

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Надежкин М.В.^{1,2}, Лунев А.Г.^{1,2}, Мальцев Ю.А.³

Научный руководитель: С.А. Баранникова^{1,3}

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет

³Национальный исследовательский Томский государственный университет

bsa@ispms.tsc.ru

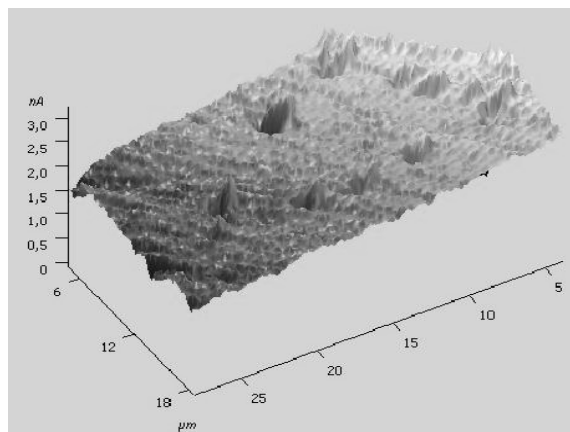
Annotation: The regularities of plastic flow localization in Ti-51 at.%Ni single crystals are considered using the speckle photography. It has been found experimentally that in all the stages of the process, spontaneous localization of deformation occurs in the specimen, with the form of localization being closely related to the acting law of plastic flow of Ti-Ni shape memory alloys containing Ti_3Ni_4 precipitates with sizes 50 nm.

Одним из основных механизмов деформации, рассматриваемых в физике пластичности, является деформация фазового превращения [1], определяющая такие явления, как эффект памяти формы, сверхэластичность и другие. В этом случае формоизменение связано с превращениями мартенситного типа. Типичным примером материалов, которые деформируются за счет деформации фазового превращения, является никелид титана ($Ti-Ni$) эквиатомного или близкого эквиатомному состава [2]. Такой тип деформации существенно отличается от деформации за счет движения дислокаций. Несколько более близок он к двойникованию, но имеет заметные отличия и от последнего [1]. По этой причине деформация фазового превращения обычно рассматривается как независимый механизм пластического течения, так что существенный интерес представляет выяснение особенностей макролокализации пластического течения в таких материалах.

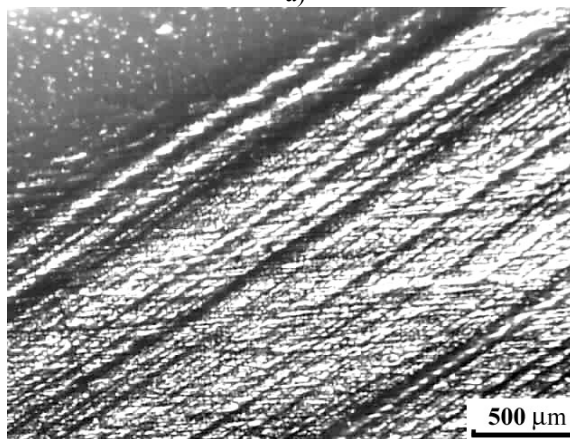
Для анализа структуры материала использовалось несколько методик, обеспечивающих необходимое пространственное разрешение: оптическая микроскопия (Neophot-21) и атомно-силовая микроскопия (Solver PH47-PRO). Для исследований макроскопической локализации пластического течения использовалась техника двухэкспозиционной спеклфотографии [3], сочетающей в себе возможности наблюдения всего деформируемого образца в целом с разрешающей способностью на уровне оптического микроскопа (~1 мкм). Результатом обработки спекл-изображений являются продольная, сдвиговая и поворотная компоненты тензора деформации.

В настоящей работе локализацию деформации исследовали при одноосном растяжении гетерофазных монокристаллических плоских образцов с размерами рабочей части 50×5×2 мм,

ориентированных вдоль направления [113], никелида титана (49 ат.% Ti - 51 ат.% Ni) с дисперсными частицами Ti_3Ni_4 со средним размером 50 нм (рисунок 1 а). Монокристаллы выращивали методом Бриджмена в среде инертного газа. После роста кристаллы гомогенизировали при 1173 К в течение 20 ч в аргоне. Старение монокристаллов $Ti-Ni$ проводилось при 823 К в течение 1,5 ч в свободном состоянии в среде гелия с быстрым нагревом и закалку в воду комнатной температуры.



а)



б)

Рисунок 1 – Атомно-силовая (а) и оптическая микроскопия (б): изображение поверхности монокристалла $Ti-Ni$ с дисперсными частицами

Мартенситное превращение (МП) развивается в матрице между дисперсными частицами,

которая испытывает однородный сдвиг [4]. Частицы не испытывают МП, не деформируются пластически и, для сохранения совместности мартенситной деформации матрицы и упругой деформации частиц В19' - мартенсит должен деформироваться пластически за счет составного двойникования $\langle 100 \rangle \{001\}$ [3].

На диаграмме растяжения гетерофазных монокристаллов $Ti - Ni$ можно выделить зуб и площадку текучести (мартенситное превращение) протяженностью до 3-4% общей деформации, стадию нелинейного деформационного упрочнения (деформация мартенсита за счет составного двойникования) протяженностью до 5-6% общей деформации и стадию разрушения (рисунок 2).

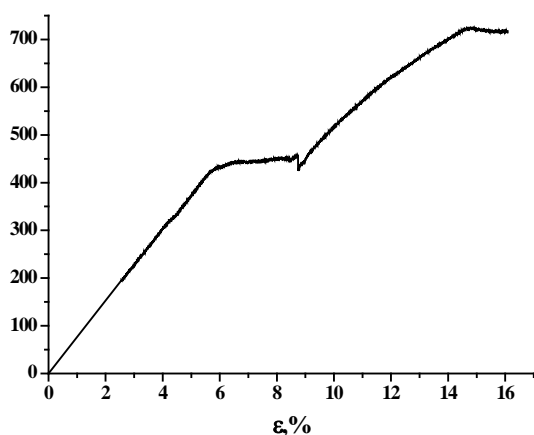


Рисунок 2 – Деформационная кривая монокристалла $Ti - Ni$ с дисперсными частицами

Анализ распределений компонент тензора пластической дисторсии показал, что деформация $Ti - Ni$ сразу после зуба текучести локализуется в трех уединенных зонах локализации деформации на площадке текучести (рисунок 3 а). Необходимо отметить, что наиболее точно местоположение этих зон локализации определяется по картинам распределений локальных удлинений ε_{xx} (рисунок 3 б), локальных поворотов ω_z , а также абсолютных удлинений u по координатам. В образце эти пики и ступеньки расположены закономерным образом так, что образуют фронты деформации. При этом материал за фронтом находится в деформированном состоянии (В19'), а материал перед фронтом - в исходном, недеформированном (В2) (рисунок 1 б). По мере деформирования зоны локализации перемещаются вдоль образца с разными скоростями. Так очаги локализации деформации (1) и (2) движутся навстречу друг другу со скоростями $5 \cdot 10^{-5}$ м/с и $2,3 \cdot 10^{-5}$ м/с, соответственно. Скорость движения очага локализации деформации (3) составила $2,1 \cdot 10^{-5}$ м/с, который движется в направлении от

подвижного захвата испытательной машины. Фронт зоны локализации наклонен под углом 60° к оси растяжения, что близко к ориентации габитусной плоскости мартенситного превращения в образцах использованной ориентации.

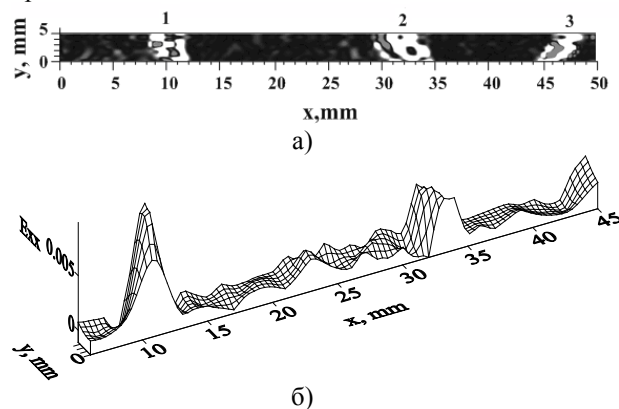


Рисунок 3 – Метод электронной спекл-фотографии (а) и двухэкспозиционной спекл-фотографии (б): картина локализация деформации монокристалла $Ti - Ni$ с дисперсными частицами на площадке текучести при общей деформации 6.3 %

Таким образом, приведенные результаты показывают, что площадке текучести при растяжении никелида титана соответствует движение нескольких фронтов деформации, связанных с фазовым превращением.

Литература

1. Бойко, В.С. Обратимая пластичность кристаллов / Бойко В.С., Гарбер Р.И., Косевич А.М. - М.: Наука, 1991. - 279 с.
2. Зуев Л.Б., Карташова Н.В., Данилов В.И., Полетика Т.М. Закономерности локализации деформации в материале с пластичностью превращения (монокристаллы $TiNi$) // ЖТФ. - 1996. - Т. 66, № 11. - С. 190-196.
3. Зуев, Л.Б. Физика макролокализации пластического течения / Зуев Л.Б., Данилов В.И., Баранникова С.А. - Новосибирск: Наука, 2008. - 327 с.
4. Панченко Е.Ю., Чумляков Ю.И., Киреева И.В., Овсянников А.В., Сехитоглу Х., Караман И., Майер Г. Влияние дисперсных частиц Ti_3Ni_4 на мартенситные превращения в монокристаллах никелида титана // ФММ. - 2008. - Т. 106. - № 6. - С. 597-609.