

Аналіз впливу матеріалу гальмівних колодок на утворення дефектів на поверхні кочення коліс залізничного транспорту

Проаналізовано результати досліджень і виробничого досвіду у сфері виявлення причин та механізмів утворення дефектів на поверхні кочення коліс залізничного рухомого складу. Представлено різні погляди на механізм впливу матеріалу гальмівних колодок на виникнення поверхневих дефектів коліс, що обумовлені їх фрикційною взаємодією з колодками із чавуну або із композиційного матеріалу у вигляді композиційної гумосуміші. Однозначно показано, що гальмівні колодки із композиційної гумосуміші більшою мірою і частіше пошкоджують поверхню кочення коліс. Це призводить до необхідності обточування колісних пар, скорочує тривалість їх експлуатації. Основною причиною виникнення дефектів на робочій поверхні коліс є теплові навантаження на зону тертя колодки з колесом під час гальмування потягів. Температура в цій зоні періодично змінюється і може досягати 900 °С при тому, що температура самозаймання гумосуміші, з якої виготовляють фрикційний елемент композиційних колодок, складає 350–500 °С. Неприпустимо висока температура в осередку тертя композиційної колодки з поверхнею колеса, яка виникає в процесі гальмування поїзда, обумовлена відносно низькою теплопровідністю композиційної гумосуміші порівняно з теплопровідністю чавуну. Оснащення фрикційного елемента композиційних колодок вставками із чавуну не рятує ситуацію щодо низької теплопровідності таких колодок в цілому і схильності їх до пошкодження поверхні кочення коліс рухомих засобів. Запропоновано рекомендації у напрямі підвищення техніко-економічних показників діяльності залізничного транспорту за рахунок покращення якості гальмівних колодок рухомих засобів.

Ключові слова: колеса залізничного транспорту, знос, дефекти поверхні коліс, гальмівні колодки, чавун, композиційна гумосуміш, безпека.

Понад півстоліття Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України (ФТІМС НАН України) виконує роботи з удосконалення металопродукції, яку виробляють ливарні підприємства для потреб залізниці. У тому числі — й гальмівних (гальмових) колодок рухомого складу залізниці. Результати робіт вчених Інституту у напрямі покращення якості і службових характеристик гальмівних колодок з чавуну викладені у монографіях [1–2] та багатьох інших публікаціях. В зазначених монографіях, статтях [3–7 та ін.] наведено результати детального дослідження (порівняння) ефективності використання гальмівних колодок з чавуну і так званих «композиційних» колодок, які виготовляють із композиційної гумосуміші. В літературних джерелах [8–17 та ін.] підкреслюється, що кількість випадків передчасного вилучення коліс і бандажів з

експлуатації збільшується не тільки у зв'язку зі зростанням інтенсивності експлуатації залізничного транспорту. Також внаслідок появи дефектів на поверхні кочення коліс в результаті взаємодії з гальмівними колодками. Незважаючи на широке висвітлення в технічній літературі впливу матеріалу гальмівних колодок на утворення дефектів на поверхні коліс залізничного транспорту, не всі наукові й практичні проблеми в цій темі вирішено. З урахуванням наведеного актуалізується задача виявлення причин і механізмів впливу матеріалу гальмівних колодок на виникнення і розвиток дефектів на поверхні кочення коліс та пошуку можливостей запобігання цим процесам. Узагальнення опублікованої інформації щодо порушення зазначеного питання призводить до наступних висновків.

Гальмівні колодки з сірого чавуну у процесі

експлуатації відносно непогано взаємодіють з поверхнею кочення коліс залізничного транспорту. Але вважається, що мають нібито менші зносостійкість, працездатність, строк експлуатації порівняно з композиційними колодками. Останні внаслідок гіршої теплопровідності композиційної гумосуміші і відводу тепла із зони тертя порівняно з чавуном інтенсивніше нагрівають поверхню коліс, ушкоджуючи її термічними тріщинами та іншими дефектами [18]. Під впливом дощу і снігу в зимовий період композиційні колодки «значною мірою втрачають свої службові властивості» [12, 14]. У багатьох публікаціях [11—14 та ін.] зазначається, що суперечливі вимоги (зносостійкість, висока теплопровідність, стабільність коефіцієнта тертя, стійкість до виникнення дефектів на поверхні коліс тощо) до матеріалу гальмівних колодок задовольняють металокерамічні сплави, які отримують методом порошкової металургії. Але висока вартість, обумовлена використанням міді, олова, інших кольорових металів, стримує розповсюдження таких матеріалів для виготовлення гальмівних колодок.

У технічній літературі [15 та ін.] певна увага приділяється питанню можливості покращити відвід тепла із зони тертя колодки з поверхнею колеса шляхом оснащення фрикційного матеріалу (гумосуміші) композиційної колодки чавунними вставками. Показовим прикладом у цій темі є стаття [15], в якій детально розглянуто причини виникнення найбільш поширених дефектів на поверхні кочення коліс залізничного рухомого складу внаслідок взаємодії з композиційними гальмівними колодками. Показано також, що на колесах вагонів, оснащених композиційними колодками з чавунними вставками, були виявлені типові дефекти поверхні кочення. Тобто так само, як й у випадках застосування композиційних колодок без чавунних вставок. Окрім того, зустрічалися тріщини та відколи у місцях з'єднання композиційної гумосуміші та чавунної вставки. На погляд авторів статті [16] доцільно продовжити дослідження у цьому напрямі. Таким чином, незважаючи на те, що більшість науковців мають близькі погляди на причини і наслідки появи дефектів на поверхні кочення коліс залізничного транспорту в результаті взаємодії з чавунними та композиційними гальмівними колодками, тонкощі, механізми цього процесу потребують уточнення і роз'яснення.

В останні роки в літературних джерелах звертається увага на необґрунтоване збільшення застосування гальмівних колодок з композиційного матеріалу (гумосуміші) навіть там, де це вкрай небезпечно і неприпустимо (зокрема на локомотивах) замість чавунних колодок типу «М» відповідно до ГОСТ 30249-97. Така практика призводить до суттєвого погіршення техніко-економічних показників діяльності залізниці. При цьому йдеться не лише про необґрунтоване збільшення ціни композиційних колодок в Україні більш ніж у 3 рази, внаслідок чого нині ціна композиційних колодок із чавунними вставками вдвічі перевищує ціну колодок із чавуну [6—7]. Питання економічної ефективності колодок з чавуну і з композиційної гумосуміші значно глибше.

Порівнюючи економічну ефективність використання чавунних та композиційних гальмівних колодок на залізничному транспорті, слід керуватися сумарними витратами на закупівлю колодок і коліс, а також враховувати експлуатаційні витрати на обслуговування колісних пар вагонів при застосуванні колодок з різних матеріалів. Вартість гальмівних колодок як з чавуну, так й з композиційного матеріалу у сотню разів менша за ціну колеса і суттєво не впливає на сумарну ціну колісної пари разом з гальмівними колодками. При цьому надзвичайно важливо акцентувати увагу економістів АТ «Укрзалізниця», інших залізничних підприємств України на тому, що гальмівні колодки з композиційного матеріалу пошкоджують і виводять з ладу колеса транспортних засобів значно частіше, ніж колодки з чавуну, які суттєво менше травмують робочу поверхню коліс. У названій вище книзі [1, с. 83] і статтях [8—10 та ін.] підкреслюється, з посиланням на залізничників, що використання композиційних колодок призводить до виникнення повзунів, тріщин на поверхні кочення коліс, виривів металу тощо. Зазначається, що композиційні колодки «сприяють утворенню дефектів металу у вигляді тріщин та виривів, у тому числі й, сприяючи юзу, загартуванню металу з подальшим утворенням тріщин».

Грунтовний аналіз причин виникнення пошкоджень коліс вантажних візків, обладнаних композиційними гальмівними колодками, виконано Українським державним університетом залізничного транспорту (м. Харків) на базі обстеження 12072 коліс вантажних вагонів шляхом опрацювання форми ВУ-53 для виявлення відповідних несправностей та дефектів коліс вантажних вагонів за 2015—2021 роки. За опублікованими даними [8—10] найбільший відсоток дефектів поверхонь кочення коліс припадає на вищербини. До того ж останніми роками ця величина лише збільшувалась (з 35,7 до 40,2 %). Наступну позицію займає дефект типу «тонкий гребінь» (24,7—28,3) %. На «передові» позиції (18,6—19,7) % увійшли дефекти «повзуни», «навари», як результат фрикційної взаємодії колодок з колесами залізничного рухомого складу.

Небезпека появи термічних пошкоджень на поверхні кочення коліс виникає в першу чергу внаслідок негативного впливу композиційних гальмівних колодок на цей процес. Причина обумовлена низькою теплопровідністю композиційного матеріалу (гумосуміші) таких колодок і, як результат, недостатнім відводом тепла із зони тертя колодки по поверхні колеса [18]. Обладнання композиційних колодок чавунними вставками, яке знайшло поширення на практиці, не рятує ситуацію.

У виробничій практиці залізниць прийнято оцінювати ефективність застосування гальмівних колодок за кілометражем пробігу рухомого складу, оснащеного цими колодками, до певного зносу фрикційного елемента колодок, виготовленого з чавуну чи композиту. Кілометраж експлуатації колодки до повного зносу є вагомим і наглядним показником її зносостійкості. Але з позиції системного підходу порівнювати техніко-економічну ефективність за-

стосування на залізничному транспорті гальмівних колодок із різних матеріалів потрібно комплексно, всебічно, враховуючи всі аспекти зазначеної теми [6—7].

Витрати на обстеження колісної пари, її демонтаж-монтаж та обточування коліс становлять тисячі гривень. Зазначені роботи потребують використання праці фахівців та наявності необхідного обладнання (колесотокарних верстатів тощо) для їх виконання. Обладнання зношується. Витрати на його придбання і експлуатацію відображаються в амортизаційних нарахуваннях. Кожне обточування вартісних колісних пар для видалення дефектів на поверхні кочення скорочує тривалість їх експлуатації. Відповідно ці витрати вкрай негативно відображаються на техніко-економічних показниках експлуатації колісних пар з композиційними гальмівними колодками та діяльності залізниці в цілому. Все зазначене призводить до незрівнянно більших витрат порівняно з «економією» завдяки нібито більшому пробігу композиційних колодок порівняно з чавунними. При застосуванні гальмівних колодок із композиційної гумосуміші скорочується тривалість експлуатації коліс. Саме цей ефект впливає і головним чином погіршує показники економічної діяльності залізниці в цілому.

Відносно впливу чавунних гальмівних колодок на утворення дефектів на поверхні кочення коліс рухомого складу, то механізм цього процесу інший, ніж при застосуванні колодок, виготовлених із композиційної гумосуміші. Чавун має значно кращу теплопровідність, ніж гумосуміш [18]. Це створює кращі умови для відводу тепла із зони тертя чавунної гальмівної колодки з колесом рухомого засобу, виключає виникнення занадто високої температури і термомеханічних пошкоджень поверхні кочення коліс.

За даними, наведеними у статті [17], однією з вагомих причин посиленого зносу бандажів коліс локомотивів є пригари на робочій поверхні чавунних колодок. Цей дефект, а також відбіл, внутрішні дефекти, нестабільність твердості чавуну призводять до нерівномірного зносу бандажів. Тема запобігання і впровадження дефектів лиття докладно представлена у довіднику [19, с. 646—690] та монографії [20, с. 134—145]. В книгах [21—22 та ін.] розглянуто причини виникнення, шляхи запобігання і способи виправлення дефектів металургійного походження. Наведена інформація може бути корисною у боротьбі з дефектами ливарної продукції із чавуну. Сучасні ливарні підприємства в Україні, які виробляють в тому числі й гальмівні колодки з чавуну [5], оснащені обладнанням для очищення робочої поверхні колодок від пригару дробоструменевим способом.

В ґрунтовній статті [16] зазначено, що не в усіх дослідницьких роботах поставлено акцент на причинах і, додамо, механізмах утворення дефектів колісних пар. Відповідно представлена інформація про розподіл дефектів поверхні кочення коліс суто гальмівного походження заслуговує на особливу увагу. Так, за даними авторів статті [16] через дефекти «гальмівного походження» на обточування поверхні

кочення подається до 23 % колісних пар вантажних вагонів. З них внаслідок виникнення дефектів «повзуни» — до 15 %, через навари — до 6 %, кільцеві виробки — до 2 %, інші — до 1 %. Ця статистика, на жаль, немає прив'язки природи зазначених дефектів до типу гальмівних колодок — чавунні чи композиційні. До дефектів «гальмівного походження» віднесено одночасно ушкодження поверхні кочення коліс як з причини негативного впливу матеріалу гальмівних колодок, так й в результаті недотримання визначених умов і правил експлуатації гальмівних систем залізничного транспорту. Але оскільки у статті [16] йдеться переважно про вантажні вагони, які оснащують переважно композиційними гальмівними колодками, то слід вважати, що зазначена інформація стосується гальмівних колодок, виготовлених із композиційної гумосуміші.

До дефектів поверхні кочення коліс, які виникли внаслідок їх термомеханічного пошкодження через низьку теплопровідність композиційних колодок, прямо чи опосередковано відносять навари, повзуни, термічні тріщини, вищербини тощо. Результати дослідження перетворень мікроструктури поверхневих шарів металу коліс залізничних рухомих засобів, що призводять до виникнення дефектів, викладені в публікаціях [25—27 та ін.] вчених Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (нині — Інститут промислових та бізнес технологій Українського державного університету науки і технологій). Основні результати цих досліджень зводяться до наступного.

Формування осередків руйнування поверхневого шару металу обумовлено найчастіше циклічними перегрівами зони тертя гальмівної колодки по поверхні кочення колеса в процесі гальмування рухомих засобів [23—24]. Швидке зростання температури до (900...1000) °C є найбільш ймовірною причиною виникнення вищербин та інших дефектів металу на поверхні коліс. Циклічна зміна температури поверхневого шару товщиною (1,0...1,5) мм металу коліс супроводжується зміною етапів зміцнення (наклепу) металу до його знеміцнення при гальмуванні. Зазначеної високої температури достатньо для початку фазових перетворень у тонкому прошарку металу коліс. Нюанси структурних перетворень розглянуто у вищезазначених статтях [25—27].

Важливо підкреслити, що висока температура у зоні тертя гальмівної колодки з колесом виникає більшою мірою при застосуванні композиційних колодок внаслідок низької теплопровідності композиційної гумосуміші і недостатнього відводу тепла із зазначеної зони. Чавунні колодки при взаємодії з колесом завдяки кращому відводу тепла забезпечують відносно рівномірний розігрів контактної зони і окрім цього рівномірно знімають (нібито зрізають) поверхневий шар металу з можливими ушкодженнями [26 та ін.]. В результаті руйнування поверхні кочення коліс послаблюється.

Оцінка ефективності застосування на залізничному транспорті гальмівних колодок із композиційного матеріалу (гумоазбестової та гумобезазбестової

гумосуміші) потребує розкриття у технічних умовах на цю продукцію відсоткового вмісту компонентів композиту та їх хімічного складу, термостійкості гумосуміші, а також забруднення доквілля шкідливими речовинами. Слід підкреслити, що в технічних умовах на колодки гальмові (гальмівні) композиційні така інформація не надається з порушенням законодавства України, а саме ГОСТ 2.114-95 і статті 50 Конституції України відносно гарантування права вільного доступу до інформації, зокрема щодо впливу продуктів зносу композиційних колодок на здоров'я людей та стан довкілля. Більше того, деякі пункти розділів технічних умов, в яких повинні бути зазначені конкретні дані щодо відсоткового вмісту компонентів композиційного матеріалу та їх хімічний склад, викладені таким чином, аби складалось враження, що зазначені дані в тексті технічних умов (ТУ) нібито наведені. Але фактично необхідні конкретність і однозначність визначення хімічних речовин та їх складу в ТУ відсутні. Типовим прикладом такого підходу до побудови технічних умов на гальмівні композиційні колодки з чавунними вставками є ТУ У 30.2-35046274-060:2021, призначені для локомотивів [3].

Нагадаємо також, що матеріал композиційних гальмових колодок віднесений до 4 класу небезпеки згідно з ДСТУ 8829:2019 «Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їх визначення». Продукти термодеструкції і зносу гумосуміші композиційних гальмівних колодок можуть викликати токсичні ефекти. До цього слід додати, що у процесі гальмування залізничних потягів температура у зоні тертя гальмової колодки з робочою поверхнею коліс може досягти навіть 900 °C [1, с. 125], і яка значно вища температури (350...500) °C самозаймання композиційної гумосуміші. Зазначене стосується безпосередньо питання безпеки на залізничному транспорті та заслуговує на особливу увагу. Токсичність і небезпечність продуктів зносу композиційної гумосуміші гальмівних колодок для людей і довкілля розглянуто у статтях [28]. Це окрема проблема надзвичайної важливості, яка потребує особливого розгляду та реагування, але виходить за межі цієї статті.

Викладена вище інформація щодо виробничого досвіду, результати досліджень, висновки, погляди відображають суб'єктивні судження і точку зору авторів статті. Вона не претендує на всебічність розгляду теми, про яку йдеться. Позиція окремих науковців, виробників чи споживачів гальмівних колодок залізничного рухомого складу може не збігатися певною мірою з поглядами авторів статті та їх тлумаченням наведених механізмів, процесів, явищ, рекомендацій. Наведені висновки мають загальний характер і не стосуються гальмівних колодок конкретних виробників чи споживачів цієї продукції. Автори будуть вдячні за зауваження, докази, які висвітлюють інші точки зору на шляхи вирішення проблеми, що аналізується.

Висновки

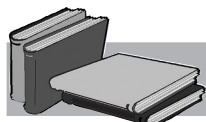
1. Проаналізовано результати досліджень і виробничий досвід залізниць у сфері застосування гальмівних колодок рухомих засобів, виготовлених з чавуну та з композиційної гумосуміші. Згідно з висновками, наведеними у літературних джерелах, композиційні гальмівні колодки частіше і більшою мірою пошкоджують поверхню кочення коліс рухомих засобів залізничного транспорту, ніж колодки, виготовлені з чавуну.

2. В останні роки виконано реконструкцію, модернізацію, переоснащення ряду ливарних підприємств, які спеціалізуються на виготовленні чавунних гальмівних колодок. Чавун виплавляють в електричних індукційних печах замість виплавлення у вагранках за старою технологією. Сучасні підприємства оснащені обладнанням для дробоструменевої обробки гальмівних колодок з метою виявлення можливих дефектів на їх поверхні. Дробоструменева обробка замість гальтування виключає постачання неякісних чавунних колодок споживачам.

3. Основна причина виникнення дефектів на поверхні кочення коліс при застосуванні композиційних гальмівних колодок полягає в тому, що композиційна гумосуміш має суттєво нижчу теплопровідність порівняно з теплопровідністю чавуну. В результаті занадто висока температура в зоні контакту композиційної колодки з колесом, що виникає при гальмуванні поїздів, призводить до термічних пошкоджень поверхні кочення колеса. Оснащення композиційних колодок чавунними вставками кардинально не вирішує проблему недостатньої теплопровідності колодок. При тому, що знижує їх міцність і підвищує вартість виготовлення.

4. Збільшення пошкоджень і дефектів поверхні кочення коліс при застосуванні гальмівних колодок, виготовлених з композиційної гумосуміші, призводить до необхідності додаткового вартісного технічного обслуговування колісних пар, включаючи їх демонтаж-монтаж і обточування на колесотокарних верстатах для відновлення профілю поверхні кочення. Періодичне обточування коліс знижує загальну тривалість їх експлуатації. Додаткові витрати на виконання зазначених ремонтних операцій ставлять під сумнів техніко-економічну ефективність застосування композиційних гальмівних колодок і потребує проведення її детальної оцінки в кожному конкретному прикладі.

5. При оцінці економічної ефективності гальмівних колодок, виготовлених із різних матеріалів, обов'язково слід враховувати також, що продукти зносу токсичної композиційної гумосуміші гальмівних колодок шкідливі для людей та навколишнього середовища. Витрати на лікування людей, які хворіють з цієї причини, також потрібно враховувати, оскільки зазначена проблема потребує вирішення.

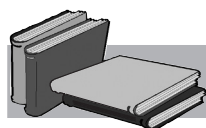


ЛІТЕРАТУРА

1. Неижко И.Г. Термическая обработка чугуна. Киев: Наукова думка, 1992. 208 с.
2. 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.
3. 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>
4. 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>
5. Попов Е.С., Шинский О.И. Анализ показателей качества колодок тормозных 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>
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. Т. 149. № 3. С. 54—62. <https://doi.org/10.15407/plit2022.03.054>
7. Мазур В.Л., Сіренко К.А. Техніко-економічна оцінка ефективності ливарної продукції з чавуну. *Процеси лиття*. 2024. № 1 (155). С. 72—80. <https://doi.org/10.15407/plit2024.01.072>
8. 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>
9. Равлюк В.Г., Равлюк М.Г. Екологічні збитки докіль від застосування композиційних гальмівних колодок у вагонах. *Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика: тези доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції*. (Маріуполь, 15—17 травня, 2018 р.). Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2018. С. 112—113.
10. 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.
11. 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.
12. Берент В.Я., Берент В.В. Целесообразность использования металлокерамических тормозных колодок. *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2017. Т. 18. № 8. С. 355—360.
13. Шакина А.В., Фадеев В.С., Штанов О.В. Вагонные тормозные колодки повышенной износостойкости. *Техника железных дорог*. 2024. № 4 (28). С. 68—71.
14. 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.
15. Мурадян Л.А., Шапошник В.Ю., Винстрон Бернд Уве, Муковоз С.П. Испытания перспективных тормозных колодок на железных дорогах Украины. *Реалії та перспективи. Залізничне видавництво «Рухомий склад»*. 2015. № 7—8. С. 20—22.
16. Мурадян Л.А., Шапошник В.Ю., Шкунов О.А. Неспособности гальмівного обладнання та дефекти колісних пар вантажних вагонів. *Вісник сертифікації залізничного транспорту*. 2021. № 3. С. 5—16.
17. Климов А.А., Домнин С.В., Стручков А.В., Бондарик В.Б. Исследование влияния структуры и твердости тормозных колодок на износ бандажей колес локомотивов. *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2017. № 1 (53). С. 215—218.
18. Сіренко К.А., Мазур В.Л. Оцінка теплопровідності виливків із сірого чавуну з пластинчастим графітом. *Процеси лиття*. 2024. № 2 (156). С. 56—64. <https://doi.org/10.15407/plit2024.02.056>
19. Справочник по чугунному литью. Под. ред. Н.Г. Гиршовича. Л.: Машиностроение, 1978. 758 с.
20. Шумихин В.С., Кутузов В.П., Храмченков А.И., Дибров И.А., Александров Н.Н., Бобро Ю.Г., Пузырьков-Уваров О.В., Бложко Н.К. Высококачественные чугуны для отливок. Москва: Машиностроение, 1982. 222 с.
21. Дефекты стали. Справочное издание под редакцией Новокщеновой С.М., Виноград М.И. Москва: Металлургия, 1984. 199 с.
22. Мазур В.Л., Добронравов А.И., Чернов П.П. Предупреждение дефектов листового проката. Киев: Техника, 1986. 141 с.
23. Сіренко К.А. Коефіцієнти тертя між колесами залізничного транспорту і гальмовими колодками з чавуну та композиційного матеріалу: порівняльний аналіз. *Метал та лиття України*. 2022. Т. 30. № 1 (328). С. 91—101. <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.01.091>
24. Мазур В.Л., Сіренко К.А. Механізм тертя гальмових колодок з чавуну та композиційного матеріалу по поверхні коліс залізничного транспорту. *Науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів»*. 2023. Т. 29. № 1 (105). С. 18—33. <https://doi.org/10.15407/mom2023.01.018>

25. Грищенко М.А. Дослідження причин виникнення вищербин металу на поверхні кочення залізничних коліс. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2008. Вип. 23. С. 178—182.
26. Вакуленко І.О. Залежність структурних перетворень по поверхні кочення залізничних коліс від типу гальмівної системи. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізничн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2008. Вип. 24. С. 192—194.
27. Грищенко М.А. Причини виникнення дефектів на поверхні кочення залізничних коліс. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізничн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпропетровськ. 2009. Вип. 27. С. 223—225.
28. Шафран Л.М., Мазур В.Л., Большой Д.В., Пихтєєва 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 довкілля. *Актуальні проблеми транспортної медицини*. 2022. № 1 (67). С. 7—18. Шафран Л.М., Мазур В.Л., Большой Д.В., Пихтєєва О.Г., Третьякова О.В., Потапов Є.А., Третьяков О.М., Пихтєєв Д.М. Токсиколого-гігієнічні та екологічні аспекти безпеки гальмівних систем рухомого складу залізничного транспорту. Частина 2. Забруднення довкілля важкими металами та азбестом. *Актуальні проблеми транспортної медицини*. 2022. № 2 (68). С. 15—26.

Надійшла 14.06.2024



REFERENCES

1. Neizhko, I.G. (1992). Heat treatment of cast iron. Kyiv: Naukova dumka, 208 p. [in Russian].
2. Neizhko, I.G., Naydek, V.L., Gavrilyuk, V.P. (2009). Railway brake pads. Kyiv: NAS of Ukraine, PTIMA NAS of Ukraine, 121 p. [in Russian].
3. Sirenko, K.A., Mazur, V.L. (2024). Analysis of quality indicators for brake pads made of cast iron and multicomponent composite materials. *Metal and Casting of Ukraine*, 32(1(336)), 40-49. <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.01.005> [in Ukrainian].
4. Mazur, V.L., Naidek, V.L., Popov, Ye.S. (2021). Comparison of cast-iron and composite brake pads with cast-iron inserts for rolling stock of railways. *Metal and Casting of Ukraine*, 29(2(325)), 80-89. <https://doi.org/10.15407/steelcast2021.02.080> [in Ukrainian].
5. Popov, E.S., Shinsky, O.I. (2021). Performance quality analysis of brake iron and composite pads for railway rolling composition. *Foundry production and metallurgy*, 1, 27-37. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-27-37> [in Russian].
6. Mazur, V.L., Sirenko, K.A. (2022). Economic and environmental aspects of the use of cast iron or composite brake pads for railway transport. *Casting processes*, 3(149), 54-62. <https://doi.org/10.15407/plit2022.03.054> [in Ukrainian].
7. Mazur, V.L., Sirenko, K.A. (2023). Technical and economic assessment of the efficiency of cast iron products. *Casting processes*, 1(155), 72-80. <https://doi.org/10.15407/plit2024.01.072> [in Ukrainian].
8. Lovska, A., Ravlyuk, V. (2022). Identification of the causes of surface defects of wheels of cars equipped with composite pads. *Transport Systems and Technologies*, 40, 102-120. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-9> [in Ukrainian].
9. Ravlyuk, V.G., Ravlyuk, M.G. (2018). Environmental damage caused by the use of composite brake pads in railway cars. Problems of energy and resource saving in an industrial region. *Science and Practice: abstracts of the IV All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (Mariupol, 15-17 May, 2018). Mariupol: SHEI "PSTU", pp. 112-113 [in Ukrainian].
10. Lovska, A., Ravlyuk, V., Rybin, A. (2022). Analysis of the causes of damage to bogie wheels of freight wagons equipped with composite brake shoes. *Innovative technologies for the development of mechanical engineering and the effective functioning of transport systems: materials of the III International Scientific and Technical Internet Conference* (Rivne, 19-20 October 2022). Rivne: NUWHP, pp. 208-209 [in Ukrainian].
11. 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].
12. Berent, V.Ya., Berent, V.V. (2017). The feasibility of metal-ceramic brake pads. *Assembly in mechanical engineering, instrumentation*, 18(8), 355-360 [in Russian].
13. Shakina, A.V., Fadeev, V.S., Shtanov, O.V. (2024). Wagon brake pads of increased wear resistance. *Technics of railways*, 4(28), 68-71 [in Russian].
14. Muradyan, L.A., Shaposhnik, V.Yu., Vinokurova, S.V. (2015). Ways of development, tendencies and prospects for further improvement of the brake pad of railway rolling stock. *Wagon fleet*, 5-6(98-99), 32-34 [in Russian].
15. Muradyan, L.A., Shaposhnik, V.Yu., Winstroon Bernd Uwe, S.P. Mukovoz, S.P. (2015). Tests of perspective brake pads on Ukrainian railways. *Realiti ta perspektivi. Zaliznye vidavnytsvo "Rukhomiy krep"*, no. 7-8, pp. 20-22 [in Russian].
16. Muradian, L.A., Shaposhnik, V.Yu., Shikunov, O.A. (2021). Brake equipment malfunctions and defects of freight car wheelsets. *Bulletin of railway transport certification*, 3, 5-16 [in Ukrainian].
17. Klimov, A.A., Domnin, S.V., Struchkov, A.V., Bondarik, V.B. (2017). Study of the influence of structure and hardness of brake pads for locomotive wheel tyres wear. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 1(53), 215-218 [in Russian].
18. Sirenko, K.A., Mazur, V.L. (2024). Assessment of thermal conductivity of grey cast iron castings with lamellar graphite. *Casting processes*, 2(156), 56-64. <https://doi.org/10.15407/plit2024.02.056> [in Ukrainian].

19. Girshovich, N.G. (Ed.). (1978). Handbook of iron casting. L.: Mashinostroenie, 758 p. [in Russian].
20. Shumikhin, V.S., Kutuzov, V.P., Khranchenkov, A.I., Dibrov, I.A., Aleksandrov, N.N., Bobro, Yu.G., Puzyr'kov-Uvarov, O.V., Blozhko, N.K. (1982). High-quality cast irons for castings. Moscow: Mashinostroenie, 222 p. [in Russian].
21. Novokshchenova, S.M., Vinograd, M.I. (Eds.). (1984). Defects of steel. Reference edition. Moscow: Metallurgiya, 199 p. [in Russian].
22. Mazur, V.L., Dobronravov, A.I., Chernov, P.P. (1986). Prevention of defects in rolled steel. Kyiv: Tekhnika, 141 p. [in Russian].
23. Sirenko, K.A. (2022). Coefficients of friction between railway wheels and brake pads made of cast iron and composite material: a comparative analysis. *Metal and Casting of Ukraine*, 30(1(328)), 91-101. <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.01.091> [in Ukrainian].
24. Mazur, V.L., Sirenko, K.A. (2023). Friction mechanisms of brake pads made of cast iron and composite material on the surface of railway wheels. *The Scientific Technical journal "Metal Science and Treatment of Metals"*, 29(1(105)), 18-33. <https://doi.org/10.15407/mom2023.01.018> [in Ukrainian].
25. Grishchenko, M.A. (2008). Study of the causes of metal scrapes on the rolling surface of railway wheels. *Bulletin of the Dnipropetrovs'k National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 23, 178-182 [in Ukrainian].
26. Vakulenko, I.O. (2008). Dependence of structural transformations on the rolling surface of railway wheels on the type of brake system. *Visnyk of the Dnipropetrovs'k National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 24, 192-194 [in Ukrainian].
27. Grishchenko, M.A. (2009). Causes of defects on the rolling surface of railway wheels. *Bulletin of Dnipropetrovs'k National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 27, 223-225 [in Ukrainian].
28. Shafran, L.M., Mazur, V.L., Bolshoy, D.V., Pykhtieva, O.G., Tretyakova, O.V., Potapov, Ye.A., Tretyakov, A.M., Mikhalkova, S.G. (2022). Toxicological-hygienic and ecological aspects of safety of rolling stock braking systems of railway transport. Part 1. Migration of toxicants into the environment. *Actual problems of transport medicine*, 1(67), 7-18.
- Shafran, L.M., Mazur, V.L., Bolshoy, D.V., Pykhtieva, O.G., Tretyakova, O.V., Potapov, Ye.A., Tretyakov, O.M., Pykhtiev, D.M. (2022). Toxicological-hygienic and ecological aspects of safety of rolling stock braking systems of railway transport. Part 2. Pollution by heavy metals and asbestos. *Actual Problems of Transport Medicine*, 2(68), 15-26 [in Ukrainian].

Received 14.06.2024

Summary

K.A. Sirenko, Junior Researcher, e-mail: thermoexp.metal@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-2613-8094>

V.L. Mazur, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Dr. Sci. (Engin.),
 Professor, Chief Researcher, e-mail: prof.vlm@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0001-8970-5389>

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

Analysis of the influence of brake pad material on the formation of defects on the rolling surface of railway wheels

The results of research and production experience in the field of identifying the causes and mechanisms of defects on the rolling surface of wheels of railway rolling stock are analysed. The article presents different views on the mechanism of influence of brake pad material on the occurrence of wheel surface defects caused by their frictional interaction with pads made of cast iron or composite material in the form of a composite rubber compound. It has been clearly shown that brake pads made of composite rubber compound damage the rolling surface of wheels to a greater extent and more often. This leads to the need to grind wheel sets and reduces their service life. The main cause of defects on the working surface of the wheels is the thermal load on the friction zone between the pad and the wheel during train braking. The temperature in this zone changes periodically and can reach 900 °C, while the self-ignition temperature of the rubber compound used to make the friction element of composite pads is 350-500 °C. The unacceptably high temperature in the friction zone between the composite pad and the wheel surface, which occurs during train braking, is due to the relatively low thermal conductivity of the composite rubber compound compared to the thermal conductivity of cast iron. Equipping the friction element of composite pads with cast iron inserts does not save the situation with regard to the low thermal conductivity of such pads in general and their tendency to damage the rolling surface of the wheels of vehicles. Recommendations have been proposed to improve the technical and economic performance of railway transport by improving the quality of brake pads for vehicles.

Keywords

Railway wheels, wear, wheel surface defects, brake pads, cast iron, composite rubber compound, safety.