

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 669:539.374.548.55:539.25

DOI: 10.17223/00213411/68/7/4

**Твердорастворное упрочнение атомами азота
монокристаллов $(\text{CrFeMn})_{60}\text{Co}_{35}\text{Ni}_{4.8}\text{N}_{0.2}$
высокоэнтропийного сплава***И.В. Киреева¹, Ю.И. Чумляков¹, З.В. Победенная¹, А.В. Федорова¹¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Впервые на $[\bar{1}44]$ - и $[\bar{1}11]$ -монокристаллах $(\text{CrFeMn})_{60}\text{Co}_{35}\text{Ni}_{4.8}\text{N}_{0.2}$ высокоэнтропийного сплава показано, что легирование азотом концентрацией 0.2 ат.% подавляет ГЦК–ГПУ-мартенситное превращение, которое развивается в монокристаллах $(\text{CrFeMn})_{60}\text{Co}_{35}\text{Ni}_5$ без азота, и стабилизирует ГЦК-фазу. Температурная зависимость критических скальвающих напряжений $\tau_{\text{кр}}(T)$ определяется скольжением и $\tau_{\text{кр}}$ не зависят от ориентации кристалла в температурном интервале 77–573 К при растяжении. Показано, что азот концентрацией 0.2 ат.% приводит к локализации деформации и развитию планарной структуры с плоскими скоплениями дислокаций в температурном интервале 77–296 К. Ориентационная зависимость кривых «напряжение – деформация», коэффициента деформационного упрочнения $\theta = d\sigma/d\varepsilon$ и пластичности определяется числом действующих систем скольжения или двойникового. В ориентации $[\bar{1}11]$ при развитии скольжения в нескольких системах, дефектов упаковки и двойникового при 77 К $\theta = d\sigma/d\varepsilon = 2330$ МПа имеет максимальное значение. В ориентации $[\bar{1}44]$ при развитии скольжения преимущественно в одной системе с $\theta = d\sigma/d\varepsilon = 670$ МПа максимальная пластичность 67% реализуется при температуре 296 К.

Ключевые слова: $(\text{CrFeMn})_{60}\text{Co}_{35}\text{Ni}_{4.8}\text{N}_{0.2}$ высокоэнтропийный сплав, монокристаллы, легирование азотом, планарная структура, двойникование, скольжение, разрушение.

Введение

Влияние легирования азотом от 0.5 до 3 ат.% на механические свойства, дислокационную структуру и механизм деформации (скольжение, двойникование) было исследовано на поликристаллах стабильных ГЦК- (ГЦК – гранецентрированная кубическая решетка) высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) [1–5]. В поликристаллах стабильных ГЦК ВЭС легирование азотом концентрацией 0.5–3 ат.% сопровождалось ростом напряжений на пределе текучести $\sigma_{0.1}$ от 350 до 1000 МПа при 77 К и от 180 до 380 МПа при 296 К, соответственно, при содержании атомов азота от 0.5 до 2 ат.% [1]. Легирование азотом до 1 ат.% в поликристаллах CrFeMnCoNi и до 3 ат.% в $\text{Fe}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{20}\text{Co}_{20-x}\text{N}_x$ ($x = 1-3$ ат.%) ВЭС приводило к локализации деформации, развитию планарной структуры с плоскими скоплениями дислокаций и увеличению пластичности до 50–90% [1, 2]. Влияние азота на ГЦК–ГПУ-мартенситное превращение (МП) (ГПУ – гексагональная плотноупакованная решетка) было исследовано на Fe–Mn-сплавах [6–9]. Показано, что легирование азотом до 0.2 мас.% (0.2 мас.% $\approx$ 0.8 ат.%) подавляет ГЦК–ГПУ МП, стабилизирует ГЦК-фазу. При этом на температурной зависимости предела текучести $\sigma_{0.1}(T)$ температурный интервал для образования ГПУ-мартенсита под нагрузкой исчезал и зависимость $\sigma_{0.1}(T)$ приобретала вид, характерный для стабильных ГЦК-кристаллов при деформации скольжением [9]. Исследований влияния атомов азота на ГЦК–ГПУ МП в моно- и поликристаллах $(\text{CrFeMn})_{60}\text{Co}_{35}\text{Ni}_5$ ВЭС к настоящему времени в литературе нет.

В настоящей работе на монокристаллах $(\text{CrFeMn})_{60}\text{Co}_{35}\text{Ni}_{4.8}\text{N}_{0.2}$ (ат.%) ВЭС ставилась задача исследовать влияние малой концентрации атомов азота 0.2 ат.% на ГЦК–ГПУ МП и прочностные свойства ГЦК-фазы. Для исследования были выбраны две ориентации, $[\bar{1}11]$ и $[\bar{1}44]$, для развития под нагрузкой нескольких и одного варианта ГПУ-мартенсита соответственно [10].

* Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № FSWM-2024-0007.