

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ ТА НЕМЕТАЛЕВИХ ПОКРИТТІВ

УДК 621.891

О. В. Маннапова, канд. техн. наук,

О. Д. Соколов, докт. техн. наук

ВПЛИВ СТРУКТУРИ І ТВЕРДОСТІ НА ЗНОШУВАННЯ ПОКРИТТІВ

Одеська національна академія харчових технологій,
asokolovodes@rambler.ru

На машині тертя у діапазонах швидкостей від 0,47 до 4,16 м/с і навантажень від 0,5 до 4,5 МПа виконано дослідження зношування ряду покриттів суцільної і гетерогенної структури для визначення впливу структури і твердості на зносостійкість. Визначено градієнт зносу покриттів по їх мікротвердості в діапазоні від 3 до 19,5 ГПа. Показано, що кореляція між зносом і твердістю виявляється тільки для покриттів з однаковим типом структури усередині своїх груп і величина градієнту зносу у різних структурних групах різна, що підтверджує структурно-енергетичну модель зношування гетерогенних покриттів

Вступ. Проблема підвищення зносостійкості і надійності вузлів тертя найбільш актуальна при сучасних тенденціях інтенсифікації робочих процесів у машинах. Для двигунів внутрішнього згоряння таким вузлом є пара кільце-циліндр, яка при форсуванні двигунів опиняється у термонапруженому режимі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій за цієї проблеми, проведений у наших роботах [1–4], показує, що застосування зносостійких гальванічних хромових покриттів на поршневих кільцях для форсованих двигунів не забезпечує надійності внаслідок термосилового руйнування покриття, і різними авторами пропонується використання пористих мастилоємних плазмових покриттів як більш термостійких.

Але невирішеною частиною проблеми залишається питання вибору матеріалу такого покриття з потрібним рівнем зносостійкості. З огляду на чинні рекомендації триботехніки [5], що зносостійкість матеріалів базується на законі Арчарда, який вважає зносостійкість суцільного матеріалу пропорційній його твердості, виникає необхідність

одержання експериментальних даних для різноманітних матеріалів покриттів, особливо плазмових, котрі по своїй будові відрізняються від суцільного матеріалу своєю гетерогенністю. Трибологічні процеси в гетерогенних системах є предметом пильної уваги дослідників [6], і перехід від теоретичного і якісного розглядання структурно-енергетичної моделі зношування [7; 8] до кількісних показників зносу на даний час стає насущним питанням триботехніки.

Мета даної роботи – провести дослідження зносостійкості суцільних і гетерогенних покриттів і встановити кореляцію між структурою і мікротвердістю покриття і рівнем його зносу.

У роботі досліджувана зносостійкість покриттів на основі хрому та молібдена, отриманих електролітичним способом, вакуумним електронноструменевим випаром і плазмовим напилюванням на сталеві і чавунні циліндричні зразки – ролики. Знос покриттів визначався на машині тертя СМЦ-2 за схемою «ролик – колодка» при шляху тертя 51 км, що дозволило чітко фіксувати результат зносу методом зважування зразків при числі зразків від 3-х до 5-ти штук на одне випробування для досягнення похибки менше 10 %. Зразки покриттів випробовувалися при швидкостях тертя від 0,47 до 4,16 м/с в межах діапазону машини тертя і навантаженнях від 0,5 до 4,5 МПа, за умови неприпускання задиру і тужавлення. Контртілом тертя була колодка із сірого чавуна. Режим змащування – граничний. Мікротвердість покриттів вимірювалася приладом ПМТ-3. Структура покриттів вивчалася на металографічному мікроскопі МІМ-7А.

Спроба встановити загальну кореляцію між зносом усіх випробуваних покриттів та їхньою твердістю не призвела до очікуваного результату. Покриття однакового хімічного складу, наприклад, хромові, нанесені вакуумним випаром, гальванічним осадженням і методом плазмового напилення не уклалися в графік залежності зносу від твердості. Для пояснення цього явища були проведені структурні дослідження покриттів, які показали, що кореляція між зносом і твердістю виявляється тільки для покриттів з однаковим типом структури усередині своїх груп.

За типом структури досліджувані покриття були розбиті на чотири групи.

I група (рис. 1). Хромові покриття, сформовані на структурному мікрорівні, структура, густина і поруватість яких наближається до структури литого металу, рівень поруватості близько 1 %.

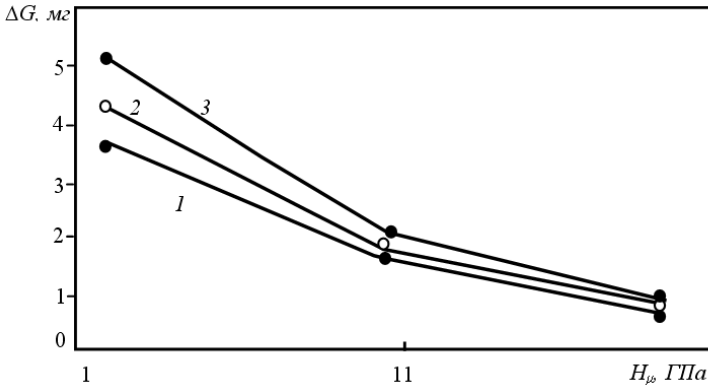


Рис. 1. Залежність зносу електролітичних, вакуумних і карбідизованих хромових покриттів групи I від мікротвердості:
 1 – $P=3,5$ МПа, $V=1,3$ м/с; 2 – $P=4,5$ МПа, $V=1,3$ м/с; 3 – $P=3,5$ МПа, $V=0,47$ м/с

Це хромові покриття, одержані конденсацією парів металевого хрому у вакуумі, що близькі по властивостях до відпаленого суцільного хрому з твердістю 3 ГПа, а також електролітичні хромові, блискучі, зносостійкі покриття з твердістю 9 ГПа. Для утворення третього виду покриттів обидва ці види покриттів були піддані газовій карбідизації, що призвело до збільшення їхньої твердості до 19,5 ГПа. Знос усіх трьох видів покриттів при різноманітних режимах протікає аналогічно і дозволяє виявити кореляцію з величиною твердості. Результати приведені на рис. 1.

Середній градієнт зносу по швидкості в цій групі покриттів складає 0,43 мг/ГПа для діапазону твердості від 3 до 9 ГПа, і 0,09 мг/ГПа для діапазону твердості від 9 до 19,5 ГПа, тобто, підвищення твердості в діапазоні надтвердих матеріалів значно менше впливає на підвищення зносостійкості.

II група (рис. 2). Хромові, нікелеві, залізні і молибденові покриття, сформовані на структурному макрорівні, отримані з порошків металів методом плазмового напилення.

За структурою, густиною та поруватістю вони значно відрізняються від відповідних масивних металів, мають чітко виражену шарувату структуру і поруватість порядку 10%. Це обумовлює їхню високу мастилоємність, що, безсумнівно, позначається на механізмі їхнього зносу. Усередині цієї групи кореляція між зносом та твердістю виявляється, але ними діапазон твердості що не охоплюється невеликий.

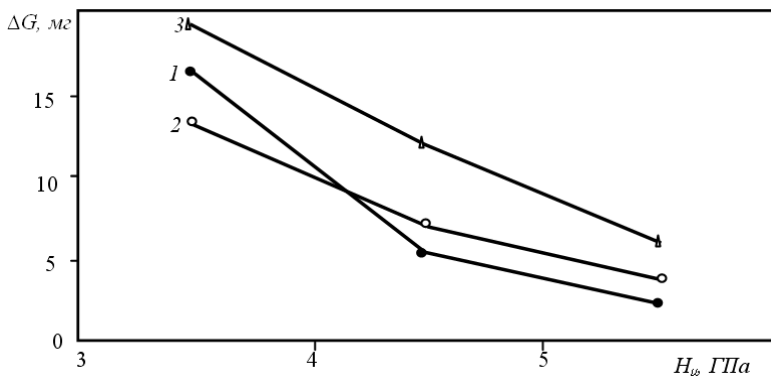


Рис. 2. Залежність зносу хромових, молібденових і залізонікелевих плазмових покриттів групи II від мікротвердості: 1 – $P = 1,75$ МПа, $V = 4,16$ м/с; 2 – $P = 1,75$ МПа, $V = 1,3$ м/с; 3 – $P = 1,75$ МПа, $V = 2,13$ м/с

Це покриття з порошку заліза ПЖМ, плакованого нікелем, мікротвердістю 3,6 ГПа, покриття з порошку молібдена мікротвердістю 4,5 ГПа і покриття з порошку хрому ПХМ мікротвердістю 5,5 ГПа. Залежність їхнього зносу від твердості приведена на рис. 2.

Середній градієнт зносу по твердості в цій групі покриттів складає 9,2 мг/ГПа для діапазону твердості від 3,6 до 4,5 ГПа, і 4,2 мг/ГПа для діапазону твердості від 4,5 до 5,5 ГПа. Таким чином, градієнт зносу по твердості для плазмових покриттів із структурою, сформованою на макрорівні, на відміну від покриттів першої групи, на порядок вище, але так само простежується зниження градієнту зносу зі збільшенням твердості.

III група (рис. 3). Третю групу покриттів складали сформовані на макрорівні молібденові покриття, напилені

плазмовим методом із порошку молибдену та суміші порошоків молибдену та СНГН для збільшення твердості.

Порошок СНГН являє собою частки сплаву нікелю, хрому, бору і кремнію, що забезпечують після розплавлення у плазмовій дузі формування в покритті твердих фаз боридів та силіцидів хрому і нікелю, розчинених у м'якій металевій хромонікелевій матриці. За структурою, густиною, поруватістю і мастилоємністю ця група покриттів відповідає другій групі і введена в коло досліджень для збільшення діапазону твердості.

Це покриття з порошку молибдена з мікротвердістю 4,5 ГПа, покриття із суміші порошоків молибдена і 18% СНГН із мікротвердістю 6,1 ГПа і покриття із суміші порошоків молибдена і 50% СНГН із мікротвердістю 6,7 ГПа. Результати досліджень покриттів цієї групи приведені на рис. 3.

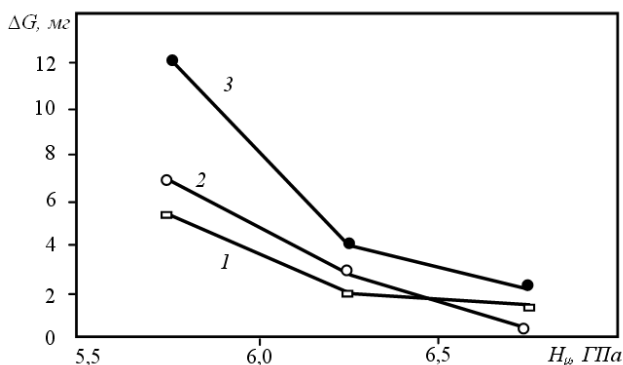


Рис. 3. Залежність зносу плазмових металевих покриттів групи III на основі молибдену від мікротвердості: 1 – $P = 1,75$ МПа, $V = 2,13$ м/с; 2 – $P = 1,75$ МПа, $V = 1,3$ м/с; 3 – $P = 1,75$ МПа, $V = 4,16$ м/с

Середній градієнт зносу з твердості в цій групі покриттів складає 3,2 мг/ГПа для діапазону твердості від 4,5 до 6,1 ГПа, і 2,7 мг/ГПа для діапазону твердості від 6,1 до 6,7 ГПа, тобто, ці покриття поведуться аналогічно покриттям другої групи, але збільшення твердості дозволяє досягти вищої, у порівнянні з другою групою, зносостійкості.

IV група (рис. 4). Четверту групу склали плазмово - напилени молибденові покриття такої самої шаруватої структури, сформованої на макрорівні, але для збільшення твердості їх

напилювали із суміші порошоків з твердою неметалевою фазою – порошком оксиду алюмінію.

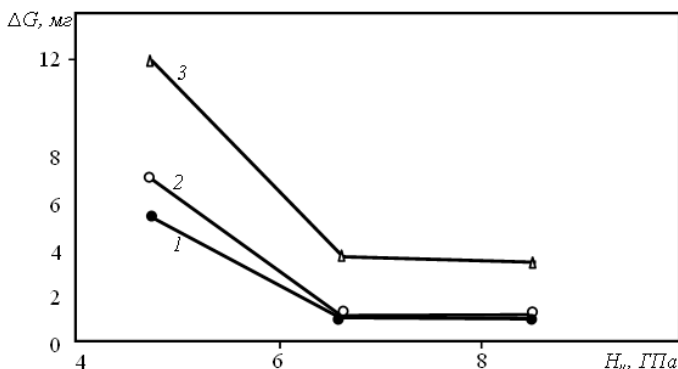


Рис. 4. Залежність зносу плазмових металооксидних покриттів групи IV на основі молібдену від мікротвердості: 1 – $P = 1,75$ МПа, $V = 2,13$ м/с; 2 – $P = 1,75$ МПа, $V = 1,3$ м/с; 3 – $P = 1,75$ МПа, $V = 4,16$ м/с

При формуванні покриття реакції між фазами і взаємного розчиненням між металевою і неметалевою фазами не спостерігалось, тобто, покриття можна характеризувати як двофазну механічну суміш. В цьому скаладається основна відмінність четвертої групи від третьої і дало можливість збільшити діапазон твердості до 8,3 ГПа, тобто, наблизитись до твердих електролітичних хромових покриттів першої групи за твердістю при структурі, що принципово відрізняється.

Це напилені плазмовим методом покриття з порошку молібдена твердістю 4,5 ГПа, покриття з механічної суміші порошоків молібдена і 10% оксиду алюмінію твердістю 6,8 ГПа і покриття із суміші порошоків молібдену і 30% оксиду алюмінію твердістю 8,3 ГПа. Покриття із сумішей цих порошоків відрізняються від металевих покриттів другої і третьої груп більшою поруватістю (14%) і меншою густиною. Результати досліджень покриттів цієї групи приведені на рис. 4.

Середній градієнт зносу за твердістю у цій групі покриттів складає 2,6 мг/ГПа для діапазону твердості від 4,5 до 6,8 ГПа, і 0,06 мг/ГПа для діапазону твердості від 6,8 до 8,3 ГПа. Знос покриттів із механічної суміші порошоків металів і твердих оксидів для твердості 6,8 ГПа показує навіть менші значення, ніж у покриттів першої групи,

що може бути пояснено розподілом функцій фаз: тверда оксидна фаза забезпечує зносостійкість, м'яка металева фаза забезпечує закріплення часток твердої фази, а поруватість забезпечує мастилоємність системи. Проте, подальше збільшення твердості двофазних металооксидних покриттів не призводить до зменшення зносу (градієнт зносу наближається до нуля). Очевидно, зменшення кількості металевої фази знижує силу закріплення часток твердої фази, перешкоджаючи збільшенню зносостійкості.

Таким чином, проведені дослідження підтвердили для покриттів структурно-енергетичну модель зношування – зносостійкість покриттів при однаковому виді зносу залежить не тільки від твердості матеріалу, але й від структури покриття. Тільки для покриттів одного типу структури спостерігається кореляція між величиною зносу і твердістю покриттів. Зносостійкість покриттів підвищується зі збільшенням їхньої твердості, але ця залежність не є пропорційною. Градієнт зносостійкості за твердістю при однім виді зносу розрізнений для різних металів покриття. Покриття поруватої структури, напилени плазмовим методом, дозволяють досягти навіть більшої зносостійкості, чим у покриттів суцільної структури, але твердість термічно напилених металів невисока.

Збільшення твердості покриття можна домогтися формуванням у покритті твердих фаз оксидів, але для значного збільшення зносостійкості ці фази повинні бути надійно закріплені в металевій матриці покриття.

Список літератури

1. *Соколов О.Д.* Оцінка зносостійкості та надійності хромових покриттів для розробки технології їх нанесення на деталі вузла тертя / *О.Д.Соколов // Проблеми трибології (Problems of Tribology).* – 2003. – №2. – С. 130–135.

2. *Соколов О.Д.* Властивості і застосування хромових покриттів, отриманих різними методами / *О.Д.Соколов, О.В.Маннапова, А.І.Костржицький // Проблеми техніки.* – 2005. – № 3. – С. 110–128.

3. *Соколов О.Д.* Вплив твердості покриттів на їх зносостійкість / *О.Д.Соколов, І.І.Шофул, О.В.Маннапова // Проблеми техніки. науко-вироб. жур.* – 2005. – № 3. – С. 104–109.

4. *Соколов О.Д.* Особливості зношування хромових покриттів поршневих кілець у термонапружених двигунах / *О.Д.Соколов, О.В.Маннапова //*

Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2008. – Вип. 49, Т.1. – С. 248–257.

5. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника/ Д.Н.Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.

6. *Киндрачук М.В.*, Трибологические процессы в гетерогенных системах/ М.В.Киндрачук, Э.А. Кульгавый // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2007. – Вип. 48. – С. 39–53.

7. *Гершман И. С.* Самоорганизация вторичных структур при трении / И.С. Гершман, Н.А. Буше, А.Е. Миронов, В.А. Никифоров // Трение и износ. – 2003. – Том 24, № 3. – С. 329–334.

8. *Погодаев Л.И.* Повышение надежности трибосопряжений / Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин, П.П. Дудко. – Санкт–Петербург: Академия транспорта РФ. – 2001. – 304 с.

***Маннапова О. В., Соколов А.Д.* Влияние структуры и твёрдости на износ покрытий // Проблемы тертя та зношування: наук. техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 56. – С.182–189.**

На машине трения в диапазонах скоростей от 0,47 до 4,16 м/сек и нагрузок от 0,5 до 4,5 МПа выполнены исследования износа ряда покрытий цельной и гетерогенной структуры для определения влияния структуры и твердости на износостойкость. Определен градиент износа покрытий по их микротвердости в диапазоне от 3 до 19,5 ГПа. Показано, что корреляция между износом и твердостью соблюдается только для покрытий с одинаковым типом структуры внутри своих групп и величина градиента износа у различных структурных групп разная, что подтверждает структурно-энергетическую модель износа гетерогенных покрытий.

Рис. 4, список лит.: 8 наим

***Mannapova O.V., Sokolov A.D.* Influence of structure and hardness on the wear of coating**

Wear on the machine of friction in the ranges of speeds from 0.47 to 16 m/s and loads from 0,5 to 4,5 MPa research wear a series of coatings and solid heterogeneous structure to determine the influence of structure and hardness on wearability. Defined gradient coating wear on their mikrohardness in the range from 3 up to 19,5 HPa. Shows that the correlation between the wear and tear and the hardness is only for coatings with the same type of structure inside their groups and the magnitude of the gradient wear in various structural groups varies, confirming the structurally-energy model of wear of heterogeneous coatings.

Стаття надійшла до редакції 24.10.2011