

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

## **МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«Физическая мезомеханика.  
Материалы с многоуровневой иерархически  
организованной структурой и интеллектуальные  
производственные технологии»,**

посвященная 90-летию со дня рождения  
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН  
**академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках  
**Международного междисциплинарного симпозиума  
«Иерархические материалы: разработка и приложения  
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года  
Томск, Россия**

Томск  
Издательство ТГУ  
2020

**ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ТИТАНОМ НА СВЕРХЭЛАСТИЧНОСТЬ В ОЛИГОКРИСТАЛЛАХ СПЛАВА НА ОСНОВЕ FeMnAlNiTi**

Куксгаузен И.В., Поклонов В.В., Чумляков Ю.И., Куксгаузен Д.А., Кириллов В.А.  
*Сибирский физико-технический институт НИ Томского государственного университета, Томск*

В работе исследована сверхэластичность (СЭ) при деформации растяжением/сжатием в олигокристаллах сплавов  $Fe_{42.5}Mn_{34}Al_{15}Ni_{7.5}Ti_1$  (ат. %) (1%Ti),  $Fe_{42}Mn_{34}Al_{15}Ni_{7.5}Ti_{1.5}$  (ат. %) (1.5%Ti) и  $Fe_{41.5}Mn_{34}Al_{15}Ni_{7.5}Ti_2$  (ат. %) (2%Ti), испытывающих  $\alpha$  (ОЦК)- $\gamma'$  (ГЦК) мартенситное превращение (МП). 1%Ti, 1.5%Ti и 2%Ti олигокристаллы получали путем прохода через градиент температур в установке для роста кристаллов в среде гелия после выплавки заготовок. Образцы на сжатие в форме параллелепипеда с размерами  $4 \times 4 \times 8 \text{ мм}^3$  и на растяжение в форме двойных лопаток с площадью и длиной рабочей части  $1.5 \times 2.5 \text{ мм}^2$  и 12 мм, соответственно, вырезали на электроискровом станке вдоль оси заготовки. Исследование СЭ проводили в двух состояниях: 1. после закалки в воду от температуры 1473 К и 2. после старения при температуре 473 К, в течение 3 часов. Старение 473 К, 3 ч, как это ранее было показано на [001]-монокристаллах  $Fe_{43.5}Mn_{34}Al_{15}Ni_{7.5}$ , приводит к выделению частиц упорядоченной  $\beta$ -фазы (ОЦК структура) размером 8 нм и является оптимальным для получения больших значений СЭ  $\sim 7.2$  %, по сравнению с другими режимами старения (473 К, 1, 6, 10 ч и 573 К, 1ч).

Металлографически установлено, что, во-первых, в полученных 1%Ti, 1.5%Ti и 2%Ti олигокристаллах зерна оказываются вытянутыми вдоль направления сжатия/растяжения со средним размером зерна 1370, 1471 и 2226 мкм, соответственно. Во-вторых, после закалки в воду от температуры 1473 К в 1%Ti и 1.5%Ti олигокристаллах неупорядоченных частиц  $\gamma$ -фазы с ГЦК структурой не наблюдается, тогда как в 2%Ti олигокристалле обнаружена большая объемная доля крупных частиц  $\gamma$ -фазы. Ранее выделение большей объемной доли ( $\sim 40$  %)  $\gamma$ -фазы наблюдали в закаленных моно- и поликристаллах сплавов без титана:  $Fe_{43.5}Mn_{34}Al_{15}Ni_{7.5}$  (ат. %). Титан стабилизирует высокотемпературную  $\alpha$ -фазу и подавляет выделение  $\gamma$ -фазы, однако, как показывает данное исследование количество титана играет ключевую роль в сдерживании выделения частиц  $\gamma$ -фазы при закалке. Таким образом, оптимальное содержание титана в сплаве FeMnAlNi составляет не более 1.5 %.

Величина СЭ, исследованная при комнатной температуре, зависит от количественного содержания Ti, термической обработки и способа деформации – растяжения/сжатия. Так, в закаленном состоянии СЭ наблюдается только в 1%Ti олигокристалле при деформации сжатием, ее величина составила 6 %. При деформации растяжения закаленные олигокристаллы хрупко разрушаются на пределе текучести. Старение при 473 К, 3 ч приводит к наблюдению СЭ, что может быть связано с упрочнением частицами высокотемпературной  $\alpha$ -фазы за счет процессов дисперсионного твердения, что приводит к уменьшению рассеяния энергии и подавлению пластического течения аустенитной  $\alpha$ -фазы. При деформации сжатием в состаренных 1%Ti и 1.5%Ti олигокристаллах максимальное значение СЭ составило 6.8 и 3.1 %, соответственно. В 2%Ti олигокристалле СЭ не обнаружена. Отсутствие СЭ в 2%Ti олигокристалле связано с наличием большой объемной доли  $\gamma$ -фазы после закалки данного сплава. Частицы  $\gamma$ -фазы не испытывают МП и полностью подавляют СЭ, что ранее наблюдалось в моно- и поликристаллах сплавов FeMnAlNi. При деформации растяжением состаренные олигокристаллы, в отличие от закаленных, не разрушаются на пределе текучести. Величина СЭ в 1%Ti и 1.5%Ti олигокристаллах при растяжении составила  $\epsilon_{C\alpha}(1\%Ti)=1.2$  % и  $\epsilon_{C\alpha}(1.5\%Ti)=2$  %. СЭ в 2%Ti олигокристалле при растяжении, так же не наблюдается. Значение СЭ в 1%Ti при деформации растяжением в 5.5 раз меньше, чем при сжатии, что обусловлено хрупким разрушением олигокристаллов при заданной деформации более 5 %.

**Секция 4.** Научные основы разработки материалов с многофазной иерархически организованной структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

---

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Томской области в рамках научного проекта № 19-43-703008.*