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: 10.17223/9785946217408/202

ОРИЕНТАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ОБЫЧНОГО И ДВОЙНОГО ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ В ОДНОФАЗНЫХ МОНОКРИСТАЛЛАХ СПЛАВА $\text{Co}_{49}\text{Ni}_{21}\text{Ga}_{30}$ ПРИ СЖАТИИ

Куксгаузен Д.А., Куксгаузен И.В., Победенная З.В., Киреева И.В., Чумляков Ю.И.

Томский государственный университет, Сибирский физико-технический институт, Россия

В настоящей работе представлены результаты исследования обычного и двойного эффекта памяти формы (ЭПФ) в [001]- и $\bar{1}\bar{1}23$ - монокристаллах сплава $\text{Co}_{49}\text{Ni}_{21}\text{Ga}_{30}$ (ат. %) при деформации сжатием. В [001]- кристаллах величина деформации решетки $|\epsilon_0|$ при B2-L1₀ мартенситном превращении (МП) при сжатии равна деформации образования сдвойникового варианта L1₀-мартенсита $|\epsilon_{\text{CVP}}|$, $|\epsilon_0| = 4.5\%$, а в $\bar{1}\bar{1}23$ - кристаллах $|\epsilon_0|$ равна сумме $|\epsilon_{\text{CVP}}| = 2.4\%$ и деформации раздвойникового мартенсита $|\epsilon_{\text{detw}}| = 0.8\%$ [1]. Для получения однофазной B2- структуры образцы отжигали при $T = 1423\text{ K}$ в течении 30 минут с последующей закалкой в воду. Для наведения двойного ЭПФ проводили тренировку – термоциклирование через интервал температур МП под внешними сжимающими напряжениями $|\sigma_{\text{внеш}}| = 2.5 \div 250\text{ МПа}$. После каждого цикла тренировки под $|\sigma_{\text{внеш}}|$ проводили охлаждение/нагрев в свободном состоянии с фиксацией $\epsilon(T)$ - кривых.

Показано, что без тренировки при охлаждении/нагреве в свободном состоянии в [001]- и $\bar{1}\bar{1}23$ - кристаллах изменение размеров образцов не наблюдается: при охлаждении формируется самоаккомодирующая структура L1₀- мартенсита, обычный и двойной ЭПФ не реализуется. При охлаждении/нагреве под $|\sigma_{\text{внеш}}| = 5 \div 250\text{ МПа}$ наблюдается обычный ЭПФ, величина которого $|\epsilon_{\text{ЭПФ}}|$ зависит от ориентации. Так, в [001]- кристаллах максимальное значение $|\epsilon_{\text{ЭПФ}}|$ достигается при $|\sigma_{\text{внеш}}| = 50\text{ МПа}$ и равно $4.4 (\pm 0.2)\%$, а в $\bar{1}\bar{1}23$ - кристаллах $|\epsilon_{\text{ЭПФ}}| = 3.8 (\pm 0.2)\%$ при $|\sigma_{\text{внеш}}| = 125\text{ МПа}$. Величина температурного гистерезиса превращения $\Delta T = A_f - M_s$ (M_s – температура начала прямого МП при охлаждении под $|\sigma_{\text{внеш}}|$, A_f – температура конца обратного МП при нагреве под $|\sigma_{\text{внеш}}|$) также зависит от ориентации. [001]- кристаллы характеризуются узким $\Delta T = 12\text{--}31\text{ K}$. В $\bar{1}\bar{1}23$ - кристаллах ΔT больше в 3-4 раза и с ростом $|\sigma_{\text{внеш}}|$ увеличивается от 80 K до 130 K. При раздвойнировании мартенсита плоскость габитуса отклоняется от исходного положения, что сопровождается увеличением ΔT в $\bar{1}\bar{1}23$ - ориентации по сравнению с [001]- кристаллами. Рост $|\sigma_{\text{внеш}}|$ сопровождается повышением температуры M_s в соответствии с уравнением Клапейрона – Клаузиуса: $d\sigma/dT = -\Delta H/T_0$ [2], где ΔH – изменение энтальпии при МП; T_0 – температура фазового равновесия. В [001]- кристаллах величина $\alpha = d|\sigma_{\text{внеш}}|/dT$ равна 1.8 МПа/K , а в $\bar{1}\bar{1}23$ – $\alpha = 3.0\text{ МПа/K}$.

В [001]- и $\bar{1}\bar{1}23$ - кристаллах первая обратимая $\epsilon(T)$ -кривая при охлаждении/нагреве без приложения нагрузки фиксируется после тренировки под $|\sigma_{\text{внеш}}| = 30\text{ МПа}$ с величиной двойного ЭПФ $|\epsilon_{\text{дЭПФ}}|$ равного $0.4(\pm 0.2)\%$ и $1.1(\pm 0.2)\%$, соответственно. Максимальное значение $|\epsilon_{\text{дЭПФ}}| = 4.3 (\pm 0.2)\%$ в [001]-ориентации достигается после тренировки при $|\sigma_{\text{внеш}}| = 175\text{ МПа}$, а в $\bar{1}\bar{1}23$ - ориентации максимальное значение $|\epsilon_{\text{дЭПФ}}| = 3.8 (\pm 0.2)\%$ достигается после тренировки под $|\sigma_{\text{внеш}}| = 250\text{ МПа}$.

Физическая природа появления двойного ЭПФ в данных кристаллах связана с созданием внутренних ориентированных полей напряжений за счет остаточного мартенсита, который наблюдается оптически после тренировок. Остаточный мартенсит генерирует рост ориентированного мартенсита при охлаждении без приложения нагрузки.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ мол_а № 18-33-00101.

Литература

1. Dadda J., Maier H.J., Niklasch D., Karaman I., Karaca H.E., Chumlyakov Y.I. Pseudoelasticity and cyclic stability in $\text{Co}_{49}\text{Ni}_{21}\text{Ga}_{30}$ shape-memory alloy single crystals at ambient temperature // Metallurgical and Materials Transactions A. 2008. Vol. 39. P. 2026–2039.
2. Сплавы с эффектом памяти формы / Под ред. Х. Фунакубо. – М.: Металлургия, 1990. 222 с.