

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТРУКТУРНОГО СТАНУ СТАЛІ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК НА ЇХ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

Р.В. Подольський, О.А. Сафронова, О.І. Бабаченко,
Кононенко Г.А., Меркулов О. Є.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Дніпро

Анотація. *Процес експлуатації транспортних засобів визначає взаємодію колеса і рейки. Від параметрів цього процесу багато в чому залежать безпека руху та основні техніко-економічні показники господарств колії та рухомого складу. Результатом є вплив, що виникає від тертя кочення і особливо від тертя ковзання колеса по рейці при гальмуванні, відносно цих змін відбувається істотне зростання інтенсивності зношування коліс рухомого складу, яке, в свою чергу може призвести до катастрофічних результатів для локомотивного господарства. Також в процесі експлуатації рейки в більшості випадків утворюються дефекти, що мають характер складнонавантаженого стану: її головка піддається зношуванню, зминанню, розтріскуванню і викришуванню, в металі можуть розвиватися контактнo-втомні пошкодження.*

Ключові слова: залізнична рейка, перліт, бейніт, зносостійкість, колія.

Процес експлуатації транспортних засобів визначає взаємодія колеса і рейки. Від параметрів цього процесу багато в чому залежать безпека руху та основні техніко-економічні показники господарств колії та рухомого складу. Результатом є вплив, що виникає від тертя кочення і особливо від тертя ковзання колеса по рейці при гальмуванні, відносно цих змін відбувається істотне зростання інтенсивності зношування коліс рухомого складу[1], яке, в свою чергу може призвести до катастрофічних результатів для локомотивного господарства. Також в процесі експлуатації рейки [2] в більшості випадків утворюються дефекти, що мають характер складнонавантаженого стану: її головка піддається зношуванню, зминанню, розтріскуванню і викришуванню, в металі можуть розвиватися контактнo-втомні пошкодження. [3]

У перлітних сталях зносостійкість зростає в міру збільшення вмісту вуглецю і зменшення міжпластинчастої перлітної відстані. Перліт складається з пластин перлітного фериту і карбіду заліза що чергуються і має відстань між пластинами, яка змінюється в залежності від температури утворення відповідно до умов охолодження рейки після прокатки. При збільшенні

швидкості охолодження відстань між рейками перліту зменшується, отже, збільшується твердість, яка забезпечується в рейках з загартованою головкою. Збільшення вмісту вуглецю збільшує об'ємну частку карбідів заліза, які є твердими і мають тенденцію приймати орієнтацію, паралельну зі зношеною поверхнею.

Величина міжпластинчастої відстані впливає на спосіб деформації карбідних пластин в контакті кочення [4]. Товсті пластини карбідів мають тенденцію до розтріскування при високих деформаціях; в той час як тонкі пластини карбїду деформуються пластично, без руйнування [5]. Однак відстань між пластинами перліту не є постійною і, ймовірно, буде варіюватися приблизно нормальним чином щодо цих середніх відстаней. Отже, тонкі пластини карбїду в загартованій голівці рейки з більшою ймовірністю деформуються без утворення тріщин, ніж більш товсті карбїди в стандартній рейковій сталі. Точний спосіб утворення частинок зносу невідомий, але можна припустити, що мікроструктури, в яких пластинки карбїду розтріскуються при деформації (з утворенням порожнин), ймовірно, будуть мати більш низьку зносостійкість, ніж мікроструктура, карбїди яких деформуються пластично.

Таким чином, в перлітних сталях зносостійкість забезпечується за рахунок високого вмісту вуглецю і малої відстані між пластинами перліту (що досягається за рахунок процесу загартування головки рейки), які обидва підвищують твердість. На підтвердження вторинного впливу твердості на знос, Хіракава і інші підвищили твердість зразків з перлітною структурою за рахунок зниження температури відпуску, але в лабораторних випробуваннях дане твердження не підтвердилось (не збільшили зносостійкість) [6-7].

Виходячи з досліджень останніх років [8-9] відомо, що міцність перлітних рейкових сталей досягла межі [10]. Крім того, подальше збільшення вмісту вуглецю вплине на ударну в'язкість та зварюваність матеріалів рейок [11]. Наприклад, у порівнянні з доевтектоїдною рейкою R200 подовження заевтектоїдної рейки R400HT знижується на 6%. Отже, існує гостра потреба в інших альтернативних матеріалах. Бейнітна сталь, що забезпечує як високу

міцність, так і відмінну пластичність, вважається одним з найбільш перспективних напрямків.

Низьковуглецеві бейнітні сталі відрізняються від звичайних перлітних сталей тим, що в них мало карбідів, якщо вони взагалі є. Бейнітні низьковуглецеві сталі, міцність яких більше 1200 МПа при цьому володіють високим рівнем ударної в'язкості, трибологічними властивостями, сприятливою реакцією на великі швидкості деформації, стійкістю до втоми і дешеві у виробництві [12]. Такий комплекс властивостей досягається за рахунок дуже дрібної і сильно зміцненої мікроструктури.

Звичайний верхній бейніт складається з неламеллярної суміші пластин бейнітного фериту з проміжними частинками цементиту. Мікроструктура створюється послідовно: пластини ростуть без дифузії, але потім надлишковий вуглець розподіляється в аустеніті залишковому [13]. Згодом цей збагачений вуглецем аустеніт розпадається на суміш цементиту і фериту. Цементит погіршує властивості, але його виділенню можна запобігти, додавши в сталь достатню кількість кремнію [14], щоб залишити мікроструктуру з пластин бейнітного фериту і збагаченого вуглецем аустеніту.

Як відомо, в ході бейнітного перетворення формування пакету бейнітних рейок відбувається на гранці аустенітного зерна і подальше зростання пакета відбувається вглиб зерна. Пакет бейніту складається з рейок фериту, розділених в основному малокутовими границями [15], в той час як голчастий ферит гетерогенно зароджується на неметалевих включеннях всередині аустенітного зерна і росте в різних напрямках, не утворюючи виражених пакетів, в іншому ж залишаючись подібним з бейнітом [16]. Енергія зародження на границі аустенітного зерна практично завжди залишається нижче, ніж енергія зародження на частці включення і таким чином зародження на частці включення і зародження на границі аустенітного зерна більш переважно з енергетичної точки зору [14,16]. З цього випливає, що структуру сталі, що містить виключно голчастий ферит отримати практично неможливо. У той же час при відносно великому аустенітному зерні ймовірність

інтрагранулярного зародження бейніту як в зварних з'єднаннях, так і в прокаті підвищується [15].

Висновок. За результатами аналітичного огляду систематизовані відомі шляхи підвищення зносостійкості залізничних рейок. Показано, що найбільш ефективним способом підвищення твердості сталей є управління їх хімічним складом шляхом легування, мікролегування і зменшення кількості шкідливих домішок. Перспективним є підхід до підвищення опору через виготовлення залізничних рейок з бейнітною структурою.

ЛІТЕРАТУРА

1. R. Harder. Creep Force – Creepage and Frictional Work Behaviour in Non-Hertzian Counter formal Rail/Wheel Contacts. *Proceedings of IHHA'99 STS-Conference on Wheel/Rail Interface*. 1999. V. 1. p. 207 – 214.
2. B. Paul. J. Hashemi. User's Manual for Program CONTACT. Technical Report No. 4. FRA/ORD-78/27/PB286097. NTIS. Springfield. VA. Sept. 1977.
3. Большаков В.І., Долженков І.Є., Зайцев А.В. "Устаткування термічних цехів, технології термічної та комбінованої обробки металопродукції". Вид.2-е. Дніпропетровськ. РІА Дніпро-VAL. 2010 г. -619с
4. H. de Boer et al.. "Naturally Hard Bainitic Rails with High Tensile Strength." *Stahl und Eisen*. Vol. 115. No. 2.1995. pp. 93-98.
5. N. Jin. "Mechanical Properties and Wear Performance of Bainitic Steels." Ph.D. Thesis. Oregon Graduate Institute. Portland. OR. 1995.
6. N. Jin and P. Clayton. "Effect of Microstructure on Rolling/Sliding Wear of Low Carbon Bainitic Steels." *Wear*. Vol. 202.1997. pp. 202-207
7. W. Heller and R. Schweitzer. "Hardness, Microstructure and Wear Behavior of Steel Rails." 2nd. International Heavy Haul Railway Conference. Colorado Springs. Colorado. 1982. pp. 282-286.
8. *Розробка сталей для металопродукції залізничного призначення.* Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Рослик О.В., Майстренко К.М., Подольський Р.В. Дніпро. «Домінанта-принт». .2021. 298 стор.
9. Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Подольський Р. В., Сафронова О. А. Сталь для залізничних рейок з поліпшеними експлуатаційними властивостями. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 56(6). 2020. с 82-87.
10. S. Sharma. S. Sangal. K. Mondal. Wear behaviour of bainitic rail and wheel steels. *Mater. Sci. Technol.* 32 (4) (2016) 266–274.
11. P. Pointner. High strength rail steels-The importance of material properties in contact mechanics problems. *Wear* 265 (2008) 1373–1379.
12. Bhadeshia. H. K. D. H.. "Hyperbolic Tangents and Alloys of Iron". *Materials World*. 7 . pp. 643-645. 1996.

13. Merkulov, O., Podolskyi, R., Kononenko, A. et al. Development of Promising Steels for Railway Rails of a New Generation Using Modeling of Phase-Structural Transformations. *Trans Indian Inst Met* (2024). <https://doi.org/10.1007/s12666-024-03265-4>.
14. Takahashi. M. and Bhadeshia. H. K. D. H.. ``A Model for the Transition from Upper to Lower Bainite. *Materials Science and Technology*. 6. pp. 592-603. 1990.
15. J.R. Yang. H.K.D.H. Bhadeshia *Advances in Welding Science and Technology* ed. S. David. *ASM. Metals Park*. ohio. USA (1986). p. 187-191.
16. R.A. Ricks. P.R. Howell. G.S. Barrite *International Conference on Solid-Solid Phase Transformation*. eds. H.I. Aaronson et.al.. *TMS-AIME. Warrendale. PA. USA*. 1981. p. 463-468.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE STRUCTURAL CONDITION OF STEEL FOR RAILWAY RAILS ON THEIR WEAR RESISTANCE

Podolskyi R., Safronova O., Babachenko O., Kononenko G., Merkulov O.

Abstract. *The process of operating vehicles determines the interaction of the wheel and rail. Traffic safety and the main technical and economic indicators of track management and rolling stock largely depend on these parameters. The result is the effect arising from the rolling friction and especially from the friction of the wheel sliding on the rail during braking, relative to these changes there is a significant increase in the intensity of wear of the wheels of the rolling stock, which, in turn, can lead to catastrophic results for the locomotive industry. Also, in the process of operation of the rail in most cases, defects are formed that have the character of a complicated state: its head is subject to wear, crumpling, cracking and buckling, contact fatigue damage can develop in the metal.*

Keywords: *railway rail, perlite, bainite, wear resistance, track.*

REFERENCE:

1. R. Harder. Creep Force – Creepage and Frictional Work Behaviour in Non-Hertzian Counter formal Rail/Wheel Contacts. *Proceedings of IHHA'99 STS-Conference on Wheel/Rail Interface*. 1999. V. 1. p. 207 – 214.
2. B. Paul. J. Hashemi. User's Manual for Program CONTACT. Technical Report No. 4. FRA/ORD-78/27/PB286097. *NTIS. Springfield*. VA. Sept. 1977.
3. Bolshakov V.I., Dolzhenkov I.E., Zajcev A.V. *Oborudovanie termicheskikh cehov. tehnologii termicheskoy i kombinirovannoy obrabotki metalloprodukcii*. Izd.2-e. Dnepropetrovsk. RIA Dnepr-VAL. 2010 g. -619s
4. H. de Boer et al.. "Naturally Hard Bainitic Rails with High Tensile Strength." *Stahl und Eisen*. Vol. 115. No. 2.1995. pp. 93-98.
5. N. Jin. "Mechanical Properties and Wear Performance of Bainitic Steels." Ph.D. Thesis. *Oregon Graduate Institute. Portland*. OR. 1995.
6. N. Jin and P. Clayton. "Effect of Microstructure on Rolling/Sliding Wear of Low Carbon Bainitic Steels." *Wear*. Vol. 202.1997. pp. 202-207

7. W. Heller and R. Schweitzer. "Hardness. Microstructure and Wear Behavior of Steel Rails." 2nd. International Heavy Haul Railway Conference. *Colorado Springs, Colorado*. 1982. pp. 282-286.
8. *Rozrobka stalej dlya metaloprodukciji zaliznichnogo prizmachennya*. Babachenko O. I., Kononenko G. A., Roslik O.V., Majstrenko K.M., Podolskij R.V. Dnipro. «Dominanta-print». .2021. 298 stor.
9. Babachenko O. I., Kononenko G. A., Podolskij R. V., Safronova O. A. Stal dlya zaliznichnih rejok z polipshenimi eksploataciijnimi vlastivostyami. *Fiziko-himichna mehanika materialiv*. 56(6). 2020. s 82-87.
10. S. Sharma. S. Sangal. K. Mondal. Wear behaviour of bainitic rail and wheel steels. *Mater. Sci. Technol.* 32 (4) (2016) 266–274.
11. P. Pointner. High strength rail steels-The importance of material properties in contact mechanics problems. *Wear* 265 (2008) 1373–1379.
12. Bhadeshia. H. K. D. H.. ``Hyperbolic Tangents and Alloys of Iron". *Materials World*. 7 . pp. 643-645. 1996.
13. Merkulov, O., Podolskyi, R., Kononenko, A. et al. Development of Promising Steels for Railway Rails of a New Generation Using Modeling of Phase-Structural Transformations. *Trans Indian Inst Met* (2024). <https://doi.org/10.1007/s12666-024-03265-4>.
14. Takahashi. M. and Bhadeshia. H. K. D. H.. ``A Model for the Transition from Upper to Lower Bainite. *Materials Science and Technology*. 6. pp. 592-603. 1990.
15. J.R. Yang. H.K.D.H. Bhadeshia *Advances in Welding Science and Technology* ed. S. David. ASM. *Metals Park*. ohio. USA (1986). p. 187-191.
16. R.A. Ricks. P.R. Howell. G.S. Barrite *International Conference on Solid-Solid Phase Transformation*. eds. H.I. Aaronson et.al.. *TMS-AIME*. Warrendale. PA. USA. 1981. p. 463-468.