

УДК 539.3

РАСЧЕТ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ У ТОНКОГО УПРУГОГО ДВОЙНИКА, НАХОДЯЩЕГОСЯ ВДАЛИ ОТ ПОВЕРХНОСТИ И ОБРАЗОВАННОГО В РЕЗУЛЬТАТЕ АНТИПЛОСКОГО СДВИГА

Е. В. ИНОЗЕМЦЕВА

ассистент кафедры инженерной графики,

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого

О. М. ОСТРИКОВ

кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики,

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого

Разработан метод расчета напряжений в твердом теле при сдвиге, находящемся в не плоскости упругого двойника. Показано, что трещина формируется в местах скопления максимальных напряжений и в дальнейшем распространяется по плоскости спайности. Прямолинейные участки двойника напряжения не концентрируют.

Ключевые слова: тонкий двойник, антиплоский сдвиг, поля напряжений.

Введение

Металлы с ромбоэдрической, объемноцентрированной, гексагональной плотноупакованной решеткой легко деформируются как скольжением, так и двойникованием в широком интервале температур [1]. Трещины обнаружены лишь при полном разрушении образцов и располагаются, как правило, на границе раздела двух двойников [1; 2; 3]. В основу механизмов разрушения положены двойниковые сдвиги в пересекающихся плоскостях. Кроме того, предпринимались попытки математического описания возникновения разрушения при двойниковании [3]. Показано, что наиболее вероятен вариант зарождения трещины при взаимодействии развивающегося двойника с границей остаточного, нежели при встрече вершин двух двойников [4]. При объяснении образования продольных сколов вдоль плоскости спайности предпочтение отдается дислокационному механизму.

Двойственный характер влияния двойникования на образование и рост трещин не вызывает сомнения [4]. В большинстве случаев двойники являются опасными концентраторами напряжений, способствующими зарождению хрупких трещин. Мера ответственности двойникования за окончательное разрушение материала и конкретные механизмы, вызывающие магистральный разрыв, выяснены еще недостаточно и должны определяться в каждом конкретном случае испытания.

© Иноземцева Е. В., 2017

© Остриков О. М., 2017

Особый интерес в плане повышения энергоемкости низкотемпературного разрушения представляют сопутствующие двойники, порождаемые самой трещиной [5]. Для объяснения геометрических особенностей зарождения трещины в хвостовой части двойника изучалось распределение дислокаций в границе двойника и создаваемое ими поле упругих напряжений.

Целью данной работы стала разработка метода расчета полей напряжений в твердом теле, деформируемом антиплоским сдвигом, у находящегося вдали от поверхности упругого тонкого двойника.

Постановка задачи. Рассмотрим тонкий двойник, половина длины которого равна L , образовавшийся вдали от поверхности кристалла в результате антиплоского сдвига $|x| \leq L$ (рисунок 1). Упругий двойник будем моделировать линейным распределением винтовых двойникоующих дислокаций. Вектор Бюргера каждой двойникоующей дислокации перпендикулярен оси z , перпендикулярной плоскости рисунка 1.

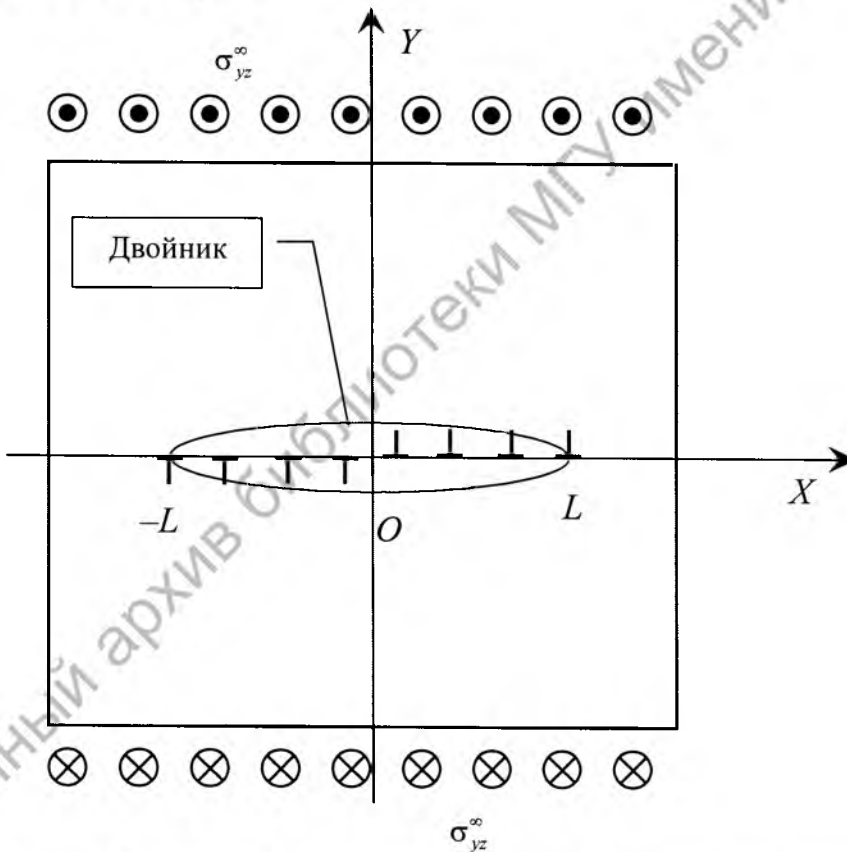


Рисунок 1. Схематическое изображение тонкого упругого линзовидного двойника в деформируемом антиплоским сдвигом твердом теле

Для решения поставленной задачи, как и в случае теории тонкого двойника [3], справедливо использование соотношений нелинейной механики разрушения [1].

Это связано с тем, что математическое описание дислокационной трещины и тонкого двойника аналогично.

Распределение компонент тензора напряжений для рассматриваемого двойника может быть найдено на основании расчетных соотношений для трещины антиплоского сдвига [6], приведенных к виду:

$$\sigma_{xz} = -\frac{\sigma_{yz}^{\infty}}{\pi} \int_{-L}^L \frac{y - f(\xi)}{(x - \xi)^2 + (y - f(\xi))^2} \cdot \frac{\xi}{\sqrt{L^2 - \xi^2}} \cdot d\xi, \quad (1)$$

$$\sigma_{yz} = \sigma_{yz}^{\infty} + \frac{\sigma_{yz}^{\infty}}{\pi} \int_{-L}^L \frac{x - \xi}{(x - \xi)^2 + (y - f(\xi))^2} \cdot \frac{\xi}{\sqrt{L^2 - \xi^2}} \cdot d\xi, \quad (2)$$

где σ_{yz}^{∞} – напряжения на бесконечно удаленных от двойника поверхностях однородного изотропного твердого тела, в приближении которого рассматривается кристаллическое тело с двойником; $f(\xi)$ – функция, с помощью которой задается форма средней линии двойника (линии внутри двойника, равноудаленной от двух его границ); ξ – параметр интегрирования.

Примем

$$f(\xi) = f(\xi) = \frac{a\xi^2}{L^2}, \quad (3)$$

где a – отклонение вершины двойника от оси x ; L – проекция средней линии двойника на ось x (рисунок 1).

В бездефектных кристаллах средняя линия линзовидного двойника представляет собой отрезок прямой (рисунок 1). Свяжем начало декартовой системы координат с серединой этого отрезка и ось x направим вдоль него. Тогда очевидно будем иметь $f(\xi) = 0$.

В случае, когда стопор находится на оси x (рисунок 1), вершина параболы находится в окрестности точки с координатами $(-L, 0)$. Тогда функцию $f(\xi)$ можно представить в виде

$$f(\xi) = \frac{a(L + \xi)^2}{4L^2}. \quad (4)$$

Результаты и их обсуждение. Результаты расчета представлены на рисунках 2–4.

Из анализа распределения напряжений видно, что максимум напряжений в бездефектной области кристалла локализируются на средней линии двойника (рисунок 2). Напряжения локализируются по обе стороны от оси y . Можно отметить, что максимальные значения смещены в положительную сторону по оси x . Также значения напряжений для двойника в бездефектной области кристалла заметно меньше, чем у двойника при наличии стопора (рисунки 3 и 4). Следовательно, можно предположить, что трещины будут образовываться на границе

двойника в зоне с максимальными значениями напряжений и далее распространяется по плоскости спайности.

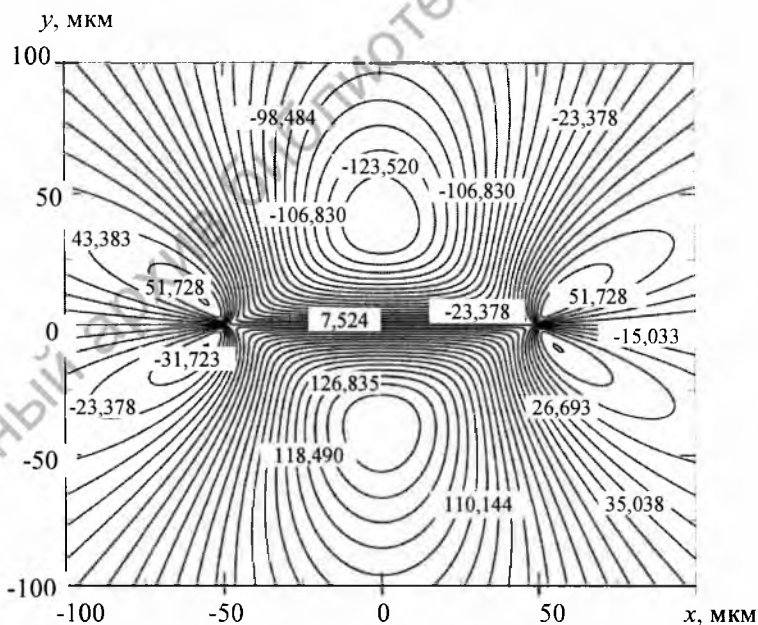
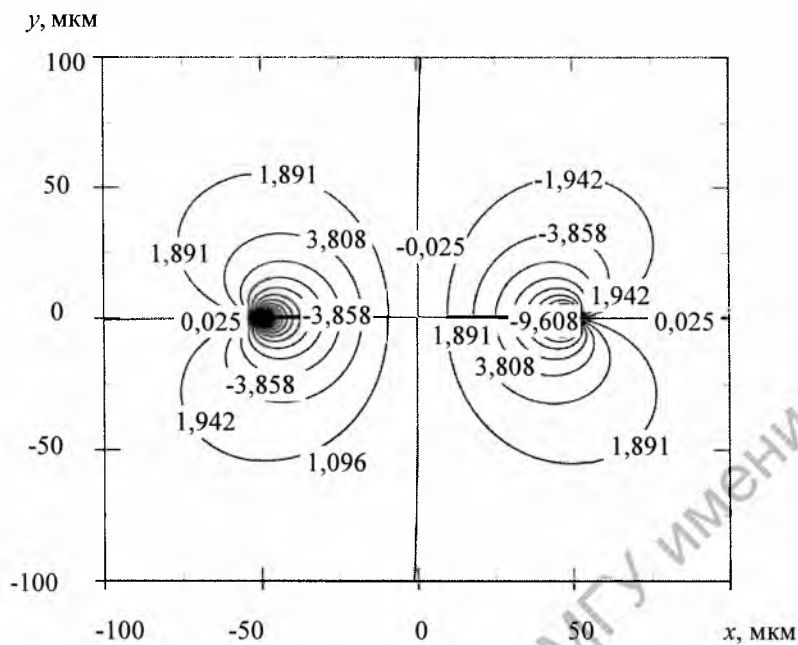


Рисунок 2. Распределение напряжений у тонкого линзовидного двойника в бездефектной области кристалла в твердом теле, деформируемом антиплоским сдвигом (МПа): а) $\sigma_{xx}(x, y)$; б) $\sigma_{yy}(x, y)$

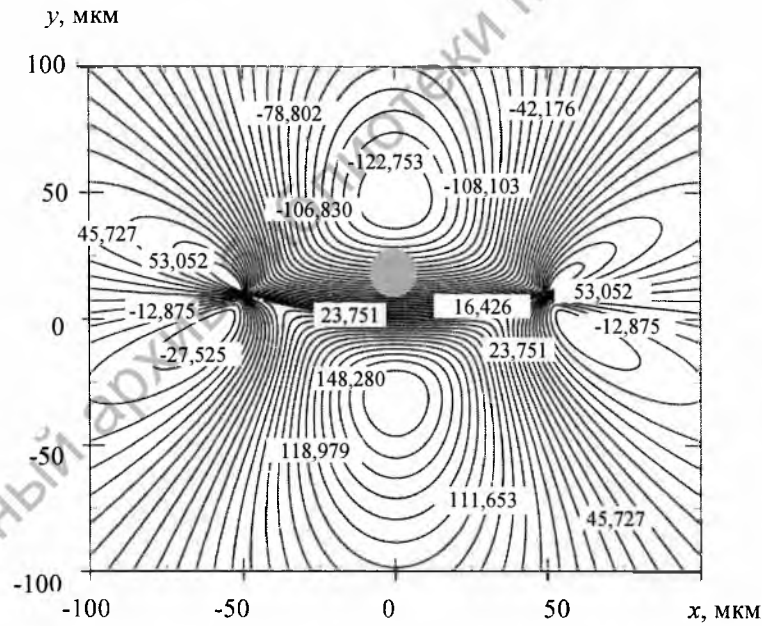
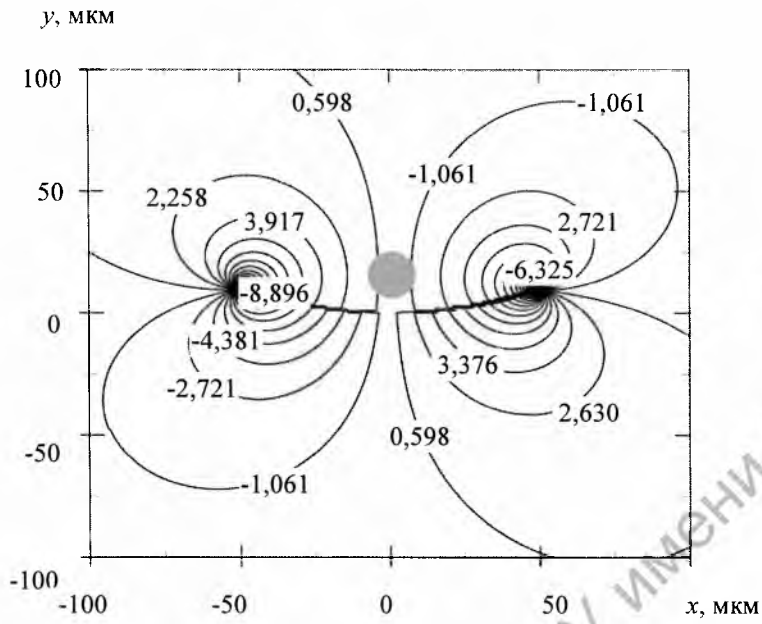
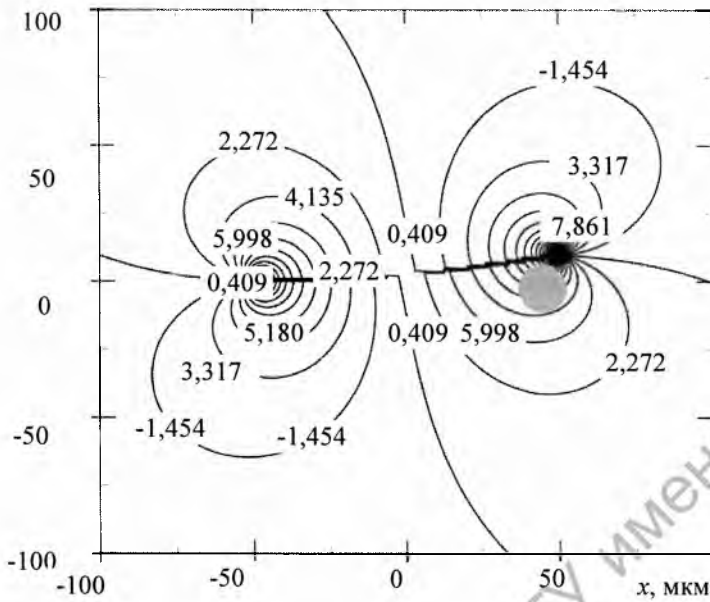


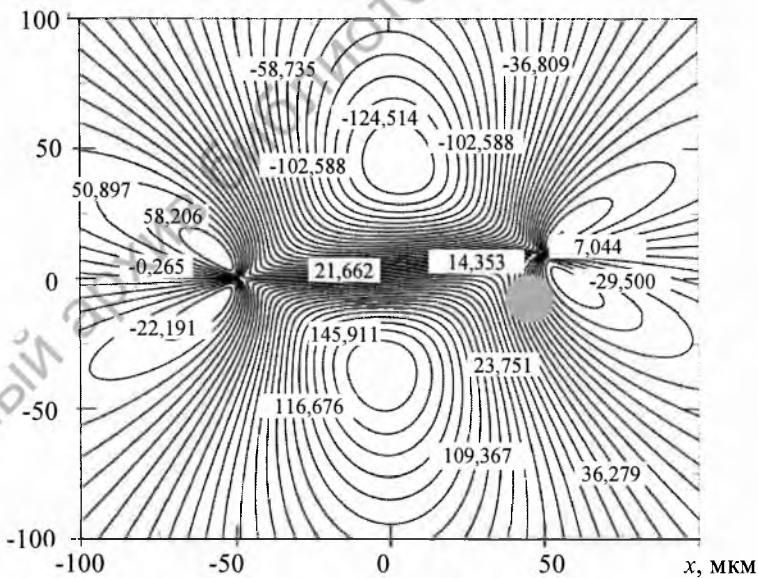
Рисунок 3. Поля напряжений у линзовидного упругого двойника при наличии стопора (отмечен серым кругом) на оси y в твердом теле, деформируемом антиплоским сдвигом (МПа): а) $\sigma_{xx}(x, y)$; б) $\sigma_{xy}(x, y)$

y, МКМ



a)

y, МКМ



б)

Рисунок 4. Поля напряжений у линзовидного упругого двойника при наличии стопора (отмечен серым кругом) на оси x в твердом теле, деформируемом антиплоским сдвигом (МПа): а) $\sigma_{xx}(x, y)$; б) $\sigma_{yy}(x, y)$

При наличии стопора максимальные значения напряжений смещаются вместе с вершинами двойника и концентрируются по обе стороны от оси x . На рисунке 3 стопор расположен на оси y , следовательно, вершины двойника смещаются в верх, образуя параболу. Причем наибольшие значения напряжений в данном случае, концентрируются в отрицательной области.

На рисунке 4 стопор находится на оси x . Максимальные напряжения при этом, как и одна из вершин двойника, смещаются в положительную сторону относительно оси y . Минимальные напряжения при этом находятся в нулевых значениях x и y .

Заключение

Таким образом, на основании дислокационного подхода с использованием методов нелинейной механики разрушения разработан метод расчета полей напряжений в твердом теле, деформируемом антиплоским сдвигом, у находящегося вдали от поверхности упругого тонкого линзовидного двойника.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Косевич, А. М.* Дислокационная теория упругого двойникования кристаллов / А. М. Косевич, В. С. Бойко // Успехи физических наук. – 1971. – Т. 104, № 2. – С. 101–255.
2. *Гербер, Р. И.* Механизм двойникования кальцита и натронной селитры при пластической деформации / Р. И. Гербер // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1947. – Т. 17, № 1. – С. 47–62.
3. *Косевич, А. М.* Дислокации в теории упругости / А. М. Косевич. – Киев : Наук. думка, 1978. – 220 с.
4. *Шепелевич, В. Г.* Структурно-фазовые превращения в металлах / В. Г. Шепелевич. – Минск : БГУ, 2007. – 167 с.
5. *Астафьев, В. И.* Нелинейная механика разрушения / В. И. Астафьев, Ю. Н. Радаев, Л. В. Степанова. – Самара : Изд-во “Самарский университет”, 2001. – 562 с.
6. *Остриков, О. М.* Механика двойникования твердых тел : монография / О. М. Остриков. – Гомель : Учреждение образования “Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого”, 2008. – 301 с.

Поступила в редакцию 16.12.2016 г.

Контакты: oostrikov@mail.ru (Остриков Олег Михайлович)

Inozemtseva Y.V., Ostrikov O.M. MEASURING STRESS FIELDS OF A THIN ELASTIC TWIN DISTANT FROM THE SURFACE AND FORMED AS A RESULT OF AN OUT-OF-PLANE SHEAR

The method of calculation of stresses in a solid shift occurring in a non-down-plane elastic twin has been designed. It is shown that the crack is formed in the places of the maximum stress and it further extends along a plane cohesion. Straight sections of twin voltage are not con-centered.

Keywords: thin twin; anti-flat shift; stress field.