

УДК 621.89.097.017:620.1.08 (045)

Р.С. Костюнік

## ВПЛИВ СТАЛОСТІ ЛІНІЙНОГО КОНТАКТУ ТРИБОСИСТЕМИ КОВЗАННЯ НА ЇЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

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

*Експериментально доведено, що сталість лінійного контакту трибосистеми ковзання значно впливає на її основні експлуатаційні характеристики, а саме, протиспрацьовувальні та антифрикційні.*

### Вступ

При терті в умовах межового змащування на тертьових поверхнях утворюються вторинні структури.

Протиспрацьовувальні властивості цих вторинних структур визначають довговічність усієї трибосистеми та протиспрацьовувальні властивості робочого мастила середовища.

Отже, випробування мастила зводиться до визначення протиспрацьовувальних властивостей вторинних структур. А для коректного проведення випробувань необхідно рівномірне формування вторинних структур, які утворюються при перших циклах трибовзаємодії поверхонь тертя.

Результати випробувань, отримані на різних лабораторних випробувальних установках тертя, значно відрізняються, що ускладнює їх аналіз і порівняння. Факторами, відповідальними за розбіжність результатів, є коефіцієнт взаємного перекриття, рівень вібрацій самої випробувальної установки та інші причини. Наприклад, зміна коефіцієнта взаємного перекриття змінює зношування досліджуваних зразків в десятки та сотні разів [1].

Ще в кінці шестидесятих років була здійснена програма порівняно простих випробувань [2].

Усі матеріали для проведення випробувань (мідь, латунь, бронза, сталь) видані з одного центра і однієї партії поставки в 21 лабораторію 12 країн світу. Були позначені тільки навантаження, швидкість ковзання, шорсткість, не обмежувався вибір схеми випробування і випробувального обладнання. Аналіз результатів, отриманих у різних лабораторіях, свідчить, що дані зі зношування відрізняються майже в 20 разів.

Крім того, різноманітна геометрія контакту пари тертя (точковий, лінійний, по площині), дає різний ефект в умовах межового змащування, змінюючи при цьому умови утворення і руйнування плівок мастила.

Тому питання якості випробувань, мінімальної розбіжності отриманих результатів є визначальними для подальшого розвитку багатьох розділів трибології.

Аналіз існуючих вітчизняних і зарубіжних засобів та методик випробувань трибосистем на тертя і зношування показав, що в наших умовах найбільш прийнятною є схема Тімкена (ролик – площа), яка реалізує прилад тертя з лінійним контактом (ПТЛК).

Для швидкого і коректного визначення інтенсивності зношування в тому або іншому розчині з введеною в нього речовиною була розроблена методика експрес-випробувань, завдяки якій коректувалася та доводилася технологія синтезу речовин-організаторів безадгезійного тертя (РОБТ) [3].

### Методика експерименту

Величина зношування, визначена на перших етапах тертя, характеризує швидкість трибохімічного структурування поверхонь речовинами РОБТ.

При розрахункових контактних тисках 1000 МПа величина зносу плоского зразка, якщо похибка вимірювання на електроконтактному папері профілографа-профілометра М-201 дорівнює 1 мм, не перевищує  $1,2 \cdot 10^{-12}$  мм.

Після проведення ряду експериментів глибина доріжки тертя на довготривалому етапі при вертикальному збільшенні профілограми в 200 000 разів не завжди визначалася.

Отже, речовина, в розчині якої здійснювалося тертя, володіє властивістю забезпечувати невимірно низьку інтенсивність зношування даної трибосистеми. Для оцінки ступеня мінімальної розбіжності результатів експериментів, що характеризує саму установку тертя, була проведена серія експериментів з організаторами невимірно низької інтенсивності зношування. Результати вимірювання зношування плоского нерухомого зразка для експериментів, проведених при інших рівних зовнішніх умовах, мали значну розбіжність, що показано в таблиці.

Дослідження робочої поверхні всіх контрзразків показали їх нерівномірну зафарбованість, яка становила 10–85 % від номінальної ширини контакту. Це свідчить про зміну траєкторії тертя ковзання і відповідно фактичного контакту, який за один оберт змінюється циклічно.

### Експериментальні результати вимірювань зносу та середньої температури випробувального середовища

Вимірювана величина	Номер випробування									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'ємна середня температура, °С	98	45	50	60	56	63	37	52	48	50
Знос, мкм	0,5	-0,05	0,15	0,28	0,21	0,3	-0,01	0,19	0,17	0,18

### Аналіз результатів досліджень

Під час вимірювання ширини зафарбованої ділянки на мікроскопі МИМ-7 по всій довжині робочої поверхні кожного досліджуваного контрзразка була отримана залежність зміни ширини лінійного контакту за один оберт контрзразка для кожного випробування, наприклад, для випробувань № 3, № 4, № 7 (рис. 1).

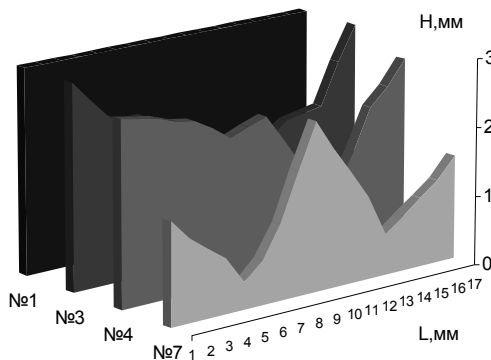


Рис. 1. Розрахована повна (№1) і фактичні (№3, №4, №7) площини контакту

З урахуванням фактичної робочої ширини лінійного контакту по всій довжині твірної циліндра контрзразка, підставивши значення миттєвої ширини контакту, яка відповідає визначеній ширині перерізу твірної циліндра, у формулу розрахунку контактних напруг, отримали розподіл миттєвих контактних напруг для кожного проведеного випробування за один оберт контрзразка (рис. 2).

З проведених розрахунків напруг випливає, що вони мають змінний характер, а значення напруг відрізняються від номінальної в бік збільшення. Тобто повний контакт по твірній контрзразка в кожному випробуванні не відтворюваний. Крім цього, спостерігалася різна кількість ділянок повного контакту з різною довжиною, де напруги були мінімальними.

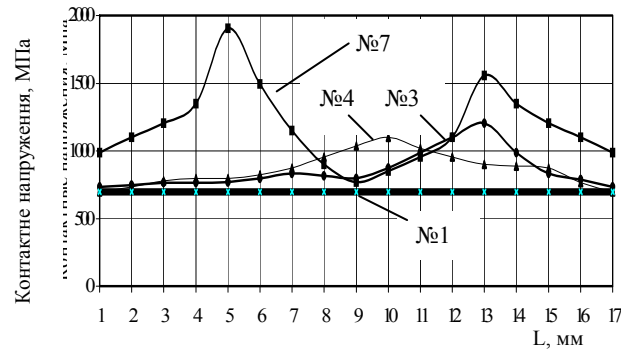


Рис. 2. Розподіл напруг при повній розрахованій (№1) і фактичних (№3, №4, №7) площинах контакту

Змінні напруги являють собою періодичні функції часу  $\sigma = f(t)$  з періодом  $T$ .

Сукупність всіх значень напруг за час одного періоду – це цикл напруг, до якого належать максимальні та мінімальні напруги за один оберт контрзразка.

Аналогічні результати були отримані на приладі реверсійного тертя з лінійним контактом ПТЛК(р), де за перших три етапи тертя проводилося  $10^4$  циклів, а за четвертий  $5 \times 10^4$  циклів при осьовому навантаженні 125 Н з довжиною шляху тертя за один цикл 20 мм при частоті 330 циклів за 1 хв.

Випробування також проводилися на машині тертя RFL Optimol Test System [4], при реалізації режиму тертя ШХ-15 по ШХ-15. Осьове навантаження створювалося за програмою М:1 до 3750 Н з лінійною швидкістю – 0,4 м/с [4]. Отримані результати випробувань свідчать про вирішальну роль повноти довжини контакту при визначенні ковзання.

З експериментальних даних видно, що фактична довжина контакту контрзразка за нерухомим плоским зразком є не постійною, а випадковою величиною, яка залежить від точності виготовлення самого контрзразка і якості установки його на валу випробувальної машини тертя ПТЛК(о), ПТЛК(р) і RFL Optimol Test System.

Плоский зразок постійно виходить з контакту за кожний оберт, що призводить до його інтенсивного охолодження. Внаслідок цього спостерігалася зростання об'ємної температури до різних величин за інших рівних умов від 30 до 120° (рис. 3, а).

Температура безпосередньо впливає на властивості, які характеризують в'язкість, міцність матеріалів, на коефіцієнт тертя, а також на протікання фізико-хімічних процесів, в результаті чого змінюються адгезійні та деформаційні властивості поверхневого шару.

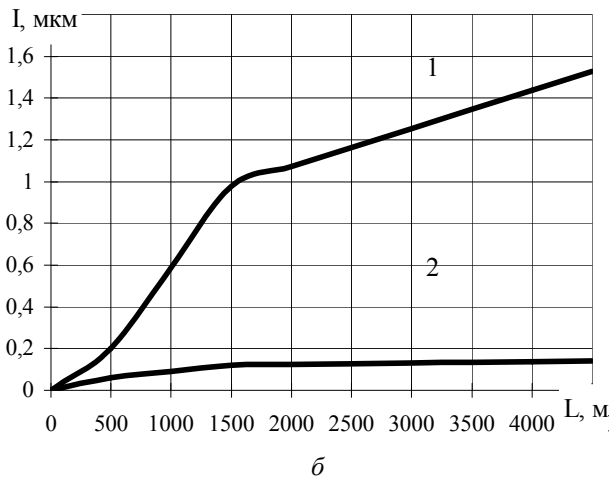
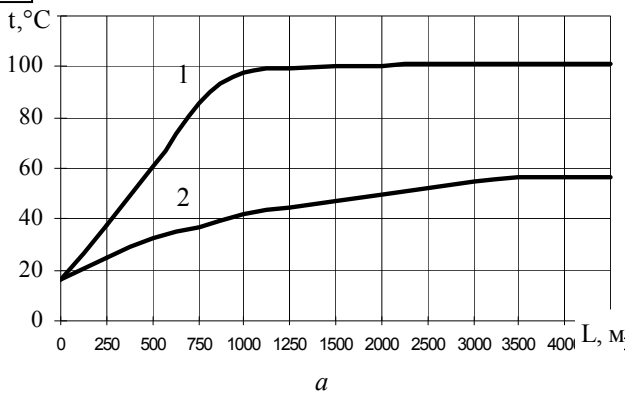
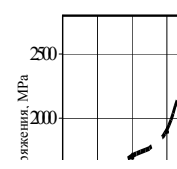


Рис. 3. Залежність об'ємної температури середовища (а), величини зношення (б) від шляху тертя при повному (1) і фактичному (2) контакті

Зміна коефіцієнта тертя, механічних і теплофізичних властивостей матеріалів призводить до зміни зношування матеріалу. Тривалі експериментальні дослідження дозволили обґрунтувати та підтвердити те, що інтенсивність зношування пар тертя залежить, в свою чергу, залежить від фактичної повноти контакту тертя (рис. 3, б).

Отже, експериментально доведено та теоретично обґрунтовано, що при інших рівних зовнішніх умовах навантаження трибосистеми ковзання з лінійним контактом (осьове навантаження 125 Н, лінійна швидкість ковзання 0,3 м/с) необхідно враховувати два випадки:

– сталий лінійний контакт характеризується мінімальними, тобто близькими до розрахункових, контактними напруженнями, але при цьому сила тертя та інтенсивність зношування зростають за рахунок підвищених контактних температур;

– змінний лінійний контакт характеризується значно збільшеними контактними навантаженнями щодо розрахункових, але сила тертя та інтенсивність зношування зменшуються за рахунок підвищення тепловіддачі.

### Висновки

Найбільш ефективними є трибологічні випробування на лабораторних приладах тертя ковзання з лінійним контактом сталої довжини, що дозволяє враховувати трибологічні властивості вторинних структур, які, в свою чергу, визначають протиспрацьовувальні та антифрикційні властивості випробовуваного мастила в процесі експлуатації.

### Список літератури

1. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 58–62.
2. Браун Е.Д. Об учете масштабного фактора при лабораторных испытаниях // Научные принципы и новые методы испытания материалов для узлов трения: Сб. – М.: Наука, 1968. – С. 182–192.
3. Стельмах О.У., Сидоренко О.Ю., Костюник Р.Е. Методика идентификации ГСМ по противоизносным и антифрикционным свойствам с учетом реальных условий их работы // Технологические системы. – К. – 2002. – №3. – С. 96–101.
4. Инструкция по эксплуатации. – Munhen. Ltd. ELMatic. RFL Optimol Test System. – 1978. – С. 3.

Стаття надійшла до редакції 20.09.04.

Р.Е. Костюник

Влияние постоянства линейного контакта трибосистемы скольжения на её характеристики

Експериментально доказано, що постійність лінійного контакту трибосистеми скольжения значительно влияет на её основные эксплуатационные характеристики, а именно, противоизносные и антифрикционные.

R.E. Kostunik

Influence of a constancy of linear contact of a sliding tribosystem on it tribocharacteristics

In article it is experimentally proved, that the constancy of linear contact of sliding tribosystem considerably influences its basic operational characteristics, namely antiwear and antifricition.