

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

1

DOI: 10.17223/9785946217408/32

**ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ В МАРТЕНСИТЕ НА ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ И
ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛОВ СПЛАВА $\text{Ni}_{50,2}\text{Ti}_{37,3}\text{Hf}_{12,5}$**

Суриков Н.Ю., Панченко Е.Ю., Чумляков Ю.И.

¹Томский государственный университет, Томск, Россия

Сплавы с эффектом памяти формы (ЭПФ) интенсивно разрабатываются в качестве функциональных материалов для широкого спектра задач. Для аэро- и космической отрасли необходимы высокопрочные сплавы, обладающие ЭПФ и сверхэластичностью (СЭ) при высоких температурах ($T > 373 \text{ K}$). С этой точки зрения перспективными являются сплавы TiNiHf . Однако в поликристаллах добиться высокотемпературной СЭ удастся, в основном, измельчением зерна путём интенсивной пластической деформации (например, равноканальное угловое прессование, кручение под давлением и последующее старение) [1]. В работе [2] на сплавах TiNi , CuAlNi , CuZnAl , AuCd , InPt установлено, что старение в мартенсите способствует стабилизации мартенсита и повышению температур мартенситных превращений (МП) при условии, что отношение $M_s/T_m > 0,2$ (где M_s – температура начала прямого МП; T_m – температура плавления сплава) и с ростом этой величины сильнее влияет на свойства материала. В сплавах TiNiHf предполагается повысить прочностные характеристики аустенита, а также увеличить эффективность старения в мартенсите за счет увеличения температур M_s при легировании Hf по сравнению с двойными сплавами TiNi . Это позволит оптимизировать параметры функциональных свойств.

Исследование влияния старения под нагрузкой в мартенситном состоянии в настоящей работе проведено на поликристаллах сплава $\text{Ni}_{50,2}\text{Ti}_{37,3}\text{Hf}_{12,5}$ (ат.%). Поликристаллы получены методом плазменно-дуговой плавки. Механические испытания проведены на испытательной машине Instron 5969 и дилатометре ИМРС-1. В рамках работы в качестве исходного состояния выбраны поликристаллы после старения 773 К, 3 ч. Изучено два режима термомеханической обработки (ТМО) старения в мартенсите: 400 К, 1 ч, 400 МПа и 400 К, 1 ч, 700 МПа. Средний размер зерна кристаллов составляет 31 мкм и 36 мкм до и после старения в мартенсите, соответственно, т.е. режимы ТМО не оказывают влияния на распределение зёрен по размеру.

Старение в мартенсите существенно влияет на характеристики ЭПФ: приводит к появлению двустороннего ЭПФ величиной до 0,5 %, способствует снижению протяженности температурного интервала развития МП при охлаждении / нагреве под нагрузкой, определяемой как $\Delta T^{A-M} = M_s - M_f$ (для обратного – $\Delta T^{M-A} = A_f - A_s$) и росту величины ЭПФ при равных напряжениях (рисунок 1).

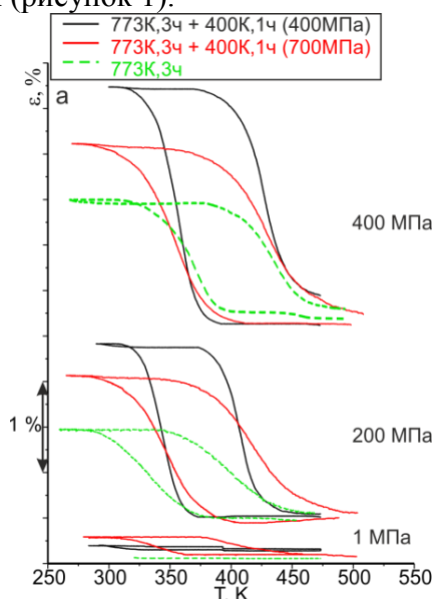


Рис. 1. Влияние старения в мартенсите на характеристики эффекта памяти формы

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

Величина обратимой деформации при проявлении ЭПФ и протяженность температурных интервалов развития МП при термоциклировании под нагрузкой зависит от уровня приложенных напряжений при ТМО. Оптимальным режимом является 400 К, 1 ч, 400 МПа, так как характер превращения приближается к взрывному, а величина ЭПФ увеличивается с 1,5 % до 2,4 % (таблица 1). При старении в мартенсите при больших напряжениях (700 МПа) ЭПФ также достигает 2,4 %, но при в 1,5 раза больших нагрузках (600 МПа), при этом увеличивается ΔT^{A-M} .

Используемые режимы ТМО приводят к упрочнению материала: старение в мартенсите 400 К, 1 ч, 700 МПа приводит к повышению предела текучести аустенита на ~ 200 МПа (таблица 1). Режим ТМО при 400 МПа приводит к более эффективному упрочнению в 1,7 раза, при этом прочностные свойства аустенита становятся близкими к свойствам монокристаллов, обладая при этом более высокими температурами МП (на ~ 100 К) [3]. Существенное увеличение предела текучести высокотемпературной фазы приводит к появлению эффекта СЭ величиной до 1,2 % при температурах до 513 К в сплаве после ТМО при 400 МПа (табл.1).

Таблица 1.

Параметры прочностных свойств и эффекта памяти формы сплава $Ni_{50,2}Ti_{37,3}Hf_{12,5}$

Состояние	$\alpha_1 \alpha_2$, МПа·К ⁻¹	εЭПФ, %	M _d , К	σ _{кр} (M _s), МПа	σ _{кр} (M _d), МПа
773 К, 3 ч	5,2 15,7	1,5 ± 0,1	453	496	902
773 К, 3 ч + 400 К, 1 ч (400 МПа)	7,0 12,3	2,4 ± 0,1	513	~200	1426
773 К, 3 ч + 400 К, 1 ч (700 МПа)	4,61 13,8	2,4 ± 0,1	513	382	1081

Согласно [2] старение в мартенсите приводит к изменениям ближнего порядка: происходит перераспределение точечных дефектов и вероятностей заполнения атомами разных сортов узлов решетки в соответствии с симметрией решетки мартенсита, за счет чего и достигается стабилизация мартенситной фазы.

Предполагается, что деградация ЭПФ и снижение прочностных свойств аустенита при увеличении нагрузки в процессе старения в мартенсите связаны с условиями, в которых проводились ТМО: при использовании режима 400 К, 1 ч, 700 МПа (в отличие от старения в мартенсите при 400 МПа) наблюдается необратимая деформация 0,6 % т.е. при этом могли происходить не процессы стабилизации мартенсита напряжений, а релаксационные процессы, приводящие к дислокационному скольжению. Это повышает концентрацию препятствий росту мартенситных ламелей, что и приводит к росту величины ΔT^{A-M} .

Таким образом, экспериментально показано, что в сплавах TiNiHf старение в мартенсите позволяет эффективно управлять как функциональными, так и прочностными свойствами, в отличие от никелида титана. Наиболее эффективным режимом старения в мартенсите для повышения предела текучести аустенита и величины ЭПФ является 400 К, 1 ч, 400 МПа.

Работа выполнена при поддержке гранта 18-38-00577 мол_а.

Литература

1. Microstructure–property relationships in a high-strength 51Ni–29Ti–20Hf shape memory alloy / D. R. Coughlin [et al.] // Journal of Materials Science. – 2016. – V. 51. – Issue 2. – P.766–778.
2. Otsuka K. Mechanism of martensite aging effects and new aspects / K. Otsuka, X. Ren // Materials Science and Engineering A. – 2001. – V. 312. – P. 207–218.
3. Superelasticity in High-Strength Heterophase Single Crystals of $Ni_{51,0}Ti_{36,5}Hf_{12,5}$ Alloy. / E. Yu. Panchenko [et al.] // Technical Physics Letters. – 2015. – V. 41. – No. 8. – P. 797–800.