

Я. Шайнога

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Науковий керівник **Т.В. Гембара**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики і механіки

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗВИТКУ ВТОМНИХ ТРІЩИН В АГРЕСИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ВОДНЮ

Пропонується розрахункова математична модель поширення втомних тріщин у зварних з'єднаннях в умовах дії водневого середовища. В основу моделі покладено енергетичний критерій втомного руйнування, суть якого полягає в наступному. Розглядається пружно-пластична пластина, послаблена тріщиною. Пластина знаходиться у водневовмістному середовищі (тиск водню - p_H , температура середовища - T) та піддана дії циклічного розтягу. Нехай за ΔN циклів навантаження тріщина виросла на величину Δl (рис. 1. а), а біля її вершини утворилася циклічна пластична зона довжиною l_{pfH} (рис. 1. б).

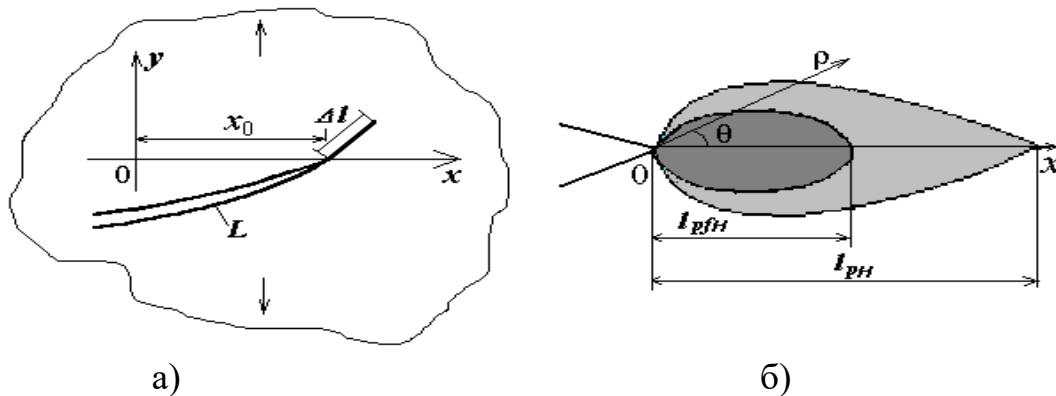


Рис.1. Схема пластини з тріщиною

Як відомо, l_{pfH} менша за довжину статичної пластичної зони l_{pH} і залежить від асиметрії циклу R так: $l_{pfH} = 0,25(1 - R)^2 l_{pH}$. Згідно з енергетичним критерієм руйнування для будь-якого матеріалу існує критичне значення енергії W_{pH} , необхідної для елементарного акту руйнування при відповідних зовнішніх фізико-хімічних факторах (енергія руйнування матеріалу у водневому середовищі при певній температурі та тиску водню). Отже, для того, щоб втомна тріщина виросла на довжину Δl за ΔN циклів навантаження, дисипація енергії під час пластичних деформацій в матеріалі в точках (x,y) на шляху росту тріщини $W=W(x,y)$ повинна досягнути значення енергії руйнування матеріалу у водневому середовищі [1] $W_{pH}(x,y,C_H)$ або, представляючи повну енергію W через її складові отримаємо

$$\Delta W_s + \Delta N W_c = \Delta W_{pH}, \quad (1)$$

де $W_s=W_s(x,y,C_H)$ - енергія при статичному навантаженні до максимуму циклу, а $W_c=W_c(x,y,C_H)$ - дисипація енергії пластичних деформацій за один цикл навантажень при рівні концентрації водню в металі C_H . Вважаючи, що приріст тріщини Δl малий і позначаючи питому енергію при статичному навантаженні до максимуму циклу $\gamma_s=\gamma_s(x,y,C_H)$, величину ΔW_s можна наближено представити так:

$$\Delta W_s(x, y, C_H) = \gamma_s(x, y, C_H) \Delta l. \quad (2)$$

Енергію руйнування W_{pH} , необхідну для росту тріщини на величину Δl , визначено як

$$\Delta W_{pH}(x, y, C_H) = \beta_H(x, y, C_H) \gamma_H(x, y, C_H) \Delta l. \quad (3)$$

Тут $\gamma_H(x, y, C_H)$ - питома енергія руйнування, потрібна для утворення одиниці довжини тріщини при рівні концентрації водню в металі C_H ; β_H - коефіцієнт Морроу, який пов'язує статичну і циклічну енергії руйнування матеріалу у водні [1-2], і рівний $\beta_H = \sigma_{sH}^4 \sigma^{-4}$, де $\sigma_{sH} = \sigma_{sH}(x, y, C_H)$ - істинна границя міцності матеріалу у водні; $\sigma = \sigma(x, y)$ - напруження в зоні передруйнування. Після підстановки виразів (2), (3) у рівняння (1), отримано:

$$\Delta \gamma_s(x, y, C_H) + \Delta N W_c(x, y, C_H) = \beta_H(x, y, C_H) \Delta \gamma_H(x, y, C_H).$$

Із цього співвідношення знайдено після переходу до границі при $\Delta N \rightarrow 0$

$$\frac{dl}{dN} = \frac{W_c(x, y, C_H)}{\beta_H(x, y, C_H) \gamma_H(x, y, C_H) - \gamma_s(x, y, C_H)}. \quad (4)$$

Отримане співвідношення (4) і є одним із рівнянь для визначення кінетики росту втомної тріщини.

Література

1. Hembara O., Chepil O., Hembara T., Mochulskyi V., Sapuzhak Ya. Influence of temperature and hydrogen on fatigue fracture of 10kh15n27t3v2mr steel / Journal of Theoretical and Applied Mechanics. – Warsaw 2020 – **58**, 1. – P. 3-15, DOI: 10.15632/jtam-pl/115214.
2. M. Dutkiewicz, O. Hembara, O. Chepil, M. Hrynenko and T. Hembara. A New Energy Approach to Predicting Fracture Resistance in Metals // Materials (Basel, Switzerland), 2023. -16, 1566.