

МОДЕЛЮВАННЯ МСЕ ВЗАЄМОДІЇ ДВОХ ПІВЕЛІПТИЧНИХ ПОВЕРХНЕВИХ ТРІЩИН ПРИ РОЗТЯГУ

П. Ясній, І. Підгурський

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Abstract. Surface cracks are a common phenomenon in structural elements of construction frequently as a result of high values of the stress in the body and availability of defects. Such defects can sufficiently reduce the service life of structural components causing their premature failure, especially under repeated loading. Definition of the stress intensity factors is one of the most important tasks for the residual life of structures estimation. In any linear elastic fracture mechanics (LEFM) problem, precise computation of stress intensity factors accurately is of great importance. In order to specify SIF along the front of two interacting semi-elliptical surface cracks, the problem of their evaluation using the finite element method was studied. A three-dimensional model of the sample with the global model elements and the model of crack area with a local mesh with tetrahedral elements were developed. The mutual influence of cracks was found to start when the distances between the cracks are commensurate with the size of surface cracks. When the distance between the cracks is close to merger, the SIF K_I values for inside surface points of the crack contour significantly increase.

Одним з найрозповсюдженіших дефектів, що обмежує термін безпечної роботи виробів, є поверхневі тріщини, які при статичному чи циклічному навантаженні можуть розвинути до критичних значень. Для надійної оцінки живучості елементів машин чи конструкцій при наявності поверхневих тріщин, особливо таких, що одночасно розповсюджуються одна біля іншої, необхідно розвивати методи, що уточнюють значення оцінки коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) вздовж контуру поверхневих тріщин при їх взаємному впливі. Результати досліджень у цьому напрямку представлені у роботах [1-4]. Їхній аналіз свідчить про зростання значень КІН вздовж внутрішніх півконтурів поверхневих тріщин, що знаходяться на близькій відстані і взаємодіють одна з одною. Особливості поведінки поверхневих дефектів при їх взаємодії і об'єднанні в магістральну тріщину не відображені в нормативних документах [5] через складність їх математичного опису.

Мета даної роботи – дослідження КІН методом скінчених елементів вздовж контурів двох поверхневих півеліптичних тріщин при їх взаємодії при одновісному розтягу пластин скінчених розмірів.

Результати досліджень та їх обговорення. Коефіцієнт інтенсивності напружень K_I у будь-якій точці фронту одинарної поверхневої півеліптичної тріщини представляють у вигляді [6]:

$$K_I = \frac{\sigma_n \sqrt{\pi a}}{E(k)} \cdot F_S \left(\frac{a}{c}; \frac{a}{t}; \frac{c}{b}; \varphi \right), \quad (1)$$

де σ_n – номінальні напруження, МПа; $F_S \left(\frac{a}{c}; \frac{a}{t}; \frac{c}{b}; \varphi \right)$ – поправкова функція, що враховує

вплив вільних поверхонь; $E(k)$ - повний еліптичний інтеграл другого роду.

Розподіл коефіцієнтів інтенсивності напружень вздовж фронту поверхневої тріщини отримано методом скінчених елементів (МСЕ). Методика досліджень описана у [7]. Застосовували спеціалізований програмний пакет «ANSYS-Workbench – 14.5» [8]. Змодельовано поверхневі півеліптичні тріщини у пластині скінчених розмірів під дією розтягуючих напружень. Створено тривимірну модель зразка з глобальною сіткою елементів та модель області тріщини з локальною сіткою. Елементи сітки тетрадричні. Розмір елементів глобальної сітки – 2,75 мм, локальної – 0,1 мм. Моделювали зразок товщиною $t=20$ мм з низьколегованої сталі 09Г2С з $\sigma_T=350$ МПа та прикладеними напруженнями $\sigma_n = 200$ МПа. Коефіцієнт Пуассона при пружному деформуванні становив $\nu=0,3$. У результаті обчислень отримано значення КІН вздовж контуру поверхневої тріщини $\varphi=0 \dots 2\pi$.

Визначення КІН по контуру подвійних тріщин проведено для двох випадків. У першому випадку досліджувався взаємний вплив двох тріщин з незмінними параметрами, але зі змінною відстанню між ними. У другому випадку незмінною залишалася відстань між тріщинами, але змінювалось співвідношення півосей тріщин.

Розглянемо перший випадок. Досліджувалися дві однакові поверхневі півеліптичні тріщини з розмірами $2c=15$ мм, $a/c=0,7$ та відстанями між ними 15 мм, 5 мм та 2 мм (рисунок 1).

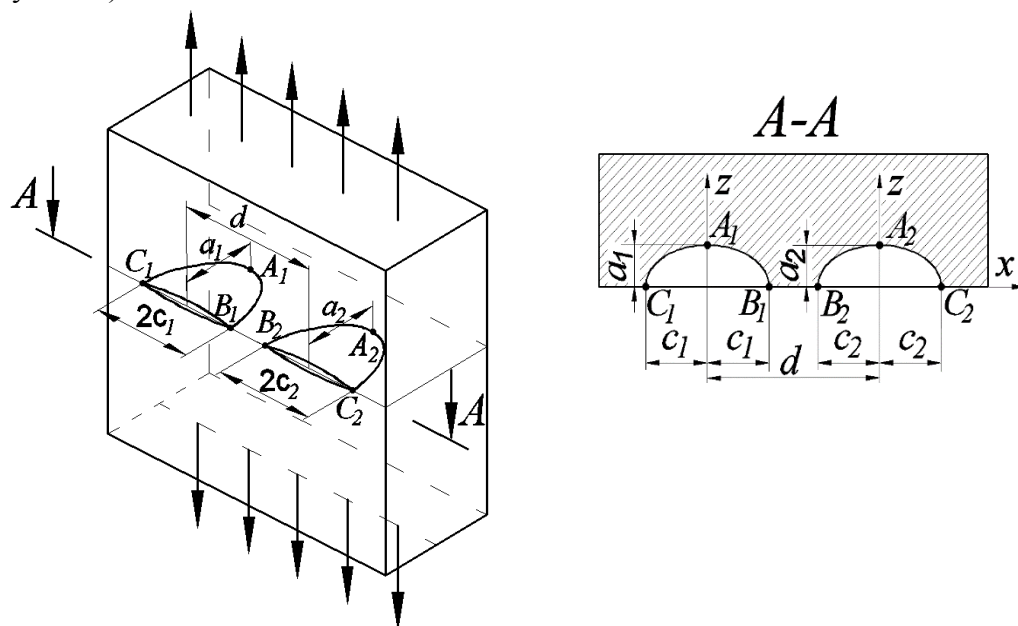


Рисунок 1. Поверхневі півеліптичні тріщини у пластині скінченних розмірів.

На рисунку 2 зображена скінчено-елементна модель пластини із двома півеліптичними тріщинами однакового розміру та розподіл значень КІН K_1 вздовж фронту кожної з тріщин.

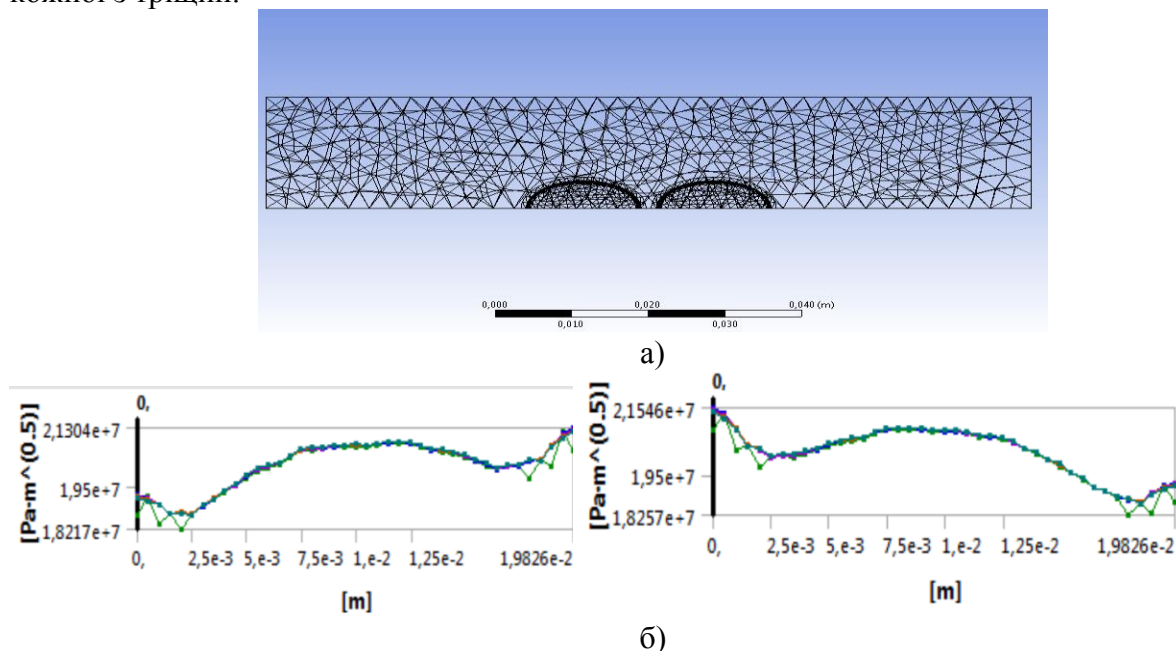


Рисунок 2. Скінчено-елементна модель – а) та розподіл КІН – б) вздовж фронту однакових колінеарних поверхневих тріщин при їх взаємодії.

Встановлено, що при відстанях між тріщинами, співрозмірними з розмірами взаємодіючих тріщин спостерігається збільшення КІН, яке стає суттєвішим при зближенні тріщин. Отриманий результат співпадає з даними робіт [1, 4]. Для такого випадку збільшення

КІН для внутрішніх поверхневих точок тріщин, які лежить на поверхні зразка, не перевищує 1% (розглядалися тріщини розміром $2c=15$ мм на поверхні і з таким же проміжком між ними). При розташуванні тріщин на ближчій відстані (5 мм одна від одної) відношення КІН складає $\frac{K_{I B_1}}{K_{I C_1}} = \frac{K_{I B_2}}{K_{I C_2}} = 1,044$, а на відстані 2 мм – $\frac{K_{I B_1}}{K_{I C_1}} = \frac{K_{I B_2}}{K_{I C_2}} = 1,117$ (рис. 3, а).

Як бачимо, при зближенні тріщин значення КІН K_I для точок внутрішніх півконтурів тріщин стрімко зростає. Збільшення значень КІН K_I для найглибших точок тріщин має менш виражений характер (рисунок 3, б). У цьому випадку порівнювали результати КІН у точці А взаємодіючих тріщин та КІН у цій же ж точці A'_1 одинарної тріщини.

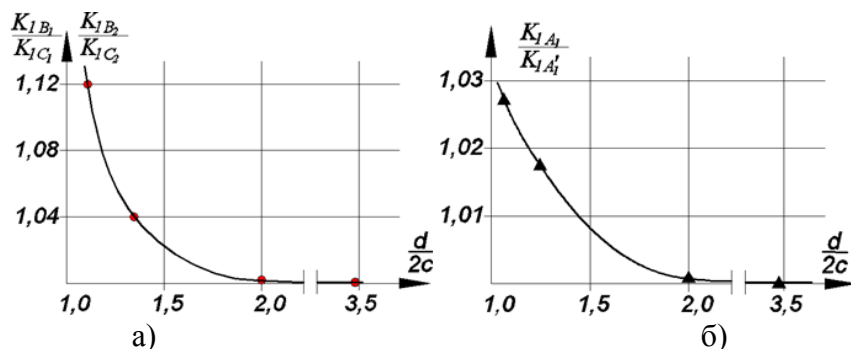


Рисунок 3. Відношення КІН K_I при взаємному впливі двох однакових півеліптичних тріщин: а) внутрішні поверхневі точки B_1 ; B_2 ; б) найглибші точки контуру A_1 ; A_2 .

У другому випадку (рисунок 4) моделювались подвійні тріщини з різним співвідношенням осей $a/c = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ і відповідною глибиною $a/t = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ при незмінних півосях $c = 10$ мм та відстані між тріщинами 1,5 мм. КІН вздовж контуру поверхневих тріщин обчислено за одновісного розтягу зрізків товщини $t = 10$ мм при $\sigma = 200$ МПа.

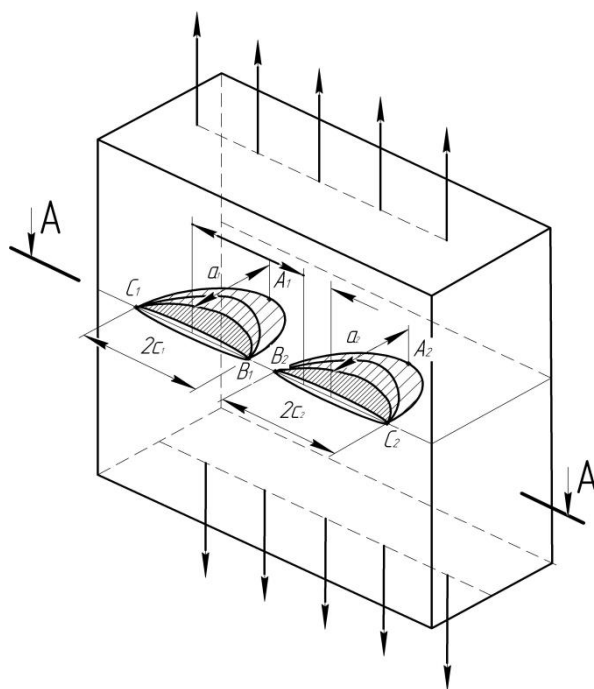


Рисунок 4. Моделювання поверхневих півеліптичних тріщин у пластині скінчених розмірів.

Результати взаємного впливу подвійних тріщин за даними порівнянь КІН K_I кожної внутрішньої поверхневої точки однієї з тріщин з відповідною зовнішньою поверхневою точкою іншої тріщини представлено на рис. 5.

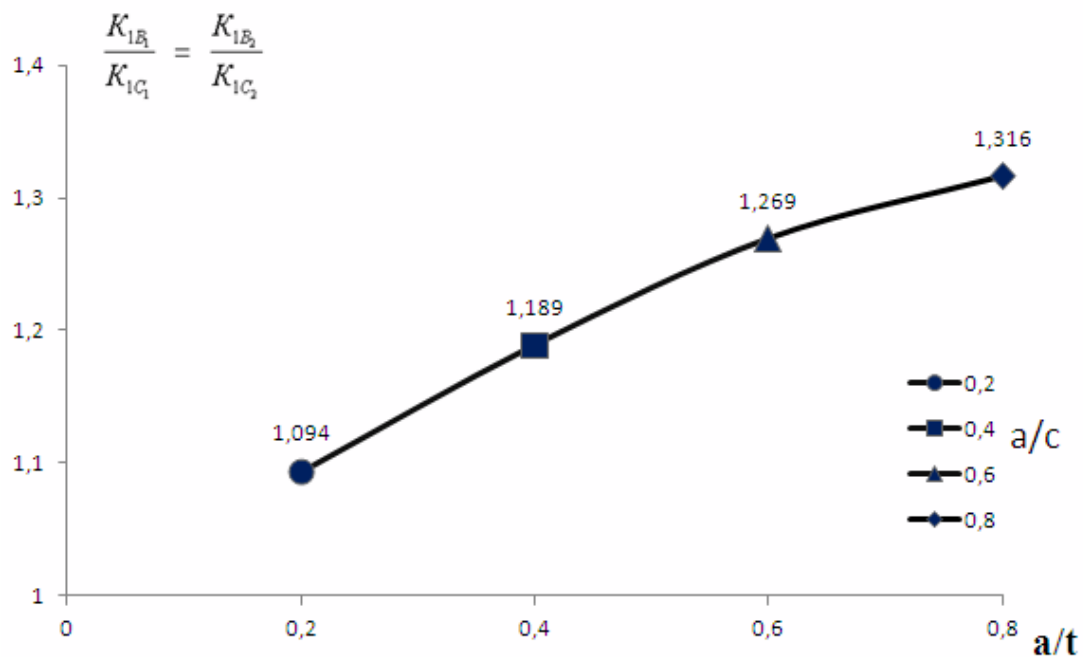


Рисунок 5. Ефект взаємодії подвійних півеліптичних поверхневих тріщин на значення КІН внутрішніх поверхневих точок при зміні співвідношення осей $\frac{a}{c}$

Встановлено, що при зростанні співвідношення півосей $\frac{a}{c}$ тріщини збільшується КІН K_1 для внутрішніх крайніх поверхневих точок взаємодіючих тріщин (на 57% при $\frac{a}{c} = 0,6$ та 32% при $\frac{a}{c} = 0,8$) (рисунок 5), а також для точок внутрішніх півконтурів взаємодіючих тріщин.

Отже, методом скінчених елементів здійснено моделювання подвійних півеліптичних поверхневих тріщин та проведено оцінку впливу їх взаємодії на значення КІН для точок контурів поверхневих тріщин.

Список літератури

1. Carpintyri A., Brighenti R., Vantadori S. A numerical analysis on the interaction of twin coplanar flows/ Engineering Fracture Mechanics, 2004. – V. 71. – P. 485-499.
2. Shlyannikov V.N., Tumanov A.V. Mixed Mode 3D Stress Fields and Crack Front Singularities for Surface flow/ Precedia Engineering, 2011. – Vol. 10. – P. 1133-1138.
3. Bezensek B., Hancock J.W. The re-characterisation of complex defects. Part I: Fatigue and ductile tearing/ Eng. Fract. Mech., 2004. – V. 71. – P. 981-1000.
4. Patel S.K., Dattaguru B., Romachandra K. Multiple interacting and Coalescing Semi-Elliptical Surface Cracks in Fatigue. P. 1: FEA// SL, 2010. – V. 3. – № 1. – P. 37-57.
5. МР-125-01-90. Расчет коэффициентов интенсивности напряжений и коэффициентов ослаблений сечений для дефектов в сварных соединениях. – К.: ИЭС им. Е.О. Патона, 1990. – 55с.
6. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений / Под ред. Ю. Мураками. – М.: Мир, 1990. – Т.1, Т.2. – 1016с.
7. Ясній П. Підгурський І. Дослідження КІН двох взаємодіючих поверхневих півеліптичних тріщин методом скінчених елементів / Вісник ТНТУ — Тернопіль : ТНТУ, 2014. — Том 74. — № 2. — С. 15-25
8. Морозов Е., Муйземнек А., Шадский А. ANSYS в руках инженера. Механика разрушения. – М.: Ленард. – 456с.