

УДК 620.172

М. Підгурський¹, д.т.н., проф., І. Підгурський¹, к.т.н., доц., М. Сташків¹ к.т.н., доц., Ю. Рудяк², д.т.н., проф.

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

²Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ДВОХ ПОВЕРХНЕВИХ ПІВЕЛІПТИЧНИХ КОМПЛАНАРНИХ ТРІЩИН ДОВІЛЬНИХ РОЗМІРІВ ЗА ОДНОВІСНОГО РОЗТЯГУ ПЛАСТИНИ СКІНЧЕНИХ РОЗМІРІВ

M. Pidgurskiy¹, Dr., Prof., I. Pidgurskiy¹, Ph.D., Assoc. Prof., M. Stashkiv¹, Ph.D., Assoc. Prof., Ю. Рудяк², Dr., Prof.

¹Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

²I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ukraine

MODELING OF THE INTERACTION OF TWO COPLANAR SEMI-ELLIPTICAL SURFACE CRACKS OF ARBITRARY DIMENSIONS UNDER UNIAXIAL TENSION OF A FINITE-DIMENSIONAL PLATE

Abstract. Definition of the stress intensity factors is one of the most important tasks for the estimation of residual life of structures. Precise computation of stress intensity factors accurately is of great importance in any linear elastic fracture mechanics problem. The analysis of available methods for determining stress intensity factors (SIF) for surface semi-elliptical cracks along their contour has been carried out and data on the mutual influence of several cracks on the change of SIF has been obtained.

Підвищення надійності та довговічності машин і конструкцій є однією з найактуальніших науково-технічних проблем, особливо для машин та конструкцій, що зазнають під час експлуатації значних циклічних навантажень. За таких умов можуть ініціюватись поверхневі тріщини, що є найбільш небезпечними дефектами з точки зору міцності та довговічності. Іноді виникає кілька поверхневих півеліптичних тріщин, розташованих на близькій відстані одна від одної. Правила об'єднання суміжних поверхневих в розрахункові схеми в існуючих стандартах (ASME Code Sec. XI, BS 7910, FITNET, API 579, GB/T 19624) є різними (і у більшості випадків консервативними) та потребують уточнень.

Критеріальна оцінка живучості (залишкового ресурсу) конструкції при наявних тріщинах пов'язана, як правило, з визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) [1], які характеризують напружено-деформівний стан (НДС) вздовж фронту тріщини. Розрахунок КІН в реальних конструкціях є складною задачею [2, 3, 4], зважаючи на геометрію і граничні умови, особливо для тривимірних тіл. Задача з визначення КІН значно ускладнюється при розгляді кількох поверхневих тріщин, що знаходяться близько одна від одної і взаємодіють між собою.

У зв'язку з цим здійснено моделювання взаємовпливу двох поверхневих тріщин довільних розмірів та визначення КІН [1] вздовж їх контурів. Розподіл КІН отримано методом скінчених елементів і застосуванням спеціалізованого пакету прикладних програм "ANSYS Workbench". Поверхневі тріщини моделювалися у зразках товщиною 20 мм з низьколегової сталі 09Г2С з $\sigma_T = 380$ МПа. Коефіцієнт Пуассона при

пружному деформуванні становив $\nu = 0,3$; модуль пружності $E = 2 \cdot 10^5$ МПа. Визначення КІН вздовж фронту поверхневих тріщин обчислювався за одновісного розтягу взірців.

Для моделювання вибирались найбільш значущі параметри і розміри поверхневих тріщин та відстані між ними.

У першому випадку досліджувались дві пари однакових за розмірами на поверхні ($2c = 15$ і $2c = 20$ мм) та формою ($a/c = 0,7$) поверхневих півеліптичних тріщин. Встановлено, що взаємодія між поверхневими тріщинами спостерігається при відстанях, співрозмірними із розмірами самих тріщин, що співпадає з даними. Для такого випадку збільшення КІН для внутрішніх поверхневих точок тріщин, що лежать на поверхні зразка, не перевищує 1%. Зі зменшенням відстані між тріщинами збільшення КІН стає щораз суттєвішим. Причому більші за розмірами поверхневі тріщини суттєвіше впливають одна на другу. Так, при відстані 2 мм між тріщинами КІН для внутрішніх поверхневих точок (вони найближче розташовані одна до одної) збільшується на 11,2 % (при розмірах тріщин $2c = 15$ мм; $a/c = 0,7$) та на 16% (при розмірах тріщин $2c = 20$ мм; $a/c = 0,7$). Таким чином, зі збільшенням розмірів тріщин їх взаємний вплив посилюється і значення КІН, особливо вздовж внутрішніх частин контурів тріщин, зростають.

У другому випадку моделювався вплив різних за розмірами поверхневих тріщин (рис. 1). При цьому одна із тріщин мала незмінні розміри $2c_1 = 20$ мм, відстань між тріщинами теж залишалась незмінною (2 мм), а змінювались розміри другої тріщини ($2c_2 = 2,5; 5,0; 7,5; 10; 15; 20$ мм). КІН вздовж фронту поверхневих тріщин обчислено за одновісного розтягу взірців при $\sigma = 300$ МПа.

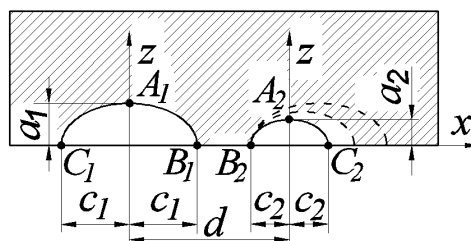
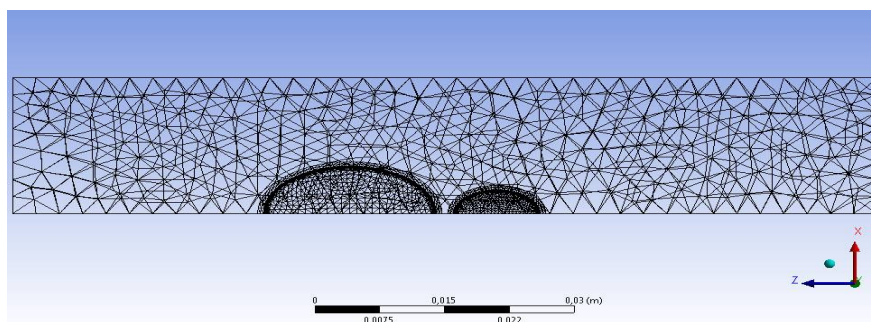
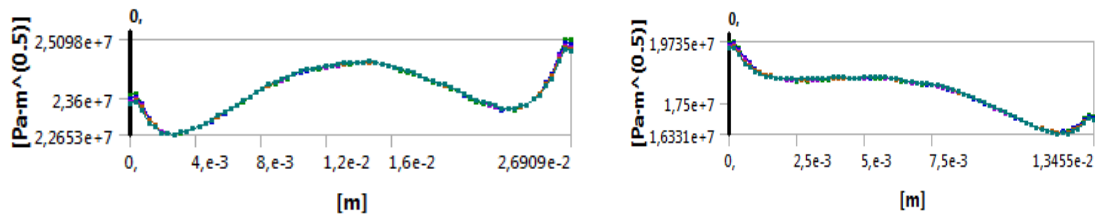


Рис. 1. Схема моделювання поверхневих півеліптичних компланарних тріщин різних розмірів у пластині скінченних розмірів

Скінчено-елементна модель для одного з випадків показана на рис. 2, а; розподіл значень КІН вздовж кожної з тріщин зображено на рис. 2 б.



(а)



(б)

Рис. 2. Скінчено-елементна модель – а) та характерний розподіл КІН – б) вздовж фронту двох поверхневих тріщин різного розміру при їх взаємодії.

Видно, що при близькій відстані між двома тріщинами, їх взаємний вплив виявляється у збільшенні (як і в попередньому випадку) значень КІН у внутрішній області їх взаємодії. Такий розподіл КІН є характерним при взаємодії поверхневих тріщин різних розмірів. Видно, що при близькій відстані між двома тріщинами, їх взаємний вплив виявляється у збільшенні (як і для випадку однакових тріщин) значень КІН у внутрішній області взаємодії. Але характерною особливістю є домінуючий вплив КІН більшої поверхневої тріщини. Зазначимо, що домінуючий вплив більшої поверхневої тріщини на зміну КІН у меншій за розмірами тріщині (рис. 2 б) призводить до пришивдшеного об'єднання тріщин. Отримані результати дають змогу уточнити розрахунок залишкового ресурсу конструкції з кількома поверхневими тріщинами та є основою для розробки математичної моделі, що описує зміну КІН вздовж контурів поверхневих тріщин при їх взаємодії.

Література.

1. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений / Под ред. Ю. Мураками. – М.: Мир, 1990. – Т.1, Т.2. – 1016с.
2. Chang Dr., Kotousov A. A strip yield model for two collinear cracks / Eng. Fract. Mech., 2012. – №90. – p.121-128.
3. Raju I.S., Newman J.C. Jr. Stress-intensity factors for a wide range semi-elliptical surface cracks in finite-thickness plates // Eng. Fract. Mech., 11. - №4. - pp. 817-829.
4. Моделювання розкриття втомної тріщини в сплаві Д16Т за регулярного навантаження методом скінчених елементів/П.Ясній, Ю.Пиндус, О.Галушак, В.Фостик// Вісник ТНТУ, 2013. – Том 70. – № 2. – С.7-14.