



УДК 593.5.19

## ЗАХИСТ ВІД ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИМ ОКСИДУВАННЯМ

**Імбірович Н.Ю.**

*Луцький національний технічний університет,*

**Клапків М.Д.**

*Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, м. Львів,*

**Повстяной О.Ю., Зайчук Н.П.**

*Луцький національний технічний університет*

*Дана робота присвячена дослідженню властивостей комбінованих металооксидних покриттів та визначенню їх зносостійкості. У процесі випробувань було проведено мікроструктурні дослідження комбінованих покриттів, визначено їх мікротвердість та зносостійкість. У результаті проведених експериментів було встановлено, що отримані комбіновані металооксидні покриття характеризуються високою мікротвердістю та низькою здатністю до зносу.*

*Ключові слова: оксидокерамічні покриття, комбіновані електрометалізаційно-плазмоелектролітні покриття, плазмоелектролітне оксидування, спресовані втулки, сталь 40Х, мікроструктура, мікротвердість, зносостійкість.*

**Вступ.** З підвищенням робочих швидкостей, тиску, температур, агресивності середовищ, посилювання умов для роботи сучасного виробництва, збільшується й інтенсивність зношування, корозії та інших видів пошкодження поверхні металу деталей і механізмів, що контактують з оброблюваними матеріалами і зношуючими середовищами [1].

Протягом багатьох років вдосконалення інструментальних матеріалів відбувалось шляхом підвищення твердості, теплостійкості, зносостійкості при одночасному зниженні характеристик міцності і в'язкості.

Проблема створення інструментального матеріалу з «ідеальними властивостями» повинна вирішуватися на основі розробки композиційного інструментального матеріалу, в якого високі значення поверхневої твердості, теплостійкості і фізико-хімічної інертності поєднувалися б з достатніми значеннями міцності, в'язкості і границі витривалості та оптимальним співвідношенням «крихкої» і «пластичної» міцності. Одним з найбільш ефективних способів забезпечення оптимального поєднання «твердість – пластичність» є застосування різних технологій поверхневої модифікації, найбільше застосування при цьому знаходять технології нанесення зносостійких покриттів.

Сучасні технології дозволяють отримувати покриття комбінованого складу, багатошарові, з індивідуальними фізико-механічними, хімічними та трибологічними властивостями.

**Аналіз останніх досліджень.** Широко відомі методи підвищення захисних властивостей оксидних плівок шляхом термічного окислення та анодування в електролітах різного хімічного складу також не забезпечують сучасних вимог щодо експлуатаційних характеристик. У той же час цим вимогам повинні відповідати синтезовані за перспективними технологіями в електролітній плазмі конверсійні оксидокерамічні покриття складу  $Al_2O_3$ , які характеризуються високою адгезією і низькою наскрізною пористістю [2, 3]. Процес нанесення покриття здійснюється в плазмі іскрових розрядів та носить назву плазмоелектролітного оксидування (ПЕО).

У результаті синтезуються на поверхні високотемпературні оксидокерамічні покриття, які характеризуються високими фізико-механічними властивостями [4, 5]. Процес здійснюється за схемою «анод-катод» в умовах поверхневих іскрових розрядів на оброблюваній поверхні (аноді) у результаті плазмохімічних реакцій, а управляти властивостями покриттів можна зміною складу електроліту і режимів синтезу. Створені таким способом покриття мають близьку до кераміки полікристалічну структуру, відзначаються високими адгезією до основи, твердістю та корозійною тривкістю.



Однак метод ПЕО використовується в основному стосовно алюмінієвих сплавів, а останнім часом поширюється і на цирконієві, магнієві та титанові сплави. Проте, сучасні технології дозволяють отримувати покриття комбінованого складу, багатшарові, з індивідуальними фізико-механічними, хімічними та трибологічними властивостями. Для масового застосування з точки зору надійності технологій, матеріальних і енергетичних затрат найбільш привабливими є технології газотермічного напилення і плазмоелектролітного оксидування [6-8].

**Мета досліджень.** Метою даної роботи було отримати деталі з захисними, комбінованими металооксидними покриттями, а також дослідити їх мікроструктуру та фізико-механічні властивості.

**Обговорення результатів.** Електрометалізаційне покриття було напилене із дротів з Д16 на робочу поверхню деталі, після чого зразки були синтезовані методом плазмоелектролітного оксидування, в процесі якого при накладанні зовнішнього електричного поля на катоді і аноді проходять хімічні та електрохімічні процеси в результаті яких анод (досліджуваний зразок) розчиняється або пасивується (окислюється), а на катоді виділяється водень.

У даній роботі було досліджено мікроструктуру, товщину та мікротвердість комбінованого металооксидного покриття, нанесеного на втулку, спресовану з порошку ШХ15+графіт+мідь та зносостійкість такого покриття, нанесеного на ролики зі сталі 40Х. Мікротвердість електрометалізаційно-плазмоелектролітного (металооксидного) покриття досліджували на мікротвердомірі ПМТ-3, а трибологічні дослідження проводили за схемою випробувань «диск – колодка» на установці СМЦ-2 при контактних навантаженнях від 2 до 14 МПа з комп'ютерним записом даних з кроком 0,02 с.

При нанесенні покриттів із дротів зв Д16 електродуговим методом на суцільну основу (спресовані втулки та Ст40Х) застосовували модифіковану систему металізатора, завдяки чому досягли зменшення розміру частинок розпилюваного металу та збільшення швидкості їх руху, що дало змогу отримати щільні й гомогенні покриття (рис. 1а). Напилене покриття має типову ламелярну будову. Комбіновані металооксидні покриття характеризуються трьома чітко вираженими областями: верхній пористий шар, щільна та широка область практично безпористого покриття та тонкий проміжний шар на межі контакту з алюмінієвим напиленням. Оксидокерамічне покриття синтезується на поверхні металу за високих температур (6000...10000 °С). При цьому оксидний шар росте вглиб електрометалізаційного покриття доволі рівномірно (рис. 1, б).

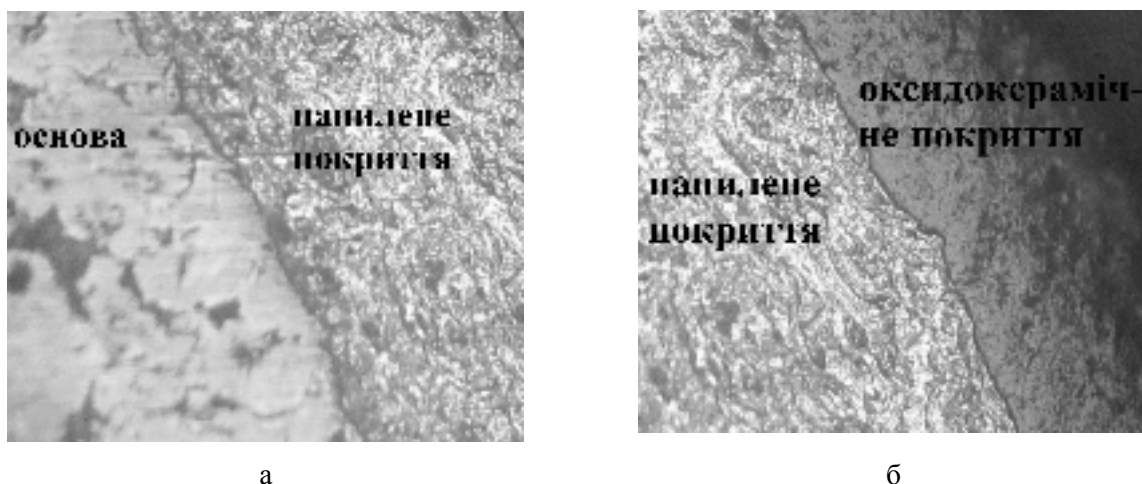


Рисунок 1 – Мікроструктури напиленого покриття з Д16 на спресовану втулку (а) та оксидокерамічного покриття синтезованого плазмоелектролітним оксидуванням на напиленому покритті (б);  $\times 100$

Важливою характеристикою покриття є його товщина. Експериментально встановлено, що товщина комбінованого покриття на спресованій втулці становить



100...110 мкм, причому товщина проміжного електрометалізаційного покриття приблизно в 2,5 рази більша від товщини синтезованої оксидокераміки (рис. 2).



Рисунок 2 – Залежність товщини покриття від методу його нанесення

Мікротвердість покриттів в основному залежить від їх фазового складу. Можна передбачити, що найбільшу мікротвердість будуть мати покриття з максимальним вмістом  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , тобто покриття плазмоелектролітно окисовані. Для більш повної характеристики мікротвердість покриттів визначали на різній глибині (рис. 3).

Найвищою вона є в оксидокерамічних покриттів, як і передбачалося. Максимальне значення мікротвердості становить 10 ГПа. З графіка видно, що біля границі формування оксидокерамічного покриття мікротвердість електрометалізаційного зростає. Цей факт підсилює твердження про те, що оксидокерамічне покриття росте вглиб металу.

Оксидокерамічні шари, синтезовані як на суцільних матеріалах, так і на електрометалізаційних покриттях мають пористий технологічний шар (верхній) з численними мікротріщинами. Товщина цього технологічного шару займає приблизно 20...30% від загальної товщини оксидокерамічного покриття і визначається режимами окисування.

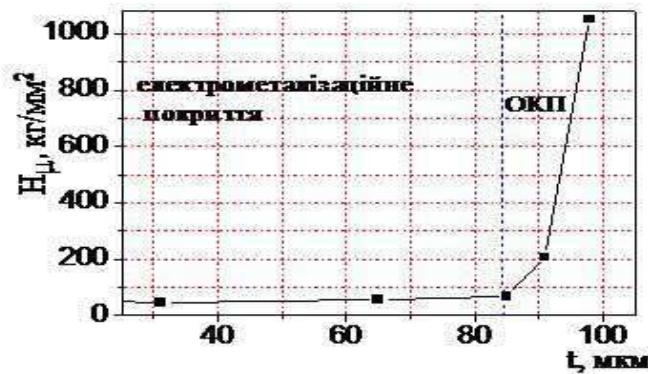


Рисунок 3 – Мікротвердість комбінованого металооксидного покриття

Тому, перед проведенням трибологічних випробувань зразків з оксидокерамічними покриттями ці технологічні шари зішліфовували. При цьому використовували корундові круги.

Зносостійкість оксидокерамічних шарів, синтезованих на зразках зі сталі 40Х з напиленим покриттям порівнювали зі зносостійкістю необробленої загартованої сталі 45 (рис. 4). Дослідивши три пари тертя було виявлено, що у встановленому режимі тертя найменше значення коефіцієнта тертя є у парі контртіло з оксидокерамічним шаром на сплаві Д16 у парі зі зразком «диск» зі сталі 45 та контртіло з комбінованим металооксидним покриттям у парі зі зразком «диск» зі сталі 45 (відповідно 0,012 та



0,013 при 14 МПа). Порівнявши значення коефіцієнта тертя у парах сталь по сталі та оксидокерамічне покриття по сталі за однакового навантаження (8 МПа) виявили, що зносостійкість оксидокерамічного покриття на електрометалізаційному перевищує зносостійкість сталі майже в 13 разів.

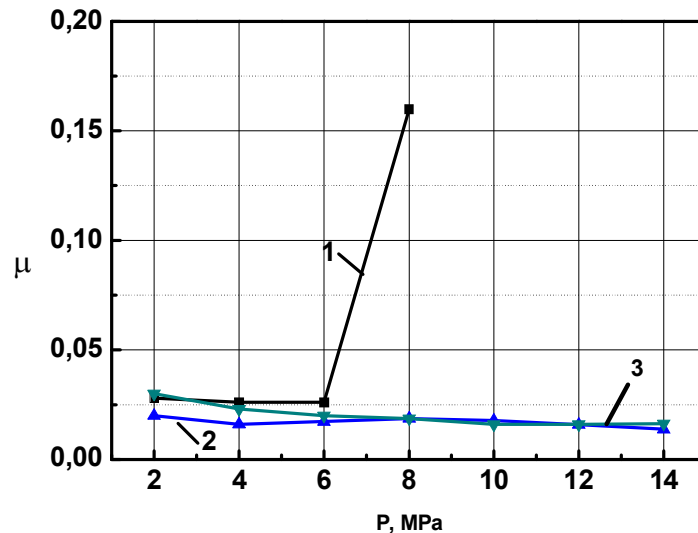


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта тертя від навантаження в парах тертя: 1 – сталь 40Х – сталь 45; 2 – оксидокерамічне покриття на Д16 – сталь 45; 3 – оксидокерамічне покриття на електрометалізаційному покритті з дроту Д16 (комбіноване покриття) – сталь 45. Мастило М10Г2к

Електронно-мікроскопічними дослідженнями вторинних структур, утворених на поверхнях тертя зразків з метало-оксидокерамічними покриттями, сформованими на електрометалізаційному покритті, виявлено, що при терті в мінеральному мастилі М10Г2к на поверхнях тертя відбувається відкладення плівок дитіофосфату цинку, а також виявлено сліди міді, внаслідок її відновлення з оксидів під час плазмоелектролітної обробки, що додатково призводить до зменшення коефіцієнта тертя у період припрацювання.

Дитіофосфат цинку є антифрикційним додатком практично у всіх мінеральних мастилах. Електронно-мікроскопічними дослідженнями на поверхнях тертя виявлено утворення вторинних сполук з вмістом Zn, S та P. Це, напевно, свідчить про формування на поверхнях тертя плівок дитіофосфату цинку, які забезпечують антифрикційні властивості пар тертя.

**Висновки.** Отже, за проведеними дослідженнями встановлено, що оксидокерамічні покриття порівняно з електрометалізаційними мають невелику товщину (25 мкм), однак характеризуються високою мікротвердістю, що в 12 разів перевищує мікротвердість спресованого порошку складу ШХ15+графіт+мідь. Виявлено, що оксидокерамічні покриття ростуть вглиб металу, що очевидно забезпечує високу адгезію такого покриття. Зносостійкість оксидокерамічного шару на електрометалізаційному покритті за однакових умов приблизно в 13 разів перевищує зносостійкість сталі 40Х.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бережний С. П. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин : навчальний посібник. – Запоріжжя : Вид-во ВАТ «Мотор Січ», 2006. – 420 с.
2. Клапків М. Д. Створення конверсійних оксидокерамічних покриттів на цирконієвих та титанових сплавах / М. Д. Клапків, Н. Ю. Повстяна, Г. М. Никифорчин // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. – № 2. – С.117-124.
3. Н. Ю Імбірович. Зносотривкість оксидокерамічних покриттів, синтезованих на титановому сплаві ВТ-8 плазмоелектролітною обробкою / Н. Ю Імбірович, А. В. Маткова, С. І. Остап'юк. // Наукові нотатки. – Луцьк, 2007. – Випуск 20. – С.181-183.



4. Клапків М. Фазовий склад плазмоелектрохімічних оксидокерамічних покривів / М. Клапків, В. Посувайло, Б. Стельмахович, Н. Повстяна, С. Остап'юк // Фізико-хімічна механіка матеріалів : спец. вип. – 2006. – Т. 5. – С. 750-755.

5. Клапків М. Д. Зносотривкість та корозійні характеристики конверсійних покриттів в умовах близьких до експлуатаційних / М. Д. Клапків, В. М. Посувайло, А. І. Бассараб // «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях» : материалы Шестой ежегодной Промышленной конференции с международным участием и блиц-выставки (20-24 февраля 2006 г., п. Славское) ; Фізико-механічний інститут ім. Карпенка Г.В. НАН України. – С. 235-238.

6. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки – М. : Машиностроение, 1985. – 240 с.

7. Ивашко В. С. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий / В. С. Ивашко, И. Л. Куприянов, А. И. Шевцов. – Минск : Наука и техника, 1996. – 375 с.

8. Електродугові відновні та захисні покриття / [В. І. Похмурський, М. М. Студент, В. М. Довгунік, Г. В. Похмурська, І. Й. Сидорак]. – Львів : Вид. ФМІ НАН України, 2005. – 192 с.

**Имбиревич Н.Ю., Клапків М.Д., Повстяної А.Ю., Зайчук Н.П. ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОМЕТАЛИЗАЦИЙНО-ПЛАЗМО-ЕЛЕКТРОЛИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

*Работа посвящена исследованию свойств комбинированных металлооксидных покрытий и определению их износостойкости. В процессе исследований были проведены микроструктурные исследования комбинированных покрытий, определено их микротвердость и износостойкость. В результате проведенных экспериментов было установлено, что комбинированные металлооксидные покрытия характеризуются высокой микротвердостью и низкой способностью к изнашиванию.*

*Ключевые слова: оксидокерамические покрытия, комбинированные электрометализационно-плазмоэлектролитные покрытия, плазмоэлектролитное оксидирование, спрессованные втулки, сталь 40X, микроструктура, микротвердость, износостойкость.*

**Imbirovich N.Y., Klapkiv M.D., Povstianoi A.U., Zaichuk N.P. TRIBOLOGICAL STUDY OF COMBINED ELECTRO-METALIZED AND PLASMA-ELECTROLYTIC COATINGS**

*This work is devoted to the study of composite metal-oxide coatings and their durability. Microstructure studies of combined coatings have been carried out, their micro-hardness and wear resistance have been determined. As a result of experiments it was found that the combined metal-oxide coatings are characterized with high micro-hardness and low degree of wear.*

*Keywords: metal-oxide coatings, combined electro-metalized and plasma-electrolytic coatings, plasma-electrolytic oxidation, pressed bushings, steel 40X, microstructure, micro-hardness, wear resistance.*