[3] Пикин С. А., Цукерник В. М. // ЖЭТФ. 1966. Т. 50. № 5. С. 1377—1380.
[4] Leask V. J., Troper A. C., Wells M. R. // J. Phys. C. 1981. V. 14. N 24. P. 3481—3498.

Физико-технический институт
низких температур АН УССР
Харьков

Поступило в Редакцию
4 ноября 1989 г.

---

УДК 548.4

© Физика твердого тела, том 33, № 5, 1991
Solid State Physics, vol. 33, N 5, 1991

# КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ УПОРЯДОЧЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РОТАЦИОННОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

*А. А. Бирковский, А. Е. Романов*

В работе получила развитие модель кинетики дефектных перестроек при ротационной деформации, предложенная одним из авторов в [1]. В систему уравнений, описывающих колебательную перестройку дефектной структуры при деформации твердых тел, дополнительно был введен диффузионный член, учитывающий необходимость рассмотрения возможности пространственного перераспределения дефектов. Учет возможности диффузии дефектов в работах [2-5] уже позволил описать образование пространственно-упорядоченной структуры устойчивых полос скольжения и ячеистой дислокационной структуры.

Уравнения предлагаемой модели имеют вид

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = A\rho - B\rho - R\rho n + D\frac{\partial^2 \rho}{\partial r^2}, \tag{1а}$$

$$\partial n/\partial t = In\rho - Ln, \tag{1б}$$

где $\rho$, $n$ — плотность дислокаций и диполей частичных дисклинаций (ДЧД); $A$, $B$, $R$, $I$, $L$, $D$ — постоянные коэффициенты. Первый член правой части (1а) описывает размножение дислокаций под действием внешней нагрузки путем двойного поперечного скольжения, второй — аннигиляцию дислокаций, третий — поглощение дислокаций ДЧД (движение ДЧД), $D$ — коэффициент диффузии дислокаций при рассматриваемом способе размножения. Первый член правой части (1б) описывает появление новых зародышей, инициируемое наличием в материале «старых» диполей, являющихся концентраторами напряжений; второй член — потеря активности ДЧД. Выбрав в качестве основных параметров состояния кристалла при развитии в нем ротационной деформации значения степени деформации $\varepsilon = 0.02 \div 0.05$, скорости деформирования $\dot{\varepsilon} = 10^{-3}$ с$^{-1}$ и максимальную плотность хаотических дислокаций $\rho_{max} = 10^{14}$ м$^{-2}$, имеем оценку: $A = 0.2 \div 0.5 \cdot 10^{-2}$ с$^{-1}$, $B = 1 \div 2 \cdot 10^{-17}$ м$^2 \cdot$с$^{-1}$, $R = 10^{11}$ м$^2 \cdot$с$^{-1}$, $I = 10^{-15}$ м$^2 \cdot$с$^{-1}$, $L = 0.03 \div 0.1$ с$^{-1}$. Как было показано в [6], при двойном поперечном скольжении эффективный коэффициент диффузии отрицателен (т. е. результат диффузии — размножающийся дислокационный поток) и его можно оценить [6] как

$$D \sim -(1 \div 4)\frac{\varepsilon}{|\rho_{max}|} \approx (0.5 \div 2) \cdot 10^{-17} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}. \tag{2}$$

В систему уравнений (1) не введен соответствующий диффузионный член для плотности ДЧД, поскольку ДЧД являются дефектами другого масштабного уровня по отношению к решеточным дислокациям и, кроме того, диффузия их осложняется из-за наличия дислокационных субграниц, натянутых между ними.

Линеаризованная система уравнений для малых добавок к стационарным решениям (1) имеет вид

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} = -B\frac{L}{I}\rho - R\frac{L}{I}n + D\frac{\partial^2\rho}{\partial r^2}, \tag{3а}$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{(AI - BL)}{R}\rho. \tag{3б}$$

Возьмем естественные граничные условия: $\rho$, $n$ ограничены при $r \rightarrow \infty$. Для удовлетворения граничных условий будем искать решение (3) в виде

$$\rho = \rho_A \exp[-\lambda t] \sin l\pi r, \tag{4а}$$

$$n = n_A \exp[-\lambda t] \sin l\pi r. \tag{4б}$$

Подставляя (4) в (3), получаем систему однородных линейных уравнений относительно $\lambda$. Она имеет решения, отличные от нуля только в том случае, когда ее детерминант равен нулю. Неустойчивость имеет место, если $\mathrm{Re}\lambda < 0$. Отсюда можно оценить критическое значение волнового числа, при котором возможна неустойчивость

$$l_{cr} = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{BL}{I\,|D|}}. \tag{5}$$

Характерный период пространственной упорядоченности структурных элементов ротационной пластической деформации

$$\Lambda_{cr} = \pi\sqrt{\frac{I\,|D|}{BL}} \approx 0.3 \div 0.5 \text{ мкм} \tag{6}$$

соответствует типичным значениям периода полосовой дислокационной структуры [7].

## Список литературы


[1] Барахтин Б. К., Владимиров В. И., Иванов С. А., Овидько И. А., Романов А. Е. // ФММ. 1987. Т. 63. № 6. С. 1185—1191.
[2] Walgraef D., Aifantis E. C. // Int. J. Eng. Sci. 1985. V. 23. N 12. P. 1351—1358.
[3] Walgraef D., Aifantis E. C. // J. Appl. Phys. 1985. V. 58. N 2. P. 688—691.
[4] Малыгин Г. А. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 7. С. 43—48.
[5] Малыгин Г. А. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 9. С. 298—300.
[6] Малыгин Г. А. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 10. С. 3174—3177.
[7] Рыбин В. В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. М., 1986. 232 с.



Физико-технический
институт им. А. Ф. Иоффе
Ленинград



Поступило в Редакцию
6 ноября 1990 г.