

Влашевич В.В., Остриков О.М.

МЕТОД ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ «МЕХАНИЧЕСКИЙ КЛИНОВИДНЫЙ НАНОДВОЙНИК – ТРЕЩИНА» ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ СДВИГЕ

Введение. Проблемы прочности и разрушения твердых тел в настоящее время представляется важной задачей, и интерес к этим проблемам не ослабевает ввиду огромного прикладного значения [1]. Под разрушением понимается мезоскопическое нарушение сплошности тела в результате воздействия на него деформирующих нагрузок. Одной из наиболее важных проблем является дислокационное формирование микротрещины, способной в определенных условиях приводить к разрушению целостности металла [2].

Таким образом, большой интерес вызывает оценка прочности, а так же анализ напряженно-деформированного состояния в системе «скольжение – поврежденность». Поэтому представляет интерес

моделирование условий, при которых реализуется зарождение трещины вблизи механического клиновидного нанодвойника.

Целью данной работы является методика расчета полей напряжений в системе «механический клиновидный нанодвойник – трещина».

Постановка задачи. Рассмотрим схематическое изображение механического остаточного клиновидного нанодвойника (рис. 1), который находится вблизи трещины вдали от поверхности кристалла. Параметры d_i и h_i отвечают за расстояние между двойникующими

Влашевич Владислав Владимирович, аспирант Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого.

Остриков Олег Михайлович, к.физ.-мат.н., доцент, зав. кафедрой «Инженерная графика» Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого.

Беларусь, ГГТУ, 246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.

где A и B – проекции на оси OX и OY , позволяющие регулировать положение трещины относительно вершины C нанодвойника; $L_{тр}$ – длина трещины.

Зная поля напряжений и используя соотношения распределения напряжений для трещин при поперечном сдвиге, рассмотренных Астафьевым В.И., Радаевым Ю.Н., Степановой Л.В. [1], применяя принцип суперпозиции, получаем формулы для расчета полей напряжений в системе «механический клиновидный двойник – трещина»:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{xx}(x,y) &= \sigma_{xx}^{ДВ}(x,y) + \sigma_{xx}^{ТР}(x,y), \\ \sigma_{yy}(x,y) &= \sigma_{yy}^{ДВ}(x,y) + \sigma_{yy}^{ТР}(x,y), \\ \sigma_{xy}(x,y) &= \sigma_{xy}^{ДВ}(x,y) + \sigma_{xy}^{ТР}(x,y). \end{aligned} \right\} (7)$$

Результаты расчетов и их обсуждение. Результаты расчетов полей напряжений представлены на рис. 2–4. Принималось: $N=10$; $M=10$; $\mu=81$ МПа; $\nu=0,29$; $d=2,5$ нм; $h=0,25$ нм; $b_{кр}^{ДВ}=0,5$ нм; $b_{тр}=0,5$ нм; $A=10$ нм; $B=50$ нм; $d_{тр}=1,17$ нм [5].

Участок CDE имеет клиновидную форму и является некогерентным, нанодвойник CDE , как и трещина T_1T_2 , направлены вдоль оси OX (рис. 2, а). Вдоль границ нанодвойника, как и у берегов трещины, наблюдается локализация полей напряжений. На участке CE значения напряжений положительные, а на участке CD – отрицательные (рис. 2, а). Максимальные значения полей напряжений сконцентрированы на берегах трещины T_1T_2 . С одной стороны напряжения сжимающие, а с другой растягивающие.

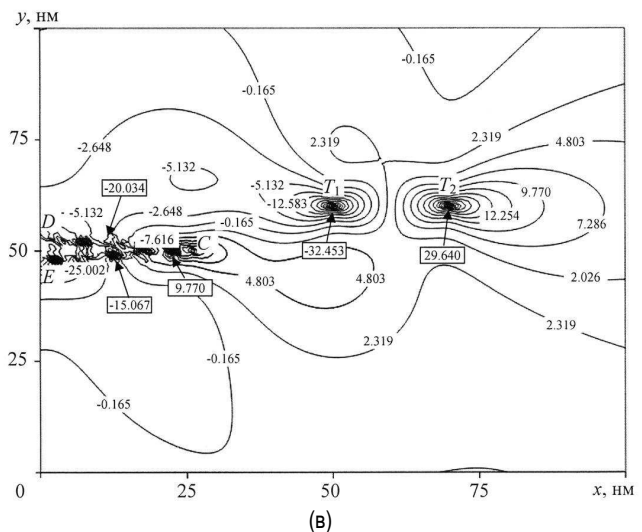
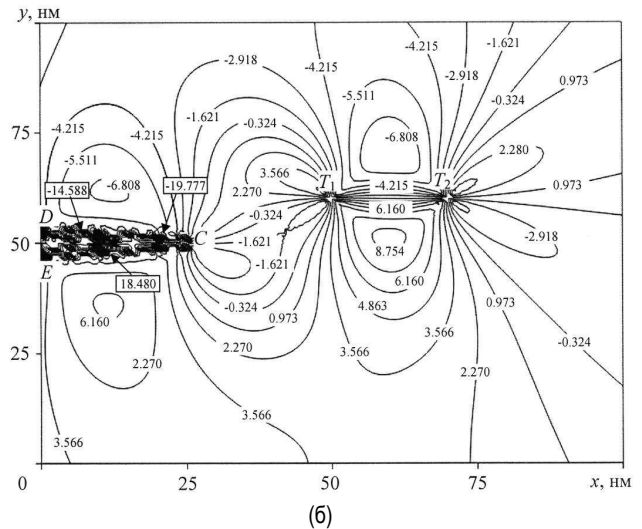
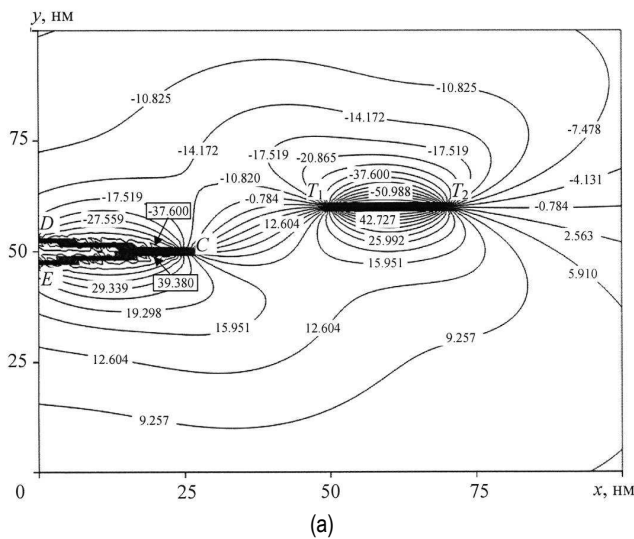


Рисунок 2 – Распределение напряжений в системе «механический клиновидный двойник – трещина»: а) $\sigma_{xx}(x,y)$; б) $\sigma_{yy}(x,y)$; в) $\sigma_{xy}(x,y)$ (МПа)

На рис. 2, б представлено распределение нормальных напряжений σ_{yy} . Концентрация напряжений наблюдается в области нанодвойника CDE . Максимальные напряжения σ_{yy} сосредоточены в средней части нанодвойника, но на противоположных границах нанодвойника напряжения различны. У берегов и вершин трещины T_1T_2 значения полей напряжений имеют ярко выраженный минимум. Максимальные напряжения находятся в средней части трещины T_1T_2 . У вершин трещины T_1T_2 напряжения знакопеременны.

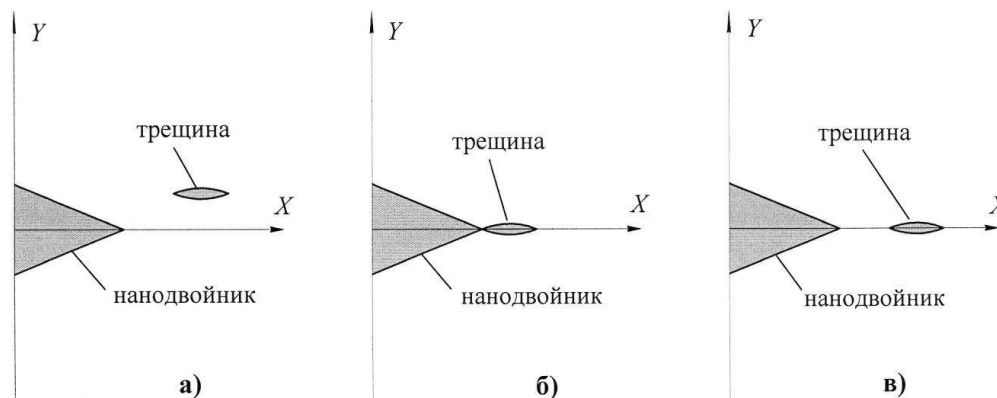


Рисунок 3 – Схематическое изображение расположения трещины относительно нанодвойника: а) когда A и $B \neq 0$; б) когда A и $B = 0$; в) когда $A = 50$ нм, $B = 0$

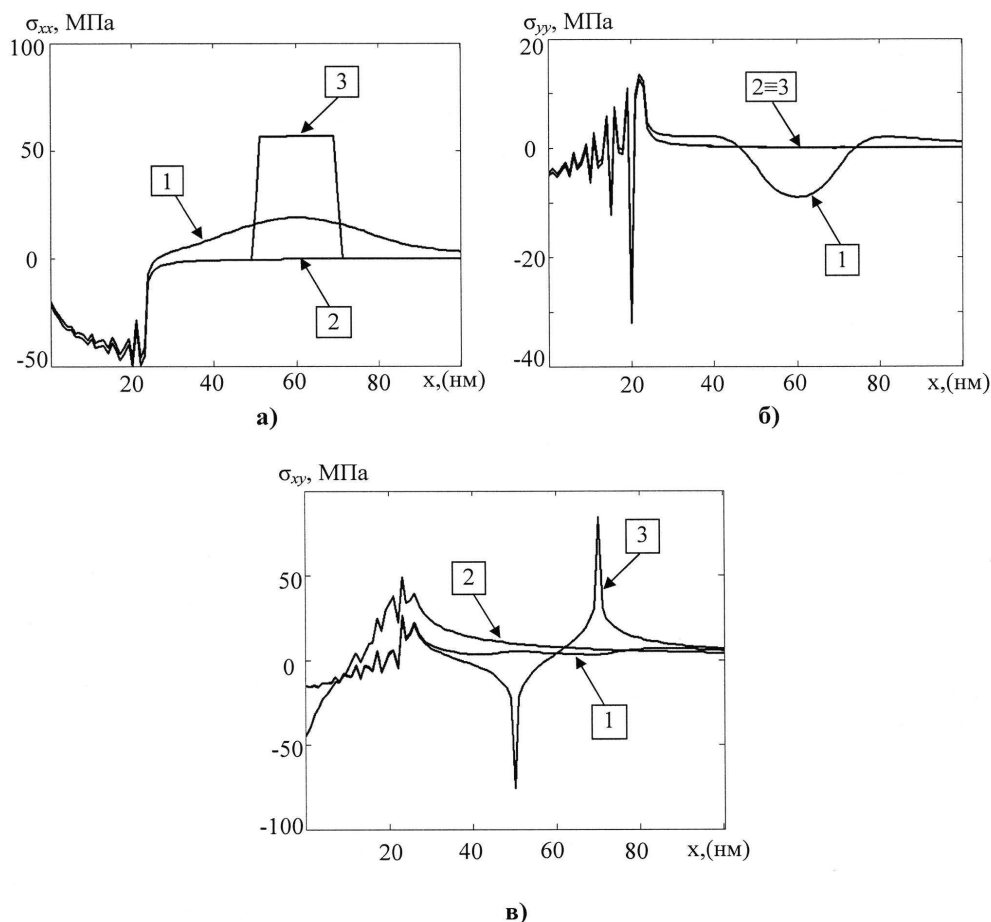


Рисунок 4 – Зависимость компонент тензора напряжений в системе «механический клиновидный двойник – трещина» при поперечном сдвиге: а) $\sigma_{xx}(x, y)$; б) $\sigma_{yy}(x, y)$; в) $\sigma_{xy}(x, y)$

Складывающиеся напряжения σ_{xy} показаны на рис. 2, в. Напряжения на участке нанодвойника DE отрицательны у точки C положительны. У вершин трещины $T_1 T_2$ напряжения максимальны, но знакопеременны. В точке T_1 напряжения сжимающие, в точке T_2 – растягивающие. Это стимулирует рост трещины вдоль оси OX в направлении от нанодвойника.

Рассмотрим зависимость компонент тензора напряжений от расположения зарождающейся трещины (рис. 3). Расчет осуществлялся для трех случаев, когда $A=50$ нм, $B=10$ нм – первый случай (рис. 3, а). Второй случай – $A=B=0$ (рис. 3, б), и третий случай $A=50$ нм, $B=0$ (рис. 3, в), где A – расстояние, позволяющее регулировать положение трещины относительно вершины нанодвойника вдоль оси OX ; B – расстояние, позволяющее регулировать положение трещины относительно оси OY .

Зависимость тензора напряжений σ_{xx} от расположения трещины показана на рис. 4, а, на котором изображены три случая положения трещины относительно нанодвойника. Видно, что диапазон по оси OX от 0 до 30 нм указывает на напряжения нанодвойника, а от 40 до 80 нм – на напряжения трещины. Во всех трех случаях компоненты σ_{xx} напряжения нанодвойника отрицательны. Максимальные напряжения наблюдаются у трещины в третьем случае, когда ось OX проходит через трещину (при $B=0$).

На рис. 4, б, на котором рассмотрена зависимость тензора напряжений σ_{yy} от расположения трещины, наблюдаются осцилляции напряжений у нанодвойника. Причем частота колебаний усиливается. Минимальные значения напряжений у трещины в первом случае, когда A и $B \neq 0$. Напряжения во втором и третьем случае равны, так как трещина лежит на оси OX .

Зависимость тензора напряжений σ_{xy} от расположения трещины показана на рис. 4, в. Максимум напряжений имеет нанодвойник во втором случае, затем резкое падение напряжений, в первом наобо-

рот – рост. В третьем случае, когда ось OX проходит через трещину, присутствуют ярко выраженные всплески напряжений. Это связано с сингулярностью у вершин трещины.

Заключение. В результате проведенного исследования, в системе «механический клиновидный двойник – трещина» при поперечном сдвиге установлено, что осцилляция напряжений у нанодвойника связана с дискретностью распределения двойникоующих дислокаций. Ярко выраженные максимум и минимум напряжений находятся у трещины. Всплески напряжений, когда ось OX проходит через трещину, связаны с сингулярностью у вершин трещины.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Астафьев, В.И. Нелинейная механика разрушения / В.И. Астафьев, Ю.Н. Радаев, Л.В. Степанова – Самара: Издательство «Самарский университет», 2004. – 562 с.
2. Федоров, В.А. Дислокационные механизмы разрушения двойникоующихся материалов / В.А. Федоров, Ю.И. Тялин, В.А. Тялина – М.: Издательство «Машиностроение – 1», 2004. – 336 с.
3. Остриков, О.М. Поле упругих деформаций и смещений в системе «клиновидный нанодвойник – цепочка полных дислокаций» // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого, Гомель. – 2011. – № 4. – С. 34–44.
4. Влашевич, В.В. Метод расчета напряженного состояния, обусловленного динамическим нанодвойником / В.В. Влашевич, О.М. Остриков // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого, Гомель. – 2014. – № 2. – С. 43–50.
5. Металловедение и термическая обработка стали. Справ. изд. в 3-х т. / Под ред. М.Л. Берштейна, А.Г. Рахштадта. – 4-е изд., перераб. и доп. Основы термической обработки: в 2-х кн. – Кн. 1. – М.: Металлургия, 1995. – Т. 2. – 336 с.

Материал поступил в редакцию 11.01.2017

Вестник Брестского государственного технического университета. №4. 2016

VLASHEVICH V.V., OSTRIKOV O.M. Method of numerical and analytical calculation of fields of tension in the "The mechanical wedge-shaped nanodouble-the crack" system at cross shift

The article describes a new analytical method of determining of fields of tension and the formation of microcracks that could lead to the destruction of the integrity of the metal.