

УДК 621.891

В. І. КРАВЦОВ, М. В. КІНДРАЧУК

*Національний авіаційний університет, Київ***ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ**

Показано роль сертифікаційних випробувань в оцінці відповідності вузлів тертя авіаційної і космічної техніки. Наведені короткі пояснення про якість трибоелементів та їх контрольовані характеристики. На прикладі оцінювання якості покриттів вузлів тертя показано можливість побудови математичної моделі для врахування відповідних груп властивостей покриттів як компонентів показників якості. Приведено аналітичної залежності, що визначають межі практичного використання побудованої моделі, оцінювання узагальненого показника якості. Визначення чинників, що впливають на забезпечення встановлених показників якості та встановлення шляхів цілеспрямованого керування цими чинниками дозволить скоротити і оптимізувати дослідження щодо покращення якості покриттів поверхонь тертя.

Ключові слова: *тертя, сертифікація, стандартизація, якість, покриття, модель оцінювання якості.*

Вступ. Високу складність і вартість технічних систем (ТС) в авіації і космонавтиці визначає той факт, що форми й методи їх сертифікації повинні суттєво відрізнятися від традиційних підходів при сертифікації продукції. Сертифікація досить складної продукції радіо- електронної промисловості (аудіо- і відеотехніки, наприклад) не пов'язана з підтвердженням (у рамках сертифікаційних випробувань) показників надійності цієї апаратури. Для устаткування ж літальних апаратів, ракетно-космічної техніки перевірка показників надійності повинна мати першорядне значення. Роль наземного відпрацювання агрегатів літальних апаратів або ракетно-космічної техніки для підтвердження їх характеристик і необхідного рівня надійності дуже велика. Ще на початковому етапі створення ТС повинні розроблятися методики сертифікаційних випробувань агрегатів ТС і експериментально-іспитові засоби, за допомогою яких на етапі лабораторно-стендового відпрацювання вузлів буде здійснюватися заповнення значного обсягу таблиці відповідності. Для сертифікації ТС в Україні створені й продовжують створюватися спеціальні системи сертифікації.

Відповідність зразка авіаційної техніки і його компонентів вимогам сертифікаційного базису встановлюється на підставі результатів сертифікаційних робіт: розрахунків, моделювання, аналізу досвіду експлуатації зразка або його прототипів і сертифікаційних (лабораторних, стендових, наземних і льотних) випробувань зразка. Остаточне рішення про відповідність зразка авіаційної техніки вимогам до льотної придатності й охорони навколишнього середовища приймає Укравіатранс. Укравіатранс може зажадати від учасників сертифікаційних робіт надання йому будь-яких матеріалів, що підтверджують відповідність авіаційної техніки вимогам сертифікаційного (кваліфікаційного) базису і необхідні для прийняття зазначеного рішення.

Підвищення рівня надійності та збільшення ресурсу сучасних машин і механізмів безпосередньо пов'язані із забезпеченням заданих показників якості їх трибоелементів. Це вимагає безперервного вдосконалення методів контролю якості вузлів тертя, який полягає у перевірці відповідності показників якості їх конструкційних елементів встановленим вимогам. Якість трибоелементів харак-

теризується як параметрами їх поверхневого шару, так і параметрами всього об'єму деталі – геометричними (шорсткістю, хвилястістю тощо), фізико-механічними (твердістю, залишковими напруженнями тощо), структурними, хімічними та іншими. Велика кількість контрольованих характеристик якості вимагає виваженого та обґрунтованого підходу до вибору найбільш ефективних та економічних методів їх визначення [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз існуючих вітчизняних і закордонних процедур сертифікації показав, що основна відмінна риса полягає в сертифікаційній спрямованості всіх видів робіт, починаючи з етапу ескізного проектування, або в реалізації принципу «наскрізної» сертифікації [2]. Для реалізації цього принципу на етапі ескізного проектування розробляється програма сертифікації, яка охоплює всі види робіт: створення моделей; випробувальних стендів; розробку й уточнення методів лабораторних, стендових і натурних випробувань агрегатів (ДСТУ EN 1330-1:2008, ДСТУ EN 1330-2:2008, ДСТУ 2865- 94). Стан поверхні конструкційного елемента оцінюється як правило, за набором одиничних або комплексних параметрів, які оцінюють якість поверхневого шару [1].

Мета роботи та постановка задачі. Якщо розглядати, наприклад, відхилення валу і підшипника від правильної геометричної форми, викликані неточностями обробки і пружною деформацією валу і підшипника під дією навантаження, шорсткість поверхонь валу і підшипника, а також присутність металевого пилу і інших твердих часток в мастилi - все це значно зменшує несучу здатність трибоспряження, а отже і його якість. Чистота обробки поверхонь, що труться, має велике значення для всіх режимів роботи вузла. Вихідна шорсткість поверхонь, що труться, визначає тривалість припрацювання, інтенсивність зносу і зміну сили і коефіцієнта тертя в період зношування. При переході від гідродинамічного змащування до змішаного значення шорсткості поверхні ще більше зростає. При вищому класі чистоти знижується доля роботи підшипника при граничному змащуванні в загальному режимі за інших однакових умов, полегшується перехід до режиму гідродинамічного змащування.

Оцінка якості вузлів тертя авіаційної техніки – обов'язкова технологічна операція як під час виготовлення, так і під час технічного обслуговування техніки. Одним з важливих напрямків підвищення ефективності використання матеріальних і трудових ресурсів є широке застосування полімерних матеріалів і композицій на їхній основі, дослідження й удосконалювання технологічних процесів підготовки й нанесення антифрикційних зносостійких покриттів. Використання в парах тертя антифрикційних полімерних композицій дозволяє одержувати дещо інші закономірності зношування – кращі в триботехнічному відношенні. Нанесення тонкого покриття на металеві поверхні спричиняє зміну деякою мірою характеру виробництва й технологію наступного ремонту, роблячи їх більш досконалыми, ефективними, економічно вигідними. Якість покриття, нанесеного на деталі вузлів тертя, визначається в основному довговічністю роботи спряження, антифрикційними властивостями і температурною стійкістю залежно від великої кількості факторів, що стосуються як питань технологічної підготовки поверхні тертя й нанесення покриття, так і впливу експлуатаційних факторів (навантаження в контактi, швидкість ковзання тощо) і впливу зовнішнього середовища. До технологічних факторів, що впливають на працездатність пар тертя, необхідно віднести склад покриття, що наноситься, якість контактних

поверхонь тертя (вид і режими попередньої термохімічної й механічної обробки матеріалу основи й контргіла), режими нанесення покриття (перемішування суспензії перед напилюванням і сам процес нанесення покриттів), а також якість поверхні одержуваного покриття (товщина, хвилястість, погіршеність форми тощо).

Виклад основного матеріалу. Контроль за номенклатурою контрольованих властивостей в основному зводиться до оцінки візуальних показників (до 70-95 %), вимірювання геометричних параметрів і механічних властивостей (до 5-30%). Оцінка макро- і мікроструктури (металографічні дослідження), макро- і мікроегеометрії, контроль функціональних властивостей і спеціальний контроль передбачається в найменшій мірі. На входному контролі на підприємствах-виробниках техніки і технічного обслуговування найбільш розповсюдженим є контроль з'єднань (зазори, величина люфту, співвісність, рухливість), монтажної придатності (збирання, трудомісткості, необхідності підгінних робіт і інші), взаємозамінності і моменту затягування нарізних сполучень [2]. Оцінка візуальних показників, не вимагаючи спеціального устаткування, дозволяє визначити значну номенклатуру показників якості, у тому числі: стан упакування; якість маркування; комплектність виробів; відповідність вимогам безпеки; стан металевих покриттів. Оцінка геометричних показників в основному здійснюється лінійно-кутовими вимірами. Номенклатуру геометричних показників складають такі контрольовані ознаки: довжина, висота, ширина, товщина стінок пустотілих виробів; форма поверхонь, взаємне розташування поверхонь, товщина стінок пустотілих виробів; макро- і мікроегеометрія, зазори, биття і інші. Оцінка механічних властивостей визначається різноманіттям видів механічних випробувань і методів. Механічні властивості оцінюються при статичних, динамічних і технологічних випробуваннях, випробуваннях на твердість, витривалість, жароміцність, повзучість і зносостійкість. Перевірка властивостей виробів повинна бути узгоджена як нормований документ у зацікавлених сторін: виробника (постачальника), виконавця технічного обслуговування з одного боку і, з іншого боку, у споживача техніки під час купівлі, або послуг під час технічного обслуговування. Традиційно для таких потреб використовуються нормативні документи у вигляді методичних положень, навчально-технічних плакатів, наочних посібників. У провідних світових фірмах використовуються ручні довідники (hand-book).

Під час візуального оцінювання якості покриття використовують їх зразки або картотеку зразків (еталонів). Для оцінювання якості захисних покриттів необхідно обирати деталі і складові елементи, за якими можна зробити висновок про якість покриття машини в цілому. Візуально зовнішній вигляд покриття оцінюють неозброєним оком з гостротою зору 1–0,8 і нормальним кольоровідчуттям за освітленості виробу не менше 300 лк на відстані 0,3 м від об'єкта огляду. Норми штучної освітленості приймають за СНІП II-A.9.71. Зовнішній вигляд покриття необхідно контролювати за стандартними еталонами або зразками (раковини унаслідок деформації, задири, корозія тощо), форму, розмір і зовнішній вигляд яких треба погоджувати із замовником.

Перед оглядом необхідно очистити поверхню від забруднень. Руйнування (відшарування, розклеювання, зруби) оцінюють за площею зруйнованого покриття і за розмірами руйнування. За загальний бал для всього виробу приймають найгірший показник, але не менше ніж на двох деталях або складових елементах. Зміну кольору покриття та його стан, його блиску слід визначати порівнянням з контрольним зразком. Брудоутримання покриття необхідно визначати за

наявністю чи відсутністю на його поверхні механічних частинок. Руйнування металічного покриття деталей допускається не більше 2 % захищеної поверхні. На деталях типу штока гідроциліндра можливі тільки окремі точкові пошкодження захисного покриття [4]. Товщину покриття слід визначати не менше ніж у 10 точках на деталях або складових одиницях з однотипним, покриттям. За загальну товщину покриття приймають середнє значення замірів. Для оцінки товщини покриття застосовують прилади неруйнівного контролю МП-10, МТ-41НЦ та ін. Аналіз методів оцінювання характерних дефектів зварних з'єднань вказує, що для їх оцінювання достатньо використовувати методи зовнішнього огляду і вимірювання [4].

Існуючі методичні підходи до виявлення узагальненого показника якості покриття (УПЯ_n) характеризуються суттєвим обмеженням щодо урахування його властивостей. В той же час, особливо при проведенні удосконалення типу і підвищення фізико-механічних властивостей покриття, практика потребує розширення факторного простору, на якому базуються відповідні математичні моделі для оцінювання УПЯ_n. Необхідність визначення узагальнених показників якості зразків покриття для подальшого формування технічного обрису перспективних (модернізованих) виробів авіаційної техніки вказує на ключову роль методики оцінювання узагальнених показників якості та їх подальше вдосконалення. Оцінка узагальненого показника якості зразків покриття є індикатором напрямку, в рамках якого доцільно створювати (модернізувати) вузли тертя, тобто оцінка узагальненого показника якості зразка дозволяє визначати перспективу його розвитку у як об'єкту, який представляє сукупність окремих факторів.

В межах складової узагальненого показника якості УПЯ_n можна визначити факторний підпростір характеристик покриття для побудови відповідної математичної моделі (1):

$$УПЯ_n = f(j_1, j_2, j_3, \dots, j_n), \quad (1)$$

де $j_1, j_2, j_3, \dots, j_n$ – відповідні фактори що впливають на остаточний вигляд моделі для оцінювання узагальненого показника якості.

Варто зауважити, що доцільно провести процедуру зменшення обсягу факторів, якщо ретельний аналіз зразка покриття дозволяє виявити взаємну залежність деяких показників від одних й тих же технічних характеристик нижчого рівня. При наявності факторного підпростору в межах виділеної групи властивості від значень характеристик в якій буде відшукуватися вигляд залежності оцінок i -ої групи властивості у внеску в узагальнений показник якості, здійснюється збір та аналіз статистичної інформації. При цьому необхідно, щоб кількість реалізацій відомих типів покриття, на базі яких буде будуватися модель, була не менш ніж на одиницю більшою, ніж кількість факторів у складі моделі. Подальшим етапом оцінки узагальненого показника якості є використання вже відомих оцінок узагальнених показників якості для відомих зразків покриття. Наявний статистичний матеріал групується у базову вибірку, загальний обсяг якої є достатнім для побудови моделі, та у контрольну вибірку – для верифікації побудованого варіанту математичної моделі за відомими статистичними даними та оцінки її якості. У випадку, коли загальна кількість відомих реалізацій незначна та її не вистачає для складання приблизно рівних за обсягом базової та контрольної вибірки, можливо включення одних й тих же реалізацій у обидві вибірки водночас, але у контрольній вибірці обов'язково повинні бути присутніми такі, що не увійшли до складу базової вибірки [4]. Паралельно з формуванням вибі-

рок, визначаються варіанти вигляду форм моделей, які будуть розглядатися в якості претендентів на остаточні види залежностей. При цьому, необхідно звернути увагу на існуючі та обумовлені досвідом побудови математичних моделей з множини можливих варіантів відносно простих їх форм – а саме лінійної, скороченої квадратичної, повної квадратичної та мультиплікативної форми, які мають вигляд (2) :

$$УПЯ_n = \prod_{m=1}^M b_0 (x_m)^{b_m}, \quad (2)$$

де $УПЯ_n$ – узагальнений показник якості; b_0, b_m – невідомі вільні члени при відповідних факторах, внесок яких у узагальнений показник якості необхідно визначити.

Для кожної з обраних форм первинного вигляду моделі для згрупованого у базу вибірку статистичного матеріалу складається система нормальних рівнянь, розв'язок якої визначить невідомі коефіцієнти моделі. При цьому, якщо за початковий вигляд обрано вираз з включенням членів, що вносять нелінійність у модель, - необхідно провести приведення факторів у обраній формі моделі до відповідного вигляду, що дозволяє використовувати процедуру методу найменших квадратів та коректно скласти таку систему. Для остаточного визначення вигляду математичної моделі оцінки узагальненого показника якості проводиться аналіз показників узгодженості та якості отриманих варіантів, на підставі якого з них усіх визначається найкращий та здійснюється висновок щодо адекватності і працездатності побудованої моделі, або необхідності пошуку нових форм її вигляду, якщо якість моделі не задовольняє вимогам до її точності. Після визначення остаточного вигляду аналітичної залежності визначаються межі практичного використання побудованої моделі, оцінювання узагальненого показника якості. Для перевірки адекватності розробленої моделі слід провести оцінку покриттів, що не увійшли до складу базової вибірки. Достатньо гостро постає питання при обранні значень якості, що є визначальними для покриттів, які увійшли до вибірки, тому слід приділити цьому достатню увагу при формуванні вихідних даних. Слід відмити, що коли математична модель узагальненого показника якості вже існує та задовольняє за своєю якістю вимогам до розв'язку практичних задач, а також підтверджена можливість використання оцінок узагальнених показників якості покриттів, на основі яких така модель будувалася, повторну побудову моделі необхідно буде здійснювати лише у випадку суттєвих змін або в умовах суттєвих змін принципів фізичної дії складових елементів майбутніх типів покриттів [5]. За загальною моделлю узагальнений показник якості покриття може визначатися виразом (3):

$$УПЯ_n = \sum_{i=1}^N w_i \Pi_i \quad (3)$$

де Π_i – відповідні групи властивостей; w_i – ваговий внесок i -ої групи властивостей.

Таким чином, в результаті рекомендованого напрямку можна рекомендувати формування складу показників, за якими доцільно проводити оцінку якості поверхонь тертя.

Висновки. Аналіз видів контролю якості поверхонь тертя, зокрема їх покриттів, дозволяє визначитися з питомою значущістю і споживчими властивостями контрольованих показників. Визначена методична забезпеченість видами оцінювання якості вузлів тертя. Обґрунтовані принципи розробки методичної

документації для оцінювання якості вузлів тертя і, як наслідок, їх якості. Застосування методики оцінювання узагальненого показника якості, в основі якої закладено розширений факторний підпростір дає змогу більш повно описати функціональну залежність між узагальненим показником якості та визначаючими показниками. Визначення чинників, що впливають на забезпечення встановлених показників якості та встановлення шляхів цілеспрямованого керування цими чинниками дозволить скоротити і оптимізувати дослідження щодо покращення якості покриттів поверхонь тертя.

Список літератури

1. Гурей Т.А. Вибір технологічних чинників управління якістю поверхонь під час фрікційного зміцнення [<http://ena.lp.edu.ua>] / Т.А. Гурей // Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. – 2012. – С. 13-18.
2. Кузьо І.В. Принципи формування показників якості виробів машинобудування / І.В. Кузьо // Фізика і хімія твердого тіла. – Т. 3, № 4, 2002. – С. 706-709.
3. Задачи контактного взаимодействия элементов конструкций / А. Н. Подгорный, П. П. Гонтаровский, Б. Н. Киркач и др. – К. : Наукова думка, 1989. – 232 с.
4. Колесников Ю. В. Механика контактного разрушения / Ю. В. Колесников, Е. М. Морозов. – М. : Наука, 1988. – 224 с.
5. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения / [И. И. Беркович, Д. Г. Громаковский; под ред. Д. Г. Громаковского]. – Самара : Изд-во СГТУ, 2000. – 268 с.

Стаття надійшла до редакції 02.03.2018.

Кравцов Віктор Іванович - доктор техн. наук, професор, професор кафедри машинознавства Національного авіаційного університету. Напрямок наукової діяльності - нелінійна механіка у прикладних задачах машинознавства.

Кіндрачук Мирослав Васильович - доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, пр. Комарова, 1, 03058, E-mail: nau12@ukr.net. Напрямок наукової діяльності - трибоматеріалознавство.

V. I. KRAVTSOV, M. V. KINDRATSUK

EVALUATION OF THE QUALITY OF FRICTION SURFACES

The role of certification tests in the assessment of the compliance of friction units of aviation and space technology is shown. Brief explanations are given on the explanation of the quality of triboelements and their controlled characteristics. On an example of evaluating the quality of coatings of friction units, the possibility of constructing a mathematical model for taking into account the corresponding groups of coating properties as components of quality indicators is shown. Analysis of types of quality control of friction surfaces, in particular their coatings, allows you to determine the specific significance and consumer properties of the monitored indicators. The methodical supply of the types of evaluation of the quality of the friction units is determined. Analytical dependencies that define the boundaries of the practical use of the constructed model, the estimation of the generalized quality index are presented. Identification of factors that affect the provision of established quality indicators and the establishment of ways to target these factors will reduce and optimize research on improving the quality of friction surfaces.

Keywords: friction, certification, standardization, quality, coating, quality evaluation model.

References

1. Gurej T.A. Vibir tekhnologichnih chinnikiv upravlinnya yakistyu poverhon' pid chas frikcijnogo zmichennya [<http://ena.lp.edu.ua>] / T.A. Gurej // Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. – 2012. –S. 13-18.
2. Kuz'o I.V. Principi formuvannya pokaznikov yakosti virobiv mashinobuduvannya / I.V. Kuz'o // Fizika i himiya tverdogo tila. – T. 3, № 4,2002. – S. 706-709.
3. Zadachi kontaktного vzaimodejstviya ehlementov konstrukcij / A. N. Podgornyj, P. P. Gontarovskij, B. N. Kirkach i dr. – K. : Naukova dumka, 1989. – 232 s.
4. Kolesnikov YU. V. Mekhanika kontaktного razrusheniya / YU. V. Kolesnikov, E. M. Morozov. – M. : Nauka, 1988. – 224 s.
5. Tribologiya. Fizicheskie osnovy, mekhanika i tekhnicheskie prilozheniya / [I. I. Berkovich, D. G. Gromakovskij; pod red. D. G. Gromakovskogo]. – Samara : Izd-vo SGTU, 2000. – 268 s.