

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

**ОРИЕНТАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ В МОНОКРИСТАЛЛАХ
СПЛАВА FeNiCoAlTi**

В.В. Поклонов

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

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

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

E-mail: poklonov_vvacheslav@mail.ru

**THE ORIENTATION DEPENDENCE OF SHAPE MEMORY EFFECT IN SINGLE CRYSTALS OF
FeNiCoAlTi ALLOY**

V.V. Poklonov

Scientific Supervisors: chief researcher, Dr. I.V. Kireeva, professor, Dr. Yu.I. Chumlaykov

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

E-mail: poklonov_vvacheslav@mail.ru

***Annotation.** On [001] and [011] single crystals of ferromagnetic alloys FeNiCoAlTi, aged at the temperature $T=973\text{K}$, 7h experimentally found out the orientation dependence of the values $\alpha=d\sigma_{0,1}/dT$, the shape memory effect and temperature hysteresis. In the [001] orientation is observed maximum value of reversible deformation $\varepsilon_{SME}=3,5\%$.*

Авторами работ [1-3] было обнаружено, что в сплавах на основе железа FeNiCoTi можно наблюдать не только эффект памяти формы (ЭПФ), но и сверхэластичность (СЭ). Условия для появления ЭПФ и СЭ реализуются за счет выделения дисперсных частиц γ' -фазы атомноупорядоченной по типу $L1_2$. Исследований зависимости свойств ЭПФ от ориентации монокристаллов сплавов на основе железа в литературе нет. Поэтому целью настоящей работы является изучение влияния ориентации на величину ЭПФ $\varepsilon_{ЭПФ}$ в монокристаллах сплава FeNiCoAlTi, которые испытывают $\gamma-\alpha'$ мартенситные превращения (МП) при деформации растяжением. Для этого были выбраны монокристаллы, ориентированные вдоль направлений [001] и [011], отличающиеся величиной деформации решетки. В ориентации [001] теоретическое значение величины деформации решетки максимально и составляет $\varepsilon_0=8,7\%$, а в ориентации [011] ε_0 оказывается в 2 раза меньше, чем в [001] кристаллах и составляет 4,1% [2]. Исследования влияния ориентации кристалла на величину ЭПФ проводили после старения 973 К, 7 часов.

Экспериментально показано, что при исследовании зависимости электрического сопротивления $\rho(T)$ в температурном интервале $T=77-300$ К $\gamma-\alpha'$ МП не наблюдается. Это говорит о том, что характеристические точки перехода лежат ниже температуры жидкого азота 77 К. Для выяснения возможности развития обратимого $\gamma-\alpha'$ МП под нагрузкой была исследована температурная зависимость критических напряжений $\sigma_{0,1}$ в температурном интервале от 77 К до 400 К, которая представлена на рис.1. Видно, что на зависимости $\sigma_{0,1}(T)$ наблюдается две стадии, характерные для сплавов, испытывающих МП под нагрузкой. На первой стадии $77\text{K}<T<M_d$ (M_d – температура, при которой

напряжения высокотемпературной фазы оказываются равными напряжению, необходимому для образования мартенсита под нагрузкой) $\sigma_{0,1}$ возрастают с увеличением температуры испытания, и она оказывается близкой к линейной зависимости и описывается соотношением Клапейрона-Клаузиуса (1):

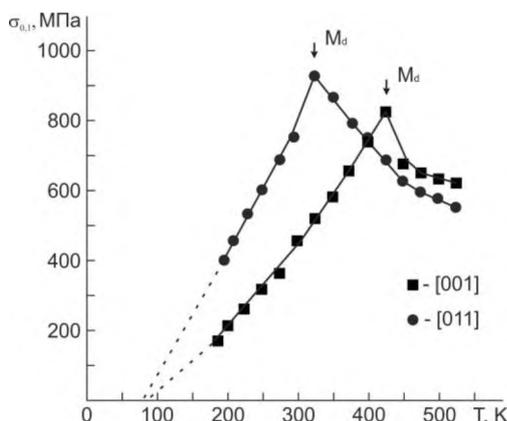


Рис. 1. Температурная зависимость критических напряжений $\sigma_{0,1}$ для [001] и [011] монокристаллов сплава FeNiCoAlTi

Здесь ΔH – изменение энтальпии при γ - α' МП; ε_0 – деформация решетки, которая зависит от ориентации кристалла; T_0 – температура химического равновесия γ - и α' -фаз. Экстраполяция кривых $\sigma_{0,1}(T)$ на $\sigma_{0,1}=0$ МПа показывает, что температура в точке их пересечения, которая является температурой M_S , лежит ниже температуры жидкого азота $T=77$ К, что согласуется с данными по изучению зависимости $\rho(T)$. Анализ температурной зависимости критических напряжений показал, что ориентация монокристалла, во-первых, влияет на величину $\alpha=d\sigma_{0,1}/dT$: в ориентации [001] $\alpha_1=3,1$ МПа/К, в ориентации [011] $\alpha_2=3,9$ МПа/К. Во-вторых, температура $T(M_d)$ и уровень напряжений $\sigma_{0,1}(M_d)$ зависят от ориентации: в [001] монокристаллах $T(M_d)=430$ К и $\sigma_{0,1}(M_d)=825$ МПа, а в [011] кристаллах $T(M_d)=330$ К, а $\sigma_{0,1}(M_d)=925$ МПа. При $T>M_d$ наблюдается вторая стадия, связанная с деформацией высокотемпературной фазы, на которой напряжения $\sigma_{0,1}$ падают с ростом температуры и данная динамика характерна для материалов с ГЦК решеткой при деформации скольжением.

На рис. 2 представлены данные по измерению величины деформации превращения в [001] и [011] монокристаллах сплава FeNiCoAlTi в эксперименте при охлаждении/нагреве под постоянной внешней растягивающей нагрузкой $\sigma_{\text{внеш}}$. На рис.3 показаны зависимости величин температурного гистерезиса ΔT и величины деформации превращения $\varepsilon_{\text{ЭПФ}}$ от внешней растягивающей нагрузки.

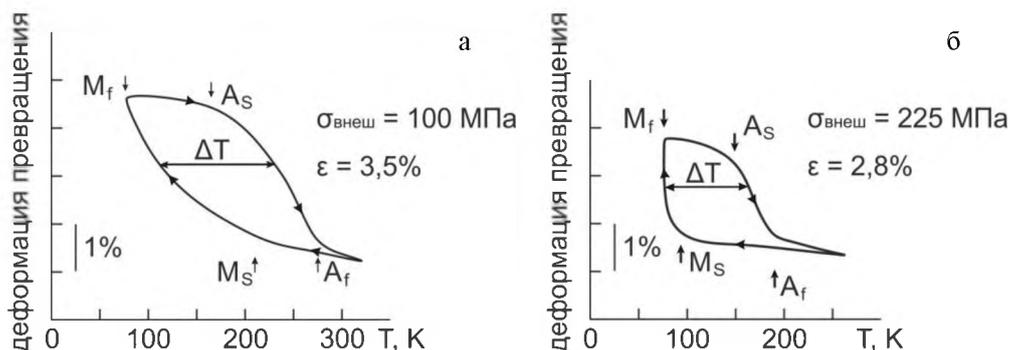


Рис. 2. $\varepsilon(T)$ кривые, полученные при охлаждении/нагреве под постоянной растягивающей нагрузкой для [001] (а) и [011] (б) монокристаллов сплава FeNiCoAlTi

Видно, что при охлаждении/нагреве под нагрузкой в кристаллах наблюдается одностадийное γ - α' МП, которое является полностью обратимым. Следовательно, наблюдается ЭПФ, величина которого зависит от ориентации кристалла. В ориентации [001] ЭПФ реализуется при минимальных напряжениях $\sigma_{\text{внеш}}=50$ МПа и его величина равна $\varepsilon_{\text{ЭПФ}}=3\%$, а при $\sigma_{\text{внеш}}=100$ МПа достигается

максимальная величина обратимой деформации, равная 3,5%. При дальнейшем увеличении $\sigma_{\text{внеш}}$ величина обратимой деформации меняется незначительно. При $\sigma_{\text{внеш}}=175$ МПа кристалл разрушается.

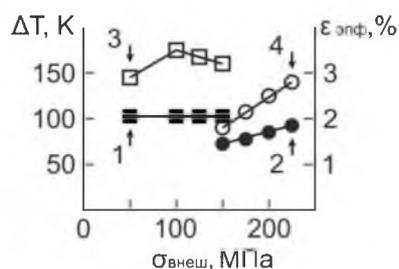


Рис. 3. Зависимости величин температурного гистерезиса (кривая 1-[001] ориентация, кривая 2- [011] ориентация) и эффекта памяти формы (кривая 3-[001] ориентация, кривая 4- [011] ориентация) от внешней растягивающей нагрузки для монокристаллов сплава FeNiCoAlTi

зависимость величины $\epsilon_{\text{ЭПФ}}$ объясняет ориентационную зависимость величины $\alpha = d\sigma_{0,1}/dT$. Это находится в полном согласии с соотношением (1). А именно, большему значению α_2 в [011] кристаллах соответствует меньшее значение $\epsilon_{\text{ЭПФ}}$, а в [001] кристаллах, напротив, меньшему значению α_1 соответствует большее значение $\epsilon_{\text{ЭПФ}}$. Из рис.3 видно, что от ориентации кристалла зависит не только величина $\epsilon_{\text{ЭПФ}}$, но и величина температурного гистерезиса ΔT . В [001] кристаллах при $\sigma_{\text{внеш}}=50$ МПа $\Delta T=105$ К и с увеличением приложенной нагрузки не изменяется, тогда как в [011] ориентации при минимальных $\sigma_{\text{внеш}}=150$ МПа $\Delta T=70$ К и с ростом $\sigma_{\text{внеш}}$ увеличивается до $\Delta T=95$ К.

Итак, экспериментально на монокристаллах сплава FeNiCoAlTi при деформации растяжением установлено, что величины $\alpha = d\sigma_{0,1}/dT$, ЭПФ и температурного гистерезиса зависит от ориентации кристалла. Ориентационная зависимость величины $\epsilon_{\text{ЭПФ}}$ объясняет ориентационную зависимость величины α в соответствии с уравнением Клапейрона-Клаузиуса.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №14-08-00092а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокорин, В.В. Мартенситные превращения в неоднородных твердых растворах / В.В. Кокорин. – Киев: Наук, думка, 1987. – 168 с.
2. Sehitoglu, Zhang X.Y., Kotil T., Canadic D., Chumlyakov Yu.I., Maier H.J.. Shape memory behavior of FeNiCoTi single and polycrystals//Metallurgical and Materials Transactions A, 2002.-V. 33A - P. 3661-3672
3. Chumlyakov Yu.I., Kireeva I.V., Panchenko E.Yu. at all. Effect of shape memory and superelasticity in FeNiCoTi single crystals with γ - α' thermoelastic martensitic transformation. Doklady Akademii Nauk, 2004-V. 394 - N1-P.54-57