

I. Андрейко

Ст. наук. співр., канд. техн. наук

B. Кулик

Інженер

O. Осташ

Професор, д-р техн. наук

Фізико-механічний інститут
ім. Г. В. Карпенка НАН України,
м. Львів

I. Узлов

Професор, д-р техн. наук

O. Бабаченко

Ст. наук. співр., канд. техн. наук

Інститут чорної металургії
ім. З. І. Некрасова НАН України,
м. Дніпропетровськ

УДК 539.43

СТРУКТУРА ТА ОПІР РУЙНУВАННЮ СТАЛЕЙ У РІЗНИХ ЗОНАХ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС

*Аїпнезаааїт саелітіі дїгїпос сі фе і сеїтїподсеодсе, і аоаї³-їео оадаеодаепеае оа
їпїаеаїтїпос і сеїті аоаї³сі о сеїїоааїїу пдаеае саеїсіе-їео еїе³н о саеаеїтїпос а³а
сіїе аед³саїїу аїпнезаїео сдасе³а. Апоаїтаеаїт д³сіеоп і аоаї³-їео оадаеодаепеае
пдаеае о д³сіео сіїао аїпнезаїїаї аепїеїї оїїїаї еїеапа оа еїеапа іїої-їїаї
аедїаїеооаа: і ааа і оїїтїпос σ_B е оаео-їтїпос $\sigma_{0,2}$ і таа сі іїраадепу а³аїтааїїт іа
10...20³ і 11...27 %, оее³-їа а³усе³їоу сеїїоааїїу K_{fc} — іа 10...23 %, і де оїїї о
їеапде-їїоу оа іїдїаїаа оее³-їа оа³їеїтїпосеїїоу K_{th} о ідаеде-їїт пдаеїї е.
Апоаїтаеаїт а³аїтааїїтїпос і се сі іїїр і аоаї³-їео оадаеодаепеае, і сеїтїподсеодїр
оа і сеїті аоаї³сі ії сеїїоааїїу.*

**залізничне колесо, міцність, циклічна тріщиностійкість, мікроструктура,
мікрофрактографія**

Колісні пари є вузлами рухомого складу, найвідповідальнішими за безпеку руху [1]. На початку 90-х років середній ресурс коліс становив 4 — 5 років, хоча за прогнозами повинен становити 12 років [2, 3]. У першу чергу термін служби залізничних коліс визначається властивостями поверхні кочення та гребеня колеса. В умовах контактної втоми пари колесо — рейка полегшується зародження втомних тріщин в ободі колеса, тому однією з ключових характеристик колісних сталей є опір поширенню тріщини в умовах багатоперіодичної втоми [4]. Втомні дефекти розповсюджуються приблизно на 10 мм вглиб металу від поверхні кочення і біля основи гребеня. Вони орієнтовані під кутом 45° відносно напрямку кочення, причому часто з'єднуються, утворюючи сітку тріщин. У таких випадках можна говорити про відколи на поверхні

кочення колеса [5]. Проте експлуатаційна практика показує [1, 5], що часто колеса руйнуються в інших зонах (рис. 1). Наприклад, за даними 2006 р. під час ремонту було виявлено дефекти в різних зонах коліс: 500 випадків у гребені; 337 — в ободі; 124 — в диску [1]. Цей факт потребує аналізу. Його можуть зумовлювати термічні або механічні чинники (рис. 2,а) [5], зокрема, градієнт структурно-механічних параметрів сталей у перерізі колеса. Показано, що зміна твердості різних зон коліс з середньомічної ($\sigma_B=660$ МПа) сталі сягає 5 — 8 % [6].

Для коліс зі сталі підвищеної міцності ($\sigma_B=900$ МПа) зафіксовано зміну обмеженої межі витривалості на 10 — 12 %, а параметрів циклічного пружно-пластичного деформування — в 1,4 — 1,8 рази залежно від зони колеса [7, 8].

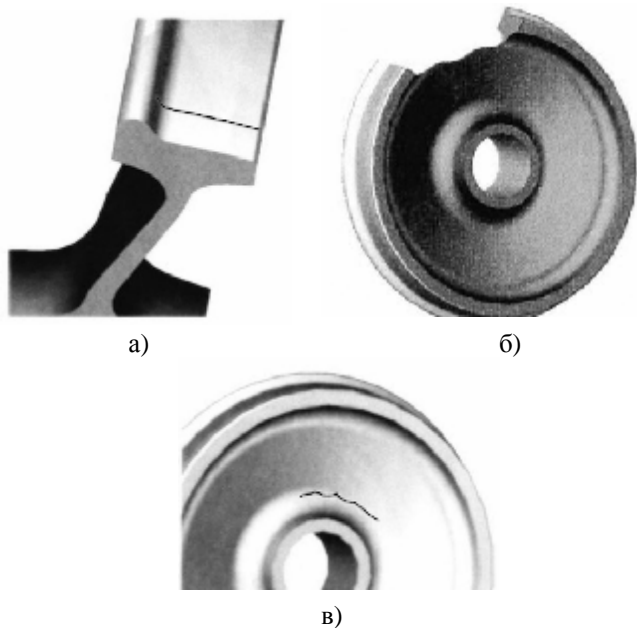


Рис. 1. Тріщини в ободі (а), біля диска (б) і в маточині (в) колеса [1]

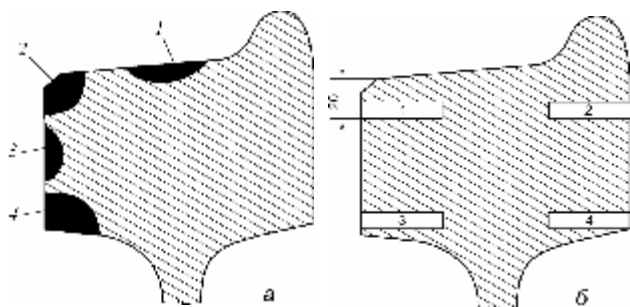


Рис. 2. Місця виникнення експлуатаційних дефектів коліс (а) та зони вирізання зразків (б) [5]: 1, 2 — дефекти термічного походження; 3, 4 — дефекти механічного походження

Мета статті — встановлення закономірностей зміни мікроструктури, характеристик міцності, циклічної тріщиностійкості й особливостей мікромеханізму руйнування сталей у різних зонах дослідного високоміцного колеса та колеса поточного виробництва ВАТ „Нижньодніпровський трубопрокатний завод“.

Матеріал і методика випробувань. Досліджували зразки колісних сталей [9], вирізані з різних зон колеса (рис. 2,б).

Статичні механічні характеристики визначали на п'ятикратних циліндричних зразках з діаметром робочої частини 3 мм. Циклічну тріщиностійкість сталей визначали за діаграмами швидкостей росту втомної макротріщини — залежностями $da/dN - \Delta K$ [4], отриманими на компактних (СТ) зразках базового розміру $W=40$ мм і товщиною 11 мм за частоти 10...15 Гц і коефіцієнта асиметрії $R=0,1$ циклу навантаження.

Характеристиками циклічної тріщиностійкості матеріалів було вибрано поріг втоми $\Delta K_{th} = \Delta K_{10}^{-10}$ та циклічну в'язкість руйнування $\Delta K_{fc} = \Delta K_{10}^{-5}$ — розмахи коефіцієнта

інтенсивності напружень за швидкості росту тріщини $da/dN = 10^{-10}$ і 10^{-5} м/цикл відповідно.

Мікроструктурні дослідження проводили на мікроскопі ММР-2Р з використанням цифрової фотокамери. Мікрофрактографічний аналіз випробуваних зразків проводили на скануючому електронному мікроскопі EVO 40XVP.

Результати досліджень та їх обговорення. Мікроструктурні особливості високоміцної сталі пов'язані, у першу чергу, зі специфікою термічного оброблення залізничного колеса, коли через складну геометрію колеса в різних його зонах можуть бути різні швидкості охолодження. В результаті після гартування і відпуску при 450 °С, залежно від зони колеса, отримуємо істотно відмінні структури. Біля поверхні ободу в зонах 1 і 2 зафіксовано переважно тростито-сорбітну структуру (рис. 3,а,в). Ближче до диска колеса в зонах 3 і 4 продукти відпуску мартенситу оточують значну кількість ділянок, де через понижено швидкість охолодження не пройшло мартенситне перетворення, а відбувся розпад вихідного аустеніту з утворенням перлітно-феритної фази (рис. 3,б,г).

Такі структурні особливості сталей відображаються на їхніх механічних характеристиках залежно від зони колеса (рис. 4). Зразки, вирізані із зони 1, мають найвищі межі міцності σ_B й текучості $\sigma_{0,2}$ порівняно з іншими зонами. У високоміцному колесі зона 2 поступається за цими характеристиками відповідно на 10 і 11 %, зона 3 — на 13 і 15%, а зона 4 — на 20 і 24 % за приблизно однакової пластичності δ в перших трьох зонах та дещо вищій у зоні 4. Аналогічні тенденції падіння значень σ_B і $\sigma_{0,2}$ та стабільності значень δ в напрямі від поверхні кочення до осі колеса отримано на зразках з колеса поточного виробництва, проте в цьому випадку характеристики σ_B і $\sigma_{0,2}$ у зонах 1 і 2 та 3 і 4 є майже однаковими.

Випробування на циклічну тріщиностійкість показали, що тенденції зміни опору росту втомної тріщини однакові

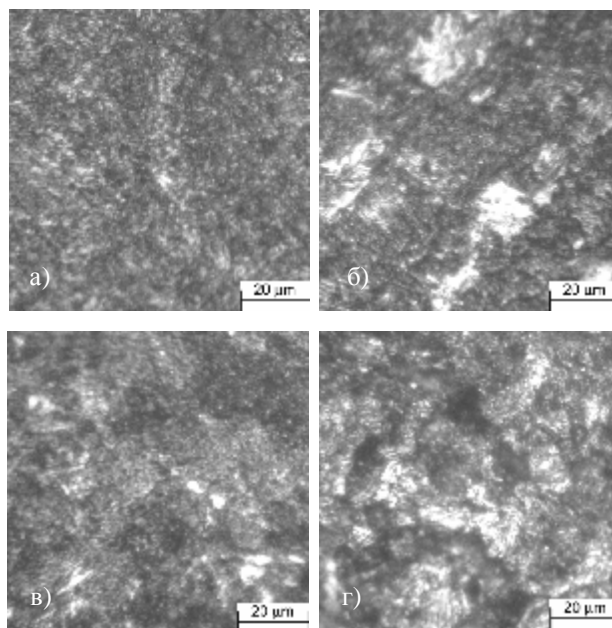


Рис. 3. Мікроструктура сталі залежно від зони високоміцного колеса (а, б) і колеса поточного виробництва (в, г)

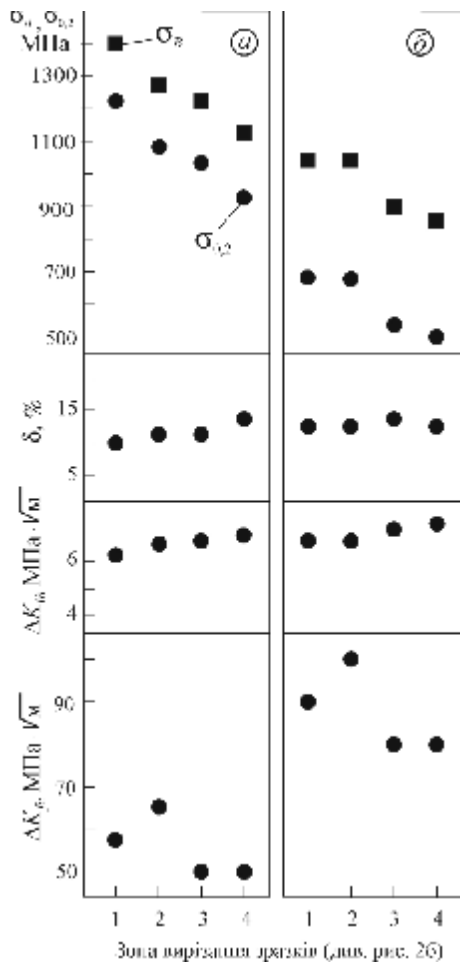


Рис. 4. Механічні характеристики сталей у різних зонах залізничних коліс: а — високошвидкісного, б — поточного виробництва

для обох досліджених типів коліс (рис. 4): порогове значення ΔK_{th} слабо залежить від зони вирізання зразка, в той час як циклічна в'язкість руйнування ΔK_{fc} , на відміну від статичних характеристик, змінюється немономонно: найвища вона у зоні 2, в зоні 1 падає на 10 — 11 %, в зонах 3 і 4 — на 20 — 23 %.

Таким чином, за наявності довгих втомних тріщин, коли вони виходять із зони ободу колеса, зростає небезпека раптового руйнування, оскільки падіння циклічної в'язкості руйнування ΔK_{fc} зумовлює зменшення критичного розміру тріщини.

Встановлений характер зміни циклічної тріщиностійкості сталей у різних зонах коліс є певною мірою несподіваним, враховуючи зміну характеристик міцності. Прийнято вважати [4], що падіння циклічної тріщиностійкості відбувається з ростом міцності матеріалів, зокрема сталей. Однією з причин отриманих закономірностей може бути те, що зниження міцності сталей залежно від зони колеса практично не відображається на їхній пластичності, тобто не відбувається традиційно спостережуване зростання пластичності при зменшенні міцності матеріалів.

Падіння циклічної в'язкості руйнування добре узгоджується з даними мікрофрактографічного аналізу

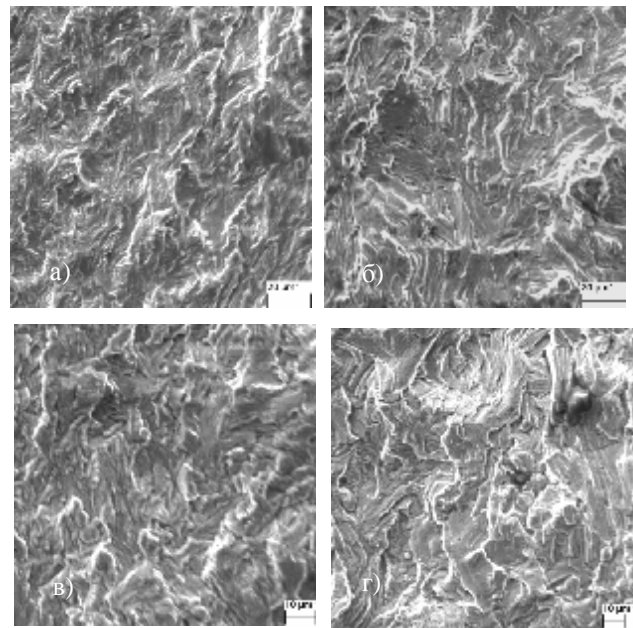


Рис. 5. Мікрофрактограми зразків, вирізаних з різних зон високошвидкісного колеса (а, б) і колеса поточного виробництва (в, г): а, в — зона 1; б, г — зона 4 (позначення зони колеса відповідають рис. 2,б)

(рис. 5). Вища тріщиностійкість металу в зоні ободу обох досліджених коліс зумовлена реалізацією мікрів'язкого втомного руйнування, коли в зламі чітко виражені деформаційні гребені, які оточують фасетки квазікрихкого відколу (рис. 5,а,в). Зразки, вирізані із зони, наближеної до диска колеса, руйнуються крихкіше і в зламі переважають фасетки циклічного череззерненого відколу (рис. 5,б,г).

Це обумовлено, на наш погляд, специфічною мікроструктурою сталі в цій зоні колеса (рис. 3,б,г), коли в результаті її неповного гартування утворюється гетерогенна структура. Тоді під навантаженням виникають мікронапруження на міжфазних межах, викликані тим, що жорсткіша тростито-сорбітна фаза оточує пластичнішу перлітно-феритну. Через це остання руйнується крихкіше, що підтверджує узгодження розмірів ділянок перлітно-феритної фази в структурі сталі (рис. 3,б,г) і розмірів фасеток відколу в зламі (рис. 5,б,г).

Висновок. Встановлено падіння характеристик міцності й циклічної тріщиностійкості сталей у різних зонах залізничних коліс, обумовлене зміною мікроструктури й мікромеханізму руйнування, що треба враховувати при діагностуванні технічного стану й розрахунку довговічності коліс.

Література

1. Гаврилук А.Ф., Рябець Т.А. Состояние и анализ безопасности на железных дорогах Украины. Пути развития средств неразрушающего контроля // Неразрушающий контроль. — 2007. — №2. — С. 13—21.
2. Матвеев В.В. Увеличение ресурса вагонных колес наплавкой низкоуглеродистой легированной сталью после отжига поверхности катания // Матер. 8-ой Междунар.

научно-практ. конф.-выставки „Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки“, 11 — 14 апреля 2006, Санкт-Петербург, Изд-во Политехн. ун-та, Часть 1. — С. 422—424.

3. Богданов В.М., Захаров С.М. Современные проблемы системы рельс — колесо // Ж.-д. трансп. — 2004. — №1. — С. 57—62.

4. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пос. в 4-х т. / Под общ. ред. В. В. Панасюка. — К.: Наук. думка, 1988-1990. — Т. 4: Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / О.Н. Романив, С.Я. Ярема, Г.Н. Никифорчин и др. — 1990. — 680 с.

5. Stevenot G., Demilly F. Life time of railway wheels // Revue Гиййрале des Chemins de Fer. — 2002. — №5. — P. 33—39.

6. Vasauskas V., Bazaras Ё., Иapas V. Strength anisotropy of railway wheels under contact load // Mechanika. — 2005. — № 1(51). — P. 31—38.

7. Walther F. et al. Fatigue behavior of railway wheel steel at high loadings // Eisenbahningenieur. — 2004. — №5. — S. 41—48.

8. Walther F., Eifler D. Local cyclic deformation behavior and microstructure of railway wheel materials // Materials Science and Engineering. — 2004. — A387—389. — P. 481—485.

9. Втомна довговічність сталей залізничних коліс / О.П. Остап, І.М. Андрейко, В.В. Кулик, І.Г. Узлов, О.І. Бабаченко // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2007. — №3. — С. 93—102.

Отримана 12.02.08

I. Andreiko, V. Kulyk, O. Ostash, I. Uzlov, O. Babachenko

Structure and fracture resistance of steels in different zones of railway wheels

Karpenko Physico-Mechanical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv;

Nekrasov Metallurgical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk

The difference of mechanical characteristics of wheel steels depending on wheel zone is established. Ultimate strength s_B and yield strength $s_{0.2}$ can change in the range of 10...20 and 11...27 % respectively; cyclic fracture toughness DK_c — in the range of 10...23 %. Plasticity d and fatigue threshold DK_{th} are practically constant. The change of mechanical characteristics with regard to material microstructure and fracture mechanism is investigated.

2í ôî ðì àö³ÿ

XII Міжнародна науково-технічна конференція

ГЕРМЕТИЧНІСТЬ, ВІБРОНАДІЙНІСТЬ І ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАСОСНОГО І КОМПРЕСОРНОГО УСТАТКУВАННЯ

9 — 12 вересня 2008 р. м. Перемешель, Польща

Тематика:

Проблеми зменшення життєвого циклу насосного і компресорного устаткування.

Питання динаміки систем “ротор — опори — ущільнення” відцентрових машин.

Зменшення шуму і вібрації насосів і компресорів, вібродіагностика і прогнозування залишкового ресурсу.

Підвищення надійності й ефективності ущільнювальних пристроїв насосів і компресорів.

Питання трибології і метрології опор та ущільнень.

Екологічно безпечна експлуатація насосного і компресорного устаткування, проблеми енерго- і ресурсоощадності.

Адреса Оргкомітету:

Оргкомітет Конференції “ГЕРВІКОН-2008”

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2,

м. Суми, 40007, Україна.

Тел./факс: +38(0542) 33-35-94

E-mail: marts@omdm.sumdu.edu.ua

Politechnika Świętokrzyska

Al. 1000-lecia PP 7

25-314, Kielce, Poland.

E-mail: kundera@tu.kielce.pl