

# ОЦІНЮВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ОСІ КОЛІСНОЇ ПАРИ ЛОКОМОТИВА ІЗ ПОВЕРХНЕВОЮ ПОПЕРЕЧНОЮ ТРІЩИНОЮ

Д. В. Рудавський<sup>1</sup>, Ю. І. Канюк<sup>1</sup>, М. С. Шефер<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів

<sup>2</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів

A new calculation methodology of residual lifetime estimation of railway wheel axle is proposed. The methodology is based on kinetic equation of fatigue crack growth, obtained by energy approach of fracture mechanics of materials. It is shown, that comparatively small crack-like defects at the wheel axle surface reach critical sizes in comparatively short run.

**Вступ.** У процесі руху потяга, колісні пари локомотива передають навантаження від його ваги на рейки, направляють рух локомотива уздовж рейкової колії і за рахунок обертаючих моментів, які створюють тягові електродвигуни, забезпечують сили тяги. Колісні пари є найбільш відповідальними елементами механічної частини локомотива, оскільки від їх стану залежить безпека його руху. Нерідко в осі колісної пари присутні тріщиноподібні дефекти, які можуть виникати як на етапі її виготовлення, так і в процесі експлуатації.

Оскільки осі працюють під дією циклічно змінного навантаження, то це сприяє зародженню та поширенню в них втомних тріщин, які з часом досягають критичних розмірів.

Хоча осі колісних пар рухомого складу залізниці є елементами довготривалої експлуатації, на практиці нерідко трапляється їх передчасне руйнування, зумовлене тріщиноподібними дефектами (виробничого або експлуатаційного характеру), які розвиваючись за втомним механізмом при експлуатаційних навантаженнях призводять до повного руйнування осі (рис. 1).

Незважаючи на те, що відповідальні елементи конструкцій локомотива підлягають періодичному технічному огляду, їх втомне руйнування часто відбувається без видимих ознак та призводить у результаті до експлуатаційних відмов, а інколи і до непередбачених аварій, які нерідко супроводжуються не лише значними матеріальними збитками, але й порушенням екологічної безпеки навколишнього середовища. Щоб передбачити таке руйнування, потрібно вміти розраховувати період докритичного росту виявлених втомних тріщин в осі колісної пари залежно від їх розмірів і розташування, який в даному випадку і визначає залишковий ресурс осі із тріщиною.



Рис. 1. Втомні злами осей колісної пари за сумісної дії різних макромеханізмів руйнування: *a* – біля колеса, *b* – в середній частині та *c* – в шийці осі.

**Обґрунтування методики досліджень.** В залежності від конструктивного виконання колісні пари локомотивів можуть бути з односторонньою або двосторонньою передачею тягового моменту. У випадку односторонньої передачі (рис. 2, *a*) при русі локомотива на колісну вісь окрім згинаючих будуть діяти також і скрутні зусилля за рахунок скрутного

моменту, який створюють тягові електродвигуни під час рушення потяга. В такому випадку поверхнева втомна тріщини на осі буде розвиватись за змішаними I+II+III макромеханізмами. Ця обставина значно ускладнює окреслену вище ситуацію, зокрема у теоретичному плані. У літературі проблема руйнування таких осей дуже мало вивчена.

Як показує практика, найпоширеніші дефекти, які виникають на поверхні осі колісної пари, близькі за формою до півеліптичної тріщини (рис. 1). Поширення контуру такої тріщини (рис. 2) буде відбуватись за присутності усіх трьох макромеханізмів руйнування (нормального відриву, поперечного та повздожнього зсуву).

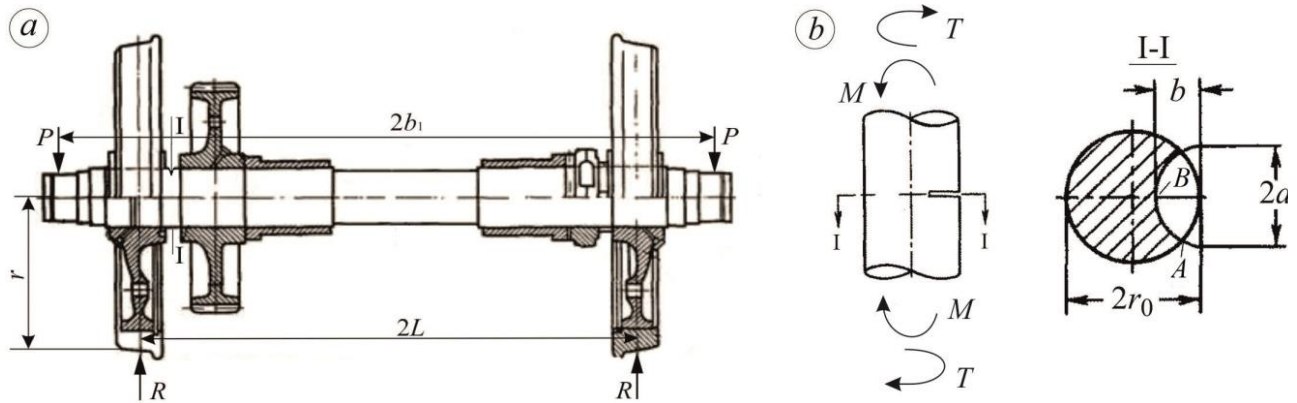


Рис. 2. Схема навантаження колісної пари локомотива із поверхневою тріщиною в перерізі I-I осі (a) та геометрія розташування поперечної півеліптичної тріщини (b).

**Формулювання задачі.** Для визначення функції швидкості  $V$  росту втомної тріщини у довільній точці  $D$  її півеліптичного контуру (рис. 2b) скористаємося рівнянням (3), яке отримали [1–3] за енергетичним підходом механіки руйнування:

$$V_D(a, b) = a_1 \frac{(1-R)^4 K_{ID_{\max}}^4(a, b) - a_2}{a_3 - K_{ID_{\max}}^2(a, b) - K_{IID_{\max}}^2(a, b) - K_{IIID_{\max}}^2(a, b)}, \quad (1)$$

де  $K_{iD_{\max}}$  – максимальні коефіцієнти інтенсивності напружень у точці  $D$ ,  $R$  – асиметрія циклу навантаження,  $a_i$ ,  $i = 1, 2, 3$  – деякі константи матеріалу, що визначають із експерименту на циклічну втому [4].

Залежності довжин півосей  $a$  та  $b$  від кількості циклів навантаження  $N$  повністю визначатимуть кінетику росту втомної тріщини. Ці залежності можна отримати із розв'язку системи двох звичайних диференціальних рівнянь [5]

$$\begin{aligned} da/dN &= V_A(K_{IA_{\max}}, K_{IIA_{\max}}, K_{IIIA_{\max}}), \\ db/dN &= V_B(K_{IB_{\max}}, K_{IIB_{\max}}, K_{IIIB_{\max}}) \end{aligned} \quad (2)$$

із відповідними граничними умовами

$$a(0) = a_0, \quad b(0) = b_0,$$

де  $V_{A, B}$  – функції швидкості росту півеліптичного контуру тріщини відповідно у точках  $A$  та  $B$  (рис. 2b),  $K_{iA_{\max}}$  та  $K_{iB_{\max}}$ , ( $i = I, II, III$ ) – коефіцієнти інтенсивності напружень у них (рис. 2b).

За критерій вичерпання залишкового ресурсу умовно приймали рівність півосі  $b$  величині радіуса поперечного перерізу колісної осі, тобто

$$b(N_c) = r_0, \quad (3)$$

де  $N_c$  – гранично-допустима кількість циклів навантаження–розвантаження тріщини.

Систему звичайних диференціальних рівнянь першого порядку (2) розв'язували числовим методом Рунге–Кутта [6] для випадку осі колісної пари тепловоза ЧМЕЗ. Результати розрахунку представлені на рис.3.

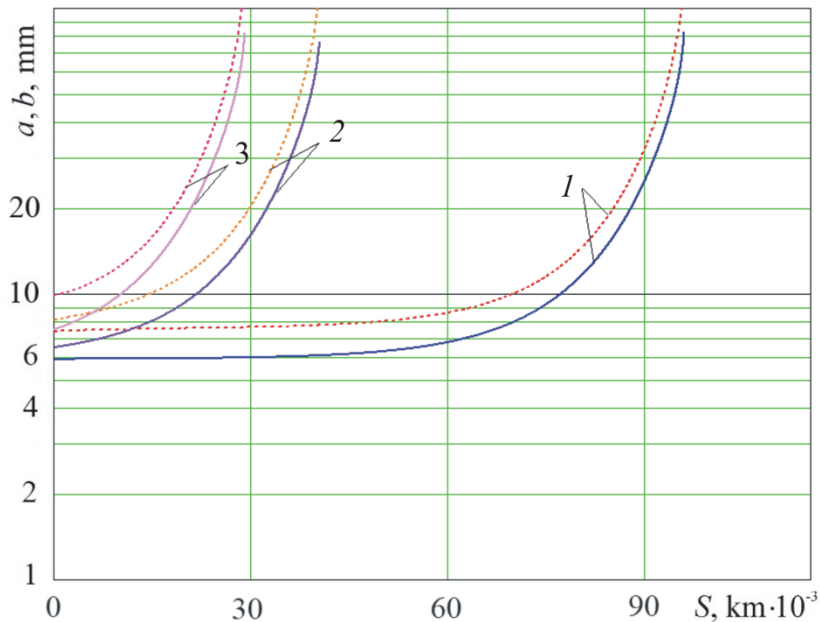


Рис. 3. Криві зміни розміру півосей півеліптичного контуру втомної тріщини (суцільні – піввісь  $b$ , штрихові –  $a$ ) для різних їх початкових значень за співвідношення півосей  $b_0/a_0 = 0,8$  (1 –  $b_0 = 5,92$  mm; 2 – 6,5; 3 – 7,5);

**Висновки.** На основі проведених розрахунків залишкового ресурсу осі колісної пари тепловоза ЧМЕЗ, що ґрунтується на енергетичних підходах механіки втомного руйнування матеріалів, показано, що порівняно невеликі за розмірами тріщиноподібні дефекти на поверхні осі колісної пари можуть за невеликий пробіг досягнути критичних розмірів, а також встановлено, що кінетика росту втомної поверхневої тріщини залежить не лише від площі початкового тріщиноподібного дефекту, але й суттєво від початкової конфігурації, тобто від співвідношення між великою  $a_0$  та малою  $b_0$  півосями його півеліптичного контуру.

### Література

1. Рудавський Д. В. Залишковий ресурс металевих елементів конструкцій у водневмісних середовищах. – К.: Наук. думка, 2011. – 208 с.
2. Скальський В. Р., Рудавський Д. В., Басараб Р. М. Оцінка залишкової довговічності труб магістральних нафтопроводів із поверхневими тріщинами // *Методи розв’язування прикладних задач механіки деформівного твердого тіла*. – Дніпропетровськ: Ліра, 2012. – Вип. 13. – С. 344–350.
3. Скальський В. Р., Рудавський Д. В., Дубицький О. С. Розрахунок залишкового ресурсу ресорного листа з наявною поверхневою тріщиною // *Проблеми прочності*. – 2013. – № 1. – С. 33–42.
4. Оцінка розвитку втомного руйнування в’язких конструкційних сталей / В. Р. Скальський, Д. В. Рудавський, П. Я. Галан, І. М. Лясота, П. П. Великий, Я. Д. Толопко // *Вісник Дніпропетровськ. нац. ун-ту залізн. транспорту ім. акад. В. Лазаряна*. – 2010. – Вип. 33. – С. 251–254.
5. Андрейкив А. Е., Дарчук А. И. Усталостное разрушение и долговечность конструкций. – К.: Наук. думка, 1992. – 184 с.
6. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. – М.: Бинум, 2001. – С. 363–375.