

Висновок. Для типового розрахункового випадку атмосферних умов визначено значення складових теплонадходжень. Основною складовою теплонадходжень у розглянутий тип вагона є свіже повітря. Суттєва кількість тепла надходить крізь вікна за рахунок сонячного випромінення. Потрібна холодопродуктивність СКП суттєво залежить від кількості пасажирських місць в салоні вагона.

Список літератури

1. *Китаев Б.Н.* Теплообменные процессы при эксплуатации вагонов. – М.: Транспорт, 1984. – 184 с.
2. *Михеев М.А., Михеева И.М.* Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
3. *Кутателадзе С.С.* Теплопередача и гидродинамическое моделирование: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.
4. *Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В.* Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. – 367 с.

Стаття надійшла до редакції 30.10.01.

УДК 621.891:62-408(045)

О.У. Стельмах, канд. техн. наук,
О.Ю. Сидоренко, Р.Є. Костюнік

ОБ'ЄМНА КОНФІГУРАЦІЯ МІКРОГЕОМЕТРІЇ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ – ОДИН З ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРИБОСИСТЕМ

Показано, що поверхні тертя з однаковим параметром шорсткості R_a , визначеним існуючими методами та приладами ДСТУ, але з різною об'ємною конфігурацією, утвореною відповідними технологіями з залученням новітніх методів контролю (ЛСПП-03), у процесі ковзання можуть суттєво зменшити або збільшити сили тертя, температуру і інтенсивність зношення трибосистеми.

У сучасному машинобудуванні всі технологічні прийоми виготовлення трибосистем на перший погляд відпрацьовані так, що подальший їх розвиток здається неможливим. Однорідна техніка, наприклад, легкові автомобілі фірми «Ford» і автомобілі ВАТ «АвтоЗАЗ» за дизайном і, головне, експлуатаційно-технічними характеристиками дуже сильно відрізняються. Тому, на жаль, на вітчизняному ринку встановився підвищений попит на прилади і машини зарубіжних фірм «Bosch», «Mercedes», BMW, а не українських підприємств «Дніпро», ЗАЗ, ЛАЗ, незважаючи на те, що вартість перших у декілька разів перевищує вартість других. Хоча вбачається різниця в дизайні і комфортабельності продукції, функціонально і перші, і другі вироби однакові, мають однакову принципову схему роботи та зроблені з практично однакових конструкційних матеріалів. Головна різниця рівня вітчизняного і провідного зарубіжного приладобудування, автомобілебудування, літакобудування й взагалі машинобудування полягає в якості виготовлення деталей трибосистем. Оскільки будь-який вид техніки з погляду механіки являє собою сукупність вузлів тертя (трибосистем), то і її якість цілком залежить від якості кожної окремо взятої трибосистеми.

Тертя твердих тіл в умовах граничного змащування – найбільш поширений у реальній техніці процес, який визначає експлуатаційно-технічні характеристики сучасних вузлів тертя (трибосистеми) і завжди розпочинається на поверхнях при їхньому взаємному русі й одночасному стисканні в робочому середовищі будь-якої природи. Як правило, робочим середовищем трибосистем є спеціально підведені до контакту вуглеводневі мастильні матеріали у вигляді пластичних мастил у підшипниках або робочої рідини, що заповнює всю систему, наприклад, гідравлічну, паливну, систему змащення. Якщо конструктивно підвести у контакт мастильний матеріал неможливо, то для деяких трибосистем середовищем тертя використовується навколишнє середовище, в якому дана трибосистема експлуатується (повітря, газ, пари чи інше). Навіть у глибокому вакуумі в зоні фактичного контакту поверхонь тертя існує

адсорбційний газонодібний прошарок. Отже, наслідки від тертя поверхонь, стиснених в якомусь робочому середовищі, будуть обумовлені властивостями середовища, у котрому відбувається фрикційна взаємодія поверхонь, кінематикою тертя та ступенем навантаження фрикційного контакту і, насамперед, властивостями поверхонь, що його утворюють.

Поряд з фізико-хімічними властивостями поверхонь тертя (хімічним складом, твердістю, мікротвердістю, способом, глибиною термохімічної обробки та ін.) головне місце займає мікрогеометрія поверхонь, що утворюють трибосистему. Під час експлуатації на поверхнях тертя постійно виникають циклічні динамічні нормальні і тангенціальні концентрації тисків, що призводить до їх адгезійної фізико-хімічної взаємодії із середовищем і супроводжується виникненням сил тертя та інтенсивним теплоутворенням на поверхнях зі сталим взаємним впливом усіх процесів, що протікають у контакті.

Дослідження адгезійної складової сили тертя трибосистем, що працюють в умовах граничного змащення на лабораторних приладах і стендах, показали величезний вплив якості поверхонь тертя на головні споживчі характеристики трибосистем як кочення, так і ковзання.

Під час випробувань мастил на протиспрацьовувальні та антифрикційні властивості було виявлено, що в однакових умовах тертя ковзання (5000 м) поверхні при зростанні початкової шорсткості поверхонь тертя протиспрацьовувальні властивості фрикційного контакту змінюються нелінійно. Після деякого значення параметра шорсткості R_a настає такий момент, коли зміна шорсткості на долі мікрометра призводить до стрибкового зростання інтенсивності зношення. При наших умовах тертя ця гранична шорсткість для мастила М-8В становила: 0,25 мкм, для мастила «Devon» – 0,5 мкм. Після проведення ряду випробувань в однакових початкових умовах при різній шорсткості залежність зношення від шорсткості набула такого вигляду, який показаний на рис. 1.

Після тертя у маслі завжди утворювалися продукти зношення. Візуально зі збільшенням початкової шорсткості поверхні тертя зменшувалася кількість продуктів зношення, сила тертя ковзання і температура граничного шару зростали. Перевищення шорсткості з $R_a=0,23$ мкм у маслі М-8В і $R_a=0,5$ мкм у маслі «Devon» призводило до того, що поряд зі зростанням інтенсивності зношення у середовищі з'являлася велика кількість блискучих частин металу, що нагадували мікростружку від шліфування сталей.

Отже, при терті ковзання в умовах граничного змащення при постійних умовах навантаження і змащення існує шорсткість, перебільшення якої призводить до стрибкового переходу від процесу адгезійного зношення до процесу різання. Це означає, що початкова шорсткість поверхонь тертя визначає не тільки величину енергії, затраченої на подолання сил тертя, але й сценарій, за яким буде зношуватися поверхня тертя під час обкатки і експлуатації машини: адгезійно чи різанням. При цьому реальні трибосистеми працюють у різних режимах швидкості, контактного навантаження, температури, які в сукупності також визначають величину шорсткості переходу від тертя до різання. Так, при зменшенні швидкості ковзання поверхні тертя, що має перехідну шорсткість від тертя до різання, теплоутворення у контакті зменшується, в'язкість мастильного матеріалу зростає, що призводить до збільшення граничного мастильного прошарку у контакті і зношенню поверхонь тертя за звичайною схемою: короткочасний початковий (латентний) період формування вторинних структур і тривалий (нормальний або адгезійний) з деякою сталою інтенсивністю зношення. Збільшення швидкості на такій граничній шорсткості призводить до зростання температури, зменшення фактичної в'язкості середовища і товщини еластогідродинамічного прошарку мастила. У таких умовах мікроступи поверхні тертя перетворюються у своєрідні різці, що при певних нормальних тисках, але на великій швидкості врізаються у нерухому поверхню на деяку глибину і вирізають матеріал з поверхні нерухокої деталі об'ємно, утворюючи мікростружку.

Під час експериментальних досліджень впливу шорсткості на триботехнічні властивості трансмісійних мастил ТМ-5-18 і «Devon» було встановлено, що початкова шорсткість поверхонь з однаковим параметром R_a , отримана різними технологічними прийомами «Ш» і «К», дуже силь-

но впливає на інтенсивність зношення трибосистеми ковзання. При параметрі шорсткості $Ra=0,5$ мкм, утвореної за технологією «К», трибосистема працювала у режимі різання, а при параметрі шорсткості $Ra=0,5$ мкм, утвореної за технологією «Ш», трибосистема виходила з режиму різання і працювала у режимі звичайного адгезійного тертя. Після детального дослідження цих поверхонь на лазерному сканувальному профілографі-профілометрі ЛСПП-03 виявлено, що така різка зміна інтенсивності зношення відбувається через різницю об'ємної конфігурації мікрогеометрії поверхонь контрзразків, що неможливо відчутти механічними контактними профілометрами і профілографами, які при вимірюванні показували однакову величину шорсткості 0,5 мкм (рис. 2).

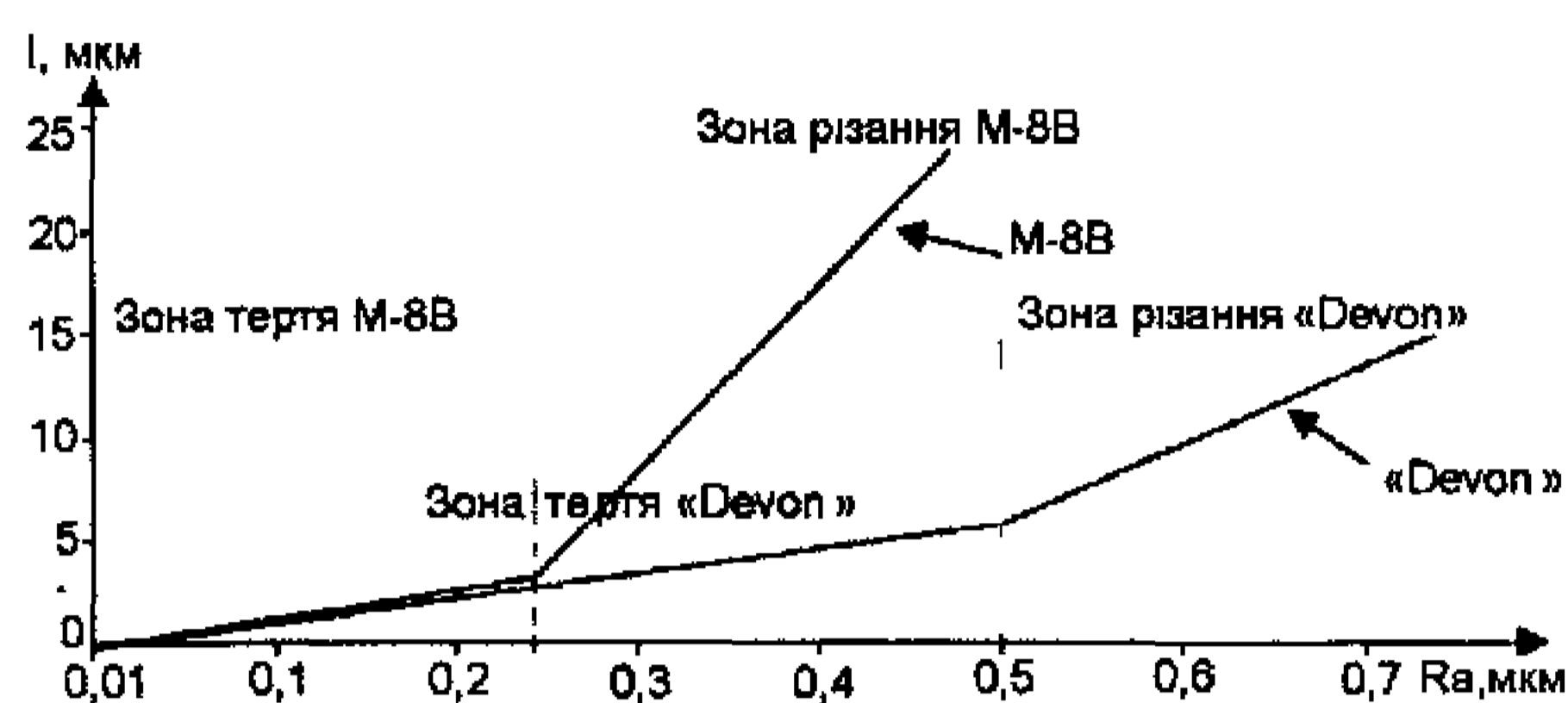


Рис. 1. Зношення ролика радіусом 33 мм і товщиною 2,8 мм при ковзанні по плоскому нерухомому зразку (ШХ-15, HRC 61...63) при лінійній швидкості 0,6 м/с, осьових навантаженнях 230 Н

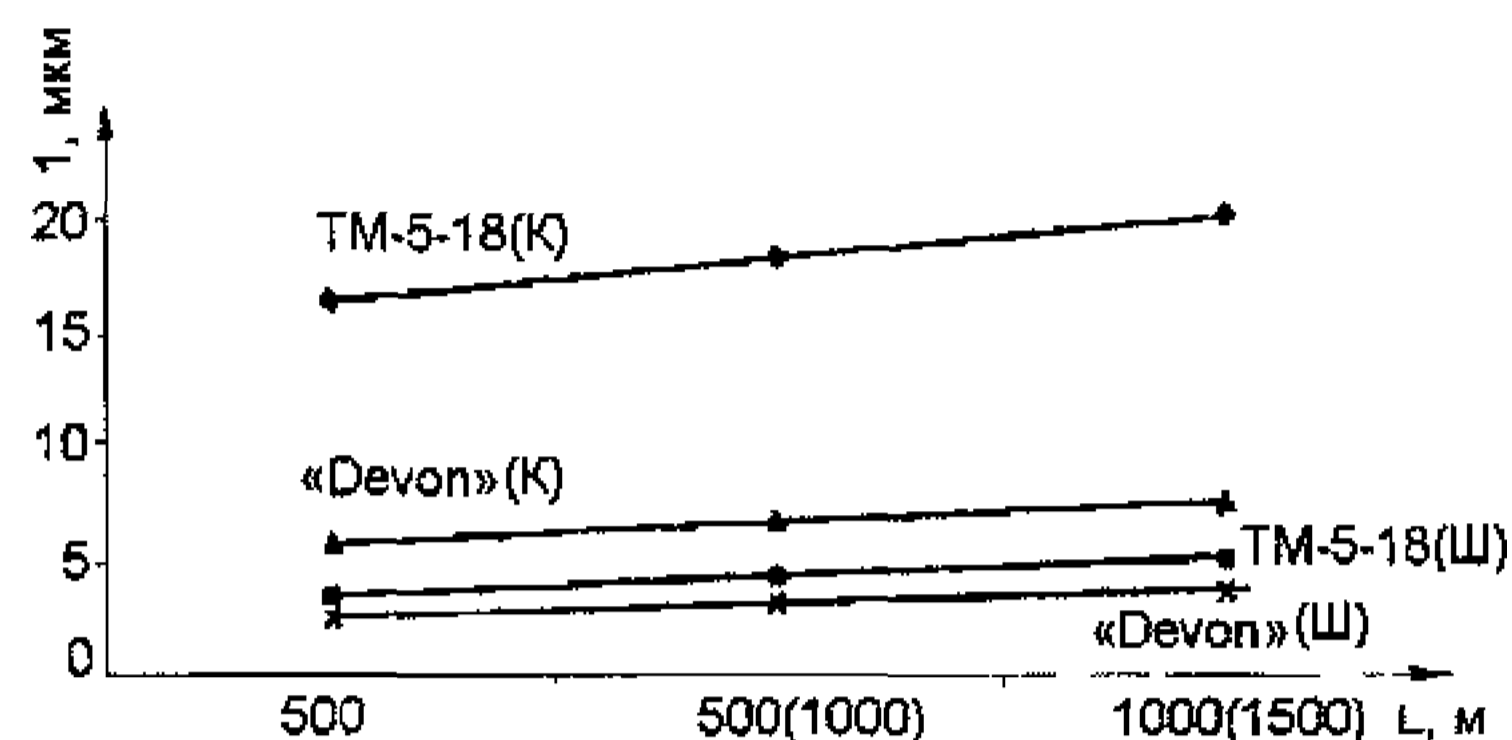


Рис. 2. Зношення трибосистеми ковзання при однакових умовах тертя з шорсткістю поверхонь контрзразків $Ra=0,5$ мкм

З рис. 2 видно, наскільки сильно залежать протиспрацьовувальні властивості трибосистеми від об'ємної мікрогеометрії контактуючих поверхонь. Окрім протиспрацьовувальних властивостей, сила тертя при випробуваннях з контрзразками, обробленими за технологією «Ш», була на 20 % меншою, а температура мастильного середовища безпосередньо на виході з контакту – у середньому на 10°C нижчою, ніж при роботі такої ж трибосистеми з контрзразками, поверхні яких утворені за технологією «К». Так як усі параметри трибосистеми пов'язані між собою, питомі контактні тиски, швидкість тертя, фактична в'язкість середовища, теплопровідність системи змащення та інші параметри вузла тертя в комплексі визначатимуть оптимальні вимоги до якості робочих поверхонь деталей конкретних вузлів тертя агрегатів. Задовольнити ті чи інші вимоги щодо якості поверхонь тертя реальних вузлів в умовах масового виробництва можна тільки застосуванням новітніх технологій з відповідною контрольним-вимірювальною технікою, здатною безконтактно відбивати 3D-зображення з високим ступенем точності, що дозволить технологам розробляти нові технологічні ланцюги.

Отже, необхідно виміряти шорсткість поверхонь не за лінійними профілограмами, а будувати об'ємну геометрію поверхні – топограму – і розраховувати не тільки лінійні параметри шорсткості, а й об'ємні параметри з урахуванням умов роботи конкретного вузла тертя. Під вузлом тертя слід розуміти не тільки контакти твердих тіл, а й пари тертя: лопатки компресорів – стиснуте повітря, лопатки турбін – перегріта пара та ін. Оптимізація об'ємної конфігурації поверхонь тертя у таких трибосистемах має зменшити витрати на подолання паразитних сил тертя, наприклад, у авіаційних газотурбінних двигунах або турбінах електростанцій.

Профілограма поверхонь, отримана на сучасних контактних приладах, дозволяє оцінити характеристики профілей поверхні лише за визначеним перерізом, однак, триботехнічні властивості контакту залежать не тільки від форми і висоти мікронерівностей, але й від їх топографії. Тривимірну структуру поверхні можна вивчати, отримавши велику кількість профілограм, розташованих паралельно з їхньою обробкою за спеціальною методикою. Для вивчення топографії поверхні можна використовувати також інші сканувальні пристрої, у тому числі растровий і тунельний електронні мікроскопи.

З натурних та стендових випробувань відомо, що у високонавантажених вузлах тертя, наприклад, при роботі ведучого моста автомобіля на стадії його початкової обкатки в мастилі з'являється велика кількість металевої стружки, яка суттєво впливає на роботу даної трибосистеми. При моделюванні тертя сателітів диференціала в лабораторних умовах, тертя поверхонь, утворених за технологією «К», що застосовується на виробництві заднього моста, призводило до утворення металевої стружки у мастилі, а при обробці поверхонь за технологією «Ш» стружки в мастильному середовищі не було. Після обробки за ДСТУ параметр шорсткості R_a дорівнював 0,5 мкм як після її утворення за технологією «Ш», так і після застосування технології «К». Якщо вважати, що утворення металевої стружки під час тертя є критерієм процесу різання, то саме топографія поверхні у випадку обробки за технологією «Ш» дозволила уникнути руйнівного і вкрай небажаного процесу різання.

На практиці існує чимало заходів зменшення критичної шорсткості поверхонь тертя для виводу їх з режиму різання: обкатка протягом деякого часу агрегатів з наступною заміною мастильного матеріалу, фосфатування робочих поверхонь при виготовленні та ін. Низький рівень виробництва поверхонь трибосистем компенсується через їхнє зношення на початковій стадії експлуатації з наступним регулюванням. Але такий шлях неминуче призводить до збільшення робочих зазорів, передбачених конструкторською документацією, збільшення питомих контактних тисків, зміни кінематики тертя, що визначає експлуатаційні характеристики агрегатів, їхній ресурс та надійність.

Отже, існування критичних параметрів трибосистем призводить до стрибкового збільшення інтенсивності зношення, сили тертя, теплоутворення та появи металевої стружки у мастильному матеріалі. Такий стан трибосистеми є режимом різання, який з часом вироджується через інтенсивне зношування. Розроблена лабораторна технологія дозволяє створювати таку триботехнічно сприятливу шорсткість, що при вимірюванні за ДСТУ є критичною, але має об'ємну конфігурацію, яка в умовах тертя призводить до зменшення інтенсивності зношування, сили і температури тертя.

Стаття надійшла до редакції 08.02.02.

УДК 621.981+621.762

В.В. Щепетов, д-р техн. наук, проф.,
В.Ю. Громенко, канд. техн. наук, наук. співроб.,
Ю.І. Амасович, канд. техн. наук, доц.,
Є.М. Лісовий, асп.

ІМОВІРНІСНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОКРИТТІВ В УМОВАХ ТЕРТЯ

Розглянуто з позиції структурно-енергетичної концепції тертя імовірнісний аналіз процесу зношування покриттів в умовах експлуатаційних пошкоджень.

Надійність деталей пар тертя як характеристика стабільності їх робочих параметрів суттєво розвиває область неklasичних трибологічних задач, що розглядають зносостійкість як частину загальної прикладної надійності систем експлуатації.

При вивченні впливу умов тертя на інтенсивність зношування, як правило, не беруть до уваги випадкові варіації, а виходять з кінцевого результату, обумовленого в загальному вигляді чітко вираженою закономірністю. Підхід до зносу як результату взаємно детермінованих процесів вирішується експериментальними випробуваннями. Протилежний підхід засновано на припущенні, що зношування робочої поверхні є локальним і випадковим і всі зміни, які відбуваються, стохастичні.

Діалектичний синтез цих протилежних підходів веде до концепції структурно-енергетичного тертя та зношування, яка інтерпретує зносостійкість як комплексний пара-