

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

# **ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА**

## **СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XV РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**18–20 мая 2016 г., г. Томск, Россия**

Томск  
Издательский Дом Томского государственного университета  
2016

## **Влияние серебра на мартенситные превращения сплавов на основе никелида титана**

*Г.А. Байгонакова, Е.С. Марченко, В.Э. Гюнтер*

Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
634050, г. Томск  
E-mail: gat27@mail.ru

### **Effect of silver on martensite transformation of TiNi-based alloys**

*G.A. Baigonakova, E.S. Marchenko, V.E. Gunther*

National Research Tomsk State University, 634050, Tomsk  
E-mail: gat27@mail.ru

Важным направлением в усовершенствовании имплантатов из никелида титана является введение в сплав Ag. Присутствие серебра в никелиде титана может оказать положительное антибактериальное влияние в структуре материала имплантата.

Проведено исследование мартенситных превращений в сплавах на основе никелида титана  $Ti_{50}Ni_{49,7-x}Mo_{0,3}Fe_{0,2}Ag_x$ , легированных до 1,5 ат. % Ag. Показана роль электронного фактора при формировании структуры твердого тела. На основе анализа температурных зависимостей кривых электросопротивления построена диаграмма мартенситных превращений (Ti, Ni, Mo, Fe)Ag.

В сплаве TiNi основными сплавообразующими элементами являются переходные металлы с электронными конфигурациями: Ti –  $[Ar]3d^24s^2$ , Ni –  $[Ar]3d^84s^2$ . При легировании никелида титана атомами Ag –  $[Kr] 4d^{10} 5s^1$  с полностью заполненной  $4d$  полосой и с 1 электроном на  $5s$  полосе значительное изменение электронной подсистемы будет происходить только при попадании атомов Ag в систему со свободной  $d$  полосой. В двойной системе Ti-Ag (Ti –  $[Ar] 3d^24s^2$  и Ag –  $[Kr] 4d^{10} 5s^1$ ) титан имеет почти свободную  $3d$  полосу ( $3d^2$ ), это говорит о том, что в этой системе легко могут образовываться твердые растворы замещения с элементами Ti и Ag. В отличие от системы Ni-Ag (Ni –  $[Ar] 3d^84s^2$  и Ag –  $[Kr] 4d^{10} 5s^1$ ), где разница между компонентами по числу электронов, находящихся в недостроенных электронных  $d$  оболочках, у Ni ( $3d^8$ ) и Ag ( $4d^{10}$ ) минимальна.

Такое поведение электронной подсистемы коррелирует с фазовыми диаграммами состояния бинарных сплавов Ti-Ag [1] и Ni-Ag [2]. В которых Ti и Ag в системе Ti-Ag могут образовывать твердые растворы на основе исходных компонентов (Ag), ( $\alpha$ Ti), ( $\beta$ Ti) и два интерметаллических соединения  $AgTi$  и  $AgTi_2$  при температурах  $1020 \pm 5$  и  $940^\circ C$ . А в системе Ni-Ag с простой монотектической системой на диаграмме состояния, Ni и

Ag практически не растворимы друг в друге. Максимальная растворимость Ni в Ag составляет 0,102% (ат.), а максимальная растворимость Ag в Ni составляет  $\approx 1\%$  (ат.) [2] и уменьшается с понижением температуры.

Изменение в электронной подсистеме твердого тела изменит и основные структурные характеристики матричной фазы сплава TiNi, ответственной за мартенситные превращения.

Рассмотрим проявление термоупругих мартенситных превращений в сплавах на основе никелида титана, легированных серебром. На основе анализа температурных зависимостей кривых электросопротивления получена диаграмма мартенситных превращений сплавов (Ti, Ni, Mo, Fe)Ag (рис. 1 и 2).

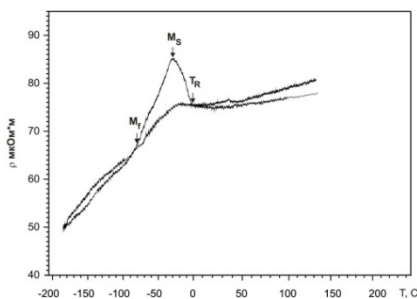


Рис. 1. Температурная зависимость удельного электросопротивления в сплаве на основе никелида титана с 0,5 ат. % Ag

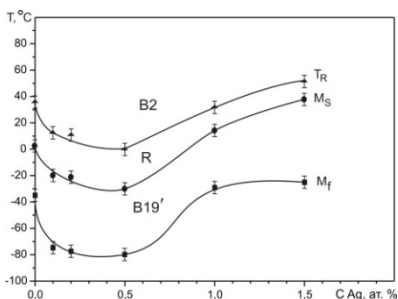


Рис. 2. Диаграмма мартенситных превращений сплавов (Ti, Ni, Mo, Fe)Ag

Легирование TiNiMoFe малыми концентрациями серебра (до 0,5%) приводит к снижению характеристических температур мартенситных превращений на 20–30°C. Более высокие концентрации серебра (1, 1,5 ат. %) повышают температуры мартенситных превращений и смещают фазовые переходы  $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$  в область более высоких температур (рис. 2).

Известно, что изменение состава соединения TiNi в области гомогенности, связанное с увеличением или уменьшением концентрации никеля и титана, приводит к существенному изменению B2 структуры [3]. Даже незначительное увеличение концентрации никеля приводит к резкому снижению характеристической температуры Ms.

Добавка серебра в соединение TiNi по схеме легирования «вместо Ni» изменит соотношения титана и никеля в матрице. В [4] показано, что серебро с концентрацией от 0,6 до 1,1 ат. % может незначительно раствориться в решетке TiNi (от 0,27 до 0,52 ат. %) в зависимости от состава сплава.

Выше было сказано, что серебро не взаимодействует с никелем и может образовывать соединения только с титаном, при этом предполагается, что матричная фаза будет обедняться титаном и на фоне увеличения концентрации Ni. Этим и можно объяснить снижение характеристических температур на диаграмме МП при легировании до 0,5 ат. % Ag.

Дальнейший рост характеристических температур с увеличением концентрации Ag, вероятно, связан с изменением соотношения титана и никеля в сторону увеличения титана. При этом допускается наличие сегрегаций чистого серебра в матричной фазе.

Важной чертой сплавов на основе никелида титана, легированных серебром, является уменьшение характеристических температур мартенситного превращения при концентрациях до 0,5 ат. % Ag и увеличение при концентрациях выше 0,5 ат. % Ag и смещение ФП  $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$  в область более высоких температур. Данная особенность может расширить диапазон биомедицинского применения сплава системы TiNi как сплава, стабилизирующего эффект памяти формы в заданном температурном интервале при изменении концентрации Ag от 0 до 1 ат. %.

*Работа выполнена в рамках научного проекта (№ 8.1.42.2015), при финансовой поддержке программы «Научный фонд Томского государственного университета им. Д.И. Менделеева» в 2015–2016 г.*

## Литература

1. *Диаграммы состояния двойных металлических систем* / под ред. Н.П. Лякишева М. : Машиностроение, 1996–2000.
2. Singleton M., Nash P. // Bull. Alloy Phase Diagrams. 1987. V. 8, № 2. P. 195–199.
3. Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н. и др. Медицинские материалы с памятью формы. Томск : НПП МИЦ, 2011. Т. 1. 533 с.
4. Su-Jin Chun, Jung-pil Noh, Jong-taek Yeom, Jae-il Kim, Tae-hyun Nam. Martensitic transformation behavior of TiNiAg alloys // Intermetallics. 2014. № 46. P. 91–96.