

## АНАЛІЗ ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ ПРИ БАГАТООСЕРЕДКОВОМУ РУЙНУВАННІ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ Д-16АТ

Національний авіаційний університет

*Досліджено актуальне питання росту мікротріщин на поверхні конструкційного авіаційного сплаву Д-16АТ. Отримано дані щодо довжин мікротріщин (МТ), які з'являються під час навантажування до виявлення макротріщини, швидкості росту тріщин та кінетики росту МТ.*

**Сутність проблеми.** Накопичення та об'єднання розсіяних коротких тріщин належить до одного з провідних механізмів пошкоджуваності та реалізації граничного стану конструкцій, що необхідно враховувати при прогнозуванні їх ресурсу.

Відомо, що процес втомленості металів локалізується в поверхневому шарі [1]. Мікротріщини в пластичних матеріалах виникають у стійких смугах ковзання. Тому поверхня є носієм інформації про динаміку вичерпання несучої здатності елементів конструкцій. Оцінка стану поверхневого шару розглядається як спосіб діагностики втомного пошкодження.

Стадійність пошкоджуваності втомного руйнування можна записати як [1; 2]: стадія 1 – накопичення статично розподілених в об'ємі металу окремих мікропор та мікротріщин; стадія 2 – розвиток тріщин по межах зерен, двійників та смуг ковзання; стадія 3 – розвиток магістральної тріщини в матеріалі, з існуючою системою мікротріщин.

Одним із проявів пошкодження деталей машин при циклічному навантаженні є наявність розсіяних на обмеженій площі поверхні коротких тріщин. Руйнування матеріалів, зумовлене безупинними в часі процесами зародження, росту й об'єднання тріщин, вважається універсальним [3], називається множинним, і характерно для багатьох пошкоджувальних факторів, наприклад для втомленості [4; 5], циклічної повзучості та корозії.

Обсяг експериментальних даних щодо МР дуже обмежений. Це пов'язано з трудомісткістю ідентифікації і складністю спостереження за поведінням великої кількості малих за розмірами дефектів на поверхні зразків.

За наявності на обмеженій площі поверхні чи в об'ємі матеріалу навіть невеликої кількості мікротріщин (МТ), розміри яких перебувають в інтервалі  $0,1 \dots 10^3$  мкм [1–5], завжди існує кінцева ймовірність їхнього об'єднання. Об'єднання МТ несе небезпеку раптового утворення макроскопічного дефекту. Тому початкове оцінювання граничного стану на стадії розвитку МТ слід здійснювати з урахуванням фактора об'єднання розсіяних дефектів.

**Методика і сутність експерименту.** Стандартні корсетні зразки, вирізані з листа алюмінієвого сплаву Д-16АТ завтовшки 1,3 мм з плакованим шаром, навантажувалися на гідропульсаційній машині МУП-20. Максимальне навантаження в мінімальному перерізі дорівнювало 250 МПа при частоті навантаження 11 Гц. Цикл навантаження – синусоїдальний, віднульовий. База випробувань становила не менше  $10^5$  циклів.

Після чергового етапу навантажування зразок знімався з установки та обмірювалися параметри мікротріщин, далі зразок проходив чергове навантажування.

Програма випробувань зразків на малоциклову втомленість включала дослідження процесів накопичення та розвитку коротких тріщин до виникнення макротріщини, їх об'єднання й остаточного руйнування зразка.

Ідентифікація тріщин, визначення їх координат на поверхні зразка та вимірювання розмірів здійснювалося візуально за допомогою мікроскопа ММР-4 ЛОМО та із застосуванням окуляра мікрометра, яким комплектується мікротвердомір ПМТ-3.

Після контролю поверхні зразка оцінювався приріст кількості та довжини тріщин за етап випробувань, щільність тріщин на площі поверхні, швидкість росту тріщин.

Для кожної мікротріщини визначалась швидкість її зростання  $\Delta h = \frac{\Delta l}{\Delta N}$ , де  $\Delta l$  – приріст довжини тріщини за  $\Delta N$  циклів навантаження етапу навантаження.

**Експериментальні дані та їх обговорення.** Процес накопичення багатоосередкового пошкодження можна охарактеризувати як формування спочатку великої кількості маленьких тріщин, їх поступовий ріст, а вже потім їх поступове, а згодом лавиноподібне злиття у тріщини зі значно більшими розмірами. Розмір мікротрі-

щин, які виникають в поверхневому плакованому шарі алюмінієвого сплаву Д-16АТ, співрозмірний з величиною структурних елементів матеріалу. Таким чином, мікротріщини, що зароджуються по стійких смугах ковзання всередині зерна, розповсюджуються в межах зерна з певною швидкістю, після чого, зустрічаючи структурний бар'єр у вигляді межі зерна, вони призупиняються або стають такими, що не розповсюджуються (рис. 1). При цьому частка тріщин, які не ростуть чи мають дуже малу швидкість росту – значна (рис. 3). Після того, як тріщина подолає межу зерна, швидкість її росту збільшується, крім власного росту ще й за рахунок об'єднання із сусідніми тріщинами (рис. 2). На основі розглянутих закономірностей можна зробити висновок про випадковий характер величини швидкості росту МТ (рис. 1).

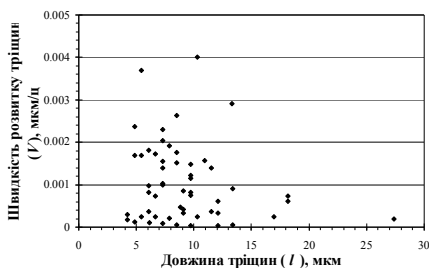


Рис.1. Залежність швидкості росту МТ від їх довжини

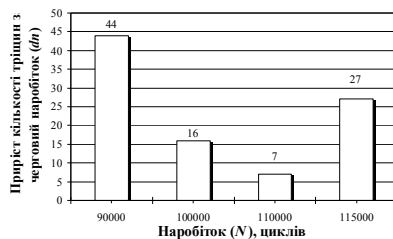


Рис.2. Залежність приросту кількості МТ за черговий наробіток



Рис.3. Процентний розподіл кількості МТ: 1 –  $\Delta h=0$ ; 2 – які зникли; 3 – ріст яких не припинявся

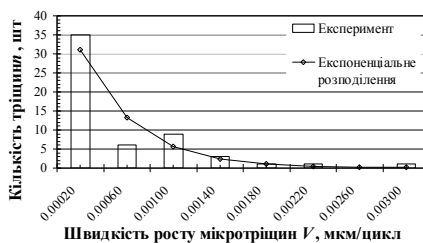


Рис.4. Залежність кількості МТ від швидкості їх росту

Із залежності на рис. 2 випливає, що з наробітком кількість нових МТ, які виникають на поверхні зразка, зменшується аж до стадії перед руйнуванням. Це підтверджує факт переваги процесу

об'єднання МТ на великих наробітках.

Досліджено питання росту МТ. А саме швидкість росту тріщин і кінетика росту МТ. При цьому отримано, що на поверхні зразка частина тріщин росте з постійною швидкістю, частина – стрибкоподібно, певна кількість не поширюється, а частина з них зникає, тобто спостерігається так зване заліковування МТ (див. рис. 3).

При статистичній обробці емпіричних гістограм розподілення кількості тріщин за їх швидкостями було отримано, що дані розподілення апроксимуються показовим законом (рис. 4).

Основним чинником, який визначає руйнування при МР, є об'єднання розсіяних тріщин, особливо на завершальній стадії, що становить, приблизно 30 % від загальної довговічності. На цій стадії зростання найбільшої тріщини здійснюється виключно за рахунок її об'єднання з іншими тріщинами уздовж траєкторії поширення.

### Список літератури

1. *Немец Я.* Развитие усталостных трещин // Проблемы прочности. – 1988. – № 7. – С. 9–18.
2. *Механика* разрушения и прочность материалов. Справочное пособие: В 4 т. / Под общ. ред. В.В. Панасюка. – К.: Наук. думка, 1988 – 1990. –Т. 4: Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / О.Н. Романив, С.Я. Ярема и др. – 1990. – 680 с.
3. *Школьник Л.М.* Скорость роста трещин и живучесть металла. – М.: Металлургия, 1973. – 216 с.
4. *Suh C. M., Kitagawa H. (1986)* Crack growth behaviour of fatigue microcracks in low carbon steels. *Fatigue Fract. Eng. Mater. Structures.* – 9, № 6. – P. 409–424.
5. *Игнатович С.Р., Кучер А.Г., Якушенко А.С., Баишта А.В.* Моделирование объединения рассеянных поверхностных трещин. Сообщение 1. Вероятностная модель объединения трещин // Проблемы прочности. – 2004. – № 2. – С. 21–32.
6. *Ярема С.Я., Попович В.В.* Влияние структуры и концентрации напряжений на период зарождения усталостной трещины в стали 65Г // *Физико-химическая механика материалов.* – 1985. – № 2. –С. 35–40.

Стаття надійшла до редакції 02.04.09.