

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.3(84).13864

М. В. КИНДРАЧУК¹, Д. А. ВОЛЬЧЕНКО², В. С. СКРЫПНИК³,
Д. Ю. ЖУРАВЛЕВ², Е. С. ФЕДОТОВ⁴

¹Национальный авиационный университет, Украина

²Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

³Надворнянский колледж при Киевском национальном транспортном университете, Украина

⁴Кубанский государственный технологический университет, Россия

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОДБОРА ПАР ТРЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ (часть первая)

Предложен термоэлектрический метод подбора пар трения тормозных устройств, исходя из химического состава их материалов. Критерием оценки адекватности метода является величина работы выхода электронов из металлического элемента трения, которая направлена на подавление возникающего во фрикционной паре тормоза скачка потенциала.

Ключевые слова: тормозное устройство, пара трения, «металл - полимер», термоэлектрический эффект, скачок потенциала, работа выхода электронов.

Введение. Фрикционно-износные характеристики пар трения тормозных устройств обусловлены структурой и физико-химическими свойствами контактирующих материалов, а также условиями их эксплуатации. Интенсивное тепловыделение при эксплуатации тяжелонагруженных пар трения тормозных устройств оказывает существенное влияние на типы контактов трущихся тел и их рабочие характеристики. Это происходит вследствие изменения химического состава, механических и теплофизических свойств материалов, активации физико-химических процессов в поверхностных слоях, тепловой деформации фрикционных элементов и т. д. Совокупность этих процессов, явлений и эффектов часто приводит к ухудшению рабочих характеристик, появлению отказов и преждевременному выходу из строя пар трения тормозов.

Физической основой трибоэлектрических явлений считаются: типы контактов, возникающих при фрикционном взаимодействии металлополимерных пар трения [1], наличие электротермосопротивления микровыступов металлических элементов трения [2; 3] и образующийся на границе раздела трущихся пар скачок трибоэлектрического потенциала [4; 5].

Состояние проблемы. Рабочая поверхность металлического элемента трения обладает избыточной энергией, которую называют поверхностной. Ее энергетический уровень в процессе электротермомеханического трения постоянно изменяется. Причиной этого являются трибоэлектрические явления контактного характера, при которых в момент фрикционного взаимодействия пары трения «металл - полимер» наблюдается переход электронов и ионов от одной поверхности к другой [6; 7]. При этом на границе раздела пар трения образуется скачок потенциала, равный разности энергетических уровней Ферми двух материалов ($F_1 - F_2$) до их контакта. Указанный скачок потенциала препятствует преобладающему переходу электронов проводимости от одного материала пары трения к другому, в результате чего между поверхностями возникает контактная разность потенциалов, равная разности работ выхода электронов из материалов пары трения. Металлические элементы трения (диски, шкивы, барабаны) имеют

различный химический состав, однако в паре с ними используют одинаковые фрикционные материалы для накладок.

Постановка задачи. В данной статье применительно к данной проблеме рассмотрена оценка энергетических уровней микровыступов фрикционных элементов: единичного и пары трения.

Цель работы – обоснование пригодности трибоэлектрического метода подбора материалов пар трения тормозных устройств для подавления скачков потенциалов в момент их фрикционного взаимодействия с обеспечением преобладающего перехода электронов от металлического элемента трения в поверхностный слой фрикционных накладок.

Оценка энергетического уровня микровыступов фрикционных элементов.

Единичного. Детально остановимся на модели микровыступа металлического элемента трения (рис.1), поскольку он играет основную роль при оценке ресурса полимерной накладки.

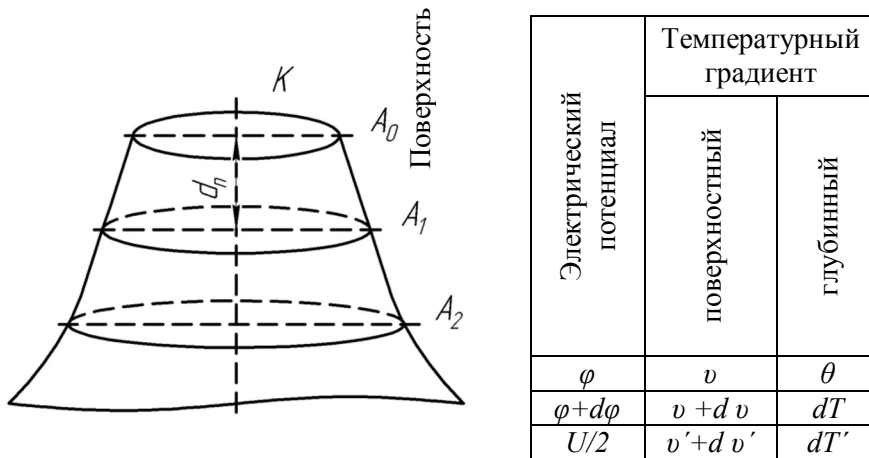


Рис. 1. Многослойная структура микровыступа и ее энергетические уровни

Многослойная структура микровыступа представлена в виде колокольчика без язычка (см. рис. 1). Представим себе контактирующий микровыступ K в виде многослойной структуры, ограниченной поверхностью φ или v и другой поверхностью $\varphi+d\varphi$ и $v+dv$. Электрическое и тепловое сопротивление слоя – dR и dW . К нему добавляются следующие слагаемые, потенциал которых отличается на $d\varphi$ так, что $d\varphi$ может рассматриваться как переменная. Все слои структуры переносят разный ток I и их электрические сопротивления $dR=d\varphi/I$ не равны друг другу. Таким образом, dR является переменной величиной. Однако, поскольку коэффициенты электропроводности n и теплопроводности κ зависят от v неодинаково, тепловые сопротивления слоев dW не равны друг другу; dW и dv изменяются от слоя к слою.

Температурный поток вызывает на поверхностях слоев микровыступа температурный градиент

$$-\frac{dv}{dn}. \quad (1)$$

Он, проходя через нижнюю поверхность первого слоя, создаст на ней градиент

$$\frac{d(v + dv)}{d(n + dn)}. \quad (2)$$

Джоулева теплота, выделяемая на первом слое микровыступа, будет:

$$\frac{(d\varphi)^2}{dR}. \quad (3)$$

Поскольку выделяемая теплота в первом слое микровыступа должна равняться разности входящей и отводимой во второй слой теплоты, в мгновенно установившемся состоянии при реполяризации по градиентам температуры получаем:

$$\frac{dv}{dn} - \frac{dv + d^2v}{dn + d^2n} = \frac{(d\varphi)^2}{dR}. \quad (4)$$

Поскольку $d^2W \ll dW$, то вместо $(dn + d^2n)^{-1}$ записываем: $\frac{1 - d^2W / dW}{dn}$

и имеем:

$$\frac{d^2v - dv \frac{d^2W}{dn}}{dn} = \frac{(d\varphi)^2}{dR}. \quad (5)$$

Если $dR = \text{const}$ из-за незначительной толщины первого слоя микровыступа, то $dW / dR = n / \kappa$ и, следовательно,

$$d^2W = dR \alpha \left(\frac{n}{\kappa} \right) = - \frac{dR}{\left(\frac{\kappa}{n} \right)^2} d \left(\frac{\kappa}{n} \right). \quad (6)$$

Подставляя это выражение в (5), получаем:

$$\frac{\left(\frac{\kappa}{n} \right) d^2v + dv d \left(\frac{\kappa}{n} \right)}{d\varphi} = d \left(\frac{\kappa}{n} \frac{dv}{d\varphi} \right) = -d\varphi. \quad (7)$$

Первое интегрирование между поверхностями A_0 и A_1 , последняя из которых считается нижним пределом, и поверхностью с потенциалом φ и температурой v приводит к выражению:

$$\frac{\kappa}{n} \frac{d\theta}{d\varphi} = -\varphi. \quad (8)$$

Повторное интегрирование дает:

$$\int_0^\theta \frac{\kappa}{n} d\theta = \int_v^0 \rho \kappa d\theta = \frac{1}{2} \varphi^2. \quad (9)$$

Уравнение (9) является общим выражением зависимости $\varphi - v$ для случая, когда контактная поверхность нагрета генерируемыми ею электрическими и аккумулируемыми тепловыми токами и является областью стягивания. Если она имеет достаточную длину и общее напряжение на контакте U , то на поверхностях слоя имеем потенциалы $\pm U/2$.

Таким образом, знание законов распределения температурного потенциала по слоям высоты микровыступа металлического элемента трения обеспечивает

возможность количественного и качественного подбора компонентов его структуры и целенаправленно управлять энергонагруженностью металлополимерных трибосопряжений для снижения поверхностных температурных напряжений.

Пар трения. Использование основ градиентной теории твердых тел и на границах межфазных слоев в интервале поверхностных температур ниже и выше допустимой для материала полимерной накладки позволит обеспечить положительный градиент механических свойств в поверхностных слоях металлополимерных пар трения тормозных устройств. Существенное влияние на энергонагруженность межфазных слоев оказывают градиенты электрического потенциала и температуры, возникающие на взаимодействующих поверхностях пятен контактов микровыступов пар трения «полимер - металл» и по их глубине.

В табл. 1 представлено шесть случаев контактно-импульсного взаимодействия микровыступов поверхностей трения с различными градиентами электрического потенциала и температуры при заданных граничных условиях. В

табл. 1 использованы следующие обозначения: $\frac{d\varphi}{dn}$, $\frac{dv}{dn}$ – градиенты электрического потенциала и температуры; a – радиус пятна контакта; r – расстояние от пятна контакта до рассматриваемой точки; s – толщина воздушного зазора между пятнами контактов; A_0, A_1, A_2 – площади пятен контактов: рассматриваемая и изотермические; q – общий пространственный заряд; u – общее напряжение стягивания; θ, T и T_0 – температуры: разность на пятне контакта; рабочей поверхности металлического элемента трения и окружающей среды; Π_1 – теплота Пельтье; W_X, W_Y – тепловые сопротивления частей потоков, отнесенные к осям координат X и Y ; κ, k – коэффициенты электро- и теплопроводности контактирующих материалов; k_B, k_3 – коэффициенты теплопроводности материала полимерной накладки и воздушного зазора между контактами; σ, γ – коэффициенты Томпсона; пропорциональности; j – плотность электрического тока; ρ – удельное электрическое сопротивление контакта.

Кратко анализируем каждый из случаев, представленных в табл. 1.

Первый случай. Асимметрия наблюдается в отдельных зонах там, где расстояние r от контакта велико по сравнению с радиусом a контактного пятна микровыступов A_C , которое в данном случае имеет форму круга (рис. 2).

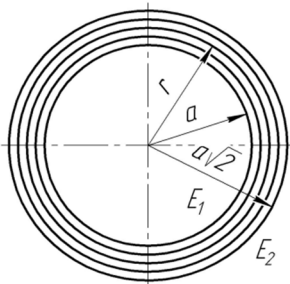


Рис. 2 Составляющие промежуточного пространства вокруг контактного пятна, имеющего радиус a

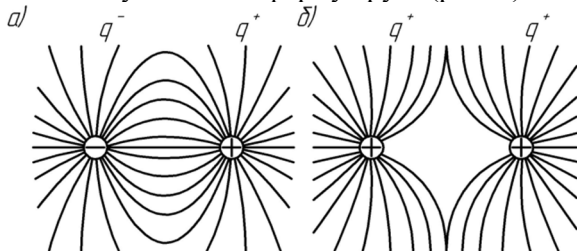


Рис. 3 а, б Линии электрического поля между разноименными (а) и одноименными (б) зарядами

Установлено, что градиент потенциала в зоне стягивания уменьшается по мере увеличения расстояния от контакта. При этом общий пространственный

Таблиця 1
Контактно-імпульсне взаємодійне мікровступов
поверхностей трення з різними градієнтами елек-
тричного потенціала і температури при заданих гра-
нічних умовах

№ д/п	Види взаємодійних дій на контакті	Залежності для оцінки електричних і теплових полів
1.	Положення електричного поля на контакті: асиметричне	$\frac{d\varphi_3}{dn}$ зменшується; кожний q_k впливає як q_k/γ ; не порушується залежність виду $\varphi_3 - v$. $(\frac{d\varphi_3}{dn})_3 = 0, (dt/dn)_3 = 0;$ $\int_t^v \rho \cdot k \cdot dt = 0,5\varphi_3^2 \quad (10)$ $W_x = 0,125a_{\Gamma\Pi}; \quad (11)$ $W_y = \frac{S}{1,7a_{\Gamma\Pi}^2\lambda_3} + \frac{1}{2\pi\Gamma\Pi\lambda_{\Pi}} \quad (12)$
2.	симетричне з провідностями, які відрізняються: суттєво (пара «полімер – метал»)	$(\frac{d\varphi_3}{dn})_3 = 0; (\frac{dt}{dn})_3 = 0.$ $\int_t^v \rho \lambda dt = 0,5\varphi_3^2 \quad (13)$
3.	незначально (пари: «метал – метал»; «полімер – полімер»).	$\int_0^v \rho \lambda_{\Pi} dt = 0,125u^2 \quad (14)$

4.	Биметалічні контакти	$\int_t^v \frac{\lambda}{\chi} dt = 0,5\varphi_3^2 \quad (15)$ $(\frac{d\varphi_3}{dn})_{A_{\Phi_1}} \neq 0; (\frac{d\varphi_3}{dn})_{A_{\Phi_2}} \neq 0;$ $(dv/d\varphi_3)_{A_{\Phi_0}} = 0$ змінюється еквівалентно умовою $\frac{\lambda}{\chi} \left(\frac{dt}{dn}\right)_{A_{\Phi_0}} = Y \cdot \frac{\lambda}{\chi} \frac{dt}{d\varphi} = -\varphi;$ $\int_t^v \rho \lambda dt = 0,5\varphi_3^2 + \Pi_1 u \quad (16)$ $\int_t^v \rho \lambda dt = 0,5u^2 + \Pi_1 u \quad (17)$ $Q = I \sigma t dt; \quad (18)$ $d\left(\frac{\lambda}{\chi} \frac{dv}{d\varphi}\right) = -d\varphi; \left(\frac{dt}{d\varphi}\right)_{A_0} = 0; \frac{\lambda}{\chi} \frac{dv}{d\varphi} = -\varphi_3; \quad (19)$ $\int_t^v \rho \lambda_{\eta} dt = 0,5\varphi_3^2 - \int_0^v d\varphi_3 \int_0^t \sigma t dt \quad (20)$ $\sigma t = \gamma / \eta t; \quad (21)$ $\int_t^v \rho \lambda_{\eta} dt = 0,5\varphi_3^2 - \left\{ \varphi_3 - \gamma \eta \left[(t_0 + v)^2 - t_0^2 \right] \right\} \cdot (22)$ $\int_t^v \rho \lambda_{\eta} dt = 0,5\varphi_3^2 - \left\{ \varphi_3 - \gamma \eta \left[(t_0 + v)^2 - t_0^2 \right] \right\} \cdot (23)$
5.	Взаємодійні електричних і теплових потоків: однакова щільність на контакті;	
6.	при переносі теплоносителями електричного струму з поверхневим градієнтом температури	

заряд в отдельных зонах стягивания по величине почти такой пространственный заряд такой же, как и заряды в непосредственной близости от пятна контакта (см. рис. 3, а, б). Следовательно, влияние удельных зарядов на электрическое поле в зоне стягивания пренебрежимо мало.

Аналогичные рассуждения справедливы и в отношении теплового поля.

Таким образом, асимметрия не нарушает закона зависимости вида $\varphi - v$ в наиболее узких частях стягивания, так как градиенты температуры и напряжения в них велики, а асимметрия в отдельных зонах не отражается на общем напряжении u стягивания и на разности температур θ контактной поверхности пятна взаимодействия.

Второй случай характерен для металлополимерных пар трения. При нагревании микровыступов поверхности контакта условия $(d\varphi/dn)_{\Sigma} = 0$ и $(dv/dn)_{\Sigma} = 0$ не соблюдаются, поскольку имеется разность температур между взаимодействующими пятнами контактов. При этом тепловой поток делится на две части: продольную (часть X) и поперечную (часть Y). Тепловой поток вдоль Y вызовет отклонение результатов расчета по зависимости (10) (см. табл. 1) примерно на величину $(W_X / W_Y) \cdot 100, \%$. Составляющие уравнения (10) определяются по зависимостям (11) и (12). После выполненных расчетов на основе значений параметров получили величину отклонения теплового потока $W_X / W_Y < 0,05$, которой можно пренебречь.

Третий случай характерен для интенсивного массопереноса от микровыступов контактирующих поверхностей по схеме «полимер-металл» и наоборот. Он определяет энергетические уровни взаимодействия микровыступов пятен контактов согласно зависимостям (13) и (14).

Четвертый случай отличается от третьего величинами градиентов $[(grad\varphi)_{A1}]$ отличается от $(grad\varphi)_{A2}]$, так как энергетические уровни металлов, входящих в биметалл, различны.

Пятый случай. Поверхность пятна контакта микровыступов A_0 удовлетворяет граничным условиям, но не удовлетворяет условию, $(d\varphi/dn)_{A_0} \neq 0$, так как A_0 пересекается тепловым потоком, плотность которого пропорциональна плотности электрического тока j . Вследствие этого получаем Yj , где Y имеет единицу измерения напряжения.

Поскольку тепловой поток пропорционален j , он не вносит изменений в систему элементарных линий тока.

В результате преобразований ряда зависимостей получили выражение (17) для оценки теплового потока в интервале температур $0 - v$ и при изменении температуры от v до θ [выражение (18)]. Часть теплоты Пельтье (Π_1) уходит в исследуемое пятно контакта и составляет тепловой поток $\Pi_1 J$, U является напряжением зоны стягивания на нем.

Анализ зависимости (18) показывает, что при небольших величинах U , характерных для металлополимерных пар трения, эффект Пельтье вызывает заметное отклонение U от зависимости вида $\varphi - v$.

Шестой случай характеризуется переносом теплоносителями электрического тока из более нагретой зоны пятна контакта в менее нагретую, лежащую на пути его движения. Это осуществляется посредством эффекта Томпсона, интенсивность которого зависит от величины коэффициента Томпсона (σ_T). Записав количество теплоты (19), поступающей от сечения микровыступа с температурой $t + dt$ к соседнему сечению с температурой t с учетом граничных условий, и

использовав зависимость вида (21), после окончательного интегрирования получили выражение (22).

В дальнейшем с учетом условия, что при высоких температурах металлического элемента трения σ_t пропорционален T , в окончательном виде получаем зависимость (23). Она связывает между собой параметры электрического и теплового полей, токи которых пронизывают пятна контакта микровыступов трущихся поверхностей.

Выводы. Оценен энергетический уровень микровыступов металлического фрикционного элемента из различных материалов, используемых в тормозостроении, результаты которого легли в основу при разработке трибозлектрического метода рационального подбора пар трения.

Список литературы

1. Электродинамика контактно-термического фрикционного взаимодействия в металлополимерных парах трения / М. В. Киндрачук, А. И. Вольченко, Д. А. Вольченко, Д. Ю. Журавлев, В. М. Чуфус // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2018. – 54, №1. – С. 71-78.
2. Энергетические уровни различных типов контактов микровыступов пар трения / М. В. Киндрачук, А. И. Вольченко, Д. А. Вольченко, [и др.]. – Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2018. – №6. – С. 81-92.
3. Трибология / А. И. Вольченко, М. В. Киндрачук, Д. Ю. Журавлев [и др.]. – Киев – Краснодар: Изд-во «Плай», 2015. – 371 с.
4. Григорьев С. В. Применение термоэлектрического метода сортировки промышленных сталей / С. В. Григорьев, Н. В. Русанова, В. М. Ершов. - Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск.: Ладо, 2008. – №27. – С. 324-329.
5. Лурье С. Прогноз механических и динамических свойств материалов с микро- и наноструктурой на основе градиентов теории сред / С. Лурье // Электронный журнал Труды ИПРИМ РАН. – М., 2009. – 46 с.
6. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок / А. Х. Джанахмедов, Д. А. Вольченко, В. С. Скрыпнык, И. Я. Ширали, Э. А. Джанахмедов, Н. А. Вольченко, Д. Ю. Журавлев / Под общ. ред. акад. А. Х. Джанахмедова. – Баку: Апострофф, 2016. – 312 с.
7. Научное открытие №476. Закономерность реализации процесса электротермомеханического трения в рабочих слоях металлополимерных пар / А. Х. Джанахмедов, А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко, Э. А. Джанахмедов, М. Я. Джавадов // Науч. Открытия. – Баку: Апострофф, 2015. – 180 с.

Стаття надійшла до редакції 02.07.2019.

Киндрачук Мирослав Васильевич – докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедры машиноведения, Национальный авиационный университет, пр. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03058, E-mail: nau12@ukr.net

Вольченко Дмитрий Александрович – докт. техн. наук, профессор кафедры добычи нефти и газа, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 72 71 41, моб. 050-373-82-42, E-mail: divo99@ukr.net.

Скрыпнык Василий Степанович – канд. техн. наук, доцент, преподаватель Надворнянского колледжа при Киевском национальном транспортном университете, Ивано-Франковская обл., г. Надворная.

Журавлев Дмитрий Юрьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры технической механики, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 7271 47, E-mail: dmytro.2103@ukr.net

Федотов Евгений Сергеевич – аспирант кафедры материаловедения и автосервиса Кубанского национального технологического университета, ул. Московская 2, Краснодар, Россия, 350062.

*М. В. КИДРАЧУК, Д. О. ВОЛЬЧЕНКО, В. С. СКРИПНИК,
Д. Ю. ЖУРАВЛЬОВ, Є. С. ФЕДОТОВ*

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ МЕТОД ПІДБОРУ ПАР ТЕРТЯ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ (частина перша)

Запропоновано термоелектричний метод підбору пар тертя гальмівних пристроїв, виходячи з хімічного складу їх матеріалів. Фрикційно-зношувальні характеристики пар тертя гальмівних пристроїв обумовлені структурою і фізико-хімічними властивостями контактуючих матеріалів, а також умовами їх експлуатації. Інтенсивне тепловиділення при експлуатації важконавантажених пар тертя гальмівних пристроїв істотно впливає на типи контактів тіл, що труться і їх робочі характеристики. Це відбувається внаслідок зміни хімічного складу, механічних і теплофізичних властивостей матеріалів, активації фізико-хімічних процесів в поверхневих шарах, теплової деформації фрикційних елементів та ін. Критерієм оцінки адекватності методу є величина роботи виходу електронів з металевго елемента тертя, яка спрямована на подавлення виникаючого у фрикційній парі гальма стрибка потенціалу. Фізичною основою трибоелектричних явищ вважаються: типи контактів, що виникають при фрикційній взаємодії металополімерних пар тертя, наявність електротермоопору мікровиступів металевих елементів тертя і утворюючий на границі поділу пар, які труться, стрибок трибоелектричного потенціалу. Робоча поверхня металевго елемента тертя має надлишкову енергією, яку називають поверхневою. Її енергетичний рівень у процесі електротермомеханічного тертя постійно змінюється. Причиною цього є трибоелектричні явища контактного характеру, при яких в момент фрикційної взаємодії пари тертя «метал - полімер» спостерігається перехід електронів та іонів від однієї поверхні до іншої. Використання основ градієнтної теорії твердих тіл і на границях міжфазних шарів в інтервалі поверхневих температур нижче і вище допустимої для матеріалу полімерної накладки дозволить забезпечити позитивний градієнт механічних властивостей в поверхневих шарах металополімерних пар тертя гальмівних пристроїв. На енергонавантаженість міжфазних шарів істотно впливають градієнти електричного потенціалу і температури, що виникають на взаємодіючих поверхнях плям контактів мікровиступів пар тертя. Крім того, оцінений енергетичний рівень мікровиступів металевго фрикційного елемента з різних матеріалів, які використовуються у гальмобудуванні, результати якого лягли в основу при розробці трибоелектричного методу раціонального підбору пар тертя.

Ключові слова: гальмівний пристрій, пара тертя, «метал - полімер», термоелектричний ефект, стрибок потенціалу, робота виходу електронів.

*M. V. KINDRACHUK, D. A. VOLCHENKO, V. S. SKRYPNYK, D. Yu. ZHURAVLOV,
Ye. S. FEDOTOV*

THERMOELECTRIC METHOD OF FRICTION PAIRS SELECTION OF BRAKE DEVICES (Part One)

The thermoelectric method of matching friction pairs of brake devices based on the chemical composition of their materials is considered. The criterion for evaluating the method is the work function of electrons from a metal friction element, aimed at suppressing a potential jump occurring in a friction braking pair.

The friction-wear characteristics of friction pairs of brake devices are determined by the structure and properties of the contacting materials, as well as their operating conditions. Intensive heat generation during the operation of heavily loaded friction pairs of brake devices has a significant impact on the types of contacts and their performance due to changes in the chemical composition, mechanical and thermal properties of materials, activation of physical and chemical processes in the surface layers, thermal deformation of friction elements, etc. The combination processes, phenomena and effects often leads to deterioration of performance, the appearance of failures and premature failure of friction pairs brakes.

The surface of the metal friction element has excess energy, which is called the surface. Its energy level in the process of electro-thermomechanical friction is constantly changing. The reason for this change is tribo-electric phenomena of a contact nature, in which at the moment of frictional interaction of a metal-polymer friction pair, electrons and ions transfer from one surface to another. The indicated potential jump prevents the prevailing transition of conduction electrons from one material of the friction pair to another, as a result of which a contact potential difference arises between the surfaces, equal to the difference of the work function of electrons from the friction pair materials. Metal friction elements (discs, pulleys, drums) have a different chemical composition, and for them use the same friction materials for linings. Thus, based on the knowledge of the distribution of the temperature potential over the layers of the micro-protrusion height of the metal friction element, it is possible by controlling the components of its structure to control the energy load of the metal-polymer tri-shells, while achieving a reduction in surface temperature stresses.

The gradient theory of solids and at the boundaries of the interfacial layers in the range of surface temperatures below and above the allowable material for the polymer lining will allow to answer the question of providing a positive gradient of mechanical properties in the surface layers of metal-polymer friction pairs of braking devices. However, the electric potential and temperature gradients on the interacting surfaces of the contact spots of the microprotrusions of the polymer – metal friction pairs and over their depth have a significant effect.

Six cases of contact-impulse interaction of microprotrusions of friction surfaces with different gradients of electric potential and temperature under given boundary conditions are presented.

The first case. Asymmetry is observed in certain areas where the distance r from the contact is large compared to the radius of the contact spot of the microprotrusions, which in this case has the shape of a circle. The second case is characteristic of metal-polymer friction pairs. The third case is characteristic of intensive mass transfer from microprotrusions of the contacting surfaces according to the polymer-metal scheme and vice versa. The fourth case differs from the third one in gradients, since the energy levels of the metals in the bimetal are different. The fifth case. The surface of the microprotrusion contact patch satisfies the boundary conditions. The sixth case is characterized by the transfer of electric current by coolants from a more into a less heated zone of the contact patch, which lies in the path of its movement.

Thus, the energy level of the micro-protrusion of the metal friction element and friction pairs from various materials used in brake engineering was estimated.

Keywords: braking device, friction pair, «metal – polymer», thermoelectric effect, potential jump, electron work function.

References

1. Elektrodynamika kontaktno-termichnogo fryktsiynoho vzayemodiy-naslidkom v metalopolimernykh parakh tertya / M. V. Kindrachuk, A. I. Volchenko, D. A. Volchenko, D. Yu. Zhuravlov, V. M. Chufus // Fiz.-khim. mekhanika materialiv. - 2018. - 54, №1. - S. 71-78.
2. Energeticheskiye urovni razlichnykh tipov kontaktov mikrovystupov par treniya / M. V. Kindrachuk, A. I. Vol'chenko, D. A. Vol'chenko, [i dr.]. – Fiz.-khim. mekhanika materialiv.- 2018.-№6. – S. 81 – 92.
3. Tribologiya / A. I. Vol'chenko, M. V. Kindrachuk, D. Yu. Zhuravlev [i dr.]. – Kiyev – Krasnodar: Izd-vo «Play», 2015. – 371 s.
4. Grigor'yev S. V. Primeneniye termoelektricheskogo metoda sortirovki primyshlennykh staley / S. V. Grigor'yev, N. V. Rusanova, V. M. Yershov. - Sbornik nauchnykh trudov DonGTU. – Alchevsk.: Lado, 2008. - №27. – S. 324 – 329.
5. Lur'ye S. Prognoz mekhanicheskikh i dinamicheskikh svoystv materialov s mikro- i nanostrukturay na osnove gradiyentov teorii sred / S. Lur'ye // Elektronnyy zhurnal Trudy IPRIM RAN. – M., 2009. – 46 s.
6. Proyektnyy i proverchnyy raschet friktsionnykh uzlov lentochno-kolodochnykh tormozov burovykh lebedok / A. Kh. Dzhanakmedov, D. A. Vol'chenko, V. S. Skrypnyk, I. Ya. Shirali, E. A. Dzhanakmedov, N. A. Vol'chenko, D. Yu. Zhuravl'ov / Pod obshch. red. akad. A. KH. Dzhanakmedova. – Baku: Apostroff, 2016. – 312 s.
7. Otkrytiye №476. Zakonomernost' realizatsii protsessa elektrotermomekhanicheskogo treniya v rabochikh sloyakh metalopolimernykh par / A. Kh. Dzhanakmedov, A. I. Vol'chenko, N. A. Vol'chenko, E. A. Dzhanakmedov, M. Ya. Dzhavadov // Nauch. Otkrytiya. – Baku: Apostroff, 2015. – 180 s.