

УДК 629.44:669.056.9

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ФРИКЦІЙНИХ КЛИНІВ
ШЛЯХОМ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТІВ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

Доктори техн. наук Л. А. Тимофєєва, О.В. Устенко, асп. О. І. Цап, асист. Л. В. Волошина

**INCREASE EXPLOITATIVE INDICATORS OF FRICTION WEDGES BY FORMING
COATINGS WITH SPECIAL FEATURES**

D. Sc. (Tech.) L. Timofeeva, D. Sc. (Tech.) O. Ustenko, postgraduate stud. O. Thap,
assist. lecturer L. Voloshyna

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.185.2019.181013>

Статтю присвячено розробці інноваційних покриттів для підвищення зносостійкості фрикційних клинів гасників коливань візків вантажних вагонів. Підвищення міжремонтного пробігу вантажних візків забезпечить значні скорочення витрат на експлуатацію візка і вагона в цілому за життєвий цикл. Для досягнення цієї мети необхідно знизити знос у вузлах тертя візка шляхом вибору оптимального поєднання матеріалів для виготовлення деталей гасника коливань, а саме фрикційного клина, а також застосування технології відновлення з

утворенням зносостійких мікроструктур покриття, яке забезпечить необхідний коефіцієнт тертя в умовах тривалої експлуатації.

Ключові слова: антифрикційні матеріали, фрикційний клин, захисні покриття, мікроструктура чавуну, знос.

The article is devoted to the development of innovative coatings, to increase the wear resistance of friction wedges of the dummies of the vibration of the trucks carriages. Increasing the inter-repair mileage of trucks will provide significant reduction of the cost of operation of the trolley and the car as a whole for the life cycle. In order to achieve this, it is necessary to reduce wear in the friction nodes of the trolley by choosing the optimal combination of materials for the manufacture of parts of the fader of oscillations, namely the friction wedge, as well as the application of a recovery technology with the formation of wear-resistant microstructures of the coating, which will provide the necessary friction coefficient in the conditions of long-term operation.

In this work, metallographic, laboratory studies were conducted on the wear of coatings, which are applied from aqueous solutions of salts to iron-and-carbon alloys operating under friction conditions; the dependencies between technological parameters of the process and the operational properties of the formed coating are established.

The material with optimal properties in terms of the working conditions of the friction wedges was selected and proposed. The technology of avoiding the formation of a bleached layer at restoration of the sizes of friction wedges by means of surfacing or spraying is offered. It is proposed to use an oxylated solution in aqueous copper salts solution to form a protective coating before restoration of the size by surfacing. The dependences between the parameters of drawing and wear indexes were revealed and on the basis of the conducted researches the optimum parameters of formation of coverings were determined.

The proposed improvement of the technology of restoration of friction wedges will provide reduction of wear in the friction knots of the vibration of truck carriages in 1,5-2 times, which will lead to an increase in inter-repair runs while maintaining the technical parameters of the trolley and will provide significant reduction of the cost of operation of the trolley and the car as a whole for all life cycle.

Keywords: *antifricition materials, friction wedge, protective coatings, microstructure cast iron, wearing out.*

Вступ. Підвищення вантажопідйомності вагонів є основним напрямком збільшення обсягу перевезень. З підвищенням маси вагонів і швидкості руху поїздів зростають динамічні сили, що діють на вагон і залізничну колію. Збільшення динамічних сил викликає інтенсивний знос і пошкодження деталей і вузлів візка, що призводить до збільшення сил взаємодії між колесом і рейкою, до зниження стійкості колеса на рейці, плавності ходу вагона та збереження в ньому вантажів. Крім того, збільшення впливу вагонів на колію призводить до розладу шляху і

підвищених витрат на його поточне утримання [1].

Основним вузлом вантажного вагона, призначеним для зниження коливань кузова вагона і рівня динамічних сил в вертикальній і горизонтальній площинах, є ресорне підвішування з клиновими фрикційними гасниками коливань. Працездатність деталей, що входять в цей вузол, є також основою при визначенні міжремонтного пробігу візка вантажного вагона. Зважаючи на це підвищення пробігу вантажних вагонів до 500 тис. км за критерієм зносостійкості деталей

фрикційного вузла є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищенням ресурсу деталей гасників коливань займалися автори робіт [1-4]. Були запропоновані конструктивні зміни вузла, підбиралися для виготовлення деталей різні матеріали, змінювалася технологія поверхневої обробки. Проте запропоновані рішення не враховували негативних впливів на мікроструктуру фрикційних клинів при їх виготовленні та відновленні.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення зносостійкості відновлених фрикційних клинових гасників коливань візків вантажних вагонів за рахунок інноваційних технологій.

Для досягнення поставленої мети був досліджений вплив параметрів запропонованої технології нанесення покриттів на знос фрикційних клинів. Також необхідно встановити залежність між параметрами нанесення покриттів та показниками зносу і на основі проведених досліджень визначити оптимальні параметри формування покриттів з метою застосування запропонованого удосконалення технології для відновлення фрикційних клинів, що приведе до підвищення пробігу візків вантажних вагонів.

Основна частина дослідження. Аналіз відомих результатів досліджень [2-4], в яких вивчалися зносостійкість та механізм зносу матеріалів для виготовлення фрикційних клинів з різних марок сталі, сірого і високоміцного чавуну в нетермообробленому (литому) і загартованому стані, виявив та пояснив переваги фрикційних клинів з сірого чавуну в порівнянні зі сталевими в литому стані.

Чавун відноситься до групи антифрикційних матеріалів, які широко застосовують у машинах і конструкціях, що працюють на знос при відсутності змащення. Роль змащення при використанні чавунів відіграють включення графіту, які в залежності від кількості, форми, дисперсності і розподілу в матриці в значній мірі визначають працездатність виробів.

У сірому чавуні, який найбільш широко використовується в машинобудуванні, унікально поєднуються хороші антифрикційні властивості, висока зносостійкість, мала схильність до концентрації напружень. Сірий чавун має високу демпфуючу здатність і ефективно гасить вібрації.

У США і Канаді [5] для виготовлення фрикційних клинів вузла гасника коливань застосовують термозміцнений ковкий чавун, варіанти хімічного складу якого двох фірм-виробників наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад ковкого чавуну для виготовлення фрикційних клинів гасників коливань

№ п/п	Країна, фірма-виробник клинів	Хімічні елементи, %								Твердість, НВ
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	
1	США, А.Стаки	2,26	0,55	3,94	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02	363..477
2	США (фірма невідома)	3,13	0,72	1,44	0,03	0,04	0,02	0,04	0,79	302..401

Проведені випробування зразків фірми 1 (табл. 1) виявили досить великий вміст кремнію в чавуні і дуже високу твердість після термічної обробки, яка становить НВ363...477. Зразки фірми 2

(табл. 1), яка застосовує для виготовлення чавунних клинів ковкий чавун, містять близько 0,8 % молібдену. Твердість клинів цієї фірми знаходиться в межах НВ 302...401.

Дослідження мікроструктури показало, що біля поверхні клинів на глибині до 7,5 мм виявляється шар характерних дендритів фериту і ділянок графітної евтектики, кожен з яких є одним пророслим, сильно розгалуженим виділенням, що виникли з одного центру і сильно зменшує живий перетин металевої основи (рис. 1). Це різко знижує зносостійкість відливків. У центральній зоні вертикальної і похилої поверхонь мікроструктура являє собою перліт з включеннями графіту, що є типовою структурою сірого перлітного чавуну [2].



(×100)

Рис. 1. Мікроструктура чавуну біля поверхні фрикційних клинів (дендрити фериту і графіту)

Для виправлення дендритної структури, яка розташована біля поверхні

деталей, потрібне проведення термічної обробки фрикційних клинів, а саме нормалізація.

Маючи високу твердість, досліджувані ковкі чавуни, які працюють в умовах сухого тертя, мають низьку зносостійкість. Тому для деталей, що працюють в таких умовах, необхідно знизити твердість матеріалу фрикційних клинів. Для цього потрібно зменшити вміст кремнію та молібдену у чавуні. Це здійснюється модифікуванням та контролюванням температури заливання сплаву. Виплавка ковкого чавуну для відливання фрикційних клинів проводиться в вагранці продуктивністю 10 т/год. У процесі плавки контролюється температура рідкого металу на жолобі вагранки і при заливці форм. Температура повинна відповідати 1300-1320 °С і вимірюватися щогодини. Схильність чавуну до відбілу визначається за величиною відбілу клинної проби, яка береться щогодини з ковшів перед заливкою форм. Також контролюється хімічний склад чавуну та його мікроструктура.

Комплекс наведених вище заходів дозволяє одержувати чавун, який має хімічний склад та механічні властивості, що наведені в табл. 2.

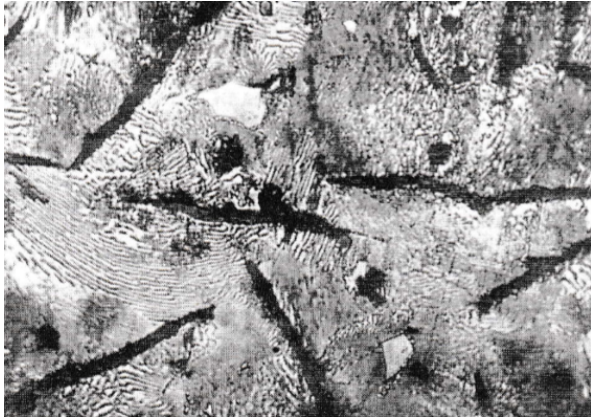
Дослідження мікроструктури чавунних клинів виявило, що металева основа має перлітну структуру (Пт1) з відстанню між пластинками близько 1,4 мкм (ПД1,4), поблизу поверхні ферито-перлітна структура з вмістом фериту від 10 до 30 %.

Таблиця 2

Хімічний склад та механічні властивості чавунних фрикційних клинів

№ п/п	Завод-виробник	Масова частка хімічних елементів, %								Тимчасовий опір σ_b , МПа (кгс/мм ²)	Твердість НВ
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu		
1	Куп'янський ливарний завод	3,55	2,22	0,98	0,07	0,11	0,25	0,10	0,20	17,5	165-180

На частку графіту припадає близько 10 %. Форма графіту в основному пластинчата прямолінійна (ПГф1), місцями – пластинчата завихрена (ПГФ2). Розподіл графіту нерівномірний (рис. 2).



(×500)

Рис. 2. Мікроструктура фрикційних клинів, виготовлених із чавуну марки СЧ-35

Незважаючи на структуру чавуну марки СЧ35, який на теперішній час використовується для виготовлення деталей вантажних вагонів рухомого складу, а саме для виготовлення фрикційних клинів, вони часто виходять з ладу через знос в похилій і вертикальній площині. Зношені деталі не відновлюються, їх необхідно замінити новими. Відновлення геометричних розмірів зношених деталей має певні труднощі відновлення геометричних розмірів відомими способами [1, 2, 3] тому, що під час наплавлювання або напилювання утворюється безвуглецевий шар на поверхні чавунних виробів, який змінює структуру металевої основи. Щоб запобігти утворенню безвуглецевого шару, було запропоновано захистити поверхню нанесенням покриттів перед відновленням геометричних розмірів зношених деталей.

Способів нанесення покриттів на поверхні чавунних деталей безліч [6,7], та кожен з них має певні переваги та недоліки. Недоліком є те, що в технологіях хіміко-термічної обробки, які використовуються для нанесення покриття, не формується

перехідний шар – металева основа покриття.

Тому розроблено спосіб відновлення чавунних деталей, сутність якого полягає у формуванні захисного покриття на поверхні чавунних деталей перед відновленням їх геометричних розмірів для захисту від зневуглецювання при наступній обробці. Для проведення трибологічних досліджень на зразки СЧ35 наносили покриття із водного розчину солей міді, застосовуючи при цьому технологію окислення [8-9].

Для вибору оптимальних технологічних параметрів [10-13] нанесення захисного покриття дослідження проводили на зразках, виготовлених із реальних фрикційних клинів, з метою дослідження впливу технологічних параметрів на зносостійкість покриття.

Визначення залежності зносу покриття від температури формування покриттів проводили в інтервалі температур від 100-700 °С та фіксували знос зразків. Залежність зносу покриття від концентрації солей міді у розчині досліджувалась в інтервалі від 5-60 % (рис. 3). Залежність зносу від часу витримки досліджували в інтервалі від 1 до 20 хвилин.

Товщина утвореного в результаті обробки деталей покриття становитиме 20 мкм. Для проведення металографічних досліджень на зразки, які були виготовлені із зношених фрикційних клинів (СЧ35) візків вантажних вагонів, наносили покриття із водного розчину солей міді. Мікроструктура чавуну з покриттям наведена на рис. 4.

Як показали проведені дослідження, мінімальний знос оброблюваних деталей, а саме фрикційних клинів, буде тоді, коли покриття формується при наступних технологічних параметрах обробки: температура нанесення покриття 450 ± 20 °С, концентрація солі у розчині 45 %, час витримки 6-8 хвилин.

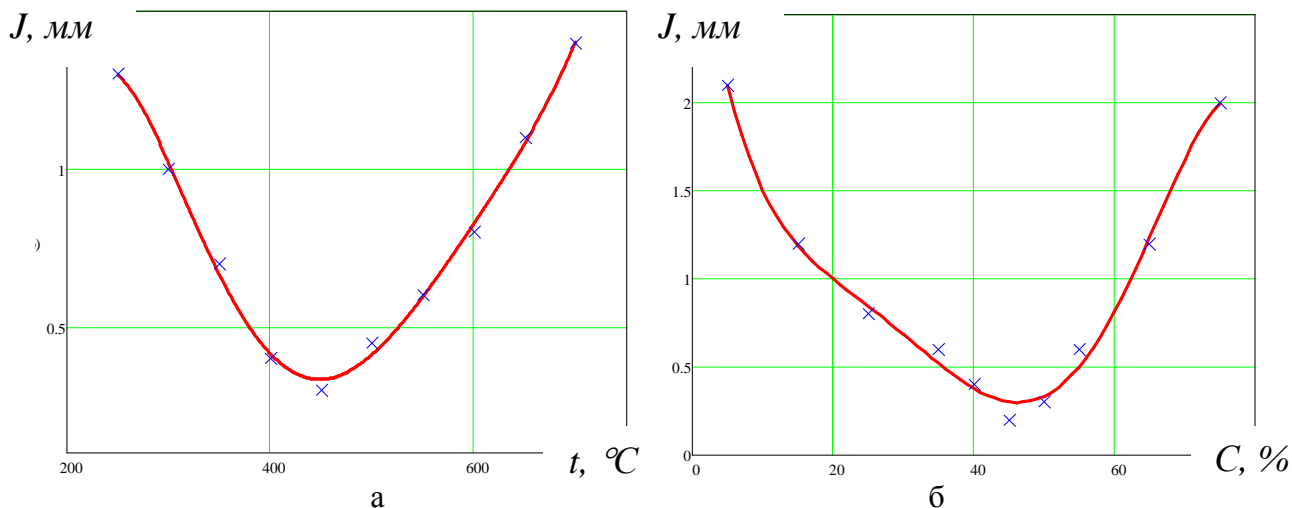


Рис. 3. Залежність зносу J від температури розчину t (а) та залежність зносу J від концентрації розчину C (б)



(×400)

Рис. 4. Мікроструктура чавуну з покриттям

Висновки. На основі даних, отриманих із науково-інформаційних джерел та експериментальних досліджень запропоновано новий склад та технологію відновлення геометричні розміри та структурно-фазового складу чавунних фрикційних клинів. Запропоновано технологію формування покриттів, які захищають основний метал від відбілення, що дає змогу в подальшому відновлювати геометричних розмірів фрикційних клинів за допомогою наплавлення або напилювання. Пропонується застосовувати окислення в водному розчині солей міді з метою утворення захисного покриття перед відновленням геометричних розмірів

наплавленням. Встановлені залежності між параметрами нанесення та показниками зносу і на основі проведених досліджень визначено оптимальні параметри формування покриттів, а саме температура нанесення покриття 450 ± 20 °C, концентрація солі у розчині 45 %, час витримки 6-8 хвилин. Встановлені залежності впливу параметрів технологічного процесу на знос відновлених фрикційних клинів. Запропоноване удосконалення технології відновлення чавунних фрикційних клинів за рахунок нанесення покриттів з подальшим відновленням їх геометричних розмірів забезпечує підвищення зносостійкості відновлених чавунних

деталей гасника коливань візків вантажних вагонів. Нова комплексна технологія відновлення чавунних фрикційних клинів, запропонована в статті, як показали лабораторні та експериментальні дослідження,

забезпечує підвищення міжремонтних пробігів при збереженні технічних параметрів візка та забезпечить значні скорочення витрат на експлуатацію візка і вагона в цілому за весь життєвий цикл.

Список використаних джерел

1. Великанов А. В., Пашарин С. И., Борщ Б. В., Юрьева Е. И. Перспективная пара трения фрикционного клинового гасителя колебаний тележек грузовых вагонов. *Вестник ВНИИЖТ*. Москва: Науч.-исслед. институт ж.-д. транспорта, 2010. №3. С. 35–39.
2. Великанов А.В., Борщ Б.В. Клин из серого чугуна для фрикционного гасителя колебаний грузовых вагонов. Вопросы развития железнодорожного транспорта в условиях рыночной экономики. *Сб. науч. трудов ОАО «ВНИИЖТ»* / под ред. Ю. М. Черкашина, Г. В. Гогричиани. Москва: Интекст, 2007. С. 166–175.
3. Сухов А. В., Борщ Б. В., Габец А. В. Оценка фрикционных свойств в парах трения клинового гасителя колебаний тележки грузового вагона. *Вестник ВНИИЖТ*. 2015. № 2. С. 32–37.
4. Габец А. В., Лёвкин И. В., Сапетов М. В., Семёнов А.В. Оценка износа фрикционного клина узла гашения колебаний тележки грузового вагона. *Ползуновский вестник*. 2015. № 4. Т.1. С. 16–18.
5. Великанов А. В., Пашарин С. И., Дудкина Т. П. Чугунные фрикционные клинья тележки грузового вагона. *Вестник ВНИИЖТ*. 1999. № 1. С. 25–31.
6. Тимофеева Л. А., Проскурина Л. В., Остапчук В. Н., Тимофеев С. С. Управление условиями антифрикционности узлов трения. *Тяжелое машиностроение*. 2002. №3. С.27–28. (Индексується у SCOPUS)
7. Aharon Inspektor, Paul A. Salvador. Architecture of PVD coatings for metalcutting applications: A review. *Surface and Coatings Technology*. Vol. 257. 2014. P. 138–153. URL: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.08.068>.
8. Тимофеев С. С., Волошина Л. В., Воскобойников Д. Г. Формування покриттів багатофункціонального призначення. Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: материалы 19-го Международного научно-технического семинара (18–22 февраля 2019 г., г. Кошице, Slovak Republic). Киев: АТМ України, 2019. С. 208–210.
9. Timofeeva L. A., Timofeev S. S., Dyomin A. Y., Fedchenko I. I., Voskoboynikov D. G. Surface Modification of Machine Parts Made of Iron–Carbon Alloys Operating under Conditions of Friction and Wear. *Journal of Friction and Wear*. 2018. Volume 39. Issue 3. P. 227–231. URL: <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068366618030121>.
10. Комарова Г. Л., Волошина Л. В. Вплив параметрів обробки на якість формування захисних покриттів: матеріали 19-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Інженерія поверхні і реновація виробів" (20-24 травня 2019р., м. Свалява, Закарпатська обл.). Київ: АТМ України, 2019. С. 75–77.
11. Ananth S., Udaya J. Prakash, Moorthy T. V., Hariharan P. Optimization of Wear Parameters for Grey Cast Iron under Different Conditions using Grey Relational Analysis. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 5. Issue 2. Part 2. 2018. P. 7346–7354. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.404>.

12. Hang Zhao, Jianjun Li, Zhizhen Zheng, Aihua Wang, Yafeng Miao The microstructures and tribological properties of composite coatings formed via PTA surface alloying of copper on nodular cast iron. *Surface and Coatings Technology*. Vol. 286. 2016. P. 303–312. URL: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.12.037>.

13. Тимофеева Л. А., Волошина Л. В., Гордієнко П. М. Аналіз технологічних параметрів процесу нанесення зносостійкого покриття. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 170. С. 13–19.

Тимофеева Лариса Андріївна, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри якості, стандартизації, сертифікації та технології виготовлення матеріалів Українського державного університету залізничного транспорту.

Тел. (057) 730-10-49. E-mail: mtv@kart.edu.ua.

Устенко Олександр Вікторович, д-р техн. наук, професор, декан механіко-енергетичного факультету Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-09. E-mail: mex@kart.edu.ua.

Цап Олександр Іванович, аспірант кафедри якості, стандартизації, сертифікації та технології виготовлення матеріалів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-50.

E-mail: thap@kart.edu.ua.

Волошина Людмила Володимирівна, асистент кафедри якості, стандартизації, сертифікації та технології виготовлення матеріалів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-50.

E-mail: vol@kart.edu.ua.

Timofeeva Larisa Andriivna, D. Sc. (Tech.), Professor, Head of Department, Department of Quality, Standardization, Certificate and Technology of Production Materials, Ukrainian State University of Railway Transport.

Tel.: (057) 730-10-49. E-mail: mtv@kart.edu.ua.

Ustenko Olexandr Viktorovych, D. Sc. (Tech.), Professor, Head of Faculty of Mechanics and Energy, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-09. E-mail: mex@kart.edu.ua.

Thap Olexandr Ivanovych, Postgraduate Student, Department of Quality, Standardization, Certificate and Technology of Production Materials, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-50.

E-mail: thap@kart.edu.ua.

Voloshyna Liudmyla Volodymyrivna, Assistant Lecturer, Department of Quality, Standardization, Certificate and Technology of Production Materials, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel: (057) 730-10-50.

E-mail: vol@kart.edu.ua.

Статтю прийнято 21.06.2019 р.