фазами больше, чем у алюминия. Исходя из характера изменения объема элементарной ячейки химический состав вторичной α -фазы приближается к равновесному при старении около 16 ч.

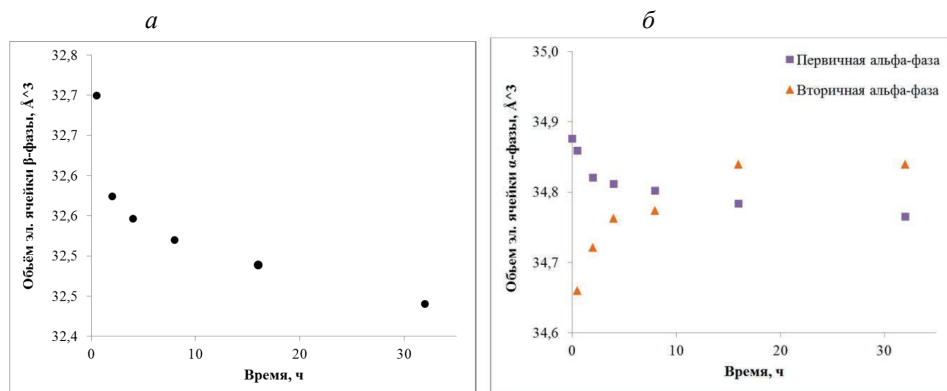


Рис. Зависимость объемов элементарных ячеек фаз образцов из сплава Ti–10V–2Fe–3Al от продолжительности старения:

a — объем элементарной ячейки β -фазы; *b* — объем элементарной ячейки первичной и вторичной α -фазы

По результатам работы установлена эволюция кристаллической решетки фаз при старении сплава Ti–10V–2Fe–3Al. С увеличением продолжительности старения происходит изменение объемов элементарных ячеек фаз, что связано с изменением концентрации α - и β -стабилизаторов в единице объема фаз.

Литература

1. Boyer R. R., Briggs R. D. The use of β titanium alloys in the aerospace industry // Materials Engineering and Performance. 2005. V. 14, № 6. P. 681–685.

159. State of the art in beta titanium alloys for airframe applications / J. D. Cotton [et al.] // JOM. 2015. V. 67, № 6. P. 1281–1303.

160. The influence of partitioning on the growth of intragranular α in near- β Ti alloys / T. Li [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. 2015. V. 643. P. 212–222.

161. Secondary hardening behavior in Ti alloy / P. Li [et al.] // Material Science and Engineering. 2019. V. 759. P. 640–647.