

УДК 539.42

ЦИФРОВАЯ ФОТОМЕХАНИКА: ЧИСЛЕННАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЕ К ЗАДАЧАМ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ¹

© 2013 Т.Е. Герасимова, П.Н. Ломаков, Л.В. Степанова²

На основе поляризационно-оптического метода (метода фотоупругости) выполнено экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния в окрестности вершины трещины в образцах с надрезами, находящимися в условиях смешанного нагружения. Проведенное экспериментальное исследование позволило определить коэффициенты интенсивности напряжений в асимптотическом разложении полей напряжений и перемещений в окрестности вершины трещины, а также найти коэффициенты высших приближений в полном асимптотическом разложении М. Уильямса.

Ключевые слова: метод фотоупругости, смешанное нагружение, цифровая обработка изображений, высшие приближения в асимптотических разложениях напряжений в окрестности вершины трещины или углового выреза.

Введение

В настоящее время наиболее актуальной проблемой, возникающей при расчете и конструировании инженерных сооружений, является необходимость учета нелинейностей различного вида и сингулярностей, вызванных частичным разрушением у концентраторов напряжений в виде трещин, острых углов и вырезов [1]. Эти задачи не решаются инженерными методами с помощью обычных нормативных методик и требуют разработки более сложных подходов к их решению с использованием математического аппарата механики разрушения, сложных программных комплексов. Высокоточные экспериментальные методики часто оказываются единственным средством верификации различных теорий механики деформируемого твердого тела и механики разрушения как одной из ее составных частей. Весьма эффективными следует признать экспериментальные поляризационно-оптические методы определения напряжений [2–4]. Выход за рамки классической линейной фотоупругости требует разработки нового направления поляризационно-

¹Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 13-01-97009-р-Поволжье).

²Герасимова Татьяна Евгеньевна (tanchicka@mail.ru), Ломаков Павел Николаевич (lomakovpn@mail.ru), Степанова Лариса Валентиновна (stepanova1v@samsu.ru), кафедра математического моделирования в механике Самарского государственного университета, 443011, Российская Федерация, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

оптических методов – нелинейной фотоупругости и цифровой обработки измерений, получаемых в ходе эксперимента. В настоящей работе для экспериментального исследования задач механики разрушения были использованы поляризационно-оптические методы (метод фотоупругости). Данный метод позволяет получить наглядную картину распределения напряжений, деформаций и перемещений у вершины трещины или углового выреза. Корректная интерпретация интерференционных картин, получаемых при просвечивании в полярископе пространственно-напряженных объектов, вызывает значительные трудности. В работе был применен вычислительный комплекс Mathematica для создания комплекса интерактивных программ для быстрой математической обработки большого объема экспериментальной информации.

С другой стороны, в механике разрушения сегодня значительный интерес представляет собой построение высших приближений в асимптотических разложениях напряжений, деформаций и перемещений в окрестности вершин трещин и угловых вырезов [5–12]. Коэффициенты в полных асимптотических разложениях механических величин должны в общем случае отражать зависимость ближнего поля напряжений (поля напряжений в непосредственной окрестности вершины трещины или углового выреза) от приложенной нагрузки и геометрии образца. Определение такой зависимости составляет одну из задач современной механики разрушения. Одним из перспективных подходов решения данной задачи является экспериментальное нахождение с помощью метода фотоупругости, что и является предметом настоящего исследования. Настоящая 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). Методика была отработана на образце с односторонним боковым надрезом, находящимся под действием растягивающей нагрузки. Основное внимание было уделено испытанию полукруглых образцов с трещинами, ориентированными под разными углами к оси сжатия. Данные образцы используются для изучения смешанного нагружения тел с угловыми вырезами и надрезами: для определения напряженно-деформированного состояния вблизи углового выреза или трещины.

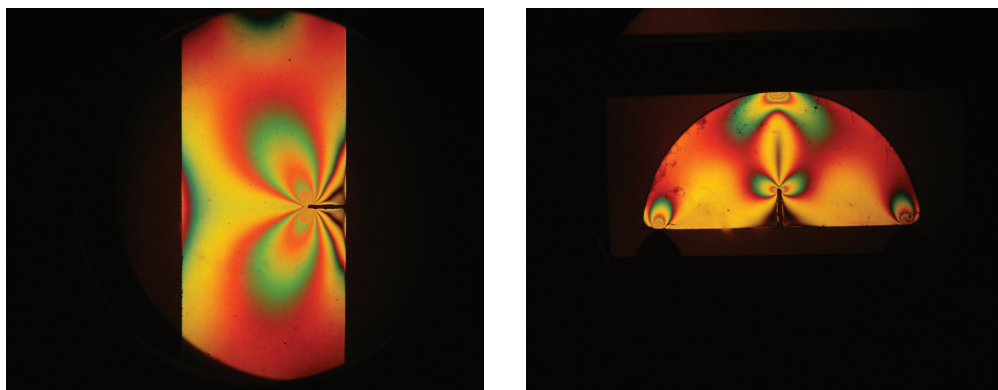


Рис. 1. Картина изохроматических полос в образце с односторонним надрезом и в полукруглом образце

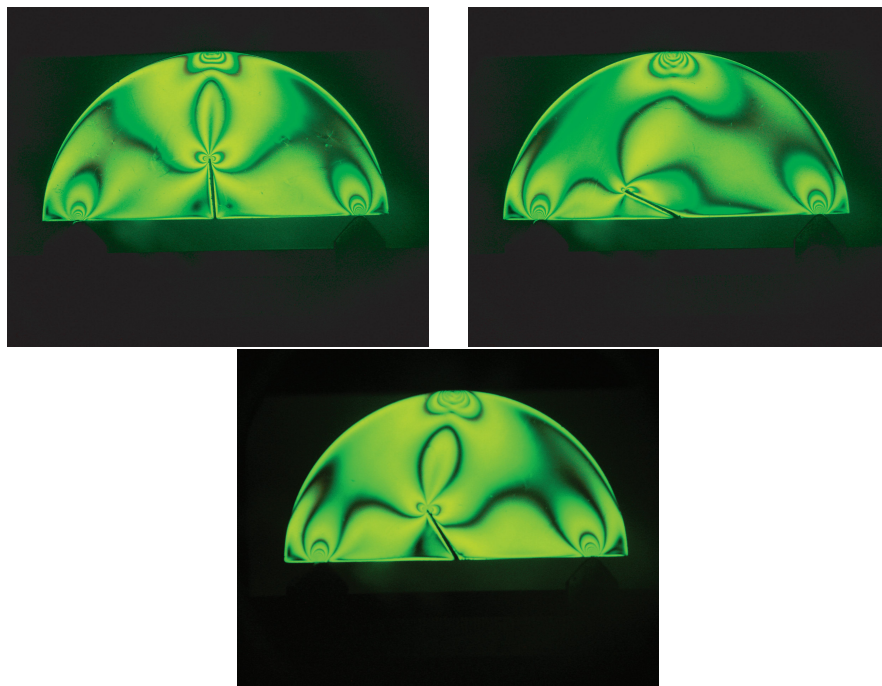


Рис. 2. Картина изохроматических полос в полукруглом образце

1. Поля у вершины трещины и углового выреза в линейно-упругом теле

Известно, что поле напряжений в окрестности вершины трещины или углового выреза в линейно упругом материале представляется асимптотическим разложением М. Уильямса [13; 14], в котором в инженерных приложениях, как правило, оставляют главный член асимптотического разложения

$$\sigma_{ij}(r, \theta) = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}^I(\theta) + \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}^{II}(\theta). \quad (1.1)$$

Как отмечается в [4], одна из главных тенденций развития методов оценки прочности и ресурса современных конструкций заключается в применении результатов механики разрушения, поскольку развитие современной авиакосмической отрасли требует повышения эксплуатационной надежности при одновременном понижении запасов прочности и значительном уменьшении массы элемента конструкции. Одним из возможных подходов для решения указанных задач является использование полных асимптотических разложений полей напряжений и перемещений в окрестности вершины трещины или углового выреза. В последнее время полное разложение М. Уильямса, в котором сохраняются слагаемые более высоких порядков малости, представляет особый интерес. Полное разложение М. Уильямса имеет вид [15]:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^{\infty} Re \left\{ \frac{\lambda_k^I a_k^I}{r^{1-\lambda_k^I}} \begin{bmatrix} (2 + \lambda_k^I \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \lambda_k^I) \cos \alpha_n^I \theta - \alpha_n^I \cos \beta_n^I \theta \\ (2 - \lambda_k^I \cos 2\alpha - \cos 2\alpha \lambda_k^I) \cos \alpha_n^I \theta + \alpha_n^I \cos \beta_n^I \theta \\ -(\lambda_k^I \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \lambda_k^I) \sin \alpha_n^I \theta + \alpha_n^I \sin \beta_n^I \theta \end{bmatrix} \right\} +$$

$$+ \sum_{k=1}^{\infty} \operatorname{Re} \left\{ \frac{\lambda_k^{II} a_k^{II}}{r^{1-\lambda_k^{II}}} \begin{bmatrix} -(2 + \lambda_k^I \cos 2\alpha - \cos 2\alpha \lambda_k^{II}) \sin \alpha_n^{II} \theta + \alpha_n^{II} \sin \beta_n^{II} \theta \\ (-2 + \lambda_k^{II} \cos 2\alpha - \cos 2\alpha \lambda_k^I) \sin \alpha_n^{II} \theta - \alpha_n^{II} \sin \beta_n^{II} \theta \\ -(\lambda_k^{II} \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \lambda_k^I) \cos \alpha_n^{II} \theta + \alpha_n^{II} \cos \beta_n^{II} \theta \end{bmatrix} \right\}, \quad (1.2)$$

где приняты обозначения $\alpha_n^j = \lambda_n^j - 1$, $\beta_n^j = \lambda_n^j - 3$, $j = I, II$, где первые коэффициенты асимптотического разложения (амплитудные множители) хорошо известны и носят название коэффициентов интенсивности напряжений и T – напряжений:

$$K_I = \sqrt{2\pi} a_1^I, \quad K_{II} = -\sqrt{2\pi} a_1^{II}, \quad T = 4a_2^I, \quad (1.3)$$

показатели степеней в разложении (1.2) находятся из решения системы характеристических уравнений

$$\lambda_k^I \sin 2\alpha + \sin 2\lambda_k^I \alpha = 0 \quad (1.4)$$

$$\lambda_k^{II} \sin 2\alpha - \sin 2\lambda_k^{II} \alpha = 0, \quad (1.5)$$

угол α связан с углом раствора выреза $\alpha = (2\pi - \gamma)/2$.

Для случая трещины формулы (1.2) упрощаются и имеют вид

$$\sigma_{ij}(r, \theta) = \sum_{m=1}^3 \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k^m f_k^{m,ij}(\theta) r^{k/2-1},$$

$$f_k^{1,11} = \frac{k}{2} [(2 + k/2 + (-1)^k) \cos(k/2 - 1)\theta - (k/2 - 1) \cos(k/2 - 3)\theta],$$

$$f_k^{1,22} = \frac{k}{2} [(2 - k/2 - (-1)^k) \cos(k/2 - 1)\theta + (k/2 - 1) \cos(k/2 - 3)\theta],$$

$$f_k^{1,12} = \frac{k}{2} [(k/2 - 1) \sin(k/2 - 3)\theta - (k/2 + (-1)^k) \sin(k/2 - 1)\theta],$$

$$f_k^{2,11} = -\frac{k}{2} [(2 + k/2 - (-1)^k) \sin(k/2 - 1)\theta - (k/2 - 1) \sin(k/2 - 3)\theta],$$

$$f_k^{2,22} = -\frac{k}{2} [(2 - k/2 + (-1)^k) \sin(k/2 - 1)\theta + (k/2 - 1) \sin(k/2 - 3)\theta],$$

$$f_k^{2,12} = \frac{k}{2} [(k/2 - 1) \cos(k/2 - 3)\theta - (k/2 - (-1)^k) \cos(k/2 - 1)\theta],$$

$$f_k^{3,13} = \sin(k/2 - 1)\theta, \quad f_k^{3,13} = \cos(k/2 - 1)\theta.$$

Определение коэффициентов, следующих за главным слагаемым, представляет интерес и с целью нахождения коэффициентов в полном решении М. Уильямса (1.2). В настоящей работе 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 полукруглых образцах с надрезами, ориентированными под разным углом к диаметру. В пакете символьных вычислений Mathematica 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.

2. Определение коэффициентов интенсивности напряжений методом фотоупругости

Основываясь на концепциях классической фотоупругости, разность главных напряжений может быть связана с порядком полосы N^f и оптической постоянной материала f_σ (цена полосы оптически чувствительного материала) соотношением (называемым законом Вергейма)

$$2\tau_m = \frac{N^f f_\sigma}{h} \quad (2.1)$$

где τ_m — максимальное касательное напряжение, h — толщина образца. С другой стороны, соотношение между максимальным касательным напряжением τ_m и компонентами тензора напряжений в декартовой прямоугольной системе координат имеет вид [3; 4]:

$$\tau_m^2 = \left(\frac{\sigma_{xx} - \sigma_{yy}}{2} \right)^2 + \sigma_{xy}^2. \quad (2.2)$$

Здесь и далее для определения коэффициентов в полном асимптотическом разложении М. Уильямса применяется подход, развитый в [15]. Максимальное касательное напряжение в окрестности углового выреза может быть выражено с помощью N слагаемых, соответствующих трещине типа I, и M слагаемых, отвечающих трещине типа II в представлении (1.2). Подставляя усеченные разложения (1.2) (с N слагаемыми для трещины нормального отрыва и с M слагаемыми для трещины поперечного сдвига) в выражение (2.2), можно представить оптико-механический закон в форме

$$\left(\frac{N^f f_\sigma}{2h} \right)^2 = \left(\frac{\sigma_{xx} - \sigma_{yy}}{2} \right)^2 + \sigma_{xy}^2 = U^2 + V^2, \quad (2.3)$$

где приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned} U &= \sum_{n=1}^N Re \left\{ \frac{\lambda_n^I a_n^I}{r^{1-\lambda_n^I}} [(\lambda_n^I \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \lambda_n^I) \cos \alpha_n^I \theta - \alpha_n^I \cos \beta_n^I \theta] \right\} + \\ &+ \sum_{n=1}^M Re \left\{ \frac{\lambda_n^{II} a_n^{II}}{r^{1-\lambda_n^{II}}} [(-\lambda_n^{II} \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \lambda_n^{II}) \sin \alpha_n^{II} \theta + \alpha_n^{II} \sin \beta_n^{II} \theta] \right\}, \\ V &= \sum_{n=1}^N Re \left\{ \frac{\lambda_n^I a_n^I}{r^{1-\lambda_n^I}} [-(\lambda_n^I \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \lambda_n^I) \sin \alpha_n^I \theta + \alpha_n^I \sin \beta_n^I \theta] \right\} + \\ &+ \sum_{n=1}^M Re \left\{ \frac{\lambda_n^{II} a_n^{II}}{r^{1-\lambda_n^{II}}} [(-\lambda_n^{II} \cos 2\alpha - \cos 2\alpha \lambda_n^{II}) \cos \alpha_n^{II} \theta + \alpha_n^{II} \cos \beta_n^{II} \theta] \right\}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

В уравнениях (2.4) поле напряжений вблизи углового выреза описывается с помощью N слагаемых для деформирования, отвечающего нормальному отрыву, и

посредством M слагаемых, соответствующих поперечному сдвигу. Коэффициенты асимптотических разложений в приведенных соотношениях могут быть как действительными, так и комплексными в зависимости от собственных значений λ_n^I и λ_n^{II} . Будем обозначать действительную и мнимую части коэффициентов асимптотических разложений через $Re(a_n^I)$ и $Im(a_n^I)$ ($Re(a_n^{II})$ и $Im(a_n^{II})$ соответственно). Следовательно, функции U и V в уравнениях (2.4) могут быть представлены в более компактной форме

$$U = \sum_{n=1}^N \{Re[a_n^I]Re[f_n^I(r, \theta)] - Im[a_n^I]Im[f_n^I(r, \theta)]\} + \quad (2.5)$$

$$+ \sum_{n=1}^N \{Re[a_n^{II}]Re[f_n^{II}(r, \theta)] - Im[a_n^{II}]Im[f_n^{II}(r, \theta)]\},$$

$$V = \sum_{n=1}^N \{Re[a_n^I]Re[g_n^I(r, \theta)] - Im[a_n^I]Im[g_n^I(r, \theta)]\} + \quad (2.6)$$

$$+ \sum_{n=1}^N \{Re[a_n^{II}]Re[g_n^{II}(r, \theta)] - Im[a_n^{II}]Im[g_n^{II}(r, \theta)]\},$$

где f_n^I , f_n^{II} , g_n^I и g_n^{II} — известные функции координат r и θ .

Очевидно, что уравнение (2.3) нелинейно относительно коэффициентов $a_1^I \sim a_n^I$ и $a_1^{II} \sim a_n^{II}$. Для решения задачи определения коэффициентов асимптотических разложений был использован следующий подход. В ходе обработки экспериментальных данных выбиралось число точек, превышающее число неизвестных коэффициентов. Таким образом, рассматривалась переопределенная система уравнений, для решения которой применялся метод Ньютона — Рафсона. Результаты вычислений могут быть уточнены с помощью введения в рассмотрение функции Z_k , такой что

$$Z_k = U_k^2 + V_k^2 - \left(\frac{N_k^f f_\sigma}{2h} \right)^2 = 0. \quad (2.7)$$

Здесь индекс k показывает, что значение S вычисляется в точке с координатами r_k, θ_k с порядком полосы N_k^f в окрестности углового выреза. Разложим функцию Z_k в ряд Тейлора в окрестности найденных значений $Re[a_n^I]$, $Im[a_n^I]$, $Re[a_n^{II}]$, $Im[a_n^{II}]$.

$$Z_k^{i+1} = Z_k^i + \sum_{n=1}^N \left[\frac{\partial Z_k^i}{\partial Re(a_n^I)} \Delta Re(a_n^I) + \frac{\partial Z_k^i}{\partial Im(a_n^I)} \Delta Im(a_n^I) \right] + \quad (2.8)$$

$$+ \sum_{n=1}^N \left[\frac{\partial Z_k^i}{\partial Re(a_n^{II})} \Delta Re(a_n^{II}) + \frac{\partial Z_k^i}{\partial Im(a_n^{II})} \Delta Im(a_n^{II}) \right]. \quad (2.9)$$

В силу равенства (2.3) справедливо $Z_k = 0$. Тогда соотношения (2.9) представляют собой систему линейных алгебраических уравнений относительно $\Delta Re[a_n^I]$, $\Delta Im[a_n^I]$, $\Delta Re[a_n^{II}]$ и $\Delta Im[a_n^{II}]$.

3. Экспериментальная часть

В ходе эксперимента испытывались образцы, изображенные на рис. 1: описанная процедура была протестирована на образце с односторонним боковым надрезом и затем применена к полукруглым образцам с надрезами, ориентированными

под тремя различными углами к диаметру. Картины полученных изохроматических полос в монохроматическом цвете показаны на рис. 2.

Сравнение экспериментально полученных изохроматических полос и теоретически рассчитанной кривой в соответствии с решением М. Уильямса (1.2) приведено на рис. 3, 4. Сплошной линией на рис. 3, 4 показана интенсивность напряжений, вычисленная по формуле (2.2), где в асимптотических разложениях компонент тензора напряжений (1.2) удержаны 10 слагаемых.

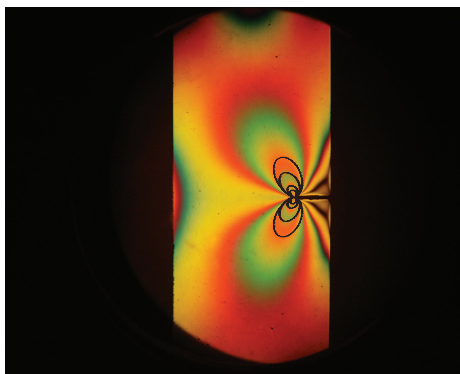


Рис. 3. Сравнение экспериментально полученных изохроматических полос и теоретически рассчитанной кривой в соответствии с решением М. Уильямса. Сплошной линией показана интенсивность напряжений, вычисленная по формуле (2.2), где в асимптотических разложениях компонент тензора напряжений удержаны 10 слагаемых (растяжение полосы с односторонним боковым надрезом)

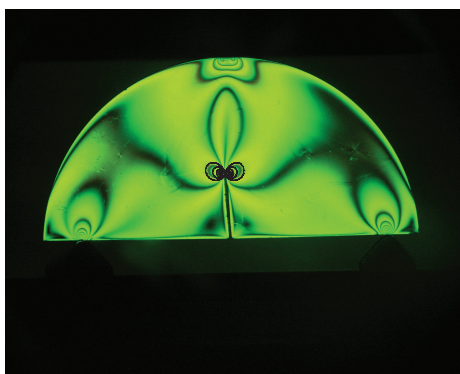


Рис. 4. Сравнение экспериментально полученных изохроматических полос и теоретически рассчитанной кривой в соответствии с решением М. Уильямса. Сплошной линией показана интенсивность напряжений, вычисленная по формуле (2.2), где в асимптотических разложениях компонент тензора напряжений удержаны 10 слагаемых (трехточечный изгиб полудиска с надрезом)

Проведено сравнение асимптотического решения задачи определения напряженно-деформированного состояния вблизи острого выреза, конечно-элементного решения с экспериментальными данными, полученными поляризационно-оптиче-

скими методами (рис. 5). Сравнение показало необходимость удержания в асимптотическом решении высших приближений.

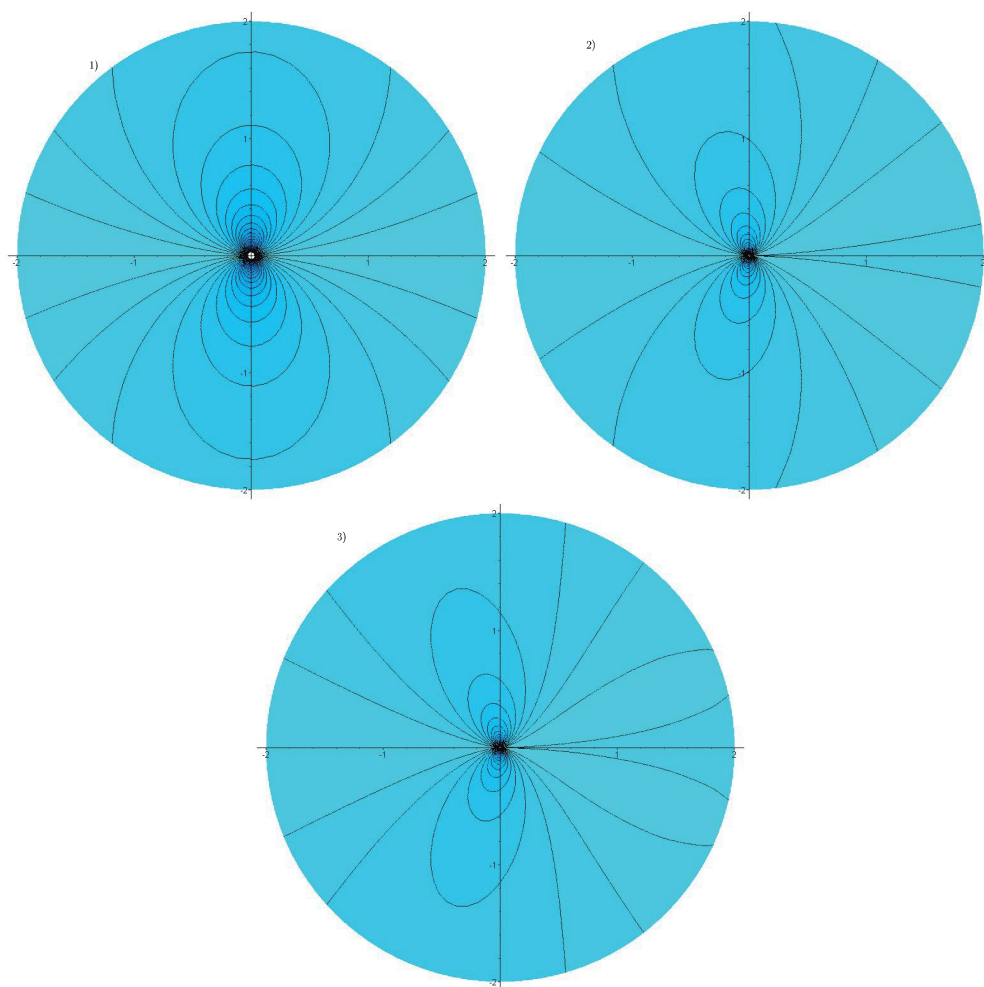


Рис. 5. Решение М. Уильямса:

1 — интенсивность напряжений, построенная в соответствии с формулой (1.2), где удержано только первое слагаемое; 2 — интенсивность напряжений, построенная с помощью двучленного асимптотического разложения; 3 — интенсивность напряжений, построенная с помощью трехчленного асимптотического разложения

Выводы

Создан комплекс программ для анализа и численной обработки всей совокупности экспериментальной информации, полученной методом фотоупругости для решения задач механики разрушения. Программы объединены в единый комплекс, позволяющий определить поля напряжений в исследуемом образце.

В пакете символьных вычислений Mathematica созданы две интерактивные программы для вычисления коэффициентов интенсивности напряжений и после-

дующих коэффициентов в асимптотических разложениях компонент тензора напряжений вблизи углового выреза или выточки. В первой программе данные фотоупругих измерений (r_k, θ_k, N_k^f) собраны для большого количества выбранных точек в исследуемом образце. Процедура этой программы базируется на том факте, что каждый пиксель черно-белой фотографии имеет значение интенсивности в диапазоне от 0 до 255; таким образом, что пиксель, соответствующий значению 0,0, на фотографии изображается черным цветом, а пиксель со значением 255 изображается белым цветом. Следовательно, пиксели с более низкими значениями интенсивности отвечают более темному цвету. Созданная программа определяет значения интенсивности точек, лежащих на пересечении изохроматических полос. Эта процедура выполняется несколько раз для различных линий в радиальных направлениях. В результате определяется наиболее темная точка каждой изохромы. Вычисленные координаты этих наиболее темных точек используются как входные данные для работы второй программы, написанной на основе метода наименьших квадратов и процедуры метода Ньютона — Рафсона.

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 ста 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.

Литература

- [1] Степанова Л.В. Математические методы механики разрушения. М.: Физматлит, 2009. 336 с.
- [2] Албаут Г.Н. Нелинейная фотоупругость в приложении к задачам механики разрушения. Новосибирск: НГАСУ, 2002. 112 с.
- [3] Asundi A.K. Matlab for Photomechanics. Oxford: Elsevier, 2002. 199 p.
- [4] Разумовский И.А. Интерференционно-оптические методы механики деформируемого твердого тела. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 240 с.
- [5] Степанова Л.В. О собственных значениях в задаче о трещине антиплоского сдвига в материале со степенными определяющими уравнениями // Прикладная механика и техническая физика. 2008. Т. 49. № 1. С. 173–180.
- [6] Степанова Л.В. Анализ собственных значений в задаче о трещине в материале со степенным определяющим законом // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2009. № 8. С. 1332–1347.
- [7] Степанова Л.В., Федина М.Е. О геометрии области полностью поврежденного материала у вершины трещины антиплоского сдвига в связанной постановке (связка "ползучесть – поврежденность") // Вестник Самарского государственного университета. 2001. № 2. С. 87–113.
- [8] Астафьев В.А., Шестериков С.А., Степанова Л.В. Асимптотика напряженно-деформированного состояния в окрестности вершины трещины в условиях ползучести // Вестник Самарского государственного университета. 1995. Спец. выпуск. С. 59–64.

- [9] Hello G., Tahar M.B., Roelandt J.M. Analytical determination of coefficients in crack-tip stress expansions for a finite crack in an infinite plane medium // *Int. J. of Solids and Structures*. 2012. V. 49. P. 556–566.
- [10] Степанова Л.В., Федина М.Е. Автомодельное решение задачи о трещине антиплоского сдвига в связанной постановке (связка "ползучесть-поврежденность") // *Вестник Самарского государственного университета*. 2000. № 4. С. 128–145.
- [11] Степанова Л.В. Уточненный расчет напряженно-деформированного состояния у вершины трещины в условиях циклического нагружения // *Вестник Самарского государственного университета*. 2011. № 83. С. 105–115.
- [12] Stepanova L.V. Eigenspectra and orders of stress singularity at a mode I crack tip for a power-law medium // *Comptes Rendus Mechanique*. 2008. V. 336. № 1–2. P. 232–237.
- [13] Williams M.L. On the stress distribution at the base of a stationary crack // *Trans. ASME. Journal of Applied Mechanics*. 1957. V. 24. P. 109–114.
- [14] Williams M.L. Stress singularities resulting from various boundary conditions in angular corners of plates in tension // *Trans. ASME. Journal of Applied Mechanics*. 1952. V. 19. P. 526–528.
- [15] Ayatollahi M.R., Nejati M. Experimental evaluation of stress field around the sharp notches using photoelasticity // *Materials and Design*. 2011. № 32. С. 561–569.
- [16] Ayatollahi M.R., Dehghany M., Nejati M. Frature analysis of V-notched compnents – Effects of first non-singular stress term // *Int. J. of Solids and Structures*. 2011. V. 48. P. 1579–1589.

Поступила в редакцию 15/VI/2013;
в окончательном варианте — 4/VII/2013.

NUMERICAL PHOTOMECHANICS: NUMERICAL PROCESSING OF PHOTOELASTICITY EXPERIMENTS AND ITS APPLICATION TO THE PROBLEMS OF FRACTURE MECHANICS PROBLEMS

© 2013 T.E. Gerasimova, P.N. Lomakov, L.V. Stepanova³

On the basis of photoelasticity method the experimental study of near crack tip stressed strain state in specimens under mixed loading conditions is performed. Carried out experimental investigation allows to obtain coefficients of full asymptotic expansions of stress and displacement fields in the vicinity of the crack tip and also to find coefficients of highest approach in Williams full asymptotic expansion.

Key words: photoelasticity method, mixed loading, digital image processing, highest approaches in asymptotic expansions in the vicinity of the crack tip or angle notch.

Paper received 15/*VI*/2013.

Paper accepted 4/*VII*/2013.

³Gerasimova Tatyana Evgenyevna (tanchicka@mail.ru), Lomakov Pavel Nikolaevich (lomakovpn@mail.ru), Stepanova Larisa Valentinovna (stepanovalv@samsu.ru), the Dept. of Mathematical Modelling in Mechanics, Samara State University, Samara, 443011, Russian Federation.