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: 10.17223/9785946217408/20

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОБРАЗОВАНИЕ ТВИДОВОЙ СТРУКТУРЫ НА ФОЛЬГАХ МОНОКРИСТАЛЛА АЛЮМИНИЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ РАСТЯЖЕНИИ

^{1,2}Кузнецов П.В., ^{1,2}Панин С.В., ¹Бяков А.В.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

²НИИ Томский политехнический университет, Томск, Россия

Среди других усталостных явлений, наблюдаемых на поверхности ГЦК металлов, таких как образование устойчивых полос скольжения, экструзий, интрузий, деформационных полос, твидовая структура является наименее исследованной. Твидовая структура наблюдается при циклической деформации монокристаллов Al с ориентацией (100)[001] и в отдельных зернах поликристаллов Al и представляет собой упорядоченную систему шарообразных выступов, образующих квадратную решетку, со сторонами, ориентированными под углом $\sim 45^\circ$ к оси деформации. В работе [1] показано, что образование твидовой структуры на поверхности кристаллов Al можно объяснить нестабильностью Гринфелда, однако механизм массопереноса материала на поверхности материала остается невыясненным.

Целью настоящей работы было исследование влияния температуры испытания на характеристики твидовой структуры, образующейся на фольгах монокристалла Al кубической ориентации при циклическом растяжении.

Исследовали фольги монокристалла Al, которые наклеивали на образцы дуралюмина марки Д1 в виде двойных лопаток с размером рабочей части $60 \times 10 \times 2$ мм³. Образцы дуралюмина были механически полированы с помощью пасты различной дисперсности. Пластины размером $16 \times 20 \times 0.5$ мм вырезали из монокристалла Al с ориентацией (100)[001] электроэрозионным методом. Пластины были полированы механически, а затем подвергнуты электролитической полировке до толщины 200 мкм. Полученные фольги Al наклеивали на образцы с помощью клея Loctite 480.

Образцы дуралюмина испытывали на малоцикловую усталость на сервогидравлической испытательной машине UTM150 (BISS (P) Ltd) с климатической камерой PAC-70-B-EUR-RRU-INT (CM Envirosystems (P) Ltd) при следующих параметрах: частота $f=5$ Гц, $\sigma_{\max} = 165$ МПа, $\sigma_{\min} = 0.1\sigma_{\max}$ и $\sigma_{\text{mean}} = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$ при температурах -40° , -10° , 23° , 40° , 60° , 90°C . Число циклов испытания (N) для всех образцов было одинаковым $N=5000$ циклов. После испытания образцы извлекали из испытательной машины и исследовали поверхность фольг с помощью оптического микроскопа Axiover -25.

На рис.1 показаны оптические изображения твидовой структуры на фольгах монокристалла алюминия Al, испытанных при температуре -40°C (рис.1а) и 90°C (рис.1б).

Рис. 1. Твидовая структура на фольгах монокристалла Al(100)[001] после испытания образцов при температуре -40°C (а) и 90°C (б).

На рис.1а,б видно, что период твидовой структуры растет с ростом температуры циклического испытания образцов. Это свидетельствует о том, что образование твидовой структуры при циклическом растяжении является термостимулированным процессом.

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

Для количественной характеристики наблюдаемого эффекта были построены гистограммы распределения периода твидовой структуры, образовавшейся при различной температуре. Из гистограмм распределения был определен средний период твидовой структуры, зависимость которого от обратной температуры показана на рис. 2. На рис. 2 видно, что зависимость периода твидовой структуры от обратной температуры может быть описана прямой линией с наклоном к осям координат, что дает возможность оценить энергию активации процесса.

Рис.2. Зависимость периода твидовой структуры от обратной температуры.

активации процесса, K – постоянная Больцмана, T – температура. Время t определялось по появлению видимого невооруженным глазом через окно климатической камеры рельефа на поверхности фольг Al которое варьировалось в пределах от 600 ± 60 секунд при циклическом испытании при $T = -40^\circ \text{C}$ до 200 ± 30 секунд при температуре $T = +90^\circ \text{C}$.

Уравнение 1 было приведено к безразмерному виду и после логарифмирования получена зависимость логарифма квадрата приведенного периода от температуры:

$$\ln \left(\frac{\langle R^2 \rangle}{\sqrt{6tD_0}} \right) = \frac{1}{2} \left(-\frac{E}{kT} \right) \quad (2)$$

Зависимость на рис.2, была перестроена в соответствии с выражением (2). Из наклона прямой линии, подогнанной к экспериментальным точкам методом наименьших квадратов, получена оценка энергии активации процесса, которая оказалась равной $E = 0.12 \pm 0.01$ эВ. Эта величина близка к энтальпии активации миграции междоузельных атомов в алюминии $E_i^m = 0.115$ эВ, определенной различными методами при низких температурах [2].

Полученный результат показывает, что образование твидовой структуры на фольгах монокристалла Al при циклическом растяжении в интервале температур $\Delta T = (-40 \div 90)^\circ \text{C}$ контролируется миграцией междоузельных атомов. Результаты обсуждаются с учетом синергетического эффекта, обусловленного неравновесными условиями и спецификой циклической деформации, большим значением энергии дефекта упаковки, относительно низкой температурой плавления и особенностями возможных конфигураций междоузельных атомов в Al.

Литература

1. Kuznetsov P.V., Panin V.E., Petrakova I.V. 2010. Grinfeld instability in the formation of a tweed structure at the Al crystal surface under cyclic tension// Phys. Mesomech. V. 13. No. 1-2. P. 70-78.
2. Физическое металловедение в трех томах под редакцией Р.У.Кана, П.Хаазена. т.3. М.: Металлургия, 1987 г.