

Аналіз показників якості гальмівних колодок з чавуну і багатокомпонентних композиційних матеріалів

Розглянуто властивості і експлуатаційні характеристики гальмівних колодок залізничного транспорту, виготовлених з чавуну та багатокомпонентного композиційного матеріалу (гумоазбестової та гумобезазбестової сумішей). Проаналізовано підходи до оцінки сили, коефіцієнта тертя, теплопровідності гальмівних колодок із різних матеріалів у зоні контакту з колесами залізничного рухомого складу. Порівняно показники якості гальмівних колодок різних типів, виготовлених з чавуну, композиційної гумосуміші, композиційного матеріалу з чавунними вставками. Показано, що коефіцієнти тертя чавунних колодок по поверхні коліс у 1,5...2,0 рази нижчі, ніж коефіцієнти тертя колодок, виготовлених із композитної гумосуміші. Головний недолік гальмівних колодок із композиційної гумосуміші полягає в низькій теплопровідності цього фрикційного матеріалу і, як наслідок, недостатньому відводу тепла із зони контакту колодки з колесом рухомого засобу. Зазначене повною мірою відноситься і до композиційних колодок з чавунними вставками, які не рятують незадовільну ситуацію з тепловідводом із зони тертя колодки з колесами. Розглянуто залежності коефіцієнта теплопровідності чавуну з пластинчастим графітом від його твердості, ступеня евтектичності та вуглецевого еквівалента хімічного складу. Підкреслено, що технічні умови на гальмівні колодки з композиційного матеріалу не відповідають законодавству України, оскільки в них не регламентовано відсотковий вміст компонентів гумосуміші й їх хімічний склад. Стандарти на гальмівні колодки з чавуну цілком відповідають вимогам законодавства щодо їх побудови. Ливарні підприємства України мають сучасне обладнання і підготовлені до виготовлення чавунних колодок покращеної якості, зокрема шляхом виготовлення їх із легованого та частково графітизованого чавуну.

Ключові слова: гальмівні колодки, чавун, композиційні матеріали, властивості, теплопровідність, коефіцієнти тертя, зносостійкість, стандартизація.

Розвиток залізничного транспорту, підвищення швидкості рухомого складу залізниці, посилення вимог до безпеки руху на транспорті, інші фактори активізували дослідження у напрямі удосконалення конструкції гальмівних (гальмових) колодок. В той же час прогрес у сфері матеріалознавства, металургії, ливарного виробництва надав можливості щодо створення нових ефективних матеріалів для виготовлення колодок. Одним із найважливіших комплексних показників якості матеріалу колодок є коефіцієнт тертя між робочими поверхнями коліс рухомого складу і гальмівними колодками [1—4]. Властивості фрикційного матеріалу гальмівних колодок визначають працездатність як колодок, так й коліс рухомого складу залізниці, від чого у підсумку залежить економіка діяльності залізничного транспорту. Саме тому в усьому світі актуалізувалися науково-дослідницькі роботи щодо оцінки впливу матеріалу гальмівних колодок на коефіцієнт їх тертя по поверхні коліс залізничного транспорту і пошуку нових ефективних фрикційних матеріалів для виготовлення колодок.

Дана стаття продовжує публікації результатів наших робіт [1—2 та ін.], присвячених вивченню властивостей і особливостей тертя гальмівних колодок із багатокомпонентних матеріалів (чавуну, інших сплавів, гумосумішей, композиційних матеріалів із спечених порошків, виготовлених за технологією порошкової металургії тощо) по поверхні коліс залізничного транспорту. У зазначених та інших [3—12] статтях найбільша увага приділялася порівнянню експлуатаційних характеристик гальмівних колодок з чавуну і колодок із азбестової чи безазбестової гумосуміші, які в практиці залізничного транспорту фігурують під назвою «композиційні» матеріали. Колодки гальмівні «композиційні» знайшли поширення в Україні та посилено рекламуються їх виробниками. У зв'язку з різним тлумаченням терміну «композиційні», що нерідко призводить до непорозуміння та неоднозначних висновків щодо їх якості, перш за все визначимо поняття «композиційний матеріал», «композит», які застосовують при класифікації фрикційного матеріалу, з якого виготовляють елемент тертя гальмівних колодок по поверхні колеса рухомого

залізничного транспорту.

Поняття «композиційні» гальмівні (гальмові) колодки рухомого залізничного транспорту виникло кілька десятиліть тому, коли в колишньому Радянському союзі не вистачало потужностей ливарних підприємств для виготовлення чавунних гальмівних колодок і, як тимчасовий рятівний захід, тимчасове рішення, організували виробництво дешевих, хоч і таких, що не відповідають повною мірою вимогам залізничників, колодок із азбестової та безазбестової гумосумішей. На шкідливість, небезпечність для людей і довкілля продуктів зносу цих «композиційних» колодок у той час увагу не звертали. Нині потужності українських ливарних підприємств навіть перевищують потреби держави у якісних чавунних колодках. Але практика використання на залізниці «композиційних» колодок продовжується.

Відразу ж зазначимо, що «композиційні» гумосуміші, з яких виготовляють фрикційний елемент гальмівних колодок, складаються з багатьох компонентів, інгредієнтів, речовин у різних пропорціях. Головними компонентами гумосуміші «композиційних» колодок зазвичай є каучук, азбест, барит, керамзит, глинозем, вулканізуючі агенти, доломітова мука, шліфпил, вуглець технічний, сірка мелена, синтетичні смоли, різні волокна та багато інших речовин. У процесі виготовлення колодок гумосуміші після дроблення і перемішування інгредієнтів витримують у спеціальних прес-формах за температури приблизно 175—180 °C під тиском 200—300 кгс/см² [3, с. 75—80].

У енциклопедичному визначенні композиційний (композитний) матеріал або композит — це гетерофазний матеріал, окремі компоненти, інгредієнти, фази якого виконують свої специфічні функції. Сформований із різних речовин композиційний матеріал у цілому не має властивостей жодного з його компонентів окремо. Тобто композиційний матеріал завжди сформований із різних інгредієнтів, які у його складі зберігають свої хімічний склад, структуру, властивості, але в сукупності, разом надають нові властивості композиту. *Ключовою ознакою у цьому трактуванні, розумінні поняття «композиційний матеріал» слід вважати, що компоненти, речовини, інгредієнти, які входять до складу композиту, зберігають, не змінюють притаманні їм хімічний склад, структуру, властивості.*

Таке розуміння відповідає й поняттю «**суміш**», в якій властивості речовин (інгредієнтів, компонентів) у складі певної фізико-хімічної системи залишаються незмінними. У суміші різні речовини, її компоненти в сукупності становлять одне фізичне тіло — композиційний матеріал.

На відміну від зазначеної механічної суміші компоненти **сплаву** можуть в процесі взаємодії компонентів утворювати тверді розчини, хімічні сполуки, нові структури, фази тощо. Тобто на відміну від композиту ключова ознака сплавів полягає в тому, що елементи, у тому числі різні інгредієнти, речовини, метали тощо, з яких складається сплав, в результаті сплавлення свої властивості не зберігають. Стосовно

сплавів, з яких виготовляють гальмівні колодки рухомого складу залізниці, зазначимо, що за способом виготовлення сплави поділяють на ливарні, наприклад чавун, та порошкові, які отримують пресуванням суміші порошків з подальшим спіканням при високій температурі.

В даній статті під «композиційним» матеріалом (композитом) у сфері виробництва і експлуатації гальмівних колодок залізничного транспорту будемо розуміти гумосуміш, що поєднує різnorodні компоненти, речовини, які відмінні за хімічним складом і властивостями та зберігають свої особливості. Властивості суміші в цілому відрізняються від властивостей її компонентів й залежать від їх відсоткового вмісту. Рецептūra кожного «композиційного» матеріалу проєктується для забезпечення конкретних властивостей виробів з нього. Зокрема і для забезпечення потрібних коефіцієнта тертя, зносостійкості гальмівних колодок по поверхні коліс рухомого складу.

Висловлена вище позиція співзвучна з визначенням у міждержавному стандарті ГОСТ 33421-2015 терміном композиційної гальмівної (гальмової) колодки, виготовленої вулканізацією під тиском у прес-формах багатокомпонентної гумосуміші, яка включає в себе порошкоподібні мінеральні та інші наповнювачі, армуючі волокна і полімерне зв'язуюче з вулканічною групою.

Результати і напрями подальшого дослідження властивостей і механізму тертя спечених композиційних матеріалів, які виготовляють методами порошкової металургії, розглянуто у монографії [13] та статтях [14—17 та ін.] і наведених в них літературних джерелах. На даний час такі композиційні матеріали в Україні не використовують для виготовлення гальмівних колодок рухомого залізничного транспорту. Детальний аналіз результатів досліджень композиційних матеріалів цього типу виходить за межі теми даної статті. Але зазначимо, що представлені в технічній літературі механізми формування фрикційних властивостей і тертя спечених композиційних матеріалів, виготовлених методами порошкової металургії, досліджені значно ширше і глибше, ніж композити у вигляді азбестової та безазбестової гумосуміші, які застосовують для виготовлення гальмівних колодок залізничного транспорту. Водночас підкреслимо, що підходи до вибору інгредієнтів у складі композиційних матеріалів цих двох типів і механізми їх тертя та зносу певною мірою подібні.

В перспективі слід очікувати, що поїзди, які рухаються зі швидкістю 300 км/год і більше, будуть оснащені гальмівними колодками на основі міді, інших кольорових металів та сплавів, виготовленими методами порошкової металургії. За даними роботи [18] середній коефіцієнт тертя таких колодок становить 0,37. Інформації щодо такого матеріалу в технічній літературі мало. Гальмівна композиційна колодка зі вставками є конструкцією, в якій у робочому тілі (фрикційному елементі) з композиту присутні вставки з іншого матеріалу, найчастіше з чавуну, можливо з кераміки. Призначення вставок полягає

в усуненні чи хоча б послабленні негативного впливу композиційної гумосуміші на експлуатаційні характеристики колодок. Зокрема внаслідок низької теплопровідності композиту.

Результати порівняльного аналізу результатів дослідження механізмів тертя і коефіцієнтів тертя та виробничного досвіду залізниці щодо використання чавунних і композиційних гальмівних колодок у рухомому складі [3—12 та ін.] засвідчили наступне. В технічних умовах на колодки гальмівні композиційні, у тому числі й з чавунними вставками (таблиця), в порушення законодавства України не регламентовано відсотковий вміст, гранулометричний та хімічний склад компонентів композиційної суміші. Зазначене ставить під сумнів питання щодо легітимності технічних умов на гальмівні композиційні колодки. До того ж майже в усіх публікаціях підкреслюється, що внаслідок значно гіршої, ніж у чавуну, теплопровідності композиційного

матеріалу (гумосуміші) суттєво погіршуються експлуатаційні властивості виготовлених з нього гальмівних колодок і безпека на транспорті. Зокрема виникає небезпека ослаблення і сповзання бандажа з коліс рухомих засобів. Оснащення композиційних колодок чавунними вставками для виключення перегріву зони тертя колодок з колесами залізничного транспорту не рятує ситуацію.

Механізм тертя і коефіцієнт тертя між поверхнями коліс рухомого складу і гальмівними колодками, виготовленими з композиційного матеріалу і оснащеними чавунними вставками, фактично є невизначеними внаслідок того, що, по-перше, неконтрольованим і нерегламентованим навіть у технічних умовах є відсотковий вміст компонентів гумосуміші, їх хімічний і гранулометричний склад. Також хімічний склад і властивості чавунних вставок. По-друге, композит і чавунні вставки колодок по-різному реагують на умо-

Таблиця

Показники якості гальмівних колодок рухомого залізничного транспорту, виготовлених з чавуну і композиційного матеріалу

Типи колодок, стандарт, ТУ Показники	Чавунні, ГОСТ 30249-97	Композиційні з сітчасто-дротовим каркасом, ТУ У 6-05495578.017-2001	Композиційні з чавунними вставками, ТУ У 39.2-35046274-059.2016	Композиційні для локомотивів ТУ У 30.2-35046274-060:2021
Хімічний склад	Регламентовано, %мас.: C = 2,7...3,4; Si = 0,7...1,0; Mn = 0,4...0,9; P = 0,4...0,9; S ≤ 0,20; Ba = 0,05...0,2; Ca = 0,05...0,15	Гумосуміш. Склад не регламентовано	Гумосуміш. Вставка чавунна. Склад не регламентовано	Відсотковий склад компонентів гумосуміші не регламентовано ¹ . Склад чавуну каркасу, %мас.: C = 2,9...3,8; Si = 1,2...3,0; Mn = 0,15...0,9; P ≤ 1,0; S ≤ 0,18; Cr ≤ 0,5; Cu ≤ 1,0; Ni ≤ 0,5; Mg ≤ 0,2
Твердість за Брінеллем, НВ	217...303 229...302	1,2...3,0	композит 2,0...8,0 чавун 140...180	твердість композиту 10...35; чавунного каркасу 180...260
Мікроструктура	Регламентовано дисперсність, розміри перліту, фосфідної евтектики, цементиту, графітових включень	Не регламентовано	Не регламентовано	Чавун каркасу повинен мати пластинчасту форму графіту; композит — не регламентовано
Міцність при стиску, МПа	≥ 350	≥ 15	≥ 15	≥ 15
Коефіцієнт тертя	0,20...0,30	0,34...0,65	0,35...0,50	0,30...0,60
Знос, не більше	Масовий 1000...2000 г	0,13 мм	0,15 мм	0,15 мм
Густина, г/см ³	~ 7,1	Не регламентовано	1,9...2,3	Композиту 1,8...2,5
Температура самозаймання (використання), °C	Температура використання не обмежена. Не займається	550; до 300 довгостроково; до 400 короткостроково	до 350 довгостроково	до 350 довгостроково
Шкідливість матеріалу і продуктів зносу	Не шкідливі	Суттєво шкідливі	Суттєво шкідливі	Суттєво шкідливі

¹Примітка: 1. До складу композиційного матеріалу Тр130 входять наступні групи сировини, %мас.: каучук, смола 15...20; сірка та вулканізуючі агенти 1...2; волокна 15...20; металеві наповнювачі 10...15; графіт і сульфідні метали 20...25; інертні наповнювачі 18...29. 2. Міцність на злам чавунної колодки складає 127,5 кН; композиційних — не регламентовано.

ви взаємодії, тертя з поверхнею коліс залізничного транспорту. За цієї причини сумарний ефект гальмування стає непередбачуваним.

При подальшому аналізі коефіцієнта тертя багатокомпонентних композиційних матеріалів гальмівних колодок по поверхні коліс рухомого складу залізничного транспорту будемо дотримуватися висловленої у наших роботах [1, 6] гіпотези, що умовно названий сумарний коефіцієнт тертя колодки в цілому по поверхні колеса розраховується за формулою:

$$f_{\Sigma} = f_K \cdot S_K + f_C \cdot S_C, \quad (1)$$

де f_K , f_C , f_{Σ} — коефіцієнти тертя композиційного матеріалу, чавуну і, так званий сумарний коефіцієнт тертя колодки в цілому; S_K і S_C — частки поверхні тертя композиційного матеріалу і чавунної вставки у загальній площі контакту композиційної колодки з колесом, $S_K + S_C = 1$. Відповідно до закону сухого (граничного) тертя сумарна сила T_{Σ} тертя композиційної з чавунною вставкою колодки по поверхні кочення колеса транспортного засобу дорівнює:

$$T_{\Sigma} = f_{\Sigma} \cdot P, \quad (2)$$

де P — сила тиску колодки на колесо, яка направлена перпендикулярно і розподілена рівномірно по поверхні їх контакту.

В загальному випадку гальмівні композиційні колодки з металевими вставками будемо розглядати як колодки із двох (можливо і більшої кількості) фрикційних матеріалів, наприклад чавуну і композиту в різних пропорціях. Зрозуміло, що фрикційні властивості колодки у цілому визначаються частками кожного матеріалу у складі колодки. В першому граничному випадку, коли частка чавуну у фрикційному елементі колодки дорівнює нулю, маємо колодку з композиту. В протилежному граничному випадку, коли у фрикційному елементі колодки немає композиту, маємо справу з повністю чавунною колодкою. У фрикційному елементі в складі композиту і чавуну (чавунних вставок) ефект синергії цих компонентів щодо коефіцієнта тертя не спостерігається. Тому діапазон коефіцієнта тертя композиційного матеріалу з чавунними вставками (вставкою) буде визначатися величинами коефіцієнта тертя чавуну з одного боку і композиту з іншого. Зауважимо, що в принципі не обов'язково аби у фрикційному елементі гальмівної колодки було дві чавунні вставки, які розміщені симетрично. Можливі також асиметричні конструкторські оформлення їх розташування та кількості. Змінну товщину може мати і фрикційний елемент для компенсації небажаного дуального [19], клиноподібного його зносу уздовж колодки. З огляду на такий підхід спрощується розуміння виявлених в роботах [1—6 та ін.] залежностей коефіцієнта тертя композиційних колодок з чавунними вставками від різних факторів впливу на процес взаємодії поверхонь колодки і колеса рухомого транспортного засобу.

В доповнення до проаналізованих висновків акцентуємо увагу на публікаціях, в яких нада-

но категоричні судження щодо ефективності композиційних та композиційних колодок з чавунними вставками порівняно з чавунними гальмівними колодками. Автори статті [20], наприклад, оцінюють гальмівні колодки композиційні з чавунними вставками, як нібито інноваційне рішення у сфері, що розглядається. Вважають, що такі гальмівні колодки об'єднують достоїнства чавунних і композиційних колодок. Нібито вони можуть застосовуватись для колісних пар з бандажем, мають в собі збільшений ресурс експлуатації порівняно з чавунними колодками типу «Ф» та забезпечують належний тепловідвід від колеса в процесі гальмування, що особливо важливо для колісних пар з бандажем. Надійних, достовірних доказів сказаному у статті [20] не надано. Навпаки, було зазначено, що при випробуваннях таких колодок в реальних умовах експлуатації на електропоїзді «виникали випадки сповзання колодок за бандаж, проявлення перегріву гальмівних колодок» [20]. Таким чином, дані цієї статті спростовують висновки щодо відсутності у названих «інноваційними» колодках недоліків, властивих композиційним колодкам. В першу чергу стосовно поганого відводу тепла і обумовленого цим несприятливого температурного режиму на поверхні кочення коліс, що сприяє ще й виникненню наварів, мікротріщин та інших дефектів [3—4].

Циклічні зміни температури у зоні тертя гальмівної колодки з поверхнею залізничного колеса, які виникають при експлуатації рухомого складу, негативно впливають на структуру і властивості металу поверхневого шару колеса. Температура поверхні контакту гальмівної колодки з колесом суттєво залежить від теплопровідності фрикційного матеріалу колодки. В роботі [21] підкреслено, що коефіцієнт теплопровідності чавуну, з якого зазвичай виготовляють вставки до фрикційного елемента та каркас гальмівних композиційних колодок з чавунними вставками, залежить від концентрації вуглецю у складі чавуну і вуглецевої фази в його структурі. Збільшення частки цементиту в цілому сприяє зниженню коефіцієнта теплопровідності. Графітові включення в структурі чавуну мають протилежний вплив на його теплопровідність. «Після заміни графітових включень сірого ливарного чавуну на пластівці ковкого чавуну, підвищення коефіцієнта теплопровідності може досягати 20 %». В статті [4] розглянуто вплив легуючих елементів у складі чавуну на його структуру і теплопровідність.

Результати досліджень засвідчили, що теплопровідність чавунів з пластинчастим графітом, який виплавляють з хімічним складом відповідно до вимог ДСТУ 8833:2019, збільшується при переході від СЧА400 до СЧ100, при зменшенні твердості виливків з чавуну, але збільшенні його еквівалента $S_{\text{екв}}$ і ступеня евтектичності $S_{\text{евт}}$ (рисунок). Коефіцієнт теплопровідності чавуну СЧ100 приблизно у півтора рази вищий, ніж у чавунів СЧА400 і СЧ350. У стандартах і технічних умовах на чавунні та композиційні з чавунними вставками гальмівні колодки майже завжди регламентується твердість чавуну. На рисунку представлені залежності коефіцієнтів

теплопровідності λ за 20 °С, Вт/(м · К) від твердості HB (не більше ніж) чавунів з пластинчастим графітом і від ступеня їх евтектичності $S_{\text{евт}} = C/[4.3 - 0.3(S_i + P)]$, розрахованого з використанням ймовірнісного підходу і застосуванням методу Монте-Карло [22]. Наведені на рисунку дані свідчать, що внаслідок наявності кореляції між λ , HB, $S_{\text{евт}}$ і $C_{\text{екв}}$ ці залежності можуть бути використані для прогнозування теплопровідності чавунів з пластинчастим графітом.

Слід також пам'ятати, що гальмівні колодки, виготовлені повністю з композиційної азбестової чи безазбестової гумосуміші, як і колодки гальмівні композиційні з чавунними вставками, є токсичними, небезпечними для людей і довкілля. Продукти зносу таких колодок, що утворюються в процесі тертя і викидаються у вигляді пилу в навколишнє середовище, містять шкідливі хімічні речовини [12, 19, 23—24 та ін.].

У таблиці порівняно основні показники якості гальмівних колодок, виготовлених з чавуну та колодок з композиційного матеріалу, в тому числі і колодок з чавунними вставками. В доповнення до даних таблиці зазначимо, що композиційні колодки застосовуються за максимальної швидкості рухомого складу 140 км/год. Чавунні колодки рекомендується використовувати при швидкості не більше 120 км/год [3—4, 7—10 та ін.]. Це важливий показник експлуатаційної ефективності, переваги композиційних колодок порівняно з чавунними. Але за низкою інших характеристик чавунні гальмівні колодки мають переваги перед композиційними, навіть якщо останні оснащені чавунними вставками для забезпечення кращого відводу тепла із зони тертя колодки з колесом транспортного засобу. Підкреслимо також, що в Україні вантажні потяги рухаються зазвичай зі швидкостями менше 120 км/год.

Особливо акцентуємо увагу на тому, що, як підкреслено у статті [25], навіть останні зміни до технічних умов на композиційні колодки лише імітують визначення в технічних умовах відсоткового вмісту компонентів композиційної гумосуміші та їх хімічного складу. Виробники композиційних колодок фактично ухиляються від виконання встановлених на законо-

давчому рівні (див. ГОСТ 2.114-95) вимог визначати і регламентувати хімічний склад та усі показники матеріалу колодок. В ТУ У 30.2-35046274-060:2021, наприклад, вказано (таблиця), що у складі композиту присутні вулканізуючі агенти, армуючі волокна, різні наповнювачі тощо, але відсотковий вміст інгредієнтів і їхній хімічний склад не регламентовано, хоча того вимагає Закон. Подібні порушення відносять технічні умови на цю продукцію до розряду нелегітимних. Відповідно споживачі не мають права використовувати колодки, виготовлені за нелегітимними технічними умовами. Безумовно, що порушення мають бути припинені, а технічні умови на композиційні гальмівні колодки виправлені.

На тертя гальмівних колодок по поверхні коліс залізничного транспорту впливають не тільки швидкість руху потягів та сила тиску колодок на колеса, а й зовнішні умови контактної зони. Зокрема погодні умови (низька температура, дощ, сніг), наявність води на поверхні контакту колодки з колесом, залишкових забруднень у вигляді продуктів зносу колодок, мастила, листя тощо. Оцінка впливу цих факторів на коефіцієнт тертя важлива з позиції визначення ефективності гальмівних колодок, виготовлених з різних фрикційних матеріалів. Конкретної інформації з цього питання в технічній літературі [3—4 та ін.] недостатньо. Певні судження можна скласти за результатами досліджень механізму взаємодії, ковзання поверхні коліс рухомих засобів по залізничним рейкам [26], а також базуючись на узагальнених постулатах трибології [27].

Можливості покращення якості гальмівних чавунних колодок залізничного транспорту в плані оптимізації хімічного складу і структури чавуну не вичерпані. Підставою для такого висновку можуть бути, наприклад, результати дослідів впливу вмісту фосфору у чавуні на зносостійкість локомотивних гальмівних колодок. За даними роботи [28] гальмівні локомотивні колодки, виготовлені з чавуну з вмістом фосфору 2,5...3,0 % і кулеподібним чи вермикулярним графітом у структурі, забезпечують ефективне гальмування при високій їх зносостійкості. На перспективності дослідницьких робіт у цьому напрямі

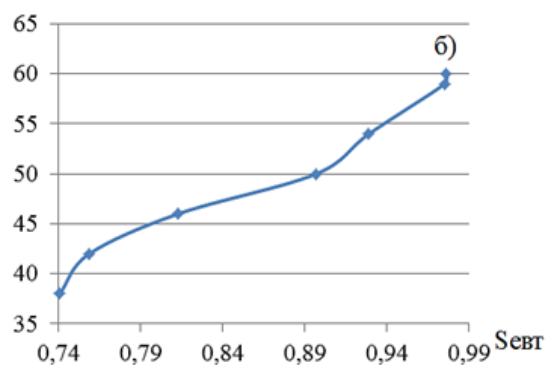
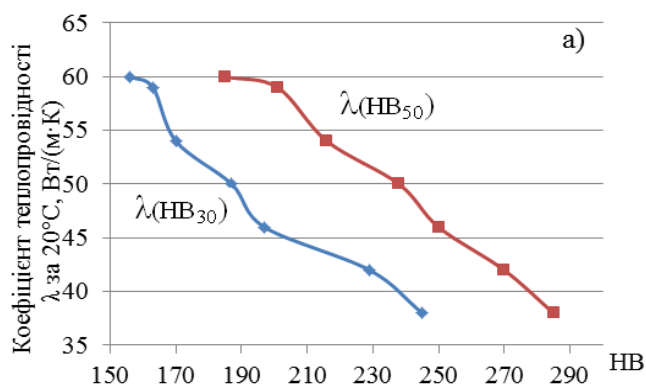


Рис. 1. Залежності коефіцієнтів теплопровідності λ за 20 °С, Вт/(м·К) чавунів з пластинчастим графітом СЧ100...СЧ400 згідно з ДСТУ 8833:2019 від їх твердості HB (а) і ступеня евтектичності $S_{\text{евт}}$ (б). Позначено: $\lambda(HB_{50})$ при товщині виливка не більше 50 мм; $\lambda(HB_{30})$ при товщині виливка не більше 30 мм

акцентували увагу і автори публікацій [3—4]. Згідно з інформацією, наведеною, наприклад, у статті [29], в практиці залізниці Індії використовують чавунні гальмівні колодки і композиційні колодки двох типів з відносно «високим» (тип «К») і «низьким» (тип «L») коефіцієнтами тертя. Зазначається, що хімічний склад та характеристики чавунних колодок різних виробників подібні. Хімічний склад і характеристики тертя композиційних колодок різняться. Останні мають різний склад компонентів і виготовлені різними способами. Зазначається також, що колодки з чавуну забезпечують більш стабільний коефіцієнт тертя при гальмуванні, ніж композиційні колодки. Цей висновок певною мірою підтверджує результати дослідів, виконаних раніше у Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України [3]. Але дослідження у цьому напрямі потребують продовження, оскільки резерви щодо покращення фрикційних властивостей і зносостійкості гальмівних колодок із чавуну ще не вичерпані.

На завершення зазначимо, що в даній статті викладені суб'єктивні оціночні судження, погляди, позиція, точка зору авторів, які сформовані на базі результатів виконаного аналізу результатів власних і опублікованих досліджень. Висновки мають загальний характер і не стосуються продукції конкретних виробників гальмівних колодок чи споживачів цієї продукції.

Висновки

1. Аналіз публікацій результатів досліджень і виробничого досвіду щодо створення і застосування гальмівних колодок для залізничного рухомого складу призводить до висновку, що останнім часом у цій сфері актуалізувалася тема пошуку шляхів покращення якості фрикційних матеріалів, з яких колодки виготовляють. Виробничий досвід залізниць свідчить, що застосування композиційних матеріалів у вигляді азбестової чи безазбестової гумосуміші для виготовлення гальмівних колодок не завжди призводить до бажаних результатів їх використання і нерідко не надає суттєвих переваг перед чавунними колодками. Особливо в діапазонах швидкості руху залізничних потягів до 120 км/год. Чавунні вставки у композиційних гальмівних колодках, конструкція яких являє комбінацію колодок з чавуну і композиту, на жаль, не усувають недоліки токсичних композиційних колодок, а саме шкідливість продуктів їх зносу для людей і довкілля, підвищену схильність до пошкодження поверхні кочення коліс транспортних засобів, слабкий тепловідвід із зони тертя тощо.

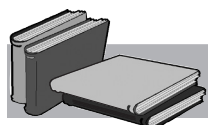
2. Механізм тертя та зносу гальмівних колодок по поверхні залізничних коліс, коефіцієнти тертя принципово різні для колодок з чавуну і композиційних матеріалів (із гумосуміші та спеченого за технологією порошкової металургії композиту). Початкова швидкість гальмування, умови на поверхні контакту колодки з колесом (наявність чи відсутність води), сила тиску колодки на колесо по-різному впливають на коефіцієнт тертя у контактній зоні. Чавунні колодки забезпечують більшу стабільність фрикційних характеристик у процесі гальмування, ніж колодки з

композиційної гумосуміші.

3. Під впливом циклічних коливань температури та навантажень в зоні тертя поверхонь гальмівної колодки і колеса транспортного засобу, а також внаслідок зміни стану та старіння композиційної гумосуміші, що взагалі притаманно будь-яким виробам з гуми, у процесі експлуатації композиційних колодок відбувається руйнування їх початкової структури і, відповідно, зміни, погіршення механічних та фрикційних властивостей. Зокрема коефіцієнт тертя між поверхнями колодки і колеса може зменшуватися. Чавунні колодки не схильні до змін своїх властивостей і експлуатаційних характеристик.

4. Чавун і композиційні матеріали, що призначені для виготовлення гальмівних колодок, постійно удосконалюються, як й стандарти та технічні умови, за якими колодки виготовляють. Нормативна документація на виготовлення гальмівних колодок має відповідати законодавству України без будь-яких послаблень вимог щодо визначення відсоткового вмісту компонентів і хімічного складу композиційних матеріалів колодок. Це стосується також проблеми запобігання небезпечного впливу токсичних продуктів зносу композиційних гальмівних колодок залізничного транспорту на здоров'я людей та довкілля.

5. Розвиток ливарного виробництва стимулює пошук шляхів і відкриває нові можливості удосконалення властивостей ливарного чавуну, який використовують для виготовлення гальмівних колодок транспортних засобів. Перспективними напрямками удосконалення гальмівних колодок є застосування для їх виготовлення легованих чавунів, а також частково графітізованого чавуну і чавуну з кулеподібним графітом.

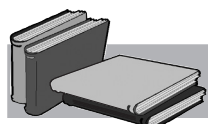


ЛІТЕРАТУРА

1. 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>
2. 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. С. 18—33. <https://doi.org/10.15407/mom2023.01.018>
3. Неижко И.Г., Найдек В.Л., Гаврилюк В.П. Тормозные колодки железнодорожного транспорта. Киев: Физ.-технол. ин-т металлов и сплавов НАН Украины, 2009. 121 с.
4. 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.
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., Найдек В.Л., Попов Е.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>
7. 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.
8. Бабаев А.М., Мурадян Л.А., Винокурова С.В. О тормозных колодках дорог Украины. *Вагоны и вагонное хозяйство*. 2010. № 4. С. 43—44.
9. Галай Э.И., Рудов П.К. Эффективность торможения пассажирских поездов — фактическая и по нормативам. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2006. Вип. 11. С. 116—119. http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/4611/1/Visnyk_11.pdf
10. Галай Э.И., Рудов П.К., Галай И.Э., Сидорович О.А. Тормозные колодки для электропоездов: чугунные или композиционные? 2005. URL: <http://scbist.com/xx2/43779-06-2005-tormoznye-kolodki-dlya-elektropoezdov-chugunnye-ili-kompozicionnye.html> (дата звернення: 29.01.2024).
11. Сиренко Е.А. Характеристика химического состава и свойств синтетического чугуна для тормозных колодок локомотивов. *Труды 29-й Международной научно-технической конференции «Литейное производство и металлургия-2021. Беларусь»*. Минск, 17—19 ноября 2021. С. 140—143.
12. 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>
13. Косторнов А.Г. Трибологическое материаловедение. Луганск: Изд-во «Ноулидж» (донецкое отделение), 2012. 696 с.
14. Федорченко И.М., Баранов Н.Г., Бритун В.Ф. Механизм формирования поверхностных пленок при трении без смазки композиционных материалов. *Трение и износ*. 1984. Том V. № 3. С. 424—430.
15. Белый В.А. Проблема создания композиционных материалов и управления их фрикционными свойствами. *Трение и износ*. 1982. Том. III. № 3. С. 390—395.
16. Федорченко И.М., Баранов Н.Г., Бритун В.Ф. Исследование механизма трения макрогетерогенных композиционных материалов. *Трение и износ*. 1982. Том. III. № 4. С. 603—609.
17. Буше Н.А., Мудренко Г.А., Маркова Т.Ф. Композиционные материалы с мягкой металлической составляющей. *Трение и износ*. 1982. Том. III. № 3. С. 396—400.
18. Wu L., Zhang P., Xu B., Liu J., Yin H., Zhang L., Jiang X., Zhang C., Zhang R., Wang Y., Qu X. Data-driven design of brake pad composites for high-speed trains. *Journal of Materials Research and Technology*. 2023. Vol. 27. P. 1058—1071. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.280>
19. Равлюк В.Г. Дефініція особливостей дуального зносу гальмових колодок вантажних вагонів. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2019. Вип. 183. С. 46—59. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.183.2019.169643>
20. Дубравін Ю.Ф., Пилипенко А.Є. Застосування композиційних гальмових колодок з чавунними вставками для колісних пар з бандажем. *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*. 2017. № 4 (234). С. 182—184. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VISUNU_2017_4_37 (дата звернення: 29.01.2024).
21. Вакуленко І.О., Перков О.М., Плітченко С.О. Визначення впливу дисперсності перліту на витривалість за циклічного навантаження вуглецевої сталі. *Збірник тез Всеукраїнської науково-технічної конференції «Наука і металургія»*, 14—16 листопада. Дніпро, 2023. С. 50. https://isi.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BA%D0%B0_%D0%9D%D1%96%D0%9C_2023_%D1%83%D0%BA%D1%80.pdf
22. Сіренко К.А., Мазур В.Л., Дереча Д.О. Залежність твердості та інших властивостей сірого чавуну від його вуглецевого еквівалента та ступеня евтектичності. *Метал та лиття України*. 2023. Том 31. № 2. С. 42—50. <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.02.042>

23. 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 довкілля. *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 довкілля важкими металами та азбестом. *Актуальні проблеми транспортної медицини*. 2022. № 2 (68). С. 15—26.
24. 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
25. Мазур В.Л., Сіренко К.А. Проблемні питання стандартизації ливарної продукції (на прикладі стандартизації гальмових колодок залізничного транспорту). *Метал та лиття України*. 2023. Том. 31. № 3 (334). С. 39—48. <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.03.039>
26. Wang W.J., Wang H.Y., Guo J., Liu Q.Y., Zhu M.H., Jin X.S. Experimental investigation of adhesion coefficient of wheel/rail under the track ramp conditions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. 2014. Vol. 228. Iss. 7. P. 808—815. <https://doi.org/10.1177/1350650114526386>
27. Мазур В.Л., Тимошенко В.И. Теория и технология прокатки (гидродинамические эффекты смазки и микрорельеф поверхности). Киев: ИД «Адеф Украина», 2018. 560 с.
28. Коснарев А.С., Поль В.Б., Попов В.Ю., Котышев А.А., Маторин А.С., Ушаков В.Н., Мякишев А.К. Локомотивные тормозные колодки повышенного качества. *Литейное производство*. 1999. № 11. С. 32—33.
29. Vakkalagadda M.R.K., Srivastava D.K., Mishra A., Racherla V. Performance analyses of brake blocks used by Indian Railways. *Wear*. 2015. Vols. 328—329. P. 64—76. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2015.01.044>

Надійшла 12.02.2024



REFERENCES

1. 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].
2. 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. *Scientific Technical Journal Metal Science and Treatment of Metals*, 29(1), 18-33. <https://doi.org/10.15407/mom2023.01.018> [in Ukrainian].
3. Neizhko, I.G., Naydek, V.L., Gavriluk, V.P. (2009). Railway brake pads. Kyiv, 121 p. [in Russian].
4. 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].
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., 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].
7. 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].
8. Babaev, A.M., Muradyan, L.A., Vinokurova, S.V. (2010). About brake pads of roads of Ukraine. *Wagons and wagon facilities*, 4, 43-44 [in Russian].
9. Galaj, E.I., Rudov, P.K. (2006). The efficiency of braking of passenger trains — actual and according to standards. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*, 11, 116-119. http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/4611/1/Visnyk_11.pdf [in Russian].
10. Galaj, E.I., Rudov, P.K., Galaj, I.E., Sidorovich, O.A. (2005). Brake pads for electric trains: cast iron or composite? URL: <http://scbist.com/xx2/43779-06-2005-tormoznye-kolodki-dlya-elektropoezdov-chugunnye-ili-kompozicionnye.html> (Last accessed: 29.01.2024) [in Russian].
11. Sirenko, K.A. (2021). Characterization of the chemical composition and properties of synthetic cast iron for locomotive brake pads. *Proceedings of the 29th International Scientific and Technical Conference «Foundry and Metallurgy-2021. Belarus»*. Minsk, November 17-19, 2021, 140-143 [in Russian].
12. 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].
13. Kostornov, A.G. (2012). Tribological materials science. Lugansk: Knowledge Publishing House (Donetsk branch), 696 p. [in Russian].
14. Fedorchenko, I.M., Baranov, N.G., Britun, V.F. (1984). The mechanism of formation of surface films during friction without lubrication of composite materials. *Friction and wear*, 5(3), 424-430 [in Russian].

15. Bely, V.A. (1982). The problem of creating composite materials and controlling their friction properties. *Friction and wear*, 3(3), 390-395 [in Russian].
16. Fedorchenko, I.M., Baranov, N.G., Britun, V.F. (1982). Study of the friction mechanism of macroheterogeneous composite materials. *Friction and wear*, 3(4), 603-609 [in Russian].
17. Bushe, N.A., Mudrenko, G.A., Markova, T.F. (1982). Composite materials with a soft metal component. *Friction and wear*, 3(3), 396-400 [in Russian].
18. Wu, L., Zhang, P., Xu, B., Liu, J., Yin, H., Zhang, L., Jiang, X., Zhang, C., Zhang, R., Wang, Y., Qu, X. (2023). Data-driven design of brake pad composites for high-speed trains. *Journal of Materials Research and Technology*, 27, 1058-1071. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.280>
19. Ravlyuk, V.G. (2019). Definition of the dual wear features of the brake shoes of freight cars. *Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, 183, 46-59. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.183.2019.169643> [in Ukrainian].
20. Dubravin, Y.F., Pylypenko, A. (2017). Application of composite brake blocks with cast iron insert for bogies of bandage. *Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl*, 4(234), 182-184. http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSUNU_2017_4_37 [in Ukrainian].
21. Vakulenko, I.O., Perkov, O.M., Plitchenko, S.O. (2023). Determination of the effect of pearlite dispersion on the durability under cyclic loading of carbon steel. Collection of theses of the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference "Science and Metallurgy", November 14-16, p. 50. https://isi.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BA%D0%B0_%D0%9D%D1%96%D0%9C_2023_%D1%83%D0%BA%D1%80.pdf [in Ukrainian].
22. Sirenko, K.A., Mazur, V.L., Derecha, D.O. (2023). Dependence of hardness and other properties of gray iron on its carbon equivalent and degree of eutecticity. *Metal and Casting of Ukraine*, 31(2(333), 42-50. <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.02.042> [in Ukrainian].
23. 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].
24. Mazur, V.L., Sirenko, K.A. (2022). Analysis of development trends in castings production from synthetic iron (on the example of a comparison of brake pads for railway rolling stock made of different materials). *Theory and practice of metallurgy*, 3(134), 5-14. https://nmetau.edu.ua/file/zh_03_2022_site.pdf [in Ukrainian].
25. Mazur, V.L., Sirenko, K.A. (2023). Problematic issues of standardisation of foundry products (on the example of standardisation of railway brake pads). *Metal and Casting of Ukraine*, 31(3(334), 39-48. <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.03.039> [in Ukrainian].
26. Wang, W.J., Wang, H.Y., Guo, J., Liu, Q.Y., Zhu, M.H., Jin, X.S. (2014). Experimental investigation of adhesion coefficient of wheel/rail under the track ramp conditions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 228(7), 808-815. <https://doi.org/10.1177/1350650114526386>
27. Mazur, V.L., Timoshenko, V.I. (2018). Theory and technology of rolling (hydrodynamic effects of lubrication and surface microrelief). Kyiv: Publishing House "ADEF Ukraine", 560 p. [in Russian].
28. Kosnarev, A.S., Pol, V.B., Popov, V.Yu., Kotyashev, A.A., Matorin, A.S., Ushakov, V.N., Myakishev, A.K. (1999). Locomotive brake pads of increased quality. *Foundry Production*, 11, 32-33 [in Russian].
29. Vakkalagadda, M.R.K., Srivastava, D.K., Mishra, A., Racherla, V. (2015). Performance analyses of brake blocks used by Indian Railways. *Wear*, vols. 328-328, pp. 64-76. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2015.01.044>

Received 12.02.2024

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 quality indicators for brake pads made of cast iron and multicomponent composite materials

The properties and performance characteristics of railway brake pads made of cast iron and a multicomponent composite material (rubber-asbestos and asbestos-free rubber mixtures) are considered. Approaches to assessing the force, friction coefficient, and thermal conductivity of brake pads made of different materials in the contact zone with the wheels of railway rolling stock are analysed. The quality indicators of brake pads of different types made of cast iron, composite rubber compound, and composite material with cast iron inserts are compared. It is shown that the coefficients of friction of cast iron pads on the wheel surface are 1.5...2.0 times lower than the coefficients of friction of pads made of composite rubber compound. The main disadvantage of brake pads made of composite rubber compound is the low thermal conductivity of this friction material and, as a result, insufficient heat removal from the contact area between the pad and the wheel of the vehicle. The above fully applies to composite pads with cast iron inserts, which do not help the unsatisfactory situation with heat removal from the friction zone between the pad and the wheels. The dependences of the thermal conductivity coefficient of cast iron with lamellar graphite on its hardness, degree of eutecticity, and carbon equivalent of its chemical composition are considered. It is emphasised that the technical specifications for brake pads made of composite material do not comply with the legislation of Ukraine, since they do not regulate the percentage of rubber compound components and their chemical composition. The standards for cast iron brake pads fully meet the legal requirements for their construction. Foundries in Ukraine have modern equipment and are prepared to manufacture cast iron pads of improved quality, in particular by making them from alloyed and partially graphitised cast iron.

Keywords

Brake pads, cast iron, composite materials, properties, thermal conductivity, friction coefficients, wear resistance, standardisation.