

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
XIII Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

Том 1. Физика

РОССИЯ, ТОМСК, 26 – 29 апреля 2016 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

XIII International Conference of students, graduate students
and young scientists

Volume 2. Physics

RUSSIA, TOMSK, April 26 – 29, 2016

Томск 2016

**ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВАХ НА
ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА И ЖЕЛЕЗА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОДОРОДА**

Ю.Н. Платонова

Научный руководитель: гл.н.с., д.ф.-м.н. И.В. Киреева

Научный консультант: профессор, д.ф.-м.н. Ю.И. Чумляков

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: lesoto@sibmail.com

**HYDROGEN-INDUCED CHANGING OF THE MARTENSITIC TRANSFORMATION
TEMPERATURES IN SINGLE CRYSTALS OF NITI- AND FE-BASED ALLOYS**

Yu.N. Platonova

Scientific Supervisor: Chief Scientist, Dr. I.V. Kireeva

Scientific Consultant: Prof., Dr. Yu.I. Chumlyakov

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: lesoto@sibmail.com

***Abstract.** On single crystals of Ti-50.7%Ni, Ti-51%Ni, Ti-49%Ni-1%Fe u Fe-28%Ni-17%Co-11.5%Al- 2.5%Ti (at.%) alloys at electrolytic hydrogen saturation are shown, that change of martensitic transformation temperatures after hydrogenation is dependent on the saturation mode and the presence of R-phase.*

Сплавы с фазовыми мартенситными переходами, проявляющие уникальные функциональные свойства, такие как сверхэластичность и эффект памяти формы, всегда привлекали особое внимание ученых и специалистов различных областей науки и промышленности. Одними из наиболее известных представителей таких сплавов являются сплавы на основе никелида титана и железа. В активно развивающейся атомной энергетике конструкционные составляющие из этих материалов часто подвергаются воздействию водородом. В зависимости от введенной концентрации водорода, он может оказывать значительное влияние на механические и функциональные свойства, а также на температуры фазового превращения [1-2]. Поэтому в настоящей работе была поставлена задача: исследовать на монокристаллах сплавов Ti-50.7%Ni, Ti-51%Ni, Ti-49%Ni-1%Fe и Fe-28%Ni-17%Co-11.5%Al-2.5%Ti (ат.%) влияние электролитического насыщения водородом на температуры мартенситного превращения (МП) и температурный гистерезис. Исследования на монокристаллах позволяют избежать осложнений, связанных с неоднородным распределением водорода между телом зерна и границами зёрен.

Монокристаллы сплавов Ti-50.7%Ni, Ti-51%Ni, Ti-49%Ni-1%Fe и Fe-28%Ni-17%Co-11.5%Al-2.5%Ti (ат.%) выращивали методом Бриджмена в атмосфере гелия. На монокристаллах сплавов Ti-50.7Ni и Fe-28Ni-17Co-11.5Al-2.5Ti было исследовано влияние водорода на одностадийное МП, а в сплавах Ti-51Ni и Ti-49Ni-1Fe на двухстадийное МП через промежуточную R-фазу. В сплаве Ti-51Ni R-фаза имеет место после старения при $T = 823$ К в течение 1.5 час, а в сплаве Ti-49Ni-1Fe за счёт дополнительного легирования железом. Наводороживание проводили электролитическим методом в 1М растворе H_2SO_4

при $T = 195 \text{ K}$ в течение 2 часов при разной плотности тока: режим I – $j = 50 \text{ mA/cm}^2$, режим II – $j = 70 \text{ mA/cm}^2$, режим III – $j = 140 \text{ mA/cm}^2$. Температуры МП определяли по перегибам на кривой зависимости электрического сопротивления от температуры $\rho(T)$.

На рис. 1 представлены кривые зависимости электросопротивления от температуры $\rho(T)$, на рис. 2 – температурные гистерезисы в координатах «объемная доля мартенсита – температура» для кристаллов исследуемых сплавов в состоянии без водорода и после наводороживания. Количественные изменения температур МП и величин, характеризующих температурный гистерезис, представлены в таблице 1.

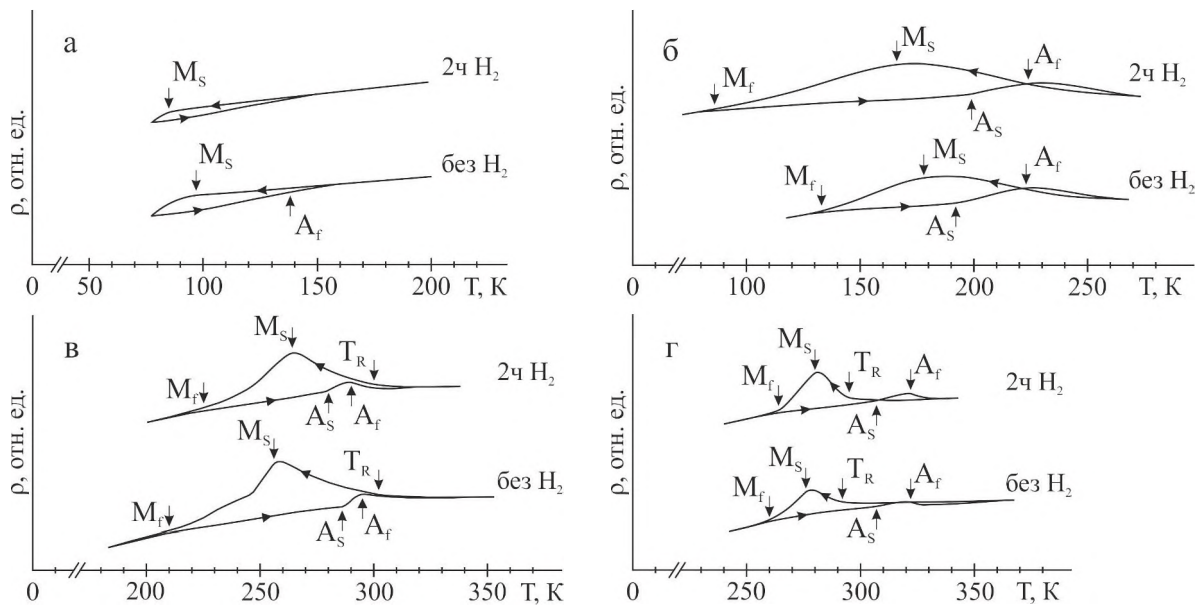


Рис. 1. Зависимость электросопротивления от температуры для монокристаллов

Fe-28Ni-17Co-11.5Al-2.5Ti режим наводороживания I (а),

Ti-50.7Ni режим II (б), *Ti-51Ni* режим III (в), *Ti-49Ni-1Fe* режим III (г)

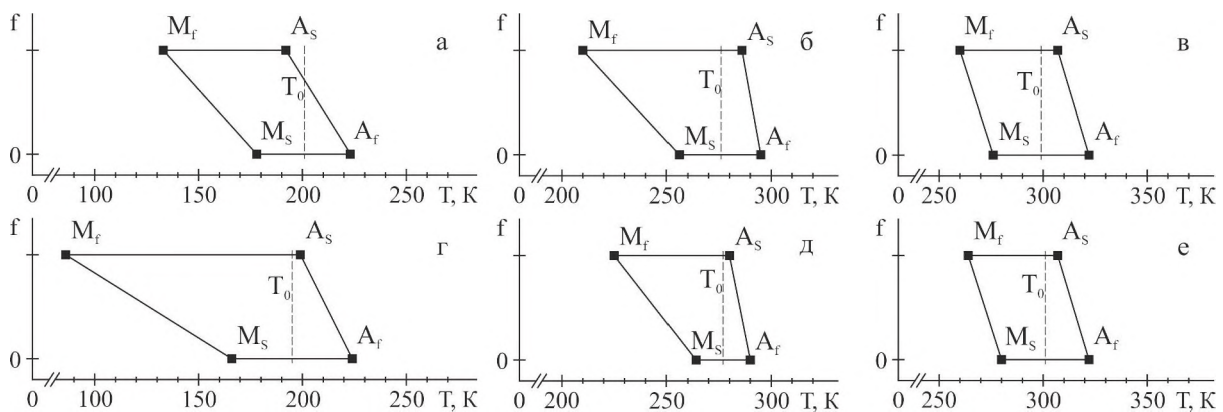


Рис. 2. Температурные гистерезисы для монокристаллов *Ti-50.7Ni* (а, г), *Ti-51Ni* (б, д)

и *Ti-49Ni-1Fe* (в, е) в состоянии без водорода (а-в) и после насыщения водородом

при $T=195\text{K}$ в течение 2 часов: режим II (г), режим III (д, е)

Анализ данных, представленных на рис. 1 и рис. 2, показывает, во-первых, что изменение температуры M_s при наводороживании зависит от режимов насыщения. При использовании «мягких» режимов наводороживания I и II ($j = 50 \text{ mA/cm}^2$ и $j = 70 \text{ mA/cm}^2$) в сплавах *Fe-28Ni-17Co-11.5Al-2.5Ti* и *Ti-*

50.7Ni наблюдается понижение температур M_s и M_f на 12 К и 47 К соответственно. В то время как при насыщении водородом «жестким» режимом III ($j = 140 \text{ мА/см}^2$) M_s и M_f , напротив, повышаются: в сплаве Ti-51Ni на 8 К и 15 К, в сплаве Ti-49Ni-1Fe на 4 К и 4 К, соответственно.

Таблица 1

Температуры мартенситного превращения для монокристаллов сплавов

Fe-28Ni-17Co-11.5Al-2.5Ti, Ti-50.7Ni, Ti-51Ni и Ti-49Ni-1Fe

Сплав	Состояние	T_R , К	M_s , К	M_f , К	A_s , К	A_f , К	T_0 , К	Δ_1 , К	Δ_2 , К	Γ_1 , К	Γ_2 , К
Fe-28Ni-17Co-11.5Al-2.5Ti	без H ₂	–	97	–	–	138	–	–	–	–	–
	2 ч Режим I	–	85	–	–	–	–	–	–	–	–
Ti-50.7Ni	без H ₂	–	178	133	192	223	201	45	31	45	59
	2 ч Режим II	–	166	86	199	224	195	80	25	58	113
Ti-51Ni	без H ₂	302	256	210	286	295	276	46	9	39	76
	2 ч Режим III	300	264	225	280	290	277	39	10	26	55
Ti-49Ni-1Fe	без H ₂	292	276	260	307	322	299	16	15	46	47
	2 ч Режим III	295	280	264	307	322	301	16	15	42	43

Во-вторых, в кристаллах сплава Ti-50.7Ni с одностадийным B2-B19' МП за счет сильного смещения температуры M_f температурный гистерезис меняет вид от симметричного с исходном состоянии к несимметричному после наводороживания (Рис. 2 а, г) за счёт сильного смещения температуры M_f в область низких температур. В кристаллах Ti-49Ni-1Fe с двухстадийным МП водород не меняет симметричности температурного гистерезиса, а в кристаллах Ti-51Ni после насыщения водородом наблюдается сужение температурного гистерезиса, т.е. уменьшение величины переохлаждения Δ_1 и перегрева Δ_2 (Таблица 1). Такое поведение в сплавах Ti-51Ni и Ti-49Ni-1Fe может быть связано с наличием промежуточной R-фазы при МП, на которую водород практически не оказывает влияния.

В-третьих, для сплавов Fe-28Ni-17Co-11.5Al-2.5Ti, Ti-50.7Ni и Ti-49Ni-1Fe после наводороживания изменения температур обратного МП A_s и A_f не наблюдается, в то время как в кристаллах сплава Ti-51Ni с дисперсными частицами температуры A_s и A_f понижаются на 5-6 К.

Таким образом, на монокристаллах сплавов Fe-28Ni-17Co-11.5Al-2.5Ti, Ti-50.7Ni, Ti-51Ni и Ti-49Ni-1Fe экспериментально показано, что изменение температур МП и величин, характеризующих температурный гистерезис, при насыщении водородом оказывается зависимым от режимов наводороживания и стадийности МП.

Результаты работы получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 1346.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pelton B.L., Slater T., Pelton A. Effects of Hydrogen in TiNi // SMST-97. – California, USA. – 1997.– P. 395–400.
2. Киреева И.В., Чумляков Ю.И., Платонова Ю.Н. Влияние водорода на эффект памяти формы и сверхэластичность в однофазных монокристаллах никелида титана // Письма в ЖТФ. – 2015. – Т. 41. – № 6. – С. 58-66.