

МАКРОСКОПИЧЕСКАЯ ДИСЛОКАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КЛИНОВИДНОГО ДВОЙНИКА

Ю. А. Берсенева

*Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель О. М. Остриков

Представленная в работе [1] дислокационная модель механического двойникования обладает существенным недостатком, заключающимся в том, что она позволяет рассматривать механизм двойникования кристаллов в приближении тонкого двойника, когда границы двойника рассматриваются как простое скопление дислокаций в виде дислокационной цепочки. При этом нет возможности рассматривать поля напряжений внутри двойника и изучать роль формы двойниковой границы на напряженное состояние и физические процессы у двойника.

В работах [2]–[5] двойниковая граница рассматривалась на таком масштабном уровне, на котором возможен учет расстояния между двойниующими дислокациями. Однако в этом случае возникают трудности моделирования далекодействующих напряжений у наиболее часто встречающихся на эксперименте двойников, так как затруднительно суммирование напряжений от большого числа дислокаций, составляющих двойниковую границу. Частично этого недостатка лишена модель, приведенная в [1], так как в ней осуществлен переход от дискретного к непрерывному распределению дислокаций вдоль двойниковой границы. Использование моделей, разрабатываемых в [2]–[5], также затруднительно и в случае двойников со сложной формой их границ.

Таким образом, в настоящее время в дислокационной теории двойникования существует проблема в выработке такой модели двойника, которая при непрерывном распределении двойниующих дислокаций вдоль двойниковых границ с заданной плотностью распределения позволяла бы учитывать форму двойниковой границы. Решение этой проблемы представляется актуальным и целесообразным.

Целью данной работы и стала разработка такой дислокационной модели двойника, которая не требовала бы использования приближения тонкого двойника и которая рассматривала бы двойник на таком масштабном уровне, когда возможен переход от дискретного к непрерывному распределению двойниующих дислокаций вдоль двойниковых границ с учетом их формы.

В данной работе рассмотрим клиновидный двойник в объеме, вдали от поверхности двойнивающегося материала. Такие двойники обычно зарождаются у концентратора напряжений, который пусть в нашем случае находится в точке O (рис. 1). В нашей задаче не будем учитывать напряжения, которые создает данный концентратор напряжений. В общем случае в плоскости XOY форма границ клиновидного двойника описывается функциями $f_1(x_0)$ и $f_2(x_0)$ (рис. 1). Пусть дислокации на данных границах параллельны друг другу и оси OZ , перпендикулярной плоскости рис. 1. Плотность двойниующих дислокаций на границах клиновидного двойника равна ρ_1 и ρ_2 . Тогда напряжения, создаваемые рассматриваемым клиновидным двойником, могут быть определены из формулы

$$\sigma_{ij}(x, y) = \sigma_{ij}^{(1)}(x, y) + \sigma_{ij}^{(2)}(x, y), \quad (1)$$

$$\sigma_{ij}^{(1)} = \int_{L_{AB}} \rho_1 \sigma_{ij}^{(1,0)} ds; \quad (2)$$

$$\sigma_{ij}^{(2)} = \int_{L_{CB}} \rho_2 \sigma_{ij}^{(2,0)} ds. \quad (3)$$

Здесь $\sigma_{ij}^{(1)}$ и $\sigma_{ij}^{(2)}$ – напряжения, создаваемые каждой из границ клиновидного двойника и определяемые с помощью криволинейного интеграла вдоль профилей двойниковых границ L_{AB} и L_{CB} соответственно (рис. 1); $\sigma_{ij}^{(1,0)}$ и $\sigma_{ij}^{(2,0)}$ – напряжения, создаваемые на двойниковых границах отдельными дислокациями. Криволинейные интегралы (2) и (3) сводятся к определенным интегралам типа

$$\sigma_{ij}^{(1)}(x, y) = \int_0^L \sqrt{1 + (f_1'(x_0))^2} \rho_1(x_0) \sigma_{ij}^{(1,0)}(x, y, x_0) dx_0; \quad (4)$$

$$\sigma_{ij}^{(2)}(x, y) = \int_0^L \sqrt{1 + (f_2'(x_0))^2} \rho_2(x_0) \sigma_{ij}^{(2,0)}(x, y, x_0) dx_0, \quad (5)$$

где L – длина двойника, равная длине отрезка OB (рис. 1).

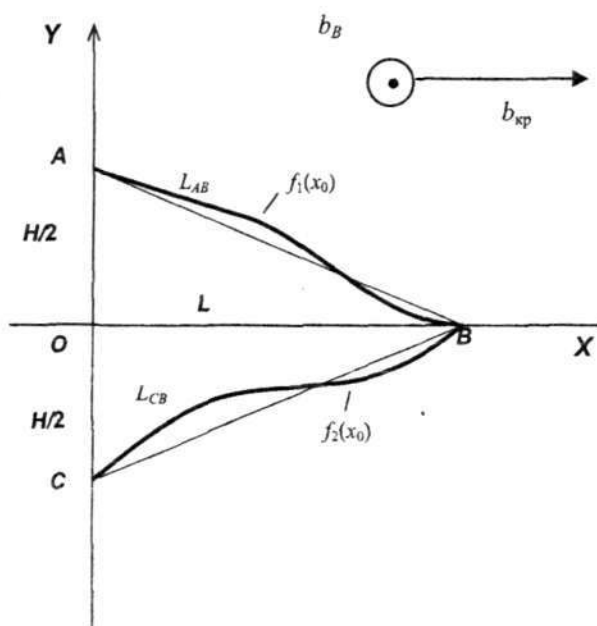


Рис. 1. Схематическое изображение клиновидного двойника

Выражения (4) и (5) в совокупности с (1) полностью определяют напряжения, создаваемые клиновидным двойником с формами границ, описываемых функциями $f_1(x_0)$ и $f_2(x_0)$ на масштабном уровне, когда распределение двойникующих дислокаций на двойниковых границах можно считать непрерывным с плотностями $\rho_1(x_0)$ и $\rho_2(x_0)$.

Рассмотрим случай, когда границы двойника прямолинейные. При этом двойник будет иметь форму равнобедренного треугольника ABC (рис. 1) с шириной у устья (отрезок AC) равной H . Такие двойники часто встречаются на эксперименте и, как правило, характеризуют начальную стадию развития клиновидных двойников в бездефектной области кристалла. Данные двойники также могут образовываться у концентратора напряжений в объеме материала, например, при пропускании через него импульса электрического тока, приводящего к разрядке напряжений у концентратора напряжений путем образования двойника [6]. В рассматриваемом случае будем иметь:

$$f_1(x_0) = \frac{H}{2} \left(1 - \frac{x_0}{L} \right); \quad (6)$$

$$f_2(x_0) = -\frac{H}{2} \left(1 - \frac{x_0}{L} \right). \quad (7)$$

При этом (4) и (5) примут вид:

$$\sigma_{ij}^{(1)}(x, y) = \rho \sqrt{1 + \left(\frac{H}{2L} \right)^2} \int_0^L \sigma_{ij}^{(1,0)}(x, y, x_0) dx_0; \quad (8)$$

$$\sigma_{ij}^{(2)}(x, y) = \rho \sqrt{1 + \left(\frac{H}{2L} \right)^2} \int_0^L \sigma_{ij}^{(2,0)}(x, y, x_0) dx_0. \quad (9)$$

В случае выпуклых или вогнутых двойниковых границ их форма может описываться путем эмпирического подбора функций $f_1(x_0)$ и $f_2(x_0)$.

Таким образом, разработана макроскопическая дислокационная модель клиновидного двойника, позволяющая учитывать особенности форм его границ в расчетах полей напряжений. Впервые клиновидный двойник не рассматривается в приближении тонкого двойника, что дало возможность рассмотреть напряжения внутри двойника без исключения макроскопического подхода.

Литература

1. Косевич, А. М. Дислокационная теория упругого двойникового кристаллов / А. М. Косевич, В. С. Бойко // Успехи физ. наук. – 1971. – Т. 104, № 2. – С. 101–255.
2. Остриков, О. М. Напряженное состояние у вершины клиновидного двойника / О. М. Остриков // Механика твердого тела. – 2004. – № 2. – С. 104–113.
3. Остриков, О. М. Напряженное состояние у клиновидного двойника при дисбалансе плотностей двойникующих дислокаций / О. М. Остриков // Приклад. механика и техн. физика. – 2002. – Т. 43, № 4. – С. 180–182.
4. Савенко, В. С. Влияние электрического тока на распределение примесей у двойниковой границы / В. С. Савенко, О. М. Остриков // Изв. вузов. Серия «Черная металлургия». – 1998. – № 6. – С. 12–14.
5. Савенко, В. С. Поля напряжений у границы клиновидного двойника / В. С. Савенко, О. М. Остриков // Письма в журн. техн. физики. – 1997. – Т. 23, № 22. – С. 1–6.
6. Остриков, О. М. Влияние импульсного электрического тока большой плотности на особенности двойникового монокристаллов висмута / О. М. Остриков // Физика и химия обработки материалов. – 2003. – № 1. – С. 12–15.