

науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2020. – 112 с.

2. Хворостяний В. В. Методика оцінки ступеню локалізованого пошкодження елементів конструкцій з багатошарового скла методом статичного продавлювання пуансоном / В. В. Хворостяний, В. Є. Бодунов, І. Р. Качинська // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2023): матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції: у 2 т. – Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – Т. 1. – С. 123 – 124.

3. Smetankina N. Damageability Assessment of Impact-Resistant Glass for Transparent Armor Systems / N. Smetankina, V. Khvorostyanyi, D. Ustuhov, V. Bodunov, I. Kachinska // Proc. International Scientific and Technical Conference Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering, Kharkiv, Ukraine, 28 December, 10 p., 2023 (in press).

4. Родичев Ю. М. Повышение точности измерения деформаций и перемещений стеклянных пластин при изгибе с использованием измерительной системы GT-12-M8 / Ю. М. Родичев, Е. Б. Сорока, А. В. Дроздов, В. В. Хворостяный, В. Е. Бодунов // Актуальные проблемы инженерной механики: тезисы докладов VII международной научно-практической конференции. – Одесса, 2020. – С. 296 – 300.

Цибаньов Г.В.

(ІІМ ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ)

**МЕТОД РОЗРАХУНКУ ЗАРОДЖЕННЯ ТА РОСТУ ТРИЩИНИ ВТОМИ НА
ГЛАДКІЙ ПОВЕРХНІ**

E-mail: g.v.tsybanov@ipp.kiev.ua

Можливість застосування матеріалів при проектуванні елементів конструкцій, які в експлуатації піддаються навантаженню в області багатоциклової втоми, зазвичай оцінюється з використанням стандартизованих характеристик їх механічних властивостей, які визначаються на гладких зразках за різних режимів

навантаження. У випадку, коли розрахунки виконуються за діючими на конструкцію напруженнями, вихідні дані представляють кривими Веллера за симетричного циклу навантаження, модулем пружності, границею текучості та границею міцності матеріалу для гладких зразків. Результати пошуків, опубліковані останнім часом багатьма дослідниками, свідчать про значну роль у визначенні багатоциклової довговічності матеріалів і елементів конструкцій стадій інкубації і послідуєчого росту коротких тріщин втоми, що потребує додаткової експериментальної інформації при розрахунках довговічності. Для цього використовуються дані з росту довгих тріщин і апарат лінійної механіки руйнування, хоч його застосування до коротких тріщин втоми, для яких не виконуються її постулати, викликає запитання. Для узгодження даних між довгими та малими і короткими тріщинами приймаються різноманітні поправки [1] та додаткові трактування [2, 3]. Вони пов'язані з тим, що як інкубація, так і ріст коротких тріщин суттєво залежать від мікроструктурної будови конкретного полікристалу. Інкубація тріщини та її початковий ріст проходить по найбільш сприятливо розташованим кристалографічним площинам, напрямкам ковзання і статистичною взаємоорієнтацією елементів мікроструктури. Тобто, спочатку йде ріст мікротріщини у межах структурної одиниці полікристалу (через субструктуру) і далі – її послідуєчий ріст, який визначається статистичною орієнтацією відносно сусідніх з вершиною тріщини структурних одиниць. Надійний розрахунок довговічності елементів конструкцій має передбачати визначення рівня втомних пошкоджень, які гарантують його безвідмовну експлуатацію. Тому такий розрахунок потребує урахування означених вище стадій пошкодження матеріалів.

Раніше нами була запропонована модель втомного пошкодження сталей за багатоциклового навантаження гладких зразків та залежності для опису кінетики зниження границі витривалості у процесі втоми як параметра пошкодження [4]. Особливістю цієї моделі є відмова від загальноприйнятого поняття про границю витривалості як параметра, який характеризує вихідну характеристику втоми матеріалу: нами прийнято, що на початку циклічного навантаження гладкого зразка його вихідна границя витривалості σ_{r0} перевищує стандартно визначене її значення

σ_r , так як останнє визначається для пошкодженого навантаженням матеріалу при проростанні інкубованої початкової тріщини через слабкі субструктурні бар'єри до міцного мікроструктурного бар'єру на відстані a_d від поверхні.

З урахуванням [4] поточний розмір тріщини на першій стадії σ_{1c} (від $n=0$ до, $n=N_{Fr}$ – довговічність до лінії Френча) прийнято у вигляді:

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

де a_0 – початковий дефект при $n=0$, з якого проходить інкубація початкової тріщини;

$$b_1 = \frac{N_{Fr}}{N} \cdot \left[1 - \left(\frac{a_d}{a_0}\right)^{\frac{1}{k}}\right] \text{ при } n = N_{Fr},$$

a_d – розмір мікротріщини на границі витривалості.

Поточний розмір тріщини на другій стадії a_{2c} (від $n = N_{Fr}$ до $n=N$) визначається 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 урахуванням граничних умов остаточно одержано:

$$a_{2c} = a_d \cdot \left\{1 + \frac{N_{Fr} - n}{N - N_{Fr}} \cdot \left[1 - \left(\frac{a_f}{a_d}\right)^{\frac{1}{k}}\right]\right\}^k. \quad (3)$$

Як видно, для опису росту тріщини на першій і другій стадії необхідна інформація у вигляді параметрів кривої втоми матеріалу, лінії Френча, деякі характеристики мікроструктури та розмір тріщини при руйнуванні зразка.

Перевірка запропонованого розрахункового підходу виконана по експериментальним результатам роботи [5], у якій наведено необхідні дані з зародження і росту коротких тріщин втоми у сталі 42CrMo4. Лінія Френча побудована за методикою [4], в якій використовуються параметри кривої втоми. Прийняті для розрахунку розміри: $a_d = 30$ мкм, $a_f = 1$ мм, $a_0 = 6$ мкм.

На рис. 1 наведено результати співставлення розрахункових і експериментальних значень розміру тріщини при циклічному напруженні у відповідності з залежністю (3).

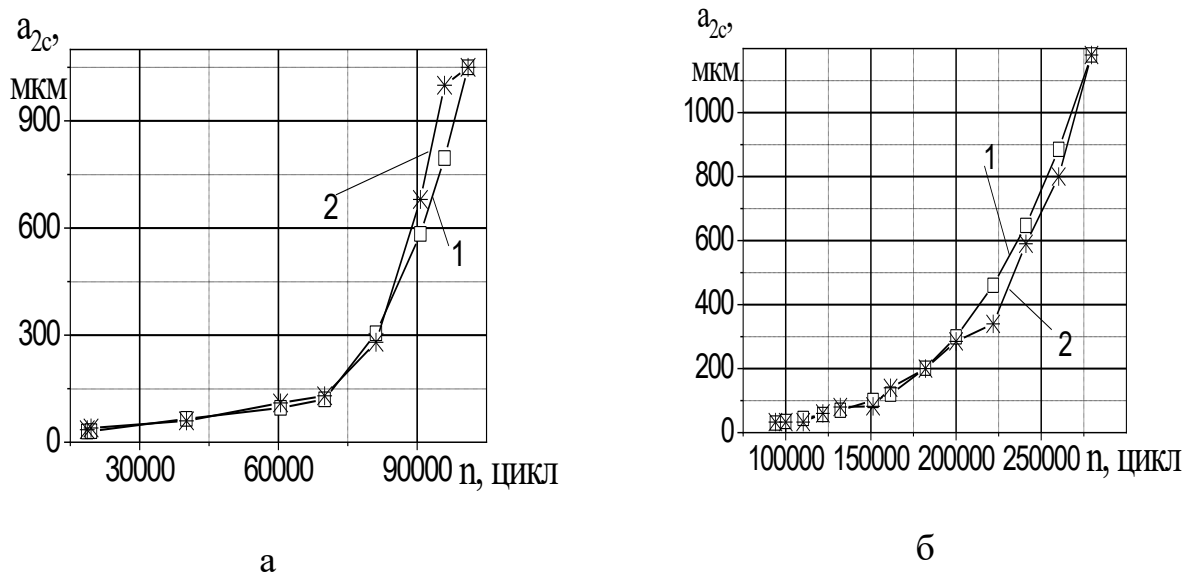


Рис. 1. Кінетика росту тріщини від a_{Fr} до a_f при $\sigma_a = 348,44$ МПа, $N = 101000$ цикл (а, б) і $\sigma_a = 313,32$ МПа, $N = 279500$ цикл: 1 – розрахунок; 2 – експеримент [5]

Як видно з наведених результатів, запропонований метод розрахунку кінетики росту короткої тріщини дає задовільний опис експериментальних даних з невеликими відхиленнями і може бути виконаний для різних рівней амплітуд напружень у області довговічностей багаточислової втоми. Подібні результати можуть бути одержаними і для першої стадії росту тріщини за залежністю (1). Тут вони не наводяться, так як в [5] дані про ріст тріщини в межах одного зерна відсутні. З іншого боку такий опис має більш теоретичне значення з огляду на те, що при експлуатації конструкцій тріщини таких розмірів не фіксуються. Крім того, для практичного використання розрахункового відслідковування росту коротких тріщин важливо мати такий метод для випадку наявності концентратора напружень, у якому зазвичай зароджуються тріщини втоми в елементах конструкцій. Надалі дослідження будуть виконані у такому напрямку.

Література:

1. M. El Haddad., T.H. Topper, K.N. Smith, Prediction of non-propagating cracks. Eng. Fract. Mech., 1979, №11 (3). – P. 573–584.
2. S. Ishihara, A.J McEvily, Analysis of short fatigue crack growth in cast aluminum alloys. Int. Journ. Fatigue. V. 24, Issue 11, November 2002. – P. 1169-1174.
3. J. Maierhofer, R. Pippan, H.-P. Gänser, Modified NASGRO equation for physically short cracks. Int. Journ. Fatigue. V. 59, February 2014. – P. 200-207.
4. Г. В. Цибаньов. Розрахункове визначення лінії Френча (ЛФ) сталей з використанням експериментальних даних для побудови кривої втоми. Повідомлення 2. Конкретизація методу та оцінка похибок розрахунку. Пробл. міцності, №4, 2023. – С. 39-46.
5. J. Polak. Plastic strain-controlled short crack growth and fatigue life. Int. Journ. Fatigue, 27, 2005. – P. 1192–1201.

Чорноіваненко К.О., Мовчан О.В.

(УДУНТ, м. Дніпро)

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ НАВУГЛЕЦЬОВАНОГО
Fe-Cr-Ti СПЛАВУ**

E-mail: ekatmovchan@gmail.com

Мікроструктура істотно впливає на корозійну стійкість сталі [1-3]. Це особливо стосується сталей з карбідним зміцненням. Так, із збільшенням площі карбідної фази швидкість корозії підвищується. Підвищення вмісту вуглецю в сталі також збільшує швидкість корозії. У зв'язку з цим, виник інтерес дослідити корозійну стійкість навуглецьованого сплаву Fe-2,8 % Cr-1,4 % Ti, зміцненого з поверхні карбідними волокнами.

Дослідний сплав Fe-2,8 % Cr-1,4 % Ti навуглецьовували за двома режимами – при температурах 950 і 1100 °С протягом 3 годин. Це було зроблено з метою одержання різних структур у дифузійному шарі. Чітко виражені колоніальні структури формувалися у процесі навуглецювання при температурі 1100 °С.