

УДК 524.0

## НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ У КЛИНОВИДНОГО ДВОЙНИКА ПРИ ДИСБАЛАНСЕ ПЛОТНОСТЕЙ ДВОЙНИКУЮЩИХ ДИСЛОКАЦИЙ

О. М. Остриков

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
246746 Гомель, Беларусь

На основе дислокационной модели двойника изучено влияние дисбаланса плотностей двойникующих дислокаций на границах на напряженное состояние внутри клиновидного двойника, вблизи его вершины и во внешних областях, прилегающих к двойниковой границе.

1. Интерес к напряженному состоянию в окрестности механических клиновидных двойников обусловлен тем, что характер развития двойников, взаимодействие двойникующих дислокаций с полными дислокациями, распределение примесей и вакансий вблизи двойника во многом определяются величиной и местом локализации напряжений, создаваемых двойниковой границей.

В то же время знание полей напряжений в окрестности клиновидных двойников имеет важное значение при изучении прочности и пластичности твердых тел. Это связано с тем, что напряженное состояние во многом определяет характер междислокационного взаимодействия и оказывает влияние на пластическую деформацию [1, 2].

В настоящее время теория двойникования разработана недостаточно полно, поэтому целесообразны постановка задачи для расчета полей напряжений вблизи клиновидного двойника и изучение влияния числа двойникующих дислокаций на двух двойниковых границах на конфигурацию полей напряжений.

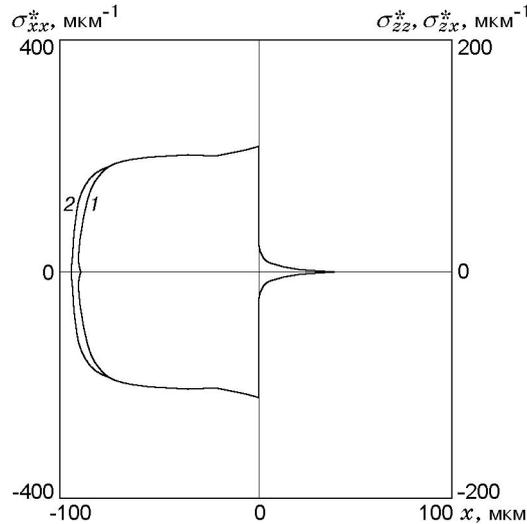
2. Будем исходить из представлений о дислокационном строении двойниковых границ [1, 2]. Как отмечено в [3], двойникующие дислокации — это частичные дислокации Шокли с вектором Бюргерса  $\mathbf{b} = \mathbf{b}_{\text{кр}} + \mathbf{b}_{\text{в}}$  ( $\mathbf{b}_{\text{кр}}$ ,  $\mathbf{b}_{\text{в}}$  — краевая и винтовая составляющие вектора Бюргерса двойникующей дислокации соответственно).

Пусть двойникующие дислокации распределены вдоль прямолинейных двойниковых границ таким образом, что вектор  $\mathbf{b}_{\text{кр}}$  направлен вдоль направления двойникования, а вектор  $\mathbf{b}_{\text{в}}$  — перпендикулярно плоскости двойникования. Тогда поля напряжений вблизи такого двойника можно определить суперпозицией напряжений, создаваемых каждой двойникующей дислокацией.

Измерив геометрические параметры клиновидных двойников, например при деформировании поверхности кристалла сосредоточенной нагрузкой [4, 5], можно определить длину двойника  $L$  и его ширину  $H$  вблизи устья.

3. Решение поставленной выше задачи можно проводить следующим образом. Определяя по экспериментальным данным плотности дислокаций на двойниковых границах  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  и длину двойника  $L$ , зная межплоскостное расстояние  $a$  для исследуемого материала, определим число дислокаций  $N_1$ ,  $N_2$  на каждой границе двойника и расстояния  $d_1$ ,  $d_2$  между двойникующими дислокациями вдоль направления двойникования. При этом величины  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  вычисляются по формулам

$$\rho_1 = H_1/(aL), \quad \rho_2 = H_2/(aL). \quad (1)$$



Результаты расчета напряженного состояния вблизи клиновидного двойника ( $\sigma_{xx}^*(x, 0) = 0$  и  $\sigma_{zz}^*(x, 0) = \sigma_{zx}^*(x, 0) = 0$  при  $\rho_1 = \rho_2$ ):  
 1 —  $\sigma_{xx}^*(x, 0)$  при  $\rho_1 \neq \rho_2$ ; 2 —  $\sigma_{zz}^*(x, 0)$  и  $\sigma_{zx}^*(x, 0)$  при  $\rho_1 \neq \rho_2$

Пусть в монокристалле висмута в окрестности концентратора напряжений сформировался двойник длиной  $L = 10^{-4}$  м и шириной вблизи устья  $H = 5 \cdot 10^{-6}$  м. Для висмута  $a \leq 3,3 \cdot 10^{-10}$  м [5] (двойникование происходит в плоскостях {110}). В рассматриваемом примере  $H_1 = 3 \cdot 10^{-6}$  м,  $H_2 = 2 \cdot 10^{-6}$  м. Расчет по формулам (1) дает  $\rho_1 = 0,9 \cdot 10^8$  м<sup>-1</sup>,  $\rho_2 = 0,6 \cdot 10^8$  м<sup>-1</sup>. Нетрудно показать, что  $N_1 = 9 \cdot 10^3$ ,  $N_2 = 6 \cdot 10^3$ ,  $d_1 = 1,1 \cdot 10^{-8}$  м,  $d_2 = 1,7 \cdot 10^{-8}$  м. Подставляя эти значения в полученные в результате суперпозиции соотношения для расчета полей напряжений вблизи клиновидного двойника, определим напряжения в окрестности рассматриваемого двойника.

Для физического анализа в указанных соотношениях, в которых в качестве переменных выступают пространственные координаты  $x$  и  $y$ , удобнее одну из этих переменных ( $x$  или  $y$ ) принять равной нулю или какой-либо константе. Представляют интерес значения  $x = L, L/2, 0$ , которые позволяют оценить напряжения соответственно вблизи устья, посередине и в окрестности вершины двойника при изменении координаты  $y$ . Принимая  $y = 0$ , можно проследить изменение напряжения внутри двойника вдоль направления двойникования.

На рисунке представлены результаты расчетов некоторых компонент тензора напряжений. Следует отметить, что на рисунке приведены не зависимости  $\sigma_{ij} = f(x, y)$  (при заданных  $x$  или  $y$ ), а аналогичные по виду функции  $\sigma_{ij}^* = f(x, y)$ , где  $\sigma_{xx}^* = -\sigma_{xx}/A$  ( $A = \mu b_{кр}/(2\pi(1-\nu))$ ),  $\sigma_{zz}^* = -\sigma_{zz}/B$  ( $B = \mu b_{кр}\nu/(\pi(1-\nu))$ ),  $\sigma_{zx}^* = -\sigma_{zx}/C$  ( $C = \mu b_{в}/(2\pi)$ ) ( $\sigma_{ij}$  — компоненты тензора напряжений;  $\mu$  — модуль сдвига;  $\nu$  — коэффициент Пуассона). Это позволяет не вычислять значения констант  $A, B, C$ . При этом общность результатов не теряется.

4. Полученный результат имеет важное значение при анализе характера развития клиновидного двойника, так как двойник развивается в условиях постоянного дисбаланса плотностей двойникующих дислокаций на двойниковых границах. Это обусловлено дефектностью областей, в которых происходит развитие двойников, и несогласованностью работы источников двойникующих дислокаций на разных двойниковых границах.

5. Таким образом, в результате численного моделирования полей напряжений вблизи клиновидного двойника с различной плотностью двойникующих дислокаций на двойнико-

вых границах впервые определена роль дисбаланса плотностей двойникующих дислокаций в формировании напряженного состояния в окрестности клиновидного механического двойника. Установлено, что определяющую роль в развитии двойника играют напряжения вблизи его вершины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Косевич А. М., Бойко В. С.** Дислокационная теория упругого двойникового кристаллов // Успехи физ. наук. 1971. Т. 104, № 2. С. 101–255.
2. **Савенко В. С., Остриков О. М.** Поля напряжений у границы клиновидного двойника // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23, № 22. С. 1–6.
3. **Хирт Дж., Лоте И.** Теория дислокаций. М.: Атомиздат, 1972.
4. **Остриков О. М.** Некоторые особенности формы клиновидных двойников в монокристаллах висмута, деформированных сосредоточенной нагрузкой // Физика металлов и металловедение. 2000. Т. 90, № 1. С. 91–95.
5. **Остриков О. М.** Двойникование ионно-имплантированных монокристаллов висмута: Автореф. дис. . . . канд. физ.-мат. наук. Минск, 1999.

*Поступила в редакцию 15/VIII 2001 г.,  
в окончательном варианте — 4/I 2002 г.*

---