

УДК 539.3

В.М. Бревус, О.П. Ясній, к.т.н., доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ РОСТУ ВТОМНИХ ТРІЩИН В КОЛЕКТОРІ ПАРОПЕРЕГРІВНИКА

V.M. Brevus, O.P. Yasniy, Ph.D, Assoc., Prof.

### FATIGUE CRACKS GROWTH MODELING IN SUPERHEATER HEADER

Теплові електростанції (ТЕС) належать до ключових підприємств енергетичної галузі. Більшість ТЕС в Україні вичерпала свій проектний ресурс, який значною мірою залежить від основних елементів пароводяної системи енергоблоків, що мають значні експлуатаційні пошкодження.

Зокрема, колектор пароперегрівника ТЕС відносять до елементів конструкцій, руйнування яких може призвести до катастрофи. Цей елемент конструкції виготовлений зі сталі 12Х1МФ. Колектори пароперегрівників ТЕС експлуатуються у середовищі водяної пари під тиском  $p = 15,5$  МПа за температури  $545$  °С. Впродовж експлуатації у матеріалі цього елемента конструкцій виникають тріщини, які підростають під впливом зміни напружень, спричинених зупинками та пусками котла.

Колектор розглядали у вигляді товстостінного циліндра із внутрішнім радіусом  $R_i = 112,5$  мм і товщиною стінки  $t = 50$  мм (рис. 1).

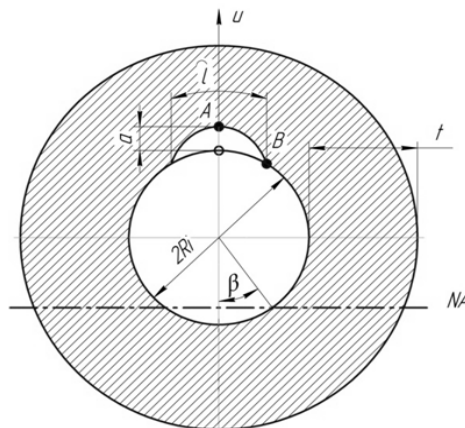


Рис. 1. Схема частково колової тріщини на внутрішній стінці колектора;  $a$  — глибина,  $l$  — довжина дефекту на поверхні,  $NA$  — нейтральна вісь [1]

Змодельовано ріст частково колової півеліптичної втомної тріщини на внутрішній стінці колектора пароперегрівника за асиметрії циклу навантаження  $R = 0$ ; нут  $R = K_{\min}/K_{\max}$ ;  $K_{\min}$ ,  $K_{\max}$  — мінімальний та максимальний коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) циклу навантаження.

Моделювали підростання тріщини на середньоамплітудній ділянці діаграми втомного руйнування. Рівняння росту тріщини має наступний вигляд:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n, \quad (1)$$

де  $C$  та  $n$  — сталі, які визначають з експерименту. Для матеріалу після напрацювання 178,5 тис. год  $C = 1,06 \cdot 10^{-10}$  м/цикл,  $n = 2,00$  [2].

КІН для найглибшої точки і точки на поверхні визначали за формулами із праці [3]

$$K_I = \sqrt{\pi a} \left( \sum_{j=1}^3 \sigma_j f_j(a/t, l/a, R_i/t) + \sigma_{bg} f_{bg}(a/t, l/a, R_i/t) \right), \quad (2)$$

де  $\sigma_j$  ( $j = 0, 1, 2, 3$ ) — коефіцієнти многочлена, отримані апроксимацією розподілу напружень у стінці циліндра без тріщини многочленом 3-го степеня за формулою

$$\sigma = \sigma(u) = \sum_{j=0}^3 \sigma_j \left( \frac{u}{a} \right)^j \quad \text{при } 0 \leq u \leq a, \quad (3)$$

де  $\sigma_{bg}$  — напруження згину, у досліджуваному випадку дорівнюють нулю;  $f_j, f_{bg}$  — поправкові функції для точок  $A$  та  $B$  (проміжні значення знаходили лінійною інтерполяцією) [2].

Ріст тріщини моделювали числово, розв'язуючи систему з двох диференціальних рівнянь Періса типу (1), які пов'язують розміри тріщини з відповідними КІН.

Розглядали тріщини із співвідношеннями початкової довжини  $l_0$  до глибини  $a_0$ ,  $l_0/a_0 = 2, 4, 8, 16$ . Початкову глибину тріщини  $a_0$  вибирали рівною 10, 20, 30, 40, 45 мм.

Отримано залежності глибини тріщини  $a$  від кількості циклів навантаження  $N$  для різної початкової форми дефекту  $l_0/a_0$ , а також залежності коефіцієнта форми  $l/a$  від відносної глибини тріщини  $a/t$ .

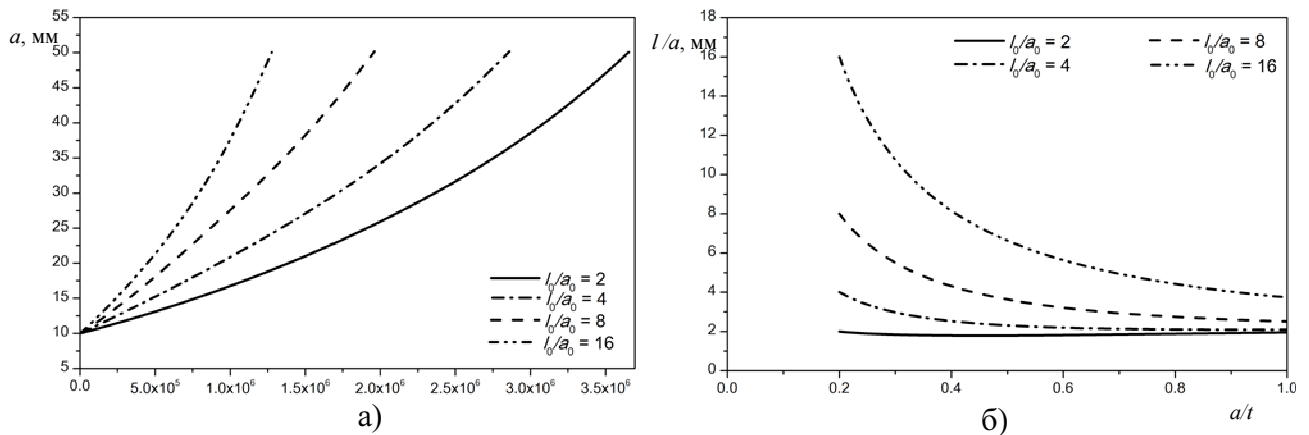


Рис.2. а) залежність глибини тріщини  $a$  від кількості циклів  $N$ ; б) залежність коефіцієнта форми тріщини  $l/a$  від її відносної глибини  $a/t$

Виявлено, що збільшення коефіцієнта форми  $l_0/a_0$  початкової тріщини пришвидшує її ріст. Зокрема, зміна коефіцієнта форми  $l_0/a_0$  від 2 до 16 зменшує довговічність моделі колектора у 2,86 рази (рис. 2 а). Також слід зауважити, що із збільшенням кількості циклів навантаження коефіцієнт  $l/a$  спадає, тобто тріщина стає глибшою (рис. 2 б).

### Література

1. Delfin P. Limit Load Solutions for Cylinders with Circumferential Cracks Subjected to Tension and Bending [Текст] / P. Delfin. SAQ // FoU-Report. — Stockholm: SAQ Kontroll AB, 1997. — 96/05.
2. Ясній О.П. Вплив температури на циклічну тріщиностійкість сталі колектора пароперегрівника [Текст] / О. Ясній, В. Бревус, В. Немченко // Вісник ТНТУ. — 2012. — Т. 68. — № 4. — С. 35–41.
3. Dillstroem, P. A. combined deterministic and probabilistic procedure for safety assessment of components with cracks [Текст] / P. A. Dillstroem, M. Bergman, B. Brickstad et al: Handbook. - 2008. P. 173–175