

УДК 539.375

Про руйнування рейки в умовах контактної втоми кочення з врахуванням залишкових напружень

Марченко Г. П., к.ф.-м.н., наук. співроб.

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України
(вул. Наукова, 5, Львів, 79601, Україна)

Залишкові напруження, які виникають у залізничних рейках, можуть суттєво впливати на їх контактну-втомне руйнування. Під час експлуатації рейок у приповерхневому шарі виникають локальні пластичні деформації, що призводить до механічного зміцнення в цій ділянці головки рейки. Як наслідок тут залишкові напруження стають стискальними, а біля самої поверхні досягають найбільшого значення.

Тому для рейки в умовах контактної втоми кочення і за наявності таких напружень особливо небезпечні поверхневі тріщини, які поширюються в головці. На сьогодні на залізницях Європи у 30% випадків причиною заміни рейок є саме контактну-втомні дефекти в головці [1]. Однак вплив залишкових напружень на напружений стан в околі таких тріщин вивчено недостатньо.

У продовження попередніх досліджень автора [2–5] цю задачу розв'язано у двовимірній постановці методом сингулярних інтегральних рівнянь [6], коли залишкові напруження моделювали масовими силами з лінійним розподілом. Для цього було використано отриману G. Budnitzki експериментальну епюру розподілу залишкових напружень по висоті рейки типу Р65 [7], а її ділянку біля бігової поверхні рейки апроксимували лінійною функцією.

Замість пошкодженої поверхневим тріщиноподібним дефектом залізничної рейки розглянуто пружну ізотропну півплощину з крайовим прямолінійним розрізом (тріщиною) (рис. 1). Півплощину віднесено до системи координат xOy , вісь Ox якої збігається з краєм півплощини, а початок O – з гирлом тріщини; саму тріщину віднесено до локальної системи координат $x_1O_1y_1$.

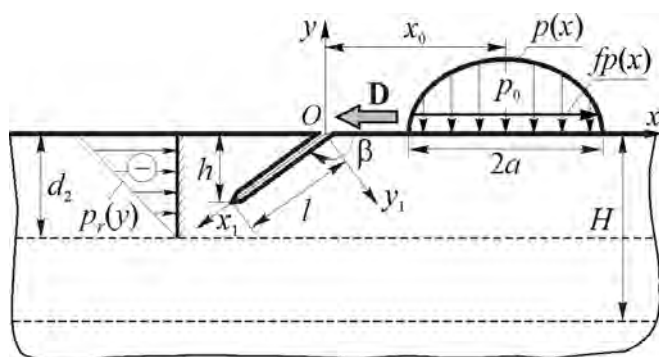


Рис. 1 Геометрично-силова схема для рейки з крайовою тріщиною під дією модельного контактного навантаження та залишкових напружень; H – висота головки рейки, D – напрям руху контактного навантаження.

Контактний тиск від колеса на рейку моделювали повторним поступальним переміщенням вздовж межі півплощини (у напрямку справа наліво) герцівських контактних зусиль:

$$\sigma_y(x) - \tau_{xy}(x) = -(1 + if)p(x) = -p_0(1 + if)\sqrt{a^2 - (x - x_0)^2}/a, \quad |x - x_0| \leq a,$$

де f – коефіцієнт тертя в контактi між тiлами кочення, p_0 – максимальний тиск у центрі дiлянки контакту. Положення дiлянки контакту вiдносно гирла трiщини визначав параметр $\lambda = x_0/l$, вiдносну довжину трiщини – параметр $\varepsilon = l/a$, а її орієнтацію – кут β .

Поздовжні залишкові напруження в приповерхневому шарі рейки завтовшки d_2 на довільній вертикальній лінії ($|x| < \infty$) задавали лінійним розподілом

$$p_r(y) = Ay + B,$$

де $A = p_r'/d_2$, $B = -p_r'$, а p_r' – максимальне значення стискальних залишкових напружень, яке досягається на біжучий поверхні рейки (при $y = 0$).

Слід зауважити, що береги тріщини за певних розташувань герцівського контактного навантаження (за певних λ) і з урахуванням стискальних залишкових напружень можуть контактувати. В цій роботі досліджувався випадок їх гладкого контакту.

Задачу було зведено до розв'язування сингулярних інтегральних рівнянь вiдносно похідних від розривів переміщень на берегах тріщини. Ці рівняння розв'язували чисельно методом механічних квадратур Гаусса–Чебишова. На основі їх розв'язку знаходили коефіцієнти інтенсивності напружень (КІН) у вершині тріщини.

КІН обчислено для крайової пологої тріщини (кут орієнтації $\beta = 155^\circ$) з різними відносними довжинами $\varepsilon = 0,5 \div 1,5$ за коефіцієнтів тертя $f = 0,1$ і $0,3$. Максимальний тиск p_0 на ділянці контакту колеса з рейкою був вибраний 1100 МПа і 1500 МПа, максимальні залишкові напруження $p_r' = 175$ МПа, висота рейки $H = 180$ мм, а довжина ділянки контакту $2a = 14$ мм. При цьому вибір найбільшого ε залежав від умови, щоб глибина залягання вершини тріщини h не перевищувала $d_2 = 5$ мм.

1. Heinsch M. Improving rail durability and life // Int. Railway J. — 2004. — № 2. — P. 13–15.
2. Марченко Г. Про вплив залишкових напружень на напружений стан в залізничних рейках // Сучасні проблеми механіки та математики. Матеріали II Міжнар. наук. конф.: в 3-х т. / Під ред. Г. С. Кіта, Б. Й. Пташника, Р. М. Кушніра. — Львів: ІППІММ, 2008. — 2. — С. 65–67.
3. Марченко Г. Про напружений стан в залізничних рейках з врахуванням залишкових напружень // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій / Під ред. В. В. Панасюка. — Львів: ФМІ НАНУ, 2009. — С. 149–153.
4. Марченко Г. П. Вплив залишкових напружень на коефіцієнти інтенсивності напружень для поверхневої тріщини в головці рейки // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2010. — № 1. — С. 57–62.
5. Дацишин О., Марченко Г. Про вплив залишкових напружень на напружений стан біля поверхневої тріщини в головці рейки // Машинознавство. — 2011. — №5-6. — С. 12–16.
6. Саврук М. П. Двумерные задачи упругости для тел с трещинами. — К.: Наук. думка, 1981. — 324 с.
7. Budnitzki G., Edell K.-O. Railway rails can fracture under service conditions // Int. Polym. Proc. — 2005. — № 11-12. — P. 674-681.