

the wear intensity for the experimental steel is  $-0.20 \text{ g/km}$ , this figure is one third lower compared to the base unalloyed hypereutectoid steel.

The obtained results are explained by the fact that microadditives of vanadium and nitrogen, due to dispersion nitride vanadium strengthening, increase the wear resistance of steel under conditions of dry sliding friction, and the increased content of carbon and copper in the surface layer of the steel sample plays the role of a solid lubricant, providing a lubricating effect, additionally increasing wear resistance. The thin surface layer of steel samples after friction on a friction machine was examined on an Auger X-ray spectral microanalyzer to a depth of 200 nm. Auger spectrograms were recorded and a depth profile was constructed after ion etching with argon ions of the experimental steel samples before friction and after friction. A comparative analysis was conducted, it was found that on the surface of the sample after friction, the copper phase reaches maximum values 5-7 times higher than before friction (10-15 at. %), this layer has a size of 8 nm and is formed due to the diffusion mobility of copper to the surface of the sample during wear processes. Also, on the surface of the sample after friction, the carbon content is increased by 2.5 times than before friction due to the diffusion mobility of carbon along the friction layer, the mechanism of carbon separation in the form of graphite, as well as the diffusion movement of carbon from the matrix with the assistance of local ultra-high temperatures in the friction zone. Therefore, microalloying of the experimental hypereutectoid steel with nitrogen and vanadium and additional alloying with copper leads to a decrease in friction pair wear, an increase in the durability and reliability of the friction pair.

**Keywords:** steel, chemical composition, carbon, copper, surface layer, friction, spectrum.

*Metalozn. obrobka met.* 2025, vol. 31 (115), 22-34  
<https://doi.org/10.15407/mom2025.03.022>

УДК 629.4.077:629.4.027.51

## *Вплив гальмівних колодок на утворення дефектів поверхні кочення коліс залізничного транспорту і рейок*

Мазур В. Л., член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник, [prof.vlm@ukr.net](mailto:prof.vlm@ukr.net),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8970-5389>

Сіренко К. А., кандидат технічних наук, заступник завідувача відділу, [thermoexp.metal@gmail.com](mailto:thermoexp.metal@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2613-8094>

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ, Україна

*Розглянуто результати досліджень причин, механізму і наслідків утворення дефектів на поверхні кочення коліс залізничного рухомого складу і залізничних рейок під впливом гальмівних колодок. Акцентовано увагу, що в Україні під назвою «композиційні гальмівні колодки» застосовують колодки із композиційної (композитної) гумосуміші на*

основі гуми (каучуку). Показано, що гальмівні колодки із композиційної гумосуміші більшою мірою сприяють утворенню дефектів на поверхні кочення коліс залізничного транспорту, ніж чавунні колодки. Основною причиною зазначеного є порівняно низька теплопровідність гумосуміші композиційних колодок. Оснащення колодок із гумосуміші чавунними вставками або чавунним каркасом кардинально не позбавляє їх від небезпечного недоліку, а саме недостатнього відводу тепла із зони контакту колодки з поверхнею кочення колеса і від утворення дефектів на цій поверхні. Дефекти на поверхні коліс призводять до необхідності їх вартісного ремонту, переточування і передчасного виходу з експлуатації. Розглянуто перетворення мікроструктури поверхневого шару коліс у місцях дефектів, утворених під впливом циклічно змінної високої температури, яка виникає у зоні контакту колодки з колесом при гальмуванні рухомих засобів. Акцентовано увагу, що дефектні утворення на поверхні коліс, контактуючи із залізничними рейками, пошкоджують їх поверхню. Все зазначене призводить до зниження ефективності техніко-економічної діяльності залізниці загалом. Рекомендовано при визначенні доцільності застосування на залізниці гальмівних композиційних колодок, виготовлених із гумосуміші, враховувати також негативний ефект щодо утворення дефектів не тільки на поверхні кочення коліс рухомих засобів, а й на поверхні залізничних рейок, як пари «колодка–колесо» і «колесо–рейка».

**Ключові слова:** залізничний транспорт, гальмівні колодки, дефекти поверхні, чавун, композиційна гумосуміш, економіка застосування.

Однією із найважливіших задач, яка потребує невідкладного вирішення для підвищення техніко-економічних показників діяльності залізничного транспорту України, є збільшення тривалості експлуатації коліс рухомого і тяглового складу. Ефективність застосування коліс рухомого складу залізниці значною мірою визначається їх схильністю до утворення дефектів на поверхні кочення. У цій глобальній темі актуалізується задача виявлення впливу хімічного складу та властивостей матеріалу, з якого виготовлені гальмівні колодки рухомих засобів, на утворення дефектів на поверхні кочення коліс, а далі на поверхні залізничних рейок. Нерідко дефекти на поверхні кочення коліс транспортних засобів обумовлені саме взаємодією з гальмівними колодками. Дефектні ділянки поверхні коліс пошкоджують поверхню залізничних рейок, з якими вони контактують. Зазначений неочевидний ефект і взагалі вплив матеріалу, з якого виготовлені гальмівні колодки, на утворення дефектів на поверхні кочення коліс і опосередковано на поверхні залізничних рейок досліджено і висвітлено у технічній літературі недостатньо. При тому, що ця тема вкрай важлива з позицій економічної ефективності і санітарно-екологічної безпеки діяльності залізниці. Результати виконаних досліджень потребують детального аналізу, узагальнення, опрацювання, відповідних висновків і рекомендацій.

Науково-дослідні роботи у цьому напрямі виконуються у Фізико-технологічному інституті металів та сплавів (ФТІМС) НАН України протягом останніх кількох десятиліть і присвячені порівнянню та покращенню фізико-механічних властивостей, експлуатаційних характеристик й інших показників якості гальмівних колодок залізничного транспорту, виготовлених з чавуну, у порівнянні з колодками із композиційної гумосуміші. Вагомий вклад у розроблення цієї теми внесли Неїжко І. Г., Найдєк В. Л., Гаврилюк В. П., Шинський О. І., інші вчені ФТІМС [1-12 та ін.].

Під композиційним матеріалом гальмівних колодок розуміють [5, 10, 12 та ін.] також сплави із порошків різних металів (міді, олова тощо), виготовлені методом порошкової металургії. Підкреслимо, що композиційні сплави – це зовсім інший матеріал, ніж композиційна гумосуміш.

Результати опублікованих досліджень однозначно свідчать [10, 13-26 та ін.], що гальмівні колодки, виготовлені із композиційної гумосуміші, більшою мірою сприяють утворенню дефектів на поверхні кочення коліс рухомих засобів залізничного транспорту, ніж чавунні колодки. Зазначене призводить до необхідності додаткового вартісного обслуговування колісних пар, включаючи їх демонтаж – монтаж, обточування тощо. Значні витрати на виконання і заміну пошкоджених коліс і рейок на нові та на ремонтні операції однозначно знижують техніко-економічні показники діяльності залізниці.

Вчені декількох транспортних університетів та інститутів НАН України на основі неспростовних результатів досліджень засвідчили, що гальмівні колодки, виготовлені із композиційної гумосуміші, сприяють утворенню дефектів не тільки на поверхні кочення коліс, а далі й на поверхні кочення залізничних рейок. Наприклад, згідно з результатами досліджень, представлених у ґрунтовній роботі [13], через дефекти гальмівного походження обточуванню поверхні кочення піддаються ~ 23 % колісних пар вантажних вагонів, в гальмівних системах яких на залізниці України застосовують переважно композиційні гальмівні колодки. Зокрема через повзуни обточуються колеса ~ 15 % вагонів. Загалом частка дефектів, на утворення яких опосередковано впливає робота гальм, в тому числі й гальмівних колодок, за даними статті [13] досягає до 53 %. З них на вищербини припадає до 28 %. За результатами виконаного дослідження глибина повзунів складає в середньому 1,8 мм, вищербин – 2,3 мм. Ці величини свідчать про товщину поверхневого шару коліс, що видаляється при їх обточуванні.

Результати аналогічних досліджень, виконаних на базі вагоноремонтних підприємств, несправностей та дефектів 12072 коліс вантажних вагонів, що утворилися внаслідок фрикційної взаємодії з гальмівними композиційними колодками, представлені у роботах [16-17]. Насамперед у цих роботах підкреслено, що «під час застосування композиційних гальмових колодок значно зростає кількість відмов коліс у процесі експлуатації вантажних вагонів». В доповнення до викладеної інформації зазначимо, що найбільший відсоток (35,7-40,2) % дефектів поверхонь кочення коліс припадає на вищербини та на такий вид несправності, як тонкий гребінь (28,3-24,7) %, на повзуни і навари (18,6-19,7) %.

Аналіз пошкоджень 3000 вантажних вагонів, які експлуатувалися у 2020-2021 роках в специфічних умовах промислових підприємств гірничо-металургійного комплексу, засвідчив [18], що найбільший відсоток пошкоджень вагонів припадає на колісні пари ~ 49 %. Кількість несправностей вантажних вагонів експлуатаційного характеру становить ~ 39 %.

За результатами виконаного співробітниками науково-дослідної лабораторії «Вагони» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна аналізу наявності дефектів на поверхні кочення суцільнокатаних коліс у кількості 5500 штук, виготовлених із високоміцної сталі з твердістю 320...360 НВ, і середньоміцних серійних коліс з твердістю 260...300 НВ, встановлено [19], що дефект вищербини спостерігали на 50 % середньоміцних коліс і на 62 % коліс із високоміцної сталі. Повзуни наднормативної глибини спостерігали на 3,8 % частіше на середньоміцних колесах.

Пошкодження поверхні кочення коліс (навари і кільцеві виробки), зумовлені впливом гальмівних колодок, складали 4 % для середньоміцних коліс і 1 % для високоміцних коліс. Тобто колеса підвищеної міцності пошкоджувалися менше, ніж серійні середньоміцні колеса. Загалом повзуни, навари, кільцеві виробки, інші дефекти траплялися в 23,0 % на поверхні кочення середньоміцних коліс і у 13,2 % високоміцних коліс [19]. **Рекомендовано виробнику гальмівних композиційних колодок «спрямувати дослідження на поліпшення впливу колодок на поверхню кочення коліс».**

В ґрунтовній роботі [20] представлено статистичний аналіз залежності кількості дефектів на поверхні кочення коліс із високоміцної і середньоміцної сталі. Об'єм всієї вибірки складав понад 600 даних. Вміст вуглецю дорівнював (0,58...0,59) % для коліс із середньоміцної сталі і (0,65...0,66) % для коліс із високоміцної сталі. Було встановлено, що колеса середньоміцної сталі мають переважну схильність до формування повзунів глибиною < 1 мм. Зазначене пов'язується [20] з нижчими показниками міцності коліс середньоміцної сталі у порівнянні з колесами високоміцної сталі. Аналіз характеру зародження і розвитку тріщин на погляд авторів цієї статті засвідчив, що розвиток тріщин і, як наслідок, руйнування поверхні коліс не відбувається по «білому шару» з мартенситною структурою. Ця структурна складова ініціює зародження тріщини. А вищербини формуються під дією зони термічного впливу. До того ж товщину зони термічного впливу зафіксовано більшою мірою у коліс із середньоміцної сталі порівняно з високоміцною.

Методика досліджень, результати яких викладено вище, не передбачала, на жаль, контролю впливу матеріалу гальмівних колодок, які застосовували при експлуатаційних випробуваннях коліс із цих сталей. Але можна вважати, що зони термічного впливу в колесах залежать не тільки від хімічного складу (вмісту вуглецю), структури і механічних властивостей сталей, а й від температури коліс у процесі їх експлуатації, яка залежить від теплопровідності матеріалу гальмівних колодок.

Збільшення кількості випадків передчасного вилучення коліс із експлуатації внаслідок дефектів на їх поверхні кочення та інших причин дозволяє припускати [19], що для компенсації цих втрат необхідно щорічно нарощувати на (5-10) % виробництво і постачання коліс на залізницю України.

Наведені у різних публікаціях значення кількості дефектів, утворених на поверхні кочення коліс, дещо різняться. Але визначені величини мають однаковий порядок і неспростовно свідчать про сприяння композиційних гальмівних колодок утворенню дефектів на поверхні кочення коліс, що потребує їх витратного ремонту, включаючи обточування, і взагалі знижує їх експлуатаційну довговічність.

Основна причина викладеного полягає в тому, що гальмівні колодки із композиційної гумосуміші мають суттєво нижчу теплопровідність порівняно з теплопровідністю колодок з чавуну [11]. За цієї причини під впливом високих температури і тиску в зоні контакту коліс з гальмівними колодками із композиційної гумосуміші відбувається посилене утворення дефектів на поверхні кочення коліс, зумовлене перетвореннями мікроструктури та термічними ушкодженнями поверхневого шару коліс. Низька теплопровідність композиційних колодок сприяє пошкодженню поверхні кочення коліс. Зокрема на поверхні кочення коліс утворюються термічні сітки, вищербини різного виду, навари, які мають термомеханічний характер походження [1, 5, 12, 21 та ін.].

Під час застосування композиційних гальмівних колодок на нагрівання колеса припадає (95-98) % потужності гальмування, а за використання чавунних колодок – лише ~ 70 %. За даними статті [22] від поверхні кочення коліс відводиться (5-10) % тепла при застосуванні композиційних гальмівних колодок і приблизно 30 % в разі використання чавунних. Різниця вельми суттєва і свідчить проти застосування композиційної (композитної) гумосуміші для виготовлення гальмівних колодок. У зимовий період за температури нижче 0 °C композиційні колодки можуть покриватися льодяною кіркою. Окрім того має місце налипання металу на поверхню колодок, що тягне за собою утворення дефектів на поверхні коліс [22]. У зимову пору року необхідно на пасажирських вагонах композиційні гальмівні колодки замінювати на чавунні [1].

Результати чисельного моделювання за математичною моделлю температури вузла «гальмівна колодка – колесо» засвідчили [19], що на відстані 15 мм від поверхневої зони температура колеса при екстремому гальмуванні потягу до повної зупинки та для режиму тривалого гальмування на затяжному спуску у функції часу при взаємодії з чавунною і композиційною колодками зростає від ~ 40 °C до (300...340) °C протягом 180 секунд. За такої умови температура колеса, яке взаємодіє з композиційною колодкою, стає на ~ 40 °C вищою, ніж при взаємодії з чавунною гальмівною колодкою. Так відбувається тому, що теплопровідність чавунних колодок значно краща [11], ніж колодок із гумосуміші.

Зауважимо, що температура (300...340) °C близька до температури самозаймання гальмівних колодок із композиційної гумосуміші, яка згідно з технічними характеристиками цих колодок дорівнює ~ 350 °C при довгостроковому режимі їх експлуатації.

Причини утворення дефектів на поверхні кочення коліс рухомих засобів та залізничних рейок детально проаналізовано також у статтях [23-

26 та ін.]. Встановлено, що більшість дефектів на поверхні кочення коліс утворюється внаслідок періодичного підвищення температури, навіть до (800...850) °С в зонах контакту коліс з гальмівними колодками і рейками [2]. Мікроструктура металу суттєво змінюється не тільки в місцях дефектів поверхневого шару коліс рухомих засобів, а й залізничних рейок у процесі їх експлуатації.

Таким чином застосування композиційних колодок у гальмівних системах залізничного транспорту збільшує вихід коліс з ладу внаслідок утворення наварів, термічних тріщин, інших дефектів. Цей підсумок збігається з висновками майже усіх опублікованих робіт. Термічні тріщини, як і навари, утворюються частіше та швидше в умовах недостатнього відводу тепла композиційними колодками із зони їх тертя з поверхнею кочення коліс, ніж при використанні чавунних колодок. Вищербини утворюються на місцях наварів у системах «гальмівна колодка – колесо» і «колесо – рейка» при тривалій експлуатації рухомого залізничного транспорту.

За наведеними у багатьох статтях даними гальмівні колодки, що виготовлені із композиційної гумосуміші, удвічі гірше від чавунних колодок відводять тепло із зони контакту колеса з колодкою. Оснащення фрикційного елемента із гумосуміші композиційних гальмівних колодок чавунними вставками не рятує їх від низької теплопровідності порівняно із теплопровідністю повністю чавунних колодок [1, 3, 8, 14 та ін.]. При тому, що в місцях стику, з'єднання чавунних вставок з композиційною гумосумішшю можливо виникнення тріщин та відколів.

Акцентуємо увагу, що дефекти коліс залізничних рухомих засобів, які виникли внаслідок застосування гальмівних колодок, виготовлених із композиційної гумосуміші, зазвичай є причиною пошкоджень і залізничних рейок під впливом дії утворених нерівностей на поверхні кочення коліс. Саме тому ефективність застосування гальмівних колодок, виготовлених із різних матеріалів, та їх вплив на техніко-економічні показники діяльності залізниці слід аналізувати сумісно у складі системно пов'язаних пар: «гальмівна колодка – колесо» і «колесо – рейка».

Враховуючи високу вартість коліс залізничних рухомих засобів порівняно з вартістю гальмівних колодок (у ~ 100 разів), цей фактор нівелює нібито існуючу перевагу композиційних колодок перед чавунними стосовно більшого ресурсу експлуатації. При оцінці економічної ефективності слід мати на увазі, що композиційні колодки нині стали значно дорожчими за чавунні колодки. Фактор нібито кращої зносостійкості й більшої тривалості експлуатації у розрахунку на кілометраж пробігу до заміни композиційних гальмівних колодок порівняно з чавунними є важливим фактором при оцінці економічної ефективності застосування їх на залізничному транспорті. Але не є визначальним, враховуючи додаткові витрати на ремонти і закупівлю нових коліс, що має місце у разі застосування гальмівних колодок із композиційної гумосуміші.

Особливо відзначимо, що оснащення фрикційного елемента із гумосуміші чавунними вставками не вирішило кардинально проблему

покращення теплопровідності композиційних колодок, але значно підвищило їх ціну [6, 8, 25 та ін.].

У статтях [27], підготовлених за результатами виконаних досліджень ученими ДП «Український науково-дослідний інститут медицини транспорту» МОЗ України, показано, що продукти зносу, а саме пил від стирання гальмівних колодок, виготовлених із композиційної гумосуміші, у процесі експлуатації є шкідливими для людей і довкілля. Йдеться про сотні тисяч тонн токсичного пилу, яким дихають українці і забруднюється навколишнє середовище. На цей небезпечний ефект звертається увага у статтях [6, 15, 27 та ін.]. За даними статті [29] на час її публікації в країнах Європейського Союзу та Швейцарії вантажні вагони (більше ніж 75 % європейських вантажних вагонів) були обладнані гальмівними колодками із чавуну.

Погоджуючись загалом з результатами й висновками досліджень, представлених у названих та інших публікаціях, підкреслюємо, що при прийнятті рішення відносно застосування композиційних чи чавунних гальмівних колодок необхідно враховувати негативний вплив гумосуміші, з якої виготовлені композиційні колодки, на утворення дефектів не тільки на поверхні кочення коліс, а опосередковано й на поверхні залізничних рейок, з усіма небажаними наслідками від зазначеного. Навіть якщо ресурс експлуатації композиційних колодок нібито більший. Гальмівні колодки із композиційної гумосуміші через сприяння утворенню дефектів на поверхні кочення коліс транспортних засобів опосередковано впливають і на залізничні рейки, погіршуючи якість їх поверхні. При цьому особливої уваги потребує вирішення проблеми токсичності та шкідливості для людей і довкілля продуктів зносу, отруйного пилу композиційної гумосуміші колодок при їх експлуатації.

## Література

1. Неижко И. Г., Найдек В. Л., Гаврилюк В. П. Тормозные колодки железнодорожного транспорта. – Киев: НАН Украины, Физ.-технол. ин-т металлов и сплавов, 2009. – 121 с.
2. Неижко И. Г. Термическая обработка чугуна. – Киев: Наукова думка, 1992. – 208 с.
3. Мазур В. Л., Найдек В. Л., Попов Є. С. Порівняння чавунних і композиційних з чавунними вставками гальмових колодок для рухомого складу залізниці // Метал та лиття України. – 2021. – Т. 29. – № 2 (325). – С. 80-89. <https://doi.org/10.15407/steelcast2021.02.080>
4. Попов Е. С., Шинский О. И. Анализ показателей качества колодок тормозных чугунных и композиционных для железнодорожного подвижного состава // Литье и металлургия. – 2021. – № 1. – С. 27-37. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-27-37>
5. Сіренко К. А., Мазур В. Л. Аналіз показників якості гальмівних колодок з чавуну і багатокомпонентних композиційних матеріалів // Метал та лиття України. – 2024. – Т. 32. – № 1 (336). – С. 40-49. <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.01.005>

6. Мазур В. Л., Сіренко К. А. Економічні та екологічні аспекти використання гальмових колодок з чавуну чи композиційного матеріалу для залізничного транспорту // Процеси лиття. – 2022. – № 3 (149). – С. 54-62. <https://doi.org/10.15407/plit2022.03.054>
7. Мазур В. Л., Сіренко К. А. Механізм тертя гальмових колодок з чавуну та композиційного матеріалу по поверхні коліс залізничного транспорту // Металознавство та обробка металів. – 2023. – Т. 29. – № 1 (105). – С. 18-33. <https://doi.org/10.15407/mom2023.01.018>
8. Сіренко К. А., Мазур В. Л. Вибір чавуну для вставок у фрикційний елемент гальмівних колодок рухомого залізничного транспорту // Метал та лиття України. – 2024. – Т. 32. – № 3-4. – С. 49-57. <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.03-04.006>
9. Мазур В. Л., Сіренко К. А. Проблемні питання стандартизації ливарної продукції (на прикладі стандартизації гальмових колодок залізничного транспорту) // Метал та лиття України. – 2023. – Т. 31. – № 3 (334). – С. 39-48. <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.03.039>
10. Сіренко К. А., Мазур В. Л. Аналіз впливу матеріалу гальмівних колодок на утворення дефектів на поверхні кочення коліс залізничного транспорту // Метал та лиття України. – 2024. – № 2 (337). – С. 64-70. <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.02.008>
11. Сіренко К. А., Мазур В. Л. Оцінка теплопровідності виливків із сірого чавуну з пластинчастим графітом // Процеси лиття. – 2024. – № 2 (156). – С. 56-64.
12. Ямшинський М. М., Назаренко В. С., Кравченко К. О. Аналіз гальмівних колодок та шляхи оцінки їх перспективних конструкцій // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – № 1 (218). – С. 204-209.
13. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Шикунів О. А. Несправності гальмівного обладнання та дефекти колісних пар вантажних вагонів // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2021. – № 3. – С. 5-16.
14. Равлюк В. Г. Аналіз негативних наслідків від ненормативної взаємодії гальмівних колодок з колісними парами у вантажних вагонах // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків, 2016. – № 49 (1221). – С. 119-123.
15. Мартинов І. Е., Нечволода К. С. Аналіз чинників, що впливають на ефективність використання автоматичних гальм вантажних вагонів // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2013. – Вип. 139. – С. 230-235.
16. Ловська А., Равлюк В. Виявлення причин утворення поверхневих дефектів коліс вагонів, обладнаних композиційними колодками // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології». – 2022. – Вип. 40. – С. 102-120. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-9>
17. Ловська А., Равлюк В., Рибін А. Аналіз причин виникнення пошкоджень коліс вантажних візків, обладнаних композиційними гальмовими колодками // Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали III Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції (Рівне, 19–20 жовтня 2022 р.). – Рівне: НУВГП, 2022. – С. 208-209.
18. Солод Є. В., Мурадян Л. А. Аналіз пошкоджень вантажних вагонів власності ДП «Ферротранс» // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту:

- матеріали 82-ї Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпро, 2023. – С. 325-326.
19. Мурадян Л. А. Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Дніпро: Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, 2020. – 44 с.
20. Узлов І. Г., Узлов К. І., Книш А. В., Хулін А. М., Дементьєва Ж. А., Мямлін С. В., Бруякін В. К., Мурадян Л. А. Порівняльний аналіз причин утворення дефектів на поверхні кочення вуглецевих та підвищеної твердості мікролегованих суцільнокатаних коліс // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. научн. тр.* – Днепропетровск: ИЧМ НАН Украины, 2011. – С. 3-12.
21. Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Подольський Р. В., Сафронова О. А., Шпак О. А. Дослідження зв'язку мікроструктури та експлуатаційних дефектів колеса і рейки // *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії.* – 2024. – Вип. 38. – С. 517-541.
22. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Винокурова С. В. Пути развития, тенденции и перспективы дальнейшего совершенствования тормозной колодки рельсового подвижного состава // *Вагонный парк.* – 2015. – № 5-6 (98-99). – С. 32-34.
23. Вакулєнко І. О., Перков О. М., Анофрієв В. Г., Крот В. С. Аналіз причин виникнення дефектів на поверхні кочення залізничних коліс // *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.* – 2008. – Вип. 21. – С. 269-271. <https://stp.ust.edu.ua/article/view/15832/14978>
24. Грищенко М. А. Дослідження причин виникнення вищербин металу на поверхні кочення залізничних коліс // *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.* – 2008. – Вип. 23. – С. 178-182.
25. Мазур В. Л., Сіренко К. А. Аналіз тенденцій виробництва литва з синтетичного чавуну (на прикладі порівняння гальмових колодок для рухомого складу залізниці, виготовлених з різних матеріалів) // *Теорія і практика металургії.* – 2022. – № 3 (134). – С. 5-14. [https://nmetau.edu.ua/file/zh\\_03\\_2022\\_site.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/zh_03_2022_site.pdf)
26. Бабаченко А. И., Кононенко А. А., Дементьєва Ж. А. и др. Исследование причин образования дефектов на поверхности катания высокопрочных колес в процессе эксплуатации // *Залізничний транспорт України.* – 2010. – № 5. – С. 35-38.
27. Шафран Л. М., Мазур В. Л., Большой Д. В., Пихтеева О. Г., Третьякова О. В., Потапов Є. А., Третьяков О. М., Міхалькова С. Г. Токсиколого-гігієнічні та екологічні аспекти безпеки гальмівних систем рухомого складу залізничного транспорту. Частина 1. Міграція шкідливих речовин у довікля // *Актуальні проблеми транспортної медицини.* – 2022. – № 1 (67). – С. 7-18. Шафран Л. М., Мазур В. Л., Большой Д. В., Пихтеева О. Г., Третьякова О. В., Потапов Є. А., Третьяков О. М., Пихтеев Д. М. Токсиколого-гігієнічні та екологічні аспекти безпеки гальмівних систем рухомого складу залізничного транспорту. Частина 2. Забруднення довікля важкими металами та азбестом // *Актуальні проблеми транспортної медицини.* – 2022. – № 2 (68). – С. 15-26.
28. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г. Екологічні збитки довіклю від застосування композиційних гальмівних колодок у вагонах // *Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні: тези доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції (Маріуполь, 15-17 травня 2018 р.).* – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2018. – С. 112-113.

29. Cantone L., Ottati A. Modelling of Friction Coefficient for Shoes Type LL by Means of Polynomial Fitting // The Open Transportation Journal. – 2018. – Vol. 12. – P. 114-127.

## References

1. Neizhko, I. G., Naidek, V. L., & Gavrilyuk, V. P. (2009). *Railway transport brake pads*. Kyiv: National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Physics and Technology of Metals and Alloys. [in Russian]
2. Neizhko, I. G. (1992). *Heat treatment of cast iron*. Kyiv: Naukova Dumka. [in Russian]
3. Mazur, V. L., Naidek, V. L., & Popov, E. S. (2021). Comparison of cast iron and composite brake shoes with cast iron inserts for railway rolling stock. *Metal and Casting of Ukraine*, 29(2 (325)), 80-89. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/steelcast2021.02.080>
4. Popov, E. S., & Shinsky, O. I. (2021). Analysis of quality indicators of brake pads and composite pads for railway rolling stock. *Casting and Metallurgy*, 1, 27-37. [in Russian]. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-27-37>
5. Sirenko, K. A., & Mazur, V. L. (2024). Analysis of quality indicators of brake pads made of cast iron and multi-component composite materials. *Metal and Casting of Ukraine*, 32(1 (336)), 40-49. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.01.005>
6. Mazur, V. L., & Sirenko, K. A. (2022). Economic and environmental aspects of using cast iron or composite brake shoes for rail transport. *Casting Processes*, 3 (149), 54-62. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/plit2022.03.054>
7. Mazur, V. L., & Sirenko, K. A. (2023). Mechanism of friction of cast iron and composite brake pads on the surface of railway wheels. *Scientific and Technical Journal Metallurgy and Metal Processing*, 29 (1 (105)), 18-33. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mom2023.01.018>
8. Sirenko, K. A., & Mazur, V. L. (2024). Selection of cast iron for inserts in the friction element of brake pads for rolling stock. *Metal and Casting of Ukraine*, 32 (3-4), 49-57. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.03-04.006>
9. Mazur, V. L., & Sirenko, K. A. (2023). Problematic issues of standardisation of foundry products (based on the example of standardisation of railway brake pads). *Metal and Casting of Ukraine*, 31 (3 (334)), 39-48. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.03.039>
10. Sirenko, K. A., & Mazur, V. L. (2024). Analysis of the influence of brake pad material on the formation of defects on the rolling surface of railway wheels. *Metal and Casting of Ukraine*, 32 (2 (337)), 64-70. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.02.008>
11. Sirenko, K. A., & Mazur, V. L. (2024). Assessment of the thermal conductivity of grey cast iron castings with lamellar graphite. *Casting Processes*, 2(156), 56-64. [in Ukrainian]
12. Yamshynskiy, M. M., Nazarenko, V. S., & Kravchenko, K. O. (2015). Analysis of brake pads and ways to evaluate their promising designs. *Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 1 (218), 204-209. [in Ukrainian]
13. Muradyan, L. A., Shaposhnik, V. Yu., & Shikunov, O. A. (2021). Malfunctions of braking equipment and defects of wheel sets of freight cars. *Bulletin of Railway Transport Certification*, 3, 5-16. [in Ukrainian]

14. Ravlyuk, V. G. (2016). Analysis of negative consequences resulting from inappropriate interaction between brake pads and wheel pairs of freight wagons. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Mechanical and Technological Systems and Complexes*, 49(1221), 119-123. [in Ukrainian]
15. Martynov, I. E., & Nechvoloda, K. S. (2013). Analysis of factors affecting the efficiency of automatic brakes on freight cars. *Collection of Scientific Papers of the Ukrainian State Academy of Transport*, 139, 230-235. [in Ukrainian]
16. Lovska, A., & Ravlyuk, V. (2022). Identification of the causes of surface defects in the wheels of railway cars equipped with composite brake shoes. *Collection of Scientific Papers of the State University of Infrastructure and Technologies: Series "Transport Systems and Technologies"*, 40, 102-120. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-9>
17. Lovska, A., Ravlyuk, V., & Rybin, A. (2022). Analysis of the causes of damage to the wheels of freight wagons equipped with composite brake pads. *Innovative Technologies for the Development of Mechanical Engineering and the Effective Functioning of Transport Systems: Proceedings of the III International Scientific and Technical Internet Conference* (pp. 208-209). Rivne: NUVGP. [in Ukrainian]
18. Solod, E. V., & Muradyan, L. A. (2023). Analysis of damage to freight cars owned by Ferrotrans. *Materials of the 82nd International Scientific and Practical Conference "Problems and Prospects for the Development of Railway Transport"* (pp. 325-326). Dnipro. [in Ukrainian]
19. Muradyan, L. A. (2020). *Development of scientific foundations for ensuring the reliability of freight cars at different stages of their life cycle* [Doctoral dissertation abstract]. Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian. [in Ukrainian]
20. Uzlov, I. G., Uzlov, K. I., Knysh, A. V., Khulin, A. M., Dementieva, Zh. A., Myamlin, S. V., Bruyakin, V. K., & Muradyan, L. A. (2011). Comparative analysis of the causes of defects on the rolling surface of carbon and high-hardness microalloyed solid-rolled wheels. *Fundamental and Applied Problems of Ferrous Metallurgy*, 3-12. [in Ukrainian]
21. Babachenko, O. I., Kononenko, G. A., Podolsky, R. V., Safronova, O. A., & Shpak, O. A. (2024). Investigation of the relationship between microstructure and operational defects of wheels and rails. *Fundamental and Applied Problems of Ferrous Metallurgy*, 38, 517-541. [in Ukrainian]
22. Muradyan, L. A., Shaposhnik, V. Yu., & Vinokurova, S. V. (2015). Ways of development, trends and prospects for further improvement of brake pads for railway rolling stock. *Rolling Stock*, 5-6 (98-99), 32-34. [in Russian]
23. Vakulenko, I. O., Perkov, O. M., Anofriev, V. G., & Krot, V. S. (2008). Analysis of the causes of defects on the rolling surface of railway wheels. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian*, 21, 269-271. [in Ukrainian]. <https://stp.ust.edu.ua/article/view/15832/14978>
24. Gryshchenko, M. A. (2008). Investigation of the causes of metal pitting on the rolling surface of railway wheels. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian*, 23, 178-182. [in Ukrainian]
25. Mazur, V. L., & Sirenko, K. A. (2022). Analysis of trends in the production of synthetic cast iron castings (based on a comparison of brake pads for railway rolling stock made from different materials). *Theory and Practice of Metallurgy*, 3 (134), 5-14. [in Ukrainian]. [https://nmetau.edu.ua/file/zh\\_03\\_2022\\_site.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/zh_03_2022_site.pdf)

26. Babachenko, A. I., Kononenko, A. A., Dementieva, Zh. A., et al. (2010). Investigation of the causes of defects on the running surface of high-strength wheels during operation. *Railway Transport of Ukraine*, 5, 35-38. [in Russian]
27. Shafran, L. M., Mazur, V. L., Bolshoy, D. V., Pykhiteeva, O. G., Tretyakova, O. V., Potapov, E. A., Tretyakov, O. M., & Mikhalkova, S. G. (2022). Toxicological, hygienic and environmental aspects of the safety of railway rolling stock braking systems. Part 1: Migration of harmful substances into the environment. *Current Issues in Transport Medicine*, 1 (67), 7-18. [in Ukrainian]
28. Shafran, L. M., Mazur, V. L., Bolshoy, D. V., Pykhiteeva, O. G., Tretyakova, O. V., Potapov, E. A., Tretyakov, O. M., & Pykhiteev, D. M. (2022). Toxicological, hygienic and environmental aspects of the safety of braking systems of rolling stock in railway transport. Part 2: Environmental pollution with heavy metals and asbestos. *Current Issues in Transport Medicine*, 2 (68), 15-26. [in Ukrainian]
29. Ravlyuk, V. G., & Ravlyuk, M. G. (2018). Environmental damage caused by the use of composite brake pads in railway carriages. In *Problems of Energy Conservation in Industrial Regions: Abstracts of the IV All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (pp. 112-113). Mariupol: DVNZ "PDTU". [in Ukrainian]
29. Cantone, L., & Ottati, A. (2018). Modelling of friction coefficient for shoes type LL by means of polynomial fitting. *The Open Transportation Journal*, 12, 114-127. [in English]

Одержано 25.08.25

### The influence of brake shoes on the formation of defects in the rolling surface of railway wheels and rails

**V. L. Mazur**, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, prof.vlm@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8970-5389>

**K. A. Sirenko**, Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of Department, thermoexp.metal@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2613-8094>

Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

#### Summary

The results of research into the causes, mechanisms and consequences of defects forming on the rolling surfaces of railway rolling stock wheels and railway rails under the influence of brake pads are considered. It is emphasised that in Ukraine, the term «composite brake pads» refers to pads made of a composite rubber mixture based on rubber (caoutchouc). It is shown that brake pads made of composite rubber compounds contribute to the formation of defects on the rolling surface of railway wheels to a greater extent than cast iron pads. The main reason for this is the relatively low thermal conductivity of the rubber compound of composite pads. Equipping brake pads made of rubber compound with cast iron inserts or a cast iron frame does not fundamentally eliminate their dangerous flaw, namely insufficient heat dissipation from the area of contact between the brake pad and the wheel rolling surface and the

formation of defects on this surface. Defects on the wheel surface lead to the need for costly repairs, regrinding and premature decommissioning. The transformation of the microstructure of the surface layer of wheels in areas of defects formed under the influence of cyclically varying high temperatures, which arise in the area of contact between the brake shoe and the wheel during braking of moving vehicles, is considered. It is emphasised that defective formations on the surface of wheels, when in contact with railway rails, damage their surface. All of the above leads to a decrease in the technical and economic efficiency of the railway as a whole. When determining the feasibility of using composite brake pads made of rubber compounds on the railway, it is recommended to also take into account the negative effect of defect formation not only on the rolling surface of the wheels of moving vehicles, but also on the surface of railway rails, such as the «pad-wheel» and «wheel-rail» pairs.

**Keywords:** rail transport, brake pads, surface defects, cast iron, composite rubber compound, cost-effectiveness.

Журнал **МОМ** внесено до Переліку наукових фахових видань України згідно з наказом Міністерства освіти і науки України №409 від 17.03.2020.

Повна назва журналу  
**"Науково-технічний журнал  
"Металознавство та обробка металів"**

Вартість одного номера журналу - 300 грн.  
Перед оплатою необхідно узгодити потрібну кількість номерів з редакцією.

Оплата здійснюється на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.

Доступні архівні номери журналу з 1995 р. по 2024 р. включно.

**Розрахунковий рахунок для замовників,  
спонсорів і рекламодавців:**  
р/р UA828201720313251001201012215,  
банк ДКСУ в м. Києві код банку 820172  
Отримувач - ФТІМС НАН України, код ЄДРПОУ 05417153,  
з посиланням на журнал "МОМ"

Копію документа оплати та відомості про отримувача  
**просимо надсилати до редакції,**  
вказавши номер і дату платіжного документа.