

# ВИЗНАЧЕННЯ МСЕ КОЕФІЦІЄНТІВ ІНТЕНСИВНОСТІ НАПРУЖЕНЬ ВЗДОВЖ КОНТУРУ ПОВЕРХНЕВИХ ТРІЩИН ПРИ ЇХ ЗЛИТТІ

І.М. Підгурський, Я.Р. Дубик\*

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,  
\*Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України

**Abstract:** *Damage tolerance analysis is essential for evaluating life extension of aged structures. 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 interaction effects are studied for both interacting and coalescing phases as observed to occur during the growth of multiple surface cracks under fatigue load.*

Для опису поведінки об'єктів, що містять поверхневі тріщиноподібні дефекти, важливим є врахування форми дефектів, їх взаємний вплив і, як наслідок, розподіл коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) вздовж контурів поверхневих тріщин, що можуть ініціюватися при циклічному навантаженні. Робіт, що стосуються оцінок розвитку дефектів при їх об'єднанні є досить мало і серед них [1-3]. Проте у цих роботах недостатньо висвітлено дані з оцінки КІН для геометрично складних форм контурів поверхневих тріщин.

У зв'язку з цим здійснено моделювання об'єднання подвійних півеліптичних тріщин, що характеризується геометричним параметром перекриття тріщин  $t_s = 4; 6; 8$  та  $12$  мм (рис. 1). Досліджувались тріщини з півдіагоналями:  $a = 4$  мм;  $c = 10$  мм ( $a/c = 0,4$ ), що розташовувались у зразках з низьколегованої сталі 09Г2С з  $\sigma_T = 350$  МПа. Коефіцієнт Пуассона при пружному деформуванні становив  $\nu = 0,3$ . Поперечний переріз зразків  $80$  мм  $\times$   $20$  мм ( $a/t = 0,2$ ).

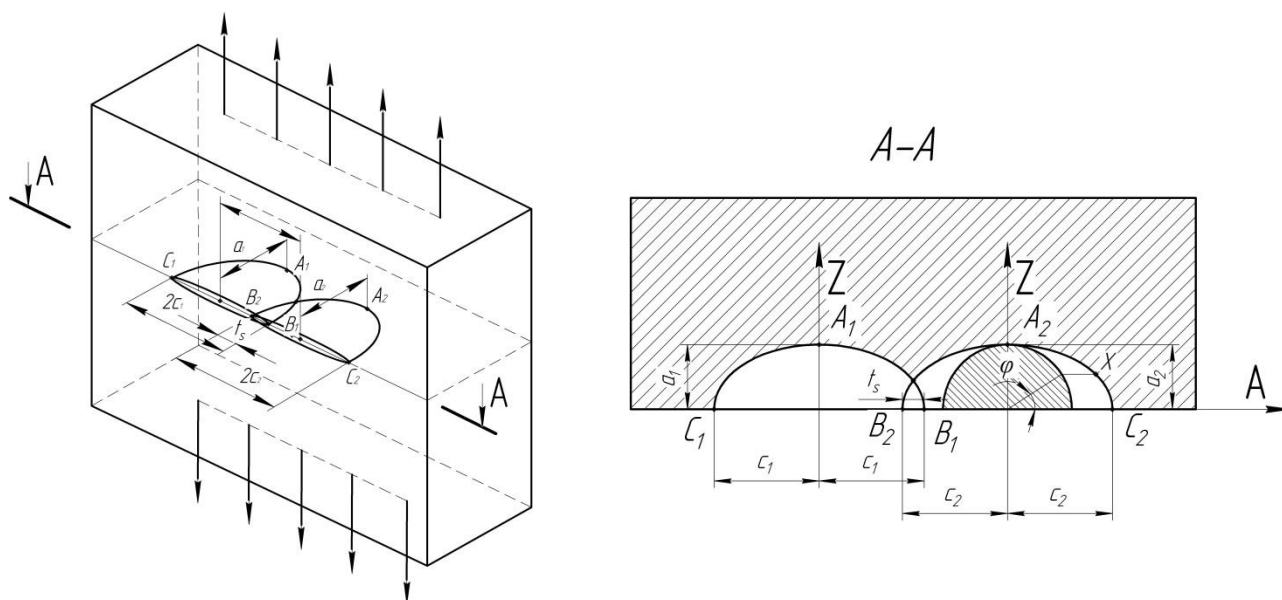


Рис.1. Моделювання злиття подвійних півеліптичних поверхневих тріщин у пластині скінченних розмірів.

При моделюванні отримано ряд поверхневих тріщин зі складною геометричною формою їх контуру (неканонічних поверхневих тріщин). Для такого виду тріщин розподіл коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) отримано методом скінчених елементів (МСЕ). Застосовувався спеціалізований програмний пакет “Ansys- Workbench” [4].

Скінчено-елементну модель тріщини (розглядалась її чверть) представлено на рис. 2, а.; фрагмент розбиття сітки в коловому напрямку та контури інтегрування наведено на рис. 2,б. Тривимірна скінчено-елементна модель представляє собою позиціоновану півеліптичну поверхневу тріщину, навколо якої створено область з локальною сіткою тетраедричних елементів з розмірами 0,1 мм та глобальну (базову) сітку елементів у зразку з розміром елементів 2 мм. Важливим було створення “зони впливу” тріщини – буферної області, в якій вихідні елементи базової сітки змінювали розміри для плавнішого стикування спряження з локальною сіткою, що охоплює контур тріщини. Особливістю даної моделі є необхідність стикування сіток в області спряження півеліпсів при моделюванні їх злиття в одну магістральну тріщину. Зазначимо, що кількість елементів складала понад 200000.

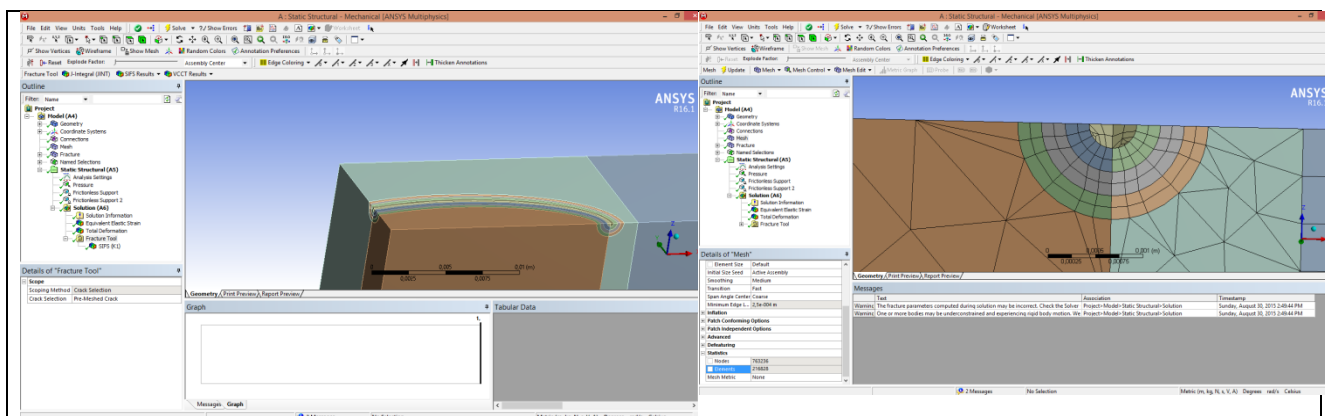


Рис.2. Скінчено-елементна модель магістральної поверхневої тріщини при моделюванні злиття двох менших поверхневих тріщин:

а) загальний вигляд; б) фрагмент локальної сітки при вершині тріщини.

У результаті обчислень отримано розподіл значень КІН вздовж півконтуру поверхневої тріщини  $\varphi = 0..2\pi$  при  $t_s = 4$  мм; 6 мм; 8 мм; 12 мм (рис. 3).

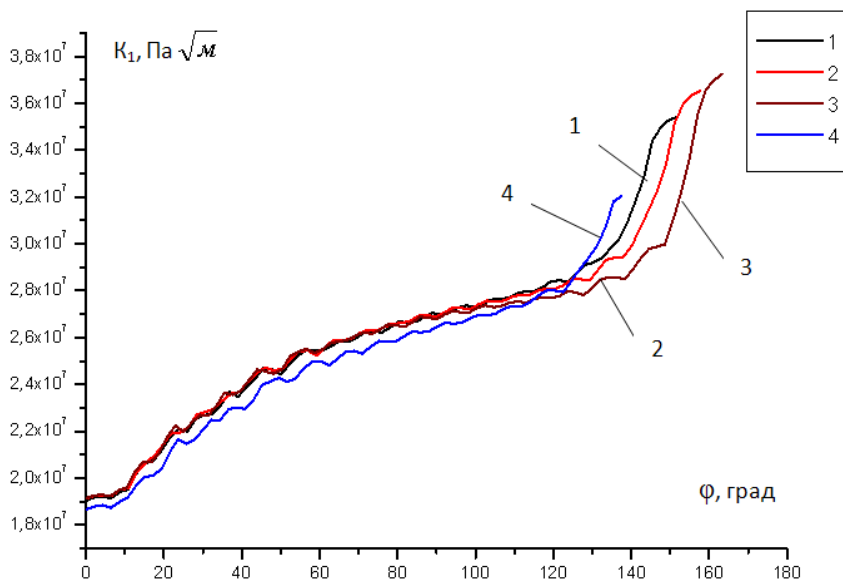


Рис. 3. Зміна розподілу КІН вздовж півконтуру тріщини при злитті двох півеліптичних поверхневих тріщин з параметрами  $a/c = 0,4$ ;  $a/t = 0,2$ :

1 –  $t_s = 4$  мм; 2 –  $t_s = 6$  мм; 3 –  $t_s = 8$  мм; 4 –  $t_s = 12$  мм;

Порівняння значень КІН у найглибших точках сідлоподібного контуру при  $t_s = 4; 6; 8; 12$  мм ( $\varphi_i = 163,3^\circ; 157,7^\circ; 151,9^\circ; 137,6^\circ$ ) з відповідними точками, рівновіддаленими від області злиття пів контуру ( $\varphi_i = 16,7^\circ; 22,3^\circ; 28,1^\circ; 23,2^\circ$ ) свідчить, що КІН суттєво зростають (в 1,8; 1,67; 1,57 та 1,38 рази відповідно).

Суттєве зростання КІН спостерігається для всіх досліджуваних точок внутрішніх півконтурів сідлоподібної тріщини. Необхідно також зазначити, що зі зменшенням сідлоподібності контуру КІН поступово зменшуються. Отримані дані є важливими для прогнозування розповсюдження поверхневих тріщин складної геометричної форми при циклічному навантаженні.

#### **Список літератури**

1. Kishimoto K, Soboyejo W.O., Smith R.A., Knott J.F. A numerical investigation of the interaction and coalescence of two coplanar semi-elliptical cracks/ *Int.J of Fat.*, 1989. – V.11. – P. 91-96.
2. Kamaya M. Growth evaluation of multiple interacting surface cracks/ *Experiments and coalesced crack*, 2008. – Part I. – V. 75. – P. 1336-1349.
3. S.K. Patel, B. Dattaguru, K. Ramachandra. Multiple interacting and coalescing semi-elliptical surface cracks in fatigue-Part-I: finite element analysis // *SL*, 2010. – V. 3. – No 1. – P. 37-57.
4. Морозов Е., Муйземнек А., Шадский А. ANSYS в руках инженера. Механика разрушения. – М.: Ленард. – 456с.