

**ЦИФРОВАЯ ФОТОМЕХАНИКА: ЧИСЛЕННАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ
ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ (МЕТОД ФОТОУПРУГОСТИ) И ЕЕ
ПРИЛОЖЕНИЕ К ЗАДАЧАМ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ**

Т. Е. Герасимова, Л. В. Степанова, П. Н. Ломаков

Самарский государственный университет
lst@ssu.samara.ru, tanchicka@mail.ru, lomakovpn@mail.ru

Работа посвящена численной обработке результатов измерений, проведенных с помощью поляризационно-оптических методов на серии образцов с угловыми вырезами и трещинами (геометрия образцов и картины изохроматических полос, полученных в ходе серии экспериментов, показаны на рис. 1-2). Испытывались полукруглые образцы с трещинами, ориентированными под разными углами к оси сжатия и бразильские диски (диски с ромбовидными отверстиями на одноосное сжатие). Данные образцы используются для изучения смешанного нагружения тел с угловыми вырезами и надрезами: для определения напряженно-деформированного состояния вблизи углового выреза или трещины. Известно, что поле напряжений в окрестности вершины трещины или углового выреза представляется асимптотическим разложением М.Уильямса [1]

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{array} \right\} = \sum_{n=1}^{\infty} \operatorname{Re} \left\{ \frac{\lambda_n^I A_n}{r^{1-\lambda_n^I}} \left\{ \begin{array}{l} (2 + \lambda_n^I \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \lambda_n^I) \cos(\lambda_n^I - 1)\theta - (\lambda_n^I - 1) \cos(\lambda_n^I - 3)\theta \\ (2 - \lambda_n^I \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \lambda_n^I) \cos(\lambda_n^I - 1)\theta + (\lambda_n^I - 1) \cos(\lambda_n^I - 3)\theta \\ -(\lambda_n^I \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \lambda_n^I) \sin(\lambda_n^I - 1)\theta + (\lambda_n^I - 1) \sin(\lambda_n^I - 3)\theta \end{array} \right\} \right\} +$$

$$+ \sum_{n=1}^{\infty} \operatorname{Re} \left\{ \frac{\lambda_n^{II} B_n}{r^{1-\lambda_n^{II}}} \left\{ \begin{array}{l} -(2 + \lambda_n^{II} \cos 2\alpha - \cos 2\alpha \lambda_n^{II}) \sin(\lambda_n^{II} - 1)\theta + (\lambda_n^{II} - 1) \sin(\lambda_n^{II} - 3)\theta \\ (-2 + \lambda_n^{II} \cos 2\alpha - \cos 2\alpha \lambda_n^{II}) \sin(\lambda_n^{II} - 1)\theta - (\lambda_n^{II} - 1) \sin(\lambda_n^{II} - 3)\theta \\ -(\lambda_n^{II} \cos 2\alpha - \cos 2\alpha \lambda_n^{II}) \cos(\lambda_n^{II} - 1)\theta + (\lambda_n^{II} - 1) \cos(\lambda_n^{II} - 3)\theta \end{array} \right\} \right\} \quad (1)$$

Для частного случая – трещины коэффициенты первых (сингулярных) слагаемых связаны с коэффициентами интенсивности напряжений хорошо известными соотношениями $K_I = \sqrt{2\pi} A_1$, $K_{II} = -\sqrt{2\pi} B_1$. Определение коэффициентов следующих слагаемых представляет интерес и с целью нахождения коэффициентов в полном решении М.Уильямса (1) были проведены 1) серия экспериментов методом фотоупругости; выполнена числовая обработка данных фотоупругих измерений, в рамках которой написаны две программы обработки экспериментальной информации; 2) серия конечно-элементных расчетов для рассматриваемых образцов. В результате эксперимента были получены картины изохром и изоклин в бразильских дисках с различными геометрическими характеристиками. В пакете символьных вычислений Mathematica с помощью модуля "Digital Image Processing" созданы две интерактивные программы численной обработки результатов экспериментов поляризационно-оптическими методами: программа для обработки картин изохром и изоклин, комплекс программ для вычисления коэффициентов интенсивности напряжений и последующих коэффициентов в асимптотических разложениях компонент тензора напряжений вблизи углового выреза или выточки. В первой программе данные фотоупругих измерений собраны для большого количества выбранных точек в исследуемом образце.

Вычисленные координаты этих наиболее темных точек используются как входные данные для работы второй программы, написанной на основе метода Ньютона-Рафсона. Программы объединены в единый комплекс, позволяющий определить поля напряжений в исследуемом образце. В алгоритме реализована возможность учета высших членов в асимптотическом решении задачи (в полном решении М. Уильямса) и его использовании в оптико-механическом законе. Показано, что в асимптотическом решении М. Уильямса следует удерживать высшие приближения, а не только первое сингулярное слагаемое – классическое решение задачи линейной механики разрушения с корневой особенностью вблизи кончика трещины. В ходе выполнения работы экспериментально определены коэффициенты первых трех слагаемых в асимптотическом разложении полей напряжений вблизи углового выреза. Сравнение асимптотического решения задачи определения напряженно-деформированного состояния вблизи острого выреза с коэффициентами, определенными на основе экспериментальных данных и серии конечно-элементных решений показало необходимость удержания в асимптотическом решении высших приближений и эффективность определения коэффициентов асимптотических разложений с помощью поляризационно-оптических методов

Авторы выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за финансовую поддержку работы (проект № 13-01-97009_р_Поволжье).

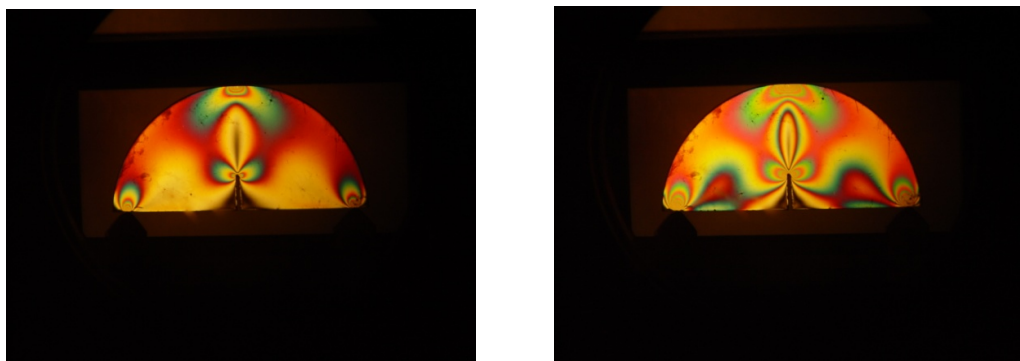


Рис. 1. Картины изохроматических полос для полукругового образца с вертикальным надрезом

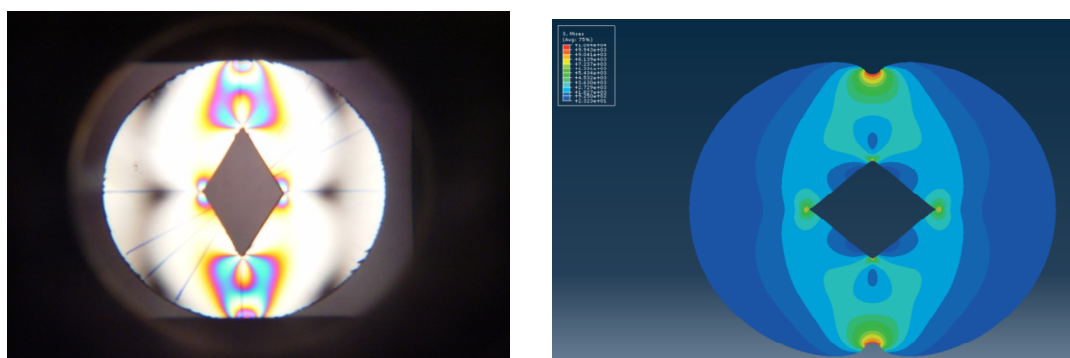


Рис. 2 Картина изохроматических полос в бразильском диске (метод фотоупругости) и распределение интенсивности касательных напряжений (МКЭ-решение)

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ayatollahi M.R., Nejati M.* Experimental evaluation of stress field around the sharp notches using photoelasticity // *Materials and Design*. 2011. № 32. С. 561-569.