

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

Коренев А.А.¹, Литшван Р.Н.¹, Илларионов А.Г.¹

¹) 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.¹, Litshvan R.N.¹, Illarionov A.G.¹

¹) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The auxetity of a β -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 (ν), 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 Π и δ , 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.

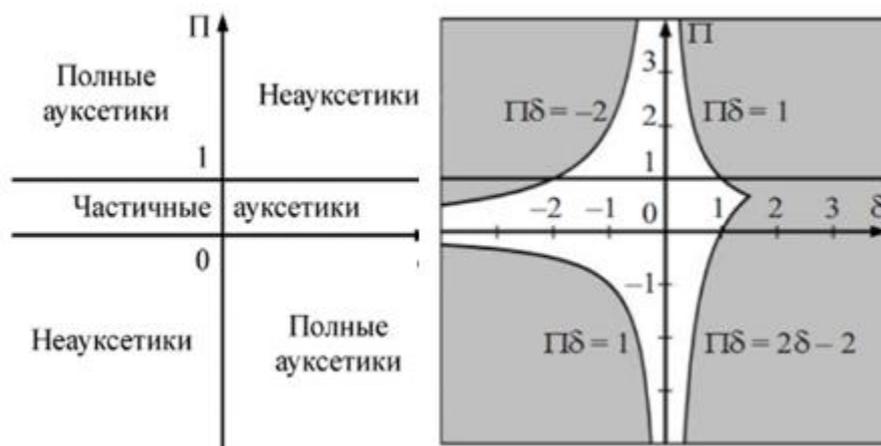


Рис. 1. Классификационная схема кубических аусеттиков (а) и классификационная схема с наложением границ устойчивости кубических кристаллов (б)

Классификационная схема для кубических аусеттиков представлена на рисунке 1. В последнее время в медицинской практике широко используются сплавы титана на основе β -фазы с ОЦК-решеткой систем Ti-(Nb, Mo, Ta) и Ti-(Nb, Mo, Ta)-(Zr, Sn) [3], и целью данной работы является анализ на аусетичность β -твердого раствора титана в этих системах. Для расчета параметров П и δ 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 β -твердого раствора при низких содержаниях второго элемента (для Nb до 25 ат. %; 12 % для Mo и до 37,5 % для Ta) является частичным аусетиком 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 β -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 аусетичность β -фазы утрачивается.

Отмечено, что при добавлении в двойные сплавы систем Ti-(Nb, Mo, Ta) циркония и олова частичная аусетичность β -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 δ варьируются в близких пределах, что и для ОЦК решетки в двойных сплавах. Минимальные значения коэффициента Пуассона β -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 β -твердого раствора титана является частичными аусетиками, что означает наличие в них отрицательного коэффициента Пуассона в определенных направлениях ОЦК решетки β -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.