

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

Механические и функциональные свойства монокристаллов ферромагнитного сплава FeNiCoAlTa

К.А. Реунова, Ю.Н. Платонова

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
634050, г. Томск

E-mail: Reunova.ksenya@mail.ru

Mechanical and functional properties in single crystals of FeNiCoAlTa ferromagnetic alloy

K.A. Reunova, Yu.N. Platonova

National Research Tomsk State University, 634050, Tomsk

E-mail: Reunova.ksenya@mail.ru

Известно, что сплавы на основе железа при выделении наноразмерных дисперсных частиц γ' -фазы, атомно-упорядоченной по типу $L1_2$, могут проявлять обратимые деформации превращения до 4–13% при термоупругом γ - α' -мартенситном превращении (МП) [1, 2]. В настоящей работе представлены результаты исследований влияния термической обработки на механические и функциональные свойства при термоупругом γ - α' МП монокристаллов сплава Fe–28%Ni–17%Co–11,5%Al–2,5%Ta (ат. %) при деформации растяжением. Эксперименты на монокристаллах позволяют получить максимальную величину сверхэластичности (СЭ) путем выбора ориентации оси кристалла. Для исследования были выбраны кристаллы с осью растяжения вдоль [001]-направления с максимальной величиной деформации решетки $\epsilon_0 = 8,7\%$ при растяжении для γ - α' МП. Старение монокристаллов сплава Fe–28%Ni–17%Co–11,5%Al–2,5%Ta (ат. %) проводили при $T = 973$ К в течение 30 мин и 3 ч в атмосфере He с последующей закалкой в воду. При таком времени старения температуры МП не определяются, поскольку лежат ниже температуры жидкого азота. Механические испытания проводили на испытательной машине Instron 5969.

На рис. 1 представлена температурная зависимость осевых напряжений $\sigma_{0,1}$ для [001]-монокристаллов FeNiCoAlTa, состаренных при 973 К в течение 30 мин и 3 ч, при деформации растяжением в температурном интервале $T = 77$ –523 К. Температурная зависимость $\sigma_{0,1}(T)$ имеет вид, характерный для сплавов, испытывающих МП под нагрузкой. На зависимости $\sigma_{0,1}(T)$ наблюдаются две стадии. На первой стадии в температурном интервале $77 \text{ К} < T < M_d$ напряжения $\sigma_{0,1}$ увеличиваются с ростом температуры испытания, и эта зависимость описывается соотношением Клапейрона–Клаузиуса

$$\frac{d\sigma_{0,1}}{dT} = -\frac{\Delta H}{\epsilon_0 T_0},$$

где ΔH – изменение энтальпии при γ - α' МП; ε_0 – деформация решетки, зависящая от ориентации кристалла; T_0 – температура химического равновесия фаз. Вторая стадия, при $T > M_d$ связана с пластической деформацией высокотемпературной фазы, на которой с ростом температуры испытания наблюдается падение напряжений $\sigma_{0,1}$.

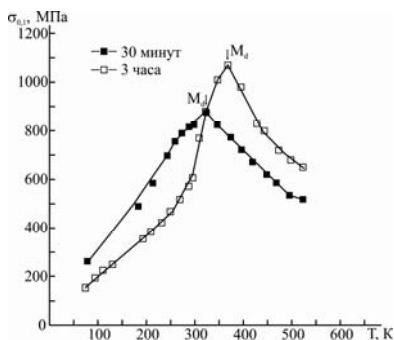


Рис. 1. Температурная зависимость осевых напряжений $\sigma_{0,1}$ для [001]-монокристаллов сплава Fe–28%Ni–17%Co–11,5%Al–2,5%Ta (ат. %), состаренных при $T = 973$ К в течение 30 мин и 3 ч

Анализ представленных на рис. 1 данных показывает, во-первых, что увеличение времени старения приводит к повышению температуры M_s и M_d . Это коррелирует с различием в напряжениях при $T = 77$ К: при старении в течение 3 ч $\sigma_{0,1}$ для МП под нагрузкой при 77 К оказываются меньше, чем для старения в течение 30 мин. Во-вторых, величина $\alpha = d\sigma_{0,1}/dT$ для двух режимов старения оказывается близкой (таблица).

Функциональные и механические свойства кристаллов Fe–28%Ni–17%Co–11,5%Al–2,5%Ta (ат. %), состаренных при $T = 973$ К в течение 30 мин и 3 ч, при деформации растяжением

Время старения	$T(M_d)$, К	$\sigma_{0,1}(M_d)$, МПа	$A = d\sigma_{0,1}/dT$, МПа/К	$\varepsilon_{теор}$, % [2]	$\varepsilon_{сэ}$, %
30 мин	325	875	2,4	8,7	10,
3 ч	370	1 070	2,1	8,7	2,8

В-третьих, $\sigma_{0,1}(M_d)$ и напряжения высокотемпературной фазы возрастают с увеличением времени старения: $\Delta\sigma_{0,1}(M_d) = 200$ МПа, что связано с увеличением размера и объемной доли частиц γ' -фазы с ростом времени старения при одной температуре старения [1].

Экспериментально установлено, что при старении в течение 30 мин и 3 ч при 973 К в [001]-кристаллах FeNiCoAlTa наблюдается СЭ, величина которой зависит от времени старения. На рис. 2 представлены $\sigma(\varepsilon)$ кривые для [001]-кристаллов при растяжении (77 К). Во время старения в течение

30 мин величина СЭ $\varepsilon_{СЭ} = 10,8\%$ (рис. 2, а) и оказывается больше теоретического значения деформации решетки $\varepsilon_0 = 8,7\%$ для [001]-ориентации при растяжении для γ - α' МП [2]. Петля СЭ характеризуется широким механическим гистерезисом $\Delta\sigma = 290$ МПа.

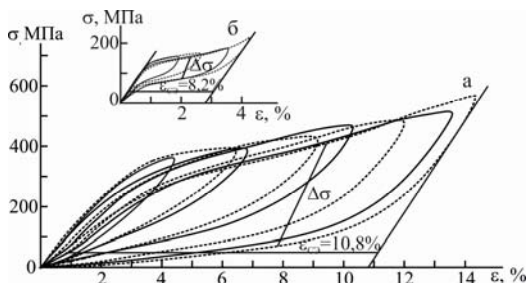


Рис. 2. Сверхэластичность в [001]-монокристаллах сплава Fe–28%Ni–17%Co–11,5%Al–2,5%Ta (ат. %) после старения при $T = 973$ К в течение: а – 30 мин; б – 3 ч

При увеличении времени старения до 3 ч $\varepsilon_{СЭ} = 2,8\%$ и оказывается меньше $\varepsilon_0 = 8,7\%$ для [001]-ориентации при растяжении для γ - α' МП [2], а $\Delta\sigma = 70$ МПа (рис. 2, б). Различие в величине $\varepsilon_{СЭ}$ и $\Delta\sigma$ при увеличении времени старения связано, во-первых, с тем, что при старении в течение 30 мин частицы γ' -фазы не стабильны и сами могут испытывать МП, в отличие от старения в течение 3 ч, когда частицы оказываются стабильными, не испытывают МП и деформируются только упруго. В результате этого при старении в течение 3 ч происходит уменьшение объема исходной фазы, которая испытывает МП, и величина СЭ оказывается меньше, чем ε_0 в отличие от старения в течение 30 мин. Во-вторых, при развитии МП под нагрузкой может появиться дополнительный механизм деформации α' -мартенсита – упругое двойникование по (110) плоскостям, отличный от двойникования α' -мартенсита по плоскостям (112). С (110) двойникованием α' -мартенсита может быть связано превышение величины обратимой деформации $\varepsilon_{СЭ}$ величины ε_0 и большое значение $\Delta\sigma$ при старении в течение 30 мин по сравнению со старением в течение 3 ч при 973 К.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14-29-00012).

Литература

1. Чумляков Ю.И., Киреева И.В. и др. Эффект памяти формы и сверхэластичность в [001]-монокристаллах сплава FeNiCoAlTa с γ - α' -термоупругими мартенситными превращениями // Известия вузов. Физика. 2013. Т. 56, № 8. С. 66–74.
2. Tanaka Y., Himuro Y. et al. Ferrous polycrystalline shape-memory alloy showing huge superelasticity // Science. 2010. V. 327, Is. 3. P. 1488–1490.