

УДК 539.4:629.7

О. Дивдик, д.ф., В. Ясній, д.т.н., доц., О. Ляшук, д.т.н., проф., І. Окіпний, к.т.н., доц., Р. Комар, к.т.н., доц., П. Сокіл

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ВПЛИВ НАТЯГУ ДОРНУВАННЯ НА КІНЕТИКУ РОСТУ ВТОМНОЇ ТРІЩИНИ ЗА СТАЛОЇ АМПЛІТУДИ НАВАНТАЖЕННЯ

O. Dyvdyk, PhD., V. Iasnii, Dr., Assoc. Prof., O. Lyashuk, Dr., Prof., I. Okipnyi, PhD., Assoc. Prof., R. Komar, PhD., Assoc. Prof., P. Sokil

Ternopil Ivan Puluuj National Technical University, Ternopil, Ukraine

## THE INFLUENCE OF COLD EXPANDED HOLE ON FATIGUE CRACK GROWTH UNDER CONSTANT AMPLITUDE

**Abstract.** In the paper, the influence of cold expanded hole on the fatigue crack grown of aluminum alloy D16chT was studied. There were revealed the main regularities of the fatigue crack growth rate of quarter elliptical crack in the vicinity of hole on SIF. There was obtained the dependence of the fatigue crack growth rate of an angular crack in aluminum alloy plates on the SIF range.

Підвищення витривалості з'єднань дорнуванням отворів в авіаційних конструкціях є надзвичайно важливим для безпечної їх експлуатації. Експлуатаційні навантаження призводять до процесів втоми, пошкодження структури матеріалу та накопичення дефектів. Із аналізу літературних даних відомо багато випадків пошкодженнь силових елементів різних типів авіаційних конструкцій, зокрема у вигляді тріщин, спричинених дією циклічного навантаження під час експлуатації.

Поверхнєве пластичне деформування широко використовується для підвищення довговічності функціональних і технологічних отворів. Підтверджено в багатьох працях позитивний вплив дорнування в елементах конструкції з отворами на довговічність, мікротвердість, шорсткість, залишкові стискаючі напруження. Відомо, що техніка відновлення, заснована на холодному розширенні отворів є досить ефективною для продовження ресурсу пошкоджених конструкцій. Також досліджено вплив холодного розширення на довговічність поширення тріщини в пластинах з кріпильними отворами з попередньо наведеними тріщинами в алюмінієвому сплаві 2024Т3 і виявлено, що параметри початкової тріщини, а також тип параметри навантаження (постійна амплітуда або спектр польоту) і початкова довжина тріщини мають значний вплив на швидкість поширення тріщини.

Для дослідження росту втомних тріщин у пластин з центральним отвором використовували сервогідравлічну випробувальну машину СТМ-100. Плоскі зразки з алюмінієвого сплаву Д16чТ з центральним отвором випробовували на тріщиностійкість за сталоамплітудного навантаження. Для дослідження впливу дорнування на швидкість росту втомних тріщин в пошкоджених зразках, використовували зразки з діаметром отвору 8, 10 та 12 мм: ширина робочої ділянки – 60 мм; довжина робочої ділянки – 120 мм; товщина – 6 мм.

Перший тип – зразки без дорнування з центральним отвором і одним кутовим надрізом, перпендикулярним до напрямку прокатування. Другий тип – зразки після дорнування  $i = 2,7 \%$ ,  $i = 2,4 \%$  та  $i = 2,8 \%$  з центральним отвором і попередньо зробленим одним кутовим надрізом, перпендикулярним до напрямку прокатування. Кутовий надріз біля отвору, розмірами 0,5 x 0,5 мм наносили електроіскровим методом з точністю  $\pm 0,03$  мм. Після цього зразок піддавали циклічному навантаженню за сталої

амплітуди з розмахом напруження  $\Delta\sigma = 147$  МПа, коефіцієнту асиметрії циклу навантаження  $R = \sigma_{min}/\sigma_{max} = 0,05$ , частота навантаження 10 Гц, форма циклу синусоїдальна,

Перед початком випробування ділянки поверхонь поширення тріщини полірували до шорсткості  $R_a = 0,05$ . Для забезпечення необхідної точності вимірювання приросту тріщини на поверхні отвору зразка через 0,5 мм наносили риски перпендикулярно до напрямку поширення тріщини. Початкову тріщину довжиною 0,5 мм від надрізу виросували за м'якого режиму навантаження при  $R = K_{min}/K_{max} = 0,05$  (тут  $K_{min}$ ,  $K_{max}$  – відповідно найменший і найбільший коефіцієнт інтенсивності напружень). Довжини приросту втомної тріщини на поверхні  $s$  та по товщині пластини  $a$  вимірювали з використанням бінокулярного мікроскопу МБС-10.

Для зміцнення отвору використовували дорни діаметром 8, 10 та 12 мм, виготовлені із сталі марки 40Х та загартовані до твердості 35-38 НRC. Швидкість переміщення дорну складала 0,1 мм/с.

Досліджено залежності швидкості росту чвертьеліптичної втомної тріщини в околі отвору в напрямку  $dc/dN$  (швидкість РВТ на поверхні зразка) і  $da/dN$  (швидкість РВТ вздовж товщини зразка) у зразках діаметром отворів  $d = 8$  мм, 10 мм та 12 мм від коефіцієнту інтенсивності напружень. Встановлено, що незалежно від діаметру отвору експериментальні залежності швидкості РВТ на поверхні та по товщині зразка знаходяться у межах однієї смуги розкиду. Зазначено також слабку залежність швидкості РВТ від розмаху КІН  $\Delta K$  в межах 5 МПа $\cdot\sqrt{м}$  – 23 МПа $\cdot\sqrt{м}$ .

Також виявлено залежності швидкості росту кутової тріщини в пластинках з алюмінієвого сплаву Д16чТ діаметром отвору  $d = 8$  мм, 10 мм та 12 мм  $dc/dN$  і  $da/dN$  та наскрізної тріщини від розмаху КІН, яка отримана за розтягу пластини із центральною наскрізною тріщиною за асиметрії циклу  $R = 0,1$ .

Порівнюючи ці дані видно, що швидкість РВТ наскрізної втомної тріщини за розмаху КІН  $< 20$  МПа $\cdot\sqrt{м}$  значно менше від швидкості росту кутової тріщини біля отвору. Також зазначено повільніший ріст тріщини на поверхні зразка порівняно із ростом на поверхні отвору при  $\Delta K < 12$  МПа $\cdot\sqrt{м}$ . Очевидно, що ця різниця спричинена різним напрямом росту тріщини по відношенню до напрямку прокатування пластини, довжиною тріщини і її формою фронту.

Подібні співвідношення між швидкістю росту кутової і наскрізної тріщини спостерігали і для пластин з отвором діаметром 10 мм і 12 мм. Швидкості росту кутової втомної тріщини на поверхні пластини  $dc/dN$  і на поверхні отвору  $da/dN$  діаметром 8 мм і 10 мм співпадають у всьому діапазоні зміни розмаху КІН.

Швидкість РВТ  $dc/dN$  за діаметру отвору 8 мм і 12 мм має стрімко спадаючу ділянку, що спричинено одноразовим перевантаженням після дорнування, а в подальшому із збільшенням  $\Delta K$  після досягнення мінімального значення  $(dc/dN)_{min}$  швидкість РВТ стрімко зростає, з переходом у положу ділянку. При значенні  $\Delta K \geq 13 - 15$  МПа $\sqrt{м}$  швидкості РВТ  $dc/dN$  і  $da/dN$  не залежать від діаметру отвору і можуть бути описані одною залежністю від  $\Delta K$ . Отримана залежність подібна до закономірностей впливу одноразових перевантажень на швидкість РВТ в сплаві Д16чТ після одноразових перевантажень із розтягом пластин із центральною наскрізною тріщиною. Слід зазначити, що ефект зменшення швидкості РВТ відстуній після дорнування із найменшим натягом  $i = 2,4$  % для зразка з отвором діаметром 10 мм.