

Вступ. Інтенсивний розвиток нанотрибології в металополімерних парах тертя гальмівних пристроїв вимагає розробки нових методів розрахунку енергетичних рівнів їх робочих елементів. Останні визначаються складовими електричних струмів (електризації ковзання і контакту; руху полімерних і металевих заряджених частинок фрикційного масопереносу, що виникають за рахунок сорбційно-десорбційних процесів у приповерхневих шарах контакту пар тертя гальма; термічних і зворотних розрядів і їх напрямів. Струми, що генеруються на поверхнях пар тертя гальмівних пристроїв, викликають акумулювання теплоти як в їх приповерхневих шарах, так і в тілі неметалевого і металевого фрикційних елементів. При цьому у фізико-хімічних процесах, що відбуваються на поверхнях металополімерних пар тертя гальмівних пристроїв, відіграє роль термоелектрична поляризація поверхонь їх фрикційних накладок.

Стан проблеми і мета роботи. З джерел [1-4] відомо, що вимірювання температурно-стимулюючих електричних струмів, наведених стаціонарними електричними полями, є одним з методів визначення локальних енергетичних рівнів, що широко використовуються в твердих тілах. Загальна експериментальна процедура цього методу включає чотири стадії: перша – прикладання до зразка постійного електричного поля за початкової температури; друга – охолодження зразка під дією цього поля до деякої низької температури; третя – зміна величини поля до іншого значення за тієї ж температури; четверта – нагрівання з постійною швидкістю в поле і запис електричного струму, що виникає у вигляді функції температури.

Даний метод застосовується тільки для зразків, виготовлених з фрикційного матеріалу, що мають незначну площу і вагу в порівнянні з фрикційними накладками гальмівних колодок гальм бурових лебідок та автотракторних засобів.

Відомі методи визначення складових електричних струмів [5] і їх напрямів [6] в парах тертя «полімер – метал» барабанно-колодкових гальм при їх нагріванні в стендових умовах. Проте в даних методах не враховуються поляризаційна і деполіризація складові фрикційних накладок в процесі нагрівання і охолодження їх поверхонь.

Відомий термокомпресор, що містить корпус з газорозподільними клапанами, в якому розміщена термоелектрична батарея, виконана у вигляді порожнистого циліндра, що працює в режимі періодичної зміни електричного струму [7].

Проте, основним недоліком даного технічного рішення є те, що термоелектричні батареї не працюють в режимі термоелектрогенератора і термоелектроохолодильника.

Мета роботи – оцінка термоелектричної поляризації поверхонь фрикційних накладок барабанно-колодкового гальма в стендових умовах завдяки реалізації змішаних процесів

(«нагрівання – охолодження»), що включають поляризацію поверхонь ділянок фрикційних накладок при їх охолодженні і дію поляризованого зовнішнього електричного поля за рахунок квазіпостійного темпу нагрівання за допомогою термобатарей, що працюють в режимах термоелектрогенератора і термоелектроохолодильника.

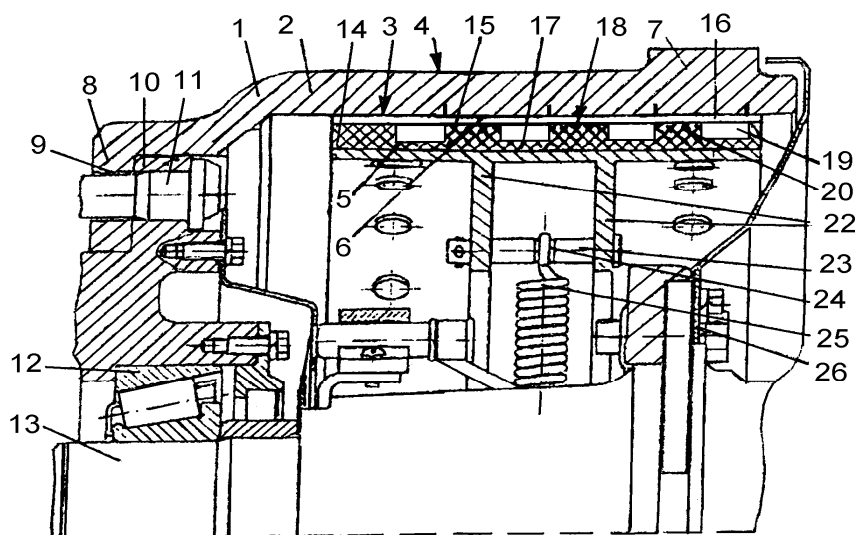
Конструкція і робота барабанно-колодкового гальма з пристроями термоелектричної поляризації поверхонь фрикційних накладок гальмівних колодок. На рис. 1 зображено фрагмент барабанно-колодкового гальма з термоелектричною поляризацією поверхонь фрикційних накладок в стендових умовах. Барабанно-колодкове гальмо містить гальмівний барабан 1, обід 2 з внутрішньою (робочою) 3 і зовнішньою 4 поверхнями. Внутрішня поверхня 3 обода 2 за допомогою циліндричних канавок 5 вздовж його периметру розділена на однакові диски 6. На зовнішній поверхні 4 обода 2 з боку його вільного краю виконано прилив у вигляді підсилюючого кільця 7. З протилежного боку обід 2 барабана 1 зв'язаний з фланцем 8, в якому виконані отвори 9. За допомогою останніх гальмівний барабан 1 прикріплений до фланця маточини 10 болтами 11. У свою чергу, фланець маточини 10 знизу через роликочий підшипник 12 спирається на піввісь 13 заднього моста.

Усередині гальмівного барабана 1 встановлено гальмівні колодки 14, до основи 15 яких за допомогою заклепок 16 прикріплені фрикційні накладки 17 з робочою поверхнею 18. По всьому периметру накладок 17 виконано канавки 19, що розділяють їх робочі поверхні 18 на окремі сектори 20. Наявність в ободі 2 барабана 1 чотирьох незалежних дисків 6 і секторів 20 фрикційних накладок 17 колодок 14 гальма дає змогу моделювати на їх макроділянках наступні види контактів: «полімер – метал з перенесеною плівкою полімеру»; «полімер – метал з перенесеною плівкою металу – метал»; «приповерхневий шар полімеру, що знаходиться в різному термодинамічному стані – метал».

З неробочої сторони основи 15 колодки 14 розміщені їх ребра жорсткості 22, які між собою сполучені пальцем 23 з проточкою 24. В останню посаджена відтяжна циліндрова пружина 25. З вільного краю обода 2 гальмівного барабана 1 встановлено направляючий диск 26, до якого кріпляться гальмівні колодки 14.

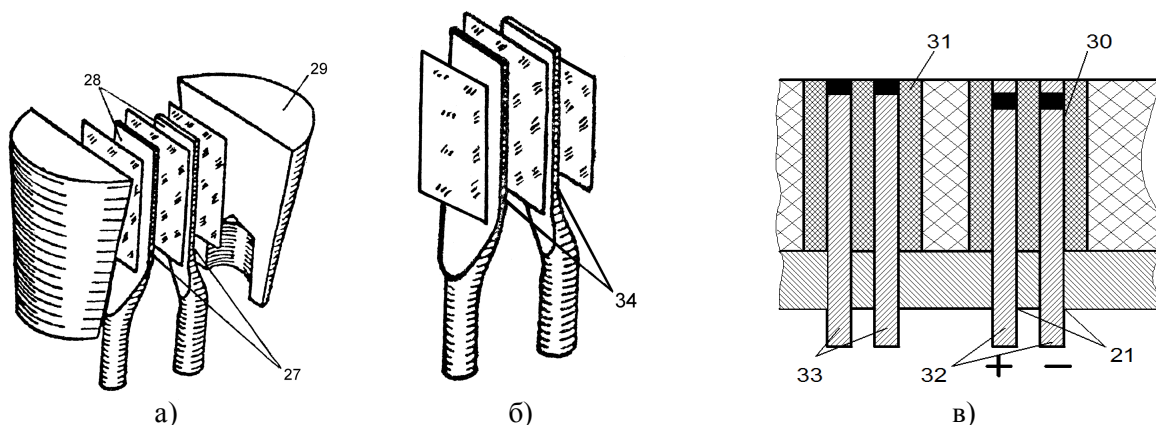
На рис. 2 зображено загальний вид пластинчастої термопари в запобіжному корпусі (а) і без нього (б), а також схема встановлення термопар в основу колодки і накладку (в).

У сектори 20 фрикційних накладок 17 колодок 14 вмонтовуються пластинчасті термопари, кожна з яких має термоелектроди 27, виготовлені з хромеля (+) і копеля (-), між якими розташований шар ізоляції 28. Кожна з термопар першої групи розміщена в корпусі 29. Встановлюються пластинчасті термопари в отвори 30 у фрикційних накладках 17, які ма-



1, 2, 3, 4 – гальмівний барабан з ободом, внутрішньою і зовнішньою поверхнями; 5, 6 – канавки і диски на внутрішній поверхні обода; 7, 8, 9 – підсилююче кільце обода, фланець барабана і отвори в ньому; 10 – фланець маточини; 11 – кріпильні болти; 12 – роликовий підшипник; 13 – піввісь заднього моста; 14, 15, 22 – гальмівні колодки з основами та ребрами жорсткості; 16 – заклепки; 17, 18, 19, 20 – фрикційні накладки з робочими поверхнями, канавками і секторами; 23, 24 – палець з проточкою; 25 – циліндричні пружини; 26 – напрямний диск

Рисунок 1 – Фрагмент барабанно-колодкового гальма з термоелектричною поляризацією поверхнь фрикційних накладок



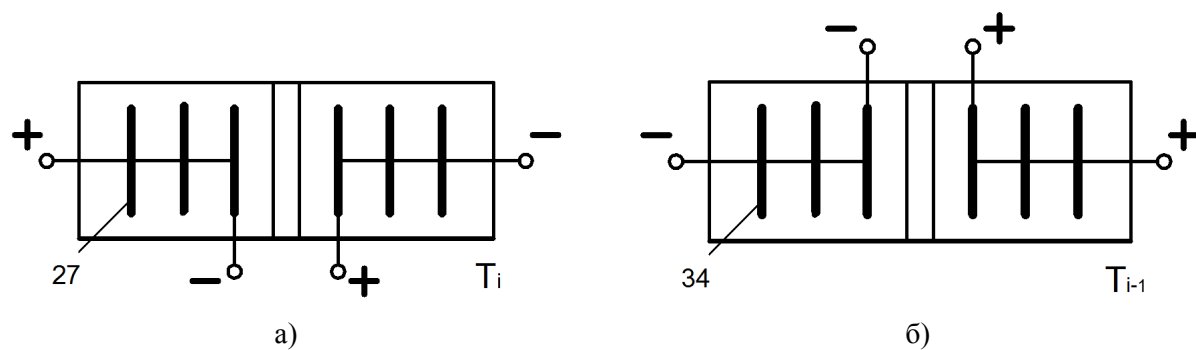
21, 30 – отвори в тілах гальмівної колодки і у фрикційній накладці; 27, 34 – термоелектроди першої і другої групи термоелектродів; 28 – термоізоляція; 29 – запобіжний корпус; 31 – приповерхневий шар фрикційної накладки; 32, 33 – виводи термоелектродів першої і другої груп термоелектродів

Рисунок 2 – Загальний вид пластинчастої термопари в запобіжному корпусі (а) і без нього (б), схема встановлення термопар в основу колодки і накладку (в)

ють приповерхневий шар 31 в середній частині колодки 14, а в її основі 15 виконані отвори 21, через які пропущені виводи 32 і 33 термопар. Термоелектроди 27 першої групи термопар розташовані у рівні сектора 20 накладки 17, тобто на її робочій поверхні 18.

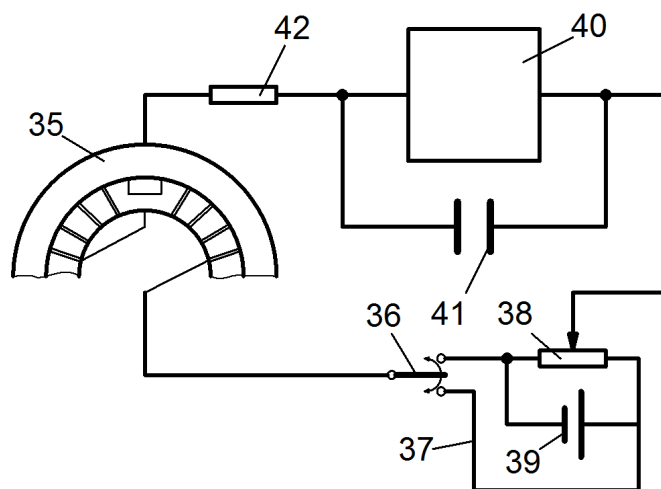
Термоелектроди 34 другої групи термопар встановлені нижче, по висоті термоелектродів 27 першої групи термопар, в приповерхневому шарі 31 сектора 20 накладки 17. Термоелектроди 27 першої групи термоелектродів і термоелектроди 34 другої групи термоелектродів встановлюються в окремі сектори накладок 17 (рис. 3).

На рис. 4 зображено схему під'єднання вузла тертя до зовнішнього електричного ланцюга. Позитивні і негативні термоелектроди першої 27 і другої 32 груп термоелектродів, що розташовані в різних секторах 20 накладки, які входять до складу вузла тертя 35, підключеного до зовнішнього електричного ланцюга. В схемі є перемикач струму 36 на прямий і зворотний напрямки струму і джерело постійного струму 37, що містить реостат 38 і батарею 39, які підключені до реєструючої апаратури 40. Реостат 38 потрібен для регулювання вихідної напруги батареї 39 і, відповідно, величини струму. У



27 і 34 – термоелектроди першої і другої групи термобатареї

Рисунок 3 – Вигляд зверху на сектори фрикційної накладки з термобатареями першої (а) і другої (б) груп



35 – вузол тертя; 36 – перемикач електричного струму; 37 – джерело постійного струму; 38 – реостат; 39 – батарея; 40 – вимірювальна апаратура; 41 – конденсатор; 42 – терморезистор

Рисунок 4 – Схема включення вузла тертя гальма в зовнішню електричну мережу

свою чергу, до апаратури 40 для зменшення пульсацій напруги паралельно підключений конденсатор 41. Апаратура 40 реєструє постійний струм в ланцюзі. Між вузлом тертя 35 і апаратурою 40 в ланцюзі розташовано термокомпенсаційний опір 42.

Електричний струм, що виникає в замкненому ланцюзі термобатареї, охолоджує гарячий спай (термоелектроди 27 першої групи термопар, що розташовані урівень секторів 20 накладки 17, тобто на її робочій поверхні) і навпаки, підігрівають холодний спай. Холодний спай – термоелектроди 34 другої групи термопар, які встановлені нижче за термоелектроди 27 першої групи термопар в приповерхневому шарі 31 сектора 20 накладки 17 (перемикач 36 включений на прямий струм). Якщо, користуючись зовнішнім джерелом струму 37, пропустити через термобатареї струм зворотного напрямку (перемикач 36 включений на зворотний струм), то він виділятиме теплоту на гарячому спай і забиратиме теплоту від холодного. Таким чином, одні і ті ж термоелектроди 27 першої групи термопар і термоелектроди 34 другої групи термопар, з яких складаються термобата-

реї, можуть працювати як в режимі термоелектрогенератора, так і термоелектроохолодильника.

Барабанно-колодкове гальмо на стенді працює таким чином. Махові маси стенду розганяють до заданої швидкості і виконують гальмування. В процесі гальмування барабанно-колодкового гальма розтискний кулак (на кресленні не показаний) розводять гальмівні колодки 14, фрикційні накладки 17 яких своїми робочими поверхнями 18 взаємодіють з робочими поверхнями 3 обода 2 гальмівного барабану 1. В результаті циклічних гальмувань досягається нагрівання пар тертя гальма до заданого стану. При цьому виникають теплові потоки, спрямовані в тіло обода 2 барабану 1 і в приповерхневий шар 31 фрикційної накладки 17, а саме в тіло накладки 17 і в основу 15 гальмівної колодки 14.

Фрикційне розігрівання поверхневих шарів 31 секторів 20 накладок 17 і робочої поверхні 3 обода 2 гальмівного барабану 1 відбувається в умовах істотного перевищення темпу генерації теплоти на поверхнях вузла тертя 35 над темпом відведення теплоти в об'єми його елементів. При цьому поверхневі шари 31 секторів 20

фрикційних накладок 17 можуть розм'якшуватися і розплющуватися; також можуть оплавлюватися їх мікронерівності в контактї, що призведе до збільшення розміру і кількості плям контакту і фактичної площі контакту.

Крім вищезазначеного, фрикційне нагрівання може призвести до істотних теплових деформацій елементів вузла тертя 35 і, як наслідок, до нерівномірності мікроконтакту, що виражається в появі окремих нерухомих або таких, що рухаються поверхнями тертя, «гарячих» плям контакту. Утворення мікроскопічних «гарячих» плям спостерігається у ході досліджень енергонавантажених режимів тертя як стаціонарних, так і нестаціонарних полів. Останні значною мірою залежать від поляризованого стану секторів 20 накладок 17 барабанно-колодкового гальма.

Визначення локальних енергетичних рівнів у фрикційних матеріалах накладок колодок гальма барабанно-колодки в стендових умовах. Спонтанно поляризований стан поверхонь фрикційних накладок барабанно-колодкового гальма може бути стійким у тому випадку, коли він є енергетично більш вигідним, ніж неполяризований стан. При цьому для спонтанно поляризаційного стану потрібно враховувати не тільки енергію поверхонь фрикційних накладок, але і енергію зовнішнього електричного поля.

Вимірювання температурностимулюючих енергетичних струмів, викликаних стаціонарними полями, є одним з розповсюджених методів визначення локальних енергетичних рівнів у фрикційних матеріалах накладок барабанно-колодкового гальма в стендових умовах. Загальна експериментальна процедура цього методу включає чотири стадії.

Розглянемо особливості кожної із стадій окремо.

Перша стадія. Вважаємо, що за відсутності зовнішнього електричного поля ділянки поверхонь секторів 20 накладок 17 колодок 15 мають зовнішню поляризацію.

У результаті циклічних гальмувань барабанно-колодкового гальма на гальмівному стенді відбувається нагрівання його взаємодіючих пар тертя до заданого теплового стану. При цьому один з секторів 20 фрикційної накладки 17, зі встановленими у ньому термоелектродами 27 першої групи термопар, торці яких знаходяться урівень його робочій поверхні при початковій температурі T_i , підключаються до зовнішнього джерела електричного струму 37, подаючи прямий електричний струм на вузол тертя 35. При цьому електричний струм охолоджує гарячий спай (термоелектроди 27 першої групи термопар) і навпаки, підігріває холодний спай (термоелектроди 34 другої групи термопар, встановлені нижче за термоелектроди 27 першої групи термопар в приповерхневому шарі 31 одного з секторів 20 накладки 17). При цьому термоелектроди 27 першої групи термопар є термобатарейми, які працюють в режимі

термоелектрогенераторів. Таким чином, ділянки поверхонь одного з секторів 20 накладки 17 знаходяться під впливом постійного електричного поля F_p при температурі T_{i+1} . Крім того, зовнішня поляризація ділянок поверхонь секторів 20 накладок 17 сприяє виникненню додаткового електричного поля. Перша стадія має підготовчий характер.

Друга стадія. Проводиться подача зворотного струму (за допомогою перемикача 36) від зовнішнього джерела електричного струму 37 на вузол тертя 35. В цьому випадку термоелектроди 27 першої групи термопар охолоджуватимуться і будуть холодними спаями, а термоелектроди 34 другої групи термопар будуть гарячими спаями. При цьому термоелектроди 27 першої групи термопар є термобатарейми, які працюють в режимі термоелектроохолодильників за рахунок зміни поляризації. Таким чином, ділянки поверхонь одного з секторів 20 накладки 17 охолоджуються до температури T_{i-1} , знаходячись під дією того ж електричного поля, що і на першій стадії експериментальних досліджень.

Третя стадія. Проводиться подача прямого і зворотного струму циклічно за допомогою перемикача 36 від зовнішнього джерела електричного струму 37 на вузол тертя 35. В цьому випадку термоелектроди 27 першої групи термопар, що є термобатарейми, працюватимуть в режимах термоелектрогенератора і термоелектроохолодильника і тим самим матимуть місце змішані процеси «нагрівання – охолодження» ділянок поверхонь одного з секторів 20 накладки 17 за температури T_{i-1} , але при цьому досягається зміна величини електричного поля до значення F_p .

Четверта стадія. Проводиться подача прямого струму (за допомогою перемикача 36) від зовнішнього джерела електричного струму 37 на вузол тертя 35. При цьому термоелектроди 27 першої групи термопар, що є термобатарейми, працюватимуть в режимі термоелектрогенератора, забезпечуючи з квазіпостійним темпом нагрівання ділянок поверхонь одного з секторів 20 накладки 17 в довільному електричному полі F_p до температури T_{i+2} .

За умови, що на даній стадії довільне електричне поле $F_p = 0$, відбувається температурно-стимулюючий перехід від стану, поляризованого полем F_d , до рівноважного неполяризованого стану. В цьому випадку, якщо вільні заряди в секторі 20 накладки 17 відсутні або їх перенесення заборонено, температурні залежності вимірюваних електричних струмів міститимуть максимуми, які називаються піками термоелектростимульованої деполіризації (рис. 6, піки 2).

Температурні залежності електричних струмів міститимуть піки, і за наявності протилежного процесу – поляризації сектора 20 накладки 17 від рівноважного неполяризованого

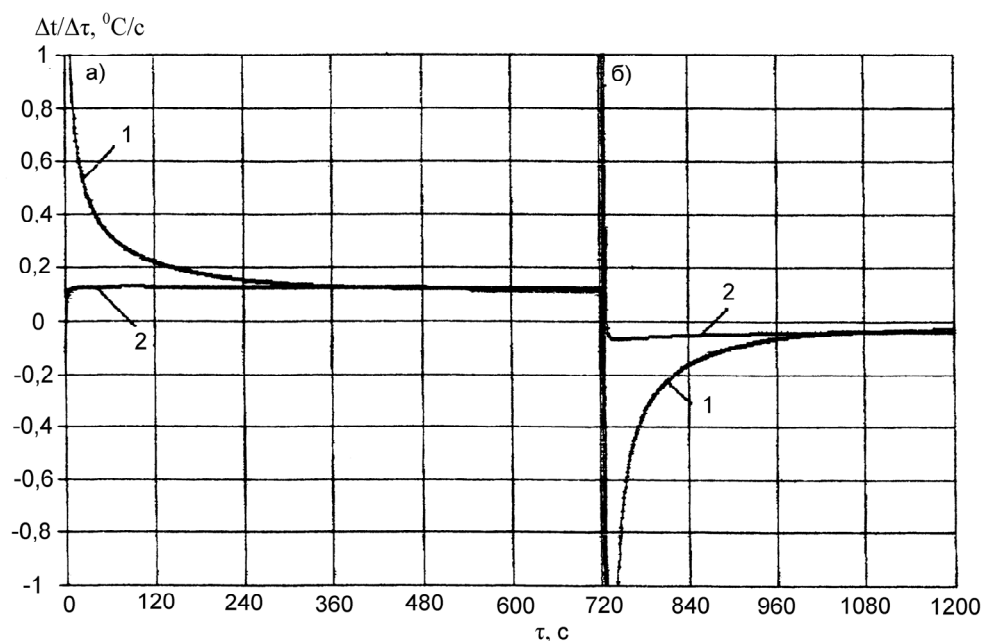
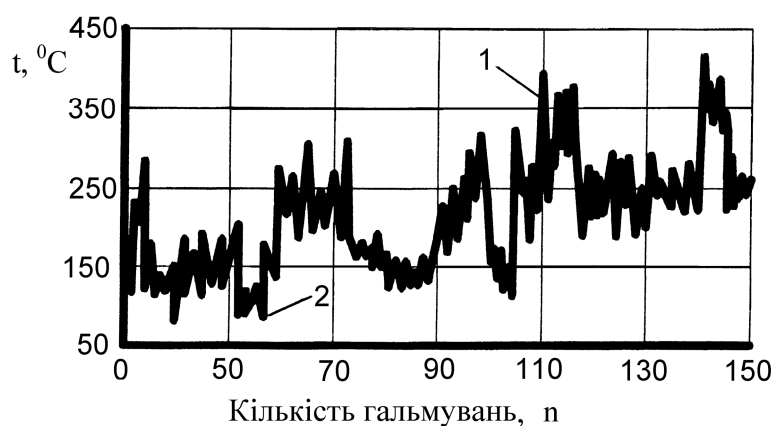


Рисунок 5 – Квазіпостійний темп нагрівання (а) і охолодження (б) робочої (1) і неробочої (2) поверхонь фрикційної накладки



1, 2 – піки: поляризаційні і деполаризації

Рисунок 6 – Закономірності зміни поверхневих температур фрикційних накладок заднього барабанно-колодкового гальма транспортного засобу при аперіодичних гальмуваннях на гірському маршруті

стану до стану, поляризованого полем F_p . Піки, які спостерігаються в такому процесі, називають піками термоелектростимульованої поляризації.

Густина електричного струму (j), що виникає за рахунок зміни поляризації (P) ділянок поверхні сектора 20 накладки 17 в часі (t) визначаються виразом

$$j(t) = \frac{dP(t)}{dt} \quad (2)$$

За аналогією з виразом (1) похідна $dP_o(t)/dt$ визначається як густина струму $j_o(t)$, що пов'язана із зміною рівноважної поляризації сектора 20 накладки 17.

Основною стадією експериментів з вимірюванням температурно-стимулюючих елект-

ричних струмів є нагрівання з квазіпостійним темпом секторів 20 накладки 17

$$T_{i+1}(t) = T_i + bt, \quad (3)$$

де T_i, T_{i+1} – абсолютні температури: на початку і наприкінці процесу нагрівання сектора 17 фрикційної накладки 20, К;

$b = dT(t)/dt$ – коефіцієнт квазіпостійного темпу нагрівання поверхні сектора 20 фрикційної накладки 17 (рис. 5, а).

Визначимо рівноважну поляризацію $P_o(T_i)$, що виникає в слабкому зовнішньому електричному полі F , за допомогою виразів

$$P_o(T_i) = N\chi(T_i)F; \quad (4)$$

$$\chi(T_i) = M^2/nk_s T_i; \quad (5)$$

де N – концентрація переорієнтованих полярних включень, що характеризуються дипольним моментом M і поляризованістю $\chi(T_i)$, яку подаємо наближено у вигляді нерівності

$$MF \leq k_e T_{i-1}, \quad (6)$$

де k_e – постійна Больцмана;

n – розміри простору можливих орієнтацій диполя.

Як початкове значення поляризації $P(T_i)$ вибираємо рівноважну поляризацію, одержану в результаті охолодження ділянок поверхонь секторів 20 фрикційних накладок 17 в електричному полі. Вважаємо, що за відсутності зовнішнього електричного поля ділянки поверхонь секторів 20 накладки 17 мають зовнішню поляризацію.

Остання може бути врахована введенням додаткового електричного поля F_O , так що MF_O (при $MF_O \leq k_e T$) описує зсув мінімумів відповідних орієнтаційних потенціальних ям. Тоді повні електричні поля, що діють на полярні включення секторів 20 накладки 17 в процесах охолодження і нагрівання, рівні $F_O + F_d$ і $F_O + F_P$ відповідно. Переходячи від змінної t до температур T_{i+1} і T_{i+2} з урахуванням того, що

$$\begin{aligned} P(T_{i+1}) &= N\chi(T_{i+1})(F_O + F_d), \\ P_O(T_{i+2}) &= N\chi(T_{i+2})(F_O + F_P) \end{aligned} \quad (8)$$

подаємо шукану густину електричного струму в такому вигляді:

$$j(T_{i+1}) = N\chi(T_i)\Phi(T_{i+1}) \times [F_P - F_d - \psi(T_{i+2})(F_P - F_O)]; \quad (9)$$

де

$$\begin{aligned} \Phi(T_{i+1}) &= \omega(T_{i+1}) \exp[-\alpha(T_{i+1})]; \\ \psi(T_{i+2}) &= T_i \int_{T_i}^{T_{i+2}} \frac{dT'}{T'^2} \exp[\alpha(T')]; \\ \alpha(T') &= b^{-1} \int_{T_i}^T dT' \omega(T'); \end{aligned} \quad (10)$$

$\omega(T_{i+1})$ – функція температури релаксації;

T' – поточні значення температури поверхонь ділянок секторів накладок, значення якої знаходяться між температурами T_{i+1} і T_{i+2} .

Залежності (9) і (10) справедливі для довільного виду функцій $\omega(T_{i+1})$. Із залежностей (9) і (10) випливає ряд теоретичних висновків, що стосуються термоелектричної поляризації поверхонь секторів 20 накладки 17 барабанно-колодкового гальма.

Спектри термостимульованої деполіаризації ресструються в умовах, коли $F_P = 0$. Якщо при цьому і $F_O = 0$, то відповідні електричні струми негативні, оскільки $F_d > F_P$, а їх тем-

пературна залежність визначається виглядом функції $\Phi(T_{i+1})$. При $F_O > 0$ амплітуда піків термостимульованої деполіаризації збільшується за рахунок співмножника $[F_d + \psi(T_{i+2})F_O]$, коли поляризоване електричне поле посилюється за рахунок додаткового; при цьому форма піків спотворюється за рахунок функції $\psi(T_{i+2})$. В звичайних умовах спектри термостимульованої поляризації вимірюються при $F_d = 0$. В цьому випадку електричні струми за рахунок співмножника $[F_P - \psi(T_{i+2})(F_P - F_O)]$ додатні за невисоких поверхневих температур секторів 20 накладки 17 і від'ємні – при їх високих величинах. За умови $F_d = F_P$, тобто коли довільне електричне поле F_P , що виникає на поверхнях секторів 20 накладки 17, дорівнює поляризованому електричному полю F_d при незначному додатковому електричному полі F_O , також спостерігаються від'ємні піки струмів термостимульованої поляризації, що описуються функціями $\Phi(T_{i+1})$ і $\psi(T_{i+2})$.

Як приклад, на рис. 6 проілюстровано закономірності зміни поверхневих температур фрикційних накладок з поляризаційними (1) і деполіаризаційними (2) піками заднього барабанно-колодкового гальма транспортного засобу при аперіодичних гальмуваннях на маршруті. Зв'язок між поляризаційною і деполіаризаційною енергонавантаженистю поверхонь фрикційних накладок колодок барабанно-колодкового гальма транспортного засобу з генерованими електричними струмами, визначаються за допомогою роботи (W_{II}), яка виконується зарядами на поверхнях секторів 20 фрикційних накладок 17

$$W_{II} = k_e \frac{\ln\left(\frac{I_2 T_1^2}{I_1 T_2^2}\right)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}, \quad (11)$$

де I_1 і I_2 – струми, які відповідають температурам на поверхні секторів 20 фрикційних накладок 17, нА;

T_1 і T_2 – температури на початку і наприкінці процесів нагрівання і охолодження секторів 20 фрикційних накладок 17.

Аналітичні рішення (9) і (10) дають змогу з концептуальних позицій описувати змішані процеси, що включають поляризаційну підготовку секторів 20 фрикційних накладок 17 гальмівних колодок 14 барабанно-колодкового гальма при їх охолодженні під час роботи термобатарей в режимі термоелектроохолодильника і дією поляризованого зовнішнього електричного поля, створюваного термобатареями у режимі термоелектрогенератора при їх нагріванні з квазіпостійним темпом.

Висновки

Таким чином, запропонована система термоелектричної поляризації поверхонь фрикційних накладок барабанно-колодкового гальма в стендових умовах за рахунок змішаних процесів («нагрівання – охолодження»), що реалізуються за допомогою термобатарей, які працюють в режимах термоелектрогенератора і термоелектроохолодильника, а також зовнішніх електричних полів, що діють на поверхні поляризованих накладок. При цьому досягаються:

- можливість зміни напряму струму в зовнішньому електричному ланцюзі для термоелектричної поляризації ділянок поверхонь сектора накладок колодок;

- можливість роботи термобатарей, вмонтованих в сектори фрикційних накладок гальмівних колодок, в режимі термоелектрогенератора і термоелектроохолодильника, забезпечуючи тим самим змішані процеси (нагрівання і охолодження) ділянок поверхонь сектора;

- використання змінного темпу нагрівання ділянок поверхонь секторів накладок колодок за допомогою термобатарей, що працюють в режимах термоелектрогенератора і термоелектроохолодильника;

- можливість на всіх стадіях термоелектричної поляризації ділянок поверхонь сектора накладок колодок управляти їх енергонавантажністю (тепловим станом), а також електричними полями;

- можливість оцінки термоелектричної поляризації ділянок поверхонь сектора накладок колодок шляхом введення в аналітичні залежності додаткового, довільного і поляризованого електричних полів і процесів самовільного повернення системи з стану невірноваженого відхилення в стан рівноваги, тобто здійснити релаксацію.

Література

1 Розенбаум В.М. Аналитическое описание токов термостимулированной поляризации и деполяризации / В.М. Розенбаум, О.Е. Цемчик / Физика твердого тела. – 2010. – том 52, вып. 10. – С. 2046 – 2051.

2 Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 575 с.

3 Хайнике Г. Трибохимия / Г. Хайнике. – М.: Мир, 1987. – 587 с.

4 Трибология / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашенко, Є.В. Корбут. – К.: Вид-во нац. авіац. ун-ту „НАУ – друк”, 2009. – 392 с.

5 Пат. 2459986 С2 России, МПК F16D 65/82, F16D 51/10. Способ определения составляющих электрических токов в парах трения «полимер – металл» барабанно-колодочного тормоза при их нагревании в стендовых условиях (варианты) / А.И. Вольченко, Н.А. Вольченко, Д.А. Вольченко, И.В. Бачук, А.Н. Горбей, П.А. Поляков; заявитель и патентодатель Иван-Франковск. национал. техн. ун-т нефти и газа. – Заявл. 26.02.2010; Опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24. – 14 с.

6 Пат. 2462628 С2 России, МПК F16D 65/82, F16D 51/10. Способ определения направленных составляющих электрических токов в парах трения «полимер – металл» барабанно-колодочного тормоза при их нагревании в стендовых условиях / А.И. Вольченко, Н.А. Вольченко, Д.А. Вольченко, И.В. Бачук, А.Н. Горбей, П.А. Поляков; заявитель и патентодатель Иван-Франковск. национал. техн. ун-т нефти и газа. – Заявл. 19.04.2010; Опубл. 27.09.2012, Бюл. № 27. – 27 с.

7 А.с. 826072 СССР, МКИ³. F04B 19/24. Термокомпрессор /М.С. Дзитоев, В.В. Чикова-ни, В.Г. Цихисели (СССР) – №2806851/25-06, заявл. 13.06.79, опубл. 30.04.81, Бюл. № 16-2 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
04.02.13*

*Рекомендована до друку
професором **Вольченко О.І.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором **Мельником П.І.**
(Прикарпатський національний університет
імені В. Стефаника, м. Івано-Франківськ)*