

Научные тезисы

УДК 669.297:539.89

## КАЛОРИМЕТРИЯ ОБРАТНОГО $\Omega \rightarrow \text{A}$ ФАЗОВОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В ЦИРКОНИИ И ТИТАНЕ

**Лада Юрьевна Егорова<sup>\*</sup>, Юлия Валентиновна Хлебникова**

Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН,  
Екатеринбург, Россия

<sup>\*</sup> *egorova@imp.uran.ru*

**Аннотация.** В работе с использованием метода дифференциальной сканирующей калориметрии было установлено, что в титане обратное фазовое превращение  $\omega \rightarrow \alpha$  реализуется при более низких температурах и в более узком температурном интервале, чем в цирконии, независимо от величины предварительной деформации. Выявлено, что температура  $\omega \rightarrow \alpha$  превращения и величина выделившейся тепловой энергии в обоих металлах стабилизируются с увеличением степени деформации.

**Ключевые слова:** интенсивная пластическая деформация, фазовое превращение, метастабильная  $\omega$ -фаза, дифференциальная сканирующая калориметрия

**Финансирование:** работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Структура» (№ АААА-А18-118020190116-6).

Scientific theses

## CALORIMETRY OF THE INVERSE $\Omega \rightarrow \text{A}$ PHASE TRANSFORMATION IN ZIRCONY AND TITANIUM

**Lada Yu. Egorova<sup>\*</sup>, Yulia V. Khlebnikova**

M. N. Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

<sup>\*</sup> *egorova@imp.uran.ru*

**Abstract.** In this work, using the method of differential scanning calorimetry, it was found that the reverse phase transformation  $\omega \rightarrow \alpha$  in titanium occurs at lower

temperatures and in a narrower temperature range than in zirconium, regardless of the amount of preliminary deformation. It was found that the transformation temperature  $\omega \rightarrow \alpha$  and the value of the released thermal energy in both metals stabilize with an increase in the degree of deformation

**Keywords:** severe plastic deformation, phase transformation, metastable  $\omega$ -phase, differential scanning calorimetry

**Funding:** the work was carried out within the framework of the state task on the topic “Structure” (no. ААААА-А18-118020190116-6).

Для получения двухфазного состояния ( $\omega + \alpha$ ) в псевдомонокристаллах титана и циркония, исследуемые образцы деформировали в твердосплавных наковальнях Бриджмена при комнатной температуре и давлении 8,0 ГПа с угловой скоростью кручения  $\omega = 0,3$  об./мин. Использованы углы поворота наковален:  $\varphi = 0, 5, 15, 45, 90, 180, 360$  и  $1080$  град.

Структурное состояние изучали электронно-микроскопически на просвет тонких фольг в микроскопе JEM-200СХ. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) регистрировали изменения теплового потока при нагреве исследуемых образцов. Температуры начала ( $T_n$ ) и конца ( $T_k$ ) обратного превращения определяли методом касательных, а величину выделившейся энергии — как величину площади под калориметрическим пиком.

Титан и цирконий относятся к  $d$ -переходным металлам и имеют близкие физико-химические характеристики, но, несмотря на это, при переходе к равновесному состоянию в процессе нагрева в калориметре металлы показывают разную фазовую устойчивость (рис. 1).

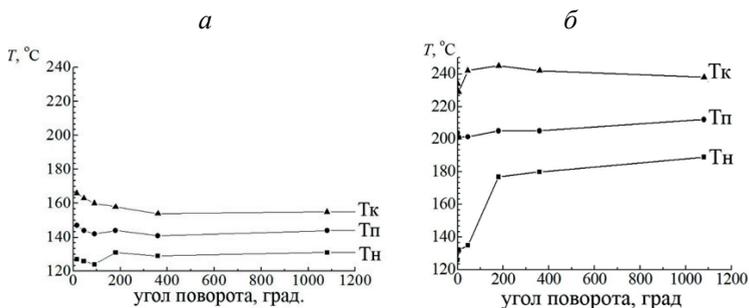


Рис. 1. Зависимость характеристических температур фазового  $\omega \rightarrow \alpha$  превращения от угла поворота наковален Бриджмена: *a* — в титане, *б* — в цирконии, где  $T_n$  — температура начала превращения,  $T_p$  — температура пика превращения,  $T_k$  — температура конца превращения

На рис. 1 видно, что обратное  $\omega \rightarrow \alpha$  фазовое превращение в титане реализуется при более низких температурах и в более узком температурном интервале ( $\Delta T = T_k - T_n$ ), чем в цирконии, независимо от величины предварительной деформации. Это свидетельствует о большей фазовой устойчивости  $\omega$ -фазы в цирконии.

Зависимость удельной энтальпии обратного  $\omega \rightarrow \alpha$  фазового превращения от степени предварительной деформации представлена на рис. 2.

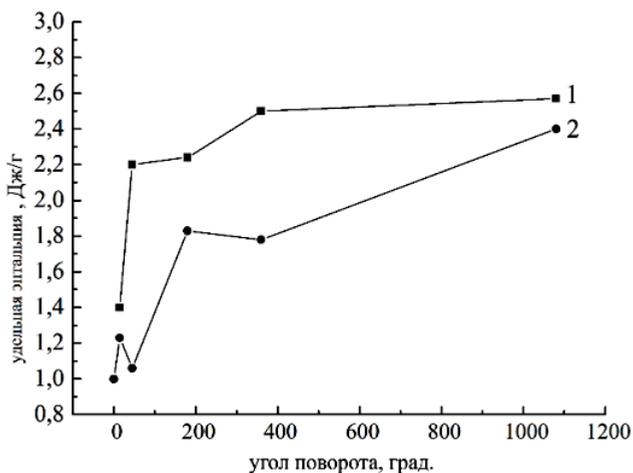


Рис. 2. Зависимость удельной энтальпии обратного фазового  $\omega \rightarrow \alpha$  превращения от угла поворота наковален Бриджмена:

1 — для титана, 2 — для циркония

Полученные зависимости и для титана, и для циркония демонстрируют немонотонный рост. Для углов поворота наковален при кручении  $\varphi = 5 \dots 360$  град. значения удельной энтальпии для титана больше, чем для циркония. Вероятно, на этом этапе данная величина в значительной степени определяется количеством  $\omega$ -фазы, а так как величина необходимого для ее образования давления в титане 1,5–2 раза меньше, чем в цирконии [1], то в процессе прямого  $\alpha \rightarrow \omega$  фазового превращения в титане образуется большее количество барообратимой  $\omega$ -фазы. С увеличением угла деформации до величины  $\varphi = 1080$  град. значения удельной энтальпии становятся близкими для обоих металлов. Данный факт можно объяснить тем, что при высокой степени деформации в титане, как и в цирконии, количественное соотноше-

ние  $\omega/\alpha$  фаз выходит на насыщение и становится близким к максимальному [2]. Кроме того, в обоих металлах формируется смешанная нано- субмикроструктурная ультрамелкозернистая структура, при которой наибольший энергетический вклад в систему вносят деформационные дефекты и межфазные границы.

#### **Список источников**

1. Тонков Е. Ю. Фазовые диаграммы элементов при высоком давлении. М. : Наука, 1979. 192 с.
2. Nozomu Adachi. Phase transformation kinetics of  $\omega$ -phase in pure Ti formed by high-pressure torsion / Nozomu Adachi [et al.] // J Mater Sci. 2016. V. 51. P. 2608–2615.

#### **References**

1. Tonkov E. Yu. Phase diagrams of elements at high pressure / E. Yu. Tonkov. M. : Science. 1979. 192 p.
2. Nozomu Adachi. Phase transformation kinetics of  $\omega$ -phase in pure Ti formed by high-pressure torsion / Nozomu Adachi [et al.] // J Mater Sci. 2016. 51. P. 2608–2615.