

**УДК 621.891**

**Олег Маковкін. к.т.н., доц.; Ігор Вальчук**

Хмельницький національний університет, Україна

## **АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ ТОВЩИНИ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОШЕННЯ ДЕТАЛЕЙ**

Анотація. У ході наших досліджень в області автомобільної техніки було виявлено систематичні закономірності та особливості зношування конструкційних матеріалів, зі зносостійкими покриттями, які були нанесені за різними технологіями, у залежності від зміни режимів тертя. Наші дослідження привели до виявлення фізичних параметрів трибологічних властивостей та їх зміни в процесі тертя.

Ключові слова: знос, зносостійкі покриття, автоматичне вимірювання, товщина покриттів, хімічний склад.

**Oleg Makovkin, Ph.D., Assoc. Prof., Igor Valchuk**

## **AUTOMATED CONTROL OF COATING THICKNESS TO PREDICT WEAR OF PARTS**

Abstract. In the course of our research in the field of automotive technology, systematic patterns and features of wear of structural materials with wear-resistant coatings that were applied using different technologies, depending on the change in friction modes, were revealed. Our research led to the identification of physical parameters of tribological properties and their changes in the friction process.

Keywords: wear, wear-resistant coatings, automatic measurement, coating thickness, chemical composition.

За останні десятиліття зносостійкі покриття широко використовуються в різних галузях, виконуючи різноманітні функції в умовах від хімічного складу до методів нанесення. Це важливо, оскільки розробка таких покриттів є еквівалентною створенню нового матеріалу з унікальними властивостями.

Під час розробки нових покриттів важливе лабораторне дослідження зносостійкості, яке дозволяє прогнозувати тривалість роботи трибопари з покриттям. Формування вторинних структур під впливом умов і режимів тертя є ключовим завданням, оскільки це визначає товщину покриття.

Недостатня або занадто велика товщина покриття може суттєво впливати на результат: відмінність у показниках адгезії та недостатній трибологічний ефект від першого випадку, або ризик розриву через внутрішні напруження від другого випадку. Тобто, товщина покриття грає вирішальну роль у досягненні бажаних показників зносостійкості.

Встановлення характеру та динаміки процесу зношування покриття з плином часу є важливим аспектом. Зношуючи необхідну та достатню товщину покриття дозволяє ефективно впливати на результати експлуатації, а виявлення оптимальних значень гарантує максимальні показники зносостійкості. Способи визначення зносостійкості покриттів, спрямовані на встановлення трибологічних характеристик, відіграють ключову роль у цьому процесі.

Під час обробки зразка може відбутися зміна внутрішньої структури на його поверхні або в певних частинах через неконтрольовані високі тиски та температури. Такі впливи можуть обмежувати результати досліджень і використовувати їх лише для порівняльного аналізу. У автомобільній сфері ці фактори можуть спричинити значні похибки у висновках щодо матеріалів та покриттів. Використання стандартних методик

дозволяє встановити трибологічні властивості як покриття, так і базового матеріалу, але це може призводити до отримання середніх значень, оскільки розмежування зношування бази та покриття може бути складним.

В автомобільній галузі існують трибологічні пари, такі як покриття - основа або покриття - покриття (у випадку багат шарових покриттів), які демонструють високу стійкість до зношування, незважаючи на невелику товщину (декілька мікрометрів). Дослідження показують, що зі збільшенням товщини покриттів навіть невеликий знос може стати більш інтенсивним [1-5]. Це підтверджує, що для оцінки трибологічних характеристик покриттів слід використовувати саме трибологічні методи, а не будь-які інші підходи.

Один із способів захисту вузла тертя від зношування в автомобільній сфері полягає у використанні зносостійких покриттів за допомогою різноманітних технологічних методів. Нанесення композитних та багат шарових покриттів виконується різними способами, такими як спікання порошків, наплавлення, гальванічні методи та інші.

#### **Мета і постановка задачі**

Метою цього дослідження є відстеження процесу зменшення товщини покриття під впливом зношування та аналіз зміни трибологічних показників під час експлуатації, зосереджуючись на контексті автомобільної техніки.

#### **Виклад матеріалів досліджень**

Дослідження проводились на сталі ХВГ (хімічний склад представлено в табл. 1) за допомогою модернізованої трибомашини УМТ 2168 [7], спеціально адаптованою для автомобільної тематики. Це дозволило автоматично фіксувати та записувати трибологічні показники, такі як лінійне зношування, момент тертя та середня температура в зоні тертя з частотою 0,5 секунди, без необхідності знімати зразок з установки. Отримані дані оброблялися на комп'ютері для подальшого аналізу результатів.

Таблиця 1 Хімічний склад досліджуваних сталей

Марка Сталі	Хімічний склад, % (ваговий)									
	C	Si	Cu	Mn	Ni	P	Cr	S	W	Mo
ХВГ	0,90	0,10	<0,3	0,80	<0,3	<0,0	0,90	<0,0	1,20	<0,3
	-	-	0	-	5	3	-	30	-	0
	1,05	0,40		1,10			1,20		1,60	

Сталь була піддана термічній обробці, в результаті чого твердість за шкалою Роквелла становила HRC 55. Після цього зразки були піддані шліфуванню для видалення обезвуглецьованого шару, досягаючи шорсткості Ra від 0,8 до 1,6.

Дослідження проводились за схемою сухого тертя диск-палець з сферичною поверхнею (див. рис. 1), що має переваги для автомобільної тематики: відсутність необхідності в припрацюванні, відсутність перекосів та похибок базування, можливість досягання високих питомих тисків в зоні контакту.

Основна мета досягається завдяки обраній сферичній робочій поверхні зразка, яка не потребує додаткового припрацювання. Фіксація зношування здійснюється за допомогою датчика лінійного переміщення, що дозволяє визначити границю зношування покриття та основи без переривання процесу тертя.

Вимоги до робочій поверхні зразка включають 100% прилягання до контртіла та негайне припрацювання, що досягається за допомогою використання сферичної поверхні тертя (див. рис. 1).

Проведені ряд експериментів дозволили виявити кілька ключових областей зношування на зразках з покриттями, які можна умовно позначити на рис. 1: а) точка контакту зразка з контртілом на етапі початкового тертя, відзначена як переріз I-I та точка А (в даному моменті відбуваються максимальні питомі тиски), що забезпечує негайне припрацювання та 100% подальше прилягання контактуючих поверхонь; б) область зношування безпосередньо покриття, відзначена як переріз II-II та площина В; в) перехідна зона загального зношування матриці та покриття, відзначена як переріз III-III, зношування покриття (площина С) та основи (площина D).

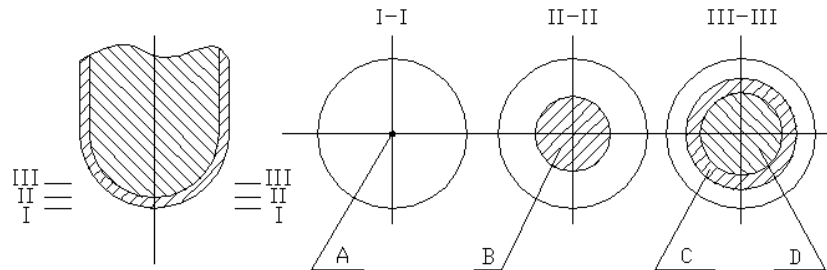


Рис. 1. Стадії зношування зразка з покриттям

Для оцінки стійкості до зношування використовували зразки з термічно зміцненої сталі ХВГ (HRC 55). Контртіло виконане з високовуглецевої термічно зміцненої сталі У10А HRC 62. Випробування проводились за схемою тертя "диск - палець" зі сферичною формою контакту (див. рис. 1). Покриття AlN-ZrB<sub>2</sub> було нанесено на зразок методом електроіскрового легування з товщиною приблизно 0,1 мм. Режим випробування включав початковий питомий тиск 1300 МПа та швидкість ковзання 0,67 м/с. Ці експерименти важливі для автомобільної галузі, оскільки дозволяють визначити ефективність матеріалів у вузлах тертя та забезпечити оптимальні характеристики для автомобільних деталей.

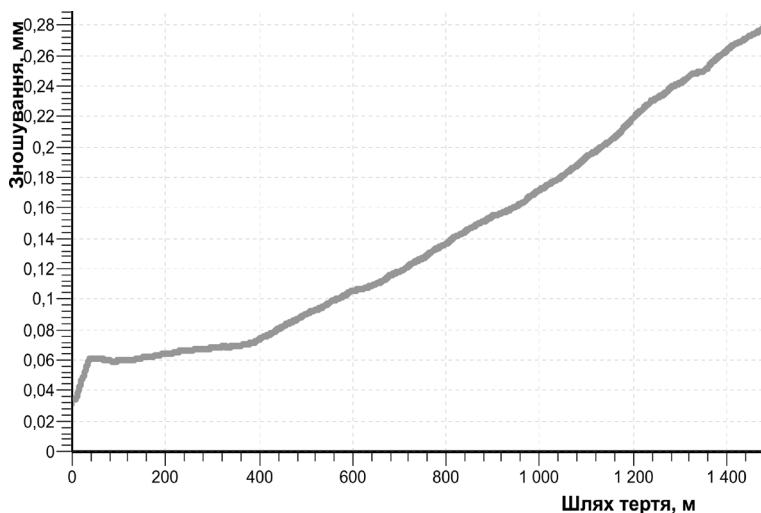


Рис. 2 Зміна величини лінійного зношування від шляху тертя

Як ілюстровано на рисунках 2–4, представлені дані, отримані під час тертя. На рисунку 2 зображено лінійне зношування покриття та основи, що можна розчленувати на три етапи: 1) 0 ... 30 м, 2) 30 ... 400 м, 3) 400 ... ∞. З відомостей про витрати матеріалу при нанесенні покриття відомо, що товщина покриття становить приблизно 0,1 мм. Перегин кривої при досягненні шляху тертя 400 м відповідає зношуванню величиною  $h = 0,08$  мм (рисунку 2), після чого інтенсивність зношування збільшилась. Тобто

фактична товщина покриття становить 0,08 мм. Також проведено визначення трибологічних властивостей цього покриття та особливостей його трибологічної поведінки під час тертя та зношування.

Окрім зазначених трибологічних характеристик, технічні можливості обладнання дозволяють встановлювати процес зміни коефіцієнта тертя, середньої температури у зоні тертя та інтенсивності зношування. Загальновідомо, що коефіцієнт тертя для певної трибопари при незмінних умовах тертя є сталим. На рисунку 3 видно, що коефіцієнт тертя зазнає змін. Ця зміна пов'язана із зношуванням покриття на відстані 250 м шляху тертя, від 250 до 400 м — зношуванням, частковим контактом мікровиступів основи (шорсткість). Кількість мікровиступів від 250 до 400 м поступово збільшувалась, а отже, частка площі контакту покриття зменшувалась, що призводило до зміни коефіцієнта тертя та температури (рисунок 3, 4).

Є випадки, коли точно визначити межу між основою та покриттям стає викликом, і тому необхідно розглядати комплекс трибологічних характеристик, таких як коефіцієнт тертя, температура в області тертя та інтенсивність зношування. Для отримання більш точних даних щодо товщини покриття, особливо у випадку дифузійних покриттів, виникає важкість через плавний перехід від більш насиченого шару до менш насиченого.

Визначення товщини такого шару виявляється непростим завданням, оскільки існує гладкий перехід від твердої поверхні до менш твердої основи. Зміна твердості визначається за допомогою твердоміра на розрізаному та спеціально підготовленому зразку. Ця методика виявляється досить трудомісткою, особливо важко розрізати зразок та підготувати його, вимагаючи спеціального обладнання та високої кваліфікації лаборанта.

З рисунків 3 і 4 видно, що відносна стабільність трибологічних параметрів відбувається приблизно після 500 метрів (усереднена штрихована крива), що пояснюється інертністю температурних показників та залишків продуктів тертя. Це має важливе значення для автомобільної галузі, оскільки дозволяє визначити ефективність матеріалів у вузлах тертя та забезпечити оптимальні характеристики для автомобільних деталей.

### **Перелік посилань**

1. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. - М.: Машиностроение, 1986. - 192 с.
2. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. -М.: Машиностроение, 1993. -336с.
3. Верещака А.С. Основные аспекты применения и совершенствования режущих инструментов с износостойкими покрытиями // СТИН 2000. -№9. С.33-40
4. Солдатенков И. А.//Трение и износ. 1985. Т. 6, № 2. С. 247—254.
5. Солдатенков И. А.//Трение и износ. 1986. Т. 7, № 3. С. 452—459.
7. Я.М. Гладкий, А.А. Таранчук, О.М. Маковкін, О.А. Лаба. Автоматизація досліджень процесу тертя та зношування // Вісник Хмельницького національного університету, 2005. -№1. -12-16с