

**Гладкий Я.М.,
Маковкін О.М.**

Хмельницький національний університет,
г. Хмельницький, Україна

ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИМИ ПОКРИТТЯМИ

Проблема створення матеріалу з "ідеальними властивостями" вирішується на основі розробки композиційних матеріалів, у яких високі значення поверхневої твердості, теплостійкості і фізико-хімічної інертності, поєднуються б з достатніми значеннями міцності, в'язкості і границі витривалості і повинні відповідати оптимальним поєднанням "крихкої" і "пластичної" міцності.

Одним з найбільш ефективних засобів забезпечення оптимального поєднання "твердість-пластичність" є застосування різних технологій поверхневої модифікації їх властивостей, серед яких найбільше використовуються технології нанесення зносостійких покриттів.

Сучасні технології дозволяють отримати покриття комбінованого складу, багат шарові тощо, що дозволяє створювати абсолютно нові матеріали, з індивідуальними фізико-механічними, хімічними та трибологічними властивостями, утворюючи на поверхнях тертя сукупність складних вторинних структур, що мають значний вплив на процес зношування. Ці процеси та властивості досліджені мало, тому даний напрямок є актуальним і тому дана робота направлена на дослідження трибологічних характеристик інструментальних матеріалів зі зносостійкими покриттями в жорстких умовах випробувань – наближених до реальних умов експлуатації.

Методика досліджень

Для досліджень обрано інструментальні матеріали: високовуглецеву У8А, хромованадієву сталь ХВГ, швидкорізальну сталь Р6М5, твердий сплав ВК-3 та кремнієву пружинну сталь 60С2.

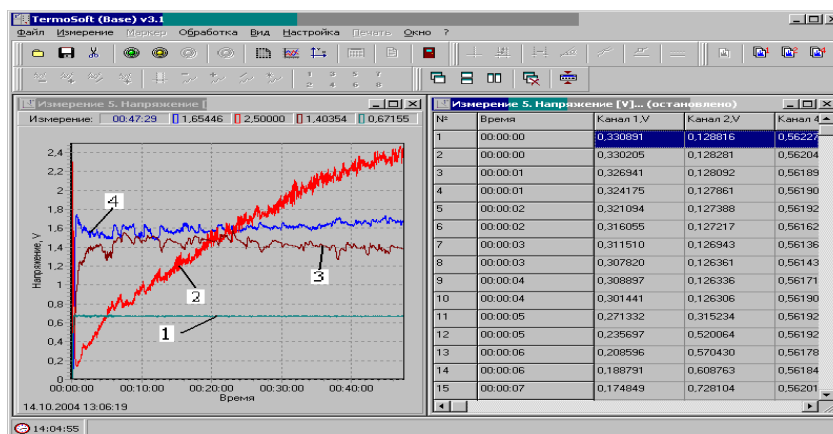
Зносостійкі покриття наносились: хімічним та електролітичним осадженням хрому та нікелю; комбіновані електролітичні покриття на основі нікелю (нікелево-мідне, нікелево-корундне, нікель-нітридборидне покриття); покриття нанесені методом: електроіскрового легування (ЕІЛ) TiCrC-(FeCrAl), TiCrC-(FeCr), AlN-ZrB₂, TiCrB₂-(FeCr), ВК-3, TiCrB₂-30(Fe-15Cr); плазмового напилювання (ПН) TiCrC-(FeCr), та їх комбінуванням.

Трибологічні дослідження проводились в умовах сухого тертя на універсальній машині УМТ 2168 за схемою диск-напівсферичний палець, що забезпечує: досягнення високих питомих тисків наближених до реальних напруг на робочих поверхнях інструментів; раптове припрацювання; контроль величини зносу покриття з точністю 0,001мм [1, 2].

Фіксація лінійного розміру зразка відбувається безперервно з допомогою розробленого емнісного диференціального датчика, який вимірює лінійне переміщення рухомого диску відносно контртіла включеного в коливальну систему двочастотного автогенератора і оптимізовано за динамікою перехідних процесів.

Дискретність вимірювання досліджуваних параметрів задається за допомогою програми та дозволяє вибрати необхідні налаштування з будь-якою частотою від 0,5 с.

Програмне забезпечення (ПЗ) системи АТД створює зручний інтерфейс користувача, забезпечуючи відображення отриманої інформації у реальному часі з довільною комбінацією каналів (від 1 до 8) вимірювання (рис. 1). По закінченні експерименту формується база даних для їх подальшої обробки у вигляді файлу за допомогою ПЗ рис. 1 (праворуч).



**Рис. 1 – Інтерфейс програмного забезпечення АТД:
1 – частота обертання шпинделя; 2 – лінійне зношування зразка;**

3 – середня температура біля зони тертя; 4 – момент тертя

Використання безперервного методу збирання і оброблення інформації про тертя та зношування досліджуваних матеріалів підвищує точність експериментальних досліджень на 30 %.

Результати досліджень параметрів тертя та зношування найбільш поширених інструментальних матеріалів (вуглецеві сталі У8А, леговані 60С2 ($T_{вил}$ – 200, 300, 400 °С) і ХВГ, швидкорізальна сталь Р6М5 та твердий сплав ВК3), що відрізняються між собою за фізико-механічними характеристиками, хімічним складом та температурою красно стійкості представлені на рис. 2 - 4. Вони служать для порівняльної оцінки зносостійкості матеріалів з покриттями та без них в залежності від питомого тиску та швидкості ковзання (табл. 1).

Таблиця 1

Режими випробовувань

№ режиму тертя	Початкове контактне напруження, МПа	Нормальне зусилля притискання, Н	Швидкість ковзання, м/с	$P \cdot V$ (Н·м/с)
1	2000	60	1,33	80
2	1300	20	1,33	27
3	2000	60 </td <td>0,67</td> <td>40</td>	0,67	40
4	1300	20	0,67	13

На кривих зношування (рис. 4, 5) спостерігаються дві чітко виражені зони тертя – припрацювання та нормального зношування. Припрацювання відбувається раптово і займає відносно невеликий проміжок часу в залежності від технологічної підготовки пар тертя, властивостей матеріалу, середовища та режимів тертя і представляє зміну напрямку та величини шорсткості робочої величини, яка для кожного режиму та матеріалу є індивідуальною і, яке цілком уникнути неможливо так, як початкові параметри (коефіцієнт тертя, середня температура у зоні тертя) відрізняються від наступних. При цьому відзначаємо відсутність припрацювання як довготривалої спеціальної операції, що використовувалась у стандартних методиках.

Зона припрацювання поверхонь в залежності від режиму тертя складає від 10 до 80 м шляху тертя. Її ознаками є раптове збільшення температури (рис. 2, в), коефіцієнту тертя (рис. 2, б), стрімкий спад напруження та інтенсивності зношування [3, 4].

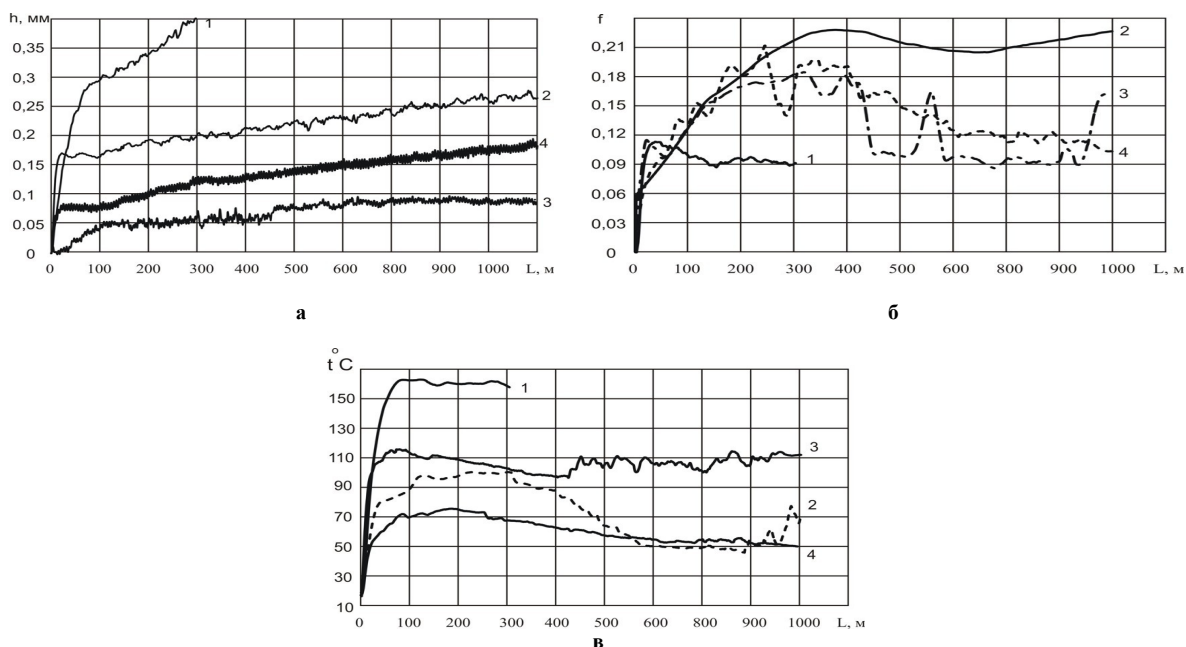


Рис. 2 – Зміна трибологічних параметрів інструментальної сталі У8А:

а – лінійного зношування (h); б – коефіцієнта тертя (f);в – температури в зоні тертя (t) від пройденого шляху (L) і режимів випробування(1 – $\sigma = 2000$ МПа, $V = 1,33$ м/с; 2 – $\sigma = 1300$ МПа, $V = 1,33$ м/с; 3 – $\sigma = 2000$ МПа, $V = 0,67$ м/с; 4 – $\sigma = 1300$ МПа, $V = 0,67$ м/с)

Оцінку зносостійкості матеріалів проведено шляхом порівняння зміни величини лінійного зношування (h) від швидкісно-силових характеристик тертя (ШСХТ) – $P \cdot V$ (Н·м/с) на окремих ділянках випробувань (рис. 4).

На початковій стадії для всіх режимів випробувань до 100 м пройденого шляху (рис. 4, а) найбільшою зносостійкістю відзначається твердий сплав ВК3 (інтенсивність зносу $I_z = 5 \cdot 10^{-13}$) на 2, 3, 4 режимах випробування, і в порядку зменшення зносостійкості розміщуються сталь Р6М5 ($I_z = 6 \cdot 10^{-11}$), У8А ($I_z = 7 \cdot 10^{-11}$), 60С2 ($I_z = 2 \cdot 10^{-9}$).

При випробуваннях сталі ХВГ на 2, 3, 4 режимах на початковій стадії виявили збільшення лінійних розмірів (рис. 3 та крива 3 на рис. 4), що є характерним для схоплювання і наростоутворення. Максимальний розмір наросту складав 10 ... 50 мкм. Процес зношування відбувається шляхом збільшення розмірів наросту до критичного і періодичного його сколювання, що чітко відслідковується на графіках «величина лінійного зношування (рис. 2), температура в зоні контакту, коефіцієнт тертя – пройдений шлях» з дискретністю вимірів цих параметрів через 0,5 с, що свідчить про вплив хімічного складу сталі, швидкості випробувань і величини контактної напруженості на процеси схоплювання і наростоутворення.

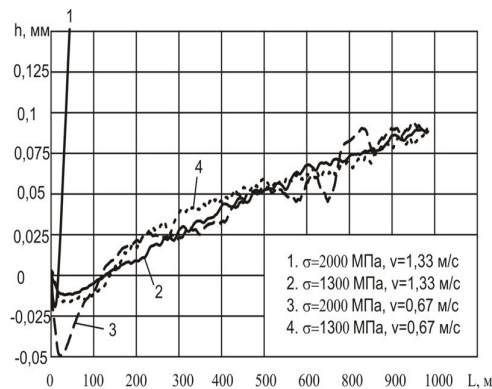
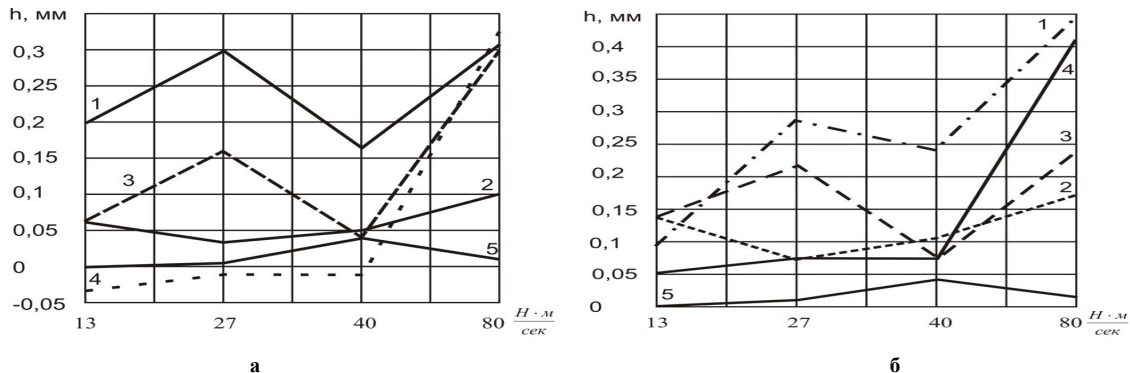


Рис. 3 – Залежність лінійного зношування (h) сталі ХВГ від шляху (L) і режимів тертя:

1 – $\sigma = 2000$ МПа, $V = 1,33$ м/с; 2 – $\sigma = 1300$ МПа, $V = 1,33$ м/с;

3 – $\sigma = 2000$ МПа, $V = 0,67$ м/с; 4 – $\sigma = 1300$ МПа, $V = 0,67$ м/с

На 1-му режимі випробування сталі ХВГ таке явище не спостерігали, а після 100 м пройденого шляху на 2, 3, 4 режимах воно більше не повторювалося (рис. 4, б, крива 4), що можна пояснити зменшенням питомого тиску і утворенням вторинних структур при незмінності інших параметрів тертя.



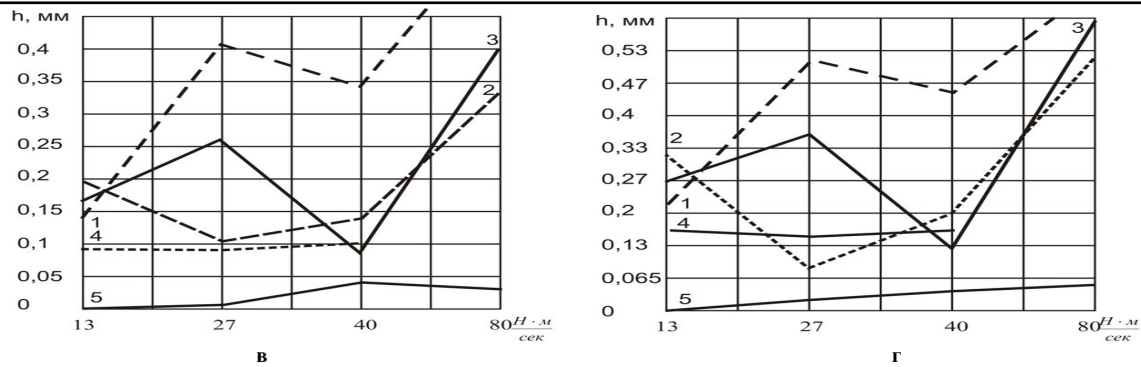


Рис. 4 – Зміна величини лінійного зношування інструментальних матеріалів (1 – сталь 60C2; 2 – P6M5; 3 – сталь У8А; 4 – ХВГ; 5 – ВК3) від ШСХТ (P-V) при заданій величині пройденого шляху (а – 100 м; б – 500 м; в – 1000 м; г – 2000 м)

Встановлено, що оптимальними з точки зору експлуатаційних режимів на цій ділянці є для сталей 60C2, ХВГ, У8А 3-й, а для сталі P6M5 2-й режими випробування і ця тенденція зберігається на наступних ділянках (рис. 4, а).

Після 2000 м пройденого шляху тертя (рис. 4, г) найкращі показники зносостійкості на всіх режимах випробувань мають твердий сплав ВК3 (рис. 4, г, крива 5) – інтенсивність зношування навіть на самому жорсткому режимі (1-му) $I_3 = 2,5 \cdot 10^{-11}$; P6M5 на 2-му режимі (крива 2, $I_3 = 4,25 \cdot 10^{-11}$); У8А на 3-му режимі (крива 3, $I_3 = 6,5 \cdot 10^{-11}$); ХВГ на 1-му режимі (крива 4, $I_3 = 7,5 \cdot 10^{-11}$) і 60C2 на 1-му режимі (крива 1, $I_3 = 11 \cdot 10^{-11}$).

Обговорення результатів досліджень

Похибки, що виникають при вимірюванні величин зносу ваговим і лінійним методами з зупинками процесу тертя свідчать, що ці методи вимірювання не можуть бути використані при дослідженні закономірностей тертя та зношування зразків з покриттями. Крім того коли товщина покриття коливається в межах від нанометрів до декількох міліметрів, це накладає певні труднощі у визначенні їх фізичних властивостей і певні вимоги до методики дослідження триботехнічних характеристик матеріалів у різних середовищах та схемах тертя.

Аналіз недоліків існуючих методів трибологічних досліджень показав, що зупинки процесу тертя (технологічні зупинки) для вимірювання і фіксування трибологічних параметрів спотворюють результати досліджень. Виникають додаткові проблеми пов'язані з розмежуванням роботи безпосередньо самого покриття і перехідної зони між покриттям та основою. Кожне знімання та встановлення зразка на машину тертя пов'язане з похибкою базування, має свій період припрацювання, період нормального дослідження і на деяких ділянках критичний знос (рис. 5), що також вносить свої похибки у результати експерименту.

Тому для отримання достовірних даних необхідно позбутись похибок, які виникають при зупинці та запуску обладнання, що досягається шляхом модернізації лабораторного обладнання та автоматичного фіксування досліджуваних параметрів без зупинки процесу тертя і полягає у розробці та запровадженні засобів автоматизації трибологічних досліджень (АТД) існуючого контрольно – реєструючого пристрою.

Створення нових матеріалів з високим рівнем фізико-механічних і експлуатаційних властивостей шляхом використання композиційних матеріалів (КМ) на основі тугоплавких сполук дозволяє значно підвищити ефективність роботи техніки, забезпечуючи високу твердість, міцність, зносо- і корозійну стійкість. Перспективними є матеріали на основі карбіду і дибориду титану-хрому. Але поряд з високими фізико механічними характеристиками ці матеріали мають високу крихкість, а тому їх ефективне використання можливе в комплексі з металевими зв'язками.

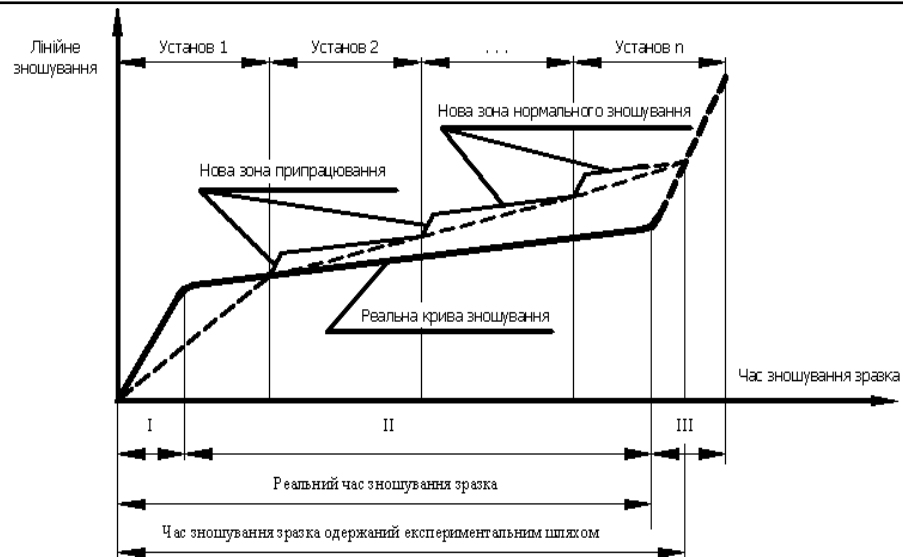


Рис. 5 – Схема зношування

В якості металевих зв'язок використовують сплави на основі заліза, оскільки вони мають невисоку вартість, дозволяють більш ефективно використовувати матеріали на основі тугоплавких сполук для нанесення газотермічних та електроіскрових покриттів на сталі деталі. Використання матеріалів даного класу у вигляді покриттів забезпечує значну економію дорогих матеріалів і при цьому ефективно захищає робочі поверхні деталей від зношування.

Основними проблемами, які знижують ефективність застосування матеріалів на основі тугоплавких сполук для нанесення газотермічних покриттів, є протікання дифузійних процесів між компонентами матеріалу покриття і основи, і як наслідок, низька адгезійна міцність, висока крихкість.

Порівняльну оцінку трибо технічних характеристик інструментальної сталі ХВГ з зносостійкими покриттями представлено у вигляді таблиці (табл. 2), з якої видно, що її триботехнічні параметри залежать від швидкісно- силових параметрів випробування (добутку зусилля притискання зразка до контртіла (P) на величину лінійної швидкості ковзання (V)). Крім того, величина лінійного зношування і відповідно швидкість зношування залежить від довжини пройденого шляху.

Зносостійкість сталі ХВГ з композиційним покриттям TiCrC-(FeCr), нанесеним методом ЕІЛ, є вищою у порівнянні із плазмовим + ЕІЛ на 2, 3, 4 режимах тертя, що зумовлено кращою адгезією покриття з матрицею. Причому значення коефіцієнтів тертя для обох випадків майже однакові і знаходяться в межах 0,1 ... 0,16.

Особливістю зношування покриттів із композиційних матеріалів на основі TiCrC і TiCrB₂ нанесених методами ПН та ЕІЛ є утворення вторинних структур, тонкодисперсних оксидних плівок титану, хрому, алюмінію і виконують роль твердої змазки, товщина і щільність яких залежить від навантаження і швидкості тертя і від яких в сою чергу залежать температура, а, відповідно, і інтенсивність окислення та швидкість зношування.

Таблиця 2

**Зміна величини лінійного зношування
матеріалів з покриттями від режимів випробування**

Покриття	Режим	Матеріал							
		P6M5		У8А		ХВГ			
		Шлях тертя, L м							
	100	2000	100	2000	100	500	1000	2000	
Cr електролітичний	I	0,09	0,16	0,01	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03	-0,02
	II	0,01	0,06	0,01	0,04	0	0	0	0
	III	0	0,06	-0,06	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,02
	IV	0,01	0,06	-0,09	-0,07	0,04	0,06	0,07	0,09

ЯНГ (хром хімічний)	I	0,03	0,17	0,2	0,5	0,1	0,25	0,4	0,5
	II	0,01	0,09	0,09	0,33	0,03	0,09	0,17	0,3
	III	0,02	0,1	0,07	0,35	0,13	0,19	0,25	0,4
	IV	0,05	0,15	0,04	0,23	0,01	0,07	0,11	0,2
Ni	I	0,01	0,08	0,07	0,5	0,15	0,3	0,35	0,45
	II	0,02	0,06	0,07	0,24	0,18	0,33	0,4	0,5
	III	-0,01	0,09	0,1	0,2	0,04	0,07	0,12	0,2
	IV	0,01	0,08	0,06	0,2	0,03	0,05	0,12	0,2
Ni-Cu	I	-0,1	0,1	0,01	-	0,09	0,2	0,35	-
	II	0,03	0,1	0,17	0,4	0,05	0,08	0,14	0,2
	III	0,02	0,1	0,06	0,35	0,09	0,13	0,18	0,33
	IV	0,01	0,2	0	-	0,07	0,09	0,14	0,25
Ni-Al ₂ O ₃	I	0,04	0,2	0,2	-	0,25	0,15	0,4	-
	II	0,04	0,1	0,05	0,19	0,02	0,15	0,28	0,4
	III	-0,1	0,1	0,04	0,22	0,01	0,02	0,03	0,05
	IV	0,04	-	0,06	0,25	0,05	0,1	0,17	0,27
(EIL) TiCrC- (FeCrAl),	I	-	-	-	-	0,03	0,08	0,15	0,25
	II	-	-	-	-	0,05	0,06	0,07	0,08
	III	-	-	-	-	0,06	0,07	0,08	0,13
	IV	-	-	-	-	0,13	0,2	0,25	0,3
(EIL) TiCrB ₂ - (FeCr),	I	-	-	-	-	0,08	0,16	0,25	0,35
	II	-	-	-	-	0,08	0,11	0,14	0,23
	III	-	-	-	-	-0,02	-0,06	-0,01	0,03
	IV	-	-	-	-	0,02	0,06	0,13	0,18

В табл. 2 представлені характеристики зношування сталі ХВГ з вищенаведеними покриттями, які свідчать, що зносостійкість сталі ХВГ з покриттям TiCrC-(FeCr) нанесеним методом EIL є вищою у порівнянні із ПЛ + EIL. Значні відмінності у зносостійкості спостерігаються на 2 - 4 режимах тертя, а величина та тенденції зношування на 1 режимі майже не відрізняються. Найменше зношування відзначено для цих покриттів на 2 та 3 режимах тертя. Коефіцієнти тертя знаходяться в межах 0,1 ... 0,16 для TiCrC-(FeCr) нанесеним методом EIL, та 0,12 ... 0,16 для TiCrC-(FeCr) нанесеним методом ПЛ + EIL [5, 6].

Зносостійкість покриття нанесеного методом ПЛ з попередньою піскоструменевою обробкою (ПО) у 1,5 ... 2 рази менша, ніж методом EIL, а оптимальними режимами тертя є 1 та 3. Коефіцієнт тертя із покриттям TiCrC-(FeCr) нанесеного методом (ПО + ПЛ) знаходяться в межах 0,1 ... 0,17.

Додаткове легування TiCrC-(FeCr) алюмінієм створило TiCrC-(FeCrAl) покриття, що утворює на доріжках тертя тверді та зносостійкі карбіди (AlC), оксиди (AlO) алюмінію та інші складні сполуки і змінило його трибологічну поведінку на 2 режимі при 1000 м пройденого шляху, де зносостійкість збільшилась у 1,6 рази (для TiCrC-(FeCr) складала 0,1 мм, а для TiCrC-(FeCrAl) – 0,06 мм).

Покриття TiCrC-(FeCrAl) краще працює на високих швидкостях ковзання (1 та 2 режим – $V = 1,33$ м/с), а зменшення швидкості ковзання у 2 рази ($V = 0,67$ м/с) призвело до погіршення показників лінійного зношування у порівнянні із покриттям TiCrC-(FeCr), що підтверджує необхідність підбирання складу покриття конкретно для певних режимів тертя з врахуванням умов роботи та впливу середовища.

Покриття TiCrC-(FeCrAl) доцільно використовувати за 1, 2 режимами, а для (TiCrB₂-(FeCr)) вони є нерациональними і різниця величини зношування між цими покриттями становить приблизно 50 %. Покриття з вмістом бору призводить до погіршення результатів зношування, а ніж покриття із вмістом вуглецю. AlN-(ZrB₂) сприятиме утворенню у зоні тертя вторинних структур у вигляді нітридів та боридів, а величина зношування AlN-(ZrB₂) покриття на 25 % більша ніж у TiCrC-(FeCr) і для нього найбільш доцільним є використання 3 режиму тертя.

Найкращі показники зносостійкості одержали на зразках із сталі ХВГ з покриттям ВКЗ нанесеним методом EIL, воно дозволяє використовувати інтенсивні 1 та 2 режими тертя (на 1 режимі тертя величина зношування складала 0,15 мм, на 2-му - 0,1 мм при 1000 м шляху тертя).

Мікромеханізм зношування сталі ХВГ з покриттями

Поверхня тертя зразка із сталі ХВГ без покриття характеризується рівномірним розподілом включень Cr. Мікроструктура зразка однорідна, без значних виступів, впадин і подряпин. Поодинокі включення - продукти зношування, або дефекти, отримані мікросхоплюванням, деформуванням,

перегрівом. Можливе утворення оксидних плівок на основі Cr, але ймовірність його невисока і це в значній мірі може залежати від умов (режимів) тертя.

Зразок з покриттям «хром хімічний» має «гладку» поверхню тертя без помітних мікронерівностей (виступів, впадин), що говорить про окислювальний знос зразка. Рівномірне розподілення хрому, наявність більш виражених піків, і співпадання їх із поодинокими включенням свідчить про утворення на поверхні тертя вторинних структур на основі хрому - сполуки систем Cr-O (Cr_2O_3) або Fe-Cr-O (хроміти заліза), які суттєво знижують втрати на знос в умовах сухого тертя.

Мікроструктура доріжок тертя сталі ХВГ з покриттям Al_2O_3 -Ni має досить шорстку поверхню з чітко вираженими доріжками і представляє рівномірно розподілені оксидні плівки Al_2O_3 , які носять острівковий характер розподілу. Враховуючи їх високу щільність (рис. 8, в), вони охоплюють всю поверхню тертя. Поодинокі включення нікелю (рис. 8, г) свідчать про утворення вторинних структур Ni-Al-O (нікеліни, алюмініди), які суттєво підвищують зносостійкість. При дуже інтенсивному терті (високі швидкості і навантаження) вони руйнуються і виносяться із зони тертя і при цьому миттєво на поверхні тертя утворюються нові плівки, які продовжують захищати поверхню [7].

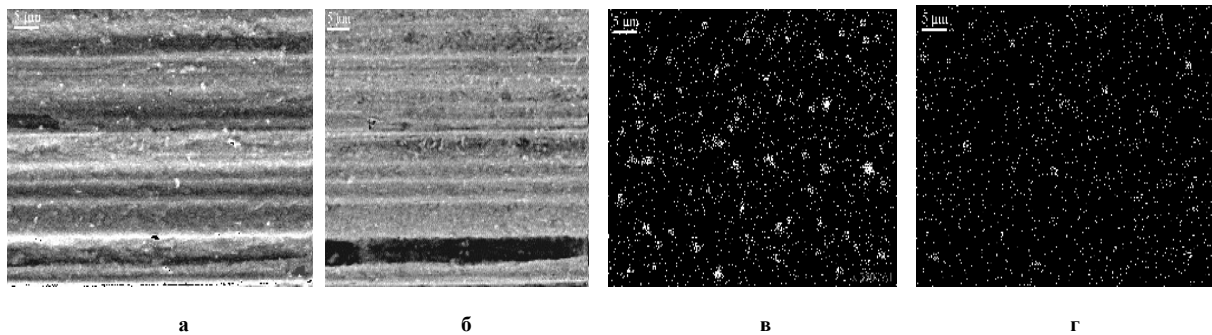


Рис. 8 – Мікроструктура доріжок тертя сталі ХВГ з покриттям Al_2O_3 -Ni (а, б) і розподіл елементів: в – Al, г – Ni (x 2500);

а – зображення від вторинних електронів;
б – зображення від відбитих електронів

Мікроструктура поверхні тертя сталі ХВГ з покриттями ЕІЛ +ПІЛ (TiCrC – (Fe-Cr) + TiCrC – (Fe-Cr) за режимами сухого тертя: $\sigma = 2000$ МПа; $V = 1,33$ м/с, сумарне спрацювання 0,41 мм, шлях тертя – 6000 м характеризується досить великою площею вторинних структур (плівки TiO_2). Це пояснюється досить жорсткими умовами тертя, в результаті чого в зоні контакту виникають високі температури і значно інтенсивніше відбувається окислення поверхні. На поверхні тертя виявлено дисперсні зерна карбідної фази, розміри більшості яких $\leq 0,5$ мкм.

Утворення TiO_2 забезпечує дуже високу зносостійкість. При випробуваннях зразка без покриття при даних режимах граничний знос становив 0,42 мм вже через 180 м пройденного шляху, а з покриттям – 0,41 мм після шляху тертя 6000 м. Використання ЕІЛ покриття як підшару для ПІЛ забезпечує кращі триботехнічні і експлуатаційні характеристики, тому що адгезійний зв'язок плазмового покриття до поверхні значно вищий. Більш жорсткі режими тертя виявляють значно вищу перевагу зразків з покриттям. Так, якщо при режимах тертя $\sigma = 1300$ МПа, $V = 0,67$ м/с; $\sigma = 1300$ МПа, $V = 1,33$ м/с, зносостійкість зразків з покриттям була в 1,5 ... 3 рази вищою, то при $\sigma = 2000$ МПа, $V = 1,33$ м/с – в 5 ... 30 раз вища. Це пояснюється інтенсивністю утворення вторинних структур в зоні тертя, які виконують функції твердої змазки.

Основною особливістю зношування покриттів із композиційних матеріалів на основі TiCrC і TiCrB₂ нанесених методами ПІЛ і ЕІЛ на сталі ХВГ є утворення тонкодисперсних плівок TiO_2 , товщина і щільність яких залежить від навантаження і швидкості тертя, від яких в свою чергу залежить температура в зоні тертя, а відповідно і інтенсивність окислення. Високі показники зносостійкості покриттів забезпечуються наявністю вторинних структур (оксидні плівки), які виконують роль твердої змазки. Значну роль в забезпеченні високої зносостійкості відіграють вторинні структури, які представляють оксиди металів компонентів покриттів (TiO_2 , Cr_3O_2 , Al_2O_3), не змочуються сталлями - відсутній адгезійний зв'язок між матеріалом покриття і контртілом (відсутнє схоплювання).

Висновки

1. Досліджена зносостійкість сталей У8А, Р6М5, ХВГ, 60С2 та твердого сплаву ВК3 в умовах високих питомих тисків та швидкостей. В залежності від шляху і режимів тертя вивчені наступні трибологічні властивості:

- лінійне зношування (У8А, Р6М5, ХВГ, 60С2, ВК3);

- коефіцієнт тертя (У8А, Р6М5, ХВГ, 60С2, ВК3);
- середня температури в зоні тертя (У8А, ХВГ, 60С2);
- вплив швидкісно-силових параметрів на величину зношування (У8А, Р6М5 ХВГ, 60С2, ВК3);
- інтенсивність зношування (Р6М5, ХВГ, 60С2);
- напруження в зоні контакту (Р6М5, 60С2).

2. Розроблено технології нанесення зносостійких хімічних та електрохімічних покриттів на основі нікелю і хрому. Проведено порівняльну оцінку зносостійкості інструментальних матеріалів з осадженими покриттями:

- електролітичний та хімічний хром, нікель;
- композиційні покриття – Ni-BN, Ni-Cu, Ni-Al₂O₃;
- плазмові та електроіскрові покриття – TiCrC-(FeCrAl), TiCrC-(FeCr), TiCrB₂-(FeCr), TiCrB₂-30(Fe-15Cr), AlN-(ZrB₂), ВК-3, TiCrC-(FeCr).

3. В процесі трибологічних досліджень інструментальних матеріалів виявлено на початкових стадіях і певних режимах випробувань (контактне напруження, швидкість ковзання) появу наростоутворення – зростання початкових розмірів досліджуваних зразків, що супроводжується стрімким зростанням температури та моменту тертя (більші розміри наросту відповідали більш високим контактним напруженням).

4. Виявлено, що електролітичні одношарові нікелеві та хромисті покриття сприяють утворенню наросту на досліджуваних матеріалах і це явище не залежить від режимів тертя, в той час як такі ж хімічні покриття, що мають практично бездефектну структуру, майже не схильні до наростоутворення.

5. Встановлено, що електролітичні покриття на основі нікелю та хрому мають велику кількість дефектів у вигляді мікротріщин, які сприяють схоплюванню цих покриттів завдяки локальному збільшенню коефіцієнтів тертя і зростанню температури на цих ділянках. В той же час напруження в зоні контакту перевищують границю текучості електролітичного нікелю.

Хімічні елементи: нікель, хром, мідь, алюміній при певних умовах тертя створюють умови для схоплювання контактуючих тіл. При високих контактних напруженнях і швидкостях ковзання, в умовах, близьких до умов стружкоутворення при обробці металів різанням, що супроводжуються безперервним утворенням нових ювенільних поверхонь, створюються умови до наростоутворення.

6. Зносостійкість сталі ХВГ з композиційними покриттями TiCrC-(FeCr), нанесеним методом електроіскрового легування, є вищою у порівнянні із плазмовим + електроіскровим легуванням на режимах тертя 2, 3, 4, що зумовлено кращою адгезією покриття з матрицею. Значення коефіцієнту тертя для обох випадків майже однакові і знаходяться в межах 0,1 ... 0,16 для покриття TiCrC-(FeCr), нанесеного методом ЕІЛ, та 0,12 ... 0,16 для покриття TiCrC-(FeCr), нанесеного методом ПЛ+ЕІЛ.

7. Встановлено, що особливістю зношування покриттів із композиційних матеріалів на основі TiCrC і TiCrB₂ нанесених методами ПЛ і ЕІЛ на сталі ХВГ є утворення вторинних структур, тонкодисперсних плівок TiO₂, Cr₂O₃, Al₂O₃, які представляють оксиди металів компонентів покриттів і виконують роль твердої змазки, товщина і щільність яких залежить від навантаження і швидкості тертя, від яких в свою чергу залежить температура в зоні тертя, а відповідно і інтенсивність окислення.

Покриття, що отримані електроіскровим легуванням (TiCrC-(FeCr)) та з добавками алюмінію, на доріжках тертя утворюють карбіди, оксиди алюмінію (AlC, AlO) та інші складні сполуки, які є досить твердими та зносостійкими, що призводить до збільшення зносостійкості в 2 ... 3 рази на усіх режимах тертя.

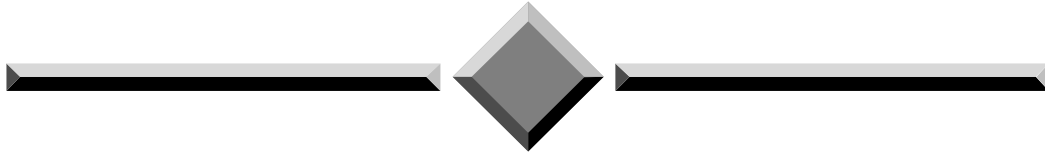
Література

1. Автоматизація досліджень процесу тертя та зношування / Я.М. Гладкий, А.А. Таранчук, О.М. Маковкін, О.А. Лаба // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 1. – С. 12-16.
2. Програмно-апаратний комплекс для проведення трибологічних досліджень / Я.М. Гладкий, В.В. Милько, Ю. В. Таран, О. М. Маковкін // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 5, ч. 1. Т. 2. – С. 155-158.
3. Гладкий Я. М. Трибологія зносостійких покриттів / Я.М. Гладкий, О.М. Маковкін, С.С. Бись // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 6. Т. 2. – С. 19-23.
4. Гладкий Я.М. Наростоутворення при терті та зношуванні високоміцних інструментальних сталей / Я.М. Гладкий, О.М. Маковкін // Резание и инструмент в технологических системах : междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2006. – Вып. 70. – С. 120-131.
5. Упрочнение инструментальной стали ХВГ композитом на основе двойного карбида титана – хрома / А.П. Уманский, В.П. Коновал, И.А. Подчерняева, А.Д. Панасюк, Я.Н. Гладкий, О.Н. Маковкин // Сверхтвердые материалы. – 2007. – № 4. – С. 67-74.

6. Працездатність спеціальних покриттів на інструментальних матеріалах / Я.М. Гладкий, В.В. Милько, С.С. Бись, О.М. Маковкін // Високі технології в машинобудуванні : збірник наук. праць НТУ "ХПІ". – Харків, 2008. – Вип. 2 (17). – С. 77-87.

7. Заверач Є.М. Трибологічні характеристики нікелевих композиційних електрохімічних покриттів / Є.М. Заверач, О.М. Маковкін // Вісник національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" : зб. наук. праць. – Харків : НТУ "ХПІ", 2008. – № 16. – С. 29-30. – (Тематичний випуск: Хімія, хімічна технологія та екологія).

Надійшла 26.05.2011



ЧИТАЙТЕ
журнал
“Problems of Tribology”
во всемирной сети
INTERNET!
<http://www.tup.km.ua/science/journals/tribology/>