

УДК 621.891/892.004.12

С.П. Шимчук

Луцький національний технічний університет

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

В статті проаналізовано широкий асортимент випробувально-вимірювального обладнання та вибрано, на погляд автора, найбільш оптимальні випробувальні та трибометричні засоби для дослідження процесів тертя

Вступ. Сучасні машини та механізми являють собою сукупність трибосистем. Сила тертя, інтенсивність зношування трибоповерхонь, шум, вібрація – це ті фактори, які впливають на експлуатаційні показники і, як наслідок, на довговічність роботи трибовузлів. Основні експлуатаційні характеристики будь-якої трибосистеми значною мірою залежать від правильного підбору та якості мастильних матеріалів. Усі підняті вище питання повинні вирішуватись на стадії проектування трибовузла необхідними конструкторськими розрахунками та методами і засобами лабораторних досліджень.

Теорії тертя та зношування. Теорії тертя та зношування використовуються для пояснення природи трибопроцесів з метою правильного підбору режимів тертя. На даний час найбільш широко використовувані три теорії тертя. Перша – молекулярно-механічна чи адгезійно-деформаційна. Згідно цієї теорії в поверхневих шарах тіл тертя відбувається два процеси: багатократна деформація поверхневих шарів контактуючих поверхонь та утворення і розрив сил молекулярної взаємодії в місцях фактичного контакту при їх відносному ковзанні. Сила тертя і розсіювана енергія при цьому кількісно залежать від фізико-механічних властивостей матеріалів деталей пари тертя, величини та просторової конфігурації параметрів шорсткості, активності молекулярної взаємодії на фрикційному контакті [1]. Механохімічна теорія розглядає тертя як процес утворення і руйнування вторинних структур на робочих поверхнях. Згідно цього підходу, сила тертя являє собою суму похідних від складових енергій дисипації. Авторами [2] показано, що кількість виникаючого тепла являє собою 70-100% від всієї механічної енергії затраченої на тертя. Атомно-молекулярна теорія тертя [3] розглядає цей процес, як ковзання двох поверхневих шарів молекул. Через молекулярну шорсткість ковзання поверхонь в напрямку вектора відносної швидкості супроводжується коливальним рухом тіл в напрямі перпендикулярному цьому вектору.

Задачі дослідження. На основі аналізу широкого асортименту випробувально-вимірювального обладнання вибрати найбільш оптимальні випробувальні та трибометричні засоби для дослідження процесів тертя.

Випробувально-вимірювальне обладнання. Сучасні випробувально-вимірювальні засоби доцільно поділити на три групи:

- методи і прилади для вимірювання величини зношування (як лінійного так і об'ємного) та мікрорельєфу трибоповерхонь;
- методи і прилади для дослідження структури поверхневих шарів матеріалів деталей та напрацьованих вторинних структур;
- методи і прилади для дослідження конструкційних і мастильних матеріалів на тертя і зношування.

На сьогодні основними методами вимірювання трибопараметрів поверхонь твердих тіл є контактні профілометричні методи. Сучасні механічні вимірювальні прилади, що працюють за контактним принципом ошупування поверхні конусними голками, типу профілограф-профілометр «Калібр М-201», М-283, «Абрис ПМ-7», ПМ-300 і багато інших не здатні достатньо точно проводити оцінку якості поверхні при визначенні шорсткості по параметрах Ra, Rz, а також вимірювати знос (через голку, яка має певний радіус заокруглення). Крім цього вимірювання на згаданих приладах є трудомістким та малоінформативним, а профілограма будується по двох координатах (рис. 1).

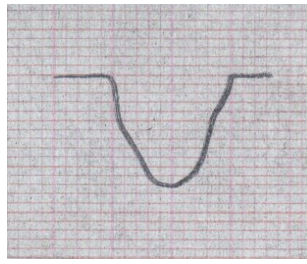


Рис. 1. Профілограма доріжки тертя на нерухомому плоскому зразку при однонаправленому терті ковзання

Вирішення цієї проблеми полягає у використанні та широкому впровадженні у виробництво безконтактних вимірювальних засобів. Авторами [4] було здійснено досить обширний патентний і літературний пошук та показано доцільність використання лазерного мікроскопа-профілометра ЛМП. У цьому приладі передбачається реалізація диференційно-фазового метода досліджень, який забезпечує високу чуттєвість до зміни профілю поверхні по висоті (до 1 ангстрема) і хороший віброзахист у сполученні з використанням швидкодійних двохкоординатних акусто-оптичних пристроїв управління лазерним випромінюванням [5]. Це все у сукупності дає можливість оцінювати зовнішній вигляд поверхонь тертя та вимірювати як параметри шорсткості так і величину зношування у дво- та тривимірній системах координат (рис. 2).

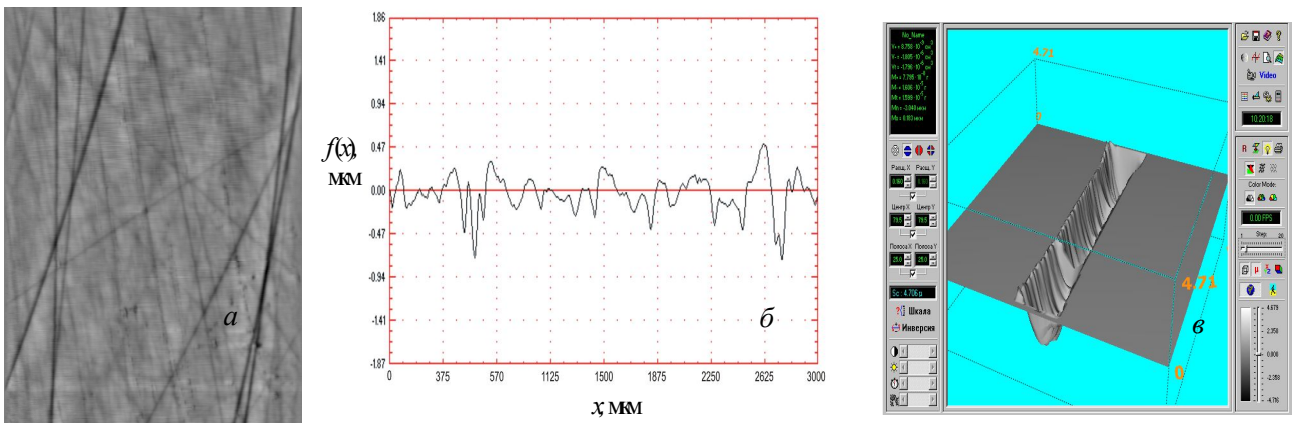
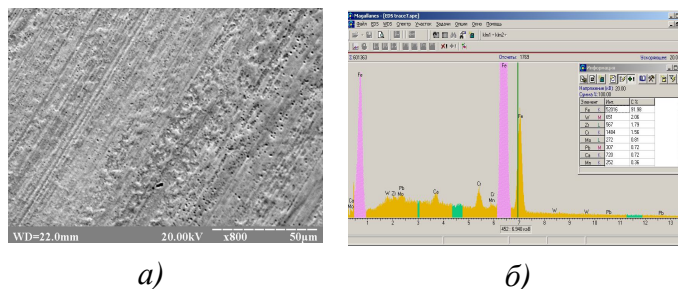


Рис. 2. Загальний вигляд поверхні тертя
а) структура поверхні; б) профілограма; в) тривимірне зображення лунки зносу

Не менш важливою проблемою при вивченні трибопроцесів є дослідження будови поверхонь та напрацьованих вторинних структур (ВС). На сьогодні одним з кращих вітчизняних приладів є растровий електронний мікроскоп-мікроаналізатор РЕМ 106И. Технічні характеристики в растровому режимі і режимі мікроаналізу дозволяють швидко та якісно оцінювати кількісний елементний склад матеріалів методом рентгенівського мікроаналізу (для оцінювання ВС) та досліджувати рельєф робочих поверхонь (рис. 3). Рентгенівський мікроаналіз здійснюється по оцінці довжин хвиль і енергій квантів характерного рентгенівського випромінювання. Прилад забезпечує одержання зображення в режимах вторинних (SE) та відбитих (ТОРО, СОМРО) електронів, а також характерних рентгенівських променях.

Рис. 3. а) загальний вигляд поверхонь тертя $\times 800$; б) спектри напрацьованих ВС

Серед різноманіття випробувальних приладів тертя було вибрано лабораторні прилади з лінійним контактом ПТПЛК [6] та ПТЛК(рв) [7], які дозволяють проводити трибовипробування при лінійному контактуванні деталей модельної трибопари із сталими миттєвими контактними напруженнями і контрольованими радіальними відхиленнями модельного вала відповідно та оцінено точність відтворюваності початкових умов на них шляхом оцінювання вірогідної відносної похибки випробувань по методиці [8]:

$$\pm \frac{\varepsilon_{\alpha}}{X} \cdot 100\%.$$

Точність прямого вимірювання:

$$\varepsilon_{\alpha} = t_{\alpha,k} S_{\bar{X}}$$

де $t_{\alpha,k}=2,09$, при $\alpha=0,95$ для серії із 20 вимірювань; $S_{\bar{X}}$ - середня квадратична похибка середнього арифметичного.

Таблиця 1

Результати випробувань авіагасу ТС-1 при терті ковзання з постійними миттєвими контактними напруженнями

№ п/п	Сумарний знос, мкм	$\Delta X(X_i)$	$(\Delta X(X_i))^2$
1	64,3	-0,53	0,28
2	66,5	1,67	2,79
3	65,1	0,27	0,073
4	63	-1,83	3,35
5	64,3	-0,53	0,28
6	63,8	-1,03	1,06
7	67	2,17	4,71
8	63,8	-1,03	1,06
9	65,1	0,27	0,073
10	66,5	1,67	2,79
11	63	-1,83	3,35
12	63,8	-1,03	1,06
13	64,3	-0,53	0,28
14	63,8	-1,03	1,06
15	65,1	0,27	0,073
16	67	2,17	4,71
17	65,1	0,27	0,073
18	64,3	-0,53	0,28
19	66,5	1,67	2,79
20	64,3	-0,53	0,28

Середня квадратична похибка середнього арифметичного при випробуваннях на ПТПЛК:

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{S_{\bar{X}}^2} = 0,28.$$

Точність прямого вимірювання:

$$\varepsilon_{\alpha} = t_{\alpha,k} S_{\bar{X}} = 0,59;$$

де $t_{\alpha,k}=2,09$, при $\alpha=0,95$ для серії із 20 вимірювань;

Вірогідна відносна похибка:

$$\pm \frac{\varepsilon_{\alpha}}{X} \cdot 100\% = 0,9\%.$$

Таблиця 2

Результати випробувань авіагасу ТС-1 при терті ковзання та контрольованих величинах радіальних відхилень $0 \pm 1,5$ мкм на ПТЛК(рв)

№ п/п	Сумарний знос, мкм	$\Delta X(X_i)$	$(\Delta X(X_i))^2$
1	33,9	-1,13	1,28
2	32,2	-2,83	8,01
3	34,57	-0,46	0,21
4	33,9	-1,13	1,28
5	36,17	1,14	1,3
6	34,57	-0,46	0,21
7	36	0,97	0,94
8	34,57	-0,46	0,21
9	36,17	1,14	1,3
10	36	0,97	0,94
11	36	0,97	0,94
12	34,57	-0,46	0,21
13	33,9	-1,13	1,28
14	34,57	-0,46	0,21
15	36,17	1,14	1,3
16	36	0,97	0,94
17	34,57	-0,46	0,21
18	36,17	1,14	1,3
19	36	0,97	0,94
20	34,57	-0,46	0,21

Середня квадратична похибка середнього арифметичного при випробуваннях на ПТЛК(рв):

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{S_{\bar{X}}^2} = 0,25.$$

Точність прямого вимірювання:

$$\varepsilon_{\alpha} = t_{\alpha,k} S_{\bar{X}} = 0,52;$$

де $t_{\alpha,k}=2,09$, при $\alpha=0,95$ для серії із 20 вимірювань.

Вірогідна відносна похибка:

$$\pm \frac{\varepsilon_{\alpha}}{X} \cdot 100\% = 1,48\% .$$

Приведені вище результати випробувань авіагасу ТС-1 на лабораторних приладах тертя з лінійним контактом, (табл. 1, табл. 2), які проводились при однакових початкових умовах, показують, що вони суттєво відрізняються між собою. Так середні значення величин зношення отримані при 20 паралельних випробуваннях випробовуваного середовища на вибраних приладах тертя розміщуються у наступній послідовності:

- 35,03 мкм при величині радіального відхилення $\delta = \pm 1,5$ мкм на ПТЛК(рв);
- 64,83 мкм на ПТПЛК.

Висновки.

1. Розглянуте вище випробувально-вимірювальне обладнання доцільно використовувати комплексно при оцінці протизносних та антифрикційних властивостей конструкційних та мастильних матеріалів, присадок та покриттів для більш глибокого вивчення трибопроцесів.
2. Випробувально-вимірювальне обладнання необхідно постійно модернізувати та удосконалювати.

1. Костецкий Б.И. Износостойкость деталей машин. Москва–Киев: Машгиз, 1950. – 168 с.
2. Костецкий Б.И., Линник Ю.И. Исследование энергетического баланса при внешнем трении металлов // ДАН СССР. – 1968. – №5(т.183). – С. 1052 - 1055.
3. Дерягин Б.В., Кротова Н.А. Адгезия. – М–Л.: Изд-во АН СССР. – 1949. – 29 с.
4. Патент 217 9328 С1 РФ, МКИ 7G02 В21/00, G01 В11/30. Способ дифференциально-фазовой профилометрии и/или профилометрии и устройство для его реализации / С.Н. Кияшко (РФ), Е.Н. Смирнов, Л.Н. Ильченко, С.А. Коленов, А.У. Стельмах (Украина) – №2001116525/28; Заявлено 19.06.01; Опубл. 10.02.02, Бюл. №4. – С. 15.
5. Лазерний скануючий профілограф-профілометр Дедал ЛСПП / С.М Кіяшко, Є.М. Смірнов, О.У. Стельмах, Л.М. Ильченко, С.О.Коленов, О.Ю. Сидоренко // Наукові нотатки. – Луцьк. 2004. – Вип. 15. – С. 135 - 136.
6. Костюнік Р.Є. Вплив сталості лінійного контакту трибосистеми ковзання на її характеристики // Вісник НАУ. – 2004. – №3. – С. 23 - 25.
7. Аксьонов О.Ф., Стельмах О.У., Шимчук С.П., Коба В.П., Джамаль Ібрагім Мансур. Методологія визначення протиспрацьовувальних властивостей мастил за критеріями трибохарактеристик утворюваних у них вторинних структур // Вісник НАУ. – 2006. – С. 62 - 64.
8. Стельмах А.У., Сидоренко О.Ю., Костюнік Р.Є. Методика ідентифікації ГСМ по противоизносным и антифрикционным свойствам с учетом реальных условий их работы // Технологические системы. – 2002. – №3. – С. 96 - 101.