

УДК 539.3

П. Ясній

Професор, докт. техн. наук

С. Гладьо

А. Сорочак

Тернопільський національний
технічний університет
імені Івана Пулюя,
м. Тернопіль

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОМЕХАНІЗМІВ РУЙНУВАННЯ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ Д16ЧТ ПІСЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ

Досліджено вплив відносного натягу дорнування на зародження та поширення втомних тріщин в пластинах з центральним отвором різного діаметру алюмінієвого сплаву Д16ЧТ. Досліджено мікромеханізми зародження та поширення втомної тріщини для дорнованих отворів та отворів без зміцнення.

алюмінієвий сплав, натяг дорнування, циклічне навантаження

Вступ. Експлуатаційні навантаження призводять до процесів втоми, пошкодження структури матеріалу та накопичення дефектів як на мікро- так і на макро рівнях. Проблема втоми матеріалів і конструкцій набула особливого значення в зв'язку з швидким розвитком авіабудування, автомобіле та машинобудування.

Забезпечення високої надійності конструкцій і їх безпечної експлуатації в умовах динамічного навантаження і високих напружень вимагають нових підходів до оцінювання їх ресурсу (залишкового ресурсу).

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел показав, що в ряді випадків існуючі технологічні методи обробки пластичним деформуванням є ефективним засобом підвищення втомної довговічності матеріалів і конструктивних елементів [1].

Більшість з них полягає в обробці елементів конструкції в зоні отворів шляхом пластичного деформування матеріалу.

Позитивний вплив дорнування отворів на довговічність елементів конструкцій, їх мікротвердість, шорсткість, залишкові стискавальні напруження підтверджено в працях В.В. Воронько [2], Ю.А. Воробйова, В.Н. Степаненко [3], В.Ф. Скворцова, А.Ю. Арляпова [4], Н.Д. Gopalakrishna, Н.Н. Narasimha Murthy, М. Krishna,

М.С. Vinod, А.В. Suresh [5], Т.Ю. Степанова [6]. Проте е функціональні отвори, наприклад для комунікацій, які ще залишаються недостатньо дослідженими. Для забезпечення необхідного ресурсу використовується монолітне потовщення навколо отвору або підсилюючі накладки. Функціональних отворів у лонжероні крила літака є досить багато, тому це призводить до збільшення маси крила літака.

Пластична деформація отворів збільшує втомну довговічність зразків з алюмінієвого сплаву, а за аналізом фрактограм відтворено швидкість і траєкторію поширення втомної тріщини та вказано на домінуючий вплив залишкових стискаючих напружень на зменшення швидкості її поширення [7].

Мета роботи - дослідження впливу дорнування отворів на мікромеханізми зародження та поширення втомних тріщин у алюмінієвому сплаві Д16ЧТ.

Методика дослідження. Для досліджень на втому використовували плоскі веслоподібні зразки товщиною 6 мм і шириною робочої ділянки 60 мм з отвором діаметром 8, 10 і 12 мм. Зразки випробовували циклічним розтягуванням на електрогідравлічній машині при $\sigma_{max} = 147$ МПа, за коефіцієнту асиметрії циклу навантаження $R = \sigma_{min} / \sigma_{max} = 0,05$ та частоті навантаження

$f = 15$ Гц (тут σ_{\min} , S_{\max} – відповідно найменше та найбільше номінальне напруження). Досліджували дві серії зразків: з отворами після механічної обробки і з отворами дорнованими до величини відносного натягу 1, 2 і 3%. Величину відносного натягу дорнування визначали за формулою: $i = (d_k - d_o) / d_k \cdot 100\%$, де d_o , d_k – відповідно діаметр отвору до і після дорнування.

Мікромеханізми поширення втомних тріщин вивчали за допомогою сканувального електронного мікроскопу типу СЕМ-10би (виробництва «СЕЛМІ», м.Суми).

2. Результати дослідження та їх обговорення. Аналізували поверхню втомного руйнування зразків з дорнованими і не дорнованими отворами. Виявили, що форма фронту і траєкторія поширення втомної тріщини в дорнованих і не дорнованих зразках з отворами різні.

Фронт втомної тріщини в зразках з отворами після механічної обробки наближений до півеліптичного (рис. 1, а). Тріщина зароджується переважно в середині (по товщині) ділянці отвору і поширюється в тіло зразка. Фронт тріщини набуває півеліптичної форми (рис. 1, б). Причому, на зовнішній поверхні зразків тріщина спочатку відсутня. Лише коли довжина тріщини в середній ділянці зразка сягає 3-4 мм, довжина її на поверхні зразка дорівнює приблизно 0,25 мм.

Швидкість поширення тріщини не дорнованих зразків після виходу її на бічну поверхню значно пришвидшується, зокрема після реєстрації тріщини на поверхні довжиною 1 мм зразки руйнувалися через 15-20 тис. циклів навантаження.

У дорнованих зразках тріщина виникає на кромці отвору, переважно з боку входу дорна в отвір, і поширюється в тіло зразка (рис. 1, в). Такий ефект впливу напрямку руху дорна на місце зародження втомної тріщини описаний зокрема в роботах [8–10]. Фронт тріщини спочатку набуває чвертьеліптичної форми (рис. 1, г), а в подальшому стає півеліптичним (рис. 1, г). Треба зазначити, що втомна тріщина в зразках з дорнованими отворами спочатку не виходить на поверхню отвору, а проростає до протилежної стінки зразка на відстані 1–2 мм від отвору. При цьому залишається тонка незруйнована смужка вздовж отвору, товщиною 1–2 мм (рис. 1, д). Такий ефект виникає внаслідок дії залишкових стискувальних напружень в околі отвору дорнованих зразків. При подальшому поширенні втомної тріщини, вказана смужка руйнується за в'язким механізмом з утворенням ямок відриву.

Такі особливості формування початкового фронту тріщини і його трансформації упродовж подальшого розвитку тріщини, без її виходу на поверхню утруднює надійну діагностику елементів конструкцій з використанням оптичних методів і вимагає додаткових засобів контролю пошкоджуваності елементів конструкцій.

Після реєстрації втомної тріщини довжиною 1 мм на зовнішній поверхні, дорновані зразки руйнувалися після 30–60 тис. циклів навантаження при 1% натягу дорнування і через 90–150 тис. циклів навантаження при 2% натягу дорнування.

Втомна тріщина зароджується і на початковому етапі поширюється площинами ковзання всередину від поверхні під кутом приблизно 45° до осі нормальних напружень [11]. Характерне місце зародження втомної тріщини зображено на рис. 2, а.

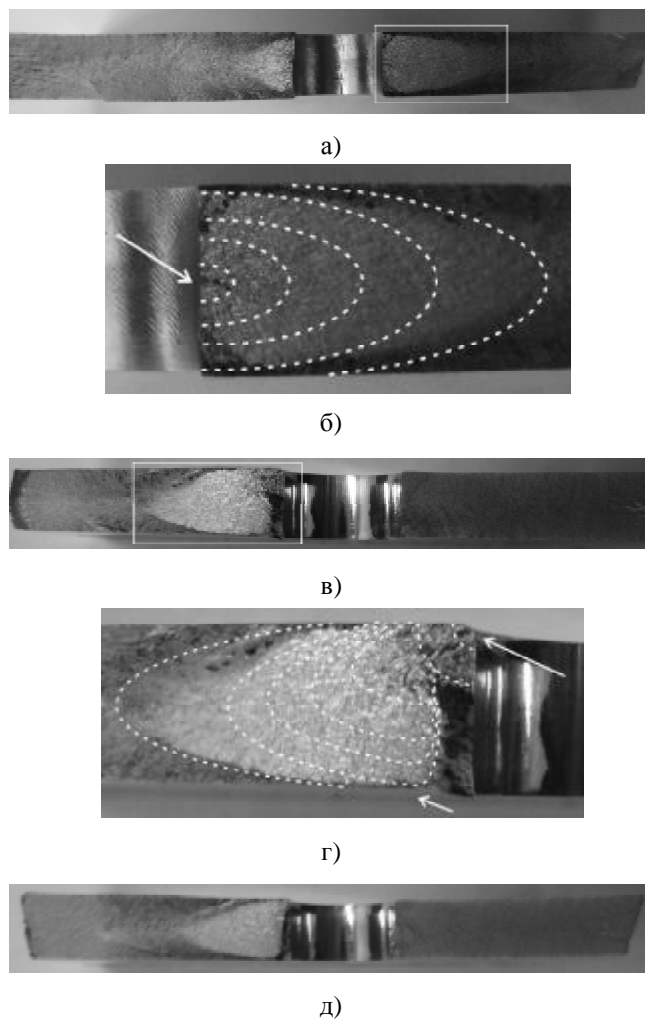


Рис. 1. Місце зародження та фронт поширення втомної тріщини в зразку з отвором після механічної обробки – а, б та з отвором після дорнування з натягом 2% – в, г, д

На стадії усталеного росту втомної тріщини формуються чітко виражені втомні борозенки, які розміщуються окремими терасами. На поверхні зламу чітко видно гребені, які розділяють тераси з втомними борозенками. Напрямок гребенів паралельний напрямку поширення втомної тріщини. Характерні фрагменти ділянок усталеного росту втомної тріщини подано на рис. 2, б, в. Втомні борозенки розміщені на терасах, розмір яких сумірний з розміром структурних елементів алюмінієвого сплаву. Орієнтація окремих терас змінюється від зерна до зерна (рис. 2, д). Наявність у структурі сплаву масивних включень викликає локальне в'язке руйнування за механізмом росту мікропор [10] (рис. 2, в).

На початку росту втомної тріщини, при порівняно малій швидкості її росту, крок втомних борозенок невеликий (рис. 2, г). В межах однієї тераси втомного зламу борозенки мають близький за значенням крок. Проте, вздовж всього фронту тріщини, втомні борозенки не мають строго фіксованої величин, що спричинено нерівномірністю підростання втомної тріщини в різних зернах.

Зі збільшенням швидкості росту тріщини на поверхні руйнування утворюються втомні борозенки з більшим кроком та ямки відриву навколо включень. При значній

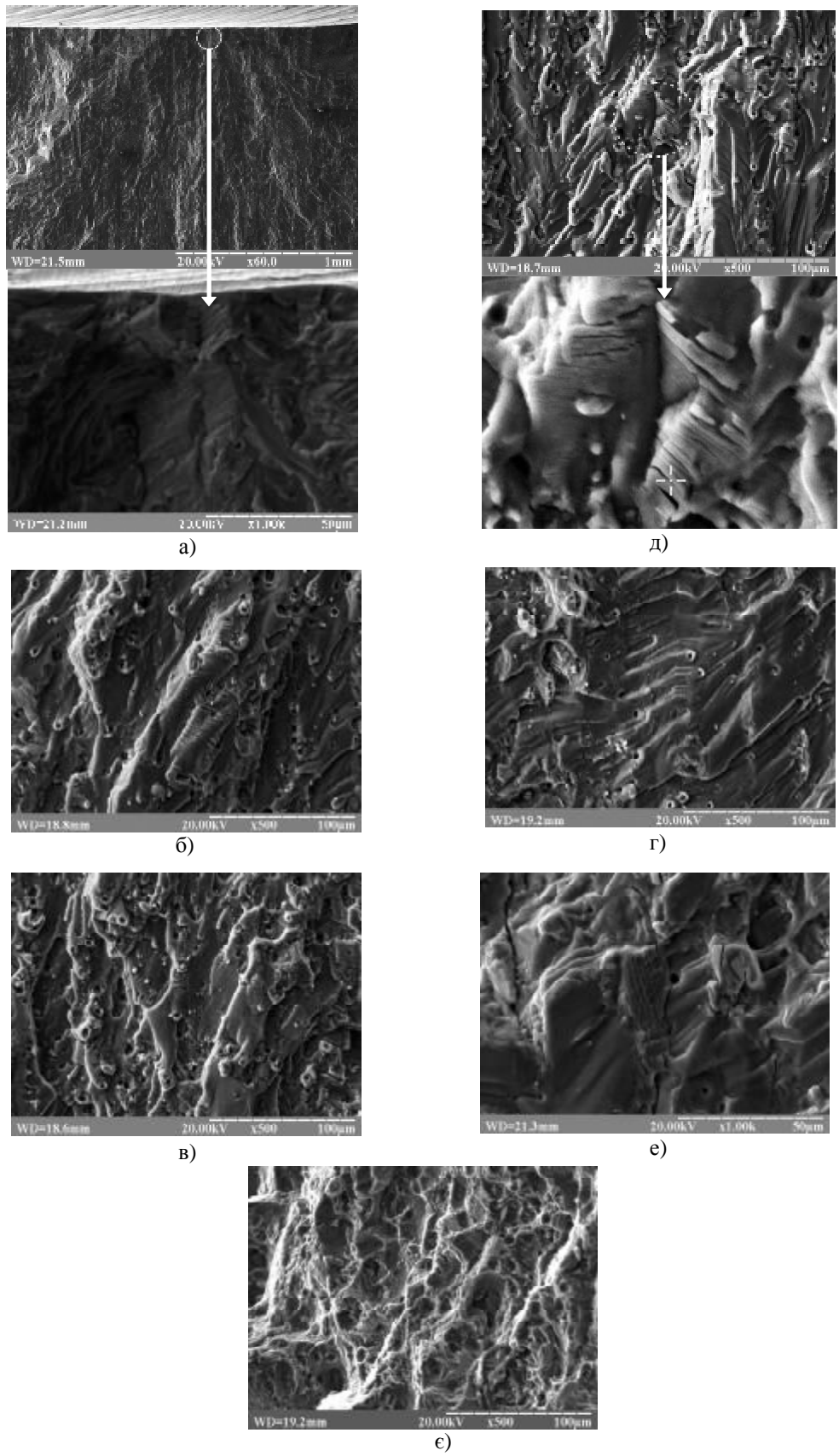


Рис. 2. Мікромеханізми зародження та поширення втомної тріщини

швидкості росту втомної тріщини утворюються вторинні мікротріщини (рис. 2,е).

Остання ділянка поверхні руйнування відповідає долому. Зокрема на рис. 2,е представлено фрагмент

ділянки долому, яка утворена за механізмом в'язкого, ямкового відриву.

Висновки. Досліджено вплив дорнування отворів (1-3%) на мікромеханізми зародження і перебіг поширення втомної тріщини в алюмінієвому сплаві Д16чТ. Виявлено, що на відміну від зразків з отворами після механічної обробки, тріщини в яких зароджується в серединній ділянці отвору, в пластично деформованих отворах тріщини зароджуються від кромки отвору з боку входу дорна. Тривалий час тріщина проростає всередині зразків без появи на бічних поверхнях для недеформованих зразків, та на поверхні з боку виходу дорна для деформованих.

Такі особливості формування початкового фронту тріщини і його трансформації упродовж подальшого розвитку тріщини, без її виходу на поверхню утруднює надійну діагностику елементів конструкцій з використанням оптичних методів і вимагає додаткових засобів контролю пошкоджуваності елементів конструкцій. Фрактографічним аналізом не виявлено відмінностей у мікромеханізмах зародження і поширення втомної тріщини у зразках з дорнованими отворами і без дорнування.

Література

1. Ясній П.В. Пластично деформовані матеріали: втома і тріщинотривкість. – Львів: Світ. – 1998. – 298 с.
2. Воронько В.В. Скоростное дорнования отверстий авиационных конструкций // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского, 2009. – №41. – С. 213-226.
3. Воробьев Ю.А., Воронько В.В., Степаненко В.Н. Сравнительный анализ способов дорнования отверстий / Системы обработки информации. – Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского, 2007. – №5. – С. 35-38.
4. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 92 с.

5. Gopalakrishna H.D., Narasimha Murthy H.N., Krishna M., Vinod M.S., Suresh A.V. Cold expansion of holes and resulting fatigue life enhancement and residual stresses in Al 2024 T3 alloy – An experimental study // Engineering Failure Analysis. – Department of Mechanical Engineering, RV College of Engineering, Bangalore, 2010. – №17. – P. 361-368.

6. Степанова Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин // Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет, 2009. – 64 с.

7. P.F.P. de Matos, P.M.G.P. Moreira, I. Nedbal, P.M.S.T. de Castro Reconstitution of fatigue crack growth in Al-alloy 2024-T3 open-hole specimens using microfractographic techniques // Engineering Fracture Mechanics 72 (2005) 2232–2246.

8. S. Fatigue crack propagation from a cold-worked hole Engineering Fracture Mechanics 74 (2007) 1525–1538.

9. Nigrelli V, Borruso V, Virzi' Mariotti G. Improvements of fatigue life in drilling structures by both cold expansion and indentation. In: ICEM12–Proceedings of the 12th international conference on experimental mechanics; 2004.

10. Chakherlou TN, Vogwell J. A novel method of cold expansion with creates near-uniform compressive tangential residual stress around a fastener hole. Fatigue Fract Engng Mater Struct 2004; 27: 343–351.

11. Фрактография и атлас фрактограмм / Справ. изд. Пер. с англ. / Под. ред. Дж. Феллоуза. – М.: Металлургия, 1982. – 490 с.

Отримана 14.02.12

P. Yasniy, S. Glado, A. Sorochak
Research of fracture micromechanisms of D16CHT aluminium alloy after surface hardening
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil

The influence of holes cold expansion on the fatigue cracks initiation and growth in aluminium alloy D16chT is analyzed for different diameters of the hole. Micromechanism of fatigue cracks initiation and propagation for holes with cold expansion and without it are analysed.

Інформація

11-й МІЖНАРОДНИЙ СИМПОЗИУМ УКРАЇНСЬКИХ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВУ ЛЬВОВІ (МСУІМЛ — 11)

15 — 17 травня 2013 р., м. Львів, Україна

Тематика

- Прикладні проблеми динаміки та міцності машин і споруд
- Математичні та фізичні проблеми теорії тріщин у механіці
- Моделювання, синтез і оптимізація машинобудівних конструкцій
- Новітні технології у машинобудуванні та автоматизація виробництва
- Технологія зварювання і діагностика металевих конструкцій
- Сучасні матеріали, поверхневе оброблення та захист деталей машин і конструкцій
- Трибологія

- Проектування, виготовлення, експлуатація і сервіс транспортних засобів
- Підйимально-транспортне обладнання та елементи приводів машин
- Вібрації в техніці і технологіях

Адреса оргкомітету

Національний університет «Львівська політехніка»,
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12.
Тел.: (032) 258-24-10;
E-mail: me@in.lviv.ua