

МЕХАНИКА

УДК 539.3

ОБ ОДНОМ НОВОМ ТИПЕ ТРЕЩИН

Бабешко О. М., Евдокимова О. В., Бабешко В. А.

ONE NEW TYPE OF CRACK

Babeshko O. M.¹, Evdokimova O. V.², Babeshko V. A.²¹ Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia² Southern Scientific Center RAS, Rostov-on-Don, 344006, Russia

Abstract. On the basis of the analysis of the causes, which invoke starting earthquakes or hidden defects, the fact of the existence of new, previously not described types of cracks have been identified. Griffith–Irwin cracks are characterized by the fact that their boundary is smooth. A new type of cracking has a piecewise smooth boundary. Both types of cracks can be constructed using homeomorphisms of areas containing cavities, boundaries of which converge. Properties of a new type of cracking are different from those of Griffith–Irwin cracks and can be detected by examining the corresponding block structure.

A new type of cracking has not been studied thoroughly yet, due to the complexity of the constructions and the study of block structures, but the qualitative differences from Griffith–Irvine cracks, first of all in lower strength properties have been already revealed.

Keywords: block element, cracks, topology, boundary problems methods, exterior forms, block structures, coverings.

Разработка теории блочных структур и последующего исследования скрытых дефектов в материалах с покрытиями, разломов литосферных плит, теории лопнувших фундаментов со свойствами возникновения сингулярных концентраций напряжений [1, 2] привели к необходимости более детального анализа общих причин, вызывающих подобные явления. Анализ соответствующих граничных задач, геометрии дефектов, для которых свойственно подобное напряженно-деформированное состояние, привел к заключению о существовании нового типа трещин, дополняющих трещины Гриффица–Ирвина рис. 1 [3].

1. Особенности типов трещин

Простейший способ объяснений разницы между трещинами Гриффица–Ирвина и оговоренным выше новым типом трещин можно

сформулировать следующим образом. Рассмотрим вариант плоской задачи теории упругости о плоской деформации. Тогда трещины Гриффица–Ирвина можно представить как результат гомеоморфизма плоскости с круговой полостью, нагруженной по границе напряжениями, на плоскость с тещиной Гриффица–Ирвина, получившейся в результате деформирования с боков круговой полости, в пределе выродившейся в вертикальную трещину с гладкими, закругленными в вершинах границами рис. 2 [4].

Новый тип трещин, в соответствии с приведенным построением, получается путем замены круговой полости с гладкой границей на полость в виде прямоугольника, имеющего кусочно-гладкую границу. В результате гомеоморфного отображения плоскости с такой полостью на плоскость со сблизившимися боковыми сторонами прямоугольника полу-

Бабешко Ольга Мефодиевна, д-р физ.-мат. наук, главный научный сотрудник Научно-исследовательского центра прогнозирования и предупреждения геоэкологических и техногенных катастроф Кубанского государственного университета; e-mail: babeshko49@mail.ru.

Евдокимова Ольга Владимировна, д-р физ.-мат. наук, главный научный сотрудник Южного научного центра РАН; e-mail: evdokimova.olga@mail.ru.

Бабешко Владимир Андреевич, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой математического моделирования Кубанского государственного университета, директор Научно-исследовательского центра прогнозирования и предупреждения геоэкологических и техногенных катастроф Кубанского государственного университета, заведующий лабораторией Южного федерального университета; e-mail: babeshko41@mail.ru.

Отдельные фрагменты работы выполнены в рамках реализации Госзадания Минобрнауки на 2018 г., проекты (9.8753.2017/БЧ), ЮНЦ РАН на 2018 г., № госрег. проекта 01201354241, программ президиума РАН П-16, проект (0256-2018-0015), П-52 проект (0256-2018-0020), и при поддержке грантов РФФИ (16-41-230214), (16-41-230218), (16-48-230216), (17-08-00323), (18-08-00465), (18-01-00384).

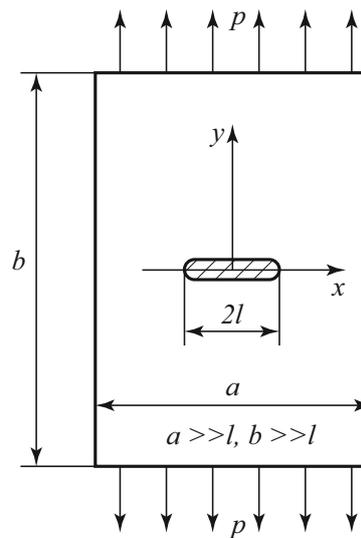


Рис. 1. Трещина Гриффица–Ирвина

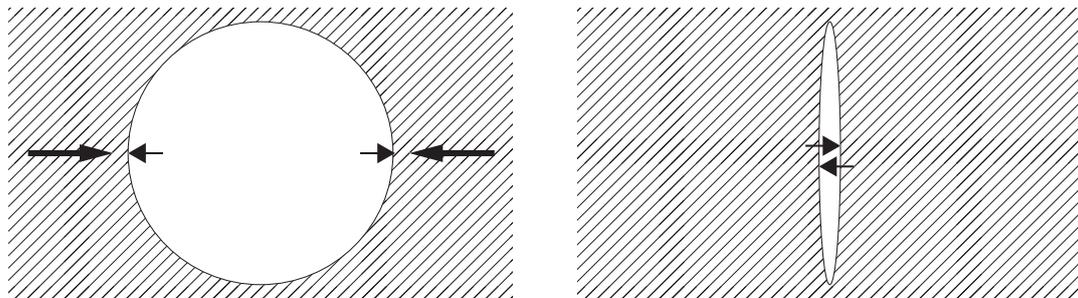


Рис. 2. Формирование трещины Гриффица–Ирвина

чается новый тип трещин с кусочно гладкой границей, отличный от трещин Гриффица–Ирвина с гладкой границей рис. 3.

Теория Гриффица создавалась в условиях отсутствия развитого математического аппарата для исследования тонких свойств напряженно-деформированного состояния различных зон взаимодействия фрагментов конструкций. В связи с этим была принята модель трещины в линейно деформированном материале в виде разреза с гладкой границей, нарушающего сплошность среды, берега которого не соприкасаются при условии наличия воздействий на берега напряжениями. Таким образом, по заданным векторам напряжений на берегах трещины отыскиваются их перемещения. Вопрос роста трещины или ее полного разрушения, путем развития вплоть до бесконечности, решается определением коэффициента интенсивности напряжений k в вершинах трещины при подходе к ним извне. Однако эта теория имеет очевид-

ные недостатки, которые хорошо известны, но умалчиваются, по той причине, что ничего нового для их устранения не найдено. К числу недостатков относится тот факт, что трещина, с которой ассоциируется разрушение, сопровождаемое образованием полости с остроконечными вершинами (треснувшие стекло или любые хрупкие материалы), в описанной модели таковой не является. Одиночная трещина является полостью с закругленными вершинами. Вторым недостатком детально описан в монографии Г.П. Черепанова и состоит в том, что для ряда материалов так и не удается подобрать подходящие параметры, для получения результатов адекватных, экспериментальным данным [3]. Авторами выполнен комплекс исследований и выявлен ряд свойств оговоренных новых типов трещин, дополняющих трещины Гриффица–Ирвина.

Ниже приводится пример построения модели трещины нового типа, свойства которых

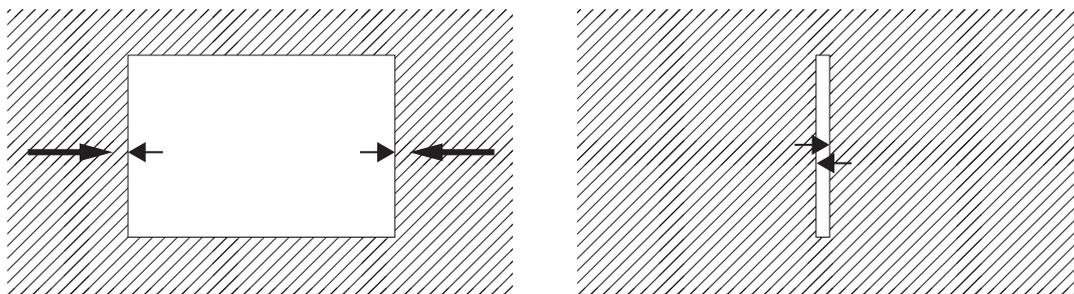


Рис. 3. Формирование трещины нового типа

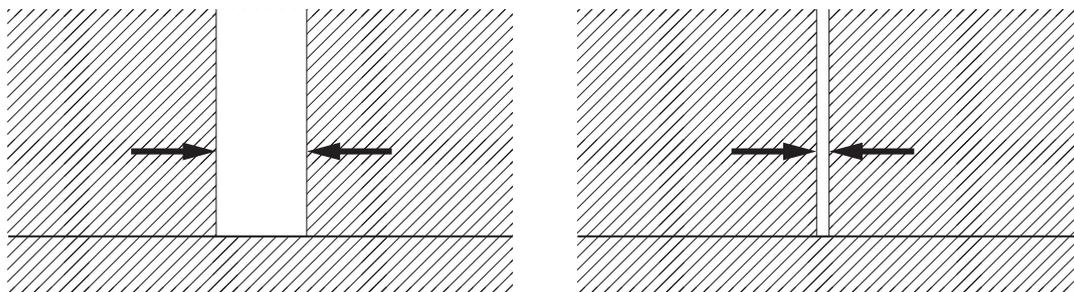


Рис. 4. Формирование трещины нового типа как результат гомеоморфизмов упакованных блочных элементов

будут выявлены в результате исследования соответствующей блочной структуры.

2. Формирование трещин

Гриффица–Ирвина и нового типа

В качестве примера приведем простейший вариант формирования трещины нового типа.

Возьмем три блочных элемента, состоящих из полупространства, с симметрично расположенными на нем прямоугольными неограниченными клиньями. Для простоты рассмотрим в каждом из них граничную задачу для уравнения Гельмгольца. В результате

$$u_\lambda(x_2, x_3) = \mathbf{F}_2^{-1}(x_2, x_3) \frac{\omega_\lambda(\alpha_2, \alpha_3)}{(\alpha_2^2 + \alpha_3^2 - p_\lambda^2)};$$

$$\begin{aligned} \omega_\lambda = & \left(1 - \frac{\alpha_2}{\alpha_{2\lambda-}}\right) e^{i(\alpha_2 b_1)} \times \\ & \times \left\langle F_{1\lambda}(\alpha_3) - F_{1\lambda}(\alpha_{3\lambda+}) \frac{\alpha_3}{\alpha_{3\lambda+}} \right\rangle + \\ & + \left(\frac{\alpha_3}{\alpha_{3\lambda+}} - 1\right) \left\langle F_{2\lambda}(\alpha_2) - F_{2\lambda}(\alpha_{2\lambda-}) \times \right. \\ & \left. \times e^{-i(\alpha_{2\lambda-} b_1)} e^{i(\alpha_2 b_1)} \frac{\alpha_2}{\alpha_{2\lambda-}} \right\rangle; \end{aligned}$$

$$u_r(x_2, x_3) = \mathbf{F}_2^{-1}(x_2, x_3) \frac{\omega_r(\alpha_2, \alpha_3)}{(\alpha_2^2 + \alpha_3^2 - p_r^2)},$$

$$\begin{aligned} \omega_r = & \left[\frac{\alpha_2}{\alpha_{2r+}} - 1\right] \times \\ & \times e^{i(\alpha_2 b_2)} \langle F_{1r}(\alpha_3) - F_{1r}(\alpha_{3r+}) \rangle + \\ & + \left[\frac{\alpha_3}{\alpha_{3r+}} - 1\right] \left\langle F_{2r}(\alpha_2) - F_{2r}(\alpha_{2r+}) \times \right. \\ & \left. \times e^{i(\alpha_2 b_2)} e^{i(\alpha_{2r+} b_2)} \frac{\alpha_2}{\alpha_{2r+}} \right\rangle; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_h(x_2, x_3) = & \frac{1}{4\pi^2} \iint_{R^2} \frac{F_{2h}(\alpha_2)}{(\alpha_2^2 + \alpha_3^2 - p_h^2) \alpha_{3h-}} \times \\ & \times (\alpha_{3h-} - \alpha_3) e^{-i(\alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3)} d\alpha_2 d\alpha_3. \end{aligned}$$

Тогда в результате сближения клиньев до встречи, будет сформирована трещина нового типа, представленная на рис. 4. Ее свойства выявляются из анализа образовавшейся блочной структуры.

Вывод

Таким образом, показано как геометрически, так и аналитически, с использованием

упакованных блочных элементов, существование нового типа трещин, дополняющих трещины Гриффица–Ирвина.

Литература

1. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. К проблеме физико-механического предвестника стартового землетрясения: место, время, интенсивность // ДАН. 2016. Т. 466. №6. С. 664–669.
2. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. О стартовых землетрясениях при горизонтальных воздействиях // ДАН. 2017. Т. 474. №4. С. 427–431.
3. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974. 640 с.
4. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. Сложение упакованных блочных элементов и их гомеоморфизмы // Экологический вестник

научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2017. №2. С. 32–35.

References

1. Babeshko, V.A., Evdokimova, O.V., Babeshko, O.M. To the problem of physicommechanical precursor of the initial earthquake: place, time, intensity. *Rep. of the Academy of Sciences*, 2016, vol. 466, no. 6, pp. 664–669. (In Russian)
2. Babeshko, V.A., Evdokimova, O.V., Babeshko, O.M. About starting earthquakes with horizontal influences. *Rep. of the Academy of Sciences*, 2017, vol. 474, no. 4, pp. 427–431. (In Russian)
3. Cherepanov, G.P. *Mechanics of brittle failure*. Nauka, Moscow, 1974. (In Russian)
4. Babeshko, V.A., Evdokimova, O.V., Babeshko, O.M. Addition of packaged block elements and their homeomorphisms. *Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation*, 2017, no. 2, pp. 32–35. (In Russian)

© Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества, 2018

© Бабешко О. М., Евдокимова О. В., Бабешко В. А., 2018

Статья поступила 11 марта 2018 г.