

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПОВЕРХНІ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ ПРОТИ КОРОЗІЇ І ФРЕТИНГУ

Соколов О.Д., д-р техн. наук, професор, Маннапова О. В., канд. техн. наук
Одеська національна академія харчових технологій

Розглянуто результати досліджень щодо підвищення стійкості поверхні деталей із сірого чавуну проти атмосферної корозії і фретинг-корозії. Підвищення цих трибологічних характеристик поверхні чавуну зафіксоване після її окисдування у хромовій кислоті, яке формує рівномірний шар визначеного складу і, на відміну від інших засобів окисдування чавуну, не призводить до недопустимого збільшення розмірів деталі.

The results of researches are considered on the increase of firmness of surface of details from grey cast-iron against atmospheric corrosion and fretting-corrosion. Increase these tribology descriptions of surface of cast-iron it is fixed after its oxidizing in chromic acid, which forms the even layer of certain composition and, unlike other facilities of oxidizing of cast-iron, does not result in the impermissible growing on of sizes of detail.

Ключові слова: сірий чавун, кисле окисдування, корозійна стійкість, тужавлення, фретинг-корозія.

Вступ. Аналіз останніх досліджень надійності і довговічності конкретних високоточних деталей із сірого чавуну – поршневих кілець тракторних і комбайнових двигунів внутрішнього згорання показує, що ці показники залежать не тільки від зносостійкості їх зовнішньої циліндричної поверхні, але й від трибологічних властивостей решти поверхонь (особливо тих, що контактують із поршнем) у середовищах, супутніх процесам виготовлення та експлуатації кілець [1–3]. У науковій літературі останнім часом під трибологічними проявами розуміють знос, корозію, повзучість, утому і викришування поверхні [1]. На поршневих кільцях потужних двигунів для поліпшення трибологічних характеристик застосовують хромові покриття на робочій поверхні, а на інших поверхнях часто застосовують допоміжні покриття, найчастіше лудіння, але висока ціна і дефіцитність олова вимагають його заміни.

Сірий чавун має низьку корозійну стійкість, що викликає необхідність консервації і упакування кілець відразу після виготовлення. У виробництві це спричиняє незручності, оскільки рішення про поставання кілець на комплектацію двигунів або на запасні частини, де вимоги до консервації і упакування істотно відрізняються, приймається наприкінці певного терміну, що вимагає застосовувати тимчасову консервацію з наступним миттям.

Цю актуальну проблему можна було б усунути окисдуванням поверхні чавуну [4–7], однак, проведене нами [8] випробування у виробництві відомих способів окисдування (хімічного, електрохімічного і у середовищі перегрітої водяної пари) не привело до позитивних результатів через неприпустиме (більше 0,02 мм) збільшення розмірів поршневих кілець.

Мета роботи. Метою роботи є виклад результатів наших досліджень щодо підвищення корозійної стійкості та стійкості проти фретинг-корозії нехромованої поверхні кілець із сірого чавуну окисдуванням у хромовій кислоті.

Проведені нами попередні дослідження [8] дозволили розробити середовище і режими процесу кислого окисдування, що забезпечує допустимий рівень приросту висоти чавунного кільця. Склад розчину (г/л): CrO_3 (100 - 250); H_2SO_4 (80 - 200); $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$ (10 - 50). Температура процесу – (65 - 75) °С. Процес не призводить до неприпустимої зміни розмірів поршневого кільця і забезпечує формування однорідного рівномірного покриття чорного кольору товщиною (0,004 - 0,005) мм при втраті ваги не більше 0,0045 г/см².

Матеріали і методика досліджень. Аналіз складу покриття проводився такими методами: металографічним; газооб'ємним; хімічним фото колориметричним (ФЕК-56); спектральним емісійним у каналі вугільного електроду (ІСП-30); кулонометричним; методом вакуумного плавлення із газохроматографічним закінченням і рентгеноструктурним методом (УРС-0,02, камера РКД, кобальтове випромінювання, трубка із гострофокусним анодом). Покриття містить оксиди заліза, гідрооксид заліза, оксиди хрому і кремнію і карбіди заліза.

Дослідження корозійної стійкості поверхні окисдованих кілець проводилися в агресивних середовищах, що містять активні іони Cl і SO_2 . Згідно зі стандартом кільця занурювалися в 3 % розчин NaCl у фарфорових чашках при кімнатній температурі. Кількісно корозійна стійкість визначалася за накопиченням продуктів корозії (іонів заліза в розчині), виміряним фотоколориметром ФЕК-56. Результати представлені на рис. 1, звідки випливає, що окисдування підвищує корозійну стійкість кілець у два рази.

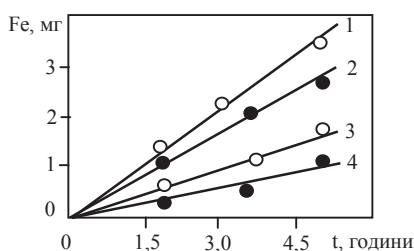


Рис. 1 – Залежність накопичення заліза в 3 % розчині NaCl від часу витримки дослідних поршневих кілець
1 – не окисдовані кільця; 2 – не окисдовані, промаслені у консерваційному мастилі K-17; 3 – окисдовані; 4 – окисдовані, промаслені в K-17. Фотоколориметр ФЕК-56.

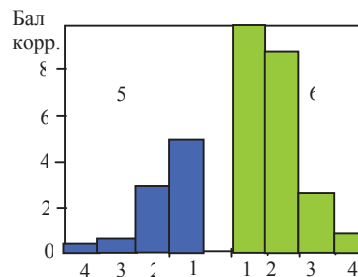


Рис. 2 – Результати прискорених корозійних випробувань поршневих кілець в агресивних середовищах
1 – не окисдовані кільця; 2 – не окисдовані, промаслені в K-17; 3 – окисдовані; 4 – окисдовані, промаслені в K-17; 5 – пара NaCl; 6 – пара SO₂. Тривалість 2 доби.

Рис. 1 – Залежність накопичення заліза в 3 % розчині NaCl від часу витримки дослідних поршневих кілець

Рис. 2 – Результати прискорених корозійних випробувань поршневих кілець в агресивних середовищах

При випробуваннях у парі NaCl і парі SO₂ згідно із стандартом кільця підвищувалися на скляній підвісці в ексикаторах над розчином 3 % NaCl і 1% (Na₂S₂O₃ + 0,05M H₂SO₄). Ексикатори витримувалися в сушильній шафі 6 годин при температурі 50 °С, 1 годину при температурі 20 °С із закритою кришкою і 17 годин при температурі 20 °С із відкритою кришкою. Випробування проводилися 1 і 2 доби. Результати випробувань, оброблені за системою балів, що пропонується стандартом, представлені на рис. 2 і показують значне підвищення корозійної стійкості.

Для натурних випробувань поршневі кільця були виставлені на спеціальних стендах на території заводу поршневих кілець у місцях із атмосферою різного типу агресивності. У ливарному цеху перші осередки корозії на необроблених кільцях з'явилися через 3 дні, а через 14 днів на цих кільцях прокородувала вся поверхня. На складі готової продукції через 30 днів прокородувало 20 % поверхні необроблених кілець. Оцінка корозії наведена на рис. 3 і 4. Наведені дані говорять про те, що пропонуване окисдування поршневих кілець дозволяє забезпечити місячний період їх знаходження на складі готової продукції без консервації.

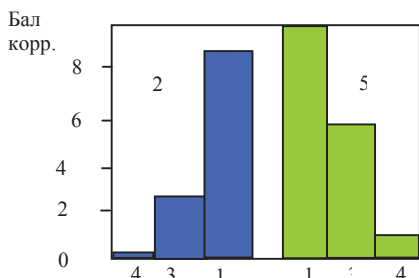


Рис. 3 – Результати натурних корозійних випробувань поршневих кілець
1 – не окисдовані кільця; 2 – склад готової продукції, 30 днів; 3 – окисдовані; 4 – окисдовані, промаслені в K-17; 5 – ливарний цех, 14 днів.

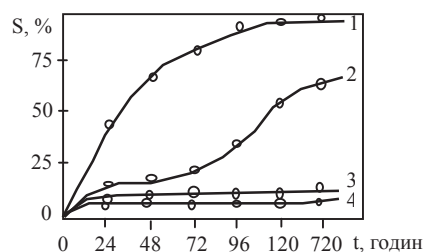


Рис. 4 – Кінетика корозійного ураження поверхні поршневих кілець у промисловій атмосфері механічного цеху
1 – не окисдовані кільця; 2 – не окисдовані, промаслені в K-17; 3 – окисдовані; 4 – окисдовані, промаслені в K-17.

Рис. 3 – Результати натурних корозійних випробувань поршневих кілець

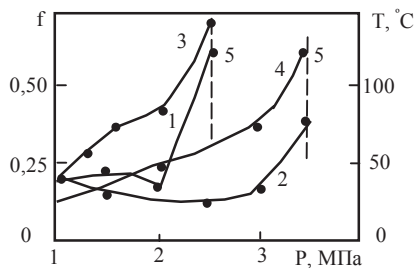
Рис. 4 – Кінетика корозійного ураження поверхні поршневих кілець у промисловій атмосфері механічного цеху

Зносостійкість окисдованого чавуну поршневих кілець визначалася нами методом порівняльних випробувань на машині тертя СМЦ-2 за схемою ролик-колодка в режимі граничного тертя при питомому навантаженні 1,75 МПа в діапазоні швидкостей ковзання (1 - 4) м/с при терті по чавуні і по силуміну.

Результати випробувань показують, що при терті по чавуні прошарок окисдованого чавуну має в 2,5 рази більшу зносостійкість, ніж неокисдований чавун (максимальний темп зношування 0,26 мкм/годину проти 0,63 мкм/годину при швидкості 4,16 м/с). При цьому в 9 разів менше (0,037 мкм/годину проти 0,33 мкм/годину при тій самій швидкості) зношується чавунне контртіло.

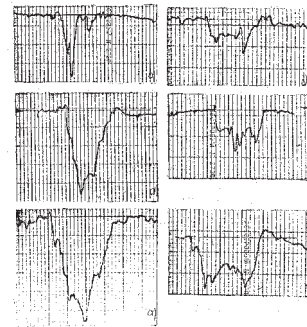
При терті по силуміну окисдований чавун показує середнє зниження розміру зносу у всьому діапазоні швидкостей у 2 рази (0,22 мкм/час проти 0,42 мкм/час при швидкості 2,13 м/с) і аналогічне зниження зносу силумінового контртіла в порівнянні з неокисдованим сірим чавуном поршневого кільця.

Порівняння окисдованого і неокисдованого чавуну за стійкістю до задиру і тужавлення провадилося на машині тертя СМЦ-2 в умовах припинення подачі мастила на швидкості 1,3 м/с по чавунному контртілу при плавному підвищенні питомого тиску. При цьому фіксувалася температура в зоні тертя і коефіцієнт тертя аж до входження в зону задиру і тужавлення. Результати, подані на рис. 5, показують, що тужавлення неокисдованого чавуну настає при тиску 2,5 МПа, а окисдований чавун витримує до 3,5 МПа. Таким чином, можна констатувати, що окисдування поршневих кілець підвищує стійкість до задиру їхньої нехромованої поверхні в 1,4 рази, що особливо важливо для нижніх компресійних кілець.



1, 2 – коефіцієнт тертя чавуну й окисдованого чавуну відповідно; 3, 4 – температура в зоні тертя чавуну й окисдованого чавуну відповідно; 5 – зона тужавлення. СМЦ-2, сухе тертя, швидкість – 1,3 м/с.

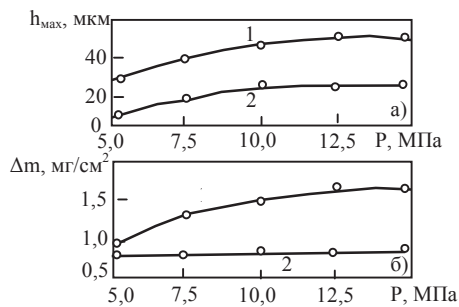
Рис. 5 – Вплив окисдування на задиристійкість сірого чавуну поршневих кілець при терті по чавуні



а) – неокисдований чавун; б) – окисдований чавун; навантаження (зверху вниз) – 5, 10 і 15 МПа.

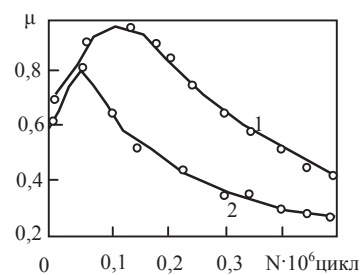
Рис. 6 – Профілограми ушкоджені поверхні контртіла із силуміну поршня при фретинг-корозії в парі з чавуном поршневого кільця

За умовами роботи торцевої поверхні кільця в канавці поршня і характеру її зносу можна припустити прояв механізму фретинг-корозії [9]. Дослідження цього виду зносу поверхні окисдованого чавуну в порівнянні з неокисдованим проводилися нами на стандартній установці для випробувань матеріалів на зношування при фретингу і фретинг-корозії (ДСТ 23211-80). Умови випробувань: амплітуда коливань – 50 мкм; частота – 30 Гц; база випробувань – $0,5 \cdot 10^6$ циклів; площа кільцевого контакту – $0,5 \text{ см}^2$; шорсткість поверхні зразка $R_a = 0,5 \text{ мкм}$; діапазон навантажень – (5 - 15) МПа.



1 – неокисдований чавун; 2 – окисдований чавун.

Рис. 7 – Залежність глибини ушкодження контртіла із силуміну поршня (а) і втрати маси пари тертя (б) від навантаження при фретинг-корозії за $0,5 \cdot 10^6$ циклів



1 – неокисдований чавун; 2 – окисдований чавун.

Рис. 8 – Кінетика коефіцієнта тертя при фретинг-корозії пари “чавун кільця – силумін поршня” за $0,5 \cdot 10^6$ циклів

Наведені на рис. 6 профілограми поверхні силуміну, зняті на профілографі-профілометрі, вже якісно показують, що окисдування чавуну значно знижує пошкоджувальність силумінового зразка. Для кількісного визначення впливу окисдування чавуну на знос пари тертя при фретинг-корозії були зняті залежності глибини ушкодження силуміну і втрати маси пари тертя від навантаження при випробуваннях

протягом $0,5 \cdot 10^6$ циклів. Результати, наведені на рис. 7, дозволяють кількісно визначити переваги окисдованого чавуну: втрата маси пари тертя вдвічі менша, ніж при роботі неокисдованого чавуну.

Установка для випробувань матеріалів на зношування при фретингу і фретинг-корозії надавала можливість знімати показники за коефіцієнтом тертя пари “чавун – силумін”, що дозволило також побудувати кінетику коефіцієнта тертя за весь час випробувань. Дані, наведені на рис. 8, показують зниження коефіцієнта тертя і підтверджують переваги окисдованого чавуну.

Для перевірки дієвості досліджуваного окисдного шару були заокисдовані за зазначеною технологією поршневі кільця дизельного двигуна 8ДВТ-330 (8Ч15/16), у якому для запобігання заляганню поршневих кілець їхні нехромовані поверхні піддають лудінню. Результати 60-годинних стендових випробувань двигуна, у якому через циліндр були встановлені серійні і експериментальні окисдовані кільця, показали, що окисдування може цілком замінити лудіння кілець – окисдний шар задовольняє вимоги до припрацювальних покриттів: відсутнє утворення нагару, закоксованість, після випробувань кільця мають задовільну якість поверхні і добру рухливість у канавках поршня.

Висновки

1. Розроблено технологію окисдування сірого чавуну у хромовій кислоті, при якому формується рівномірний шар покриття чорного кольору товщиною 4–5 мкм з оксидів заліза, гідроксиду заліза, оксидів хрому та кремнію і карбідів заліза, що дозволяє у два рази збільшити корозійну стійкість поверхні чавуну і забезпечити місячний період знаходження поршневих кілець на складі готової продукції без консервації;

2. Встановлено, що окисдований чавун при терті по чавуну і силуміну має у 2,0–2,5 рази більшу зносостійкість, ніж неокисдований чавун, при цьому відповідно менше зношується контртіло тертя і підвищується стійкість до задиру і тужавлення у 1,4 рази;

3. Випробування окисдованого чавуну на зношування при фретингу і фретинг-корозії пари “чавун–силумін” показують зниження коефіцієнта тертя, глибини ушкоджень і втрати маси вдвічі порівняно з неокисдованим чавуном, що дозволяє збільшити довговічність поршневих кілець по торцевій поверхні;

4. Результати стендових випробувань двигуна, у якому через циліндр були встановлені серійні й експериментальні окисдовані кільця, показали, що пропонуване окисдування може цілком замінити дорогий процес лудіння поршневих кілець.

Література

- Holmberg K. Tribology in Reliability Engineering // Scientific Achievements. Industrial Applications / 2nd World Tribology Congress: Vienna, Austria, Sept. 2001. – P. 13–19.
- Соколов О. Д. Оцінка зносостійкості та надійності хромових покриттів для розробки технології їх нанесення на деталі вузла тертя // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2003. – №2. – С. 130–135.
- Чернета О. Г. Підвищення ресурсу роботи поршневих кілець двигунів внутрішнього згорання за рахунок використання нових покриттів: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.01. Запоріж. нац. техн. ун-т. – Запоріжжя. – 2002. – 18 с.
- Гриликес С. Я. Оксидные и фосфатные покрытия металлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 104 с.
- Пантелеенко Ф. И. Новое в восстановительно-упрочняющих технологиях // Производство и ремонт машин: Сборник материалов Международной научно-технической конференции, Ставрополь, 28 февр. – 6 марта, 2005. Ставрополь: Изд-во СтГАУ “АГРУС”. – 2005. – С. 58–63.
- Тополянский П. А. 7-я Международная практическая конференция “Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки”, Санкт-Петербург, апр. 2005 // Технол. машиностр. – 2005. – № 6. – С. 97–97.
- Thin film material and method for preparation thereof: Заявка 1514679 ЕПВ, МПК⁷ В 23 В 9/00; Riken Wako-shi, Kunitake Toyoki, Hashizume Mineo. № 03725764.9; Заявл. 09.05.2003; Опубл. 16.03.2005; Приор. 09.05.2002, № 2002134314 (Япония).
- Повышение коррозионной стойкости поршневых колец химическим оксидированием / Соколов А. Д., Мишуриц Л. Г., Бейзерман Я. М. и др. // Технология и организация производства. – 1984. – № 2. – С. 43–45.
- Ting L. L., Mayer J. E. Piston ring lubrication and cylinder bore wear analyses. P 11. Theory verification // Journal of lubrication technology. – 1974. – Ser. F, v. 96. – n. 2. – P. 69–79.