

І. Андрейко

Ст. наук. співр., канд. техн. наук

В. Кулик

Канд. техн. наук

В. Прокопець

Інженер

Фізико-механічний інститут
ім. Г. В. Карпенка Національної
академії наук України,
м. Львів

УДК 539.43:669.018.294

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTI ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС

Досліджено пошкоджуваність поверхні кочення модельних зразків залізничних коліс. Встановлено основні дефекти поверхні кочення типу вищербина. Запропоновано схеми формування вищербин через пітингоутворення та розшарування.

сталі залізничних коліс, контактна втома, вищербина, пітингоутворення, розшарування

У світі щорічно виготовляється 3...3,5 млн вагонних коліс (дані ВНИИКИ м. Москва, Росія), на країни СНД припадає 40...50%, Україна випускає 550 тис. коліс. Строк їх служби повинен становити 12 років, проте на початку 90-х років він становив 4...5 років [1, 2]. У першу чергу термін служби залізничних коліс визначається властивостями їхньої поверхні кочення та гребеня.

З позицій економічної ефективності і безпеки експлуатації підвищення терміну служби залізничних коліс є однією з найважливіших проблем залізничного транспорту. На технічне обслуговування і ремонт колісних пар витрачається приблизно 30 % усіх витрат служб рухомого складу залізниці [3]. Більша частина витрат пов'язана з відновленням профілю поверхні кочення експлуатованих коліс та зі заміною зношених або пошкоджених коліс.

Впродовж 2008 року під час експлуатації залізничних коліс виявлено 7 тріщин, у т.ч. 4 тріщини в диску, 2 тріщини та один відкол в ободі; під час ремонту виявлено 505 тріщин, в тому числі в ободі – 243, у гребені – 181 і в диску – 81 [4]. Більшість цих тріщин припадає на поверхню кочення колеса і спричинюється контактними напруженнями у системі колесо-рейка. Окрім місць з тріщинами втоми і сітки термічних тріщин, на поверхні кочення колеса виявлено також інші типи дефектів (повзуни, вищербини, навари, відколини, поздовжні та поперечні тріщини металургійного походження). Виникнення повзунів та

вищербин, у першу чергу, пов'язують з розпусканням поїздів на механізованих сортувальних гірках. Розлами коліс через наявність втомних тріщин у приободовій зоні суцільнокатаного колеса можуть виникати при перевантаженні вагонів, а також за несприятливого поєднання мінімального розміру обода колеса і наявності на його поверхні кочення дефектів, що перевищують нормативні допуски і призводять до ударних вертикальних навантажень. Несвоєчасне виявлення тріщин може призводити до зламів коліс біля маточини чи в ободі колеса. В Інструкціях та Правилах прописані норми допусків на розміри цих дефектів на поверхні кочення коліс в експлуатації, виходячи з допустимого ударного впливу на елементи колі і забезпечення цілісності самого колеса. Для усунення та недопущення понаднормативних дефектів у ДА "Укрзалізниця" розроблено "Програму підвищення якості коліс на ВАТ "Нижньодніпровський трубопрокатний завод", де серед п'яти основних її пунктів зазначається про необхідність освоєння нових видів коліс підвищеної міцності. Як показала практика експлуатації, виготовлених на цьому підприємстві високоміцних коліс типу КП-Т, їхній ресурс підвищився за критерієм зносостійкості на 30...40%. Проте у багатьох випадках він скоротився порівняно з традиційно використовуваними середньоміцними колесами типу КП-2 за критерієм пошкоджуваності поверхні кочення, зокрема, повзунів і вищербин

(протокол наради у заст. генерального директора Укрзалізниці від 20.01.2009 р.).

Мета роботи – дослідити пошкоджувальність поверхні кочення модельних зразків, вирізаних з середньоміцного (типу КП-2) і високоміцного (типу КП-Т) коліс, за умов кочення колеса рейкою.

Методика випробувань. Випробування проводили на модельних зразках колеса та рейки (рис. 1а, б), габаритні розміри яких становили: товщина 4 мм, діаметр 40 мм і довжина 220 мм, ширина 4 мм, висота 16 мм, відповідно.

Експериментальні дослідження проводили при навантаженні на колесо $P = 250$ кг, тоді напруження в зоні контакту пари колесо-рейка становили [5]

$$P_0 = 0,5642 \sqrt{\frac{P}{\eta \cdot b \cdot R}} =$$

$$= 0,5642 \sqrt{\frac{250 \text{ кг}}{0,91 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2/\text{кг} \cdot 4 \text{ мм} \cdot 20 \text{ мм}}} = 105 \text{ кг}/\text{мм}^2.$$

Експериментували на спеціально спроектованому випробувальному стенді (рис. 2) з контролем навантаження тензометричною балкою (динамометр Д1) та сили

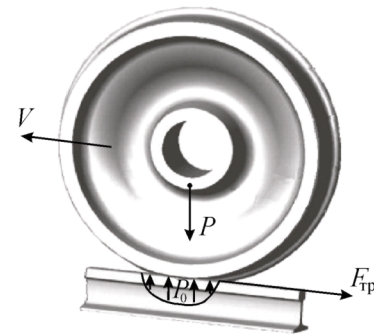


Рис. 3. Схема дії сил у парі колесо-рейка



Рис. 4. Несправності залізничних коліс

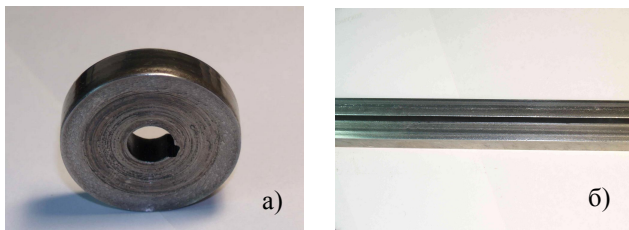


Рис. 1. Модельні зразки колеса (а) і рейки (б)

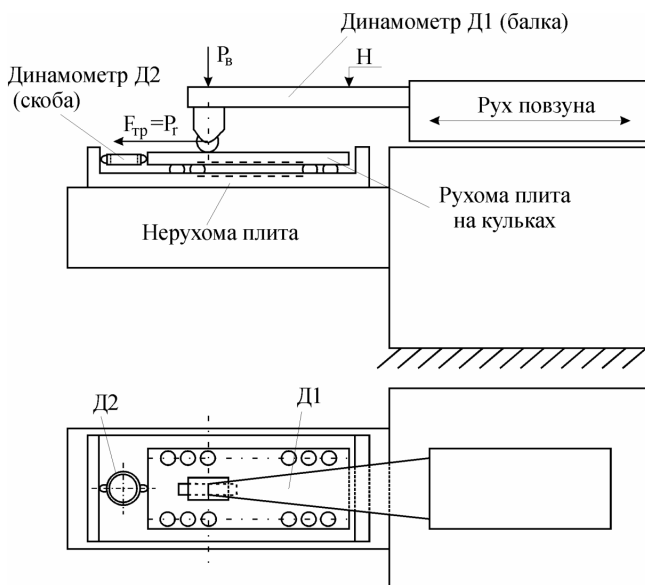


Рис. 2. Схема розміщення основних елементів випробувального стенда

тертя тензометричною скобою (динамометр Д2). Однією з найпривабливіших функцій випробувального стенда є поступально-зворотний хід повзуна, що забезпечує кочення колеса рейкою під навантаженням тільки в одному напрямку.

Враховуючи відомі в літературі експериментальні дані про зародження і ріст тріщин в умовах контактної втоми твердих тіл, нами розглядалися два критерії локального руйнування матеріалу:

- критерій узагальненого нормального відриву (σ_0 -критерій) [6];
- критерій узагальненого поперечного зсуву (τ -критерій) [7].

Для цього необхідно враховувати:

- реально діючі контактні напруження в системі колесо-рейка;
- силу тертя між колесом та рейкою за умов кочення та кочення-проковзування (рис. 3).

Результати досліджень та їх обговорення. Можна виділити основні несправності залізничних коліс (рис. 4). Серед основних дефектів поверхні кочення колеса відзначають: повзун (20), “навар” (21), вищербина (22), місцеве розширення – розчавлювання обода (25), відколина (поверхнева) зовнішньої грані обода (26), відколина кругового напливу (27), цифри в дужках – номер дефекту згідно з класифікатором дефектів, що діє в Укрзалізниці [8].

Пошкодження від тріщин має місце від повздовжніх тріщин в ободі (30), поперечних поодиноких тріщин в ободі (31), сітки термічних тріщин в ободі (32). Аналогічні класифікатори дефектів складають та вводять у дію на залізницях Євросоюзу [9]. В них прийнято буквено-цифрове ідентифікування дефекту, наприклад WR 217 – повзуни на поверхні ободу колеса. Порівняно з класифікатором Укрзалізниці в їхньому окремим типом дефекту виділяються пітинги на поверхні ободу колеса (WR 216).

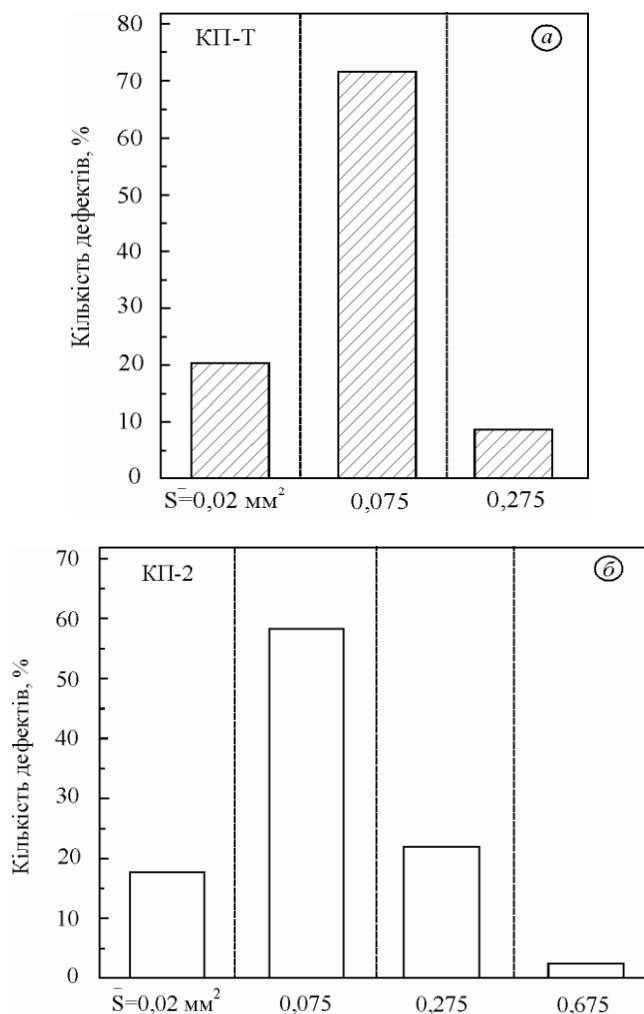


Рис. 5. Розподіл кількості дефектів на поверхні кочення зразка високоміцної (а) і середньоміцної (б) сталі залежно від їхніх розмірів (за площею \bar{S})

Проведені експериментальні дослідження пошкоджуваності показали, що кількість вищербин, утворених шляхом розшарування, є у кілька разів меншою для зразків високоміцного колеса порівняно зі середньоміцними. Загальна кількість цих вищербин становить 25 і 69 штук на контактну поверхню модельного зразка (400 мм²), відповідно для сталі високо- та середньоміцного коліс. Площа цих вищербин знаходиться в межах 0,02...0,675 мм², причому для сталі високоміцного колеса відзначається більша однорідність цих вищербин за площею (рис. 5а). Зокрема, кількість вищербин середньою площею 0,075 мм² становить 72 % від усієї кількості вищербин на поверхні кочення модельного зразка з високоміцної сталі (рис. 5а). Тоді, як для сталі середньоміцного колеса цей показник становить 58 % і характерний ширший діапазон розмірів вищербин, зі зміщенням його в сторону дефектів більших розмірів (рис. 5б).

Форма таких вищербин доволі різноманітна, проте вони виділяються спільною рисою, а саме: їхній контур можна вписати у рівнобедрений трикутник, вершина якого спрямована проти напрямку кочення колеса. Це

може бути підтвердженням результатів натурних випробувань про вищу зносостійкість коліс КП-Т порівняно з колесами КП-2.

Вищербини, утворені через пітингоутворення, виявились більш однотипними, незважаючи на відмінність сталей коліс. За площею пітинга у плані всі вони ідентифікуються на два діапазони: площею $S_1=0,0005...0,000625$ мм² і площею $S_2=0,00175...0,0025$ мм². Кількість пітингів меншої площі переважала і досягала 70 %. Такий розподіл був характерним для сталей високо- та середньоміцного коліс. Відмінність полягала у кількості пітингів на одиницю площі, яка для сталі високоміцного колеса є вдвічі більшою, а середнє значення кількості вищербин через пітингоутворення для неї становить 45 – 50 шт./мм² (рис. 6).

Якщо порівнювати розміри вищербин, отриманих на модельних зразках і на поверхні кочення залізничних коліс, то їхні розміри різняться значно. Наприклад, на поверхні реальних коліс розміри пітингів досягають ~1,0 мм, а окремі з них – до 5 мм у діаметрі і глибиною до 1,0 мм [9]. Враховуючи принцип подібності модельних

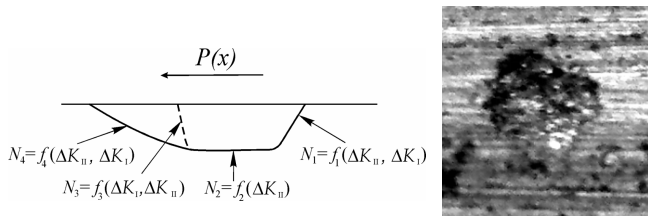


Рис. 7. Схема формування вищербини через розшарування

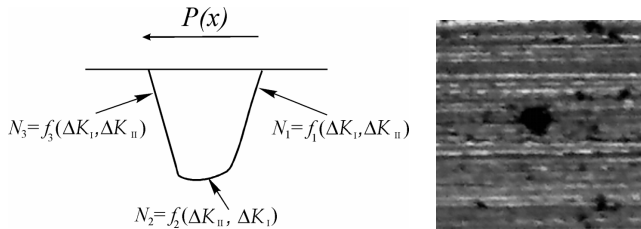


Рис. 8. Схема формування вищербини через пітингоутворення

зразків і реальних коліс, в перших розміри вищербин повинні бути в 11 – 22 рази меншими, що відповідає спостережуваній картині на модельних зразках порівняно з даними класифікаторів дефектів [8, 9].

Проведений аналіз поверхонь кочення модельних зразків дозволив запропонувати схеми утворення вищербин, коли кінетику цього процесу визначає тривалість (N) різних стадій розшарування та пітингоутворення (рис. 7 і рис. 8).

Спільним для них є те, що ріст втомної тріщини почергово відбувається за різної комбінації нормального відриву (K_I) та поздовжнього зсуву (K_{II}). Зародження втомної тріщини може відбуватися як з поверхні кочення, так і з підповерхневих шарів. Не виключена можливість її зародження і від неметалевих включень. Тріщина зароджена з поверхні кочення росте вглиб модельного зразка за одночасної дії поздовжнього зсуву і нормального відриву під певним кутом. Зі зростанням її довжини змінюється механізм руйнування в її вершині: від сумісної дії поздовжнього зсуву і нормального відриву ($K_{II} + K_I$) через майже виключно поздовжній зсув (K_{II}), що займає більшу частку у формуванні вищербини (N_2), і до поширення її за поздовжнім зсувом і нормальним відривом ($K_{II} + K_I$) чи нормальним відривом і поздовжнім зсувом ($K_I + K_{II}$) (N_3) при виході її на поверхню кочення (рис. 7). Для вищербини від пітингу характерним є незначний період її формування від поширення тріщини, переважно за поздовжнього зсуву (N_2), та протяжні періоди її формування, переважно поширенням тріщин нормального відриву при поширенні їх вглиб поверхні кочення (N_1) чи при виході їх на неї (N_3) (рис. 8).

При цьому треба мати на увазі, що у формуванні вищербин пітингоутворенням і підповерхневим розшаруванням суттєву роль можуть відігравати ендогенні неметалеві включення, розмір яких у колісних сталях складає 5...60 мкм.

Видно (див. рис. 7 і рис. 8), що для аналізу впливу структури і рівня міцності колісної сталі на кінетику утворення дефектів типу вищербини потрібні кінетичні діаграми втомного руйнування ($da/dN - \Delta K_I$) і ($da/dN - \Delta K_{II}$) [10]. Проте на даний час відсутні стандартні методи отримання таких діаграм за умов циклічного поздовжнього зсуву. Коли в зоні контакту втомна тріщина росте за механізмом відриву (за змішаним типом I+II з перевагою типу I), її кінетику визначає розмах КІН змішаного типу ΔK_{Ih} (а). Швидкість росту тріщини можна визначати за формулою [10]

$$da/dN = V_0 \left(\frac{\Delta K_{Ih} - \Delta K_{Ihc}}{\Delta K_{Ihc} - \Delta K_{Ih0}} \right)^q,$$

де ΔK_{Ih} , ΔK_{Ihc} , V_0 і q – константи матеріалу і умов випробувань, які визначають на основі діаграм ($da/dN - \Delta K_I$). Із залежності видно, що через пониженої циклічної в'язкості руйнування ΔK_{Ihc} високоміцної сталі [11] колеса КП-Т повинні мати меншу втомну довговічність за критерієм вищерблювання порівняно з колесами типу КП-2.

Висновки. Спроекований та виготовлений випробувальний стенд дає змогу отримувати пошкодження поверхонь кочення модельних зразків аналогічні спостережуваним на поверхні кочення реальних залізничних коліс.

Виявлено, що за умов кочення без проковзування на поверхні модельних зразків з високоміцного колеса типу КП-Т кількість вищербин, які утворюються шляхом розшарування, є меншою порівняно зі зразками із середньоміцного колеса типу КП-2, шляхом пітингоутворення – навпаки.

Література

1. Матвеев В.В. Увеличение ресурса вагонных колес низкоуглеродистой легированной сталью наплавкой после отжига поверхности катания / Мат. 8-ой междунациональной научно-практической конф.-выставки Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки, Часть 1, 11-14 апреля 2006 // Санкт-Петербург, из-во Политехнического университета, 2006. - С.422-424.
2. Богданов В.М., Захаров С.М. Современные проблемы системы рельс-колесо // Ж.-д. трансп. – 2004.- №1. – С. 57-62.
3. Cassidy Ph. Perspective materials for production of railway wheels // International Railway Journal. –2001. – №12. – Р. 40–41.
4. Гаврилюк О.Ф. Безпека руху: шляхи вирішення проблем // Неразрушающий контроль. –2009.– № 1– С. 9–17.
5. Справочник по триботехнике: Справ. пос.: в 3-х т. / Под. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение; Варшава: ВКЛ, 1989.
6. Панасюк В.В., Бережницький Л.Т. Определение предельных усилий при растяжении пластины с дугообразной трещиной // Вопросы механики реального твердого тела: Отв. ред. Г.В. Карпенко. – К.: Наук. думка, 1964. – С. 3-19.

7. Kaneta M., Yatsuzuka H. and Murakami Y. Mechanism of crack growth in lubricated rolling/sliding contact // ASLE Trans. – 1985. – 28, №3. – P. 407-414.

8. Класифікація несправностей вагонних колісних пар та їх елементів. – Затверджено та введено в дію Наказом Укрзалізниці від 15.03.06 р. №095-Ц.

9. K. Mitura, R. Faja, P. Matussek, R. Fajkos: Catalogue of wheel set defects rising during its service life, technical handbook for wheel set keepers No. 25-271 (3rd edition). – BONATRANS GROUP. – Revolucni 1234. – Bohemin. – Czech republic. – 236 pp.

10. Експлуатаційна довговічність залізничних коліс із високоміцної сталі / В.В.Панасюк., О.П.Осташ, О.П. Да-цишин та ін. // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин. – Київ: Інститут електро-

зварювання ім. Е.О. Патона НАН України. – 2009. – С. 659-663.

11. Втомна довговічність сталей залізничних коліс / О.П. Осташ, І.М. Андрейко, В.В. Кулик та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2007. – №3. – С. 93-102.

Отримана 24.10.10

I. Andreiko, V. Kulyk, V. Prokopets

Investigation of damaging of railway wheels rolling surface
Karpenko Physiko-Mechanical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv

The damaging of rolling surface of railway wheels model specimens are investigated. Basic defects of rolling surface of shelling type are established. The schemes of pit and shelling formation are proposed.

Директація

II INTERNATIONAL CONFERENCE ON TISSUE ENGINEERING (ICTE 2011)

an ECCOMAS Thematic Conference
Lisbon, Portugal
2nd to 4th June 2011

http://www.cdr-sp.ipleiria.pt/index.php/TE_home.html

Tissue engineering is a multidisciplinary field that has seen intense development in the past few years. It combines efforts from biology, engineering and material science methods towards the development of biological substitutes to restore, maintain, or improve tissue functions. Mathematical and Computational methods have been intensely used to study tissue engineering issues, and the computational mechanics research community has demonstrated a special interest in this field.

Therefore, the ICTE 2011 will in focus on:

- * Understanding the fundamentals of tissue engineering;
- * Modelling and characterisation of scaffolds for tissue engineering;
 - * Modelling the inter-relationships between scaffolds and cell attachment, proliferation and differentiation;
- * Design and development of scaffolds for tissue engineering;
 - * Fabrication and testing of scaffolds for tissue engineering;
 - * Cell signalling;
 - * Computational Bone Mechanics.