

ОЦІНЮВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК ЗА КРИТЕРІЄМ ЗАРОДЖЕННЯ ВТОМНИХ ТРІЩИН

**В.В. Косарчук¹, О.В. Агарков¹, О.Ю. Рафальський¹, М.Г. Чаусов²,
А.П. Пилипенко², П.О. Марущак³**

¹ Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ
² Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Київ
³ Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

The main advantage of the developed method compared to traditional approaches (full-scale and model experiments) is the possibility to conduct numerical experiments dedicated to the effect of individual process and design factors or their combination on the theoretical life of the structural element. The results of such numerical experiments can be used to optimize the design and technological parameters of critical structural elements of railway track and rolling stock.

Відомо, що розвиток залізничного транспорту зумовлює підвищенням вимог по його експлуатаційних параметрів (зростання потужності тяглового рухомого складу, зростання швидкостей руху, підвищенням вантажопідйомності), що неминуче збільшує температурно-силовий вплив на елементи конструкцій рухомого складу та рейкових шляхів.

Екстремальні умови експлуатації сприяють зростанню кількості відмов основного елементу залізничних шляхів – рейок, надійність яких визначає не лише безпеку руху, але й економічні показники функціонування залізниці.

Контактно-втомні пошкодження та зношення голівки рейок є одними із визначальних причин їх відмов. Такі пошкодження зумовлюють утворення поверхневих та внутрішніх тріщин у голівці рейки. Слід зазначити, що механізми утворення подібних дефектів та кінетика їх поширення у різних випадках може різнитись. Поширення поверхневих тріщин із наступним відшаруванням частинок металу є одним з основних механізмів зношування голівки рейки за контактної взаємодії із колесами рухомого складу. Проаналізувавши злами рейок із внутрішніми тріщинами варто відзначити, що механізм їх утворення і поширення повністю визначається напружено-деформованим станом рейки під час експлуатації, чистотою її матеріалу та наявністю технологічних дефектів.

Такі тріщини (поздовжні, похилі, поперечні) можуть зароджуватись на глибинах 4...16 мм від поверхні катання. Найчастіше це відбувається в місцях концентрації напружень, зокрема в околі включень, або технологічних дефектів. В наш час встановлено, що основною причиною появи внутрішніх тріщин є накопичення пластичних деформацій під впливом циклічних напружень.

У даній доповіді розглянуто основні елементи методики прогнозування довговічності рейок за критерієм виникнення внутрішніх контактно-втомних тріщин. Пропонований підхід ґрунтується на використанні кінетичної теорії пошкодженості та структурної моделі пружно-пластичного деформування матеріалу. Напружено-деформований стан рейки в зону контакту «рейка-колесо» змодельовано методом скінченних елементів. Геометрична модель використана при обчисленнях, являла собою ділянку рейки довжиною 600 мм з шарнірними опорами на торцях. Це забезпечило урахування впливу її прогину на розмір плями контакту. В центральній частині рейки було визначено ділянку, яка за розмірами була в три рази більшою за очікувану зону контакту.

У цій ділянці було застосовано дрібнішу сітку розбиття елементів. Обчислено проведено за тривимірної пружено-пластичної постановки. Пропонована методика оцінювання довговічності передбачала обчислення приросту пошкодженості матеріалу у кожній точці елементу, при зміні навантаження у часі та наступне підсумовування цих пошкоджень.

За умови досягнення сумарним пошкодженням граничного значення вважали, що конструктивний елемент втратив свою тримку здатність, тобто у ньому зародилась тріщина. Її подальше підростання слід розглядами із застосуванням механіки тріщин. Проте, оскільки обчислювальні витрати на створення такої методики є достатньо значними, у першому наближенні автори обмежились розглядом лише пошкоджень спричинених малоцикловою втомою, із застосуванням підходу їх лінійного підсумовування.

При цьому пошкодження за i -й цикл навантажування визначали як $\Delta\omega_i = \frac{1}{(N_f)_i}$, де довговічність N_f за біжучого рівня напружень та деформацій знаходили із розв'язку нелінійного рівняння виду:

$$(FP)_{\max} = \frac{(\bar{\sigma}_f)^2}{E} (2N_f)^{2b} + \bar{\sigma}_f \bar{\varepsilon}_f (2N_f)^{b+c},$$

де $FP = \langle \sigma_{\max} \rangle \frac{\Delta\varepsilon}{2} + J\Delta\tau\Delta\gamma$ – параметр пошкодженості.

Тут дужками $\langle \dots \rangle$ позначено оператор $\langle x \rangle = \frac{|x| + x}{2}$; σ_{\max} – найбільше напруження, нормальне до площини поширення тріщини; $\Delta\varepsilon$ – розмах нормальної деформації в напрямку дії σ_{\max} ; $\Delta\tau$ и $\Delta\gamma$ – розмахи дотичних напружень та зсувних деформацій в площині поширення тріщини; J – параметр матеріалу, що визначається напружено-деформованим станом; E – модуль пружності матеріалу. Інші параметри визначали з апроксимації кривої втомної довговічності матеріалу, одержаної за умов одновісного циклічного навантажування (розгяг-стиск, або кручення) з контролем амплітуди деформування. Площину поширення тріщини (критичну площину) визначали як матеріальну площину з найбільшим значенням параметру пошкодженості FP . В доповіді розглянуто приклади використання пропонованої методики, вказано її обмеження та особливості застосування.