

УДК 539.432

Георгій Цибаньов, д.т.н.

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Україна

ОПИС ЗАРОЖДЕНИЯ И РОСТУ ТРещИНЫ ВТОМИ З ГЛАДКОЙ ПОВЕРХНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАРАМЕТРІВ КРИВОЇ ВТОМИ

Анотація. Раніше нами запропоновано розрахункову побудову лінії Френча (ЛФ), довговічності до якої прийнято за момент зародження тріщини, яка проросла від поверхні гладкого зразка до міцного бар'єру – границі зерна полікристала. Опис росту тріщини до ЛФ і після неї виконано степеневою функцією, яка використовує параметри запропонованої кривої втоми. За прийнятого розміру вихідного дефекту, визначеного розміру структурної одиниці (розміру зерна), відомого чи розрахованого розміру тріщини перед остаточним руйнуванням розрахована кінетика росту тріщини.

Ключові слова: зародження і ріст втомної тріщини; структурний бар'єр; опис кінетики росту коротких тріщин.

Georgiy Tsybanyov, Ph.D.

DESCRIPTION OF FATIGUE CRACK NUCLEATION AND GROWTH FROM A SMOOTH SURFACE USING FATIGUE CURVE PARAMETERS

Abstract. This paper presents a method for describing the stages of fatigue crack nucleation and initial growth in a smooth specimen. For this purpose, the parameters of the French line, the modified fatigue curve and the characteristic structural size of the polycrystal were used.

Key words: fatigue crack nucleation and growth; structural barrier; description of short crack growth kinetics.

Вступ. За багатоциклової втоми вихідна інформація про властивості матеріалу представляється кривою втоми за симетричного циклу навантаження. Однак, дослідження процесу втоми за останні роки свідчать про недостатність такої оцінки з огляду на те, що представлена у такому вигляді довговічність містить сумарне циклічне пошкодження на різних стадіях втоми, які розрізняються своїми механізмами пошкодження. Основні стадії втоми, які визначають багатоциклову довговічність матеріалів, - це інкубація тріщини і її послідовний ріст за механізмом короткої тріщини, що утруднює використання методів лінійної механіки руйнування у зв'язку з недотриманням її постулатів. У цьому зв'язку запропоновано підхід до використання параметрів модифікованої кривої втоми для визначення стадії інкубації тріщини та кінетики її росту за механізмом короткої тріщини.

Залежності для опису інкубації і росту тріщини. В роботі [1] нами представлено моделювання втомного пошкодження сталей за багатоциклового навантаження гладких зразків, де за параметр пошкодження прийнято зміну границі витривалості у процесі втоми з розрахунковим визначенням її поточного значення. Так як стандартно визначена границя витривалості матеріалу представляє собою напруження, за якого не розповсюджується мікротріщина, яка зародилася у процесі циклічного напручування до бази випробувань, то очевидно, що до початку циклічного навантаження, коли тріщина ще відсутня, границя витривалості у матеріалу була б вищою, ніж після зародження мікротріщини. Виходячи з такого уявлення і базуючись на літературних джерелах, запропоновано залежності для опису поточного зниження границі витривалості у процесі втоми: від вихідної величини до стандартно визначеної – як стадія інкубації тріщини, і далі від цієї величини і до руйнування. Довговічність до моменту інкубації тріщини визначається розрахунковою ЛФ і пов'язана з проростанням

мікротріщини від початкового дефекту через слабкі мікроструктурні бар'єри (граничі субструктури) до міцного бар'єру – границі зерна. За напружень вище границі витривалості після проходження границі зерна йде подальше зниження границі витривалості, обумовлене ростом короткої тріщини.

Опис кінетики росту тріщини a_{1c} на стадії інкубації (від $n=0$ до $n=N_{Fr}$, N_{Fr} – довговічність до лінії Френча, n – поточна кількість циклів навантаження) прийнято у вигляді степеневої функції, подібної до використаної у [1]:

$$a_{1c} = a_0 \cdot \left(c - \frac{b_1 n}{N} \right)^k, \quad (1)$$

де a_0 – початковий дефект при $n=0$, з якого проходить інкубація початкової тріщини; $c=1$ одержано за умови $n=0$; b_1 – коефіцієнт порашований за умови $a_{1c} = a_d$ при $n=N_{Fr}$; a_d – розмір мікротріщини на границі витривалості; k – показник степеню у модифікованій кривій втоми.

На другій стадії ріст тріщини a_{2c} (від $n=N_{Fr}$ до $n=N$) описано за залежністю:

$$a_{2c} = a_d \cdot \left(c - \frac{b_2 n}{N} \right)^k, \quad (2)$$

де постійні c і b_2 визначені за умов $a_{2c} = a_d$ при $n=N_{Fr}$ та $a_{2c} = a_f$ при $n=N$, a_f – розмір тріщини при руйнуванні зразка.

З використанням наведених залежностей виконано розрахунки кінетики росту тріщин у гладких зразках і наведено порівняння з експериментальними даними роботи [2] для сталі 34CrMo4 (рис. 1). Такі ж розрахунки виконані для першої стадії втоми.

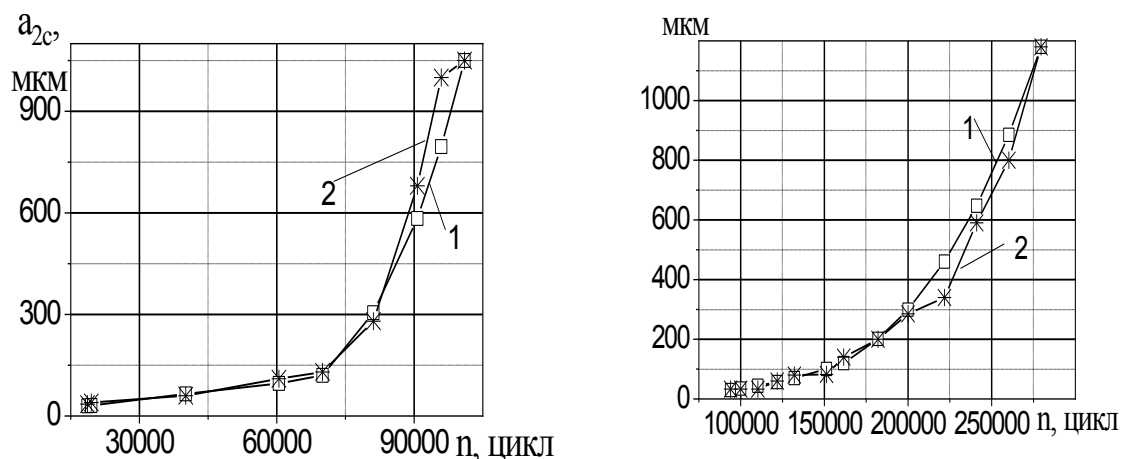


Рис.1. Розрахункова (1) і експериментальна (2) кінетика росту тріщини за залежністю (2) при $\sigma_a = 348,44$ МПа, $N = 101000$ цикл (а) і $\sigma_a = 313,32$ МПа, $N = 279500$ цикл.

Як видно з наведених рисунків, запропонований метод опису росту коротких тріщин у гладкому зразку дозволяє описати експериментальні дані з задовільним наближенням, що дозволяє вести розрахунковий моніторинг втомного пошкодження.

Перелік посилань

1. Цибаньов Г.В., “Розрахункове визначення лінії Френча (ЛФ) сталей з використанням експериментальних даних для побудови кривої втоми. Повід.2. Конкретизація методу та оцінка похибок розрахунку”, Пробл. міцн., №4, 2023, с. 39-46.
2. Polak J. Plastic strain-controlled short crack growth and fatigue life, Int. Journ. Fatigue, 27, 2005, p. 1192–1201.