

УДК 539.621: 621.82.09:

## ФРИКЦІЙНА ПОВЕДІНКА ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ У ПАРІ ІЗ ПЕО ШАРАМИ, СИНТЕЗОВАНИМИ НА СПЛАВІ Д16Т

*М. М. СТУДЕНТ, В. М. ДОВГУНИК, В. М. ПОСУВАЙЛО,  
І. В. КОВАЛЬЧУК, В. М. ГВОЗДЕЦЬКИЙ*

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

Досліджено трибологічну поведінку сталей 45, У8 та чавуну СЧ 21-40 у парі із плазмоелектролітним оксидокерамічним (ПЕО) шаром, синтезованим на сплаві Д16Т у мінеральній оливі І-20 та у ній із додатком водного розчину гліцерину. Встановлено, що за фрикційної взаємодії сталей із ПЕО шарами в оливо-гліцериновій суміші реалізуються режими як вибіркового перенесення, так і перетворення елементів у зоні контакту. Виявлено, що такі контактні пари роботоздатні до питомих навантажень вище 10 МПа.

**Ключові слова:** *легкі сплави, плазмоелектролітні оксидокерамічні шари, тертя, зношування, вибіркового перенос, перетворення елементів, коефіцієнт тертя, сталь, чавун, гліцерин.*

Легкі сплави у вузлах тертя за стандартних режимів термічної обробки не використовують через низький опір зношуванню. Тому їх робочі поверхні модифікують. На сьогодні найефективніший синтез ПЕО шарів у слаболужних електролітах, який реалізують за високих електричних напруг. У результаті металева поверхня перетворюється у композитний оксидокерамічний шар, який має міцний адгезійний зв'язок із металевою підкладкою, підвищену твердість, зносо- та корозійну тривкість порівняно із вихідним металом [1–4].

Однак трибологічна поведінка синтезованих ПЕО шарів вивчена недостатньо, через що впровадження цієї технології у виробництво стримується. Тому необхідні інші підходи, щоб зрозуміти перебіг трибохімічних процесів у зоні фрикційного контакту, оскільки вони різняться від тих, що відбуваються під час тертя металевих поверхонь [3, 4].

За дії корозивного чинника оксидокераміка чи ПЕО шари хімічно стабільні, а за фрикційної взаємодії – реакційні. Власне фрикційна взаємодія кардинально змінює поведінку кераміки, яка стає чутливішою до роздільного середовища, ніж метали [5].

Поведінку оксидокераміки за умов граничного навантаження вивчено також недостатньо. Під час змащування традиційними мастилами, призначеними для металевих контактних пар, поведінка керамічних за фрикційного контакту інша. Тут необхідні, очевидно, й інші підходи. Зокрема, треба розробити альтернативні мастила для фрикційних пар із керамічних матеріалів або сформувати контактні пари для існуючих мастил, наприклад, кераміка–метал. На наш погляд, найефективніше поєднати у вузлі тертя метал та кераміку чи ПЕО шар, синтезований на алюмінієвому сплаві, оскільки тоді швидкість зношування і металу, і кераміки менша, ніж контактних пар метал–метал чи кераміка–кераміка. Виявили, що коли в контактній парі оксидокераміку поєднати із металом, то останній зношується приблизно на два порядки менше, ніж за типового поєднання метал–метал [5]. При-

чина такої поведінки поки що не зрозуміла, однак, може свідчити про важливість правильного вибору матеріалів тріади [2, 5].

Останнім часом у фрикційних парах застосовують екологічно чисті добавки до олив, зокрема водні розчини гліцерину, які добре суміщаються із традиційними мінеральними оливами. Така суміш має кращі змащувальні властивості, ніж чиста, коефіцієнт тертя та зношування металевих контактних пар за граничного мащення зменшуються на порядок [6].

Нижче досліджено трибологічну поведінку залізвуглецевих сплавів у парі із ПЕО шарами, синтезованими на сплаві Д16Т у мінеральній оливі I-20 та у ній із додатком водного розчину гліцерину за різних контактних навантажень.

**Методика досліджень.** Трибологічну поведінку контактних пар ПЕО шари, синтезовані на сплаві Д16Т–залізвуглецеві сплави (діелектрик–провідник) вивчали за схемою випробувань “диск–колодка” (площинний контакт) на машині СМЦ-2 згідно з ГОСТ 23.224-86. Співвідношення площ контактних поверхонь за фрикційної взаємодії 0,125. Під час випробувань для кріплення нерухомого зразка (колодки) використовували самоналаштуване пристосування, яке забезпечувало сталість площі контакту, строге взаємне розташування контактних поверхонь під час фрикційної взаємодії, що дало можливість правильно оцінювати зміни трибологічних параметрів у спряженні. Під час випроб однократно фіксували зміну моментів тертя безконтактним індуктивним давачем, змонтованим на валу установки, та температуру триборозігріву контртіл хромель-алюмелевою термопарою, вмонтованою в них на відстані 0,5 mm від зони контакту. Здійснювали комп’ютерний запис електричних сигналів від зміни вимірюваних параметрів у мілівольтах із кроком 0,25 s. Швидкість ковзання 0,67 m/s. Контактне навантаження 4 МПа. Час випробувань 4 h. Роздільні середовища: індустріальна олива I-20 (ГОСТ 20799-88) та з додатком до неї 1% 2,5%-го водного розчину гліцерину.

Зразки “диск” завтовшки 10 mm виготовляли зі сплаву Д16Т. На їх циліндричній поверхні в електроліті 3 g/l KOH + 2 g/l Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> синтезували ПЕО шари імпульсним струмом за частоти 50 Hz у катодно-анодному режимі за співвідношення струмів ( $I_c / I_a$ ) = 1 та густини струму 20 A/dm<sup>2</sup>. Товщина шару після синтезу ≈ 250...300 μm. Перед трибологічними випробуваннями ПЕО шари шліфували алмазним кругом до розміру  $d = 42 \pm 0,02$  mm та шорсткості  $R_a = 0,6$  μm. Параметри шліфування: частота обертання зразка 3,17 s<sup>-1</sup>, лінійна швидкість 30 m/s, подача стола 0,3 m/min.

Зразки “колодка” виготовляли зі сталей 45, У8 та чавуну СЧ 21-40 з такими самими внутрішнім діаметром та товщиною. Сталеві зразки заздалегідь відпалювали у вакуумі при 800°C упродовж 1 h. Їх зношування визначали гравіметрично на аналітичній вазі Radwag WAA 160 за похибки вимірювань ±0,0001 g. Макроструктуру поверхонь після тертя вивчали на мікроскопі Zeiss Stemi 2000-с, а мікроструктуру та поелементний аналіз – на сканувальному електронному EVO-40XVP (Carl Zeiss) зі системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy.

**Результати досліджень.** Фазовий склад ПЕО шарів, синтезованих на алюмінієвих сплавах – основний чинник, що визначає і механічні, і трибологічні характеристики. Такі шари складаються, в основному, із фаз α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, мулліту (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>) та незначної кількості аморфного оксиду алюмінію. Фаза α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та мулліт стабільні, а фаза γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> метастабільна і може перетворюватися в α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> під час нагрівання в інтервалі температур від 800 до 1200°C за стаціонарних умов [3, 4]. Температура фазового перетворення може змінюватися і за фрикційної взаємодії, коли у кристалічній ґратці оксиду алюмінію присутні домішки інших елементів. Перетворення γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> → α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> може відбуватися через фази δ- та θ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Тому γ-, δ- і θ-фази вважають подібними за структурою. Цю серію пере-

ходів подають переважно як просте  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  перетворення. Однак є ще  $\beta$ -фаза – змішані оксиди алюмінію та натрію, яка при 1600...1700°C перетворюється в  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  та оксид відповідного металу.

У ПЕО шарах, синтезованих на сплавах з підвищеним вмістом міді, зокрема Д16Т (3,8...4,9 mass% Cu), вміст фази  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  є в межах 60...70%, у той час як на сплавах з підвищеним вмістом магнію, зокрема АМГ-6 (5,8...6,8 mass% Mg), домінує фаза  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . У ПЕО шарах, синтезованих на сплаві Д16Т, також є незначна кількість метастабільної  $\gamma$ -фази, яка може спричиняти каталітичний ефект у зоні фрикційної взаємодії, зокрема розклад води на кисень та водень [3, 4].

У ПЕО шарах твердість  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  фази  $\approx 26$  GPa,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  – 17 GPa, муліту – 10,5 GPa та анодно сформованого аморфного оксиду алюмінію – 7 GPa. ПЕО шари, які складаються в основному із  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , відзначаються найвищою абразивною зносотривкістю [2–4].

Рентгенофазовим аналізом ПЕО шарів, синтезованих на сплаві Д16Т, встановили, що окрім оксидів алюмінію, вони містять також мідь та оксид  $\text{Cu}_2\text{O}$  (рис. 1). Це підтверджують також і електронно-мікроскопічні дослідження (рис. 2). Мідь у синтезованому шарі утворюється під час ПЕО, коли одночасно формуються і оксид алюмінію, і оксид міді. Надлишок алюмінію в плазмовому розряді частково відновлює оксид міді до чистої міді [2].

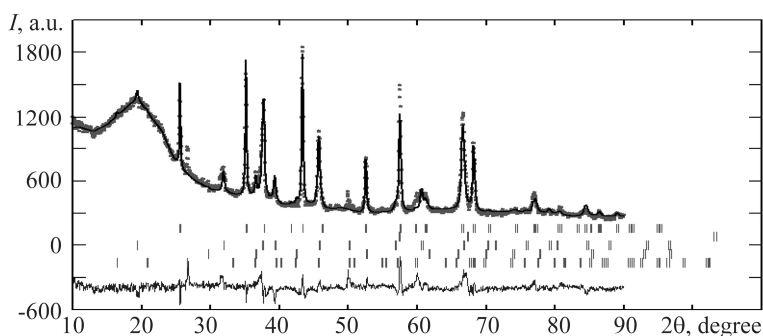


Рис. 1. Рентгенофазовий аналіз ПЕО шарів, синтезованих на сплаві Д16Т методом повнопрофільного аналізу Рітвельда за програмою Fullprof.

Fig. 1. XRD analysis of PEO layers synthesized on Д16Т alloy using Rietveld analysis profile by full Fullprof program.

#### Параметри ґратки та співвідношення між фазами у ПЕО шарах

Фаза	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	ПГ*	mass%
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	4,7591(1)	4,7591(1)	12,9908(6)	<i>R-3C</i>	56,26
$\text{Al}_3\text{O}_4$	7,9319(1)	7,9319(1)	7,9319(1)	<i>FD-3M</i>	37,08
Cu	3,6227(3)	3,6227(3)	3,6227(3)	<i>FM-3M</i>	2,45
$\text{Cu}_2\text{O}$	4,2538(4)	4,2538(4)	4,2538(4)	<i>PN-3M</i>	2,93
$\text{SiO}_2$	4,9285(1)	4,9285(1)	53954(1)	<i>P32</i>	1,28

\* ПГ – просторова група.

Трибологічні дослідження ПЕО шарів у парі із контртілами зі сталей 45, У8 та чавуну СЧ 21-40 в індустріальній оливі І-20 та у ній із додатком 1 vol% 2,5%-го водного розчину гліцерину виявили, що у гліцериновій суміші зношування контртіл із залізобуглецевих сплавів зменшується  $\approx$  у 5 разів (рис. 3). Коефіцієнти тертя та температура триборозігріву також нижчі (рис. 4).

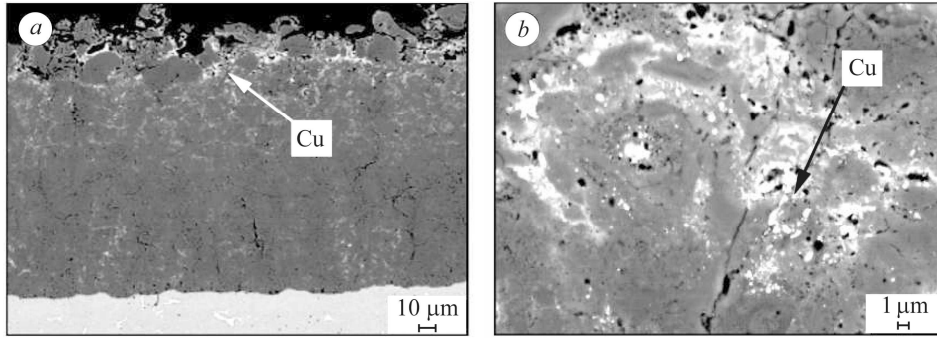


Рис. 2. Типова мікроструктура ПЕО шарів, синтезованих на сплаві Д16Т:  
*a* – поперечний переріз; *b* – поверхня тертя.

Fig. 2. The typical microstructure of PEO layers synthesized on Д16Т alloy:  
*a* – cross section; *b* – friction surface.

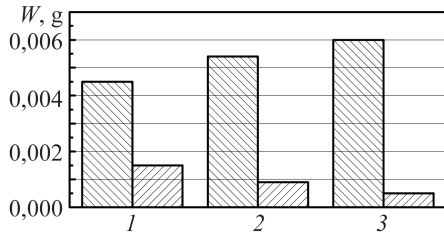


Рис. 3. Знос контргіл зі сталей 45 (1), У8 (2) та чавуну СЧ 21-40 (3) у парі із ПЕО шарами, синтезованими на сплаві Д16Т у мінеральній оливі І-20 та у ній із додатком 1% 2,5%-го водного розчину гліцерину. Питоме навантаження 4 МПа. Час випробувань 4 h.

Fig. 3. Wear of counter bodies for 45 steel (1), У8 steel (2) and СЧ 21-40 cast iron (3) in coupling with PEO layers synthesized on Д16Т alloy in mineral oil I-20 and with the addition of 1% 2.5% glycerol aqueous solution to mineral oil. Contact load 4 МPa. Test time 4 h.

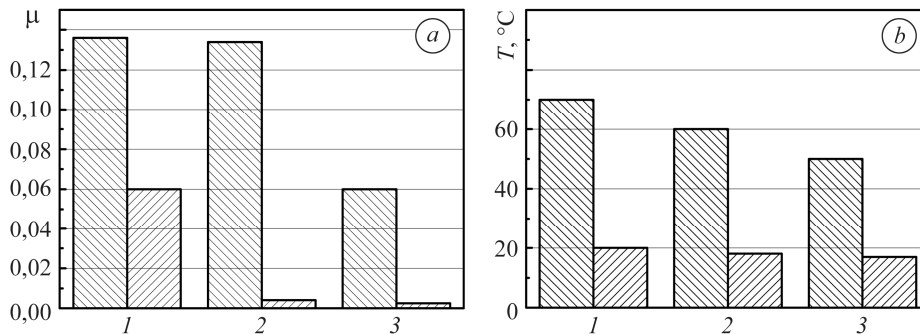


Рис. 4. Усереднені значення коефіцієнта тертя (*a*) та температур триборозігріву (*b*) у фрикційних парах ПЕО шари, синтезовані на сплаві Д16Т–сталь 45 (1), сталь У8 (2), чавун СЧ 21-40 (3) за контактування у мінеральній оливі І-20 та у ній із додатком 1% 2,5%-го водного розчину гліцерину. Контактне навантаження 4 МПа. Час випробувань 4 h.

Fig. 4. The average friction coefficient values (*a*) and triboheating temperatures (*b*) in friction couples of PEO layers synthesized on Д16Т alloy under contact 45 steel (1), У8 steel (2), СЧ 21-40 cast iron (3) in mineral oil I-20 and with the addition of 1% 2.5% glycerol aqueous solution to mineral oil. Contact load 4 МPa. Test time 4 h.

Встановили також вплив додатку водного розчину гліцерину на зміну трибологічних параметрів за різних питомих навантажень (рис. 5). Виявили, що тут різко знижуються не тільки зношування, але й коефіцієнт тертя та температура триборозігріву контактних пар: коефіцієнт тертя сталі 45 у парі з ПЕО шаром зменшується в  $\approx 40$  разів, а в парі із чавуном – в  $\approx 15$ , а температура триборозігріву знижується в  $\approx 4$  рази.

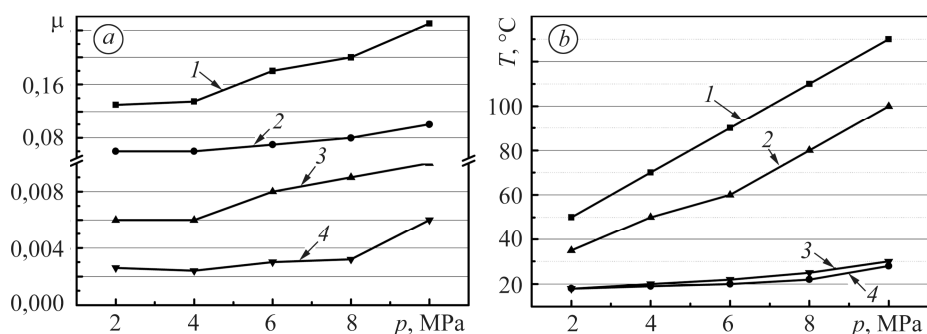


Рис. 5. Усереднені значення коефіцієнта тертя (а) та температур триборозігріву (b) у фрикційних парах ПЕО шари–залізвуглецеві сплави: 1, 3 – сталь 45; 2, 4 – чавун СЧ 21-40 за різних контактних навантажень. Роздільні середовища: 1, 2 – мінеральна олива I-20; 3, 4 – із додатком 1% 2,5%-го водного розчину гліцерину. Час випробувань за кожного навантаження 4 h.

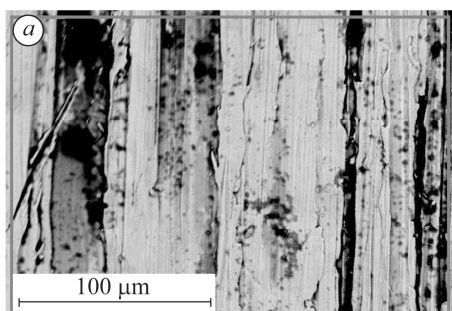
Fig. 5. The average friction coefficient values (a) and tryboheating temperatures (b) in friction couples PEO layers–iron alloys: 1, 3 – 45 steel; 2, 4 – СЧ 21-40 cast iron. Separating environments: 1, 2 – the mineral oil I-20; 3, 4 – with the addition of 1% 2.5% glycerol aqueous solution to mineral oil. Test time for each load 4 h.

Трибосинтезовані структури на поверхнях контртіл аналізували електронно-мікроскопічним методом. Виявили, що вони різняться після випробувань в оливі та оливо-гліцериновій суміші. Згідно з концепцією вибіркового перенесення, коли під час фрикційної взаємодії із поверхнею залізвуглецевого сплаву в цій суміші контактує мідна поверхня, відбувається перенесення міді на неї. Однак на сталевій поверхні після випробувань замість міді виявили цинк, який відсутній як у хімічному складі контактуючих поверхонь, так і в оливі. Водночас на поверхнях тертя після випробувань у цих двох роздільних середовищах зафіксували значну різницю у вмісті і решти елементів. Зокрема, кількість алюмінію зростає із 0,09 at.% після випробувань в оливі до 3,20 at.% після випроб в оливо-гліцериновій суміші, а кальцію – із 0,41 до 4,0 at.%, відповідно. Зникає кремній. Кількість кисню підвищується із 3,92 до 37,32 at.%.

Поелементний склад поверхонь тертя чавунних контртіл після досліджень у цих середовищах також різний. На відміну від сталевих тут виявили мідь, причому її кількість зростає із 0,97 at.% після випробувань в оливі до 8,18 at.% після випроб в оливо-гліцериновій суміші. Однак за додатку до оливи гліцерину на поверхні чавунного контртіла, окрім міді, зафіксували ще й 2,73 at.% цинку. Кількість кисню збільшується із 6,21 до 19,08 at.%, фосфору – від 0,1 до 1,49, сірки – із 0,14 до 3,16. Вміст алюмінію практично не змінюється: 0,13 at.% після випробувань в оливі та 0,19 at.% – в оливо-гліцериновій суміші. Кількість кремнію зменшується із 1,57 до 0,46 at.% (рис. 6).

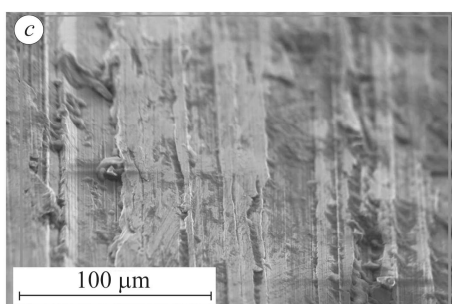
Отже, фрикційну поведінку тріади ПЕО шари, синтезовані на сплаві Д16Т–залізвуглецеві сплави–оливо-гліцеринова суміш, згідно зі загальноприйнятими уявленнями про тертя та зношування, правильно пояснити поки що не вдається. Є тільки деякі припущення. Згідно з працею [7], вибіркоче перенесення, і водневе зношування обумовлені впливом протона водню ( $H^+$ ), оскільки саме від нього залежить перенесення йонів міді із мідневмісних сплавів на поверхню тертя залізвуглецевих. Водень у зоні контакту за фрикційної взаємодії утворюється під час деструкції роздільного воденьвмісного середовища, коли на поверхнях тертя відбуваються реакції за участі саме цього протона. Можливі також і каталітична дія ювенільних поверхонь перехідного металу – заліза із утворенням атомарного кисню, його взаємодія із атомарним воднем та синтез води в зоні контакту, що і

спричиняє ендотермічні реакції. Такий перебіг процесу можливий за температур триборозігріву зони контакту до  $\approx 65^{\circ}\text{C}$ . За вищої температури відбувається інтенсивне зношування за дії водню.



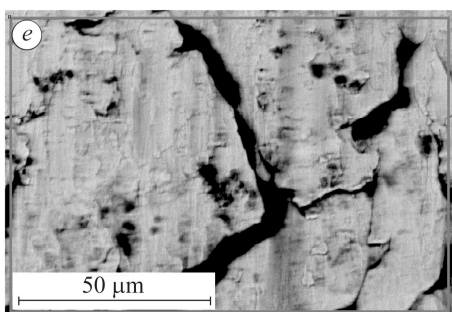
(b)

Елементи	mass%	at.%
C K	17,35	47,80
O K	1,89	3,92
Al K	0,07	0,09
Si K	0,44	0,52
Ca K	0,50	0,41
Fe K	79,75	47,26
Всього	100,00	



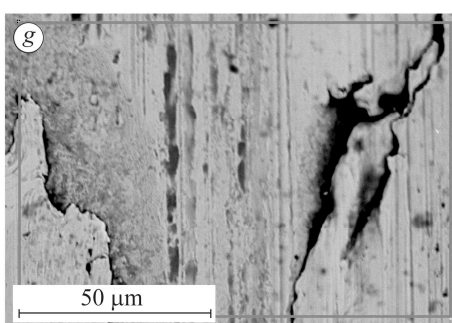
(d)

Елементи	mass%	at.%
O K	28,05	37,32
Al K	4,25	3,20
Ca K	7,88	4,00
Zn L	9,83	6,18
Fe K	49,67	49,30
Всього	100,00	



(f)

Елементи	mass%	at.%
C K	17,88	47,66
O K	3,10	6,21
Al K	0,11	0,13
Si K	1,38	1,57
P K	0,10	0,10
S K	0,14	0,14
Fe K	75,36	43,21
Cu L	1,93	0,97
Всього	100,00	



(h)

Елементи	mass%	at.%
O K	6,38	19,08
Al K	0,11	0,19
Si K	0,27	0,46
P K	0,96	1,49
S K	2,12	3,16
Fe K	75,57	64,72
Cu L	10,86	8,18
Zn L	3,73	2,73
Всього	100,00	

Рис. 6. Мікроструктура (a, c, e, g) та поелементний аналіз (b, d, f, h) трибоструктур, сформованих на поверхні тертя контргтіл зі сталі 45 (a–d) та чавуну СЧ 21-40 (e–h) після випробувань у парі із ПЕО шарами, синтезованими на сплавi Д16Т у мінеральній оливі I-20 (a, e) та оливо-гліцеринoвiй сумiші (c, g). Час випробувань 4 h. Питоме навантаження 4 МПа.

Fig. 6. The friction surface microstructure (a, c, e, g) and elemental analysis (b, d, f, h) of tribostructures formed on the surface counter bodies by 45 steel (a–d) and СЧ 21-40 cast iron (e–h) after tests in coupling with PEO layers synthesized on Д16Т alloy in mineral oil I-20 (a, e) and oil-glycerol mixture (c, g). Test time 4 h. Contact load 4 MPa.

Під час трибодеструкції гліцерину протон водню ( $H^+$ ) може відновлювати як оксиди міді, так і оксиди заліза та сприяти утворенню полімерів тертя – гліцератів і міді, і заліза [2, 10]. Однак полімери тертя виникають тільки за трибоемісії електронів. Найбільшим емітером трибоелектронів є оксидні поверхні – оксидо-кераміка чи ПЕО шари, синтезовані на алюмінієвих сплавах [2, 7]. Високі локальні температури на мікровиступах контактних поверхонь, спричинені фрикційною взаємодією, можуть активувати емісію трибоелектронів, які і призводять до трибохімічних реакцій згідно із концепцією NIRAM (Negative-Ion-Radical-Action-Mechanism) [5], внаслідок чого підвищується реакційна здатність поверхонь.

У результаті фрикційної взаємодії контактних пар в активному роздільному середовищі оксид міді із ПЕО шару відновлюється до чистої міді, а також відбувається її перенесення на поверхню тертя контртіл залізвуглецевих сплавів та повне або часткове перетворення в цинк. Виявлено зміну кількісного (at.%) співвідношення і між іншими елементами, перенесеними на поверхні тертя із ПЕО шару. Пояснити такі зміни можна з допомогою гіпотези L. Kervan про перетворення хімічних елементів [7]. Однак вона стосується тільки біооб'єктів [8, 9].

Для фрикційних тріад є інші підходи, за якими можна описати чи зрозуміти перетворення елементів, адже за фрикційної активації зони контакту генеруються локальні температурні спалахи, які викликають трибохімічні реакції на нанорівні згідно з концепціями NIRAM [5], NAE (Nuclear Active Environment), LENR (Low Energy Nuclear Reactions) та LANR (Lattice Assisted Nuclear Reaction). За дії активного атомарного середовища (протона  $H^+$ ) під час фрикційної взаємодії протікають низькоенергетичні реакції (cold fusion), спричинені деформацією кристалічної ґратки перехідних металів, які викликають трансмутацію чи перетворення одних елементів в інші [10–12]. Такі перетворення відбуваються за низьких енергій (1...4 eV) внаслідок додавання одного або більше протонів до ядра, а за термоядерного синтезу (thermal fusion) – під час вибивання електронів із ядра. Коли протон проникає в ядро атома, утворюється інший елемент (або інший ізотоп того ж елемента) або цей елемент стає нестійким і розпадається на два чи більше елементів.

Ці перетворення реалізуються тільки за механічного впливу, зокрема тертя, коли кристалічна ґратка перехідних металів деформується під дією атомарного водню за порівняно низьких енергій (1...4 eV), і вказують на можливість зміни природи хімічних елементів, зокрема:  $Mg \leftrightarrow Al$ ,  $Mg \leftrightarrow Ca$ ,  $Ti \leftrightarrow Cr \leftrightarrow Mn \leftrightarrow Fe \leftrightarrow Co \leftrightarrow Ni \leftrightarrow Cu \leftrightarrow Zn$ ,  $B \leftrightarrow C \leftrightarrow N \leftrightarrow O$ ,  $Al \leftrightarrow Si \leftrightarrow P \leftrightarrow S \leftrightarrow Cl$ . Такий процес відомий як К-захоплення, коли протон (p) захоплює електрон ( $e^-$ ) із К-оболонки та перетворюється в нейтрон (n) і випромінює енергію ( $\nu$ )  $p + e^- = n + \nu$ . Це відбувається із найменшими затратами енергії, якщо атомні маси вихідних та кінцевих ядер рівні. Тут потрібні лише вільні електрони. Новоутворені вакансії на К-оболонці заповнюються електронами із зовнішньої оболонки без радіаційного переходу. Найімовірнішим є Оже-перехід. Отже, за К-захопленням можна описати перетворення елементів за порівняно невеликих змін енергії. Такий процес низькоенергозатратний та відбувається за енергій  $\approx$  на 25 порядків нижчих, ніж термоядерні реакції. Необхідні тільки вільні електрони. Найбільшим їх емітером в зоні контакту є оксидні поверхні [10, 12], зокрема оксидокераміка, а також плазмо-електролітні оксидокерамічні шари, синтезовані на легких сплавах.

### ВИСНОВКИ

Вивчено трибологічну поведінку контактних пар провідник–діелектрик на прикладі ПЕО шарів, синтезованих на сплаві Д16Т, у контакті зі залізвуглецевими сплавами – сталями 45, У8 та чавуном СЧ 21-40. У результаті трибологічних досліджень встановлено, що після додавання водного розчину гліцерину до мінеральної оливи І-20 трибологічна поведінка тріади ПЕО шари, синтезовані на

сплаві Д16Т–залізовуглецеві сплави–роздільне середовище суттєво змінюється. Коефіцієнт тертя зменшується  $\approx$  в 20 разів, а температура триборозігріву – у  $\approx$  5 разів і реалізується режим вибіркового перенесення та перетворення/трансмутація елементів у трибощарах, сформованих на контртілах.

*РЕЗЮМЕ.* Исследовано трибологическое поведение сталей 45, У8 и чугуна СЧ 21-40 в паре с плазмoeлектролитным оксидокерамическим (ПЭО) слоем, синтезированным на сплаве Д16Т в минеральном масле И-20 и в нем с добавлением водного раствора глицерина. Установлено, что при фрикционном взаимодействии сталей с ПЭО слоями в масляно-глицериновой смеси реализуются режимы как избирательного переноса, так и преобразования элементов в зоне контакта. Выявлено, что такие контактные пары работоспособны до удельных нагрузок выше 10 МПа.

*SUMMARY.* The tribological behaviour of 45 steel, У8 steel and СЧ 21-40 cast iron in coupling with PEO layers synthesized on Д16Т alloy was studied in mineral oil I-20 and with the addition of glycerol aqueous solution. It was found that under friction contact of steels with PEO layers in oil-glycerol mixture the regimes of selective transfer and of elements transformation in contact zone are realized. It was revealed that such contact pairs are operable under specific load higher 10 МПа.

1. Гордиенко П. С. Образование покрытий на аноднополяризованных электродах в водных электролитах при потенциалах пробоя и искрения. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 216 с.
2. Трибологічні властивості комбінованих металооксидокерамічних шарів на легких сплавах / М. М. Студент, В. М. Довгунік, М. Д. Клапків, В. М. Посувайло, В. В. Шмирко, А. Р. Киця // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2012. – **48**, № 2. – С. 55–64.  
(Tribological properties of combined metal-oxide-ceramic layers on light alloys // М. М. Student, V. M. Dovhunyuk, M. D. Klapkiv, V. M. Posuvailo, V. V. Shmyrko, and A. R. Kytsya // Materials Science. – 2012. – **48**, № 2. – P. 180–190.)
3. Dehnavi V. Surface modification of aluminum alloys by plasma electrolytic oxidation // Electronic Thesis and Dissertation Repository. – 2014. – 216 p.
4. Phase transformation in plasma electrolytic oxidation coatings on 6061 aluminum alloy / V. Dehnavi, X. Y. Liu, B. L. Luan, D. W. Shoesmith, and S. Rohani // Surf. & Coat. Techn. – 2014. – **251**. – P. 106–114.
5. Kajdas C. General Approach to Mechanochemistry and Its Relation to Tribochemistry. <http://dx.doi.org/10.5772/50507>.
6. Boundary and elastohydrodynamic lubrication studies of glycerol aqueous solutions as green lubricants / Y. Shi, I. Minami, M. Grahn, M. Bjorling, and R. Larsson // Tribology Int. – 2014. – **69**. – P. 39–45.
7. Гаркунов Д. Н., Суранов Г. И., Хрусталеv Ю. А. Триботехника. Водородное изнашивание деталей машин. – Ухта: УГТУ, 2007. – 260 с.
8. Kervran L. Biological Transmutations and Modern Physics. – Paris: Maloine S. A. Publisher, 1982, rexresearch.com.
9. Arghirescu M. The Cold Genesis of Matter and Fields // Science Publishing Group. – 2015. <http://www.sciencepublishinggroup.com>.
10. Triboemission phenomena: electronic and photonic outputs from surface modification and its use as novel probes for the dynamics of surface processes / G. J. Molina, M. J. Furey, A. L. Ritter, and C. Kajdas // Wear. – 2001. – **249**. – P. 214–219.
11. Molina G. J. Triboemission from Ceramics: Charge Intensity and Energy Distribution Characterization. – Blacksburg, Virginia, 2000. – 182 p.
12. Storms E. An explanation of low-energy nuclear reactions (cold fusion) // J. Condensed Matter. Nucl. Sci. – 2012. – **9**. – P. 1–22.
13. Knorr N. Squeezing out Hydrated Protons: Low-frictional-energy Triboelectric Insulator Charging on a Microscopic Scale. <http://dx.doi.org/10.1063/1.3592522>

Одержано 14.03.2017