

## АНАЛИЗ НА АУКСЕТИЧНОСТЬ БЕТА-ТВЕРДОГО РАСТВОРА С ОЦК-РЕШЕТКОЙ В БИОСОВМЕСТИМЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ

Коренев А.А.<sup>1</sup>, Литшван Р.Н.<sup>1</sup>, Илларионов А.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия  
E-mail: alexander.korenev@urfu.ru

## AUXETITY ANALYSIS OF A BETA-SOLID SOLUTION WITH A BCC LATTICE IN BIOCOMPATIBLE TITANIUM ALLOYS

Korenev A.A.<sup>1</sup>, Litshvan R.N.<sup>1</sup>, Illarionov A.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The auxetity of a  $\beta$ -solid solution with a BCC lattice was analyzed for various compositions of Ti-(Nb, Mo, Ta) and Ti-(Nb, Mo, Ta)-(Zr, Sn) binary Ti-based systems, which are widely used in medicine for the production of implants.

Ауксетиками называют материалы, обладающие отрицательным коэффициентом Пуассона ( $\nu$ ), т.е. имеющих поперечное растяжение материала в ответ на прилагаемое продольное растяжение. Хотя долгое время считалось, что металлические кристаллы имеют строгий интервал значений коэффициента Пуассона ( $0 < \nu < 0,5$ ), термодинамикой и теорией упругостью допускается существование металлических аустетиков, и зафиксировано 69 % кристаллов с кубическими решетками, обладающих ауксетичностью [1]. Большинство из них характеризуются анизотропией физических свойств. Ауксетики можно разделить на три группы: полные ауксетики (обладающие отрицательным коэффициентом Пуассона во всех осевых направлениях кристалла), частичные (при определенных ориентациях) и неауксетики. Гольдштейн и др. [2] предложили в качестве анализа на ауксетичность материалов с кубическими решетками два безразмерных параметра  $\Pi$  и  $\delta$ , которые связаны с упругими коэффициентами податливости решетки  $s_{ij}$ .  $\Pi = -2s_{12}/\Delta$ ;  $\delta = \Delta/s_{11}$ , где  $\Delta = s_{11} - s_{12} - 0,5s_{44}$  - фактор анизотропии для кубических кристаллов.



Рис. 1. Классификационная схема кубических ауксетиков (а) и классификационная схема с наложением границ устойчивости кубических кристаллов (б)

Классификационная схема для кубических ауксетиков представлена на рисунке 1. В последнее время в медицинской практике широко используются сплавы титана на основе  $\beta$ -фазы с ОЦК-решеткой систем Ti-(Nb, Mo, Ta) и Ti-(Nb, Mo, Ta)-(Zr, Sn) [3], и целью данной работы является анализ на ауксетичность  $\beta$ -твердого раствора титана в этих системах. Для расчета параметров П и  $\delta$  использовались упругие константы  $c_{ij}$ , взятые из различных литературных источников.

В ходе расчетов установлено, что в двойных сплавах систем Ti-(Nb, Mo, Ta) ОЦК решетка высокотемпературного  $\beta$ -твердого раствора при низких содержаниях второго элемента (для Nb до 25 ат. %; 12 % для Mo и до 37,5 % для Ta) является частичным ауксетиком с интервалами  $0,65 < П < 0,9$  и  $0,65 < \delta < 0,9$ . Минимальные значения коэффициента Пуассона варьируются в интервале  $-1 \dots -0,12$ ; максимальные от 1 до 2. Необходимо при этом отметить, что фиксация одной  $\beta$ -фазы при комнатной температуре возможна при закалке только в части анализируемых сплавов при содержании второго элемента ближе к максимальным анализируемым концентрациям. При повышении содержания Nb, Mo, Ta выше указанных пределов ауксетичность  $\beta$ -фазы утрачивается.

Отмечено, что при добавлении в двойные сплавы систем Ti-(Nb, Mo, Ta) циркония и олова частичная ауксетичность  $\beta$ -фазы возможна в сплавах Ti-25(Nb, Mo, Ta)-25(Zr, Sn), Ti-(11; 17; 21)Nb-(12; 21; 38)Zr и Ti-33(Nb, Mo)-33Sn. При этом значения П и  $\delta$  варьируются в близких пределах, что и для ОЦК решетки в двойных сплавах. Минимальные значения коэффициента Пуассона  $\beta$ -фазы лежат в интервале  $-0,63 \dots -0,23$ , а максимальные - в пределах от 1 до 1,5.

Таким образом, расчетами показано, что ряд двойных (Ti-(Nb, Mo, Ta)) и тройных (Ti-(Nb, Mo, Ta)-(Zr, Sn)) биосовместимых сплавов на основе  $\beta$ -твердого раствора титана является частичными ауксетиками, что означает наличие в них отрицательного коэффициента Пуассона в определенных направлениях ОЦК решетки  $\beta$ -фазы.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-13-00220).*

1. Vaughman R.H., Shacklette J.M., Zachidov A.A. et.al. Nature. V.392. 362-365 (1998);
2. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. и др. Физическая мезомеханика. т.16. №6. 13-31 (2013);
3. Q. Chen, G.A. Thouas. Materials Science and Engineering R. V. 87. 1–57.