

УДК 539.621: 621.82.09

ОСОБЛИВОСТІ ТРИБОЛОГІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ СТАЛЕЙ 45 ТА У8 У ПАРІ З ПЛАЗМОВО-ОКСИДОКЕРАМІЧНИМИ ШАРАМИ, СИНТЕЗОВАНИМИ НА СПЛАВІ Д16Т

В. Довгуник, к. т. н., М. Студент, д. т. н.

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

О. Калахан, д. т. н.

Львівський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Алюмінієві сплави, завдяки високій питомій міцності, широко використовують у різноманітних галузях промисловості – авіаційній, автомобільній, енергетиці, будівельній індустрії тощо. Сплави практично не використовують після стандартних режимів термічної обробки, оскільки вони виявляють низьку корозійну тривкість і схильні до захоплення під час фрикційної взаємодії. Це зумовлює проведення поверхневого модифікування сплавів, яке здійснюють здебільшого гальванічним нанесенням покриття з хрому. Однак гальванічне хромування – екологічно небезпечний технологічний процес, який поступово вилучають із виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найефективнішою технологією модифікування робочих поверхонь деталей із легких сплавів сьогодення є синтез на них плазмОВО-оксидокерамічних (ПЕО) шарів [1 – 4]. Технологія ПЕО – це плазмОВий спосіб електрохімічної обробки поверхні в слаболужних електролітах, який реалізують за високих електричних напруг. Структура ПЕО шарів, яка утворюється в результаті локальної високоенергетичної дії, нагадує спечену оксидну кераміку. Ця технологія забезпечує перетворення металевої поверхні легких сплавів у ПЕО шар, чим модифікує поверхні легких сплавів. Синтезовані ПЕО шари мають підвищену твердість, зносо- та корозійну стійкість. Однак недостатньо вивчено вплив змашування керамічних контактних пар на трибологічну поведінку ПЕО шарів, що стримує впровадження цієї технології у виробництво [1 – 4].

Постановка завдання. Останнім часом у світовій практиці спостерігається значний інтерес до застосування у фрикційних парах екологічно чистих додатків до мастил, зокрема водних розчинів гліцерину [4; 5]. З'ясовано, що такі додатки до мінеральних мастил з

ними добре сумісні, суміш має кращі змащувальні властивості, ніж чисте мінеральне мастило. Коефіцієнт тертя та зношування металевих контактних пар за умов граничного мащення зменшуються на порядок [5]. Метою роботи було дослідити трибологічну поведінку ПЕО шарів, синтезованих на алюмінієвому сплаві Д16Т у різних роздільних середовищах у контакті зі сталями 45 та У8 після вакуумного відпалу.

Методика досліджень. Трибологічну поведінку контактних пар сталь – ПЕО шари, що синтезовані на сплаві Д16Т (провідник – діелектрик), проводили за умов граничного мащення за схемою "диск – колодка" (площинний контакт) на випробувальній установці СМЦ-2 згідно з ГОСТ 23.224-86. Співвідношення контактних поверхонь за фрикційної взаємодії було 0,125. Під час проведення випробувань для кріплення нерухомого зразка (колодки) використовували самоналаштовуване пристосування, яке забезпечувало сталість геометричної площі контакту, строге взаємне розташування контактних поверхонь під час фрикційної взаємодії, що уможливило правильну оцінку змін трибологічних параметрів у спряженні за фрикційної взаємодії.

Зразки "диск" для трибологічних досліджень виготовляли зі сплаву Д16Т товщиною 10 мм. На твірній поверхні дисків, яка є робочою в трибопарі, синтезували оксидокерамічні шари плазмоелектролітним оксидуванням – ПЕО. Покриття синтезували імпульсним струмом за частоти 50 Гц у катодно-анодному режимі при співвідношенні струмів $(I_k/I_a) = 1$ та густини струму 20 А/дм^2 в електроліті 3 г/л КОН + 2 г/л Na_2SiO_3 (водний розчин рідкого скла). Товщина покриття після синтезу – приблизно 250...300 мкм. Перед трибологічними випробуваннями синтезовані ПЕО шари шліфували алмазним кругом до розміру $d = 42 \pm 0,02$ мм та шорсткості $R_a = 0,3$ мкм. Зразки "колодка" виготовляли зі сталей 45 та У8 аналогічного внутрішнього діаметра та товщини. У трибопарі їх використовували після вакуумного відпалу за температури 800 °С упродовж 1 год.

Під час досліджень одночасно фіксували зміну моментів тертя безконтактним індуктивним давачем, змонтованим на валу установки та температуру триборозігріву конгртіл хромель-алюмелевою термопарою, вмонтованою в них на відстані 0,5 мм від зони контакту. Швидкість ковзання 0,67 м/с. Контактне навантаження 4 МПа. Час випробувань 4 год. Роздільні середовища – мінеральна індустріальна олива І-20 (ГОСТ 20799-88) з додатками 0,5 vol % дистильованої води (оскільки в мастилі завжди є технологічна та набута вода) та 1 vol %

2,5 % водного розчину гліцерину. Під час трибологічних експериментів проводили комп'ютерний запис електричних сигналів від зміни вимірюваних параметрів у мілівольтах із кроком 0,25 с.

Зношування зразків визначали гравіметричним методом за допомогою аналітичної ваги Radwag WAA 160. Похибка вимірювань $\pm 0,0001$ г. Мікроструктуру поверхонь тертя після випробувань вивчали на мікроскопі Zeiss Stemi 2000-с та на сканувальному електронному мікроскопі EVO-40XVP (Carl Zeiss) із системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy.

Виклад основного матеріалу. Фазовий склад ПЕО шарів визначає їх механічні й трибологічні характеристики. Покриття, синтезовані на сплаві Д16Т методом ПЕО, складаються в основному із α - та γ - Al_2O_3 фаз. Вміст фази α - Al_2O_3 в ПЕО шарах, синтезованих на сплаві Д16Т, перебуває в межах 60...70 %. Наявні також домішки муліту ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) та аморфного оксиду алюмінію [3; 4]. Твердість оксидних фаз складає 26 GPa для α - Al_2O_3 , 17 GPa для γ - Al_2O_3 , 0,5 GPa для муліту та 7 GPa для анодно сформованого аморфного оксиду алюмінію. ПЕО шари, які складаються в основному з α - Al_2O_3 , мають високу абразивну зносостійкість [2; 3].

Електронномікроскопічні дослідження засвідчили, що в структурі ПЕО шарів, синтезованих на сплаві Д16Т, наявні сегрегації виділень чистої міді – мікронних і нанометричних розмірів (рис. 1).

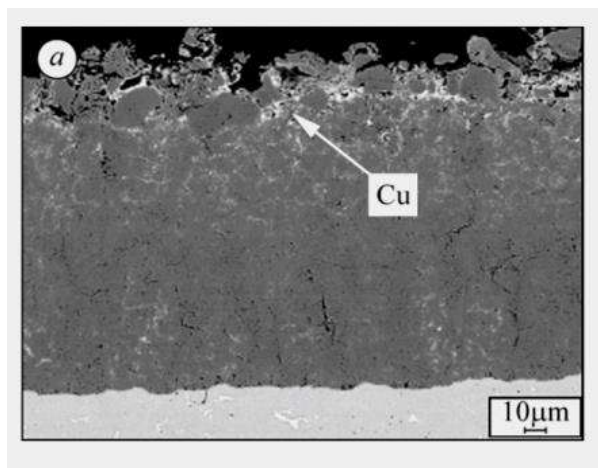


Рис. 1. Мікроструктура ПЕО шару, синтезованого на сплаві Д16Т.

Чиста мідь у ПЕО шарі, синтезованому на Д16Т, високоймовірно утворюється під час ПЕО процесу, коли одночасно утворюються оксиди алюмінію та міді. Залишок розплаву алюмінію відновлює оксид міді до чистої міді [2; 3]. Трибологічні

дослідження сталей 45 та У8 у парі з ПЕО шарами в роздільних середовищах (мінеральна олива І-20 із додаванням дистильованої води та водного розчину гліцерину) виявили відмінності фрикційної поведінки контактних пар. Зношення дисків не фіксується гравіметричним методом, а результати зносу сталей подано на рис. 2.

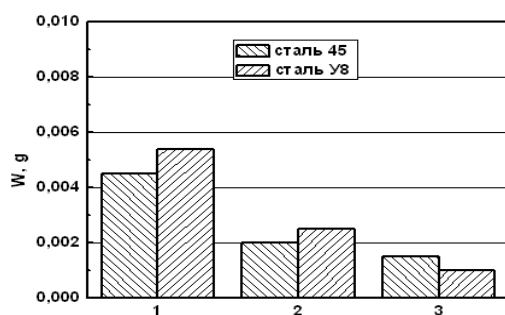


Рис. 2. Знос сталей 45 та У8 у парі з ПЕО шарами, синтезованими на сплаві Д16Т в мінеральній оливі І-20 (1), з додаванням 0,5 vol. % дистильованої води (2) та 1 vol. % 2,5 % водного розчину гліцерину (3). Питоме навантаження 4 МПа. Час випробувань 4 год.

Встановлено, що коефіцієнти тертя й температура триборозігріву при додаванні до мінеральної оливи водного розчину гліцерину найнижчі (рис. 3).

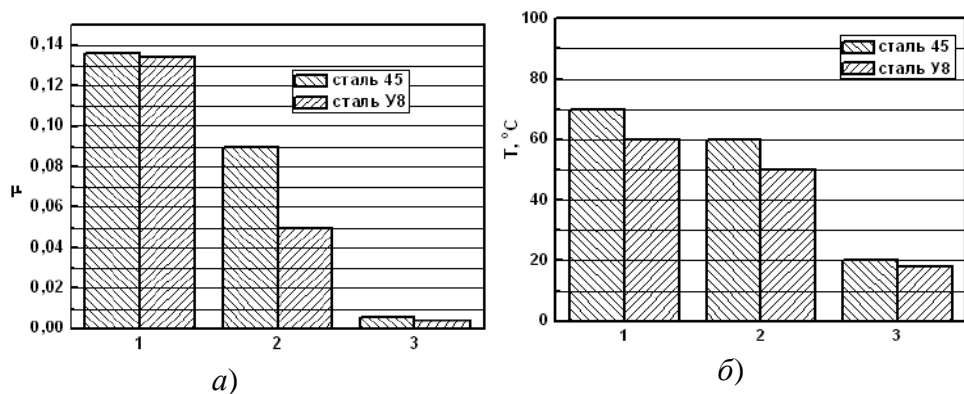


Рис. 3. Усереднені значення коефіцієнтів тертя (а) та температури триборозігріву (б) у фрикційних парах (час випробувань 4 год):

1 – ПЕО шари на сплаві Д16 – сталі 45, У8 у мастилі І-20 (контактне навантаження 4 МПа); 2 – мастило І-20 (додаванням 0,5 % vol. дистильованої води); 3 – мастило І-20 (з додаванням 1 % vol. 2,5 % водного розчину гліцерину), контактне навантаження 3 МПа.

Дослідженнями змін трибологічних параметрів зазначених контактних пар за різних навантажень (рис. 4) виявлено, що додавання

водного розчину гліцерину до мінеральної оливи суттєво змінює трибологічну поведінку контактних пар.

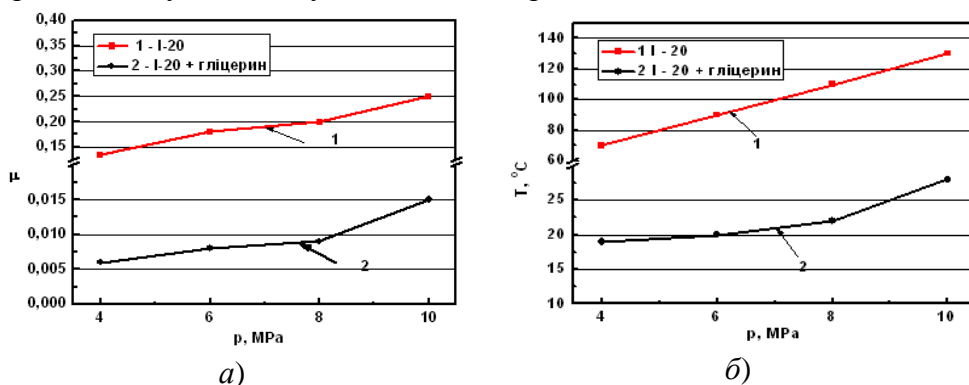


Рис. 4. Усереднені значення коефіцієнтів тертя (а) та температур триборозігріву (б) за зміни питомого навантаження у фрикційній парі сталь 45 – ПЕО шар на сплаві Д16Т (час випробувань 4 год):

1 – індустріальна олива I-20; 2 – індустріальна олива I-20 (з додаванням 1 % vol. 2,5 % водного розчину гліцерину).

Коефіцієнт тертя зменшується приблизно у 20 разів, температура триборозігріву зони контакту - приблизно в 5 разів. Такий перебіг процесу за фрикційної взаємодії найімовірніше зумовлений воднем у зоні контакту. За додавання водного розчину гліцерину до оливи I-20 після трибологічних випробувань на сталевих поверхнях за контактування з ПЕО шаром, синтезованим на сплаві Д16Т, не виявлено перенесення міді на сталеву поверхню в активному середовищі. Ймовірно [6], що вибіркоче перенесення, як і процес водневого зношування та трибосинтез вторинних структурна поверхнях тертя, зумовлені впливом водню в іонній формі в зоні контакту, оскільки саме протон водню (H^+) є рушійною і транспортувальною силою за фрикційної взаємодії. Можливими також є прояв каталітичної дії ювенільної поверхні заліза (як перехідного металу), утворення атомарного кисню, його взаємодія з атомарним воднем і синтез води. Про це можуть свідчити ендотермічні реакції в зоні контакту. Такий перебіг трибологічного процесу забезпечує безокиснювальне зношування сталевих контртіл, працездатність досліджених контактних пар до навантажень 10 МПа із низкою температурою фрикційного розігріву.

Висновки. Дослідженнями трибологічної поведінки контактних пар (синтезовані на алюмінієвому сплаві Д16Т ПЕО шари в парі зі сталями 45, У8) виявлено, що додавання водного розчину гліцерину до

мінеральної оливи I-20 суттєво змінює їх трибологічну поведінку: коефіцієнт тертя зменшується у 20 разів, температура триборозігріву – у 5 разів. Спостерігається безокиснювальне зношування сталених контргіл.

Бібліографічний список

1. Гордиенко П. С. Образование покрытий на аноднополяризованных электродах в водных электролитах при потенциалах пробоя и искрения / П. С. Гордиенко. – Владивосток : Дальнаука, 1996. – 216 с.
2. Tribological properties of combined metal-oxide–ceramic layers on light alloys / M. M. Student, V. M. Dovhunyuk, M. D. Klapkiv [et al.] // *Materials Science*, – 2012. – Vol. 48, No. 2. – P. 1956–1960.
3. Dehnavi V. Surface Modification of Aluminum Alloys by Plasma Electrolytic Oxidation Electronic : Thesis and Dissertation Repository / V. Dehnavi. – 2014. – 216 p.
4. Phase transformation in plasma electrolytic oxidation coatings on 6061 aluminum alloy / V. Dehnavi, X. Y. Liu, B. L. Luan [et al.] // *Surface & Coatings Technology*. – 2014. – 251. – P. 106–114.
5. Boundary and elastohydrodynamic lubrication studies of glycerol aqueous solutions as green lubricants / Y. Shi, I. Minami, M. Grahn [et al.] // *Tribology International*. – 2014. – 69. – P. 39–45.
6. Гаркунов Д. Н. Триботехника. Водородное изнашивание деталей машин / Д. Н. Гаркунов, Г. И. Суранов, Ю. А. Хрусталева. – Ухта, 2007. – 260 с.

Довгуник В., Студент М., Калахан О. Особливості трибологічної поведінки сталей 45 та У8 у парі з плазмово-оксидокерамічними шарами, синтезованими на сплаві Д16Т

У статті наведено результати досліджень трибологічної поведінки контактних пар: ПЕО шари, синтезовані на сплаві Д16Т у парі зі сталями 45 та У8. Виявлено, що за додавання водного розчину гліцерину до мінеральної оливи I-20 суттєво змінюється трибологічна поведінка тріади: коефіцієнт тертя зменшується приблизно у 20 разів, температура триборозігріву – у 5 разів; реалізується процес безокиснювального зношування сталених контргіл.

Ключові слова: оксидокерамічні шари, тертя, зношування, сталь.

Dovhunya V., Student M., Kalakhan O. Peculiarities of tribological behavior of steel 45 and U8 coupled with PEO layers, synthesized in the alloy D16T.

The article contains results investigations tribological behavior of the contact: pairs PEO layers synthesized in the alloy D16T coupled with steel 45 and U8. Found that by the addition of an aqueous solution of glycerol to mineral oil I-20 substantially changed triad tribological behavior: friction coefficient decreases by about 20 times; the trybohiting temperature – by about 5 times and realized the process nonoxidative wear of the steel spesimens.

Key words: plasma oxide ceramic layers, wear, friction, steel.

Довгунык В., Студент М., Калахан О. Особенности трибологического поведения сталей 45 и У8 в паре с плазмово-оксидокерамическими слоями, синтезированными на сплаве Д16Т

В статье приведены результаты исследований трибологического поведения контактных пар: ПЭО слои, синтезированные на сплаве Д16Т в паре со сталями 45 и У8. Обнаружено, что при добавлении водного раствора глицерина в минеральное масло I-20 существенно меняется трибологическое поведение триады: коэффициент трения уменьшается примерно в 20 раз, температура триборазогрева – в 5 раз, реализуется процесс безокислительного изнашивания стальных контртел.

Ключевые слова: оксидокерамические слои, трение, износ, сталь.