

**Похмурский В.І.,
Студент М.М.,
Шмирко В.В.,
Довгунік В.М.,
Клапків М.Д.**

Фізико - механічний інститут
ім. Г.В. Карпенка НАН України,
м. Львів, Україна
E-mail: shmyrko-v-v@ukr.net

ВПЛИВ ВИДУ ШЛІФУВАННЯ НА ПАРАМЕТРИ ШОРСТКОСТІ ТА ТРИБОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКСИДОКЕРАМІЧНИХ ШАРІВ

УДК 621.73

Стаття присвячена дослідженню структури та трибологічних характеристик оксидокерамічних шарів, синтезованих методом плазмол - ектролітної обробки (ПЕО) на сплавах та електродугових покриттях після різних видів шліфування.

Ключові слова: шліфування, оксидокерамічні шари, трибологічні характеристики.

Вступ

Алюмінієві сплави за масштабами використання у промисловості займають провідне місце після сталі. Проте, вони мають дещо обмежене застосування у рухомих контактних парах, через відносно низьку їх поверхневу твердість та зносостійкість. Для забезпечення тривалої експлуатації конструкцій та виробів із легких сплавів застосовують модифікування поверхневих шарів або наносять на них покриття. Перспективними є металооксидокерамічні покриття, які застосовуються зараз для захисту суцільних алюмінієвих сплавів. Для відновлення геометричної форми зношених деталей нами запропоновано використовувати електродугове напилення на основі алюмінію з наступним оксидуванням напиленого шару.

Методики досліджень

Оксидокерамічні шари синтезували на сплаві Д16Т та електродугових покриттях (ЕДП), сформованих із електродного дроту зв Д16. Для цього використовували металізатор з модернізованою системою розпилення металоповітряної суміші [1]. Режими формування ЕДП: напруга на дузі $U = 30 \dots 32$ V, струм дуги $I = 100 \dots 120$ A, тиск повітря $P = 0,6$ МПа, дистанція напилення – 120 мм.

Оксидокерамічні шари формували в катодно - анодному режимі за співвідношення (Кк/Іа) 1 і 1,5 імпульсним струмом густиною 20 А/дм² у електроліті складу: 3 г/л КОН та 2 г/л рідкого скла в розчині дистильованої води за раніше розробленою методикою. Час оксидування 90 хв [2].

Мікроструктуру синтезованих покривів вивчали на сканувальному електронному мікроскопі EVO-40XVP (Carl Zeiss) із системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy.

Трибологічні дослідження зразків після плазмоелектролітної обробки проводили за умов граничного тертя за схемою “диск - колодка” на випробувальній установці СМЦ-2 при контактному навантаженні 2, 4, 6, 8 та 10 МПа. Швидкість ковзання 0,67 м/с, час випробувань 2 години при кожному навантаженні. Для досліджень використовували зразки: “диск” (зовнішній діаметр $d = 42 \pm 0,02$ мм) та “колодка” з внутрішнім діаметром аналогічного розміру. Зразки “диск” виготовляли з пружкового матеріалу зі сплаву Д16Т. Співвідношення між контактними площами при терті було 0,125. Робочі поверхні зразків піддавали плазмоелектролітній обробці. Після цього їх шліфували до необхідного розміру та досягнення шорсткості поверхні $Ra = 0,3$ мкм. У випадку нанесення електродугових покриттів на зразки “диск” їх зовнішній діаметр був $d = 40$ мм. Після нанесення покриттів зразки проточували, піддавали плазмоелектролітній обробці та шліфували до необхідного розміру.

Робочі середовища – мінеральні мастила І-20 та М10Г2к. При проведенні досліджень зразок “диск” частково занурювали у ванну з мастилом.

Вимірювання моменту тертя проводили безконтактним індуктивним давачем, змонтованим на валу установки. Температуру в околі зони контакту (на відстані 0,5 мм) вимірювали хромель-алюмелевою термopарою. Електричні сигнали, у мілівольтах, від вимірювання зазначених параметрів передавалися на аналого-цифровий переретворювач та одночасно фіксувалися за допомогою персонального комп'ютера з кроком їх запису 0,2 с.

Зношування зразків після випробувань визначали за втратою маси зважуванням на електронній вазі KERN ABJ з точністю $\pm 0,0001$ г. Зразки перед початком випробувань та після кожного етапу тертя очищали в бензині та ацетоні упродовж 10 хв у за допомогою ультразвуку на установці Bandelin Sonorex та висушували.

Експериментальні результати та їх обговорення

Структура покриттів

Оксидокерамічні шари синтезовані ПЕО на ЕДП характеризуються трьома чітко вираженими ділянками: верхній поруватий шар (рис. 1) з численними мікротріщинами, (товщиною 20 ... 30 % від загальної товщини оксидокерамічного покриття), щільна та широка область практично безпористого покриття та тонкий проміжний шар на межі контакту з алюмінієвою основою, або з алюмінієвим напиленим покриттям. Відносні товщини цих шарів, їх структура та склад у значній мірі залежать від параметрів попередньої обробки матеріалу, складу електроліту та способу нанесення покриттів.

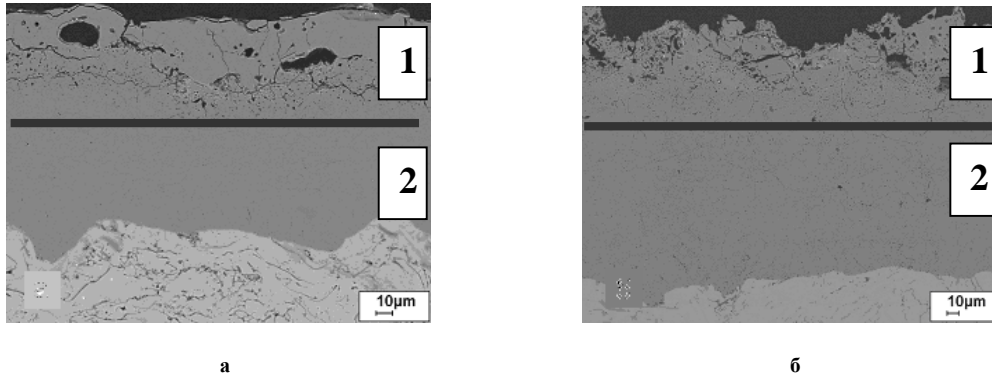


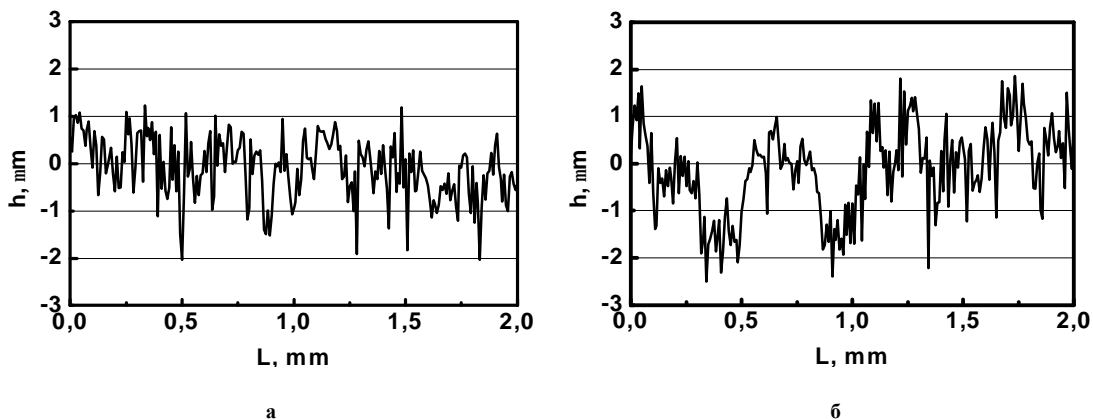
Рис. 1 – Мікроструктура оксидо-керамічного шару, одержаного методом оксидування електродугового покриття на сплаві Д16Т при густині струму 2 кА/м^2 , $i \text{ Ic/Ia} = 1,0$ в електроліті 1 та в електроліті 2. Час оксидування 90 хв

У структурі оксидокерамічного шару (як на основі Д16Т, так і на електродуговому покритті із Д16) виявлено сегрегації виділень чистої міді нанометричних розмірів (рис. 1). Частинки міді появляються в оксидній фазі, очевидно, наступним чином: в каналі іскрового розряду при ПЕО утворюється як оксид алюмінію, так і оксид міді. В подальшому залишок розплаву алюмінію відновлює оксид міді до чистої міді.

Вплив виду шліфування на параметри шорсткості оксидокерамічних шарів

Перед проведенням трибологічних випробувань зразків з оксидокерамічними покриттями верхній пористий шар зішліфовували. Для порівняння впливу виду шліфування на чистоту обробки поверхонь тертя у технологічних операціях використовували як корундовий, так і алмазний круг. Параметри шліфування подано у табл. 1

Шліфування алмазним кругом є продуктивнішим процесом, ніж корундовим. При цьому забезпечується вища чистота поверхні сталейних зразків і зразків з оксидокерамічними шарами. Так, після алмазного шліфування параметри шорсткості поверхні сталеного зразка: $Ra = 0,6$, $Rz = 2,4$ мкм, а корундовим – $Ra = 0,8$ мкм, $Rz = 3,5$ мкм (рис. 3, а - г). Після алмазного шліфування висотні параметри профілю поверхні сталі (Ra , Rz , $Rmax$) та середній крок нерівностей (Sm) на 30 % нижчі. Характер опорних кривих свідчить про рівномірніший розподіл матеріалу в поверхневому шарі (рис. 3, г).



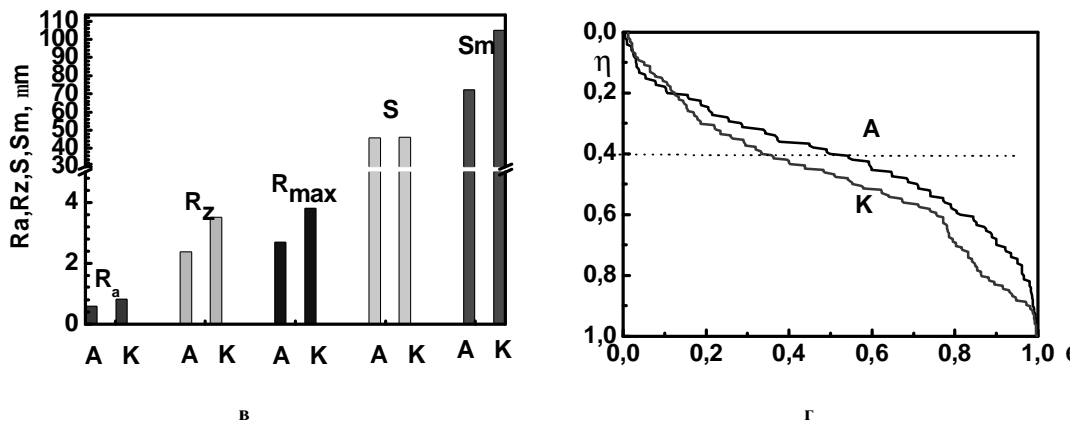


Рис. 3 – Профілограми поверхонь тертя сталевих зразків після шліфування алмазним (а) та корундовим (б) кругами, параметри профілю (в) та опорні криві (г) після шліфування алмазним (А) та корундовим (К) кругами

Таблиця 1

Режими шліфування ПЕО шарів

Характеристика круга	Режими шліфування			Продуктивність см ³ /хв
	швидкість, м/с		глибина шліфування, мм	
	круга	подача стола		
Корундовий круг СТ 2	30	0,05	0,01	0,1
Алмазний круг Ас6 63/50-50/40, М1,100	30	0,05	0,025	0,3

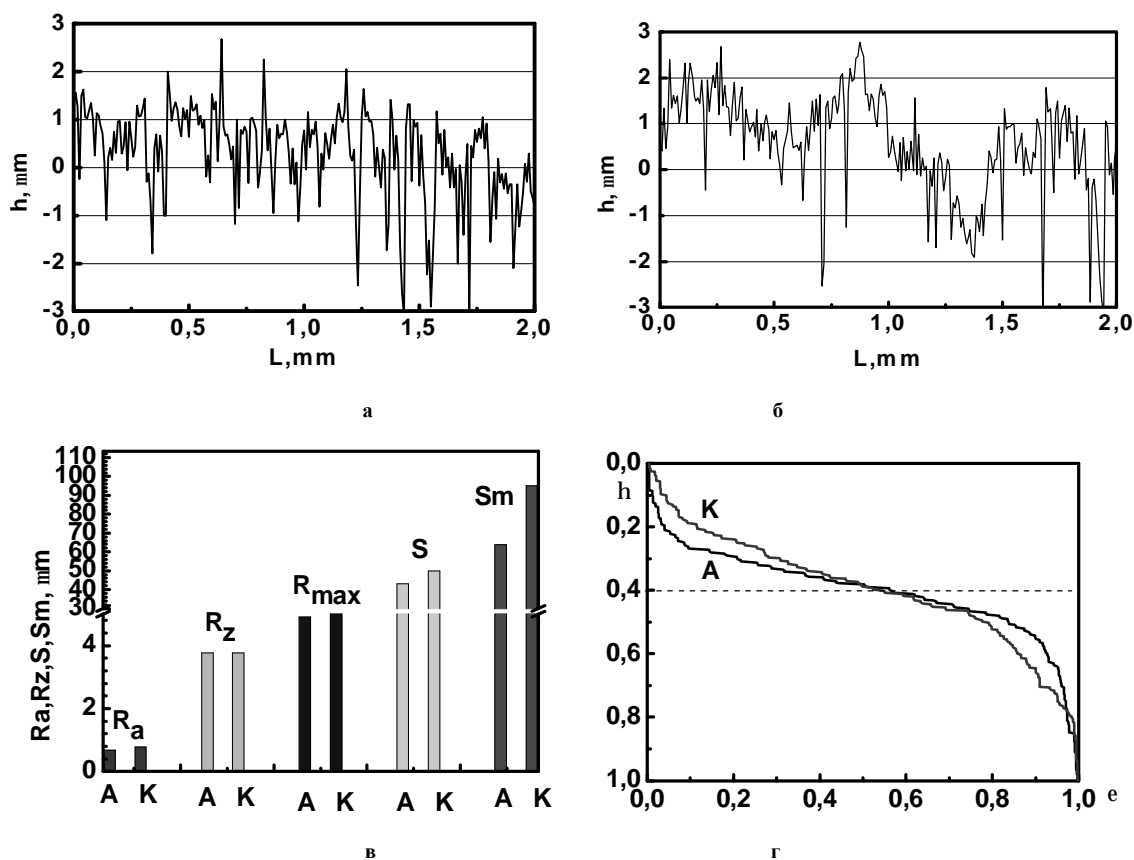


Рис. 4 – Профілограми поверхонь тертя зразків з оксидокерамічними шарами, синтезованими на сплаві Д16Т після шліфування алмазним (а) та корундовим (б) кругами, параметри профілю (в) та опорні криві після шліфування (г) алмазним (А) та корундовим (К) кругами

Після шліфування оксидокерамічних шарів, синтезованих як на сплаві Д16Т так і на електродугових покриттях з електродних дротів зв Д16 алмазним та корундовим кругами рельєф поверхні є практично ідентичним по висотних параметрах (Ra , Rz , R_{max}). Проте, усереднені значення крокових величин: ширини мікроступів та віддалей між ними після шліфування корундовим кругом \approx на 20 % більші. Це підтверджує характер опорних кривих профілів поверхонь (рис. 4). Після шліфування корундовим кругом якість поверхні гірша.

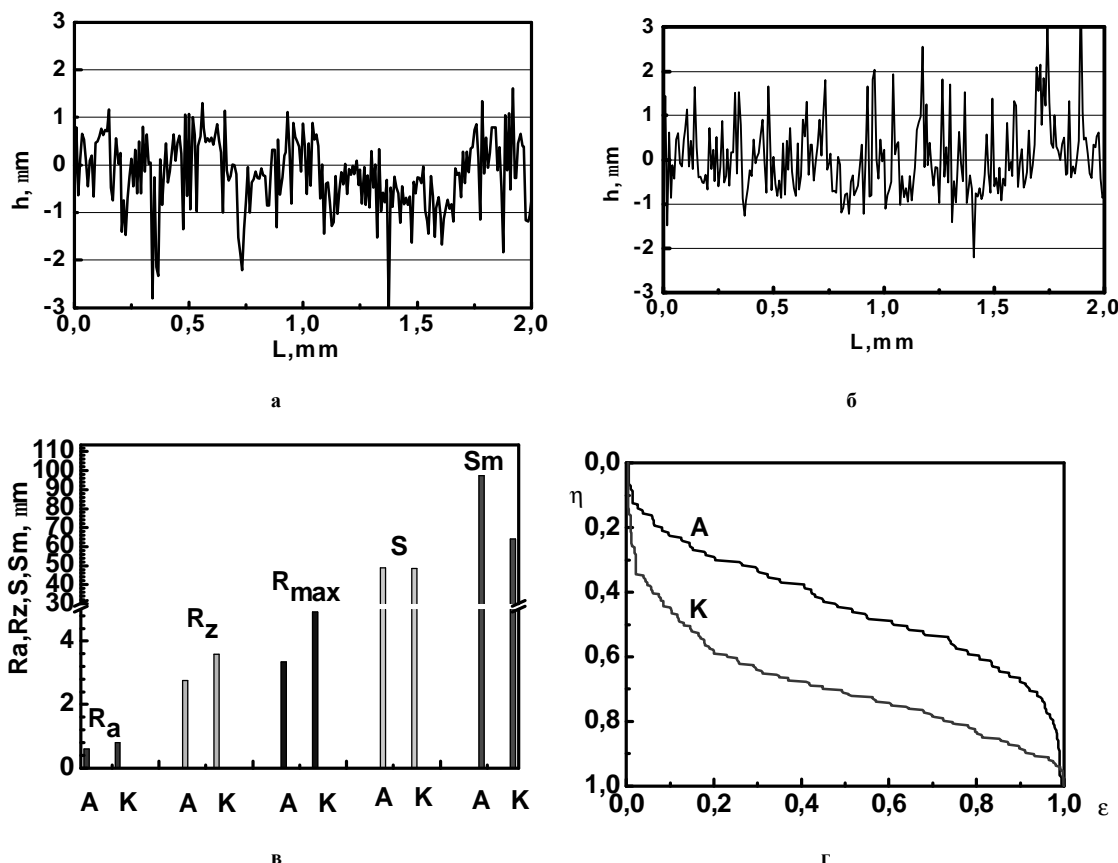


Рис. 5 – Профілограми поверхонь тертя зразків з оксидокерамічними шарами, синтезованими на ЕДП сформованих із дротів зв Д16Т після шліфування алмазним (а) та корундовим (б) кругами, параметри профілю (в) та опорні криві (г) після шліфування алмазним (А) та корундовим (К) кругами

Алмазне шліфування забезпечує вищу якість поверхні, ніж корундове, про що свідчать на 30 % менші висотні характеристики (Ra , Rz , R_{max}) та на 40 % більший кроковий параметр (Sm). Більшу нерівномірність розподілу матеріалу в поверхневому шорсткому шарі після корундового шліфування ілюструє характер опорної кривої поверхні.

Таблиця 2

Вплив виду шліфування на параметри шорсткості

Матеріал зразків	Види шліфування, круги			
	алмазний		корундовий	
Д16 Т + ПЕО	$Ra = 0,7$ мкм	$Rz = 3,8$ мкм	$Ra = 0,8$ мкм	$Rz = 3,8$ мкм
ЕДП із св Д16 + ПЕО	$Ra = 0,6$ мкм	$Rz = 2,7$ мкм	$Ra = 0,8$ мкм	$Rz = 3,6$ мкм

Трибологічні дослідження

Трибологічними дослідженнями встановлено, що зношування метало–оксидокерамічних шарів, синтезованих як на суцільних матеріалах, так і на напилених ЕДП у парах із зазначеними контргілами є у межах похибки вимірювань. Аналогічні результати отримано також щодо зношування контргіл. Ці покриття відзначається високою зносостривкістю при контактних навантаженнях включно до 10 МПа. Тому, основну увагу було приділено вивченню процесів тертя, а не зношування – вивчали зміни коефіцієнтів тертя та температури триборозігріву пар тертя за різних контактних навантажень у процесі випробувань.

Встановили, що алмазне шліфування оксидокерамічного шару, синтезованого на сплаві Д16Т у парі сталлю ШХ-15 забезпечує коефіцієнт тертя ($\approx 0,017$, а температуру триборозігріву ≈ 40 °С), які зберігаються до контактного навантаження 10 МПа (рис. 6). При перевищенні навантаження коефіцієнт тертя зростає в приблизно в три рази. Зростає також і температура триборозігріву (рис. 5, 6). Оксидокерамічний шар, шліфований корундовим кругом має суттєво гірші трибологічні характеристики. Коефіцієнт тертя починає зростати вже при перевищенні контактного навантаження 6 МПа. Температура триборозігріву також є вищою. Так є ще й тому, що при випробуванні в мастилі І-20 за контактного навантаження понад 8 МПа зменшується вязкість мастила, що призводить до потоншення граничної плівки в зоні контакту та до підвищення температури, що і спонукає зростання коефіцієнта тертя. Разом з тим, металооксидокемічні шари є пористі – у своїй структурі містять як мікро- так і нанопори які до певних контактних навантажень можуть бути акумуляторами маста. По мірі зростання контактного навантаження, а разом з ним і температури у зоні контакту мастило буде розкладатися. Очевидно, що за таких умов у зоні контакту втрачаються реологічні властивості мастила що і призводить до такого результату.

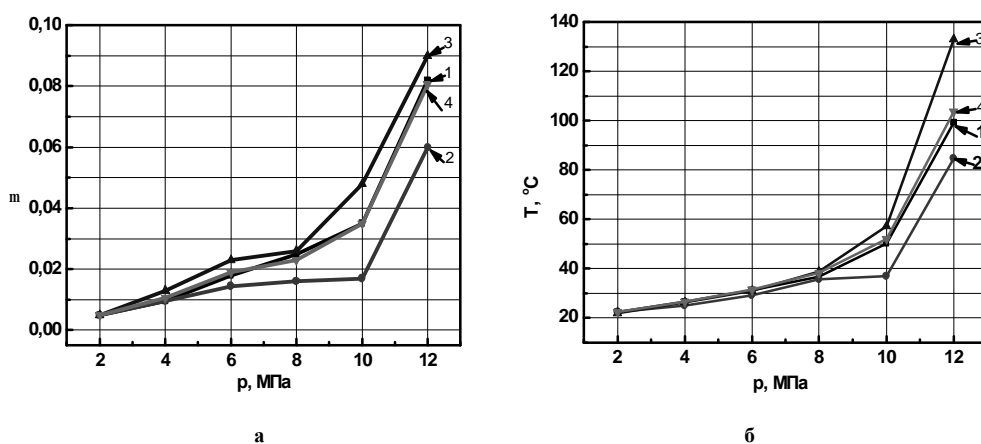


Рис. 6 – Вплив контактного навантаження на коефіцієнт тертя (а) та температуру трибо розігріву (б) у парах тертя оксидокерамічний шар - сталь ШХ-15 (1, 2) та бронза БрС-30 (3, 4). Вид шліфування 1, 3 корундовим кругом, 2, 4 алмазним. Випробовували в мастилі І-20

Раніше [2] було проведено порівняльні дослідження трибологічної поведінки оксидокерамічних шарів, синтезованих як на Д16Т так і на ЕДП, синтезованих із двох дротів зв Д16 після алмазного шліфування. Виявили, що немає суттєвої різниці у трибологічній поведінці таких шарів.

Тому, провели дослідження металооксидокерамічних шарів, синтезованих на ЕДП у мастилі М10Г2к, легovanому диалкілдитіофосфатом цинку з різними контргілами і отримали такий результат (рис. 7).

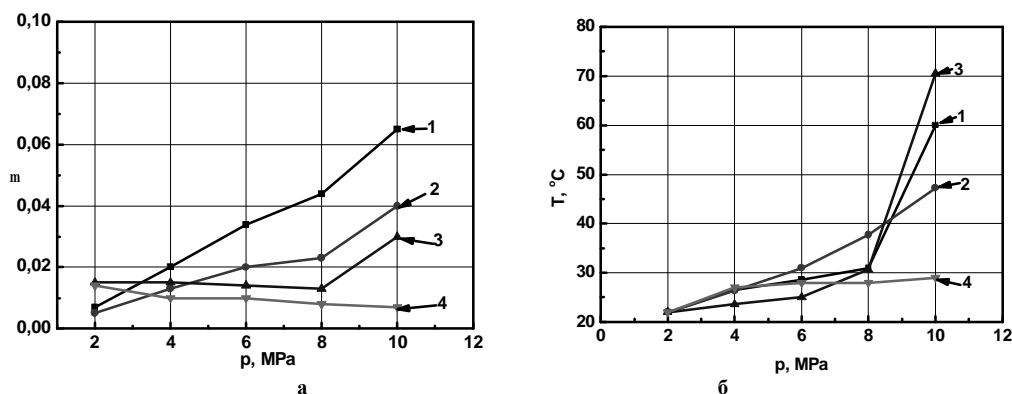
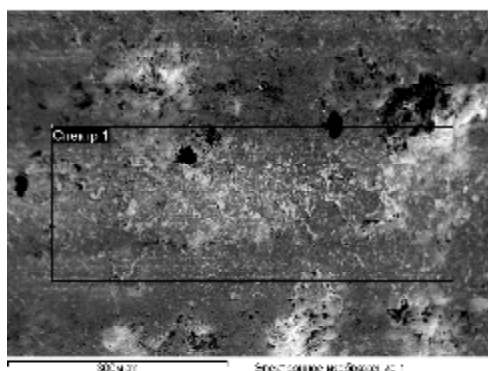


Рис. 7 – Зміна коефіцієнта тертя (а) та температури триборозігріву (б) пар тертя оксидокерамічний шар на ЕДП із суцільного дроту зв Д16 (зразок) у парі з контргілами: 1 – оксидокерамічний шар на Д16; 2 – бронза БрС 30; 3 – гартована сталь ШХ15; 4 – гальванічне хромове покриття. Вид шліфування алмазне. Випробовували в мастилі М10Г2к

Найменший коефіцієнт тертя є у парі “зразок” з оксидокерамічним шаром на ЕДП Д16 у парі зі “контргілом” з гальванічним хромовим покриттям (0,006 при 10 МПа). Коефіцієнт тертя в однойменних парах – оксидокерамічний шар по оксидокерамічному шару за аналогічного навантаження становить близько 0,03. Коефіцієнти тертя оксидокерамічних шарів в інших парах парах тертя, є дещо вищими.

Електронно мікроскопічними (ЕМ) дослідженнями вторинних структур (ВС), утворених на поверхнях тертя зразків з металооксидоремічними шарами, сформованими на сплаві Д16Т чи на ЕДП з двох дротів Д16 (рис. 8 - 9) у парі з контртілами зі сплаву Д16Т, виявлено, що при терті в мінеральному мастилі М10Г2к на поверхнях тертя ВС містять Zn, S та P.



Елемент	Ваг. %	Ат. %
C K	18,82	29,32
O K	39,05	45,67
Mg K	0,84	0,65
Al K	25,02	17,35
Si K	1,66	1,11
P K	1,29	0,78
S K	2,93	1,71
K K	0,84	0,40
Ca K	1,43	0,67
Cu L	1,87	0,55
Zn L	6,24	1,79
Підсумок	100,00	

Рис. 8 – ЕМ зображення та поелементний аналіз ВС, утворених після тертя на поверхні оксидокерамічних шарів синтезованих на сплаві Д16Т



Елемент	Ваг. %	Ат. %
O K	47,69	62,17
Al K	42,32	32,71
Si K	3,57	2,65
P K	0,27	0,18
S K	0,33	0,21
Na K	0,89	0,47
Cu L	3,04	1,00
Zn L	1,89	0,60
Підсумок	100,00	

Рис. 9 – ЕМ зображення та поелементний аналіз ВС, утворених після тертя на оксидокерамічних шарах синтезованих на ЕДП, сформованих із суцільного дроту Д16

Ці компоненти є легувальними елементами мастила (або ефективними додатками), що підвищують антифрикційні властивості пар тертя. На поверхні оксидокерамічних шарів як на сплаві Д16Т так і на ЕДП також виявлено сліди міді, внаслідок її відновлення з оксидів під час плазмоелектролітної обробки, що додатково призводить до зменшення коефіцієнта тертя в даному мастилі. ЕМ дослідженнями на поверхнях тертя виявлено утворення ВС з вмістом Zn, S та P. Це, свідчить про формування на поверхнях тертя ВС нестехіометричного складу, які і забезпечують високі антифрикційні властивості пар тертя.

Висновки

1. Алмазне шліфування ПЕО шарів як на сплаві Д16Т так і на ЕДП із дроту зв Д16 забезпечує кращі параметри шорсткості поверхні.
2. Трибологічні характеристики алмазно шліфованих ПЕО шарів у парі з контртілами бронзою БрС 30, гартованою сталлю ШХ15 є вищі ніж після шліфування корундовим кругом.
3. Пара тертя ПЕО шар гальванічний хром має найкращі трибологічні характеристики.

Література

1. Електродугові відновні та захисні покриття / В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгунік та ін. – Львів: НАН України; Фізико - механічний ін-т ім. Г.В. Карпенка, 2005. – 192 с.
2. Student M.M., Dovhunyuk V.M., Klarkiv M.D. and all. Tribological properties of combined metal-oxide-ceramic layers on light alloys // Materials Science, Vol. 48, No. 2, 2012 pp.

Поступила в редакцію 14.02.2014

Pokhmurski V.I., Student M.M., Smyrko V.V., Dovhunyuk V.M., Klapkiv M.D. **Influence of type of grinding parameters on roughness and tribological properties of combined metal-oxide-ceramic layers.**

Aluminum alloy scale use in industry taking pride of place on steel. However, they have a somewhat limited use in mobile pin pairs, because their relatively low surface hardness and wear resistance. To ensure continued operation of structures and products of light alloys used modification of the surface layers or coatings applied to them. Perspective is combined metal-oxide-ceramic layers is applied to protect the solid aluminum alloys. To restore the geometric shape of worn parts we proposed to use electric arc spraying aluminum-based coatings, followed by oxidation sprayed layer. The article investigates the structure and tribological characteristics of combined metal-oxide-ceramic layers synthesized on alloys and arc spraying aluminum-based coatings on various types of grinding.

Key words: grinding, oksydokeramichni layers tribological properties.

References

1. Pokhmurski V.I., Student M.M., Dovhunyuk V.M., and all. Restoration and protective arc spray coating. Lviv: Ukraine National Academy of Sciences, Physical-Mechanical Institute of the University. GV Karpenko, 2005. 192 p.
2. Student M.M., Dovhunyuk V.M., Klapkiv M.D. and all. Tribological properties of combined metal-oxide-ceramic layers on light alloys. Materials Science, Vol. 48, No. 2, 2012 pp.