

УДК 62-92.113

Є. І. Крижанівський, д. т. н., проф.;

М. А. Вольченко, к. т. н., доц.;

Д. Ю. Журавльов, к. т. н.;

В. І. Снурніков, студ.

МОДЕЛЬ ТРИБОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ У ПАРАХ ТЕРТЯ ГАЛЬМОВИХ ПРИСТРОЇВ

Показано VI-рівневу структурну модель трибосистеми ковзання (фрикційного вузла гальмівного пристрою), яка базується на ієрархічному системному підході. Виділено останній рівень структурної моделі, в якому компоненти фрикційної накладки при температурах вище допустимої зазнають фазовий перехід 1-го роду: випаровування і конденсацію в твердій фазі. Доведено, що в трибологічній моделі приповерхневого шару фрикційної накладки необхідно розглядати три елементарних об'єми з різними енергетичними рівнями: димлячий (сублімації), рідкий і пароподібний.

Вступ

Для проведення аналізу процесів і явищ, що мають місце в парах тертя гальмових пристроїв, зручно скористатися моделлю трибосистеми. Модель залежно від потреб відображає реальну систему в різному наближенні. Останнє буде зменшуватися в тому випадку, якщо модель розбивається на n -ну кількість підмоделей, які уподібнені тим або іншим процесам і явищам, що відповідають різним областям математичної фізики, термодинаміки, газової динаміки, експериментальної теоретичної термодинаміки, експериментальної й теоретичної електротехніки й т. д.

У роботі [1] на основі системного підходу досліджено роботу трибосистеми, що працює в мастилі, у сільськогосподарських машинах. У ній вхідні характеристики розділені на три групи: матеріали трибоелементів і їх обробка, середовище (мастило) і зовнішні впливи. Однак у трибосистемі не було враховано у фрикційному матеріалі накладок фазового переходу 1-го роду: випарювання і конденсацію у твердій фазі.

Дослідження стохастичних прошарків викладено в роботі [2] у зв'язку з руйнуванням магнітних поверхонь у тороїдальних магнітних уловлювачах. При цьому встановлено виникнення стохастичних прошарків, які складають систему, об'єднану в мережі, і в остаточному підсумку являють собою стохастичну павутину. Пронизуючи весь фазовий простір, якими є магнітні поверхні, стохастична павутина відіграє визначальну роль у їх глобальній стійкості. Руйнування магнітних поверхонь у тороїдальних магнітних уловлювачах розглядалася в динамічній системі, а не в тепловій системі.

У таблиці наведені фактори, що впливають на матеріали пар тертя, їх поверхні поділу, поверхневі й приповерхневі прошарки фрикційних елементів, а також на прошарки поділу. Зупинимося на загальній характеристиці процесів і явищ, які не були розглянуті в роботах [1—4].

Контактна різниця потенціалів — різниця електричних потенціалів $\Delta\varphi$, яка виникає при мікроконтакті взаємодіючих поверхонь фрикційних вузлів гальмових пристроїв. Контактна різниця потенціалів залежить від різниці потенціалів виходу φ_1 — φ_2 контактуючих матеріалів, абсолютної температури T контакту, що відрізняються концентрацією n_1 і n_2 електронів у них:

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}, \quad (1)$$

де k — стала Больцмана; e — електричний заряд.

Поляризація приповерхніх прошарків фрикційних накладок є їх особливим станом, що виникає в результаті дії електричного дипольного моменту на кожний елемент об'єму $\left(\sum \vec{P} \neq 0\right)$. Кількісною

мірою поляризації є поляризованність (інтенсивність) поляризації. Остання є фізичною величиною, що характеризує поляризацію приповерхневого прошарку фрикційних накладок і дорівнює сумі

векторів дипольних моментів P_i молекул віднесених до об'єму ΔV , який вони займають $\vec{P} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^n P_i \right)$. При цьому фрикційний матеріал накладок стає електретом завдяки тому, що тривалий час зберігає стан поляризації під дією зовнішнього електричного струму.

Фактори, що впливають на матеріали пар тертя, їх поверхні розділу, поверхневі й приповерхневі шари фрикційних елементів, а також на відокремлювальні шари середовища

Матеріали пари тертя	Поверхні поділу пар тертя	Поверхневі прошарки металевого фрикційного елемента	Приповерхневі прошарки фрикційної накладки	Прошарки поділу середовища
термодинамічні параметри: теплоємність, ентальпія, ентропія, потенціал; здатність до фазових перетворень: опорам проникненню водню; хімічною активністю й рівновагою хімічних реакцій	зовнішнє електричне й електромагнітне поля і їх потенціали; вільна поверхнева енергія; поглинальна і випромінювальна здатності; темпи нагрівання й охолодження	контактна різниця потенціалів; адсорбційне зниження міцності; первинна й вторинна структура; щільний ефект; охолоджувальна й нагрівальна здатність; коефіцієнт розподілу теплових потоків	поляризаційний ефект; електрокінетичний потенціал; ефект електродіафорезу; охолоджувальна й нагрівальна здатність; інверсія теплових потоків	різні види дифузійного й іонізаційного потенціалів; термодинамічні параметри: температури, тиску, об'єму й теплоємності; електрострум конвекції; хімічна активність

Дифузія — поширення прошарків повітря й газів, що виділялися з приповерхневих прошарків фрикційних накладок, у напрямку зменшення їх концентрації, що зумовлено тепловим рухом іонів, атомів і молекул.

Залежно від того, в якому полі відбувається поширення потоків повітря й газів, що перебувають у міжконтактному зазорі пар тертя гальма розрізняють такі дифузії: термічну, електричну й електромагнітну. Через ці дифузії і встановлюється нерівномірний розподіл концентрації прошарків повітря й газів у міжконтактному зазорі пар тертя гальмових пристроїв.

Електрокінетичні явища пов'язані з існуванням на границях фаз вільних електричних зарядів (частіше іонів), що розташовуються у вигляді двох протилежно заряджених прошарків. Для кількісної характеристики електрокінетичного явища використовують поняття електрокінетичного потенціалу, величина якого залежить від числа зарядів на границі поділу і їх розподілу в подвійному електричному прошарку [3].

Електромагнітне поле — фізичне поле, через яке здійснюється електромагнітна взаємодія. Це окремий вид фізичного поля, що являє собою єдність електричних і магнітних полів. Окремим проявом стаціонарного електромагнітного поля є електростатичне поле (окремим проявом стаціонарного електромагнітного поля є електростатичне поле нерухомих зарядів) і магнітне поле (поле постійних макро або мікрострумів). Нестационарне електромагнітне поле проявляється як поле прискорених зарядів або як електричне поле змінних струмів [4].

Потенціали електромагнітного поля — характеристики скалярного (ϕ) і векторного (\vec{A}) електромагнітного поля. Потенціали електромагнітного поля пов'язані з векторними характеристиками \vec{B} (магнітна індукція) і \vec{E} (напруженість електричного поля):

$$\vec{B} = \text{rot } \vec{A}; \quad \vec{E} = -\text{grad } \phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}, \tag{2}$$

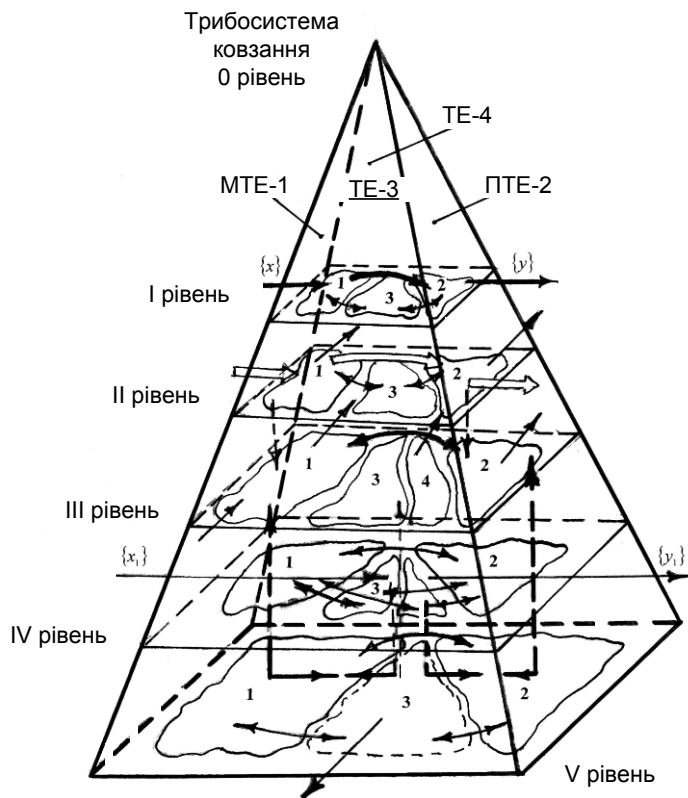
де A і t — функції координат і часу.

Модель трибологічних систем у парах тертя гальмових пристроїв

Для проведення аналізу процесів і явищ, що мають місце в парах тертя гальмових пристроїв, зручно скористатися моделлю трибосистеми.

На рисунку зображена структурна, шестирівнева модель трибосистеми ковзання з такими рівня-

ми: 0 — трибосистема ковзання (фрикційний вузол); I — фрикційна площина; II — площина роботи тертя; III — площина теплоти, що генерується, акумулюється і розсіюється; IV — площина мікрорівнів на поверхневих прошарках і прошарках поділу, а також на поверхнях поділу фрикційних матеріалів пар тертя; V — площина зношування.



Структурна модель трибосистеми ковзання (фрикційного вузла гальмового пристрою) на шести рівнях ієрархічного системного підходу

Структурна модель трибосистеми ковзання (фрикційних вузлів гальмових пристроїв) зображена у вигляді чотиригранної піраміди за кількістю трибоелементів, які беруть активну участь у процесах тертя й зношування: МТЕ-1; ПТЕ-2; ТЕ-3 і ТЕ-4 (див. рис.). Ця структура складається з металевого (М) (1) і пластмасового (2) трибоелементів (ТЕ); трибоелемента 3, яким є навколишнє середовище (повітря); трибоелемента 4 — продуктів розпаду матеріалу ПТЕ-2 (рідкі й газоподібні) і утворення третього тіла.

У цій ієрархічній моделі трибосистеми на площині теплоти й площині матеріалів показані трибоелементи 3 і 4. Для останнього є характерним утворення рідкої й газоподібної фаз у приповерхневому прошарку фрикційних накладок за рахунок вигорання сполучних компонентів у їх матеріалах. Цей процес є характерним для того випадку, якщо поверхнева температура фрикційної накладки досягає температури вище допустимої для її матеріалів.

При цьому має місце фазовий перехід 1-го роду компонентів фрикційної накладки, до якого відносяться: випарювання і конденсація у твердій фазі.

На площині теплоти й площині матеріалів трибоелементів 3 і 4 особливо в матеріалі фрикційної накладки в її приповерхневих прошарках має місце сильний «тепловий хаос» (при поверхневій температурі рівній або вищій допустимої для матеріалів фрикційних накладок).

Основною особливістю компонентів матеріалів фрикційних накладок, які перебувають у стані фазових перетворень і мають структуру типу «сендвіча» або поверхневі й при поверхневі прошарки накладок з дірками, у яких острівці хаосу граничать із областями стійкості.

Утворена рідинна фаза в поверхневих і приповерхневих прошарках накладок є областю сильного хаосу «стохастичного моря», що граничить із областями стійкості «острівцями» поверхні накладки. Структура «стохастичного моря» і «острівців» являє собою фазовий портрет теплової системи поверхневих і приповерхневих прошарків накладки. Ієрархічна складність фазового портрету поширюється на методи його вивчення й аналізу.

У сучасній прикладній математиці область фазового простору в околі критичних точок отримала назву області джокерів [3], у якій мають місце фазові переходи 1-го роду в матеріалі фрикційної накладки при температурі вище припустимої не тільки впливають на об'ємний стан її компонентів, але й стрибком можуть перевести її в іншу точку фазового простору.

Всі області джокерів, які можуть вплинути на працездатність трибоспряження пар тертя гальмових пристроїв, звичайно мають справу з так званими об'ємами фазових перетворень. Це значить, що поведження об'єднаних об'ємів у тілі фрикційних накладок, зведених у систему з точністю, що нас

влаштовує, визначається лише декількома змінними (навантаженням, температурою розігріву, градієнтом: температури, питомої ваги й т. п.). Інші численні параметри, за умови правильного визначення об'ємного стану компонентів матеріалу фрикційних накладок, невеликою мірою впливають на вихідні фрикційно-зношувальні характеристики пар тертя гальмових пристроїв.

При фазовому переході першого роду стрибком змінюються такі термодинамічні параметри матеріалів фрикційної накладки, як щільність, концентрація компонентів в одиниці об'єму матеріалу, виділяється або поглинається певна кількість теплоти, яка називається теплотою фазового переходу. Тому в трибологічній моделі приповерхневого прошарку фрикційної накладки й необхідно розглядати три елементарних об'єми з різними енергетичними рівнями: димлячий (стан сублімації), рідкий і пароподібний.

Характерною рисою трибологічних процесів і явищ є взаємодія між окремими площинами, які позначені як рівні піраміди: матеріалів, роботи, теплоти, мікрорівнів на поверхневих прошарках і прошарках поділу, а також на поверхнях поділу фрикційних матеріалів пар тертя продуктів зношування.

Досить складний взаємозв'язок між процесами і явищами, властивими МТЕ-1, ПТЕ-1 і ТЕ-3 на всіх рівнях, проілюстровано дугоподібними стрілками. Складнішою є четверта площина, яку необхідно розглядати на рівні нанотрибології. Крім того, є можливість розглядати у взаємозв'язку входи $\{x\}$ і виходи $\{y\}$ (показані горизонтальними стрілками) на всіх рівнях трибосистеми через керувальні впливи (наприклад, зміна матеріалів пари тертя, примусове охолодження металевого фрикційного елемента й т. д.). Вертикальними стрілками, які виходять із другої площини (роботи тертя) і попадають на третю площину (теплоти) проілюстровано генерування й акумулювання теплоти під час процесу тертя фрикційних пар гальмових пристроїв. Процеси теплопередачі через елементи пар тертя гальма з урахуванням середовища для омивання й приповерхневого прошарку фрикційної накладки показано штриховими вертикальними стрілками, а розсіювання теплоти від металевого термоелемента — потовщеними штриховими вертикальними лініями.

Висновки

Схема трибологічних процесів і явищ підтверджує важливість системного підходу, аналізу структури й опису трибомеханічних систем, у яких відбуваються процеси тертя, зношування, а також можливості реалізації моделі трибологічної системи стосовно фрикційних вузлів гальмових пристроїв, що працюють у зоні температур вище допустимої для матеріалів фрикційної накладки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гайдучок В. М. Експлуатаційне зміцнення поверхонь тертя ковзання в активному середовищі / В. М. Гайдучок. — Львів : Вид-во держ. агроун-ту, 1998. — 112 с.
2. Слабый хаос и квазирегулярные структуры / [Г. М. Заславский, Р. З. Сагадаев, Д. А. Уевиков, А. А. Черников]. — М. : Наука. — 1991. — 240 с.
3. Чичинадзе А. В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / [Под общ. ред. А. В. Чичинадзе]. — М. : Машиностроение, 2003. — 575 с.
4. Тормозные устройства : Справочник / [М. П. Александров, А. Г. Лысяков, В. Н. Федосеев, Н. В. Новожилов] : Под общ. ред. М. П. Александрова. — М. : Машиностроение, 1985. — 285 с.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту

Надійшла до редакції 10.09.09
Рекомендована до друку 20.10.09

Вольченко Микола Олександрович — доцент кафедри матеріалознавства та автосервісу.

Кубанський державний технологічний університет;

Крижанівський Євстахій Іванович — завідувач кафедри, **Журавльов Дмитро Юрійович** — асистент.

Кафедра нафтогазового обладнання;

Снурніков Володимир Ігорович — студент.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти та газу