

УДК 539.03:620.175.5

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

© 2011 г. Г.Н. Албаут, Н.В. Харинова, В.П. Садовничий, Ю.И. Семенова, С.А. Федин

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет

rustamp@list.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Представлены результаты исследования геометрически и физически нелинейных задач методами нелинейной фотоупругости. Деформации исследуются в области от –50% до 250%. В качестве геометрически нелинейной задачи представлено исследование полосы с центральной трещиной-разрезом, подверженной осевому растяжению. Изучен механизм раскрытия трещины в процессе деформирования. Как пример физически нелинейной задачи приведено исследование шейки в металлической полосе. При обработке экспериментальных данных использовались зависимости нелинейной теории упругости и пластичности, учитывалось изменение геометрии образцов в плане и по толщине.

Ключевые слова: механика разрушения, трещина, нелинейная фотоупругость, большие упругие деформации, модель раскрытия трещин, нелинейная механика твердого тела.

Основные зависимости метода нелинейной фотоупругости

Обработка экспериментальных данных первоначально ведется в системе координат Эйлера с последующим пересчетом результатов в систему координат Лагранжа. Напряжения в системе координат Эйлера представлены тензором истинных напряжений, отнесенных к деформированной площади (σ_1 и σ_2 – главные компоненты в плоскости образцов, σ_3 – в перпендикулярном направлении; $\sigma_3 = 0$, т.е. исследуется плоское напряженное состояние), а в системе координат Лагранжа – симметричным тензором условных напряжений Био, отнесенных к недеформированной площади ($\sigma_1^L, \sigma_2^L, \sigma_3^L = 0$). Деформации в обеих системах координат представлены в виде кратностей удлинения ($\lambda_i = l/l_0$, где через $i = 1, 2, 3$ обозначены главные кратности удлинения: λ_1 и λ_2 – в плоскости модели, а λ_3 – по толщине).

В результате поляризованно-оптического эксперимента получаем картину полос интерференции с порядками полос n , которые связаны с разностью главных погонных усилий $\lambda_3(\sigma_1 - \sigma_2)$, и полем изоклин с углами наклона главных напряжений θ , построенным в горизонталях. Используя экспериментальные данные, можно найти погонные усилия $\lambda_3(\sigma_x - \sigma_y)$ и $\lambda_3\tau_{xy}$ в плоскости образца:

$$\lambda_3(\sigma_1 - \sigma_2) = \frac{\sigma_0^1 n}{h_0}, \quad (1)$$

$$\lambda_3(\sigma_x - \sigma_y) = \lambda_3(\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\theta,$$

$$\lambda_3\tau_{xy} = \lambda_3(\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\theta. \quad (2)$$

Для расшифровки экспериментальных данных использовались дифференциальные уравнения равновесия для плоской задачи в системе координат Эйлера при отсутствии объемных сил, причем учет изменения толщины осуществлялся введением кратности удлинения λ_3 в поперечном направлении:

$$\frac{\partial(\lambda_3\sigma_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\lambda_3\tau_{xy})}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\lambda_3\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(\lambda_3\sigma_y)}{\partial y} = 0,$$

$$\lambda_1\lambda_2\lambda_3 = 1, \quad (4)$$

$$\sigma_1 = C_1(\lambda_1 - \lambda_3), \quad \sigma_2 = C_1(\lambda_2 - \lambda_3). \quad (5)$$

После численного интегрирования одного из дифференциальных уравнений равновесия (3) определяются главные погонные усилия $\lambda_3\sigma_1$ и $\lambda_3\sigma_2$. Добавив к ним условие несжимаемости в форме (4) и два уравнения связи напряжений и деформаций, например в форме (5), полученные с использованием упругого потенциала Бартенева–Хазановича, получим пять условий для определения пяти неизвестных ($\sigma_1, \sigma_2, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$).

Геометрически нелинейные задачи

Методом нелинейной фотоупругости [1] исследовались напряжения предразрушения и деформации у вершин трещин при осевом и двухосном растяжении моделей из эластомера СКУ-6 [2] (рис. 1).

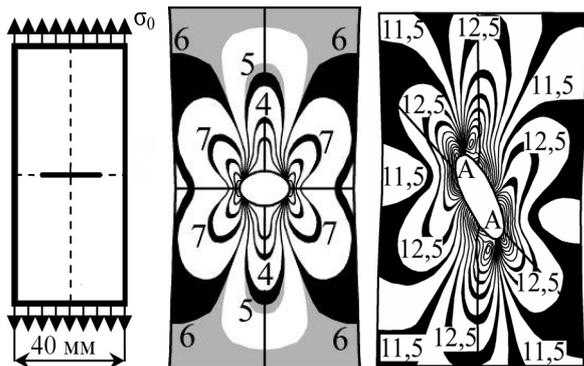


Рис. 1

Получен механизм раскрытия внутренних трещин и боковых надрезов (рис. 2). Для некоторых моделей с трещиной-разрезом, в том числе и наклонной к горизонтальной оси, выполнена полная расшифровка экспериментальных данных, получены поля напряжений и деформаций. В процессе растяжения острые трещины трансформировались в эллипс, вершины которого не совпадают с вершинами начальной трещины-разреза и отклоняются в сторону оси растяжения.

Построены графики изменения коэффициентов концентрации напряжений и деформаций в зависимости от уровня деформаций.

Физически нелинейные задачи

Физически нелинейные задачи отражают связь между напряжениями и деформациями в металлических моделях при больших пластических деформациях. Исследования выполнялись методом фотоупругих покрытий из резины SKU-6 [1, 3]. Изучена кинетика развития пластических зон в растянутых полосах из стали и дюралюминия с центральными и боковыми трещинами-надрезами, произведена проверка нескольких теоретических моделей очертания формы пластических зон [4]. Решена одна из наиболее сложных и спорных задач механики разрушения – задача о

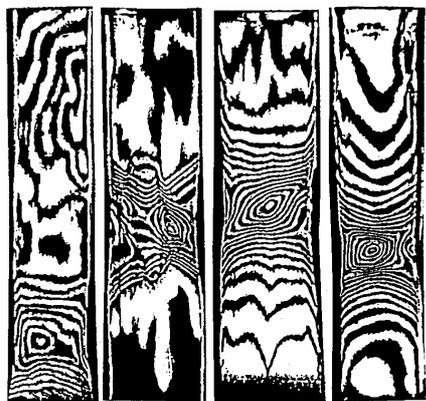


Рис. 3

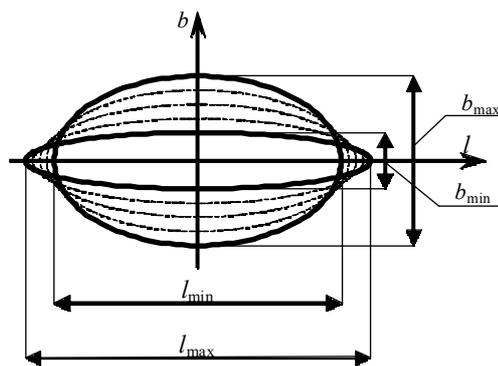


Рис. 2

напряженно-деформированном состоянии в шейке стального плоского образца (рис. 3).

Несколькими способами получены напряжения и деформации по полю и отдельным сечениям шейки, при этом отмечается наличие двух максимумов на эпюрах σ_1 и σ_2 в поперечном сечении шейки, сдвинутых в обе стороны от центра, а также двузначность напряжений σ_2 в поле образца (рис. 4). Исследована концентрация напряжений и деформаций в зоне больших пластических деформаций.

Список литературы

1. Албаут Г.Н. Нелинейная фотоупругость в приложениях к задачам механики разрушения. Новосибирск: НГАСУ, 2002. 112 с.
2. Албаут Г.Н., Харинова Н.В. Нелинейная фотоупругость в задачах о концентрации напряжений // Изв. вузов. Строительство. 2006. №9. С. 76–82.
3. Александров А.Я., Ахметзянов М.Х., Албаут Г.Н., Барышников В.Н. О поляризации-оптических исследованиях при больших деформациях // ПМТФ. 1969. №5. С. 89–99.
4. Akhmetzyanov M., Albaut G., Baryshnikov V. Solution of fracture problems by non-linear photoelastic methods under significant elastic and plastic strains // Advanced Optical Methods and Applications in Solids Mechanics: Proceedings IUTAM Symposium / Ed. A. Lagarde. Poitiers–Futuroscope–France, 1998. P. 1–8.

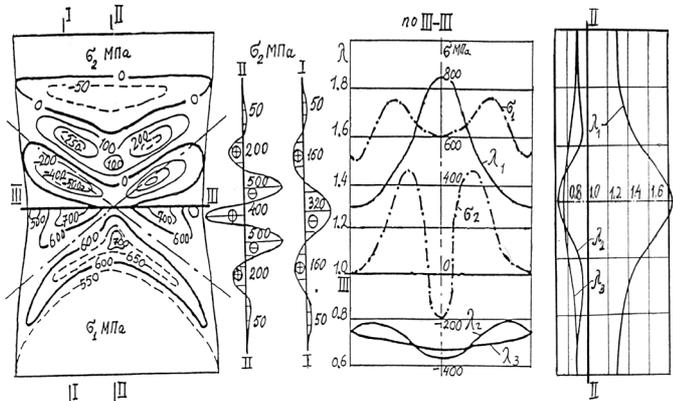


Рис. 4

NONLINEAR PROBLEMS OF FRACTURE MECHANICS***G.N. Albaut, N.V. Kharinova, V.P. Sadovnichij, J.I. Semenova, S.A. Fedin***

The results of the analysis of geometrically and physically nonlinear problems by nonlinear photoelasticity methods are given. The strain range is from -50% up to $+250\%$ of the relative lengthening. A geometrically nonlinear problem of a strip with central crack-cut under axial tension is analyzed. The mechanism of crack opening under the deformation was studied. A physically nonlinear problem of necking in a metal strip is analyzed. The change of the geometry in the plane and along thickness is taken into account.

Keywords: fracture mechanics, crack, nonlinear photoelasticity, large elastic strains, model of crack disclosing, nonlinear solid mechanics.