ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/40

ЭКСТРЕМУМЫ УПРУГИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛОВ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ TiNi И TiFe

¹Муслов С.А., ²Лотков А.И.

¹ГБОУ ВПО Московский Государственный Медико-Стоматологический Университет
(МГМСУ) им. А.И. Евдокимова Минздрава РФ

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

На основании данных по упругим постоянным [1, 2] и коэффициентам податливости монокристаллов TiFe и TiNi, стабильного и испытывающего мартенситные превращения соответственно, определены экстремальные значения характеристик упругости материалов: упругих модулей и коэффициента Пуассона кристаллов. Подробно исследована анизотропия упругих свойств с помощью ряда наиболее информативных параметров. Рассчитаны эффективные значения упругих модулей и коэффициента Пуассона поликристаллов, исходя из известных методов усреднения упругих параметров соответствующих монокристаллических сред.

Из полученных результатов следует, что данные интерметаллиды характеризуются кардинально различным уровнем упругих свойств и принципиально разным типом упругой анизотропии. Для TiNi модули Юнга вдоль высокосимметричных направлений подчиняются неравенству $E_{100} < E_{110} < E_{111}$, при этом $\Delta > 0$. У Ti₅₀Fe₅₀ наоборот $E_{100} > E_{110} > E_{111}$ и $\Delta < 0$, что соответствует отрицательной анизотропии. Кристаллическая решетка в этом случае более податлива к сдвигу в базовой плоскости {100}, чем к “зинеровскому” сдвигу {110}<110>, играющему важную роль при мартенситной перестройке решетки в сплавах на основе никелида титана.

Экстремальные значения модулей упругости TiNi и TiFe и их отношения представлены в таблице 2.

Таблица 1
Экстремальные значения модулей упругости (ГПа) и их отношения

Сплав	E_{100} , ГПа	E_{110} , ГПа	E_{111} , ГПа	$E_{\max}/E_{\min}$	$G_{\{110\}<1\bar{1}0>} =$ $(2(s_{11} - s_{12}))^{-1}$, ГПа	$G_{\{100\}<0kl>} = s_{44}^{-1}$, ГПа	$G_{\max}/G_{\min}$
Ti ₄₉ Ni ₅₁	44.9	72.9	92.0	2.05	15.5	33.0	2.13
Ti ₅₀ Fe ₅₀	256.6	196.8	182.6	1.41	102.5	69.0	1.49

Параметры упругой анизотропии A , A' и Δ сплавов систематизированы в таблице 2. Наряду с ними в качестве характеристик анизотропии рассмотрены значения $E_{\max}/E_{\min}$ и $G_{\max}/G_{\min}$ из табл. 1.

Таблица 2
Характеристики анизотропии сплавов

Сплав	$A = 2 \frac{s_{11} - s_{12}}{s_{44}}$	$A' = \Delta/s_{11}$	$\Delta = s_{11} - s_{12} - s_{44}/2$, ГПа ⁻¹
Ti ₄₉ Ni ₅₁	2.13	0.77	0.0171
Ti ₅₀ Fe ₅₀	0.67	-0.61	-0.0024

Были рассчитаны значения коэффициента Пуассона вдоль главных направлений растяжения-сжатия и поперечной деформации. Часть из них (соответствующих направлению деформации растяжения-сжатия вдоль <110>) являются экстремальными значениями μ (табл. 3).

**Секция 1. Основные принципы и методология физической мезомеханики
материалов с иерархической структурой**

Таблица 3

Изменчивость коэффициента Пуассона

Сплав	$\mu_{\min}$	$\mu_{\max}$	$\mu_{100} = \mu_0$	$\mu_{110, 001}$	$\mu_{110, 1\bar{1}0}$	μ_{111}	$\langle \mu \rangle$
Ti ₄₉ Ni ₅₁	0.10	0.73	0.45	0.73	0.10	0.39	0.42
Ti ₅₀ Fe ₅₀	0.19	0.43	0.25	0.19	0.43	0.32	0.30

Усредненный по поперечным направлениям коэффициент Пуассона $\langle \mu \rangle$ в таблице 3 вычисляли по формулам [3] численными методами:

$$\langle \mu \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi d\varphi \int_0^\pi \sin \theta \mu(\varphi, \theta) d\theta. \quad (1)$$

Отношение $\mu_{\max} / \mu_{\min}$ равно 7.3 для никелида титана и всего 2.3 для интерметаллида TiFe, при этом $\mu_{110, 001} / \mu_{110, 1\bar{1}0} \gg 1$ для TiNi и соответственно $0.44 < 1$ у сплава TiFe. Это подтверждает различный характер упругой анизотропии в этих интерметаллидах и, следовательно, различный тип анизотропии межатомных связей в их кристаллических решетках.

Были получены срезы изоповерхностей коэффициентов Пуассона кристаллов TiNi и TiFe (рис. 1).

Рис. 1. Коэффициент Пуассона $\mu_{31}(\theta)$ TiNi и TiFe в сравнении.

Экстремумы коэффициента Пуассона в кубических кристаллах могут проявляться при растяжении в направлениях [100], [110] и [111]. Ориентационную зависимость можно строить только для случая [110]. Как видно из рисунка, сечения указательных поверхностей коэффициентов Пуассона интерметаллидов TiNi и TiFe имеют различный вид. В двух других случаях коэффициент Пуассона будет постоянной величиной: в 1-м случае $\mu_{21} = \mu_{31} = -s_{12} / s_{11}$, в 3-м — $\mu_{21} = \mu_{31} = -(3s_{12} + \Delta) / (3s_{11} - 2\Delta)$. В таблице 4 приведены значения усредненных упругих модулей и коэффициента Пуассона, рассчитанных по значениям упругих постоянных с помощью известных методов усреднения, используемых для однофазных кубических поликристаллов (Фойгта, Ройса и Хилла).

**Секция 1. Основные принципы и методология физической мезомеханики
материалов с иерархической структурой**

Таблица 4

Усредненные эффективные значения упругих модулей (ГПа) и коэффициента Пуассона							
	K_V	G_V	K_R	G_R	K_H	G_H	$\langle \mu \rangle$
$Ti_{49}Ni_{51}$	143.83	26.00	143.83	22.73	143.83	24.37	69.19
$Ti_{50}Fe_{50}$	172.33	82.40	172.33	79.38	172.33	80.89	209.84

Отметим, что приведенные рассчитанные значения достаточно хорошо согласуются с известными опытными данными, имеющимися в мировой литературе по величине E , G и μ , полученными различными экспериментальными методами на поликристаллических образцах.

Полученные данные и установленные различия в уровне и характере анизотропии упругих свойств в интерметаллидах $TiNi$ и $TiFe$ будут полезны для анализа механизмов и природы мартенситных превращений в сплавах на основе никелида титана, лежащих в основе эффектов памяти формы и сверхэластичности.

Литература

1. Кузнецов А.В., Муслов С.А., Лотков А.И., Хачин В.Н., Гришков В.Н., Пушин В. Г. Упругие постоянные $TiNi$ вблизи мартенситных превращений // Известия вузов, сер. Физика. – 1987, № 7. – С. 98-99.
2. Муслов С.А., Кузнецов А.В., Хачин В.Н., Лотков А.И., Пушин В. Г., Гришков В.Н. Аномалии упругих постоянных монокристаллов $Ti_{50}Ni_{48}Fe_2$ вблизи мартенситных превращений // Известия вузов, сер. Физика. – 1987, № 8. – С. 104-105.
3. А.И. Епишин, Д.С. Лисовенко. Экстремальные значения коэффициента Пуассона кубических кристаллов. Журнал технической физики, 2016, том 86, вып. 10. - С. 74-82.