

УДК 621.89.097.017:620.1.08 (045)

О.Ф. Аксьонов, чл.-кор. НАН України
Т.В. Тернова, канд. хім. наук
О.У. Стельмах, канд. техн. наук
Р.Є. Костюнік
О.Ю. Сидоренко

ЯВИЩЕ БЕЗАДГЕЗІЙНОГО ТЕРТЯ КОВЗАННЯ В УМОВАХ МЕЖОВОГО ЗМАЩУВАННЯ

Інститут екології та дизайну НАУ, e-mail: stelmah@nau.edu.ua

Обґрунтовано й експериментально доведено можливість реалізації явища безадгезійного тертя трибосистем в умовах межового змащування. Для дослідження реалізації в техніці даного явища розроблено і створено нову випробувальну систему тертя з оригінальними методиками випробувань.

Вступ

Під час експлуатації трибосистем, що належать до складу сучасної техніки, найбільш поширеним режимом їх роботи є режим межового змащування. Цей режим тертя зароджується на межі безконтактного гідродинамічного режиму, коли поверхні цілком розділені шарами мастила. Шляхом збільшення контактної навантаженості при рівних інших умовах (швидкість, температура, в'язкість робочого середовища та ін.), наприклад, збільшенням сили стискання, поверхні вступають у безпосередній контакт з межовими шарами мастила. При цьому процес тертя залежно від початкових параметрів трибосистеми (шорсткість, фізико-механічні властивості конструкційних матеріалів, реологія робочого середовища та ін.) та зовнішніх умов (величина контактної навантаженості, температура, вид змащування та ін.) супроводжується зародженням процесу різання.

На перших циклах тертя в умовах межового змащування, як правило, супроводжується процесом мікро- та субмікрорізання робочими поверхнями контртіла по нерухомому тілу трибосистеми. При цьому трибосистема здобуває якісно нові властивості: процес різання вироджується шляхом зрізання і пластичного деформування мікро- та субмікрорізань робочих поверхонь, тобто "затуплення" їх ріжучих кромок, далі на зрізаних вершинах утворюються так звані вторинні структури (як результат трибохімічної взаємодії поверхонь тертя зі змащувальним середовищем), які знаходяться в постійній еволюції.

Експериментальні результати свідчать про те, що напрям процесу різання трибосистем ковзання може бути різним залежно від початкових умов: різання може вироджуватись та навпаки – може виникати (наприклад, після акту схоплювання), після чого процес контактної взаємодії може протікати також по-різному.

Отже, тертя в умовах межового змащування неможливо розглядати без урахування процесу різання точно так, як не можна нехтувати об'єктивним утворенням вторинних структур на поверхнях тертя в результаті їх трибохімічної взаємодії зі змащувальним середовищем.

Сучасна трибологія межового змащування трибосистем ковзання розглядає трибосистеми як контактну взаємодію твердих тіл за межами гідродинамічного режиму і відповідно з цим силою тертя в межових шарах мастила нехтує, а процес різання, який об'єктивно завжди виникає на перших актах контактної взаємодії, як правило, не враховує. Гідродинаміку тертя не враховують, оскільки її вклад у загальну силу тертя в умовах межового змащування незначний. Процесами різання нехтують, обґрунтовуючи це тим, що на самих перших етапах припрацювання робочих поверхонь мікро- та субмікрорізань підрізаються, пластично деформуються та утворюють таку мікрогеометрію, яка вже не здатна реалізувати різання поверхні іншого тіла. Експерименти показують, що в дійсності це відбувається, але лише у випадках, коли поверхні ковзання мають дуже низьку початкову шорсткість, яка досягається шляхом полірування. А при терті дуже шорстких поверхонь експериментально спостерігається, що інтенсивність зношування із часом зменшується дуже повільно, через багато сотень годин тертя, із підвищеними значеннями сили тертя і температури, тобто виродження процесу різання погано оброблених поверхонь тертя протікає дуже повільно, що супроводжується інтенсивним зношуванням усієї трибосистеми і більшими втратами на тертя.

Припущення відносно умов межового змащування, в яких не враховуються гідродинамічні процеси та процеси різання, дозволили розробити найбільш поширену та усіма визнану молекулярно-механічну або адгезійно-деформаційну

теорію межового змащування. Суть її полягає у тому, що контактна взаємодія стиснутих твердих тіл при відносному переміщенні визначається двома головними процесами, а саме взаємною деформацією (пружною та пластичною) тертьових поверхонь та їх молекулярною взаємодією між собою та зі змащувальним середовищем, в якому ця взаємодія відбувається.

З огляду досліджень трибології межового змащування впливає, що єдиним законом, який не вступає у протиріччя з експериментальними даними, є закон складання первинних сил тертя або універсальний закон адитивного складання первинних сил взаємодії, формуючих макроскопічні сили, тобто:

$$F_T = \sum f_{T-i}$$

На сьогодні відомі такі складові сили тертя при межовому змащуванні:

$$F_T = F_{ад} + F_{дп} + F_{ду} + F_{гс}$$

Сили адгезії $F_{ад}$ – сили опору, що виникають у результаті молекулярної та хімічної взаємодії поверхонь, тобто формування і руйнування в точках торкання молекулярних зв'язків, що по суті є результатом мікросхоплювання.

Деформаційно-пластичні сили $F_{дп}$ – сили опору, які виникають у результаті пластичного деформування реальних в'язкопружних поверхневих шарів, що вступають у контакт, унаслідок того, що мікроступи поверхонь пластично деформуються як на шляху проходження контакту, так і під час їх циклічного “відпочинку” поза контактом. Цю складову сили тертя визначають в'язкі властивості конструкційних матеріалів.

Пружно-деформаційні сили $F_{ду}$ – сили опору, що виникають у результаті подолання “валика” пружно-деформованого матеріалу поверхонь, що утворюється в області вступу мікронерівностей на вході у контакт та “того, що біжить” перед ним. Однак, якщо цей “валик” пружний, то такий самий “валик” буде утворюватися і на виході поверхонь з контакту, штовхаючи його вперед. Ці два “валики” взаємно компенсують тангенційні реакції один одного, не надаючи ніякого опору відносному переміщенню поверхонь у контакт при їх переміщенні в будь-якому напрямку.

Сили тертя всередині межового шару $F_{гс}$ мастила завжди перешкоджають рухові розділених ним поверхонь.

Крім закону Леонардо да Вінчі (1508), який показав, що сила тертя F_T прямо пропорційна навантаженню

$$F_T = \mu N,$$

де μ – коефіцієнт пропорційності, який не залежить від навантаження ($\mu=0,25$).

За оцінкою Амонтонна при межовому змащуванні $\mu = 0,3$ відомі такі закони та теорії тертя, що встановлюють зв'язок між осьовим навантаженням та силою тертя. Із закону Кулона:

$$F_T = A + BN,$$

де A – характеристика зчеплення двох тіл, впливає, що сила тертя існує навіть без прикладення навантаження. Закон Амонтонна-Кулона за Боуденом виконується в одних випадках і не виконується в інших.

У дослідженнях В. Гарді є три дільниці залежності сили тертя від навантаження під час тертя в мастилi. Спочатку вона зменшується, а потім залишається постійною. Зменшення пов'язано з початком плинності структурованого мастила. Перелічені закони тертя вказують на те, що із збільшенням осьового навантаження сили тертя будуть збільшуватись. Підтвердженням цього є численні експериментальні роботи.

Найбільшого розвитку та поширення у трибології отримала молекулярно-механічна теорія тертя, в основі якої лежить гіпотеза про двоїсту природу тертя, що включає механічну або деформаційну складову і молекулярну або адгезійну складову, які мають найбільші значення під час тертя в умовах межового змащування і на порядки перевищують вклад інших сил опору.

Адгезійна складова починає проявлятися уже на межі рідинного та межового режиму змащування контакту та її вклад збільшується із збільшенням питомих тисків на контакті.

При збільшенні осьового навантаження тертя переходить в умови межового змащування, коли тангенційні сили опору, обумовлені молекулярною взаємодією поверхонь, збільшуються швидше, ніж деформаційні, і можуть перевищувати вклад останніх на порядки.

Відповідно до універсального закону фізики адитивного складання первинних сил макросила тертя F_T під час тертя ковзання в умовах межового змащування включає в себе адгезійну (молекулярну F_a) та деформаційну (механічну F_d) складові:

$$F_T = F_a + F_d.$$

Відомо, що адгезійна складову більше деформаційної складової у 100 разів за Крагельським і у 10000 разів – за Гарді. Таким чином, величина сили тертя ковзання в умовах межового змащування визначається молекулярною або адгезійною складовою сили тертя.

Відповідно з адгезійно-деформаційною теорією межового змащування процес зношування поверхонь також визначається двома взаємно обумовленими процесами: деформацією та адгезією. У сучасній трибології загальноприйнято

величину зношування фрикційних поверхонь визначати масовим або лінійним методом. Тобто сумарна величина зношування поверхні тертя I_T включає в себе також складові:

$$I_T = I_a + I_d,$$

де I_a – величина зношування від адгезійної складової; I_d – величина зношування від дії деформаційної складової.

На відміну від деформаційного зношування, яке характеризується зменшенням об'єму без зміни маси, адгезійне зношування є результатом зменшення маси та відповідно об'єму. Одночасно із цим деформаційне зношування призводить до зменшення лінійних розмірів фрикційних поверхонь без зменшення маси і відповідно без утворення продуктів зношування.

Таким чином, умови межового змащування трибосистеми ковзання характеризуються наявністю адгезійної складової сили тертя, яка в свою чергу призводить до адгезійного зношування робочих поверхонь тертя, тобто до зменшення маси поверхонь тертя і утворення продуктів зношування.

Цей висновок впливає із численних експериментальних результатів, у тому числі і отриманих при дослідженні впливу речовин-організаторів безадгезійного тертя (РОБТ) на ефективність трибосистем.

Методика досліджень

Узагальнення всіх експериментальних даних яскраво ілюструється результатами досліджень на випробувальній системі RFL Optimol Test System фірми ELMATIK (Германія). Дана система володіє широким спектром можливостей при випробуваннях мастил і високим ступенем відтворюваності отриманих результатів протиспрацьовувальних та антифрикційних характеристик досліджуваних трибосистем ковзання.

Принципова схема вузла тертя зображена на рис. 1.

Тертя ковзання проти годинникової стрілки здійснювалося контргілом (вал діаметром 24 мм, сталь ШХ-15, HRC=60...63, Ra≈0,02 мкм) по двох нерухомих тілах (ролики діаметром 8 мм та довжиною 12 мм, сталь ШХ-15, HRC=60...63, Ra≈0,08 мкм).

Змащувальне середовище заливається у бак та подається до вузла тертя шляхом прокачування лопатевим насосом по замкнутому циклу. У процесі випробувань контролюються і автоматично регулюються всі задані параметри:

осьове навантаження, лінійна швидкість на контакті, частота обертання вала, шлях тертя, кіль-

кість обертів вала, час тертя, об'ємна температура робочого середовища. Температура межового шару мастила на поверхні тертя вала і коефіцієнт тертя безперервно реєструвалися цифровим індикатором і самописцем.

Навантаження вузла тертя здійснювалось східчасто за допомогою автоматики по 0,75 кН за 30 с із інтервалом 20 с до максимального навантаження 3,75 кН (програма М:1), або 6,0 кН (програма М:2), або 9,75 кН. Продуктивність насоса – 1 л/хв, лінійна швидкість ковзання – 0,4 м/с, частота обертання вала – 320 об/хв, шлях тертя – 2110 м, що відповідає 28000 обертам вала; початкова об'ємна температура середовища 50 °С.

Після тертя визначалось зношування роликів шляхом вимірювання ширини доріжки ковзання під мікроскопом із наступним визначенням маси зношеного металу та питомого тиску, що розвивається на контакті, із урахуванням зношування за допомогою тарувальних таблиць. Крім того, визначались зміни лінійних розмірів вала шляхом профілографування доріжки ковзання на профілографі "Калібр М-201".

Під час досліджень випробовувалися: дизельне пальне ДТЛ, авіагас РТ, масла різних класів – індустриальні И-12А та И-20А, гідравлічні ИГП-49 та ИГП-18, моторні МС-20 та М8-В, трансмісійне ТСП-14гип, холодильне ХФ-12-16, а також кращі відомі імпорتنі масла, суміш відпрацьованих у техніці індустриальних масел, застосовувана як змащувально-охолоджуюча рідина на металообробному обладнанні, безліч імпорتنих масел та присадок до них.

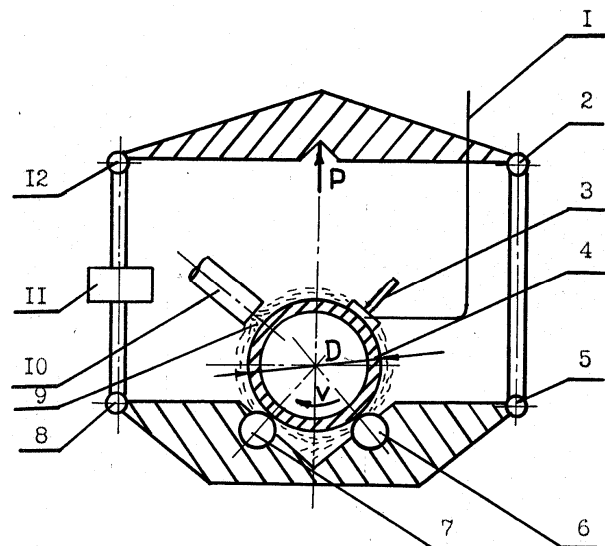


Рис. 1. Принципова схема вузла тертя випробувальної системи RFL Optimol Test System:

1 – терморпара; 2, 5, 8, 12 – шарніри; 3 – антифрикційна лабиринтна подушка терморпари; 4 – вал; 6, 7 – нерухомі ролики; 9 – випробуване середовище; 10 – трубопровід

підводу; 11 – чуттєвий елемент осьового навантаження і сумарної сили тертя

Оскільки всі ці рідини принципово мало відрізняються між собою за своїми трибологічними властивостями при терті в умовах межового змащування, а трибосистеми, змащені ними, принципово поведуть себе однаково, то у подальшому ці середовища будемо називати товарними ПММ.

Ознаки дії адгезійної складової сили тертя

У табл. 1 наведено діапазони величини зношування роликів, питомих тисків з урахуванням зношування, температури межового шару досліджуваних товарних ПММ і середні значення коефіцієнтів тертя.

На рис. 2 наведені типові осцилограми коефіцієнта тертя і температури межового шару товарних ПММ.

У товарних ПММ коефіцієнти тертя трибосистем носили досить осцилюючий характер і у часі за рахунок зношування їх середнє значення зменшувалось, що пояснюється збільшенням площі контакту і таким чином зменшенням контактних питомих тисків. При цьому, незважаючи на зменшення середнього значення коефіцієнта

тертя, контактна температура, корелюючи із сплесками коефіцієнта тертя, постійно збільшувалась. У результаті зношування трибосистем у товарних ПММ інтенсивно накопичувалися продукти зношування і середовища ставали непрозорими. Зношування роликів досягало 4 мг. Профілограми доріжок тертя валів по утворюючій циліндра після тертя свідчили про їх зношування на 1,2...2,5 мкм.

На поверхні валів спостерігалось нерівномірне утворення вторинних структур та кольори мінливості поза доріжки тертя. На роликах спостерігалися вириви металу, налипання його у зоні виходу вала із контакту посередині. Кольори мінливості також концентрувалися посередині доріжки тертя роликів. У ряді товарних ПММ випробування зупинялись у зв'язку з передчасним розвитком закритичних температур (більше 250 °C) у межовому шарі.

У табл. 2 як приклад подані результати порівняльних випробувань дизельного пального ДТЛ в умовах ковзання вала із різною вихідною шорсткістю, із якої видно оптимізацію рівня шорсткості робочих поверхонь у процесі їх тертя за рахунок їх адгезійного зношування.

Таблиця 1

Триботехнічні характеристики вузла тертя випробувальної системи RFL Optimol Test System (фірма ELMATIK, Германія) в різних базових змащувальних товарних середовищах

Середовище	Зношування, мг	Фактичні контактні тиски, Н/мм ²	Температура поверхні тертя вала, °C	Коефіцієнт тертя, μ
Товарні масла і палива	2,02...3,315	276...205	195...220	0,16...0,235
Товарні масла і палива з введеними РОБТ	Менше 0,021...0,095	Більше 1700...1100	111...149	0,065...0,127

Примітка. Програма випробувань – М:1 (максимальне осьове навантаження – 3,75 кН).

Таблиця 2

Вплив вихідної шорсткості робочих поверхонь тертя на трибохарактеристики трибосистем ковзання в різних середовищах

Досліджувана величина	Середовище			
	ДТЛ	ДТЛ	ДТЛ+РОБТ	ДТЛ+РОБТ
Шорсткість вала R_a , мкм: вихідна кінцева	0,32	0,03	0,32	0,03
	0,45	0,48	0,30	0,028
Зношування вала, мкм ролика, мг	1,8	2,0	--*	--*
	3,285	3,315	0,091	Менше 0,021
Питомий тиск, МПа	230,9	205,6	669,6	Більше 1105
Коефіцієнт тертя, μ	0,136	0,130	0,123	0,110
Температура межового шару мастила на валу, °C	139	136	137	111

*Глибина доріжки тертя менше чуттєвості профілографа "Калібр М-201".

Експериментально доведено, що тертя в режимі межового змащування товарними ПММ характеризується рядом загальних класичних ознак:

– триступеневим зношуванням поверхонь тертя (за класичною трибологією межового змащування: I-початковим, II-стаціонарним, III-катастрофічним);

– наявністю адгезійної взаємодії поверхонь тертя (у середовищі накопичувалися продукти зношування, на поверхнях тертя утворювалися каверни, вириви, налипання металу, визначались кольори мінливості та ін.);

– надто осцилюючою поведінкою сили тертя, величина якої у часі носить випадковий характер (рис. 2);

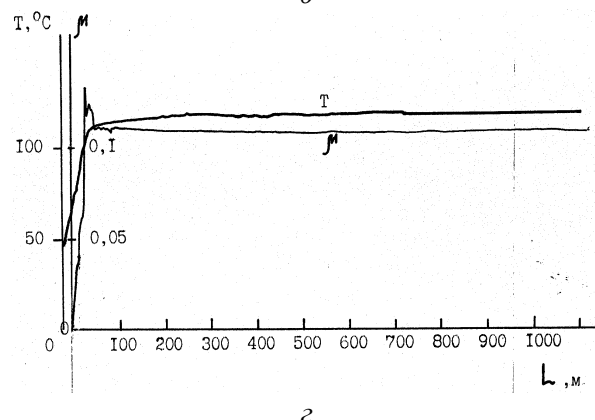
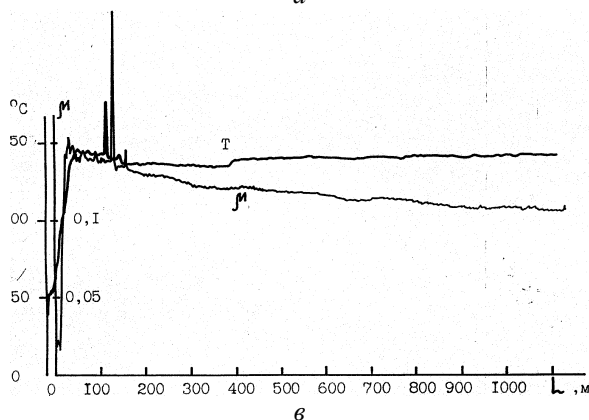
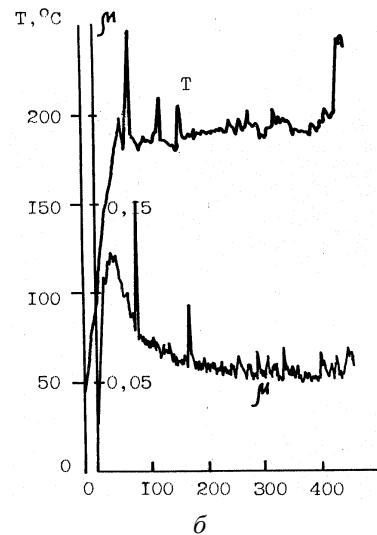
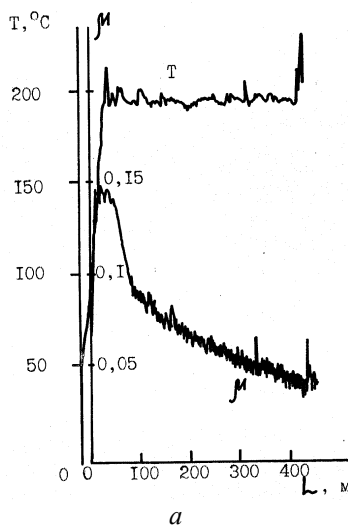
– утворенням оптимальної шорсткості (табл. 2).

Усі ці висновки відомі і у сукупності є ознаками дії адгезійної складової сили тертя, яка характерна для умов тертя у режимі межового змащування.

Безадгезійне тертя

Після введення речовин РОБТ у товарні ПММ трибосистеми змінювали свою поведінку принципово.

Зношування відбувалося лише в початковому короткочасному латентному періоді, досягаючи значень на порядки менші, ніж у середовищі товарних ПММ (тобто без РОБТ), після чого інтенсивність зношування вироджувалася до невимірно малих величин.



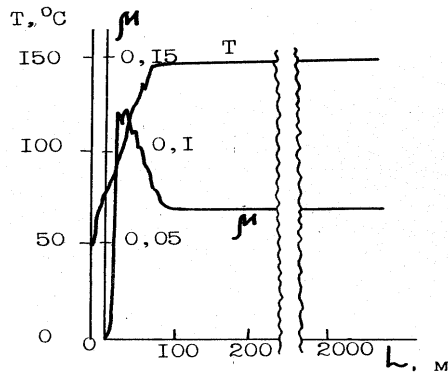


Рис. 2. Типові осцилограми коефіцієнта тертя і контактної температури:

a – у середовищі авіагасу РТ при максимальному осьовому навантаженні 3,75 кН; *b* – у середовищі моторних масел при осьовому навантаженні 6,0 кН; *c* – у середовищі трансмісійних масел при максимальному осьовому навантаженні 6,0 кН; *d* – у середовищі товарних ПММ (авіагас РТ, моторні, трансмісійні, індустриальні, холодильні та ін.) з РОБТ при максимальному осьовому навантаженні 3,76 кН; *e* – у середовищі товарних ПММ (авіагас РТ, моторні, трансмісійні, індустриальні, холодильні та ін.) з РОБТ при максимальному осьовому навантаженні 6,0 кН

Латентний період пов'язаний із утворенням на поверхнях тертя вторинних структур визначеної природи, що мають своє забарвлення, і які у подальшому забезпечували постійний обмін молекул речовин РОБТ з поверхнями тертя, речовиною та енергією по автоколивальному механізму. Після утворення таких поверхневих структур на робочих поверхнях експериментально була доказана принципова можливість усунення початкового зношування також до невимірно малих величин.

Таким чином, введення речовин РОБТ у товарні ПММ на порядки підвищує їх протизношувальні властивості. Збільшення тривалості порівняльни випробувань приводило до збільшення цієї ефективності на декілька порядків (табл. 3) у зв'язку з тим, що у базових ПММ зношування у часі постійно збільшувалось, а у розчинах речовин РОБТ у тих самих ПММ інтенсивність зношування була невимірно малою величиною.

до $R_a < 0,02$ мкм приводило (табл. 2) до зменшення початкового зношування до невимірно малих величин (ширина доріжки ковзання 0,15 мм при середніх тисках більше ніж 1000 МПа порівняно з величиною пластичної деформації навіть без урахування температур, що розвиваються на контакті). При цьому на пофарбованих доріжках ковзання роликів ризики вихідної шорсткості зберігались. Тобто величина зношування, визначена лінійним методом, у таких випадках потребує доказу того, що зміна лінійних розмірів відбувається у результаті тертя, але не за рахунок процесів пластичної деформації. Тому використовувався і ваговий метод, який доказав, що зміна маси ролика не перевищує 0,05 мг.

Збільшення тривалості тертя і навіть збільшення максимального осьового навантаження (табл. 3) при інших рівних умовах не приводили до суттєвого збільшення зношування, вимірюваного як ваговим, так і лінійним методами, а на-

Таблиця 3

Триботехнічні характеристики пари тертя в ДТЛ з РОБТ при різних навантаженнях і тривалості тертя

Осьове навантаження, кН	Кількість обертів вала	Ширина доріжки на ролику, мм	Зношування, мг	Питомі тиски, МПа	Температура вала, °С	Коефіцієнт тертя, μ
3,75	28000	0,15	Менше 0,021	Більше 1105	115	0,095
3,75	56000	0,16	Менше 0,021	Більше 1105	110	0,092
6,00	28000	0,16	Менше 0,021	Більше 1760	140	0,072
6,00	56000	0,14	Менше 0,021	Більше 1760	150	0,072

Речовини назвали РОБТ або невимірно низької інтенсивності зношування трибосистеми, оскільки інтенсивність зношування таких трибосистем ковзання та кочення ні ваговим (менше ніж 0,05 мг), ні лінійним методами (менше ніж 0,005 мкм) не була визначена. При більших питомих тисках (при 6,0 кН осьового навантаження) і при більшому шляху тертя величина зношування роликів була суттєво нижче, що можна пояснити похибкою випробувань та вимірювань.

Зменшення вихідної шорсткості поверхонь тертя

віль навпаки.

Зменшення шорсткості при реалізації явища безадгезійного тертя в умовах межового змащування приводило поряд зі зменшенням початкового зношування до зменшення коефіцієнта тертя при збільшенні температури межового шару розчинів РОБТ у товарних ПММ. Таким чином, РОБТ, розчинені в товарних ПММ, призводять до принципово нового стану трибосистеми, а саме до реалізації явища безадгезійного тертя в умовах межового змащування, що має переконливі експерименталь-

ні ознаки та доведення :

– двостадійну структуру зношування (I стадія – латентний період, який супроводжується початковим зношуванням, на порядки меншим таких зношувань у товарних середовищах, і II – стадія невимірно низької інтенсивності зношування);

– відсутність ознак адгезійної взаємодії поверхонь (відсутністю продуктів зношування у середовищі та відсутністю слідів задирів, мікрочеплень, виривів та налипань металу, кольорів мінливості та інших наслідків від дії адгезійної складової сили тертя на робочих поверхнях);

– постійну в часі неосцилюючу поведінку коефіцієнта тертя і температури межового шару середовища (рис. 2, з, д);

– неутворення оптимальної шорсткості (чим нижче вихідна шорсткість поверхонь, тим нижче контактна температура і коефіцієнт тертя).

Усі ці нові властивості трибосистем у сукупності вказують на відсутність ознак адгезійної взаємодії трибосистем. Із цього випливає загальний висновок, що РОБТ своєю обмінною автоколивальною взаємодією з поверхнями тертя компенсують або пригнічують саму можливість дії адгезійної складової сили тертя. Саме тому і зменшується контактна температура, оскільки не утворюються і не руйнуються так звані "містки зварювання", характерні для адгезії твердих тертьових тіл. Іншими словами, речовини організують процес безадгезійного тертя в умовах межового змащування, що призводить до невимірно низької інтенсивності зношування трибосистем. При дослідженні режиму безадгезійного тертя в умовах межового змащування на всесвітньо визнаній випробувальній системі RFL Optimol Test System було визначено, що при ковзанні криволінійного контакту сила тертя при збільшенні осьового навантаження спочатку зростає до максимуму, а потім зменшується за параболічним законом (рис. 3, 4).

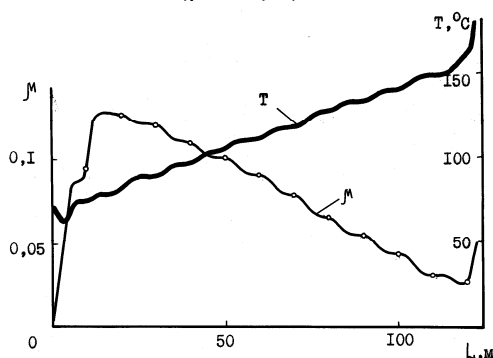


Рис. 3. Осцилограма коефіцієнта тертя μ і температури вала в середовищі дизельного пального з РОБТ у часі при ступеневому навантаженні

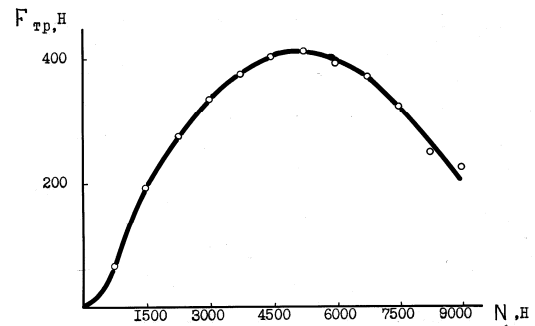


Рис. 4. Залежність сили тертя від навантаження до 9 кН

Апроксимація отриманих експериментальних залежностей за допомогою пакета програм "Математика 2.2." підтвердила це. Нова формула залежності сили тертя від осьового навантаження під час безадгезійного тертя має вигляд:

$$F_{\tau} = AN - BN^2,$$

де N – осьове навантаження на контакт; A і B – константи, що залежать від параметрів самої трибосистеми і системи змащування.

Для трибосистеми стенда RFL Optimol Test System з його системою охолодження і змащування розчином РОБТ у дизельному паливі співвідношення A/B приблизно дорівнює 10 при швидкості ковзання 0,4 м/с, осьовому навантаженні до 9,0 кН, об'ємі розчину РОБТ – 0,5 л та швидкості його циркуляції – 1 л/год.

Складовою сили тертя $f = (-BN^2)$ є новою силою для трибології межового змащування. Вона діє в напрямку ковзання, існує об'єктивно при терті в умовах межового змащування і експериментально спостерігається лише в умовах безадгезійного тертя. Ця сила авторами названа силою руху під час тертя.

Від'ємна складовою сили тертя має термопружно-деформаційну природу. На думку авторів, термопружно-деформаційні сили або сили руху під час тертя – об'єктивна реальність контактної взаємодії твердих тіл, а практичне використання режиму безадгезійного тертя та сил руху може привести до переведення сучасного машинобудування на якісно новий етап розвитку.

Висновки

Явище безадгезійного тертя в умовах межового змащування потребує нової методології, нової випробувальної апаратури та вимірювальної техніки. Розроблені авторами вимірювально-випробувальна система «DEDAL Friction Wear Test System» у сукупності з профілографом-профілометром «ДЕДАЛ-ЛСПП» дає нові знання про тертя та зношування, відкриваючи нові шляхи у вирішенні проблем тертя і зношування, засновані на реалізації явища безадгезійного тертя.

Стаття надійшла до редакції 20.09.04.

А.Ф. Аксёнов, Т.В. Терновая, А.У. Стельмах, Р.Е. Костюник, А.Ю.Сидоренко

Явление безадгезионного трения скольжения в условиях граничной смазки

Обоснована и экспериментально доказана возможность реализации явления безадгезионного трения трибосистем в условиях граничной смазки. Для исследования реализации в технике этого явления разработана и создана новая испытательная система трения с оригинальной методикой испытаний.

A.F. Aksenov, T.V. Ternova, A.U. Stelmah, R.E. Kostynik, A.Yu. Sidorenko

The phenomenon of non-adhesion sliding friction in conditions of boundary friction

For the first time it is proved experimentally the opportunity of realization the phenomenon of nonadhesion friction in conditions of boundary greasing. For research of realization this phenomenon in technics the new probing system of friction with an original technique of tests was developed and created.