

**Криштопа С.І.,
Криштопа Л.І.,
Прунько І.Б.,
Мельник В.М.,
Гнип М.М.**

Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна
e-mail: retes@mail.ru

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ ПАР ТЕРТЯ З ВРАХУВАННЯМ ТРИБОЕЛЕКТРИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 621.891

Проілюстровані експериментальні дослідження знософрикційних властивостей контактів мікровиступів металополімерних пар тертя барабанно - колодкових гальм автотранспортних засобів з врахуванням трибоелектричних явищ.

Ключові слова: металополімерні пари тертя, барабанно-колодкове гальмо, трибосистема, трибоелектрика.

Вступ

Теоретичні дослідження щодо знософрикційних властивостей металополімерних пар тертя барабанно-колодкових гальм з врахуванням трибоелектричних процесів вимагають проведення експериментальної перевірки. Виконання достатньої кількості випробувань металополімерних пар тертя гальмівних пристроїв в стендових умовах дозволяє об'єктивно судити про знософрикційні властивості їхніх поверхневих шарів для оцінки поляризаційних і депольаризаційних процесів залежно від електричних струмів, що генеруються. Це, у свою чергу, дозволить реалізувати процеси термостимульованої депольаризації електричними струмами поверхонь металополімерних пар тертя гальмівних пристроїв та знизити зношування поверхонь.

Мета роботи – отримання експериментальних даних зі знософрикційних властивостей металополімерних пар тертя гальм автотранспортних засобів з врахуванням трибоелектричних процесів.

Стан проблеми

Специфіка металополімерних матеріалів полягає в тому, що їх робота в трибоспряженнях супроводжується процесами трибоелектризації [1, 2], а також деструкції з утворенням різних фаз, які повертаючись в первинний стан мають інші енергетичні рівні поверхневих шарів. Одержані таким чином хімічно активні продукти взаємодіють з шорсткими плямами контактів мікровиступів металевого елемента [3]. Відомо, що пара тертя «полімер-метал» має різну енергонавантаженість під час фрикційної взаємодії трибоспряження [4]. Поверхневий і підповерхневий шари полімерної накладки є накопичувачами зарядів, об'єм і властивості яких змінюються залежно від їхньої енергонавантаженості. Останнє в значній мірі впливає на електричне і теплове поля. Крім того, мікровиступи контактів металевого елемента беруть активну участь у формуванні трибоелектроланцюгів [5]. Під час тертя спостерігається локальний контакт мікровиступів, при цьому під час контакту електрони та іони переміщуються з одного тіла до другого. Контактна різниця потенціалів двох тіл виникає внаслідок переходу електронів через контакт від тіла з меншою енергією виходу електронів до тіла з більшою енергією. При цьому електрони та іони можуть переходити як від діелектрика до металу, так і навпаки, заряджаючи поверхню діелектрика як позитивно, так і негативно відносно поверхні металу. Виходячи з вищевикладеного є актуальними експериментальні дослідження знософрикційних властивостей металополімерних пар тертя трибосистем.

Постановка задачі

У даній публікації розглянуті експериментальні дослідження містять наступні задачі: встановлення закономірностей характеристик електричних і теплових струмів в трибосистемах; оцінка поляризаційно-деполяризаційних процесів під час електротермомеханічного тертя дво- і тришарових структур; оцінка енергонавантаженості і енергоємності вдосконалених пар тертя гальм в лабораторних і експлуатаційних умовах; оцінка довговічності фрикційних накладок в різних типах вузлів тертя гальм.

Вибір об'єктів для випробувань, необхідного устаткування, вимірювальних приладів і апаратури

Мета і задачі експериментальних досліджень із знософрикційних властивостей металополімерних пар тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів визначили вибір об'єктів для випробу-

вань, необхідного устаткування, вимірювальних приладів і апаратури. Схема випробовувань металополімерних пар гальмівних пристроїв під час трибоелектричної взаємодії наведена на рис. 1. Як об'єкти випробувань були прийняті фрикційні вузли модельного барабанно-колодкового гальма автотранспортного засобу КраЗ-250 (табл. 1). Для дослідження фрикційних вузлів барабанно-колодкових гальм транспортних засобів використовувався діагностичний стенд гальмівних систем КІ-8964. Стенд моделі КІ-8964 призначений для визначення технічного стану гальмівних систем автомобілів шляхом вимірювання гальмівної сили, а також вимірювання часу спрацювання приводу і сили натискання на педаль гальм. Загальний вигляд стенду та проведення експериментальних досліджень барабанно-колодкових гальм транспортних засобів проілюстровано на рис. 2.

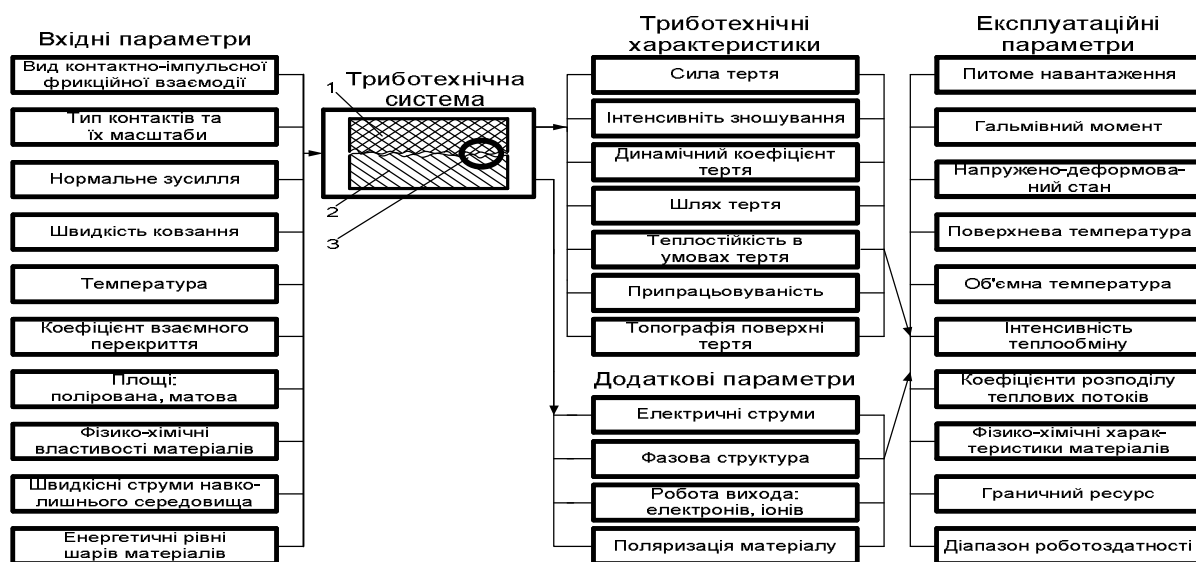


Рис. 1 – Схема триботехнічних випробовувань металополімерних пар барабанно-колодкових гальм під час трибоелектричної взаємодії:

- 1 – полімерна накладка;
2 – металевий елемент;
3 – мікроступи пари тертя

Таблиця 1

Геометричні характеристики елементів тертя фрикційного вузла заднього гальмівного механізму автотранспортного засобу КраЗ-250

Основні елементи тертя	Параметри і матеріали
Гальмівний барабан:	
внутрішній діаметр, мм	420,0
ширина обода, мм	200,0
товщина обода, мм	15,0
площа робочої поверхні гальмівного барабана, м ²	0,52752
матеріал гальмівного барабана	СЧ-20
маса гальмівного барабана, кг	48,6
Фрикційна накладка:	
товщина, мм	16,0
робоча товщина, мм	10,0
кут обхвату накладкою робочої поверхні барабана, град.	60
кількість накладок	4
сумарна площа робочих поверхонь накладок, м ²	0,10615
коефіцієнт взаємного перекриття	0,577
матеріал фрикційної накладки	131-02-83
маса фрикційної накладки, кг	5,2

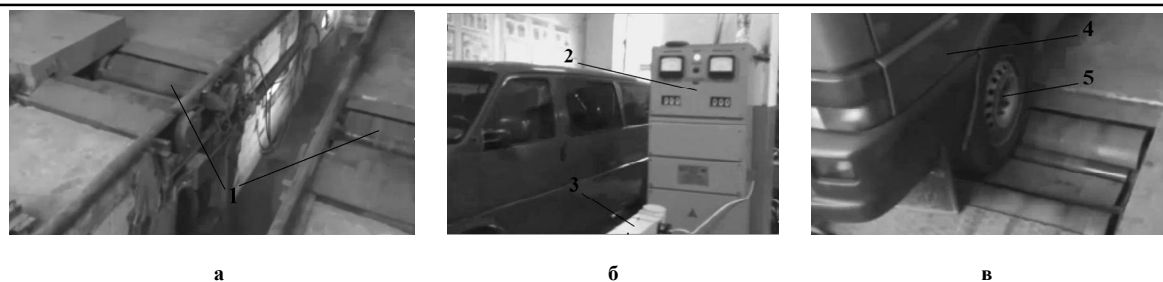


Рис. 2 – Загальний вигляд стану KI-8964 ГОСНИТИ:

- а – блок барабанів;
 б – пульта управління;
 в – проведення експериментальних досліджень барабанно-колодкових гальм транспортних засобів;
 1 – бігові барабани стану; 2 – вимірювальний блок;
 3 – пульт дистанційного керування; 4 – транспортний засіб;
 5 – барабанно-колодкове гальмо

Для дослідження фрикційних вузлів барабанно-колодкових гальм транспортних засобів використовувався стенд з модельним гальмом (рис. 3). Стенд призначений для встановлення закономірностей зміни характеристик електричних і теплових струмів, поляризаційних і деполіризаційних процесів під час електротермомеханічного тертя, оцінки енергоємності гальма та довговічності фрикційних накладок.

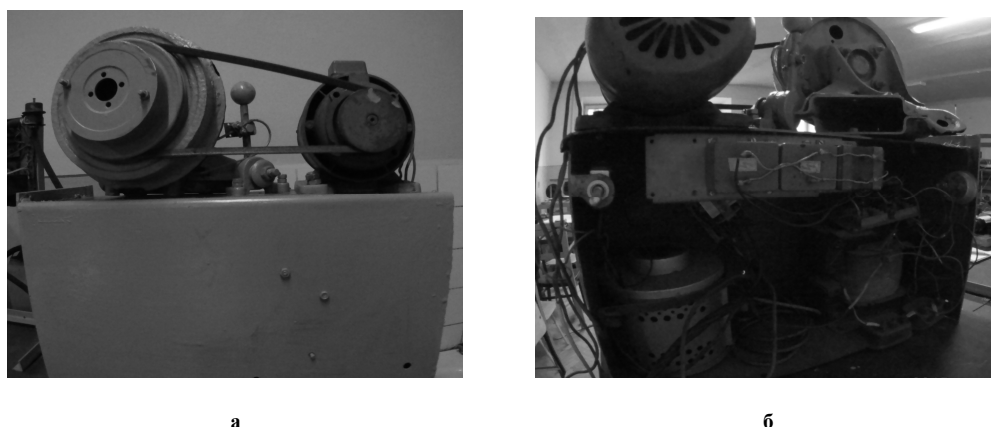


Рис. 3 – Загальний вигляд стану з модельним барабанно-колодковим гальмом:

- а – барабанно-колодкове гальмо з електроприводом;
 б – пульт управління з електросиловою частиною.

Для фіксації даних зміни контактної різниці потенціалів пар тертя на персональний комп'ютер, контактні поверхні підключалися до ноутбука через аналого-цифровий перетворювач комп'ютерного осцилографа USB Oscilloscope (рис. 4, а). Одержані значення контактної різниці потенціалів пар тертя оброблялись за допомогою програмного забезпечення комп'ютерного осцилографа USB Oscilloscope (рис. 4 б). У табл. 2 наведені його основні характеристики.

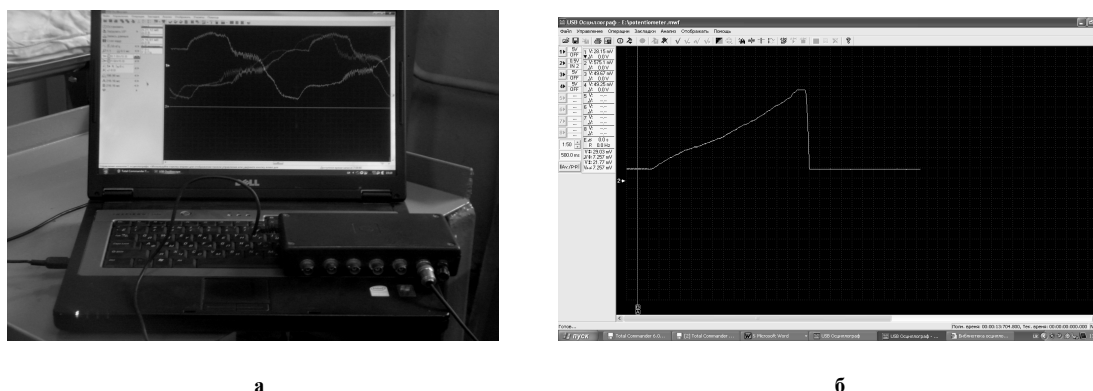


Рис. 4 – Комп'ютерний осцилограф USB Oscilloscope (а) та його програмне забезпечення (б)

Основні характеристики аналого-цифрового перетворювача комп'ютерного осцилографа USB Oscilloscope

Найменування характеристики	Показники
Вид роботи	аналоговий осцилограф; цифровий аналізатор
Режими роботи	реальний час; запис; відтворення
Кількість паралельних каналів	8
Діапазони вимірювань потенціалу, мВ	0,1 - 15000
Діапазони вимірювань частоти, кГц	0 - 500

Результати експериментальних досліджень знософрикційних властивостей пар тертя гальмівних пристроїв в лабораторних і експлуатаційних умовах

Встановлено, що контактна різниця потенціалів складається з постійної та імпульсної (або змінної) складової. Постійна складова залежить, в основному, від матеріалів контактуючих поверхонь та поверхневих температур, а імпульсна, переважно, залежить від флуктуацій електротермічного опору в контакті та коливань енергії поверхонь тертя. Імпульсна складова істотно більше впливає на знософрикційні властивості пар тертя фрикційних вузлів, ніж величина постійної складової контактної різниці потенціалів. На рис. 5, а, б проілюстровані залежності імпульсної контактної різниці потенціалів пар тертя „сталь 34 Л – ретинакс ФК-24А” модельного гальма в хвильовому та спектральному режимах при температурі 320 °С, зафіксовані за допомогою цифрового комп'ютерного осцилографа USB Oscilloscope.

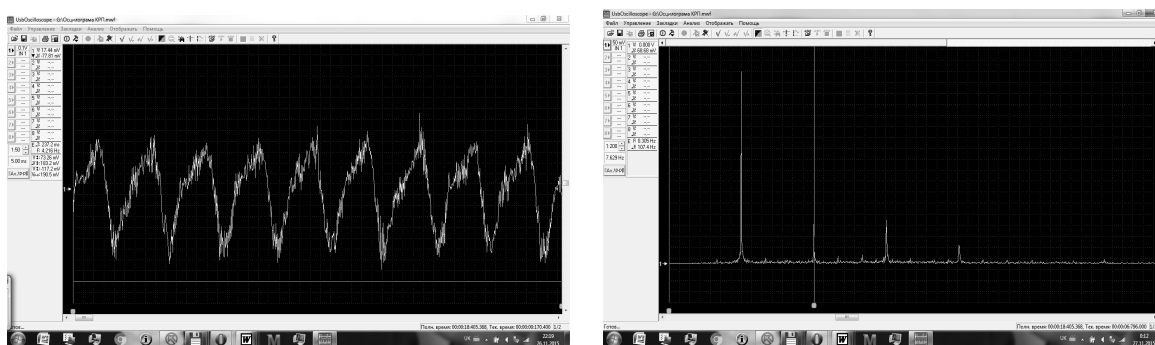


Рис. 5 – Залежності контактної різниці потенціалів пар тертя „сірий чавун СЧ 20 – шифр 1-43-60А” модельного барабанно-колодкового гальма в хвильовому (а) та спектральному (б) режимах при температурі 320 °С

На контактну різницю потенціалів суттєво впливає поверхнева температур контактуючих тіл. Якщо одне з тіл нагрівається більше, то з нього в друге тіло спрямовуються електронні або іонні термоструми. Різниця потенціалу зростає також при збільшенні площі контактуючих тіл. Заряди контактуючих тіл мають різні знаки, але однакову величину. На рис. 6 проілюстровані залежності постійної складової контактної різниці потенціалів пар тертя гальм від поверхневої температури накладок при різних питомих навантаженнях. Як видно з рис. 6, а для фрикційної пари сірий чавун СЧ 20 – полімер шифру 2141 гальма маємо ситуацію, коли металевий фрикційний елемент заряджається позитивно відносно фрикційних накладок. Збільшення потенціалу на контакті при збільшенні температури накладок пояснюється тим, що при нагрівання збільшується енергетичний рівень електронів матеріалу металевого фрикційного елемента, що, в свою чергу, призводить до зростання різниці потенціалів на контакті. Необхідно зазначити, що в діапазоні 380 - 400 °С спостерігається істотне зростання потенціалу на контакті. Це пояснюється початком переходу фенолформальдегідної смоли в рідку фазу та зменшення електричного опору в контакті. При температурах 550 - 600 °С інтенсивність зростання потенціалу на контакті падає. Це пов'язано з зменшенням рідкої фази в контакті, а при температурах приблизно 700 °С і вище рідка фаза зникає зовсім (вигорає). Це призводить до збільшення електричного опору в контакті та зниження емісії електронів.

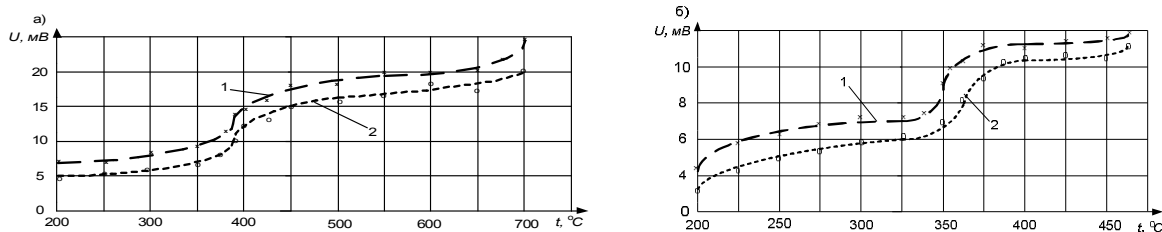


Рис. 6 – Залежності електричного потенціалу фрикційних пар „сірий чавун СЧ 20 – полімер шифру 2141” (а) та „сірий чавун СЧ 20 – шифр 1-43-60А” (б) від поверхневої температури накладок:
1 – при питомому навантаженні $p=0,5$ МПа;
2 – при питомому навантаженні $p=0,7$ МПа

Як випливає з рис. 6 б для фрикційної пари сірий чавун СЧ 20 – шифр 1-43-60А барабанно-колодкового гальма автомобіля КраЗ також має ситуацію, коли гальмівний барабан заряджається позитивно відносно фрикційних накладок. Деяке локальне зниження потенціалу на контакті в діапазонах до 330 та вище 400 °С при збільшенні температури накладок пояснюється тим, що для матеріалу шифру 1-43-60А накладки при нагрівання зменшується енергетичний рівень електронів, що, в свою чергу, призводить до зниження різниці потенціалів на контакті. При цьому, зростання потенціалу на контакті в діапазоні 330-400 °С пояснюється, як і в попередньому випадку, різким падінням електричного опору.

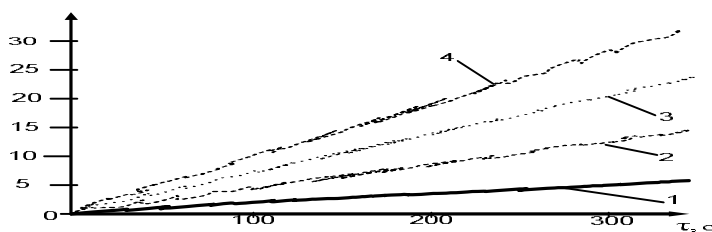


Рис. 7 – Залежності трибострумів від часу (τ) фрикційної взаємодії пари „сталь 60 Г – полімер шифру 2141” за різних швидкостей ковзання (v):
1 – $v = 0,8$ м/с; 2 – $v = 1,2$ м/с;
3 – $v = 2,0$ м/с; 4 – $v = 2,5$ м/с

В лабораторних умовах на машині тертя УМТ 2168 для фрикційної пари сталь 60 Г – полімер шифру 2141 була отримана залежність струмів електризації від швидкості ковзання та часу при питомих навантаженнях $p=0,2$ МПа (рис. 7). Отримана діаграма зміни струму у парі тертя «колодочка-диск» показала, що струми є достатньо нестабільними. Причому амплітуди струмів збільшуються зі зростання швидкості ковзання. При зростання швидкості ковзання інверсія струму також збільшується, при цьому величина струму зростає при збільшенні часу взаємодії фрикційної пари. Напрямки і величини згенерованих на поверхнях фрикційних пар струмів залежать від роботи виходів електронів та іонів з поверхонь пар тертя.

Зупинимося на розгляді температурних залежностей електричного струму, що протікає через тришарові металополімерні структури. Важливою зоною температурних залежностей є діапазон фазового переходу при переході фенолформальдегідної смоли з твердої в рідку фазу. При цьому за рахунок зменшення електричного опору контакту фіксується різке збільшення струму. Приклад реєстрації фазового переходу за величиною струму, що протікає через тришарову структуру „метал – полімер – метал” барабанно-колодкового гальма показано на рис. 8.

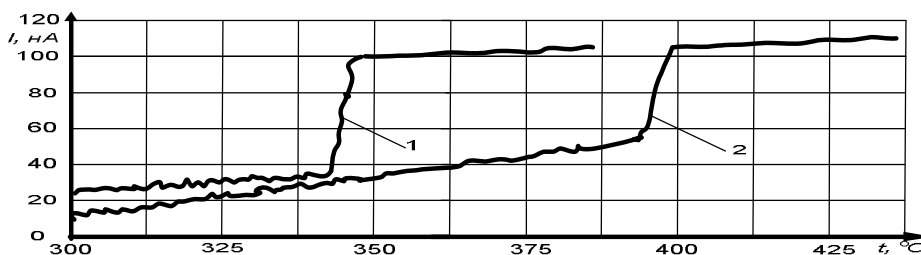


Рис. 8 – Температурна залежність струму, що протікає через тришарову структуру „метал (M_1)-полімер-метал (M_2)”:
1 – сірий чавун СЧ 20 - полімерний матеріал шифр 1-43-60А - сталь 55;
2 – сталь 34 Л - шифр 6КФ-59- сталь 50

Швидкість ковзання при питомих навантаженнях $p = 0,2$ МПа складала $v = 0,8$ м/с, темп нагрівання фрикційної пари – $5,0$ °С/с. Вертикальні ділянки експериментальних кривих в відповідають температурам плавлення фенолформальдегідної смоли фрикційної накладки. Можна констатувати наскільки велика зміна вимірюваного параметра – величини електричного струму, що протікає через тришарову структуру. При температурах, менших за температури фазового переходу, видні наростаючі із збільшенням температури флуктуації струму – так звані передпереходні флуктуації, які пояснюються в деяких роботах пошаровим моноатомним плавленням поверхні, що передує об'ємному фазовому переходу. Зупинимося на залежності термостимульованого розряду двошарової структури (рис. 9), що складається з двох шарів з діелектричними проникностями ε_1 і ε ; провідностями $g_1(\tau)$, $g(\tau)$ та товщинами s_1 , s .

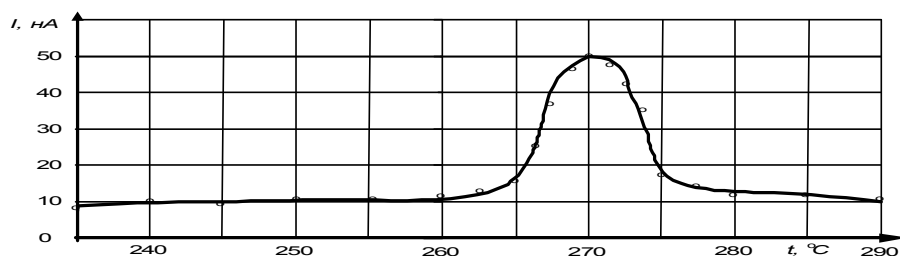


Рис. 9 – Графічна залежність розрядного струму, що генерується в контакті двошарових структур, від поверхневої температури при питомих навантаженнях 0,4 МПа в парі „сірий чавун СЧ 20 – полімер шифру 2141”

Залежність досліджувалась на машині тертя УМТ 2168 для фрикційної пари сірий чавун СЧ 20 – шифр 2141. Спочатку під час тертя відбувається процес електризації на даній міжфазній границі і при цьому утворюється поверхневий заряд з густиною σ . Оскільки для даної пари струми провідності у верхньому і нижньому шарах рухаються назустріч один одному, то вони значною мірою нейтралізують заряд σ . Залежно від того, яке з відношень більше: $\varepsilon/\varepsilon_1$ або g/g_1 , струм розряду може бути додатні або від'ємним.

Висновки

Таким чином, у результаті проведених експериментальних досліджень знософрикційних властивостей металополімерних пар тертя гальмівних пристроїв в лабораторних і експлуатаційних умовах під час трибоелектричної взаємодії встановлені наступні закономірності зміни:

- контактної різниці потенціалів металополімерних пар тертя барабанно-колодкового гальма в хвильовому та спектральному режимах;
- електричного потенціалу металополімерних фрикційних пар від поверхневої температури накладок;
- циркулюючих трибострумів від часу фрикційної взаємодії пари за різних швидкостей ковзання;
- циркулюючих трибострумів через тришарову структуру „метал-полімер-метал” від поверхневої температури;
- генерованих трибострумів в контакті двошарових структур від поверхневої температури.

Література

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Берлиндер, Э.Д. Браун и др. Под. общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
2. Мамедов Р.К. Контакты металл-полупроводник с электрическим полем пятен / Р.К. Мамедов. – Баку: Госуниверситет, 2013. – 231 с.
3. Криштопа С. И. Поведение материалов при контактно-импульсном фрикционном взаимодействии в электрическом и тепловом поле / С. И. Криштопа // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2014. – Вип. 62. – С. 46-53.
4. Криштопа С. И. Оценка энергонагруженности металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза / С. И. Криштопа // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2014. – Вип. 63. – С. 61-70.
5. Криштопа С. И. Контактно-импульсное взаимодействие различных типов контактов в металлополимерных парах трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки / С. И. Криштопа // Вестник Азербайджанской инженерной академии. – Баку, 2013. – Том 5, № 3. – С. 38-49.

Поступила в редакцію 10.12.2016

Kryshtopa S.I., Kryshtopa L.I., Prunko I.B., Melnyk V.M., Hnyp M.M. **Steam experimental researches of metal polymer friction taking into account triboelectric processes.**

Specific of metal polymer materials consists on their work in tribopairs is accompanied by the processes of triboelectrization and also destructions with formation of different phases which going back into initial stance have other power levels of superficial and subsuperficial layers. Active products being get thus chemically co-operate with the rough spots of contacts of microledges of metallic element. It is known that friction pair «polymer-metal» has a different energy loading in friction co-operation of tribopairs. Superficial and subsuperficial layers of polymeric protective strap are the stores of charges volume and properties of which change depending on their energy loading. The last one makes huge affects on mechanical, electric and thermal the fields. In addition, microledges of contacts of metallic element participate actively in forming of triboelectrochain. During friction process there is the local contact of microledges here during the contact the electrons and ions move from one body to second one. The contact difference of potentials of two bodies arises up as a result of transition of electrons through the contact from a body with less energy of electron output to the body with greater energy. Thus electrons and ions can pass both from a dielectric to the metal and vice versa charging surface of dielectric both positively and negatively in relation to the surface of metal. Coming foregoing from there are actual experimental researches of wearing properties of metal polymer pairs of friction of tribosystem.

Keywords: metal polymer friction pairs, drum-block brake, tribosystem, triboelectricity.

References

1. Chichinadze A.V. Friction, Wearing out & Greasing (Tribology and Tribotechnic). A.V. Chichinadze, E.D. Berlinder, E.D. Braoun ect. By general edition of A.V. Chichinadze. M.: Mashinostroenie, 2003. 576 p.
2. Mamedov R.C. Contacts of Metal-Conduction with Electric Field of Spots. Baku: Gas university, 2013. 231 p.
3. Kryshtopa S. I. Materials Behaving at Contact-Impulsive Friction Co-operation in Electric and Thermal Field. Problems of Friction and Wearing: sciences.-tech. coll. Kyiv: NAU, 2014. Vol. 62. pp. 46–53.
4. Kryshtopa S. I. Energy Loading Mark of Metal Polymer Friction Pairs of Band-Block Brake Units. Problems of Friction and Wearing: sciences.-tech. coll. Kyiv: NAU, 2014. Vol. 63. pp. 61–70.
5. Kryshtopa S. I. Contact-Impulse Co-operation of Different Types of Contacts in Metal Polymer Friction Pairs of Band-Block Brake Units of drilling hoist. Announcer of Azerbaijanian engineering academy. Baku, 2013. Vol. 5 № 3. pp. 38–49.