

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФРАГМЕНТИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ  
В МОНОКРИСТАЛЛАХ ГЦК СПЛАВА**

Е.Н. Николенко, Т.С. Куницына

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Л.А. Теплякова

Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003

E-mail: [kma11061990@mail.ru](mailto:kma11061990@mail.ru)

**THE RULES OF FORMATION FRAGMENTED STRUCTURE IN SINGLE CRYSTALS  
OF FCC ALLOY**

E.N. Nikolenko, T.S. Kunitsyna

Scientific Supervisor: Prof., Dr. L.A. Teplyakova

Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, Tomsk, Solyanya sq., 2. 634003

E-mail: [kma11061990@mail.ru](mailto:kma11061990@mail.ru)

***Abstract.** The paper presents the results of crystallographic analysis of the deformation relief in faces of a Ni<sub>3</sub>Fe single crystal under compression. The examined single crystal was a right-angle prism. The rules of localization of shear deformation were determined.*

Деформация монокристаллов металлов и сплавов с ГЦК решеткой сопровождается их разбиением на области с различной организацией сдвиговой деформации, получившие в литературе название макрофрагментов сдвига [1-4]. Макрофрагменты, как правило, имеют форму пластин, параллельных соответствующим плоскостям скольжения. Подобную организацию сдвига часто называют макрополосами скольжения. Макропачки следов скольжения, наблюдающиеся на поверхности кристалла образовались в процессе деформации, локализованной в макрополосах скольжения. А каждый след скольжения, в свою очередь, образовался в результате деформации, локализованной в мезополосе скольжения.

Настоящая работа посвящена исследованию закономерностей фрагментации сдвиговой деформации, реализующейся при сжатии [001]-монокристалла сплава Ni<sub>3</sub>Fe в состоянии с ближним атомным порядком на макроуровне.

Исследованный монокристалл имел форму прямой призмы с основанием в виде трапеции. Съемка деформационного рельефа проводилась на оптическом микроскопе МИМ-10 с 250 кратным увеличением. В каждой макропачке следов (МПС) проводились измерения координаты X следов скольжения вдоль реперов, перпендикулярных следам данной макропачки. По этим данным были определены расстояния между соседними следами скольжения в макропачках ( $\Delta X$ ) и ширина следа ( $d_{сл}$ ). Поскольку каждый след скольжения образуется в результате деформации, локализованной в мезополосе скольжения, то расстояния ( $s$ ) между мезополосами скольжения и их толщины ( $d$ ) определялись по формулам:  $s = \Delta X \sin \alpha$ ;  $d = d_{сл} \cdot \sin \alpha$ , где  $\alpha$ - угол между поверхностью грани и плоскостью скольжения. По полученным массивам данных строились гистограммы  $s$  и  $d$ , а также диаграммы  $\Delta X$ -X.

**Параметры картины следов скольжения.**

В работе [4] было установлено, что при  $\varepsilon = 0,05$  на всех боковых гранях монокристалла обнаруживается 14 макропачек следов скольжения, образованных скольжением в соответствующих макрополосах сдвига. Они различаются семейством плоскостей, скольжением по которым были образованы в ходе пластической деформации, местоположением на гранях, числом следов скольжения, шириной и длиной. Как отмечалось, макропачки следов скольжения образуются на поверхности деформированного кристалла в результате сдвига по семейству параллельных плоскостей, локализованных в макрополосах скольжения. При  $\varepsilon = 0,05$  в исследованном монокристалле всего было образовано пять макрополос скольжения: две крупные и три мелкие. В настоящей работе количественные характеристики ( $d$ ,  $s$ ,  $\Delta X$ ,  $h$ ) следов скольжения были измерены для всех 14 МПС. Построены диаграммы  $\Delta X$ - $X$ , их распределения и определены моменты этих распределений.

На рис.1 приведены диаграммы  $\Delta X$ - $X$  для макропачек следов скольжения на грани (110). Видно, что макропачки имеют различную плотность следов скольжения. Особенно высока плотность следов в МПС<sub>1</sub>. Причем, наиболее плотно в МПС<sub>1</sub> следы расположены в интервале координат 0,1 – 0,6 мм. Этот интервал пространственно совпадает с сечением объема облегченного сдвига для семейства плоскостей (111) гранью (110) [6]. Можно полагать, что в этой части МПС<sub>1</sub> достигнута плотность следов, близкая к предельной ( $0,2 \text{ мкм}^{-1}$ ). Из диаграмм также можно сделать вывод о том, что в направлении, перпендикулярном следам во всех макропачках плотность следов изменяется периодически, а именно, чередуются интервалы с высокой и низкой плотностью следов. Это означает, что в каждой макропачке следы также сгруппированы в пачки,

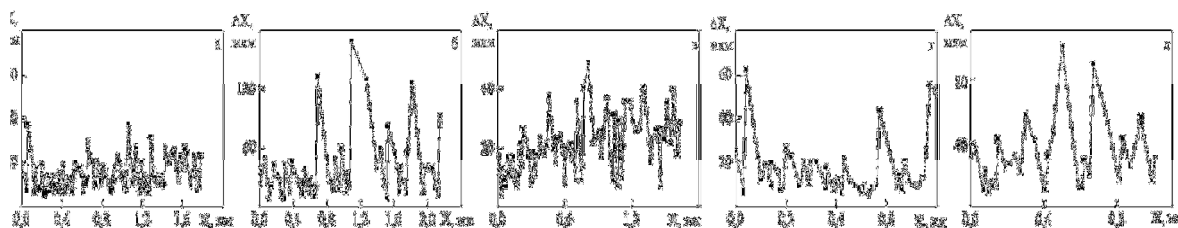


Рис.1 Диаграммы  $\Delta X$ - $X$  для макропачек, наблюдающихся на грани (110) монокристалла (а-МПС<sub>1</sub>, б-МПС<sub>2</sub>, в-МПС<sub>3</sub>, г-МПС<sub>4</sub>, д-МПС<sub>5</sub>)

которые параллельны друг другу (в отличие от макропачек). Ширина этих пачек, число следов в них и расстояния между ними варьируют для разных МПС. Например, в МПС<sub>1</sub> наиболее вероятное расстояние между следами скольжения в пачках составляет примерно 5 мкм, в то время как расстояние между самими пачками примерно в 4 раза больше. Поскольку каждый след скольжения, наблюдающийся на поверхности кристалла, образуется в результате деформации, локализованной в мезополосе скольжения. По полученным массивам данных для всех макрополос скольжения, наблюдающихся на грани (110), были построены распределения расстояний ( $s$ ) между такими мезополосами. Гистограммы  $s$  представлены на рис.2. Хотя в деталях распределения  $s$  для разных макрополос несколько отличаются друг от друга (в основном длиной хвоста распределения), в общем, все они близки к логарифмически нормальному виду. Определенные из гистограмм величины средних значений  $\langle s \rangle$  в разных макрополосах могут различаться в 2-3 раза. В работе были построены гистограммы толщины ( $d$ ) мезополос сдвига на грани (110) для всех макрополос. Все гистограммы подобны друг другу. Они имеют четко выраженный максимум, приходящийся на интервал 2 - 6 мкм. Естественно, что близкими оказались и средние значения  $\langle d \rangle$ . Зная среднюю толщину мезополосы сдвига и среднее

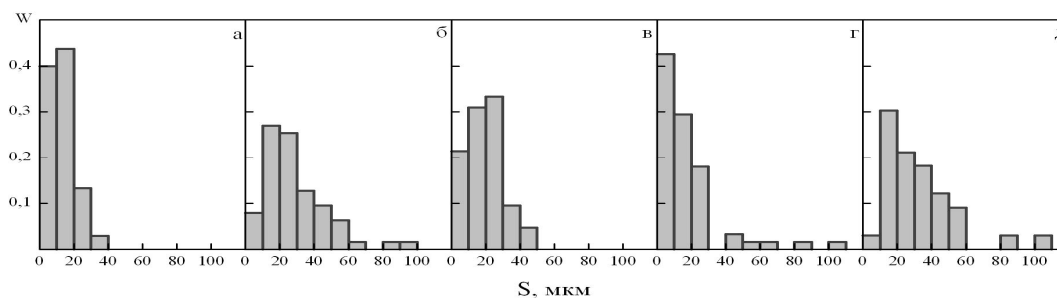


Рис. 2 Распределения расстояний ( $s$ ) между мезополосами в макрополосах, формирующихся в монокристалле (а-МПС<sub>1</sub>, б-МПС<sub>2</sub>, в-МПС<sub>3</sub>, г-МПС<sub>4</sub>, д-МПС<sub>5</sub>)

расстояние между мезополосами, можно оценить относительную долю объема макрополосы, в котором был локализован сдвиг. Результаты оценки показали, что эта величина, естественно, различается для разных макрополос сдвига, но не превышает 40%.

### Заключение

Анализ диаграмм  $\Delta X-X$  показал, что в направлении, перпендикулярном следам скольжения во всех макропачках плотность следов изменяется периодически, а именно, чередуются интервалы с высокой и низкой плотностью следов. Поскольку след скольжения на макроуровне образуется сдвигом в мезополосе, то это означает, что в каждой макрополосе мезополосы скольжения сгруппированы в пачки, которые параллельны друг другу (в отличие от макрополос). Пачка состоит из 3-8 мезополос сдвига.

Распределения расстояний ( $s$ ) между мезополосами в каждой макрополосе скольжения показали, что наиболее вероятное расстояние между мезополосами в пачках составляет примерно 5 мкм, в то время как расстояние между самими пачками примерно в 4 раза больше. Мезополосы в обеих крупных макрополосах располагаются примерно на одинаковых расстояниях. В остальных макрополосах эти расстояния значительно больше.

Из гистограмм толщины ( $d$ ) мезополос скольжения определено наиболее вероятное значение величины  $d$ , которое в каждой макрополосе принимает значения в интервале 2 - 6 мкм. Подобная локализация деформации в мезополосах сдвига связана, по-видимому, с разрушением ближнего атомного порядка в плоскости скольжения, в результате чего скольжение в ближайших к ней плоскостях становится предпочтительнее.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплякова Л.А., Куницына Т.С., Конева Н.А., Старенченко В.А., Козлов Э.В. Макрофрагментация сдвига в монокристаллах сплава Ni<sub>3</sub>Fe при активной пластической деформации //Физ. мезомех., - 2000, - Т. 3, - № 5, - С. 77-82.
2. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. – М.: Мир, 1974.-408с.
3. Neuhauser H. Slip line formation and collective dislocation motion // Dislocation in Solids, - 1983, - V.8. - P. 319-440.
4. Теплякова Л.А., Куницына Т.С., Тихонова О.А., Семин В.О., Старенченко В.А. Фрагментация сдвиговой деформации на макроуровне в “призматическом” [001]-монокристалле сплава Ni<sub>3</sub>Fe //Физ. мезомех., - 2010, - Т.13. - №4. - С.109-114.