



Всеукраїнська громадська організація  
Асоціація технологів-машинобудівників України  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля  
НАН України  
Академія технологічних наук України  
ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК»  
Суспільство інженерів-механіків НТУ України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Український державний університет залізничного транспорту  
ПАТ «Ільницький завод МЗО»  
Машинобудівний факультет Белградського університету

# **ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА РЕНОВАЦІЯ ВИРОБІВ**

**Матеріали 22-ї Міжнародної  
науково-технічної конференції**

*15–16 червня 2022 р.*

Київ – 2022

**Інженерія поверхні та реновація виробів:** Матеріали 22-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 15–16 червня 2022 р. – Київ: АТМ України, 2022. – 165 с.

### **Наукові напрямки конференції**

- Наукові основи інженерії поверхні:
  - матеріалознавство
  - фізико-хімічна механіка матеріалів
  - фізико-хімія контактної взаємодії
  - зносо- та корозійна стійкість, міцність поверхневого шару
  - функціональні покриття поверхні
  - технологічне управління якістю деталей машин
  - питання трибології в машинобудуванні
- Технологія ремонту машин, відновлення і зміцнення деталей
- Впровадження стандартів ДСТУ ISO 9001 у промисловості, вищих навчальних закладах, медичних установах і органах державної влади
- Метрологічне забезпечення ремонтного виробництва
- Екологія ремонтно-відновлювальних робіт

**Матеріали представлені в авторській редакції**

© АТМ України,  
2022 р.

фосфіди Fe, Cr, що забезпечує підвищену твердість, зносостійкість, задиристійкість, гарну припрацьовуваність робочої поверхні пари тертя «колесо–рейка».

Були обрані раціональні параметри, досліджені покриття нового технологічного процесу, які забезпечують підвищення зносостійкості колісних пар рухомого складу залізниці, що як наслідок, сприяє збільшенню довговічності їх роботи. Установлено, що в своєму складі вони містять хімічні елементи, які входили в склад насичуючого середовища.

Проведені випробування показали, що у відповідності з запропонованою технологією величина зносу має тенденцію до достатньо усталеного процесу зносу, який забезпечує збільшення міжремонтного пробігу більш ніж в 1,5 рази.

*Тимофєєва Л.А., Тимофєєв С.С., Козловська І.П.*  
Український державний університет залізничного  
транспорту, Харків, Україна

## **ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЧАВУНУ ПАРООКСИДУВАННЯМ ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СОЛЕЙ**

У вітчизняному машинобудуванні для виготовлення деталей, які працюють в умовах тертя зношування, широко застосовують як сірий легований чавун із пластинчастим графітом, так і високоміцний чавун із графітом кулястої форми, що відповідають вимогам: висока міцність при достатньому запасі пластичності, підвищена теплопровідність, досить високий модуль пружності, підвищена зносостійкість і гарна припрацьовуваність. Однак при тривалій експлуатації чавунні деталі найчастіше не виробляють свого ресурсу через відмови за рахунок прискореного зношування поверхні, що в основному викликається утворенням точок схоплювання.

Аналіз відомих методів зміцнення робочої поверхні (азотування, сульфідкування, сульфоціанування та ін.) показує, що вони трудомісткі, тривалі, вимагають застосування дефіцитних і шкідливих хімікатів та складного устаткування. Для підвищення триботехнічних характеристик поверхневих шарів у роботі пропонується екологічно більш чистий метод хіміко-термічної обробки – пареоокси-

дування. Сутність його в тому, що деталі обробляють у середовищі перегрітої пари при температурі трохи нижче  $A_{C}^{H1}$  чавуну. Поверхневий шар, отриманий таким методом, складається з вюстититу та магнетиту. Проведені дослідження показали, 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.

У зв'язку з цим 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 і мале зношування, мав здатність добре втримувати масляну плівку та протистояти задирам і схоплюванню.

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

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

При підвищеній температурі 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. Так як основне робоче середовище — перегріта водяна пара, то і температурний режим цього процесу може бути тим же, що і для парооксидування чавуну: нагрівання до  $600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20$ , час витримки не повинний бути більш 1 години (за цей час встигає утворитися багатошарове покриття, що містить оксиди, нітриди та сульфід).

Для встановлення закономірностей формування поверхневого шару у роботі досліджена обробка чавунів (сірого СЧ-ХНМ) і високоміцного з перлітною матрицею паром, отриманим з 20% водяного розчину амонію молібденово-кислого. Обробку вели протягом 40 хв при  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ . За цей час утворювався шар товщиною  $\sim 20$  мкм. Формування поверхневого шару відбувалося не тільки на металевій

основі, але і по границях графіту як пластинчастого, так і глобулярного, що виходить на поверхню металу без розриву суцільного шару. Така будова забезпечує необхідний комплекс властивостей чавуну, працюючого в умовах тертя та зношування. У тому випадку, якщо графіт викришується в процесі тертя, починає працювати шар, що сформувався під включеннями, що викришилися. М'які складові згладжують на поверхні нерівності, що утворилися.

Поверхневий шар для чавуну із пластинчастою та кулястою формою графіту складається з декількох підшарів, верхній з яких містить в основному більш м'які 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. Вказана будова поверхневого шару чавуну забезпечує при низьких значеннях коефіцієнту тертя підвищену зносостійкість і покращену припрацьовуваність.

Випробування поверхневих шарів після обробки були проведені на машинах тертя МІ-1 та М-22М. Швидкість ковзання була 2 м/с при навантаженні 60 МПа тривалість випробувань 9 г. Критерієм зносостійкості служила втрата маси, а також зміна лінійних розмірів випробуваних зразків. Несучу здатність та коефіцієнт тертя визначали при швидкостях від 1 до 3 м/с і навантаженнях від 200 до 1000 Н. Одночасно фіксували навантаження, при якому відбувалася зміна моменту тертя. Також випробовували зразки, що не проходили обробку, з одношаровим і багатшаровим покриттям.

Таким чином, зменшення інтенсивності зношування чавуну може бути досягнуте застосуванням комплексної обробки з дифузійним насиченням поверхні в середовищі водяної пари декількома елементами, у тому числі сіркою, азотом та іншими. При зазначеній обробці формується шар, який містить одночасно м'які і тверді складові, що сприяє поліпшенню припрацьовуваності, зносостійкості та зменшенню коефіцієнта тертя.

|  |     |
|--|-----|
| <i>Тимофеев С.С.</i><br>ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР   | 143 |
| <i>Тимофеева Л.А.</i><br>ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОЛІС ЦІЛЬНОКАТАНИХ<br>РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦІ  | 144 |
| <i>Тимофеева Л.А., Тимофеев С.С., Козловська І.П.</i><br>ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ<br>ЧАВУНУ ПАРООКСИДУВАННЯМ ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СОЛЕЙ   | 146 |
| <i>Яригін В.А., Вислоух С.П., Антонюк В.С.</i><br>МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ,<br>ОТРИМАНИХ 3D ДРУКОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСОБІВ МГВА  | 149 |
| <i>Яценко І.В., Ващенко В.А., Семенчук К.М., Малиш А.М., Петров М.О.</i><br>ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ЗОВНІШНІХ<br>ДІЙ НА ОПТИЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ЗА ДОПОМОГОЮ<br>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ | 154 |
| <i>Павлова Г.О.</i><br>ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ ПРИ РЕМОНТІ КОМПОНЕНТІВ АВІАЦІЙНОЇ<br>ТЕХНІКИ   | 157 |