

УДК 62-92.113

Д. А. Вольченко, к. т. н., доц.

НАНОТРИБОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ І ЯВИЩА В ПАРАХ ТЕРТЯ БАРАБАННО-КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Розглянуто процеси і явища, які відбуваються у розімкнених парах тертя барабанно-колодкових гальм автотранспортного засобу при температурах фрикційних накладок вищих за допустиму для їх матеріалів. Проаналізовані процеси тепло- і масопереносу між робочими поверхнями пар тертя гальм.

Вступ

В даний час питання нанотрибології в парах тертя барабанно-колодкових гальм набувають першорядного значення, оскільки дозволяють пояснити процеси і явища, що мають місце в поверхневих і приповерхневих шарах полімерних фрикційних накладок при температурах для їх матеріалів до і вище за допустиму.

Аналіз процесів теплообміну в ободі гальмівного барабана і у фрикційних накладках, під час взаємодії їх робочих поверхонь з омиваючими газовими сумішами, а також масопереносу від робочих поверхонь накладок на робочу поверхню обода барабана показав, що в інтенсифікації тепло- і масообмінних процесів істотну роль відіграє рівень теплового стану матеріалів приповерхневого шару фрикційної накладки, тобто в діапазоні допустимої температури і вище за неї.

Відповідно до зазначених станів і розрізняють такі температурні перепади між: зовнішньою поверхнею обода гальмівного барабана і омиваючим повітрям; внутрішньою і зовнішньою поверхнями обода гальмівного барабана; робочою поверхнею обода барабана і омиваючим повітрям; робочими поверхнями фрикційних накладок і омиваючим повітрям (до допустимої температури); робочими поверхнями і рівнями приповерхневих шарів фрикційних накладок; робочими поверхнями фрикційних накладок і омиваючою газовою сумішшю; внутрішньою поверхнею обода гальмівного барабана і омиваючою газовою сумішшю внутрішньої і зовнішньої поверхонь обода або навпаки (у інтервалі зміни допустимих температур); всі ті ж самі вищевідзначені температурні перепади, крім перепаду між зовнішньою і внутрішньою поверхнями обода гальмівного барабана (у інтервалі зміни температур вище допустимої).

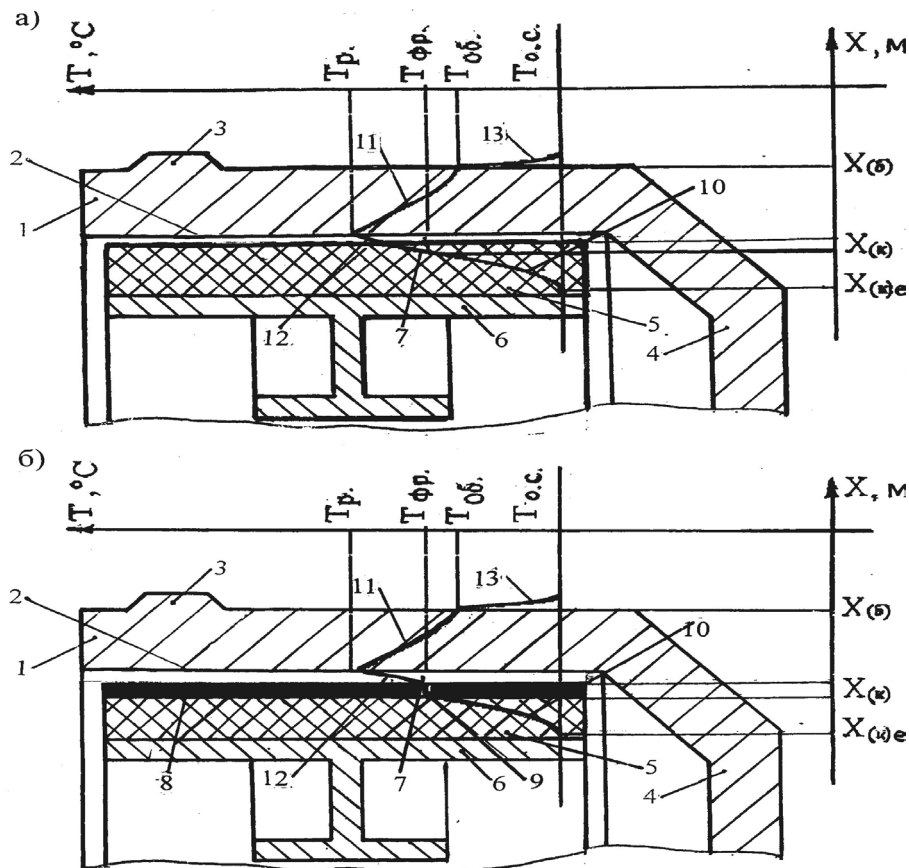
Аналіз робіт [1—3] показав, що в них недостатню увагу приділено впливу багатоатомних газових сумішей, що знаходяться в зазорі між парами тертя барабанно-колодкових гальм, виникаючих в результаті фазового переходу 1-го роду в матеріалі фрикційних накладок в діапазоні температур вищих за допустимі. Тому дане питання і є актуальним.

Процеси і явища в парах тертя барабанно-колодкових гальм

Процеси і явища реалізуються в парах тертя барабанно-колодкових гальм автотранспортного засобу через теплопередачу. На рис. а, б використані такі позначення температур: T_p , $T_{ф.р.}$, $T_{об}$, $T_{1с.}$ — робочої поверхні обода гальмівного барабана; робочої поверхні фрикційної накладки; обода гальмівного барабана; навколишнього середовища. При цьому елементам фрикційного вузла гальм відповідають відповідні координати (x).

В інтервалі допустимих температур для матеріалів фрикційної накладки має місце фазовий перехід 1-го роду її компонентів. До фазового переходу 1-го роду відносяться: випаровування і конденсація, плавлення і твердіння, сублімація і конденсація в твердій фазі. При фазовому переході 1-го роду стрибком змінюються такі параметри матеріалів накладки, як щільність, концентрація компонентів у одиниці об'єму матеріалу; при цьому виділяється або цілком поглинається певна кількість теплоти (теплота фазового переходу) [4, 5].

Розглянемо процес, який має місце між парами тертя барабанно-колодкових гальм за умови, що поверхневий шар фрикційної накладки досяг температури вищої за допустиму для її матеріалів.



Теплопередача через елементи пар тертя (а — до і б — після допустимої температури матеріалу фрикційної накладки) барабанно-колодкових гальм автомобіля: 1 — гальмівний барабан; 2, 3, 4 — обід, підкріплююче кільце, бічна стінка барабана; 5 — фрикційна накладка; 6 — гальмівна колодка; 7 — зазор між елементами тертя; 8 — приповерхневий шар накладки; 9, 10, 11, 12, 13 — закономірності зміни температур по товщині: приповерхневого шару накладки, власне накладки, обода гальмівного барабану і шару повітря, що омиває його внутрішню і зовнішню поверхні

При цьому основним середовищем є омиваюче повітря між парами тертя гальм, поверхні яких є непроникними. В той же час, приповерхневий шар накладок гальмівних колодок є для їх компонентів поверхнею джерел (випаровування, сублімація, десорбція, і т. ін.) або стоків (конденсація, адсорбція, абсорбція і т. ін.). У відношенні до газових сумішей в цілому поверхні розділу відіграють роль напівпроникних перегородок. Компоненти безперервно дифундують у напрямі, нормальному до робочої поверхні обода гальмівного барабана. Цей дифузійний потік компонентів супроводжується зустрічною дифузією основного середовища, тобто омиваючим повітрям. Але з іншого боку, абсолютно очевидно, що основне середовище, для якого поверхні пар тертя непроникні, не повинне переміщатися у напрямі, нормальному до робочої поверхні обода гальмівного барабана. Ці дві взаємно протилежні вимоги задовольняються тому, що виникає рух суміші, направлений назустріч дифузійному потоку основного середовища і його компенсуючих (ефект Стефана).

Таким чином, на явища дифузійної природи накладається процес, що має характер конвективного перенесення речовини. Нейтралізуючи дифузійне перенесення основного середовища, конвективний потік суміші, очевидно, підсилює перенесення складових компонентів. Загальна картина перерозподілу (у об'ємі зазору між парами тертя гальм) газової суміші змінюється.

Неважко вивести співвідношення, що характеризують інтенсивність результуючого ефекту. Швидкість конвективного потоку v визначається з рівняння умови компенсації дифузійного перенесення основного середовища [6]

$$\vartheta c_1 = -m_1,$$

де c_1 — концентрація основного середовища; m_1 — об'єм маси основного середовища; звідки у

зв'язку зі залежністю $m_i = -\frac{\chi_i}{R_i T} \frac{\partial p_i}{\partial x}$, де χ_i — пара речовин, якій відповідає один коефіцієнт

взаємної дифузії; R_i — газова постійна даної складової потоку; T — температура газової суміші, що знаходиться в стані термічної рівноваги; $\frac{\partial p_i}{\partial x}$ — градієнт нормального тиску газової суміші;

$$v = \frac{\chi_i}{p_1} \frac{\partial p_i}{\partial x}.$$

Тепер щільність результуючого потоку маси складових компонентів M_2 визначиться як

$$M_2 = m_2 + \vartheta c_2 = -\frac{\chi}{R_2 T} \frac{\partial p_2}{\partial y} - \frac{\chi}{p_1} \frac{p_2}{R_2 T} \frac{\partial p_2}{\partial y} = -\frac{\chi}{R_2 T} \left(1 + \frac{p_2}{p_1}\right) \frac{\partial p_2}{\partial y}$$

або остаточно

$$M_2 = \frac{\chi}{R_2 T} \frac{p}{p - p_2} \frac{\partial p_2}{\partial y}, \quad (1)$$

причому $M_1 = 0$.

У початковому виразі для щільності потоку маси з'являється новий множник $\frac{p}{p - p_2} = \frac{1}{1 - p_2/p}$, який дозволяє пояснити фізичний зміст процесів, що відбуваються. Чим ближче значення цього множника до одиниці, тобто чим менше відношення p_2/p , тим менший об'ємний зміст складових компонентів.

Цей режим теплового стану поверхні фрикційної накладки є характерним при підході її до допустимої температури для матеріалів накладки.

Насправді в інтервалі допустимих і вищих за них температур з поверхні фрикційної накладки (випаровуванням, сублімацією і т. п.) відбувається виділення газоподібних складових домішок, які є парою, що насичує об'єм зазору між парами тертя гальма.

За відомих умов масообмін здійснюється в таких формах — кипіння, випаровування з твердого стану фрикційної накладки в розряджене середовище зазору між парами тертя (сублімація під вакуумом), — з якими пов'язана сильна інтенсифікуюча дія на теплообмін.

Слід зазначити, що між процесами тепло- і масообміну, що відбуваються одночасно тобто процесами перенесення тепла і речовини в межах суміщених полів температури і концентрації, існує особлива форма внутрішнього зв'язку. Але в той же час вони розглядаються як ефекти, що виникають під дією абсолютно різних фізичних причин: перенесення теплоти ставилося в зв'язок лише з температурними неоднорідностями, перенесення речовини — з неоднорідностями розподілу концентрації.

Насправді температурні неоднорідності викликають також виникнення дифузійного потоку речовини (ефект термодифузії), а неоднорідності концентрації — виникнення кондукційного потоку тепла (ефект дифузійної теплопровідності). Тому щільність кожного з потоків (q і m , відповідно) визначається у вигляді суми двох членів, з яких один пропорційний градієнту температури, а інший — градієнту концентрації. Розподілювані ефекти виражені тим слабше, чим менша концентрація домішок компонентів накладки і чим ближче значення молекулярних ваг основного середовища і домішки.

Виникнення термодифузії в потоках сумішей, що омивають робочі поверхні обода гальмівного барабана і фрикційних накладок при розіркненому барабанно-колодковому гальмі залежить від співвідношення об'ємів нагрітих і холодних їх шарів. У барабанно-колодкових гальмах термодифузійний ефект в газовій суміші, що знаходиться в зазорі між їх парами тертя, спостерігається в тому випадку, якщо співвідношення об'ємів нагрітої газової суміші до об'ємів її холодної частини змінюється по експоненціальній залежності і при температурі 300—350 °С на поверхнях пар тертя гальма (вище допустимої температури для полімерних матеріалів фрикційної накладки) досягає величини 9—10 разів.

Визначення температурних потоків в багатоатомній газовій суміші, що омиває робочі поверхні пар тертя гальм

Покажемо, як можна розрахунковим шляхом визначити температурний натиск при одночасному обмиванні повітрям зовнішньої поверхні обода гальмівного барабана і його внутрішньої

поверхні газовою сумішшю. Температура газової суміші поблизу робочої поверхні гальмівного обода барабанно-колодкових гальм відрізняється від температури поверхні: спостерігається «стрибок» температури між температурами поверхні і прилеглої до неї газової суміші. Величина температурного стрибка пропорційна градієнту температури залежно від коефіцієнта акомодациї (приспосованості) і довжини середнього вільного пробігу молекул, яка обернено пропорційна тиску.

Коефіцієнт акомодациї визначається з залежності [7]

$$\alpha = \frac{E_{\Pi} - E_0}{E_{\Pi} - E_T}, \quad (2)$$

де E_{Π} , E_0 , E_T — середня енергія молекули: падаючої і відбитої від робочої поверхні обода; при досліджуваній температурі обода гальмівного барабана.

Для зазору між робочою поверхнею обода гальмівного барабана і зовнішніми поверхнями фрикційних накладок гальмівних колодок барабанно-колодкових гальм (уподібнених до коаксіальних циліндрів) уточнений коефіцієнт акомодациї рівний [7]

$$\alpha = \frac{2 - \alpha}{\alpha} \frac{(2\pi MRT)^{\frac{1}{2}} \lambda}{r_1 \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) (2c_p - R) p}, \quad (3)$$

де M — молекулярна маса газової суміші; R — газова постійна; T , λ — температура робочої поверхні обода гальмівного барабана і коефіцієнт теплопровідності його матеріалу; r_1 , r_2 — радіуси: зовнішніх поверхонь накладок і робочої поверхні обода гальмівного барабана; c_p — ізобарна теплоємність газової суміші; p — тиск газової суміші.

Температурний стрибок для багатоатомної газової суміші визначається за такою залежністю [7]:

$$\Delta T = \frac{15}{8} \frac{2 - \alpha_1}{\alpha_1} T \left(\frac{dT}{dx} \right), \quad (4)$$

де T , $\left(\frac{dT}{dx} \right)$ — температура і її градієнт по товщині багатоатомної газової суміші.

Визначимо температурний стрибок багатоатомної газової суміші складу $H_2 = 0,123\%$; $O_2 = 19,1\%$; $N_2 = 79,5\%$; $CO_2 = 0,13\%$, що виділилася з матеріалу марки композиції ФК-24А (фрикційної накладки) при $T = 420\text{ }^{\circ}\text{C}$ (вище допустимої температури для матеріалу накладки) [5] і знаходиться біля робочої поверхні обода барабана заднього гальма автомобіля ЗІЛ-130 (рис. 2) при таких початкових даних: $\alpha = 1,5$; $\alpha_1 = 1,85$; $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\frac{dT}{dx} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Проводимо визначення температурного стрибка багатоатомної газової суміші біля робочої поверхні обода барабана гальма

$$\Delta T = \frac{15}{8} \frac{2 - 1,85}{1,85} 20 \cdot 10 = 30,4\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Набуте значення температурного стрибка багатоатомної газової суміші біля робочої поверхні обода гальмівного барабана сприятиме інверсії теплового потоку від обода барабана в приповерхневий шар фрикційної накладки.

Висновки

Приповерхневий шар фрикційних накладок колодок барабанно-колодкових гальм автотранспортних засобів, матеріали яких працюють в діапазонах температур вищих за допустимі і, витримуючи фазові переходи 1-го роду, сприяють виникненню багатоатомної газової суміші в зазорі

між парами тертя. Остання найбільше впливає на теплообмін, сприяючи інверсії теплового потоку від обода барабана в приповерхневі шари фрикційних накладок колодок гальм.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гудз Г. С. Температурные режимы фрикционных узлов автотранспортных средств / Г. С. Гудз. — Харьков: ХГАДТУ, 1998. — 139 с.
2. Барабанно-колодочные тормозные устройства : монография / [А. А. Петрик, А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко, Д. А. Вольченко]. — В 2-х томах, Т. 1. — Краснодар, 2006. — 264 с.
3. Барабанно-колодочные тормозные устройства : монография / [А. А. Петрик, А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко, Д. А. Вольченко]. — В 2-х томах, Т. 2. — Краснодар, 2007. — 173 с.
4. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) ; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. — М. : Машиностроение, 2003. — 575 с.
5. Чичинадзе А. В. Износостойкость фрикционных полимерных материалов / А. В. Чичинадзе, В. Я. Белоусов, И. М. Богатчук. — Львов : Изд-во при Львовск. гос. ун-те, 1989. — 143 с.
6. Гухман А. А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепломассопереноса / А. А. Гухман. — М. : Высшая школа, 1997. — 303 с.
7. Методы определения теплопроводности и температуропроводности ; под общ. ред. А. В. Лыкова. — М. : Энергия, 1973. — 336 с.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту

Надійшла до редакції 10.09.09
Рекомендована до друку 20.10.09

Вольченко Дмитро Олександрович — доцент кафедри розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти та газу