

K413.12.8 + 1543.0 - 106.6 + 052-082-326.06
 УДК 621.89.097.017:620.1.051(045)

матеріал горюче-змазочний,
 своєю властивістю антифрикційний, матеріал
 зносостійкості матеріала
 тринне сколивання,
 своєю властивістю експлуатаційне мат.
 методи дослідження

О.У. Стельмах, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.
 (Національний авіаційний університет)

О.Ю. Сидоренко, мол. наук. співроб.
 (Національний авіаційний університет)

Р.Є. Костюнік, мол. наук. співроб.
 (Національний авіаційний університет)

ТРИБОТЕХНІЧНА СИСТЕМА "ДЕДАЛ" ВИПРОБУВАНЬ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ПРОТИСПРАЦЬОВУВАЛЬНИМИ ТА АНТИФРИКЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Розглянуто систему лабораторних випробувань паливно-мастильних матеріалів і присадок до них за протиспрацьовувальними і антифрикційними властивостями з відповідними методиками експрес-випробувань модельної трибосистеми ковзання з лінійним контактом сталої протяжності, апробація якої показала високу відтворюваність отримуваних на ній результатів і кореляцію з довготривалими і високовартісними моторними методами випробувань.

Безпека польотів значною мірою визначається надійною роботою елементарних трибосистем, які в сукупності складають двигун із системами змащення, керування, механізації крила, паливною, гідравлічною та ін. Під елементарною трибосистемою розуміють як найменш дві поверхні твердих тіл, що перебувають у відносному русі під час певного навантаження шляхом стиснення. Кожна з таких трибосистем забезпечена власним або системним мастильним матеріалом. Моторне масло чи пластичне мастило, гідравлічна рідина або паливо визначають працездатність, функціональну надійність та міжремонтний ресурс вузлів та агрегатів авіаційної техніки. Тому протиспрацьовувальні та антифрикційні властивості паливно-мастильних матеріалів (ПММ) є головними споживчими характеристиками для системи, двигуна, літака. Інші експлуатаційні показники якості ПММ, такі, як зольність, наявність сірки, води і механічних домішок, температури спалаху, замерзання, теж важливі, але для мастильних матеріалів вони є другорядними і застосовуються для контролю відповідності ПММ технічним умовам або ДСТУ. Споживачі техніки, перш за все, турбуються про надійну роботу та довговічність, наприклад, двигуна автомобіля під час експлуатації, і мало кого цікавить кислотність чи лужність самого мастильного матеріалу.

У нафтопереробній галузі постійно проводиться пошук та впровадження нових технологій виробництва якісних мінеральних та синтетичних компонентів базових ПММ, які суттєво впливають на експлуатаційні властивості товарного мастильного матеріалу. Традиційно підвищення зносостійкості і експлуатаційної надійності деталей і агрегатів досягається шляхом поліпшення характеристик базових мастильних матеріалів через уведення в них антифрикційних, антизадирих і протиспрацьовувальних присадок або пакетів присадок, які в більшості своїй в умовах тертя працюють на принципах хімічної корозії.

Перед застосуванням нового мастильного матеріалу у вузлі тертя на серійному агрегаті він проходить лабораторні, стендові і натурні випробування. На сьогодні самими об'єктивними вважаються результати стендових і натурних випробувань, але вони пов'язані з труднощами через їх велику вартість (особливо льотні випробування) і довготривалість. Ресурси натурних агрегатів досить великі, і їх перевищення призводить до довгих кропітких випробувань. Тому короткотривалі і дешеві випробування існуючих товарних і розроблюваних нових мастильних матеріалів на тертя і знос на спеціальних лабораторних пристроях – єдине альтернативне вирішення цієї проблеми.

Велика кількість вітчизняних і зарубіжних машин, систем і лабораторних приладів тертя реалізують процеси тертя і зношення на модельних фрикційних контактах, імітуючи роботу реальних вузлів машин і механізмів. Характерними для лабораторних випробувальних машин і приладів різних типів є кінематика тертя і геометрія контакту зразків, що визначає фактичне

питоме навантаження в контактi. Відповідно до класифікації Р.М. Матвієвського всі машини тертя умовно розподілені на три групи за видом контакту (точковий, лінійний і нормальний контакти) і дві групи за напрямом тертя (одностороннє і реверсивнє тертя ковзання).

За геометрією контакту велике поширення у випробовувальній триботехніці одержали точкові види контактування при односторонньому терті ковзання, наприклад, ЧШМ, УПС, FALEX, Рейхерт (циліндр–циліндр із пересічними осями). Машина тертя ЧШМ зайняла міцну позицію лідера серед інших відомих приладів тертя. Однак сорокалітня практика випробувань мастильних матеріалів на цій машині за ДСТУ 9490 лише на протиспрацьовувальні властивості показала умовність одержуваних на ній результатів. Так, по діаметрах зносів куль можна судити про протиспрацьовувальні властивості випробовуваних мастильних матеріалів, які характерні не для мастильного середовища взагалі, а лише для машини тертя ЧШМ [1; 2]. Тому не можна переносити ці результати випробувань на інші види контактів і тим більше на реальні трибосистеми агрегатів машин і механізмів.

Серед машин із контактом поверхонь тертя по площині слід зазначити МФТ-1, УМТ-1, 2070 СМТ-1. Але контакт поверхонь тертя по площині технічно дуже важко відтворювати. Він становить 20...100% від номінальної площі. Для забезпечення однакових початкових умов тертя при випробуваннях застосовують накочення поверхонь тертям з абразивом у керосині. Але такий процес неминуче призводить до утворення на поверхнях вторинних структур, які за своїми фізико-хімічними властивостями і структурою відтворити практично не можливо.

Найбільш поширеним видом контакту у випробувальній техніці є лінійний контакт. Для цього використовують машини Тімкена (циліндр – площина, США й Англія), Фалекс (циліндр – площина, США), SAE (циліндр – циліндр із паралельними осями, США), МИ-1М (ролик, який притиснутий до іншого ролика або до якого притискається колодка), машина тертя СМЦ-2 (диск – диск, диск – вкладиш, вал – втулка). Відома в світі випробувальна система тертя RFL Optimol Test System також призначена для випробувань мастильних матеріалів в умовах граничного змащення. Вона моделює умови ковзання бічних поверхонь зубів шестерні, де ролик обертається і реалізує ковзання по двох нерухомих роликах.

Аналіз поверхонь тертя деталей сучасних машин і агрегатів показав, що максимальна кількість сполучень тертя утворює лінійний контакт. Максимальна кількість відбракованих деталей від зношення при терті в процесі ремонту також припадає на деталі з лінійним контактом тертя.

Всебічний аналіз існуючих методик та випробувальних машин теж свідчить про те, що найбільш відтворюваними при випробуваннях мастильних матеріалів на тертя та зношування є трибосистеми ковзання лінійним контактом. Але всі вони мають багато недоліків. Так, лабораторний прилад однонаправленого тертя ковзання контрзразка-ролика (діаметром 30 мм, товщиною 3 мм) по нерухомому плоскому зразку за схемою Тімкена ПТЛК(о) дозволяє визначити зміну лінійних розмірів плоского зразка профілографуванням доріжки тертя (рис. 1).

На рис. 1, б показано утворення вторинних структур на контрзразці, які своєю зафарбованістю вказують на траєкторію тертя ковзання (темні ділянки). Фактична протяжність контакту під час ковзання контрзразка по нерухомому зразку є не сталою, а випадковою величиною, яка становить 10–90% від номінальної, що залежить від точності виготовлення контр-зразка і якості встановлення контрзразка на валу машини. Тобто в часі контакт постійно порушується і питомі навантаження завжди більші ніж розрахункові.

Крім цього, під час вимірювання сили тертя тензобалою, встановленою по осі підведення навантаження, порушується і зміщується контакт у напрямку ковзання, що призводить до перерозподілу осьового навантаження і некоректного вимірювання сили тертя, до складу якої входить частка осьового навантаження (рис. 1, а).

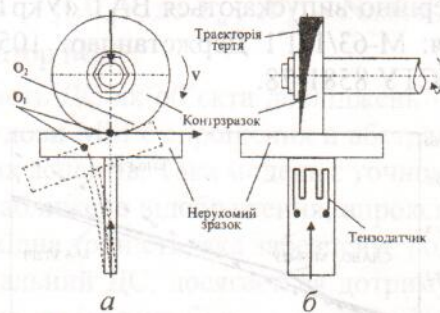


Рис. 1. Схема роботи ПТЛК(о): а – зміщення контакту; б – утворення вторинних структур

Під час випробувань на машині тертя RFL Optimal Test System (ФРН) тертя здійснюється ковзанням контрзразка (вал діаметром 24 мм, сталь ШХ-15, HRC-60...63, $R_a = 0,28...0,3$ мкм) по двох нерухомих тілах (ролики діаметром 8 мм і довжиною 11 мм, сталь ШХ-15, HRC-60...63, $R_a = 0,15$ мкм). Навантаження вузла тертя, контроль швидкості обертання, швидкість навантаження та інші параметри роботи контролюються за допомогою автоматики. Випробувальна система RFL Optimal Test System поряд із підвищеною інформативністю теж має ряд недоліків. Ця система є двоконтактною. Під час випробувань, як і на ПТЛК(о), спостерігався зсув контакту, про що свідчили утворення двох доріжок тертя на кожному ролику. Отже, система визначення сили тертя впливає на самі умови тертя через зміну геометрії контакту шляхом його зсуву. Тому виникла необхідність розробки і створення принципово нової більш інформативної одноконтактною машини тертя ковзання з лінійним контактом, яка б дозволила усунути всі недоліки, характерні для відомих машин і систем випробувань ПММ.

Розроблена нами система тертя відрізняється від відомих машин тертя з лінійним контактом тим, що протяжність контакту під час вимірювання сили тертя в процесі випробувань не змінюється, осове навантаження не перерозподіляється, а виміри сили тертя $F_{тр}$ – коректні. Недоліки відомих випробувальних систем і машин тертя у розробленій нами новій машині тертя усуваються завдяки тому, що конструкцією передбачено самоустановлення плоского зразка відносно центру мас контрзразка. Отже, утворений лінійний контакт має п'ять степенів вільності відносно центру обертання контрзразка, який є його центром мас. Крім цього, контрзразок і плоский зразок ізольовані від електропровідних механічних деталей установки діелектриками, що дозволяє вивчати трибоелектричні явища і процеси.

Прилад складається з приводу, вузла навантаження, системи змащення. Приводом є електродвигун постійного струму з редуктором, що дозволяє регулювати швидкість ковзання в діапазоні від 0,1 до 1 м/с. Навантаження підйомного типу забезпечує проведення досліджень при навантаженнях на контакт тертя від 0 до 3 000 Н/мм².

Основною частиною приладу є вузол тертя ковзання, розміщений у камері з середовищем. Пара тертя складається з плоского зразка й диску-контрзразка, що обертається діаметром 35 мм і шириною 3 мм. Змащення контакту відбувається зануренням його в пробу мастильного середовища об'ємом 50 мл. Крім цього, передбачено систему циркуляції.

Створена на новій машині з робочою назвою "ДЕДАЛ" фізична модель трибосистеми ковзання дає хорошу експериментальну базу для математичних моделей процесів тертя і зношення, що дозволяє вивчати триботехнічні процеси на гарантовано постійній протяжності контакту в часі залежно від різних умов тертя.

Підготовка робочої поверхні зразка і контрзразка здійснюється на притиральних плитах і відповідних верстатах діамантовою пастою до чистоти, що відповідає $R_a = 0,04-0,16$ мкм (ДСТУ 2789-73).

Апробація даного приладу проводилася з використанням спеціально розробленої нами методики експрес-випробувань ПММ. Для цього були вибрані три зразка моторних мастил, що серійно випускаються ВАТ «УкрТАТНАФТА» і які пройшли 600-годинні моторні випробування: М-63/12Г1 Держстандарт 10541-78, СЛАВОЛ М-3042У, ТУ 13932946.015-96, М-10Г2К ДСТУ 8581-78.

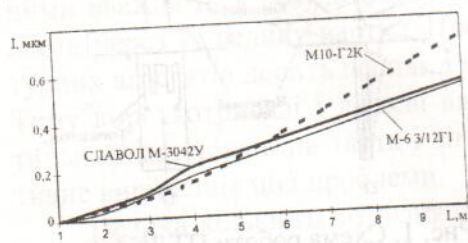


Рис. 2. Залежність зношення I від пробігу L до 3 000 м

Метою випробувань було порівняння ступеню ефективності цих мастил на новій машині за спеціально розробленою методикою. Отримані результати зіставляли з порівняльною ефективністю, отриманою 600-годинними моторними випробуваннями. Виявилось, що в процентному співвідношенні за ефективністю мастил довготривалі 600-годинні випробування з високою точністю збігалися з нашими короткочасними (5 год) експрес-випробуваннями (рис. 2).

Розроблена машина також пройшла випробування на відтворюваність результатів. Для цього використовували контрзразки і нерухомі зразки однієї партії поставки, однакові умови тертя (шлях тертя, прискорення навантаження і швидкості, початкова шорсткість поверхонь та ін.) в одному середовищі – моторне масло М-8ВВ. Розбіжність в отриманих експериментальних даних за величиною зносу становила 1–3%, що для випробувальних машин тертя є дуже високим показником коректності як машини, так і методики випробувань.

Список літератури

1. Поляков А.А. К вопросу о лабораторных испытаниях материалов узлов трения // Трение и износ. – 1990. – Т.11, №4. – С. 668–675.
2. Матвеевский Р.М. По поводу статьи А.А. Полякова "К вопросу о лабораторных испытаниях материалов узлов трения" // Трение и износ. – 1991. – Т.12, №5. – С. 712–719.

Стаття надійшла до редакції 21.11.02.

050p-48

УДК 629.736.072.8; 681.3

тренажер авіаційний
стенд динамічний тренажера
характеристика стенда

В.В. Кабанячий, старш. наук. співроб.
(Національний авіаційний університет)

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМІЧНИХ СТЕНДІВ

Наведено математичну постановку, розв'язання задачі ідентифікації й визначено характеристики динамічних стендів авіаційних тренажерів.

Якість керування динамічним стендом (ДС), синтезованим для імітації акселераційних дій на авіаційних тренажерах, значною мірою визначається ступінню адекватності математичної моделі (ММ). Найточнішим методом визначення характеристики ДС є ідентифікація [1–5].

Постановка завдання. У дискретні часи

$$t_1 = 0, t_2, \dots, t_N = T_c$$

спостереження вхідної й вихідної векторних змінних величин ДС

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\};$$

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$$

зв'язані оператором ДС

$$Y_i = A_{dc}(X_i), i = \overline{1, N},$$

де t_1, t_2, \dots, t_N – дискретні часи; N – кількість спостережень; T_c – тривалість інтервалу спостережень; X, Y – відповідно вхідна й вихідна векторні змінні величини ДС; $x_1, x_2, \dots, x_N, y_1, y_2, \dots, y_N$ – відповідно спостереження вхідної й вихідної векторних змінних величин ДС у часи $\{t_i, i = \overline{1, N}\}$; A_{dc} – оператор ДС.

Аналогічно ММ описується операторним рівнянням $Y_m = A_m(X_m)$, де Y_m, X_m – відповідно вхідна й вихідна векторні змінні величини ММ; A_m – оператор ММ.

Синтез оператора ММ і є метою ідентифікації. Складність ДС як об'єкта досліджень не дозволяє побудувати повністю ізоморфну ММ. Основою побудови ММ є спрощення й абстракція оператора ДС і відображення у зручній формі його суттєвих аспектів. Така модель є точною, однозначною відповідно до реального ДС, але являє собою наближене відображення, апроксимацію, ідеалізацію ДС і не поводить так само, як він. Необхідна точність, яка забезпечує розповсюдження результатів математичного моделювання на реальний ДС, досягається дотриманням подібності, тобто між операторами ДС і ММ існує не еквівалентність, а адекватність (подібність).

Адекватність розуміється як критерій помилки або функції втрат, що оцінює близькість операторів ДС і ММ і встановлює штраф при неправильному визначенні оператора ММ. Сту-