

Ю.А. РУДЯК, Г.І. ТКАЧЕНКО, О.В. ГРИБКОВ
Тернопільський державний медичний університет ім. І.Я. Горбачевського

ЗАСТОСУВАННЯ ЕФЕКТУ ДИФУЗНОГО ПОВЕРХНЕВОГО РОЗСІЮВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ «ЗОНИ ШИЙКОУТВОРЕННЯ» БІЛЯ ВЕРШИНИ ТРІЩИНИ

У статті запропоновано оцінювати «зону шийкоутворення» біля вершин тріщини за допомогою ефекту дифузного поверхневого розсіювання. Відомо, що біля вершин тріщини має місце локальна зміна кривизни, так звана «зона шийкоутворення». У цій зоні суттєво змінюються механічні та оптичні характеристики матеріалу об'єкту. Застосування у цьому випадку класичних методів експериментальної механіки, наприклад поляризаційно-оптичного для прозорих діелектриків, ускладнене, у зв'язку зі значним градієнтом показника заломлення, і, відповідно, коефіцієнта оптичної чутливості. Ефективним у цьому випадку можна вважати ефект дифузного поверхневого розсіювання, який можна застосувати як для прозорих, так і для непрозорих об'єктів. При цьому, вимірюючи перерозподіл інтенсивностей дифузних та дзеркальної складових розсіяного поверхнею світлового потоку, визначають динаміку зміни величини цієї зони.

Ключові слова: механіка руйнування, тріщина, зона шийкоутворення, дифузне поверхневе розсіювання.

YU.A. RUDYAK, G.I. TKACHENKO, O.V. GRIBKOV
Ternopil state medical university of I.Ya. Gorbachevsky

EFFECT OF SURFACE DIFFUSE SCATTERING STUDY "CRACKFORMATION ZONE " NEAR THE CRACK TIP

The paper proposed that "crackformation zone" near the crack tip by the effect of diffuse surface scattering is known that near the crack tip is a local change of curvature, the so-called " crackformation zone." In this zone significantly change the mechanical and optical properties of the material object. The application in this case, classical methods of experimental mechanics, such as polarization-optical dielectric for transparent, complicated, due to the large gradient refractive index, and hence the coefficient of optical sensitivity. Effective in this case can be considered as the effect of diffuse surface scattering, which can be used for transparent and for opaque objects. Thus, by measuring the redistribution of intensities of diffuse and mirror components scattered surface flux, determine the dynamics of change in the value of that area.

Keywords: fracture mechanics, crack zone, diffuse surface scattering.

Постановка проблеми

У статті теоретично обґрунтована можливість застосування ефекту дифузного поверхневого розсіювання для дослідження динаміки зміни величини «зони шийкоутворення» біля вершини тріщини. Це специфічна область, у якій досить різко змінюються оптико-механічні характеристики матеріалу. Так, важко у цьому випадку застосувати класичні підходи поляризаційно-оптичного методу, оскільки має місце значний градієнт показника заломлення n . У той же час, можливість оцінки «зони шийкоутворення» разом із відомими дослідженнями зони дії пружної асимптотики Ірвіна-Вестергаарда, у яку параметрами входять коефіцієнти інтенсивності напружень (КІН) нормального відриву K_I , поперечного зсуву K_{II} та поздовжнього зсуву K_{III} , дозволить більш комплексно і повно оцінити напружено-деформований стан (НДС) в околі вершини тріщини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження НДС тонкостінних елементів машин та конструкцій, які містять тріщиноподібні дефекти необхідне для оцінки залишкового ресурсу таких об'єктів. Рішенню задач механіки руйнування присвячені роботи [2– 4, 7]. Більшість з них досліджують зону дії пружної асимптотики Ірвіна-Вестергаарда, тобто визначають величин КІН [2, 3]. У той же час, значний інтерес являє собою «зона шийкоутворення» біля вершини тріщини. Для її дослідження можливе застосування таких оптико-геометричних методів, як каустик та градієнтної фото пружності [1]. Значну перспективу для оцінки «зони шийкоутворення», на нашу думку має метод, який базується на ефекті дифузного поверхневого розсіювання [5, 6].

Мета статті

Метою статті є: теоретично обґрунтувати застосування ефекту поверхневого розсіювання для оцінки «зони шийкоутворення» біля вершини тріщини під час навантаження тонкостінного об'єкта.

Матеріали та результати дослідження

Напружений стан біля тріщини можна умовно розділити на три зони.

У області I вплив тріщини є незначним. У області II справедлива пружна асимптотика Ірвіна-Вестергаарда. У області III деформації не є лінійно-пружними. Напруження та розмір області III залежать від рівня напружень

в області II, які визначаються величинами [КІН].

Розглянемо область III на прикладі тонкостінного об'єкту, для якого характерні значні локальні

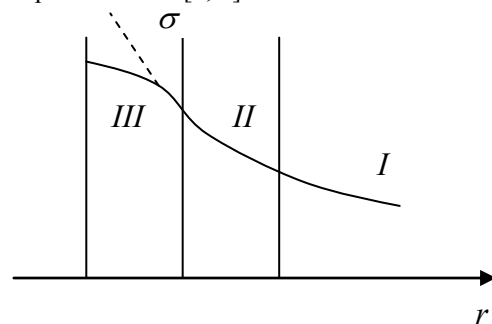


Рис. 1. Розподіл додаткового напруженого стану біля вершини тріщини

деформації. Тоді в області вершини тріщини виникає так звана «зона шийкоутворення».

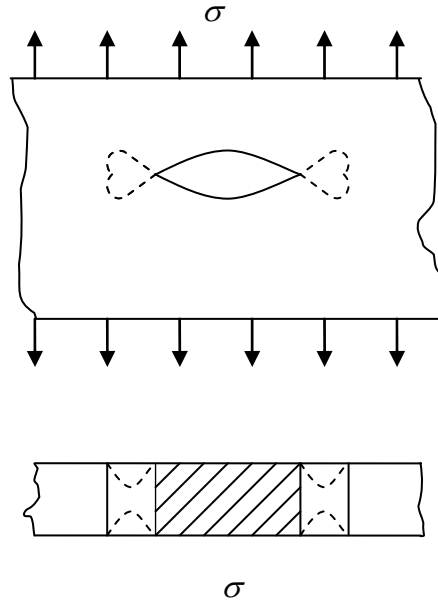


Рис. 2. Виникнення «зони шийкоутворення» при навантаженні об'єкта з тріщиною у випадку значних локальних деформацій в області вершини

У «зоні шийкоутворення» реалізується об'ємний напружений стан, деформації втрачають лінійно-пружний характер, виникають також значні градієнти оптичних параметрів (наприклад, показника заломлення n). Дослідження параметрів «зони шийкоутворення» досить складна задача, але яка може мати значний практичний інтерес у випадку відносно великих деформацій (метали, полімери з великим вмістом пластифікатора). Також актуальне вирішення цього питання для задач механіки руйнування у в'язкопружній постановці, коли величина «зони шийкоутворення» змінюється в часі.

Для розв'язання даної задачі застосовуються такі оптично-геометричні методи, як метод каустик, метод градієнтної фотопружності, та метод ізодин. Ці оптично-геометричні методи використовують відхилення променя при проходженні або відбиванні від поверхні з великими локальними деформаціями внаслідок значного градієнта суми головних напружень.

$$\Delta\gamma = f \left[\frac{\mu d}{E} \text{grad}(\sigma_1 + \sigma_2) \right], \quad (1)$$

За допомогою методу каустик одержують на екрані криві, вимірюючи характерні розміри яких, визначають величини КН. У методі градієнтної фотопружності вимірюють відхилення променя при проходженні через високоградієнтну зону.

Інформативним, на нашу думку, буде застосування методу дифузного поверхневого розсіювання (МДПР) для вимірювання зміни величини кривизни «зони шийкоутворення». Такі вимірювання, у випадку значних локальних деформацій, будуть досить інформативно визначати зміну НДС безпосередньо в області вершини тріщини. Попередньо провівши ряд таріровочних експериментів, доводячи зразки до руйнування, і, при цьому, вимірюючи ефект МДПР, можна ввести як критеріальний параметр граничну зміну кривизни «зони шийкоутворення», і, відповідно, визначати залишковий ресурс елемента конструкції з тріщиною за даними вимірювання МДПР.

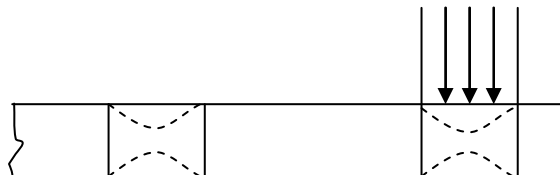


Рис. 3. Вимірювання величини «зони шийкоутворення» за допомогою МДПР.

Для застосування МДПР для вимірювання величини кривизни «зони шийкоутворення» необхідно реалізувати наступний технологічний процес:

1. Світловий потік направляється у область вершини тріщини (рис. 2).
2. За формулою (2) визначається сума кривизни ($\Delta k_x + \Delta k_y$) за даними вимірювання МДПР:

$$(\Delta k_x + \Delta k_y) = \psi \left(\frac{\Delta I}{I_0} \right), \quad (2)$$

де I_0 – інтенсивність складової світлового потоку, розсіяного поверхню без навантаження об'єкту;
 ΔI – зміна інтенсивності складової світлового потоку, розсіяного поверхню після деформації об'єкта;
 ψ – певна функціональна залежність, яка визначається на теріровочних експериментах.

Вимірюються зміни інтенсивностей дзеркальної або дифузних складових світла, дифуздорозсіюючого поверхню «зони шийкоутворення».

3. Зразки з тріщинами навантажують, доводячи їх до руйнування. При цьому для кожного дискретного навантаження фіксують сумарну зміну кривизни за формулою (2), вимірюючи зміну інтенсивностей складових дифуздорозсіюючого потоку.

4. Знаходимо за формулою граничне значення:

$$(\Delta k_x + \Delta k_y)_{гран.} = \psi \left(\frac{\Delta I}{I_0} \right)_{гран.}, \quad (3)$$

5. Залишковий ресурс елемента конструкції з тріщиною визначаємо за формулою:

$$(\Delta k_x + \Delta k_y)_{гран.} = \psi \left(\frac{\Delta I}{I_0} \right)_{гран.}, \quad (3)$$

Таким чином, підходи МПДР дають принципову можливість для контролю «зони шийкоутворення» та введення критерію залишкового ресурсу конструкції за цим параметром.

Висновки

Теоретично обґрунтовано застосування ефекту поверхневого розсіювання для дослідження «зони шийкоутворення» біля вершини тріщини. Запропоновано оцінювати залишковий ресурс елемента тонкостінної конструкції з тріщиною за параметром величини «зони шийкоутворення».

Література

1. Александров А. Я. Поляризационно-оптические методы механики деформированого тела / А. Я. Александров, М. Х. Ахметзянов. – М. : Наука, 1973. – 576 с.
2. Каминский А. А. Механика разрушения полимеров / А. А. Каминский, Д. А. Гаврилов. – К. : Наук. думка, 1988. – 224 с.
3. Панасюк В.В. Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках / В.В. Панасюк, М.П. Саврук, А.П. Дацьшин. – К. : Наук. Думка, 1976. – 444 с.
4. Бартев Г.М. Физика и механика полимеров / Г.М. Бартев, Ю.В. Зеленов. – М. : Высшая школа, 1983. – 392 с.
5. Пат. СССР, М5 кл. G01B11/16. Способ определения деформаций поверхности / Рудяк Ю.А. – № 1716317 от 01.11.1991.
6. Пат. СССР, М5 кл. G01B11/18. Способ определения напряженно-деформированого состояния объекта / Рудяк Ю.А., Пизар В.Г. – № 1668860 от 08.04.1991.
7. Фриштер Л.Ю. Расчетно-экспериментальный метод исследования НДС составных конструкций в зонах концентрации напряжений : автореф. дис. на соиск. науч. степени докт. физ. – мат. наук / Фриштер Л. Ю. – М., 2009. – 40 с.

References

1. Alexandrov A.J. Polyaryzatsyonno-Optical methods deformatyrovanoho body mechanics [Text] / A.J. Alexander, M.H. Ahmetzyanov – Moscow: Nauka, 1973. – 576 p.
2. Kaminsky A.A. Mechanics razrusheniya polymers / A.A. Kaminsky, D.A. Gavrilov – K: Science. opinion, 1988. – 224 pp.
3. Panasyuk V.V. Rasprydeleniye napryazheniy okolo treschyn in plates and membranes [Text] / V.V. Panasyuk, M.P. Savruk A.P. Datsyshyn – Kiev: Nauk. Thought 1976. – 444s.
4. Bartenev G.M. Physics and mechanics of polymers [Text] / G.M. Bartenev, Y.V. Zelenov-M.: Vysshaya School, 1983 392p.
5. Pat Ac USSR M5 cells. G01B11/16 Method for determining the surface deformations [Text] / Rudyak Y.A. – № 1716317 from 01.11.1991.
6. Pat AS USSR, M5 cells. G01B11/18 Method for determining the stress-deformatyrovanoho condition obekta [Text] / Rudyak Y.A., Pyzar V.G. – № 1668860 from 08.04.1991.
7. Fryshter L.Y. Cash-Experimental study method VAT sostavnykh designs in the areas of concentration napryazheniy: Abstract. dis. on soysk.nauch.stepeny dokt.fyz. and mathematics [Text] / Fryshter L.Y. – Moscow, 2009. – 40.

Рецензія/Peer review : 1.4.2013 р. Надрукована/Printed : 7.4.2013 р.

Рецензент: д.т.н. проф., завідувач кафедри технології і обладнання зварювального виробництва Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя, Підгурський М.І.