

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
XII Международной конференция студентов и молодых ученых

21–24 апреля 2015 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

XII International Conference of students and young scientists

21–24 April, 2015

Томск 2015

УДК 50(063)
ББК 20л0
П27

Перспективы развития фундаментальных наук [Электронный П27 ресурс] : сборник трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых (Томск, 21–24 апреля 2015 г.) / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 1556 с.

ISBN 978-5-4387-0560-4

Сборник содержит труды участников XII Международной конференции студентов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук». Включает доклады студентов и молодых ученых, представленные на секциях «Физика», «Химия», «Математика», «Биология и медицина», «Наноматериалы и нанотехнологии», «Технология», «Конкурс архитектурных работ», «IT-технологии и электроника».

Предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей в области естественных наук и высшей математики.

УДК 50(063)
ББК 20л0

Редакционная коллегия

И.А. Курзина, доктор физико-математических наук, доцент ТПУ.
Г.А. Воронова, кандидат химических наук, доцент ТПУ.
С.А. Поробова, инженер ТГАСУ.

ISBN 978-5-4387-0560-4

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ,
электронный текст, 2015

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И НА
МАРТЕНСИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВЕ $Ti_{50}Ni_{45,7}Mo_{0,3}V_4$ С ЭФФЕКТАМИ ПАМЯТИ
ФОРМЫ**

Г.А. Байгонакова, Е.С. Марченко, А.А. Клопотов

Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.Э. Гюнтер

НИИ Медицинских материалов и имплантатов с памятью формы при ТГУ,

Россия, г. Томск, ул. 19 гв. Дивизии, 17, 634045

E-mail: gat27@mail.ru

**EFFECT OF HEAT TREATMENT ON PHYSICAL PROPERTIES AND MARTENSITIC
TRANSFORMATION OF $Ti_{50}Ni_{45,7}Mo_{0,3}V_4$ ALLOY WITH SHAPE MEMORY EFFECTS**

G.A. Baigonakova, E.S. Marchenko, A.A. Klopotov

Scientific Supervisor: Dr. V.E. Gunter

SRI of Medical Materials and implants with shape memory at TSU,

Russia, Tomsk, Guards Division 19, 17, 63404

E-mail: gat27@mail.ru

***Annotation.** Results of research of influence of isothermal annealing temperatures at 723, 923 and 1123 K for 1 hour on the martensitic transformations in $Ti_{50}Ni_{47,7}Mo_{0,3}V_2$ alloy are presented. It is revealed that temperature dependences of resistance curves have a form, characteristic for the alloys on the basis of TiNi possessing by a two-stage character of the martensitic transformations $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$. Characteristic temperatures of martensitic transformations in the studied alloy are determined and their dependences on annealing temperature are constructed.*

Введение. Среди различных сплавов с эффектом памяти формы важное место по практическому применению занимают сверхэластичные сплавы на основе TiNi, которые широко используются в медицине в качестве новых функциональных биосовместимых материалов [1]. Легирование сплавов на основе никелида титана ванадием приводит к изменению физико-механических свойств и структурно-фазовых состояний [2]. В литературе не достаточно много внимания уделено исследованиям влияния легирования ванадием на физико-механические свойства и структурно-фазовые состояния в тройных сплавах на основе никелида титана [3], а работы по многокомпонентным сплавам TiNi(Mo,V) отсутствуют. В связи с этим в данной работе поставлена цель: провести исследование влияния термической обработки на МП и физико-механические свойства в сплаве $Ti_{50}Ni_{45,7}Mo_{0,3}V_4$.

Материалы и методы исследования. Исследуемый сплав $Ti_{50}Ni_{45,7}Mo_{0,3}V_4$ выплавлен в индукционной печи путем переплава губчатого Ti и Ni марки Н1 с добавлением легирующих элементов Mo и V. Из полученных слитков электрэрозионным методом были вырезаны образцы, которые подвергались изотермическим отжигам в электровакуумной печи при температурах 723, 923 и 1123 К в течение 1 часа с последующим медленным охлаждением в печи до комнатной температуры.

Рентгеноструктурные исследования образцов были проведены на дифрактометре ДРОН-4 в $Co_{K\alpha}$ излучении. Измерение температурной зависимости электрического сопротивления осуществляли потенциометрическим методом. По зависимостям электросопротивления сплава $Ti_{50}Ni_{45,7}Mo_{0,3}V_4$ исследовались последовательности МП и характеристические температуры.

Результаты и обсуждение. На основе рентгенофазового анализа установлено, что в исходном состоянии в сплаве $Ti_{50}Ni_{45,7}Mo_{0,3}V_4$ при комнатной температуре имеет место многофазная смесь: интерметаллид на основе никелида титана $TiNi(Mo,V)$, находящийся в трех кристаллографических модификациях (аустенитная B2-фаза, мартенситные фазы со структурой R и B19') и соединение $Ti_2Ni(V)$.

Для определения интервалов МП в сплаве $Ti_{50}Ni_{45,7}Mo_{0,3}V_4$ были получены температурные кривые электросопротивления сплава в исходном состоянии и после изотермических отжигов при 723, 923 и 1123 К (рис. 1). Особенности изменения кривых электросопротивления $\rho(T)$ при охлаждении и нагреве имеют характерный вид для сплавов на основе $TiNi$, обладающих двухстадийным характером МП $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$ [1, 2].

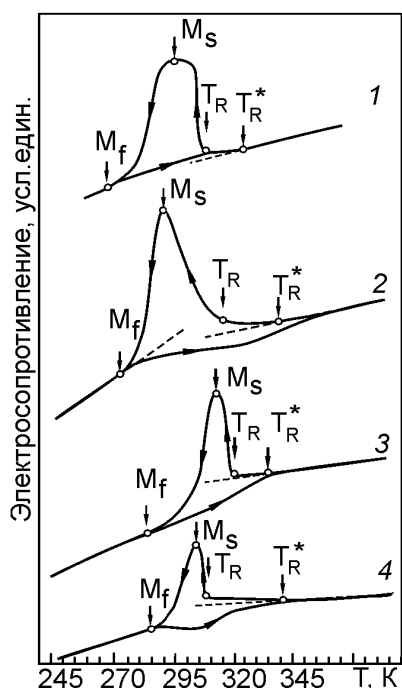


Рис. 1. Температурная зависимость кривых электросопротивления $\rho(T)$ сплава $Ti_{50}Ni_{45,7}Mo_{0,3}V_4$ без отжига и после изотермических отжигов в течении 1 часа при разных температурах: 1 – без термообработки; 2 – отжиг 723 К; 3 – отжиг 923 К; 4 – отжиг 1123 К. Точками на кривых $\rho(T)$ показаны соответствующие характеристические температуры МП T_R^* , M_S и M_f (T_R температура начала интенсивного роста электросопротивления в области МП, T_R^* температура отклонения от линейной зависимости на кривой $\rho(T)$, соответствующая началу МП $B2 \rightarrow R$)

Видно, что изотермический отжиг сплава $Ti_{50}Ni_{45,7}Mo_{0,3}V_4$ при разных температурах приводит к заметному изменению формы $\rho(T)$ и не оказывает заметного влияния на положение и ширину температурной области МП (рис. 1). Начало отклонения от линейной зависимости на кривых $\rho(T)$ при охлаждении (T_R^*) отражает температуру начала предпереходного состояния, при которой происходит образование промежуточных структур сдвига (ПСС), возникающие перед образованием R мартенсита. Дальнейшее понижение температуры приводит к перестройке областей с ПСС в кристаллы мартенсита R-фазы, это явление отражается в значительном росте электросопротивления на кривой $\rho(T)$ (температура T_R на рис. 1) и соответствует МП $B2 \rightarrow R$. Значительное изменение формы температурных зависимостей $\rho(T)$ в области МП отражает разные по значениям интервалы $T_R^* - T_R$, $T_R - M_S$ и $M_S - M_f$. При этом величина температурного интервала всего МП $T_R^* - M_f$ при температуре отжига 723 К превышает все значения, полученные в исходном состоянии и после отжигов при температурах 923 К и

113 К. Резкое понижение электросопротивления при охлаждении в области максимума на кривых $\rho(T)$ соответствует температуре M_S начала прямого МП $R \rightarrow B19'$. Температура конца прямого МП на кривых $\rho(T)$ соответствует точке M_f [1].

Данные, приведенные на рис. 2, показывают, что с ростом температуры отжига характеристические температуры МП имеют схожий характер изменения, сопровождаемый увеличением значений относительно величин исходного состояния. Температура T_R незначительно повышается относительно исходного состояния при 1123 К (рис. 2, кривая 2). После отжига при 723 К характеристические температуры прямого МП (M_S , M_f) снижены \sim на 15 К по сравнению с исходным состоянием сплава (рис. 2, кривые 3 и 4). Температурные интервалы МП $B2 \rightarrow R$ и $R \rightarrow B19'$ после отжига снижаются относительно исходного состояния (рис. 2, кривые 1 и 2). Такое уменьшение температурных интервалов МП ($T_R - M_S$) и ($M_S - M_f$) от температуры отжига отражают тот факт, что происходит изменение структурно-фазового состояния, которое влияет на подвижность межфазных границ при МП и на величину движущей силы МП (рис. 3).

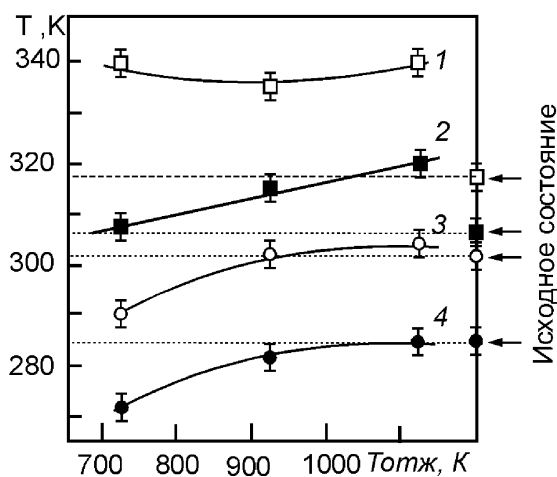


Рис. 2. Зависимость характеристических температур мартенситного превращения T_R^* (кривая 1), T_R (кривая 2), M_S (кривая 3) и M_f (кривая 4) от температуры отжига в сплаве $Ti_{50}Ni_{45.7}Mo_{0.3}V_4$

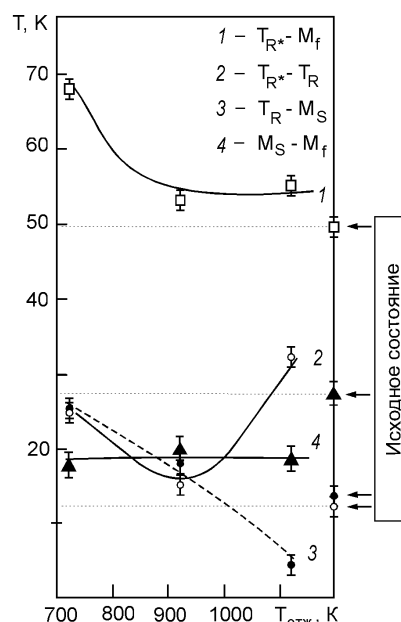


Рис. 3. Зависимость интервала всего МП $B2 \rightarrow R \rightarrow B19'$ $T_R^* - M_f$ (кривая 1), $T_R^* - T_R$ (кривая 2), $M_S - T_R$ (кривая 3) и МП $R \rightarrow B19'$ $M_S - M_f$ (кривая 4) от температуры отжига в сплаве $Ti_{50}Ni_{45.7}Mo_{0.3}V_4$

Таким образом, отжиг сплава $Ti_{50}Ni_{45.7}Mo_{0.3}V_4$ приводит к заметному изменению формы кривых электросопротивления в интервале МП при незначительном изменении характеристических температур МП. Установлено, что низкотемпературный отжиг при 723 К снижает температуры прямого мартенситного превращения (M_S , M_f) \sim на 15 К, увеличение температуры отжигов до 1123 К сопровождается смещением этих характеристик в область более высоких температур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н. и др. Медицинские материалы с памятью формы. – Томск: НПП МИЦ, Т.1.,2011. — 533 с.
2. Марченко Е.С. Структурно-фазовые состояния и физико-механические свойства сплавов на основе никелида титана, легированных ванадием и ниобием: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Барнаул, 2012. – 20 с.
3. Байгонакова Г.А., Марченко Е.С., Клопотов А.А. // Сб. научных трудов XI Международной конференция студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – Томск: ТПУ. – 2014. – С. 33–35.