

НАНОТРИБОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ПАРАХ ТЕРТЯ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ (ЧАСТИНА ПЕРША)

Д.О. Вольченко, М.О. Вольченко, І.О. Бекіш, Я.В. Куриляк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42195,
e-mail: public@nimg.edu.ua

У матеріалах статті на рівні нанотрибології розкрито: динамічне контактування, контактне зміщення у зоні взаємодії, стан приповерхневих шарів та електричний баланс струмів у зоні контактування пар тертя гальмівних пристроїв

Ключові слова: наноматеріали, пари тертя, фрикційний вузол, гальмівний пристрій

В матеріалах статті на рівні нанотрибології розкрито: динамічне контактування, контактне зміщення в зоні взаємодії, стан приповерхневих шарів та електричний баланс струмів у зоні контактування пар тертя гальмівних пристроїв

Ключевые слова: наноматериалы, пары трения, фрикционный узел, тормозное устройство

Dynamic contact, pin displacement in the area of co-operation, state cover layers and electric balance of currents in the area of brake devices friction pairs were represented at this article. Scientific base of these work were the data of the nano-tribology

Keywords: nano-materials, friction pairs, frictional node, brake devices

Вступ. За останні 15 років спостерігається бурхливий розвиток наноматеріалів на основі вуглецевих сполук. До таких матеріалів відносяться тубулени (вуглецеві нанотрубки), фуллерени та графени. Ці матеріали знаходять все ширше застосування в медицині, цифровій електроніці, засобах телекомунікації, відображення інформації та інших галузях. Ймовірно, що найближчим часом наноматеріали знайдуть своє застосування як складові у фрикційних матеріалах для накладок гальмівних пристроїв. Тож, виходячи з цього, розглянемо нанотрибологічні процеси в парах тертя гальмівних пристроїв.

Стан питання. Інтенсивний розвиток нанотрибології поверхневих і приповерхневих шарів металевих та полімерних фрикційних елементів гальмівних пристроїв в інтервалі робочих температур для їхніх матеріалів дозволяють дати чітку та правильну оцінку фізичного явища – інверсії струмів між їхніми парами тертя.

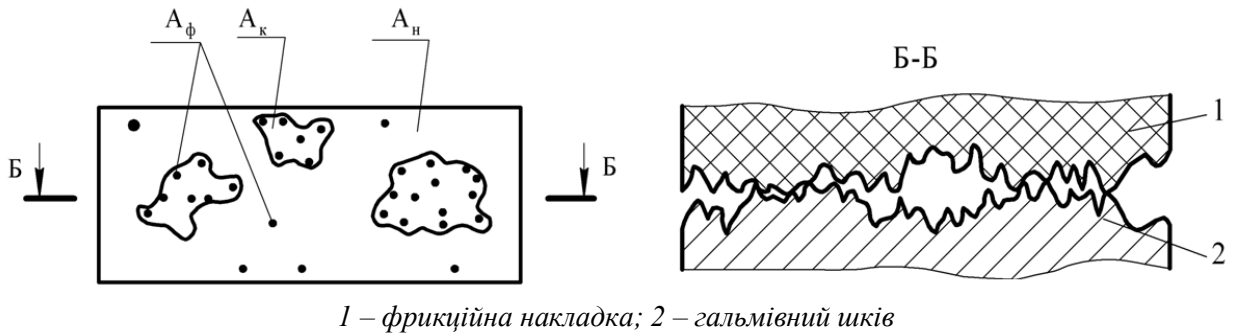
І.В. Крагельський [1,2] зауважив, що утворення холодної плазми в поверхнях тертя та її поведінка в зазорі між парами тертя до цього часу не досліджені. Він підкреслив, що процеси, які зумовлюють працездатність пари тертя, протікають в дуже тонкому поверхневому шарі. Глибина активно деформованої зони складає мікрони та десятки його часток (мкм). Вирішальну роль відіграє величина опору на зсув плівки, товщина якої не перевищує десятих і сотих часток мікрона. Вивчення її природи та структури є важливим завданням, оскільки плівки металевого та полімерного фрикційних елементів сприяють формуванню подвійних електричних шарів і виступають складовими мікротермобатарей.

Автори роботи [3] стверджують, що при фрикційній взаємодії полімерів з металами виявлено явище множини інверсій струмів електризації. Як одиничні, так і множини інверсії струмів зареєстровані при контактуванні полярних та неполярних полімерів з металами, а також при динамічному контактуванні з металами дисперсних полімерів.

Динамічне контактування пар тертя гальмівних пристроїв. Взаємодія багатопарних фрикційних вузлів стрічково-колодкового гальма має свої особливості. Під впливом навантаження дві контактуючі поверхні торкаються, і вdotик входять окремі мікроступи (рис. 1), що є мікронерівностями, розміщеними на вершинах хвиль контактуючих поверхонь зовнішніх та внутрішніх пар тертя стрічково-колодкового гальма. У зв'язку з цим виділяють такі площі контакту: номінальну, контурну і фактичну.

Номінальна площа контакту (A_n) – це геометричне місце всіх можливих фактичних ділянок контакту. Ця площа обмежена розмірами взаємодіючих поверхонь зовнішніх та внутрішніх фрикційних вузлів гальма і є незмінною.

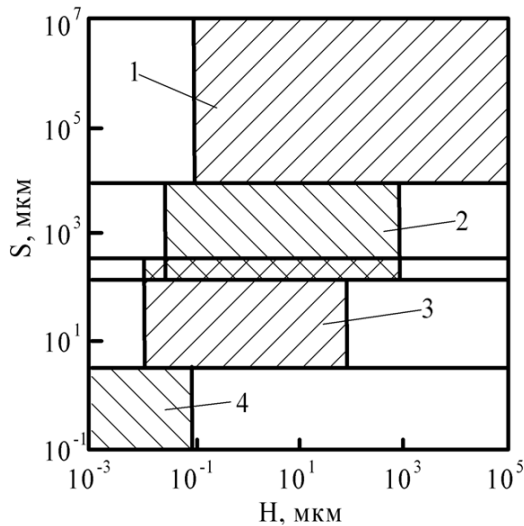
Контурна площа контакту (A_k) утворюється внаслідок деформації мікронерівностей взаємодіючих поверхонь. На контурній площі розміщено фактичні ділянки контакту. Залежно від рельєфу контактуючих поверхонь зовнішніх та внутрішніх пар тертя гальма та зовнішньої дії на кожну з них нормальної сили величина контурної площі може складати до десятків відсотків від усієї номінальної площі контакту. Площа окремих контурних ділянок змінюється від одиниць до десятків квадратних міліметрів. При взаємодії двох хвилястих поверхонь тертя контурні площі контактів можуть значно змінюватися у часі. Це зумовлено змінами мікро-



1 – фрикційна накладка; 2 – гальмівний шків
Рисунок 1 – Схема контактування внутрішніх пар тертя багатопарного стрічково-колодкового гальма

рельєфу поверхонь, питомих навантажень, теплофізичних та фізико-механічних властивостей матеріалів, нестабільністю термопружного контакту, зношуванням та ін.

Класифікацію мікронерівностей за висотою H та кроком S внутрішніх пар тертя багатопарних стрічково-колодкових гальм наведено на рис. 2.



1 – макровідхилення; 2 – хвилястість; 3 – шорсткість; 4 – субшорсткість

Рисунок 2 – Класифікація мікронерівностей за висотою H та кроком S внутрішніх пар тертя багатопарних стрічково-колодкових гальм

Номінальну, контурну і фактичну площу взаємодії зовнішніх і внутрішніх пар тертя багатопарних стрічково-колодкових гальм з урахуванням форми перерізу (рис. 3 а,б) можна звести до геометричних фігур (квадрата, круга, прямокутника та ін.). В даному випадку площі плям контактування поверхонь взаємодії зведено до круга (рис. 3 а, б), що дає змогу визначити їхнє співвідношення через відношення квадратів радіусів. Так, наприклад, $\frac{A_n}{A_k} = \frac{r_n^2}{r_k^2}$;

$\frac{A_k}{A_\phi} = \frac{r_k^2}{r_\phi^2}$; $\frac{A_n}{A_\phi} = \frac{r_n^2}{r_\phi^2}$. При цьому можливі й ін-

ші комбінації відношень площ контакту поверхонь взаємодії пар тертя гальма.

Фактична площа контакту (A_ϕ), утворена взаємодією мікровиступів зовнішніх та внутрішніх поверхонь тертя гальма, є найбільш цікавою, оскільки саме на фактичних ділянках контакту відбувається деформація мікровиступів з виділенням теплоти та зношуванням. Фактична площа контакту вказаних пар при терті змінюється в широкому інтервалі: від сотих часток до одиниць відсотків від номінальної площі поверхні тертя.

На кожному рівні геометрії контакту (номінальному, контурному або фактичному) можна вивчати процеси тертя в багатопарних вузлах тертя стрічково-колодкових гальм та визначити поля поверхневих температур.

Температура T_n на номінальній площі контакту A_n визначається так:

$$T_n = \frac{1}{A_n} \int T dA_n, \quad (1)$$

де T – осереднена величина поверхневої температури на номінальній площі контакту перед початком чергового гальмування, $^{\circ}\text{C}$.

Аналогічно визначається температура T_k на контурній ділянці контакту A_k

$$T_k = \frac{1}{A_k} \int T dA_k. \quad (2)$$

В результаті інтенсивного тепловиділення у внутрішніх парах тертя багатопарних стрічково-колодкових гальм контурна температура T_k може в декілька разів перевищувати T_n . На фактичних ділянках контакту (A_ϕ) зовнішніх та внутрішніх пар тертя гальма відбувається перетворення механічної енергії в теплову з її подальшою дисипацією. Фактична температура T_ϕ набагато перевищує контурну T_k . Час існування фактичних ділянок контакту може бути від сотих часток мікросекунди, а швидкість зміни температур на них досягає десятків градусів за 1 мкс (див. рис. 3 а,б).

На основі вищевикладеного перейдемо до оцінки контактного зміщення в зоні взаємодії пар тертя гальмівного пристрою.

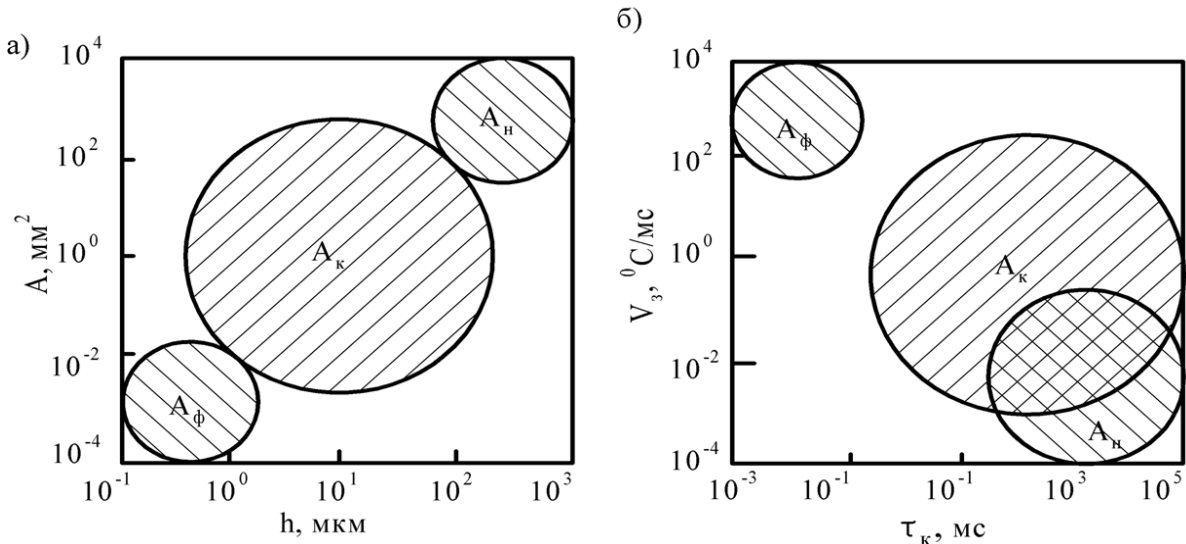


Рисунок 3 – Класифікація температур за площею (A) та товщиною (h) ділянок виміру (а); за швидкістю вимірювання (V_3) та часом контактування (τ_k) (б)

Контактне зміщення в зоні взаємодії пар тертя гальмівного пристрою. Дискретна будова робочої поверхні гальмівного шківів та зовнішньої і внутрішньої поверхонь фрикційних накладок бандажа характеризується шорсткістю. При цьому мікрорівністі зазначених вище поверхонь мають різну висоту. Тому при контактуванні зовнішніх (“зовнішні поверхні накладок - внутрішня поверхня гальмівної стрічки”) та внутрішніх (“внутрішні поверхні накладок - робоча поверхня гальмівного шківів”) пар тертя гальма під навантаженням одні мікрорівністі перебувають в пружному деформуванні, інші – в пластичному. Враховуючи те, що деформаціям піддаються не тільки мікрорівністі, але й зовнішні та внутрішні приповерхневі шари фрикційних накладок, можна по черговий контакт двох пар тертя гальма розглядати як фізико-механічну систему, яка має пружно-пластичні властивості.

При цьому встановлено, що при взаємодії зовнішніх пар тертя гальма наприкінці першої стадії гальмування на їхні поверхні діють пружні деформації. Пояснюється це тим, що мікрорівністі зовнішньої поверхні накладок зрізаються мікрорівністями внутрішньої поверхні гальмівної стрічки на початку першої стадії гальмування. Поверхневі температури зовнішніх пар тертя гальма не досягають допустимої температури для матеріалу зовнішньої поверхні накладок бандажа.

Зупинимося коротко на експлуатаційних параметрах, які суттєво впливають на інтенсивність контактного зміщення в зонах взаємодії внутрішніх пар тертя гальма як найбільш навантажених.

Динамічний коефіцієнт тертя конкретного фрикційного вузла стрічково-колодкового гальма залежить, в основному, від нормального зусилля притискання робочої поверхні фрикційної накладок до бігової доріжки шківів (в серійному гальмі), а також у зовнішніх та внутрішніх парах тертя (в багатопарному гальмі).

При всіх режимах навантаження окремо взятої внутрішньої пари тертя модельного стрічково-колодкового гальма збільшення динамічного коефіцієнта тертя та зменшення питомих навантажень в зоні взаємодії на холодному гальмівному шківі не призводить до зникнення попереднього контактного зміщення. Для окремо взятої внутрішньої пари тертя модельного стрічково-колодкового гальма на гарячому шківі (при його поверхневих температурах $200-300\text{ }^\circ\text{C}$) при всіх режимах навантаження і будь-яких величинах динамічних коефіцієнтів тертя спостерігається зниження попереднього контактного зміщення, що зумовлено появою пластичних деформацій приповерхневого шару накладок.

Динамічний коефіцієнт взаємного перекриття ($k_{\text{вз}}$) в багатопарних фрикційних вузлах стрічково-колодкових гальм впливає на мікрогеометрію поверхонь тертя зовнішніх і внутрішніх пар тертя та умови теплопередачі через їхні металеві елементи. При невеликих значеннях ($k_{\text{вз}}$) значна частина теплоти, яка генерується при гальмуваннях, відводиться від металевих елементів у навколишнє середовище, що сприяє покращенню умов тертя.

При всіх режимах навантаження бандажів фрикційних накладок внутрішніх пар тертя модельного стрічково-колодкового гальма суттєву роль відіграє величина динамічного коефіцієнта взаємного перекриття кожної окремо взятої фрикційної накладок, що знаходиться на холодній поверхні гальмівного шківів. Так, при $k_{\text{вз}} = \text{const}$ відбувається зрив контакту взаємодії, після якого починається послідовне проковзування накладок, починаючи від першої, яка потрапляє під кінець набігаючої гілки стрічки, і до останньої накладок бандажа, яка знаходиться на кінці збігаючої гілки стрічки. У випадку, коли динамічний коефіцієнт взаємного перекриття кожної окремо взятої фрикційної накладок є різним, тобто $k_{\text{вз}} \neq \text{const}$, можливе квазі-

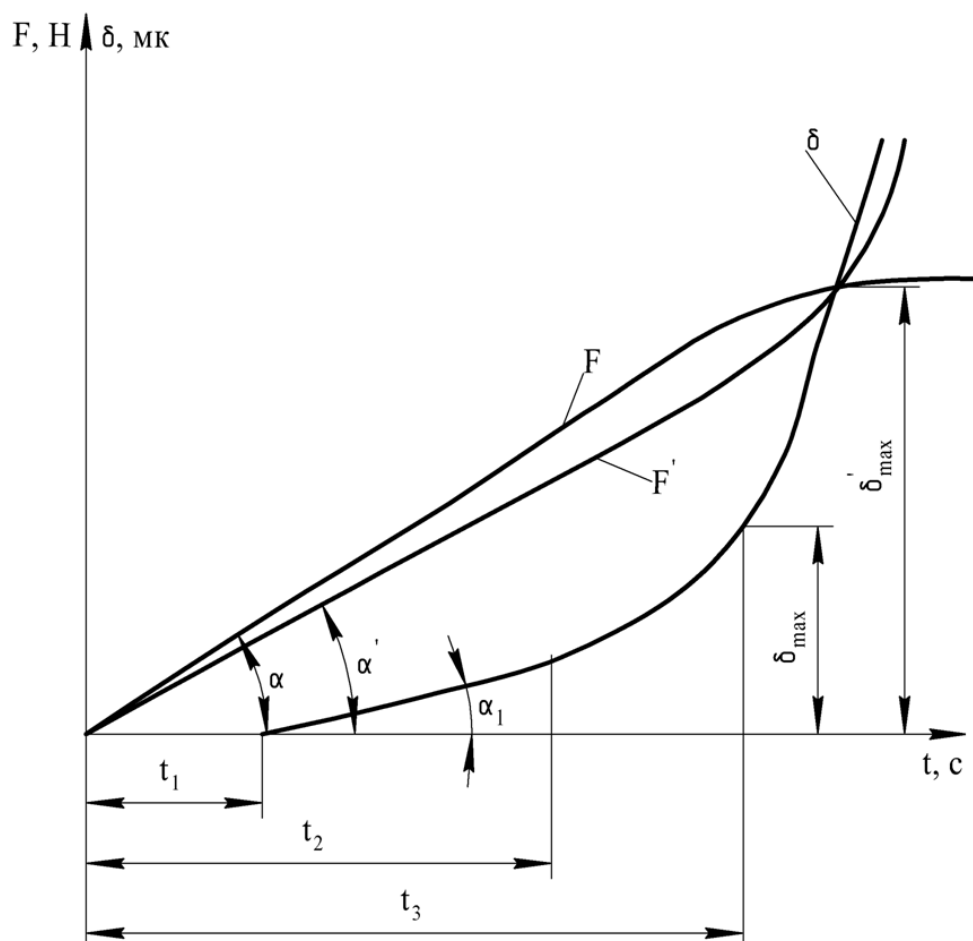


Рисунок 4 – Залежність зсувного зусилля (F) при взаємодії внутрішніх пар тертя гальма та їхнього контактного зміщення (δ) на початку відносного проковзування пари “внутрішня поверхня накладки – робоча поверхня гальмівного шків” під час гальмування тривалістю (t)

одночасне проковзування усіх фрикційних накладок бандажа на дузі охоплення гальмівної стрічки. Така контактна взаємодія внутрішніх пар тертя модельного стрічково-колодкового гальма пояснюється пружно-пластичними властивостями внутрішніх поверхневих шарів фрикційних накладок. У випадку знаходження бандажа накладок на гарячому гальмівному шківі спостерігається зникнення попереднього контакту пар тертя. При цьому збільшується сумарний динамічний коефіцієнт взаємного перекриття, який сприяє зменшенню питомих навантажень та збільшенню динамічного коефіцієнта тертя.

Графік на рис. 4 умовно розбито на дві принципово відмінні ділянки. Перша ділянка в інтервалі часу від t_1 до t_2 характеризується лінійною залежністю δ від t , оскільки протягом цього часу контакт пружно деформується. В інтервалі часу від t_2 до t_3 з появою значних пластичних деформацій мікронерівностей внутрішньої поверхні фрикційної накладки вважаємо, що залежність δ від t є нелінійною. З моменту часу t_3 на контакті “внутрішня поверхня фрикційної накладки – робоча поверхня гальмі-

вного шків” має місце відносне ковзання поверхонь взаємодії. Літерою F позначено зсувне зусилля, що діє на холодній робочій поверхні шків, а F' – на гарячій.

Згідно з методом Джонсона або Коуртнія – Пратта і Ейгнера вважають, що ковзання починається при зсувному зусиллі, що досягає 99,0% від його максимальної величини.

Визначення площі пружно-пластичного контакту у внутрішніх парах тертя модельного стрічково-колодкового гальма за величиною тангенціального зміщення необхідно проводити не тільки з урахуванням нормальних навантажень, зсувної сили, способу обробки поверхонь металевих елементів тертя і т. ін., але й залежно від інтенсивності фізичних, хімічних та механічних процесів, які відбуваються на площі контакту. Особливо це стосується внутрішніх приповерхневих шарів фрикційних накладок бандажа.

Стан приповерхневих шарів пар тертя при дії теплового навантаження в гальмівних пристроях. В табл. 1 наведені фактори, які діють на матеріали пар тертя, їхні поверхні розділу, поверхневі та приповерхневі шари фрикційних елементів, а також на шари, що виконують роз-

Таблиця 1 – Чинники, що впливають на матеріали пар тертя, їх поверхні і приповерхневі шари фрикційних елементів, а також на розділяючі шари середовища

Дія на:	матеріали пари тертя	термодинамічних параметрів: теплоємності, ентальпії, ентропії, потенціалу; здатністю до фазових перетворень; опором проникненню водню; хімічною активністю і рівновагою їхніх реакцій
	поверхні розділу пар тертя	зовнішнього електричного і електромагнітного полів і їх потенціалів; вільної поверхневої енергії; поглинальної і випромінювальної здатності; темпами нагрівання і охолодження
	поверхневі шари металевого фрикційного елемента	контактною різницею потенціалів; адсорбційним пониженням міцності; первинною і вторинною структурою; щільовим ефектом; охолоджувальною і нагріваючою здатністю; коефіцієнтом розподілу теплових потоків
	приповерхневі шари фрикційної накладки	поляризаційним ефектом; електрокінетичним потенціалом; ефектом електролітичної дисоціації; охолоджуючою і нагріваючою здатністю; інверсією теплових потоків
	розділяючі шари середовища	різними видами дифузійного і іонізаційного потенціалів; термодинамічних параметрів: температури, тиску, об'єму і теплоємності; електрострумом конвекції; хімічною активністю

діляючі функції. Зупинятися на детальній характеристиці процесів та явищ не будемо, оскільки вони були наведені в роботі [4].

В численних роботах [1,2,3] доведено, що в приповерхневих шарах полімерної фрикційної накладки при температурах вище допустимої для її матеріалів необхідно розглядати три елементарних об'єми з різними енергетичними рівнями: димлячий (сублімації), рідкий та пароподібний.

Основною особливістю компонентів матеріалів фрикційних накладок, які знаходяться в стані фазових перетворень, та маючи структури типу «сендвіча» або поверхневих і приповерхневих шарів накладок з дірками, в котрих області хаосу межують з областями стійкості. Утворена рідинна фаза в поверхневих та приповерхневих шарах накладок є областю сильного хаосу «стохастичного моря», що межує з областями стійкості «острівками» поверхні накладок. Структура «стохастичного моря» та «острівків» є фазовим портретом теплової системи поверхневих та приповерхневих шарів накладки. Ієрархічна складність фазового портрету розповсюджується на методи його вивчення та аналізу.

Електричний баланс струмів в зоні контактування пар тертя гальм. Відомо, що характер зміни кількості теплоти, генерованої в зоні фрикційного контакту гальмівних пристроїв з подальшим її акумулюванням у приповерхневих шарах накладок і металевих елементів тертя, є подібним до закономірностей зміни електричного струму, що виникає в них. Виходячи з цього, розглянемо електричний баланс струмів у зоні фрикційного контакту гальмівного пристрою.

В процесі тертя відбувається зміна знософрикційних властивостей, що зумовлює плинність електрофізичних параметрів контакту.

При цьому фрикційна взаємодія супроводжується зростанням густини поверхневих станів пари «метал-полімер», повний поверхневий заряд яких є сумою зарядів швидких та повільних станів [2].

Металополімерну фрикційну пару розглядають як джерело трибо- і термоЕРС з відповідними внутрішніми опорами. Внутрішнім опором джерела трибоЕРС є опір фактичного контакту, який складається з опору його окремих ділянок. Такими ділянками є: «робоча поверхня накладки – робоча поверхня металевих елементів тертя»; «робоча поверхня накладки – окисна плівка робочої поверхні металевих елементів тертя – його робоча поверхня»; «робоча поверхня фрикційної накладки – полімерна плівка на робочій поверхні металевих елементів тертя», утворена з частинок фрикційного матеріалу поверхневих шарів накладок – робоча поверхня металевих елементів тертя. Окрім того, трибоЕРС також являє собою суму контактних складових у зонах стабілізаційного теплового стану металевих елементів тертя, зумовлених масоперенесенням при взаємодії з накладкою та сорбційно-десорбційними процесами у приповерхневих шарах контактуючих матеріалів.

В табл. 2 наведені умови, за яких відбувається зміна напрямку складових струму електризації, та його сумарні величини, що виникають на поверхнях пар тертя гальмівних пристроїв у різних зонах теплового стану їхніх металевих елементів тертя. В табл. 2 використані

такі позначення: $\sum_1^n I_k$ – сумарний струм, який виникає за рахунок контактної електризації;

$\sum_1^n I_m$ – сумарний струм, спричинений рухом заряджених частинок, що зумовлений фрикцій-

Таблиця 2 – Зміна напрямку складових струму електризації та його сумарної величини при взаємодії поверхонь пар тертя гальмівних пристроїв у різних зонах теплового стану їх металевих фрикційних елементів

		Складові струму електризації:					Сумарний струм електризації, $\sum_1^n I_{\phi}$
		I_{κ}	I_M	I_{δ}	I_m	I_p	
		Знаки генерованих струмів					
До	фрикційних металевих елементів	при $W_M > W_n$					$\sum_1^n I_{\phi_+} = \sum_1^n I_{\kappa} - \sum_1^n I_M + \sum_1^n I_T + \sum_1^n I_p$; (3)
		+	-	0	+	+	
Після	стабілізаційного теплового стану металевих елементів	при $W_n > W_M$					$\sum_1^n I_{\phi_-} = \sum_1^n I_{\kappa} + \sum_1^n I_M - \sum_1^n I_T + \sum_1^n I_p$. (4)
		-	+	0	-	+	
В зоні	стабілізаційного теплового стану металевих елементів	при $W_M > W_n$					$\sum_1^n I_{\phi_+} = \sum_1^n I_{\kappa} - \sum_1^n I_M \pm \sum_1^n I_{\delta} + \sum_1^n I_T + \sum_1^n I_p$; (5)
		+	-	\pm	+	-	
В зоні	стабілізаційного теплового стану металевих елементів	при $W_n > W_M$					$\sum_1^n I_{\phi_-} = -\sum_1^n I_{\kappa} + \sum_1^n I_M \pm \sum_1^n I_{\delta} + \sum_1^n I_T + \sum_1^n I_p$. (6)
		-	+	\pm	+	+	
В зоні	стабілізаційного теплового стану металевих елементів	при $W_M > W_n$					$\sum_1^n I_{\phi_+} = \sum_1^n I_{\kappa} - \sum_1^n I_M \mp \sum_1^n I_{\delta} + \sum_1^n I_T - \sum_1^n I_p$; (7)
		+	-	\mp	+	-	
В зоні	стабілізаційного теплового стану металевих елементів	при $W_n > W_M$					$\sum_1^n I_{\phi_-} = -\sum_1^n I_{\kappa} + \sum_1^n I_M \mp \sum_1^n I_{\delta} + \sum_1^n I_T - \sum_1^n I_p$. (8)
		-	+	\mp	+	-	

ним масоперенесенням; $\sum_1^n I_{\delta}$ – сумарний струм, зумовлений сорбційно-десорбційними процесами в приповерхневих шарах контактуючих тіл; $\sum_1^n I_T$ – сумарний струм, який виникає за рахунок контактування поверхонь тертя; $\sum_1^n I_p$ – сумарний зворотний струм розряду, який виникає при руйнуванні фрикційного контакту (сумарний імпульсивний струм); W – робота виходу електронів з полімерної (індекс “n”) і з металеві (індекс “m”) поверхонь.

Згідно з табл. 2 відповідно до зон стабілізаційного теплового стану металевих елементів тертя, який є акумулятором теплової енергії, розглянемо зміни сумарного струму електризації за таких умов: $W_M > W_n$ і $W_n > W_M$.

До зони стабілізаційного теплового стану металевих елементів тертя гальмівного пристрою сумарний струм електризації буде найбільшим при наближенні пар тертя до цієї зони. Це відбувається за умови, що $W_n > W_M$ в зв'язку з тим, що сумарні струми $\sum_1^n I_{\kappa}$ і $\sum_1^n I_M$ перевищують аналогічні сумарні струми при $W_M > W_n$.

Ця обставина вказує на те, що під час гальмувань відбувається накопичення теплової енергії в металевому елементі тертя, і конвективний та радіаційний теплообмін є недостатніми.

Найбільш цікаве явище відбувається в зоні стабілізаційного теплового стану металевих елементів тертя, коли в приповерхневих шарах матеріалу фрикційних накладок відбуваються сорбційно-десорбційні процеси за умови

$W_M > W_n$. При цьому сумарні струми $\sum_1^n I_{\kappa}$ і

$\sum_1^n I_M$ перевищують ці показники, коли $W_n > W_M$.

Вигорання сполучних компонентів фрикційного матеріалу накладок призводить до димлення їхніх робочих поверхонь, а також утворення рідких фракцій на них. Це є однією із складових інверсій теплового потоку у напрямку від матових поверхонь металевих елементів тертя до полірованої (робочої). Ця обставина сприяє встановленню стабілізаційного теплового стану, незважаючи на високу інтенсивність радіаційного теплообміну з робочою поверхнею металевих елементів тертя. Тривалість цього явища в значній мірі залежить від часу завершення сорбційно-десорбційних процесів в приповерхневих шарах фрикційної накладки, а також від величини сумарного струму електризації. Останній в зоні, вищій за стабілізаційний теп-

ловий стан металевого елемента тертя, буде мінімальним за умови $W_m > W_n$.

Висновки. Таким чином, на нанорівні проілюстровано динамічне та теплове навантаження пар тертя гальмівних пристроїв. В другій частині матеріалів статті буде показано як на рівні нанотрибології визначаються розрахунково-експериментальним методом складові електричних струмів та їхній напрямок в парах тертя “полімер-метал” гальмівних пристроїв.

Література

1 Чичинадзе А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника): [под общ. ред. А.В. Чичинадзе]. – М.: Машиностроение, 2003. – 575 с.

2 Кіндрачук М.В. Трибологія / М.В. Кіндрачук, В.Ф.Лубе-нець, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. – К.: Вид-во нац. авіац. ун-ту: “НАУ – друк”, 2009. – 392 с.

3 Миронов В.С. Электрические явления при трении полимеров. II. Кинематика электризации / Миронов В.С., Климкович А.Ф. // Трение и износ, том VI. – 1985. №6. – С. 1026–1033.

4 Крижанівський Є.І. Модель трибологічних систем у парах тертя гальмівних пристроїв / Є.І. Крижанівський, М.О. Вольченко, Д.Ю. Журавльов, В.І. Снурніков // Вісник Вінницького політехн. ін-ту. – 2009. – № 5. – С.104–107.

5 Вольченко Д.О. Взаємодія пар тертя в різних типах фрикційних вузлів стрічково-колодкових гальм бурових лебідок / Д.О. Вольченко, В.М. Воробйов, І.О. Бекіш // Науковий вісник ІФНТУНГ. –2006. – № 2(4). – С. 64–70.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
26.11.10
Рекомендована до друку професором
Вольченком О.І.*