

УДК 629.083

¹В.Д. Гулевець, канд. техн. наук
²С.Д. Недайборщ**ВПЛИВ СТРУКТУРИ НА ОПІР ЗНОСУ ПОКРИТТІВ,
ОТРИМАНИХ ДЕТОНАЦІЙНО-ГАЗОВИМ НАПИЛЮВАННЯМ**¹Інститут екології та дизайну НАУ, e-mail: ied@nau.tedu.ua²Аерокосмічний інститут НАУ, e-mail: aki@nau.edu.ua

Розглянуто результати експериментальних досліджень зміни структури поверхонь при навантаженні, механізм формування і склад вторинних структур, зносостійкість композиційних покриттів на основі нікелю і ніхрому.

Вступ

На трибостійкість матеріалів впливають, перше, структура і фазовий склад їхнього поверхневого шару і, по-друге, вторинні структури, що утворюються. Отже, вивчення їхньої будови і властивостей має важливе прикладне значення для забезпечення стійкого прояву нормальних механохімічних процесів, мінімізуючих параметри тертя.

У працях [1–3] у рамках структурно-енергетичної теорії показано, що еволюція процесів механохімічної адаптації обумовлює утворення на поверхнях тертя вторинних структур першого і другого типів і їхнє формування здійснюється при кооперативному впливі деформації, нагрівання і дифузії. На підставі даних, наведених у працях [1; 4–7], можна вважати достовірним, що процес супроводжується диспергуванням структури поверхневого шару й утворенням у результаті ущільнення і спікання захисних плівок, що знижують зсувний опір.

Кінетику розвитку пластичної деформації при терті монолітних матеріалів розглянуто в працях [8; 9]. Процеси розчинення й утворення зміцнювальних структур досліджувалися переважно на однофазних відносно пластичних матеріалах [10; 11].

Постановка проблеми

Структурно-фазовий і хімічний склад робочих шарів, взаємодіючих при терті, є важливим аспектом фізики поверхневих явищ теорії тертя і зносу. Однак до дійсного часу проведені нечисленні і несистематичні дослідження в цьому напрямку, що робить украй складним використання концептуальних моделей для аналізу еволюції поверхневих структур.

Хоча в праці [12] розглянуто результати зміни хімічного складу поверхонь при навантаженні тертям, а в працях [13; 14] – в умовах тертя під час нагрівання, що у цілому свідчать про наявність нестационарних дифузійних процесів у шарах, що прилягають до вільної поверхні. У ціло-

му можна констатувати, що вплив легуючих елементів і структури гетерогенних покриттів пар тертя на фазовий склад і властивості поверхневих плівок потребують додаткових досліджень. Робіт, що відбивають характер і інтенсивність структурних змін поверхонь, що зношуються, і прилягаючих до них мікрооб'єктів, украй мало і закономірності структурних перетворень у поверхневому шарі багатофазних триботехнічних покриттів не вивчені.

Результати досліджень

У даній роботі почата спроба зменшити ці недоліки. При вивченні взаємозв'язків між опором руйнуванню композиційних детонаційних покриттів, їхньою структурою, складом фаз, впливом зовнішніх факторів, що визначають експлуатаційну стійкість вузлів тертя, ведуче значення обумовлює вибір методів дослідження. Можливості використовуваних методик і апаратури багато в чому визначають глибину і вірогідність уявлень про процеси, що протікають при контактній взаємодії.

Вивчення зон локалізації структурних складових і кількісний хімічний аналіз здійснювалися методами якісного і наступного кількісного рентгенівського енергетичного аналізу на установці "Link-860".

Дослідження вторинних структур і поверхневого шару, в якому протікають процеси трибоактивування, що впливають на інтенсивність оксидування і схоплювання, проводилися за допомогою методів зондової растрової електронної мікроскопії на установці "Camskan".

Для хімічного аналізу вторинних структур, зон локалізації їх складових використовувалася програма ZAF-4/FLS, також для вивчення стану поверхні був застосований метод дифракції електронів.

Дослідження проводилися на електроннографі EMP-100. На рис. 1 наведено електроннограму від поверхні тертя композиційного покриття на основі ніхрому.

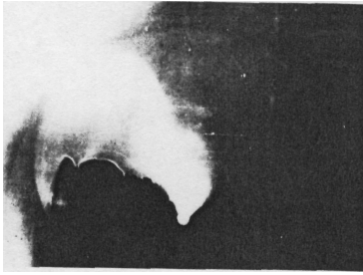


Рис. 1. Електроннограма поверхні тертя покриття на основі ніхрому

Характер дифузійного ореола свідчить, що орієнтована структура поверхні має кристалічну дисперсну будову. Це підтверджується дослідженнями хімічної мікронеоднорідності, проведеними на мікроаналізаторі "Камека" моделі MS-46.

При зіставленні відбитків, знятих у поглинених електронах і рентгенівських променях, не можливо ототожнити ділянки структури, виявлені в поглинених електронах з розподілом елементів (Cr, Ni, Al, Fe) у характеристичних рентгенівських променях. Характер розподілу елементів у рентгенівському й у поглинених електронах зображений на рис. 2.

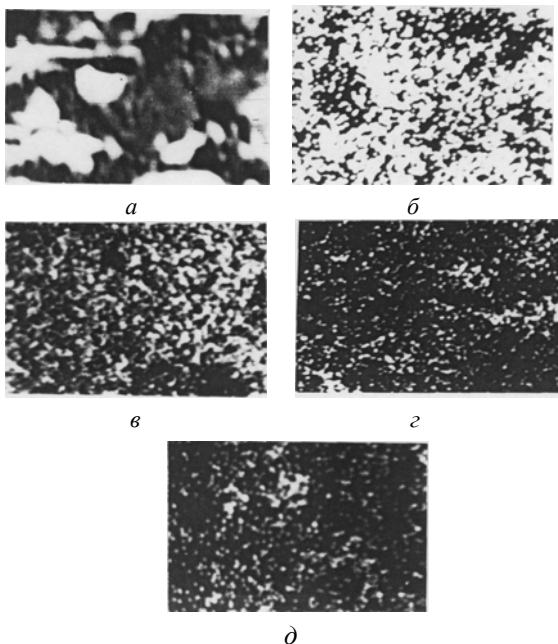


Рис. 2. Якісний мікрорентгеноструктурний аналіз покриття у струмі поглинених електронів (а), у рентгенівському характеристичному випромінюванні Cr K_{α} (б), Ni K_{α} (в), Al K_{α} (г), Fe K_{α} (д), $\times 650$

Вимірювання інтенсивності рентгенівського випромінювання проводилися в ідентичних ділянках мікроструктури і, незважаючи на це, отримано розбіжності в хімічному складі, що також підтверджує наявність нерівноважної дрібнодисперсної структури.

Для одержання всебічної інформації при вивченні тонких поверхневих шарів, у яких протікають процеси структурно-термічного активування, додатково був використаний метод повторно-іонної мас-спектриї. Дана методика дозволила проаналізувати зміну мікроструктури в тонких поверхневих шарах, установити природу фаз, їхню кристалічну структуру і параметри елементарного осередку, необхідні для ідентифікації фаз і складу в межах області їхньої однорідності. Для підвищення чутливості використовувався динамічний режим роботи. Було підтверджено, що мікроструктура поверхневих плівок має дрібнодисперсну будову і складається із суміші фаз композиційного покриття і продуктів взаємодії з киснем повітря. За стехіометричним складом важкоактивованій комплекс має вигляд дрібнодисперсної суміші оксидів Cr_2O_3 , Al_2O_3 , NiO і складних фаз типу хромооксидів $NiCr_2O_4$. У нерівноважній чотирифазній структурі, що утворюють дрібнодисперсні оксиди, фаза Ni визначається гексагональними ґратами з параметрами $a=0,295$ нм, $c=0,724$ нм. Вміст шпінелі відповідає двом видам $NiCr_2O_4$, що мають $a=0,825$ нм, $c=0,844$ нм і $a=0,583$ нм, $c=0,841$ нм, що розрізняються ступенем тетрагональності. Установлено появу нових структурних складових, що являють собою практично рівномірний розподіл еліпсоподібних фрагментів, що відрізняються додатковим розчиненням боридних фаз у нікелевій матриці, також відзначена присутність ультрадисперсних новоутворень, збагачених бором, типу складів Cr_2B , Cr_3B_4 , Cr_5B_3 і CrB , структуру яких визначають атоми бора, що утворюють тверді підґрати з вираженими зв'язками B-B, крім того, визначена наявність складних боридних фаз, легованих нікелем типу $(Cr, Ni)_4B_5$, $(Cr, Ni)_4B_3$ і інтерметалідних з'єднань типу $NiAl_3$, $NiAl_2$, $NiAl$, а також фаз твердих розчинів на основі моноалюмініду нікелю. Крім того, наявність борного ангідриду (B_2O_3), що утвориться при взаємодії вищих боридів хрому і кисню середовища, що є хімічно активною формою борної кислоти, перетворює оксиди металів у метаборати (типу $Ni(BO_2)_2$). Покриття на основі нікелю, леговані залізом (12 %), хромом (до 17 %), ніобієм (до 8 %) і алюмінієм (до 2 %), є також перспективними для ряду галузей техніки, оскільки володіють як високими фізико-механічними властивостями ($\zeta_{адг}=90-110$ МПа; $H_{\mu}=12,0-12,5$ ГПа), так і триботехнічними характеристиками.

Як показали результати дослідження, стабільні фази в покритті являють собою γ -фаза на основі Ni_3Al , що має ГЦК-структуру, частки якої

являють собою сферичну форму і когерентно пов'язані з матрицею, і β -фаза, склад якої відповідає Ni_3 , що характеризується упорядкованою ромбічною структурою, що має форму пластин некогерентних з вихідним твердим розчином. Установлено наявність у покритті γ' -фази, що має тетрагональну упорядковану структуру зі співвідношенням $c/a=2,043$ з включеннями у формі дисків з вираженими полями пружних змін. Таким чином, утворення упорядкованих когерентних з матрицею γ' - і γ'' - фаз сприяє істотному зміцненню покриттів. При цьому, на нашу думку, найбільший ефект досягається за рахунок наявності γ'' -фази, що пов'язано як з упорядкуванням у структурі самої фази, так і з наявністю полів пружних змін навколо її часток.

Мікроструктура поверхневих плівок складається із суміші хімічних сполук структурних компонентів покриття з киснем повітря. З теорії дифракції [15] відомо, що дифузійні ореоли відповідають ультрадисперсній структурі. Наявність текстурних максимумів свідчить про спрямовану орієнтацію елементів ультрадисперсної структури. При цьому, як показали дослідження, структура складається з кристалів, орієнтованих у напрямку вектора швидкості, розмірами порядку декількох міжатомних. Отримані результати погоджено не тільки з експериментальними даними, але і відповідають сучасним уявленням про природу ультрадисперсного стану твердих тіл [16].

Взаємодія активованих поверхонь тертя з киснем навколишнього середовища обумовлює утворення гетерофазних тонкоплівкових структур. Таким чином, у результаті протікання комплексу фізико-хімічних і механічних явищ, обумовлених активуючим фактором пружно-пластичної деформації, вихідна поверхнева структура покриттів змінюється після перетворень. Унаслідок цих перетворень, закономірності і характер яких визначаються режимами тертя, на контактних поверхнях формуються вторинні структури, що характеризують необоротний залишковий стан поверхневих шарів. Використовуючи експериментальні результати, уявлення про розміри частинок і кількості дефектів, процеси диспергування й орієнтації, дані про роль проміжних і кінцевих станів тонкоплівкових структур, можна запропонувати гіпотетичну схему механізму формування поверхневих плівок вторинних структур. Розміри, геометрія розташування, внутрішня будова, хімічний і фазовий склад вторинних структур можуть бути різними.

На підставі досліджень кінетики механізмів утворення і властивостей трансформованих поверхневих плівок авторами було визначено існу-

вання двох основних типів вторинних структур: першого типу, що являють собою тверді розчини окиснювачів у металах, і другого типу – хімічні сполуки нестехіометричного складу.

При збільшенні питомої роботи тертя має місце перехід від вторинних структур першого типу до структур другого типу. Рушійна сила адаптації матеріалів при терті обумовлена енергетичною доцільністю перебудови поверхневої структури контактних шарів у стійку термодинамічну найвигоднішу форму. Перебудова структури відбувається в напрямку максимального зміцнення й орієнтації щодо вектора переміщення, у результаті чого контактна зона гранично здрібнена і складається з орієнтованих кристалічних областей, що мають субмікроскопічні розміри за товщиною і мікроскопічні уздовж поверхні.

При цьому протікання комплексу взаємозалежних термодинамічних явищ, ініційованих фрикційним нагріванням і контактним тиском, обумовлює твердофазні топохімічні реакції і процеси механохімічного легування, що включають ущільнення, розмелювання дисперсоїда з частинками оксидів, інтерметалідів в умовах аномального протікання адсорбції, дифузії і хімічних поверхневих реакцій, що не суперечить висновкам праці [16]. Швидкість процесів збільшується з ростом температури і зменшенням розмірів частинок. Процес протікає до утворення за даних умов тертя компактних багатофазних тонкоплівкових вторинних структур, що володіють високою об'ємною щільністю, практично із суцільним міжчастинковим контактом.

Електронографічні дослідження високодисперсних гетерогенних тонкоплівкових структур, що утворюються на поверхнях тертя випробовуваних покриттів, показали, що вони не відповідають як перенасиченим твердим розчинам кисню в металах, так і хімічним сполукам нестехіометричного складу. А за своєю будовою близькі до структури дисперсно-зміцненого композиційного матеріалу. Як відомо, такі структури мають унікальне сполучення високої пластичності і міцності, мають високу стабільність даних характеристик у часі. Дисперсні включення, що являють собою інтерметаліди, бориди, алюмініди, оксиди металів, що входять до складу покриттів, мають розміри від 10 до 25 нм, характер їхнього розподілу стрічний з вираженою орієнтацією в напрямку вектора швидкості ковзання. Ця обставина є підтвердженням того, що при формуванні вторинних структур вирішальну роль відіграють процеси структурної активації.

Важливою характеристикою триботехнічних матеріалів є коефіцієнт тертя, який визначає ступінь втрати енергії у вузлах тертя. Залежність

коефіцієнтів тертя від швидкості ковзання випробовуваних детонаційних покриттів узгоджується з установленою закономірністю тертя і зношування покриттів. Зниження коефіцієнта тертя, його стабільність при підвищенні швидкості ковзання свідчить про високу працездатність покриттів за даних умов дослідів.

Висновки

На підставі експериментальних результатів можна зробити висновок, що досліджувані матеріали покриттів не менш зносостійкі ніж традиційні тверді сплави типу ВК і здатні підвищити експлуатаційну стійкість і надійність деталей, працюючих в умовах тертя. Кожен новий крок у техніку від розробки машин, їхнього створення і впровадження пов'язаний тією чи іншою мірою з вирішенням задач в області тертя, зносу і впливу масел. Подальші дослідження покриттів, поданих у даній роботі, будуть спрямовані на визначення закономірностей їхнього зношування як в умовах підвищених навантажень і температур, так і наявності різних масел і поверхнево-активних речовин.

Список літератури

1. *Поверхностная* прочность материалов при трении / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов и др. – К.: Техніка, 1976. – 259 с.
2. *Щепетов В.В., Лабунец В.Ф.* Повышение износостойкости деталей // *Технология и организация производства.* – 1992. – №3(34). – С. 37.
3. *Носовский И.Г.* О механизме схватывания металлов при трении // *Трение и износ.* – 1993. – Т. 14, №1. – С. 19–24.
4. *Алексеев Н.М., Малашенко А.И., Назорных С.Н.* Динамика фрикционного контакта // *Трение и износ.* – 1989. – Т. 10, №5. – С. 809–819.
5. *Гарбар И.И.* Ротационная фрагментация поверхностных слоев металлов и процессы изнашивания при трении // *Трение и износ.* – 1990. – Т. 3, №4. – С. 271–282.
6. *Физико-механические свойства при разрушении детонационных покрытий/ В.К. Федоренко, Ю.В. Нильман, Н.Г. Баранов и др.* // *Порошковая металлургия.* – 1987. – №11. – С. 88–94.
7. *Структура* и свойства износостойких покрытий, полученных способами плазменно-дуговой технологии / Л.С. Лившиц, А.И. Дехтярев, С.Н. Платонов и др. // *Трение и износ.* – 1990. – Т. 11, №2. – С. 259–263.
8. *Расчет* напряженно-деформированного состояния элемента структуры композиционных материалов / В.И. Тихонович, В.И. Лавренко, А.В. Ковальский и др. // *Трение и износ.* – 1990. – Т. 11, №6. – С. 1063–1067.
9. *Рыбакова Л.М., Кусенова Л.И.* Об изменении кристаллической решетки в приповерхностных слоях меди и латуни при трении // *Защитные покрытия.* – 1989. – Вып. 2. – С. 362–366.
10. *Бондаренко В.П.* Триботехнические композиты с высокомолекулярными наполнителями. – К.: Наук. думка, 1989. – 232 с.
11. *Маритин Дж., Доери Р.* Стабильность структуры металлических систем. – М.: Атомиздат, 1988. – 280 с.
12. *Бакли Д.* Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии. – М.: Машиностроение, 1987. – 359 с.
13. *Решение задач* тепловой динамики трения и моделирование трения и износа / Под ред. А.В. Чигинадзе. – М.: Наука, 1988. – 151 с.
14. *Марченко Е.А.* О природе разрушения поверхности металлов при трении. – К.: Наук. думка, 1988. – 262 с.
15. *Белый А.В., Карпенко Г.Д., Мышкин Н.К.* Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев. – М.: Машиностроение, 1991. – 201 с.
16. *Осинов К.А.* Аморфные и ультрадисперсные кристаллические материалы. – М.: Наука, 1988. – 76 с.

Стаття надійшла до редакції 17.09.04.

В.Д. Гулевец, С.Д. Недайборщ

Влияние структуры на сопротивление износа покрытий, полученных детонационно-газовым напылением

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований изменения структуры поверхностей при нагрузке, механизм формирования и состав вторичных структур, износостойкость композиционных покрытий на основе никеля и хрома.

V.D. Gulevec, S.D. Nedayborshch

The structure influence of resistance wear-out covering, which have get with help of detonation - gas vaporization

It is presented an experimental studies of the structure surfaces changing at air loading, learned mechanism of formation and composition of the secondary structures, is the reason of wear-out stability of composite covering on nickel and chromium base.