

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 539.371: 548.55

DOI: 10.17223/00213411/68/1/3

**Исследование сопротивления циклическим деформациям
в олиго- и монокристаллах сплавов FeMnNiAlX (X = C, Ti, Cr, CrMo)
с эффектом сверхэластичности***Ю.И. Чумляков¹, И.В. Киреева¹, И.В. Куксгаузен¹, З.В. Победенная¹, Д.А. Куксгаузен¹¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

На олиго- и монокристаллах сплавов FeMnNiAlX (X = C, Ti, Cr, CrMo) с эффектом сверхэластичности впервые исследовано сопротивление циклическим деформациям при сжатии в зависимости от химического состава, температуры испытания и размера d частиц β -фазы. Показано, что при температуре 298 К олигокристаллы сплава FeMnNiAlTi характеризуются низким сопротивлением циклическим нагрузкам, связанным с влиянием границ зерен на стабилизацию мартенсита. Монокристаллы сплава FeMnNiAlC, ориентированные для сжатия вдоль направления [001], в закаленном состоянии при температуре испытания 298 и 373 К имеют высокое сопротивление циклическим деформациям при циклировании до 30 циклов «нагрузка – разгрузка». Монокристаллы сплава FeMnNiAlCr с осью сжатия [001], состаренные при 473 К в течение 3 ч, характеризуются низким сопротивлением циклическим нагрузкам при 298 и 473 К. В монокристаллах [001] сплава FeMnNiAlCr, дополнительно легированных Mo и состаренных при 473 К в течение 3 ч, сопротивление циклическим деформациям зависит от температуры испытания и возрастает с увеличением температуры от 297 до 573 К.

Ключевые слова: олиго- и монокристаллы FeMnNiAlX (X = C, Ti, Cr, CrMo), ОЦК–ГЦК-мартенситное превращение, сверхэластичность, циклическая деформация, сжатие.

Введение

Термоупругие мартенситные превращения (МП) определяют уникальные свойства сплавов – эффект памяти формы (ЭПФ) и сверхэластичность (СЭ), которые наблюдаются при различных МП: B2–B19', ГЦК–ОЦТ, ГЦК–ГПУ, ОЦК–ГЦК [1–20]. В последнее время сплавы на основе железа привлекают внимание исследователей благодаря своим уникальным свойствам. Во-первых, эти сплавы по прочностным и функциональным свойствам не уступают широко исследованным сплавам TiNi, которые используются в медицине и технике [1]. Во-вторых, эти сплавы имеют неупорядоченную структуру и по пластическим характеристикам превосходят упорядоченные сплавы TiNi. В-третьих, сплавы на основе железа FeNiCoAlX (X = Ti, Ta, Nb), FeMnSi состоят из достаточно дешевых компонентов и могут использоваться, в отличие от сплавов TiNi, как массивные элементы демпферов и для соединений труб [2]. Наконец, в-четвертых, недавно разработанные сплавы на основе железа FeMnNiAlX (X = C, Cr, Ti, Mo) характеризуются уникальными функциональными свойствами. В этих сплавах наблюдается аномально высокий интервал СЭ от 10 до 573 К и близкая к нулю или даже отрицательная зависимость напряжений от температуры для начала МП $\sigma_{Ms}(T)$ [3–10, 14].

Обычно напряжения σ_{Ms} растут с увеличением температуры согласно соотношению Клапейрона – Клаузиуса [1]:

$$\frac{d\sigma_{Ms}(T)}{dT} = -\frac{\Delta H}{T_0 \varepsilon_0} = \frac{\Delta S}{\varepsilon_0} = \alpha. \quad (1)$$

Здесь ΔH , ΔS – изменение энтальпии и энтропии превращения на единицу объема соответственно; T_0 – температура химического равновесия фаз; ε_0 – деформация решетки при превращении. В большинстве сплавов с термоупругими МП величина α изменяется от 3 до 18 МПа/К и имеет положительное значение [1]. Следовательно, ΔS оказывается отрицательной величиной. В сплавах FeMnNiAlX (X = C, Cr, Ti, Mo) α имеет близкие к нулю или отрицательные значения, что связано с влиянием на ОЦК–ГЦК МП в этих сплавах магнитных переходов в мартенсите и в высокотемпе-

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-19-00017.