

ЕЛЕКТРОТЕРМОСТИМУЛЬОВАНА ДЕПОЛЯРИЗАЦІЯ ДІЛЯНОК МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ ПАР ТЕРТЯ СТРІЧКОВО-КОЛОДКОВОГО ГАЛЬМА БУРОВОЇ ЛЕБІДКИ (частина 2. Початок у № 2(18), 2012)

С.І. Криштопа

ІФНТУНГ, 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727148,
e-mail: retes@mail.ru

Друга частина статті присвячена трибологічним процесам, які супроводжують зміни в твердій і рідкій фазах матеріалів полімерних накладок, з метою зниження енергонавантаженої металополімерних пар тертя стрічково-колодкових гальм лебідок бурових установок. В матеріалах статті детально аналізуються електротермостимульовані поляризаційні і деполіризаційні процеси в поверхневих шарах елементів тертя металополімерних пар, які вмонтовані у гальмівні шківні бурових лебідок. Проаналізовано процеси, що відбуваються з компонентами полімерних матеріалів при зміні електричних полів та при взаємодії ділянок металополімерних пар тертя стрічково-колодкового гальма. Досягнуто зниження енергонавантаженої металополімерних пар тертя запропонованої конструкції стрічково-колодкового гальма на різних режимах їх навантаження, що дозволило експлуатувати фрикційні накладки гальма за поверхневих температур, нижче допустимих для їх матеріалів. Це дозволило не тільки зменшити сили тертя, але і стабілізувати зносо-фрикційні характеристики фрикційних вузлів стрічково-колодкового гальма. Досліджено зв'язок поляризаційних процесів металополімерних пар тертя стрічково-колодкових гальм лебідок бурових установок з напруженістю поля, що генерується на плямах мікрорельєфу пар тертя.

Ключові слова: стрічково-колодкове гальмо, фрикційний вузол, полімерна накладка, поляризаційні і деполіризаційні процеси, електротермостимульована поляризація, електричне поле, напруженість електричного поля.

Вторая часть статьи посвящена трибологическим процессам, сопровождающим изменения в твердой и жидкой фазах материалов полимерных накладок, с целью снижения энергонагруженности металлополимерных пар трения ленточно-колодочных тормозов лебедок буровых установок. В материалах статьи детально анализируются электротермостимулированные поляризационные и деполаризационные процессы в поверхностных слоях элементов трения металлополимерных пар, вмонтированных в тормозные шкивы буровых лебедок. Осуществлен анализ процессов, которые происходят с компонентами полимерных материалов при изменении электрических полей и при взаимодействии участков металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза. Достигнуто снижение энергонагруженности металлополимерных пар трения предложенной конструкции ленточно-колодочного тормоза на разных режимах их нагружения, что позволит эксплуатировать фрикционные накладки тормоза при поверхностных температурах, ниже допустимых для их материалов. Это позволило не только уменьшить силы трения, но и стабилизировать износо-фрикционные характеристики фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза. Исследована связь поляризационных процессов металлополимерных пар трения ленточно-колодочных тормозов лебедок буровых установок с напряженностью поля, которое генерируется на пятнах микрорельефа пар трения.

Ключевые слова: ленточно-колодочный тормоз, фрикционный узел, полимерная накладка, поляризационные и деполаризационные процессы, электротермостимулированная поляризация, электрическое поле, напряженность электрического поля.

The article deals with the tribological processes which accompany the changes in the solid and liquid phases of the polymer plate materials in order to reduce the energy loading of the metal and polymer pair sections of the drilling rig drawworks belt and drum brakes. Electrically and thermally stimulated depolarization and polarization processes in the surface coatings of the metal and polymer pair frictional elements that are installed into the drawworks brake drums were analyzed in detail in the article. The analysis of the processes that happen to the polymer material components when the electrical fields change and elements of the metal and polymer friction pair sections of the drawworks belt and drum brake interact was conducted. Reduction of the energy loading of the metal and polymer friction pairs of the developed belt and drum brake design at different modes of loading was achieved. It made it possible to utilize frictional brake plates at face temperatures that are lower than the acceptable ones for their materials. It allowed not only to reduce the friction force but also to stabilize the deterioration and friction characteristics of the friction nodes of the belt and drum brake. The interrelation of the polymerization processes of the metal and polymer friction pairs of the drilling rig drawworks belt and drum brakes with the field density that is generated on the microelevation spots of the friction pairs was studied.

Key words: belt and drum brake, friction node, polymer plate, polarization and depolarization processes, electrically and thermally stimulated polarization, electrical field.

Вступ. Перша частина статті присвячена зниженню енергонавантаженої металополімерних пар тертя стрічково-колодкових гальм бурових лебідок. Детально проаналізовано процеси і явища нанотрибологічного характеру

в поверхневих і приповерхневих шарах металополімерних пар тертя гальм. Розроблений і запропонований пристрій електротермостимульованої деполіризації поверхонь ділянок металополімерних пар тертя гальма на основі

вмонтованих в обід шківа біполярних фрикційних елементів. Використання останніх в гальмі дозволило експлуатувати накладки фрикційних вузлів за поверхневих температур нижчих за допустимі для їх матеріалів. Крім того, це дозволило не тільки зменшити сили тертя між фрикційними елементами, але і стабілізувати їх знософрикційні властивості.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій. Численні експериментальні дані [1-5, 8] показали, що за властивостями під час процесів електротермомеханічного тертя полімери можна поділити, переважно, на дві групи: «трибохімічно активні», тертя яких супроводжується нестійкими і нестабільними значеннями динамічного коефіцієнта тертя в результаті протікання на поверхні складних структурних процесів, і «трибостабільні» полімери, динамічні коефіцієнти тертя яких зберігають стабільність протягом тривалого часу в певному температурному інтервалі у результаті протікання процесів деструкції. В стрічково-колодкових гальмах бурових лебідок застосовуються полімерні матеріали першої групи.

Мета роботи – дослідження процесів і явищ електротермостимульованої поляризації і деполіризації відносно прямих і зворотних пар тертя металополімерних елементів стрічково-колодкового гальма бурової лебідки.

Трибохімічні процеси, які супроводжують тверду і рідку фази полімерних накладок

Однією з основних задач підвищення знософрикційних властивостей полімерних накладок є введення до складу її матеріалів електродонорних груп. Відомо, що при розгляді трибо-синтезу як типової механохімічної реакції необхідно мати, принаймні, дві функціональні групи різного типу в полімерних ланцюгах під час тертя.

Кінцевими групами поліфенілхіноксалину є електродонорні NH_2 групи. Тертя цього полімеру характеризує його як термофрикційно стабільний полімер. Введення в макромолекулу поліфенілхіноксалину електродоакцепторних карбонільних груп призводить до різкого зростання фрикційної активності вже за кімнатних температур, причому нестабільність зростає зі збільшенням кількості $C=O$ груп згідно зі схемою, наведеною на рис. 1.

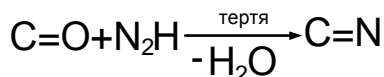
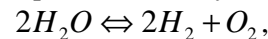


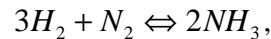
Рисунок 1 – Схема хімічних перетворень під час тертя

Найважливішими реакціями в газовій фазі, що мають значення для адсорбційних, абсорбційних, сорбційних, десорбційних, дифузійних процесів і їх побічних ефектів, є наступні реакції:

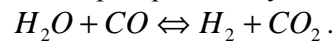
- дисоціація водяної пари на водень і кисень і зворотна реакція синтезу води



- синтез аміаку без водню і азоту



- реакція генераторного газу



Стрілки у рівняннях указують на перебіг процесів в обох напрямках.

З погляду трибохімії під впливом температури відбувається процес формування нових азометінових зв'язків (рис. 1), в результаті якого на поверхні утворюється термічно більш стійка структура, що підвищує свою стійкість зі зростанням температури тертя.

Електротермостимульовані поляризаційні і деполіризаційні процеси в поверхневих шарах елементів тертя металополімерних пар

Поляризаційні процеси в поверхневих шарах розглянемо відносно прямих і зворотних металополімерних пар тертя. Прямою парою тертя називається така пара, в якій металевий елемент тертя обертається, а полімерна накладка нерухома. Якщо металевий елемент тертя нерухомий при рухомій фрикційній накладці, то маємо зворотну пару тертя.

Однією з найбільш важливих властивостей діелектриків (полімерних накладок) є електрична поляризація, що виникає під дією електричного поля в результаті тертя ковзання за рахунок ефекту електризації. В цьому випадку має місце електроіндукційна поляризація, що відбувається під дією зовнішнього електричного поля з електричними зарядами частинок, з яких складається поверхневий шар полімерної накладки. Внаслідок цього під дією електричного поля E відбувається зсув заряду з рівноважного стану x . При цьому в полімерному матеріалі індукується електричний дипольний момент

$$M_e = \sum_{i=1}^N q_i x_i,$$

де N – число заряджених частинок даного поверхневого шару полімерної накладки;

q_i – електричний заряд i -тої частинки.

Об'ємна густина електричного моменту називається поляризованістю

$$P = \frac{M_e}{V},$$

де V – об'єм поляризованого поверхневого шару полімерної накладки.

Одиницею вимірювання величини електричного дипольного моменту є «кулон-метр»: $[M_e] = [Кл \cdot м]$, а $[P] = [Кл/м^2]$ – густина поверхневого зв'язкового заряду на електроді, тобто поляризованої поверхні полімерної накладки (рис. 2 а).

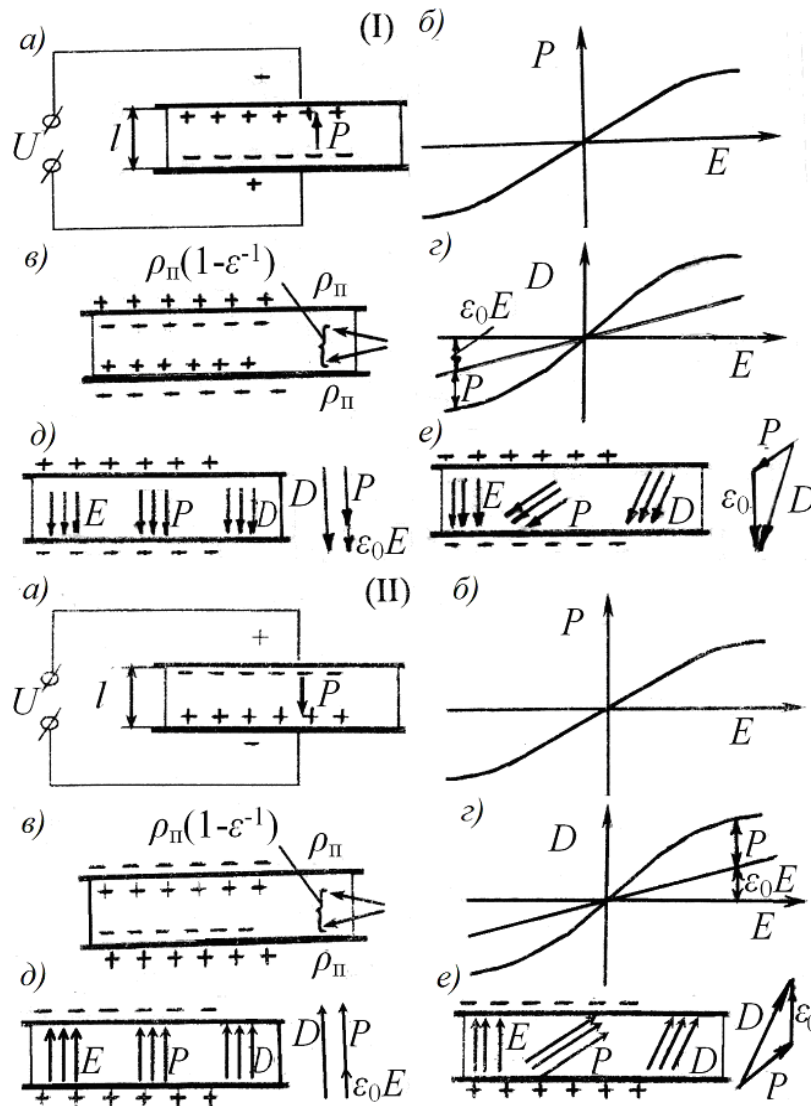


Рисунок 2 – Макроскопічний опис електричної поляризації в металополімерних прямих (I) і зворотних (II) парах тертя при потраплянні їх поверхневих і приповерхневих шарів у різні енергетичні зони

Ступінь поляризованості поверхневого шару полімерної накладки залежить як від значення електричного поля, так і від структурних особливостей і хімічного складу поверхневого шару полімерної накладки. Очевидно, що поляризованість тим більша, чим вище напруженість електричного поля, яка визначається з виразу $E=U/l$, де U – електрична напруга, прикладена до поверхневого шару накладки товщиною l ; $[E]=[B/m]$.

Загалом залежність $P(E)$ може бути складною (рис. 2 б), але в нашому випадку при невеликому електричному полі зв'язок між P і E можна вважати лінійним:

$$P = \epsilon_0 \cdot \kappa \cdot E, \quad (1)$$

де ϵ_0 – електрична постійна, Φ ;

κ – діелектрична сприйнятливість.

Крім вектора поляризованості для опису електричної поляризації вводиться ще один параметр – електрична індукція:

$$D = \epsilon_0 E + P. \quad (2)$$

Індукція має ті ж одиниці вимірювання, що і поляризованість $[D]=[Kл/м^2]$ і також характеризується поверхневою густиною електричного заряду на поверхні металевго елемента тертя. Якщо кожний з елементів подати у вигляді подвійних електричних шарів, тобто як електричний конденсатор (рис. 2 в), то електрична індукція характеризуватиме повний заряд на обкладках цього конденсатора $D = \rho_n$, тоді як поляризованість P характеризуватиме тільки ту частину повного заряду, яка зв'язана зарядами протилежного знаку, прилеглими до поверхні поляризованого шару накладки

$$P = \rho_n (1 - \epsilon^{-1}),$$

де ρ_n – густина поверхневого електричного заряду на електродах («полімер-метал»).

Параметр ϵ вводиться як коефіцієнт пропорційності електричної індукції і напруженості поля

$$D = \epsilon \epsilon_0 E. \quad (3)$$

Безрозмірний параметр ϵ – відносна діелектрична проникність, яка пов'язана з діелектричною сприйнятливістю κ співвідношенням $\epsilon_0 = 1 + \kappa$.

У сильних електричних полях прості лінійні співвідношення (1) і (3) порушуються, оскільки стає істотною діелектрична нелінійність (рис. 2 *e*) $\epsilon = \epsilon(E)$, через $\kappa = \kappa(E)$. У більшості полімерних матеріалів нелінійність незначна і може враховуватися тільки при дії на поверхневий шар полімерної накладки достатньо великих електричних полів (10^8 - 10^{10}) В/м (тоді як електрична міцність $E_{ми}$ твердих полімерних матеріалів менше $E_{ми} = (10^7$ - $10^9)$ В/м). Таким чином, в більшості полімерних матеріалів електричний пробій відбувається раніше, ніж в них могла б помітно виявитися нелінійність.

Звернемо увагу на те, що напруженість електричного поля E , поляризованість P і електрична індукція D – векторні величини. В звичайних ізотропних полімерних матеріалах вектори D , E і P є колінеарними. На рис. 2 *e* показаний зв'язок вищезгаданих параметрів в електричному конденсаторі з парами тертя «метал-метал», що містять плівки з полімерного матеріалу.

Спрямованість векторів D , E і P в анізотропному полімерному матеріалі різна. Відповідно до векторного співвідношення маємо:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}. \quad (4)$$

Якщо полімерний матеріал ізотропний, то ця векторна сума відповідає сумі довжин векторів, оскільки напрям всіх трьох векторів збігається. Навпаки, в анізотропному полімерному матеріалі електричне поле, збуджене зарядами на обкладинках конденсатора і спрямоване перпендикулярно до цих обкладинок (рис. 2 *e*), індуктує поляризацію, напрямком якої залежить від особливостей пружних зв'язків електричних зарядів до анізотропної полімерної накладки, тому вектор P не паралельний вектору E .

Сумарний вектор електричної індукції D також відрізняється за напрямом від вектора E , внаслідок чого діелектрична проникність, яка характеризує зв'язок між D і E ($D = \epsilon \epsilon_0 E$), виявляється особливим параметром, що залежить від напрямку.

Процесами внутрішньої релаксації заряду в поверхневому шарі полімерної накладки керують явища провідності. Останні визначаються такими характеристиками: рухливістю носіїв і їх концентрацією; умовами інжекції зарядів на плямах контакту і т.д.

У полімерних матеріалах, які здатні тривалий час утримувати заряд, присутні центри захоплення носіїв, рухливість яких зменшується процесами захоплення. Останні чинять вплив і на процеси провідності.

Крім власних носіїв заряду в поверхневому шарі полімерної накладки присутні і сторонні носії – електрони, які інжектуються в тіло виступу контакту металополімерної пари тертя.

Під час дослідження контактної провідності на плямі взаємодії необхідно відрізнити перехідні процеси від стаціонарних.

Це викликано тим, що під час вивчення провідності або рухливості носіїв не вдається здійснювати одночасний контроль за розподілами зарядів як в поверхневому шарі полімерної накладки, так і на її робочій поверхні. Проблема провідності поверхневого шару полімерної накладки пов'язана з відсутністю його структурної однорідності і чистоти.

На рухливість носіїв заряду в поверхневому шарі полімерної накладки істотно впливає наявність в ньому різних станів – вільних (делокалізованих) і зв'язаних на поверхневих і глибоких рівнях захоплення, що розташовані за товщиною накладки. Рух іонів з енергією поблизу поверхні плями контакту (зони провідності) являє собою квантово-механічне тунелювання між делокалізованими станами, що розташовані за шкалою енергії вище межі рухливості.

Цей процес відбувається без будь-якої термічної активації і рухливості зарядів, які відповідають йому, виявляються відносно високими – близько $10 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ [6]. Для руху заряду, захопленого поверхневим рівнем, який розташований за шкалою енергії нижче за межу рухливості, необхідна певна кількість теплової енергії, перетвореної з електроімпульсної енергії в процесі тертя. Процес руху таких зарядів стає термоактиваційним і зводиться до послідовних стрибків між локалізованими станами.

В цьому випадку рухливість зарядів нижча [близько $10^2 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$]. Час захоплення носіїв на глибокому рівні виявляється дуже великим, а їх рухливість при цьому стає надзвичайно низькою [10^{-10} – $10^{-17} \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$].

У багатьох полімерних матеріалах, що не містять енергетично сильних носіїв, їх можна створити за допомогою інжекції з металевого елемента тертя через пляму контакту. Якщо притік носіїв унаслідок інжекції перевищує потік частинок, які переносяться через плівку полімеру накладки, то відбувається обмеження струмів полем просторового заряду, що утворюється. Величина струму визначається інтенсивністю інжекції з металевих плівок плями контакту.

Методи вимірювань профілів заряду усередині тонких плівок, що формуються на поверхнях полімерних накладок (до допустимої температури накладок), були розроблені зовсім нещодавно [7]. Вони засновані на визначенні змін у величині потенціалу робочої поверхні полімерної накладки, які виникають при дії на плівку імпульсів струмів нормальної сили і теплоти.

Плівковий електрет містить постійні диполі і просторові заряди, причому останні перебувають у стані нерухомості і їх нейтралізація обумовлена тільки провідністю матеріалів накладки. Взаємодія плям контактів мікроступів металополімерних пар під час електротермомеханічного тертя формує на них поля струмів імпульсних нормальних сил і теплоти для за-

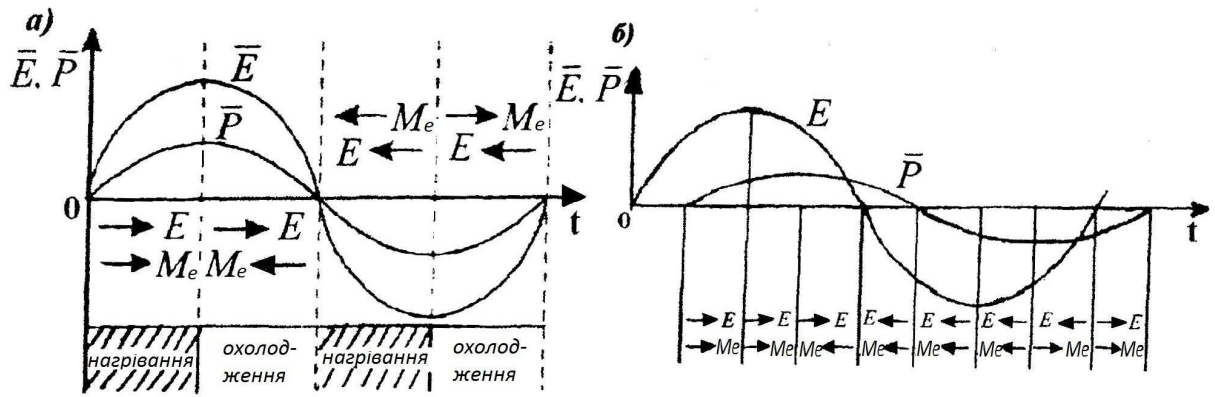


Рисунок 3 – Поляризація робочої поверхні полімерної накладки при „швидких” (а) і „повільних” (б) частотах процесів

безпечення зарядного термостимульованого розряду плівкових електретів.

Наявність спонтанної поляризації, тобто електричного дипольного моменту у відсутності електричного поля, є особливістю піроелектриків. Особливість останніх полягає в порівняно легкій зміні величини електричного дипольного моменту під впливом імпульсних, динамічних, електричних і теплових струмів. Під час нагрівання металевого фрикційного елемента спонтанна поляризація, як правило, зникає за температури, що дорівнює точці Кюрі. У вказаній точці відбувається фазовий перехід з полярного стану (полярної фази) в неполярну (паралелектричну) фазу.

Перехід в полярну фазу може бути викликаний або зсувом іонів, що призводить до зміни структур, або впорядкуванням орієнтації електричних диполів, що існували і в неполярній формі.

Зв'язок поляризаційних процесів з напруженістю електричного поля

Діелектричні втрати в приповерхневому шарі полімерної накладки, що знаходиться в змінному електричному полі під час тертя, являють собою розсіяну потужність, тобто енергію, що генерується електричним полем.

Розрізняють дві причини незворотних втрат енергії електричного поля в приповерхневому шарі полімерної накладки за рахунок:

- нагрівання струмами наскрізної провідності;
- сповільнених видів поляризації.

Згідно з законом Джоуля-Ленца протікання струму наскрізної провідності приводить до виділення теплоти в приповерхневому шарі накладки, при цьому мають місце незворотні втрати енергії зовнішнього поля.

Якщо поляризаційні процеси встигають реагувати на зміну зовнішнього поля, то зсув фаз між напруженістю поля E і поляризованістю P відсутній (рис. 3 а). В цьому випадку протягом першої чверті періоду поле орієнтує зв'язані заряди за напрямом, здійснюючи роботу. Напрями поля E і електричного дипольного моменту μ збігаються. Кінетична енергія зв'яза-

них зарядів збільшується, що рівнозначно підвищенню температури, тобто нагріванню приповерхневого шару полімерної накладки.

У другій чверті періоду напрям поля E залишається попереднім, а поляризація P зменшується, тобто зв'язані заряди за рахунок зменшення E починають повертатися в початковий стан, віддаючи накопичену кінетичну енергію, що призводить до пониження їх температури, тобто охолодження приповерхневого шару полімерної накладки.

Протягом вказаних періодів нагрівання компенсується охолодженням і, таким чином, незворотні втрати енергії відсутні. Такий стан приповерхневого шару полімерної накладки має назву усталеного за рахунок швидкої поляризації.

У випадку „повільних” видів поляризації спостерігається відставання поляризації від зміни зовнішнього поля (рис. 3 б). За рахунок зсуву фаз між напруженістю E і поляризацією P час нагрівання приповерхневого шару полімерної накладки стає великим (тривалий режим гальмування), тобто час накопичення кінетичної енергії більше часу її відведення в елементи металополімерної пари тертя.

Для більшості діелектриків з $\varepsilon = 2,0 - 8,0$ і

$\beta \approx 1/3$ (де β – чинник внутрішнього поля, що враховує взаємодію диполів одного з другим і обумовлений особливостями структури кристала) не залежить від імпульсних струмів механічного, електричного і теплового навантаження, аж до пробію діелектрика.

Поляризація діелектрика при накладенні струмів електричного поля відбувається не миттєво, а протягом певного часу τ (час релаксації).

У змінному електричному полі $E = E_0 \sin \omega t$; це призводить до відставання поляризації $P = P_0 \sin(\omega t - \delta)$ від поля E . Зсув фаз δ залежить від співвідношення τ і $T = 2\pi/\omega$ (де T , ω – період і частота процесів); $\tau \leq T$ ($\omega \ll 1/\tau$, низькі частоти) напрям P змінюється практично одночасно з E , тобто

$\delta = 0$. При $\tau \gg T$ (високі частоти) поляризація не встигає за зміною електричного поля E , оскільки $\delta \rightarrow \pi$.

Енергію, накопичену гальмівним механізмом, можна розглядати як енергію електричного поля, що знаходиться між обкладинками конденсатора. В стрічково-колодковому гальмі бурової лебідки обкладинками конденсатора є «зовнішня поверхня обода гальмівного шківів – робочі поверхні полімерних накладок». Електричне поле виникає між робочими поверхнями елементів тертя металополімерної пари, що знаходиться як в замкненому, так і в розімкненому стані.

У формуванні мікроконденсаторів у металополімерних парах тертя істотну роль грає виникнення подвійних електричних шарів (ПЕШ) в діапазоні температур нижче і вище за допустиму температуру для матеріалів накладок.

Подвійний електричний шар, що утворився поблизу твердої поверхні металевго елемента тертя, яка має негативний заряд ($-q_M$) і формує його поверхневу густину σ_M (потенціалоутворюючий шар), є зовнішньою циліндричною пластинною конденсатора, а іони (катіони), що знаходяться в об'ємі приповерхневого шару накладки, утворюють внутрішню циліндричну пластину протилежного знаку (адсорбційна і дифузійна частини подвійного електричного шару). При цьому трибосистема виявляється загалом електронейтральною

$$-\sigma_M = \sigma_1 + \sigma_2, \quad (5)$$

де σ_1 та σ_2 – густини зарядів адсорбованого і дифузійного шарів.

Абсолютні значення зарядів з різних боків подвійного електричного шару, що є циліндричним конденсатором з молекулярними обичайками, рівні між собою. Поляризація об'ємного заряду супроводжується захопленням заряджених носіїв на межі розділу фаз в результаті їх вільного розряду. Це сприяє зміні кількості носіїв на обичайках, що обумовлює поляризацію (деполяризацію) об'ємного заряду подвійного електричного шару при прикладанні до його обичайок зовнішньої різниці потенціалів. Вона з'являється в результаті контактної-імпульсної взаємодії мікроступів поверхонь в процесі тертя. В цих умовах контактуючі речовини в різних фазах не обмінюються зарядами, а вся енергія зовнішнього електричного поля, що виробляється в результаті ковзання поверхонь тертя гальма, витрачається на заряд подвійних електричних шарів, розташованих на зовнішній і внутрішній поверхні циліндричних мікроконденсаторів.

У цьому випадку місткість C_1 подвійного електричного шару визначається згідно з залежністю

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_1 L_1}{\ln(R_2 / R_1)}, \quad (6)$$

де ϵ_1 – електрична стала;

L – усереднена ширина поверхонь металополімерних пар тертя;

R_2, R_1 – радіуси робочих поверхонь металевго елемента тертя і полімерних накладок.

Контактно-імпульсна взаємодія мікроступів поверхонь тертя металополімерних пар в стрічково-колодкових гальмах в інтервалі поверхневих температур вище за допустиму для матеріалів фрикційних накладок має характер електрохімічної системи. На них відбуваються оборотні катодно-анодні процеси, а їх тимчасові зарядно-розрядні характеристики аналогічні електрохімічним циліндричним конденсаторам.

Ємність в останніх створюється подвійним електричним шаром, який утворюється між фазовою межею «метал-полімер».

Утворення подвійного електричного шару відбувається на міжфазній межі двох середовищ з різними характеристиками електронної (металевий елемент тертя) і іонної (поверхневий і приповерхневий шари накладки, що знаходяться в різних термодинамічних станах) провідності.

Поверхневий і приповерхневий шари полімерних накладок є багатоконпонентними структурами, тобто гетерогенною системою, в якій розгляд їх моделей необхідно вести з погляду хімічної кінетики коливання реакцій. Хімічний потенціал залежить від концентрації компонентів у накладці.

Встановлено, що хімічний потенціал збільшується в зоні температур, що перевищують допустиму для матеріалу накладки, оскільки на її поверхні є плями електроліту. В цьому випадку ємність C_2 подвійного електричного шару визначається за залежністю

$$C_2 = \frac{2\pi\epsilon_2 L_2}{\ln(R_2 / R_1)} - \frac{S}{d}, \quad (7)$$

де ϵ_2 – діелектрична проникність шару Гельмгольца, за яку приймають діелектричну проникність електроліту (його розчинника);

L_2 – усереднена ширина поверхонь тертя металополімерної пари;

S – активна площа робочої поверхні металевго елемента тертя;

d – товщина подвійного електричного шару елемента тертя.

Міжфазова межа на блокуючій обичайці, якою є робоча поверхня металевго елемента тертя, не пропускає заряди в двох напрямках. Фізична природа цього процесу полягає в тому, що формування подвійного електричного шару викликано специфічною адсорбцією, поверхневими перетвореннями і т.д., а не переходом заряду через саму межу. Подвійний електричний шар на блокуючій обичайці є своєрідним молекулярним конденсатором, заряди якого на її поверхні викликані перерозподілом електронів або заряджених точкових дефектів на поверхні металевго елемента тертя і іонів в електроліті поверхневого шару полімерних накладок.

Оскільки товщина d подвійного електричного шару незначна (порядок складає декілька міжатомних відстаней), то він (ПЕШ) володіє високою ємністю на одиницю поверхні (20-50 мкФ/см²), що значно перевищує відповідну величину в традиційних конденсаторах

(діелектрик має товщину $(5-7) \cdot 10^2$ міжатомних відстаней).

Розділення зарядів може бути викликано різними причинами:

- переходом електронів з обичайки в розчин електроліту або навпаки, при цьому утворюється електронний подвійний електричний шар;

- заряди однакового знаку утворюють іони, які перейшли в розчин, а електрони, які залишилися, утворюють заряд протилежного знаку;

- специфікою адсорбції на поверхні обичайки від іонів одного знаку, при цьому спостерігається адсорбційний ефект подвійного електричного шару;

- орієнтацією полярних молекул (наприклад, молекул води) біля робочої поверхні металевого елемента тертя, внаслідок чого всі молекули зорієнтовані до вказаної вище поверхні однією і тією ж стороною, в цьому випадку присутній орієнтаційний ефект подвійного електричного шару.

Як правило, різні види виникнення подвійного електричного шару реалізуються одночасно. При цьому він залишається електронейтральним.

Основні дані про будову подвійного електричного шару одержані за наслідками вимірювань ємностей за відсутності перенесення зарядів через міжфазну межу.

В реальних умовах роботи металополімерних пар тертя стрічково-колодкових гальмівних бурових установок дослідження ускладнюються, оскільки присутнє явище перенесення зарядів за рахунок електрохімічної реакції, іонізації адсорбованих частинок або зміни заряду подвійного електричного шару при зсуві потенціалу.

При цьому зміряна місткість ϵ вже не тільки місткістю подвійного шару, вона характеризує зміну заряду електрода і інтенсивність протікання електрохімічних реакцій. Заміряну в таких умовах ємність називають поляризаційною ємністю або псевдоємністю.

Існування подвійного електричного шару на міжфазній межі двох середовищ («робоча поверхня металевого елемента тертя – робоча поверхня полімерної накладки»), а також на гарячій і холодній поверхнях приповерхневого шару полімерної накладки відіграє важливу роль не тільки в іонному обміні між поверхнями тертя, але і в адсорбції іонів у них. Наявність подвійного електричного шару істотно впливає на електроповерхневі процеси: провідності, поляризації дисперсних частинок, масоперенесення і енергопереміщення через заряджені дисперсні системи, електростатичну взаємодію між зарядженими частинками і т.д. При цьому електроповерхневі процеси є складовими електродинамічних явищ, що мають місце в приповерхневих шарах полімерних накладок гальмівних механізмів.

Отже, приповерхневий шар полімерної накладки нагрівається, і в ньому спостерігаються незворотні втрати енергії зовнішнього поля. Втрати енергії на орієнтацію зв'язаних зарядів

рівносильні тому, що в поверхневому шарі протікає активний струм, обумовлений поляризаційними процесами, що відстають від змін зовнішнього поля.

Висновки

Таким чином, проілюстрована електротермостимульована поляризація ділянок металополімерних пар тертя стрічково-колодкового гальма бурової лебідки, яка спрямована на посилення на їх поверхнях трибоекфету. Обґрунтовано зниження останнього за рахунок методів і засобів деполіаризації плям контактів мікровиступів металополімерних пар тертя, виходячи з енергонавантаженості їх поверхневих шарів.

Література

- 1 Фрикционные узлы: Монография (научное издание); у 2-х т. / [А.А.Петрик, Н.А. Вольченко, П.Ю. Пургал, Д.А. Вольченко]. – Том 1. Кубанск. государств. технологич. ун-т (Россия). – Краснодар, 2003. – 220 с.
- 2 Криштопа С. І. Електротермостимульована деполіаризація взаємодіючих ділянок металополімерних пар тертя стрічково-колодкового гальма бурової лебідки (частина 1) / С. І. Криштопа // Нафтогазова енергетика. – Івано-Франківськ, 2012. - № 2 (18). – С. 46-54.
- 3 Криштопа С. І. Термоелектрична поляризація поверхонь фрикційних накладок гальмівних пристроїв / С. І. Криштопа // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ, 2013. - № 1 (46). – С. 50-57.
- 4 Трибологія / М. В. Кіндрачук, В. Ф. Лабунець, М. І. Пашенко, С. В. Корбут. – К.: Вид-во нац. авіац. ун-ту „НАУ – друк”, 2009. – 392 с.
- 5 Трение, износ и смазка (трибология и триботехника); под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 575 с.
- 6 Хайнике Г. Трибохимия / Г. Хайнике. – М.: Мир, 1987. – 587 с.
- 7 Розенбаум В. М. Аналитическое описание токов термостимулированной поляризации и деполіаризации / В. М. Розенбаум, О. Е. Цемчик / Физика твердого тела. – 2010. – том 52, вып. 10. – С. 2046 – 2051.
- 8 Сесслер С. Электреты / С. Сесслер. – М.: Мир, 1983. – 481 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
04.11.13

Рекомендована до друку
професором **Мойсишином В.М.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
канд. техн. наук **Вольченко Д.А.**
(Прикарпатський національний університет
ім. В. Стефаніка, м. Івано-Франківськ)