

УДК 669.14.535.938
УДК 621.9.047.7/785.5

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.94.0.123

ПІДВИЩЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЧАВУНУ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБРОБЛЕННЯ В СЕРЕДОВИЩІ ПЕРЕГРІТОЇ ПАРИ ВОДЯНОГО РОЗЧИНУ СОЛЕЙ

Тимофєєва Л. А., Тимофєєв С. С., Волошина Л. В., Колесник М. А.
Український державний університет залізничного транспорту

Анотація. Проаналізовано формування поверхневого шару під час оброблення чавуну в середовищі перегрітої пари водяного розчину солей. Шар утворюється на поверхні матриці та навколо вкраплень графіту. Він є багатофазним і містить м'які та тверді структурні складові. Це забезпечує підвищення зносостійкості чавуну й одночасно сприяє поліпшенню припрацьовуваності та зменшенню коефіцієнта тертя.

Ключові слова: поверхневий шар, чавун, перегріта пара, водяний розчин солей, трибологічні властивості.

Вступ

Умови роботи вузлів тертя визначають вимоги до їхнього матеріалу: висока міцність за достатнього запасу пластичності, підвищені теплопровідність та зносостійкість, досить високий модуль пружності, гарна припрацьовуваність.

У вітчизняному машинобудуванні для деталей подібних вузлів застосовують як сірий легований чавун із пластинчастим графітом, так і високоміцний чавун із графітом кулястої форми, що відповідають перерахованим вимогам.

Однак під час тривалої експлуатації чавунні деталі найчастіше не виробляють свого ресурсу через відмови внаслідок прискореного зношування поверхні, що здебільшого викликано утворенням точок схоплювання. У процесі стирання високоміцного чавуну внаслідок видавлювання та вифарбовування графіту на його поверхні утворюється переривчаста його плівка графіту, яка здійснює функцію змащення, але в умовах масляного голодування не може сприяти затримці зношування. А масло, що потрапило до сфері-дальної порожнини після вифарбовування графіту, утримується в них і поліпшує роботу деталей, що труться[1].

Аналіз публікацій

Аналіз відомих методів зміцнення робочої поверхні (азотування, сульфидування, сульфокіанування тощо) демонструє, що вони трудомісткі, тривалі, вимагають застосування дефіцитних і шкідливих хімікатів та складного устаткування. [1]. Під час такого оброблення на поверхні чавуну утворюються

одношарові покриття, які можуть вирішувати лише одне конкретне завдання. Так, наприклад, поверхневі шари, отримані під час азотування, підвищують зносостійкість, але погано припрацьовуються через високу твердість, що призводить до вифарбовування азотованого шару в процесі експлуатації. Під час фосфатування поліпшується припрацьовуваність, але не забезпечується необхідна зносостійкість чавуну.

Мета і постановка завдання

Мета роботи – підвищення трибологічних властивостей поверхневого шару чавуну за допомогою оброблення в середовищі перегрітої пари водяного розчину солей. Для досягнення мети необхідно дослідити вплив комплексного оброблення з дифузійним насиченням поверхні в середовищі водяної пари декількома елементами на трибологічні властивості чавуну.

Підвищення трибологічних властивостей поверхневого шару чавуну пароксидуванням

Для досягнення мети в роботі пропонується використати екологічно більш чистий метод хіміко-термічного оброблення – пароксидування [2–4]. Зміст його полягає в тому, що деталі обробляють у середовищі перегрітої пари за температури, що нижче $A_{C}^{H_1}$ чавуну. Поверхневий шар, отриманий таким методом, складається з вюститу та магнетиту. Проведені дослідження продемонстрували, що деталі, оброблені паром, мають підвищену зносостійкість. Однак коефіцієнт тертя матеріалу з таким покриттям має високі

значення: 0,6–0,4 для чавуну с пластинчастим графітом; 0,8–1,0 для високоміцного чавуну. Це негативно позначається на припрацьовуваності.

Сульфидування гарантує чавуну антифрикційні властивості внаслідок утворення м'яких складових сульфідів. Але ці шари не можуть тривалий час протистояти високим навантаженням, за яких працюють багато деталей.

Отже, для забезпечення надійної безвідмовної роботи чавунних деталей, що працюють в умовах тертя та зношування, необхідно на поверхні одержати такий шар, який одночасно забезпечував би гарну та швидку припрацьовуваність, низький коефіцієнт тертя та мале зношування, мав здатність добре втримувати масляну плівку та протистояти схоплюванню.

Усім цим вимогам може задовольняти багатофазний поверхневий шар, у якому наявні як тверді фази, що сприймають високі тиски, так і м'які складові, які сприяють поліпшенню антифрикційних властивостей чавуну. Для гарного видалення продуктів зношування матеріал поверхневого шару повинен бути відносно крихким.

Поверхневий шар з необхідними властивостями може бути отриманий за умови, якщо його формування буде здійснюватися в середовищі перегрітої пари водяного розчину водорозчинних солей, зокрема амонію молібденово-кислого.

За умови підвищеної температури в контакті з металевою поверхнею відбувається дисоціація розчину та хімічних сполук з утворенням атомарних кисню, сірки, азоту, молібдену.

Елементи адсорбуються поверхнею, збільшують зносостійкість і поліпшують припрацьовуваність. Оскільки основним робочим середовищем є перегріта водяна пара, то і температурний режим цього процесу може бути тим самим, що і для пароксидування чавуну: нагрівання до $600^{\circ}\text{C} \pm 20$, час витримки не повинен бути більш ніж год (за цей час здатне утворитися багатозарове покриття, що містить оксиди, нітриди та сульфідів) [5–6].

Для визначення закономірностей формування поверхневого шару в роботі досліджено оброблення чавунів (сірого СЧ-ХНМ) і високоміцного з перлітною матрицею пару, отриманого з двадцятивідсоткового водяного розчину амонію молібденово-кислого. Оброблення здійснювали протягом 40 хв за

600°C . За цей час утворювався шар, товщиною ~ 20 мкм. Формування поверхневого шару відбувалося не тільки на металевій основі, але і вздовж границь пластинчастого та глобулярного графіту, що виходить на поверхню металу без розриву суцільного шару (рис. 1).

Така будова забезпечує необхідний комплекс властивостей чавуну, що працює в умовах тертя та зношування. Якщо графіт викришується в процесі тертя, починає працювати шар, що сформувався під вкрапленнями, що викришилися. М'які складові згладжують на поверхні нерівності, що утворилися.

Необхідно зазначити, що в процесі взаємодії різноманітних факторів графіт у поверхневому шарі змінює свою форму, стаючи кулястим, хоча в матриці він мав пластинчасту форму. За допомогою растрового мікроскопа можна спостерігати процес округлення пластинчастих вкраплень графіту (рис. 2).



Рис. 1. Захисний шар на поверхні сірого чавуну, $\times 300$



Рис. 2. Перетворення графітних вкраплень у поверхневому шарі чавуну, $\times 5000$

На самій поверхні графіт вже повністю перетворився на кулястий у вигляді розеток (рис. 3).

Крім цього, спостерігаються зміни в перлітній матриці. Незважаючи на те, що оброблення здійснювали за досить низької температури, відбувається розпадання цементиту, перліту та утворення графіту, як це подано на електронній мікрофотографії (рис. 4).



Рис. 3. Кулястий графіт у вигляді розетки в поверхневому шарі чавуну, $\times 5000$



Рис. 4. Перліт з утвореним графітним вкращенням у поверхневому шарі чавуну, $\times 5000$

Поверхневий шар для чавуну із пластинчастою та кулястою формою графіту складається з переважно більш м'якої складові. Нижній підшар, прилеглий до металевої основи чавуну, містить переважно тверді складові. Розподіл хімічних елементів змінюється за товщиною шару. Максимальна концентрація Мо, N, С спостерігається у верхніх шарах. Зазначена будова поверхнього шару чавуну забезпечує за низьких значень коефіцієнта тертя підвищену зносостійкість і покращену припрацьовуваність.

Випробування поверхневих шарів після оброблення були здійснені на машинах тертя МІ-1 та М-22М. Швидкість ковзання становила 2 м/с за навантаження 60 МПа з тривалістю випробувань 9 г. Критерієм зносостійкості є

втрата маси, а також зміна лінійних розмірів випробуваних зразків. Несну здатність та коефіцієнт тертя визначали за швидкостей від 1 до 3 м/с і навантажень від 200 до 1000 Н. Одночасно фіксували навантаження, за якого відбувалася зміна моменту тертя. Також випробовували необроблені зразки з одно- та багатошаровим покриттям (табл. 1).

Порівняльні дослідження демонструють, що інтенсивність зношування необроблених чавунів є вище, ніж у чавунів, що пройшли оброблення, і становить $0,8 \cdot 10^{-4}$ мкм/км за навантаження 400 Н. Для чавунних зразків з кулястою та пластинчастою формою графіту, які мають багатошарові покриття, характерне мінімальне зношування за всіх випробуваних навантажень від 200 до 800 Н ($\sim 0,38 \cdot 10^{-4}$ мкм/км). Зношення (втрата ваги) чавуну із пластинчастою формою графіту, який має багатошарове покриття, становить $(3,2-3,6) \cdot 10^{-2}$ мг на відміну від чавуну, який має одношарове покриття $(4,4-4,8) \cdot 10^{-1}$ мг. У цьому випадку в інтервалі навантажень від 200 до 800 Н коефіцієнт тертя залишається практично постійним на рівні 0,2–0,3, для високоміцного чавуну і 0,1–0,08 для сірого.

У багатошарового поверхнього покриття не відбувається збільшення сили тертя на ділянках контактування до величини, яка може призвести до різкого зростання коефіцієнта тертя. Руйнування окремих мікроконтактів не супроводжується деформуванням ділянок, що прилягають, і не переходить у глибинне виривання металу. Завдяки цьому збільшення сили тертя стримується і воно не досягає тих граничних значень, за яких відбувається зміна типу тертя. Менші величини навантаження, за яких може відбуватися схоплювання, призводить до зруйнування вузла тертя.

Дослідження впливу покриття на припрацьовуваність демонструють, що стабілізація моменту тертя настає швидше у зразків з багатошаровим покриттям. Так, для сірого чавуну із пластинчастим графітом час стабілізації моменту тертя у багатошарового покриття становить 0,6 год, як порівняти з 2 год у одношарового, для високоміцного чавуну – 5,2 і 6,3 годин.

Дослідження демонструють також, що зносостійкість багатошарового покриття близька до отриманої після азотування, однак процес азотування вимагає досить тривалого часу, але не більше 2 годин.

Крім того, азотований шар схильний до вифарбовування, зокрема в умовах масляно-

го голодування. Поверхневий шар, отриманий у середовищі перегрітої пари водяного розчину водорозчинних солей, забезпечує за підвищеної зносостійкості покращену припрацьовуваність, підвищуючи у такий спосіб несну здатність матеріалу.

Висновки

1) зменшення інтенсивності зношування чавуну може бути досягнуте застосуванням

комплексного оброблення з дифузійним насиченням поверхні в середовищі водяної пари декількома елементами, зокрема сіркою, азотом тощо;

2) під час оброблення в середовищі перегрітої пари водяного розчину солей формується шар, який містить одночасно м'які та тверді складові, що сприяє поліпшенню припрацьовуваності, зносостійкості та зменшенню коефіцієнта тертя.

Таблиця 1 – Властивості поверхневого шару (температура насичення – $600^{\circ}\text{C}\pm 20$)

Склад водяного розчину	Експлуатаційні властивості				
	Коефіцієнт тертя	Зношення, мг	Час до повного руйнування зразка, г *	Стабілізація моменту тертя, г^{-1}	Елементи поверхневого шару
20 ч/л амонію молібденово-кислого	0,1–0,08	$(3.2-3.6) \cdot 10^{-2}$	48	0,6	Fe, O, C, Mo, N
100% вода	0,6–0,4	$(4.4-4.8) \cdot 10^{-1}$	12	2	Fe, O, C

* За навантаження 1400 Н.

Література

1. Овчаров В. П. Влияние окисных пленок, полученных обработкой в атмосфере пара на трение и поверхностное упрочнение чугуна. Физико-химическая механика металла. 1973. С. 18–21.
2. Повышение износостойкости восстановленных деталей транспортных двигателей / Тимофеева Л. А., Тимофеев С. С., Федченко И. И., Демин А. Ю. Трение и износ: сборник научных трудов. Том 37. № 6. Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2016. С. 699–704.
3. Тимофеева Л. А., Геворкян Е. С. Повышения качества подготовки поверхностей изделий транспортного назначения при их восстановлении. Вестник сертификации железнодорожного транспорта. 2013. №3/1. С.68–69.
4. Martynenko L. G., Komarova G. L., Malichenko V. V. Influence of ferrimagnetic resonance on conversion of electromagnetic energy into mechanical one. Radioelectronics and Communications Systems. Vol. 59. № 10. 2016. P.449–454.
5. Волошина Л. В. Функціональні покриття для підвищення зносостійкості деталей масляного шестеренного насосу: матеріали II-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології», 27–29 квіт. 2021 р. Харків: УкрДУЗТ, 2021. С. 167–169.
6. Підвищення експлуатаційних показників фрикційних клинів шляхом формування покриттів зі спеціальними властивостями / Тимофеева Л. А., Устенко О. В., Цап О. І., Волошина Л. В.: зб. наукових праць УкрДУЗТ, Харків: УкрДУЗТ. 2019. Випуск 185. С.88–95. (НБД Index Copernicus).

References

1. Ovcharov V. P. Influence of oxide films obtained by treatment in a steam atmosphere on friction and surface hardening of cast iron. Physicochemical mechanics of metal. 1973. S. 18–21
2. Increasing the wear resistance of reconditioned parts of transport engines / Timofeva L. A., Timofev S. S., Fedchenko I. I., Demin A. Yu. Friction and wear: collection of scientific papers. Volume 37. No. 6. Gomel: IMMS NAS of Belarus. 2016 . S. 699–704.
3. Timofeeva L. A., Gevorkyan E. S. Improving the quality of surface preparation of transport products during their restoration. Bulletin of certification of railway transport, 2013. №3 / 1. P.68–69.
4. Martynenko L. G., Komarova G. L., Malichenko V. V. Influence of ferrimagnetic resonance on conversion of electromagnetic energy into mechanical one. Radioelectronics and Communications Systems. Vol. 59. № 10. 2016. P.449–454.
5. Voloshyna L. Functional coatings to increase the wear resistance of oil gear pump parts//2nd International Scientific and Technical Conference «Intellectual transport technology» Abstracts. Kharkiv: UkrSURT, 2021. P. 167–169.
6. Increase exploitative indicators of friction wedges by forming coatings with special features / Timofeeva L. A., Ustenko O. V., Thap O. I., Voloshyna L. V: collection of scientific works UkrSURT. Kharkiv: UkrSURT. 2019. Issue 185. P.88–95. (Index Copernicus)

Тимофєєва Ларіса Андріївна, д-р техн. наук, професор кафедри інженерії вагонів та якості продукції, тел. (+38) 057-730-10-49, e-mail: mtv@kart.edu.ua,

Український державний університет залізничного транспорту, 7, майдан Фейєрбаха, м. Харків, 61050, Україна.

Тимофєєв Сергій Сергійович, д-р техн. наук, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції, тел. (+38) 068-810-61-26,

e-mail: mtv@kart.edu.ua,

Український державний університет залізничного транспорту, 7, майдан Фейєрбаха, м. Харків, 61050, Україна.

Волошина Людмила Володимирівна, асистент кафедри інженерії вагонів та якості продукції, тел. (+38) 050-192-78-11,

e-mail: ludmivol@gmail.com,

Український державний університет залізничного транспорту, 7, майдан Фейєрбаха, м. Харків, 61050, Україна.

Колесник Максим Анатолійович, аспірант кафедри інженерії вагонів та якості продукції, тел. (+38) 095-80-89-594,

e-mail: mtv@kart.edu.ua,

Український державний університет залізничного транспорту, 7, майдан Фейєрбаха, м. Харків, 61050, Україна.

Increasing the tribological properties of the surface layer of cast iron by treatment in the environment of overheated steam of aqueous solution

***Abstract.** The formation of the surface layer of cast iron during the processing of cast iron in the environment of superheated steam of an aqueous solution of salts is considered. An ecologically cleaner method of chemical-thermal treatment is offered. The article considers the surface layer obtained in the environment of superheated steam of an aqueous solution of water-soluble salts of ammonium molybdic acid. The layer is formed on the surface of the matrix and around the graphite inclusions. The impact of temperature on the formation of a multilayer coating by increasing the temperature in contact with the metal surface is the dissociation of chemical compounds in solution, with the formation of atomic oxygen, sulfur, nitrogen, molybdenum. The formation of the surface layer occurred not only on a metal base, but also on the boundaries of graphite, both lamellar and globular, coming to the surface of the metal*

without breaking the solid layer. It is established that as a result of interaction of technological parameters of temperature, holding time and concentration of saturated medium graphite in the surface layer changes its shape, becoming spherical, although in the matrix it had a lamellar shape. It is multiphase and contains soft and hard structural components. Comparative studies have shown that the wear rate of untreated cast iron is much higher than that of treated cast iron, and reaches $0.8 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}/\text{km}$ at a load of 400 N. This increases the wear resistance of cast iron and at the same time improves the workability reducing the coefficient of friction. The effect of the coating on the workability show that the stabilization of the friction moment occurs faster in samples with a multilayer coating. Thus, for gray cast iron with lamellar graphite, the stabilization time of the friction moment in a multilayer coating is 0.6 h compared with 2 h for a single layer coating; in high-strength cast iron it is, respectively, 5.2 and 6.3 hours.

Key words: surface layer, cast iron, superheated steam, aqueous solution of salts, tribological properties

Timofeeva Larisa Andreevna, Ph.D. sciences, professor, Department of Wagon Engineering and Product Quality, tel. (+38) 057-730-10-49,

e-mail: mtv@kart.edu.ua, Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach Square, Kharkiv, 61050, Ukraine.

Timofeev Sergey Sergeevich, Ph.D. sciences, associate professor, Department of Wagon Engineering and Product Quality, tel. (+38) 068-810-61-26,

e-mail: mtv@kart.edu.ua,

Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach Square, Kharkiv, 61050, Ukraine.

Voloshyna Liudmyla Volodymyrivna, assistant, Department of Wagon Engineering and Product Quality, (+38) 050-192-78-11,

e-mail: ludmivol@gmail.com,

Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach Square, Kharkiv, 61050, Ukraine.

Kolesnyk Maksym Anatoliiovych, graduate student, Department of Wagon Engineering and Product Quality, tel. (+38) 095-80-89-594,

e-mail: mtv@kart.edu.ua,

Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach Square, Kharkiv, 61050, Ukraine.