

напруженість машин. Як вказують експериментальні дослідження, параметри шорсткості поверхонь тертя є застарілими і не відбивають трибологічної суті їхнього стану. Так, при шорсткості робочих поверхонь тертя з $Ra = 0,5$ мкм, що досягається різними технологічними прийомами, ефективність трибосистеми може бути або підвищена, або зменшена. Наприклад, при первинній обробці поверхонь тертя за технологією «Ш» сила тертя ковзання на 40 %, теплоутворення від тертя на 15–25 °С та інтенсивність зношення у п'ять разів менші, ніж при первинній обробці поверхонь тертя за технологією «К», хоча параметр шорсткості Ra (1) у першому та другому випадках дорівнював 0,5 мкм і не виходив за межі похибки вимірювань на профілометрі «Калібр М-283».

Завдяки розробленому профілографу-профілометру нам вдалося розкрити принципову різницю між конфігураціями поверхонь, утворених за технологіями «Ш» і «К» через можливість побудови 3-D зображення поверхонь.

Отже, шорсткість робочих поверхонь і їхня конфігурація у вузлах тертя є дуже важливими, а іноді – вирішальними параметрами, що впливають на ефективність трибосистеми, яку у сучасному виробництві необхідно створювати шляхом новітніх технологій із залученням новітніх методів та приладів контролю, яким може бути профілограф-профілометр ЛСПП-03.

Список літератури

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1989.
2. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977.

Стаття надійшла до редакції 30.03.02.

УДК 629.735.083.02:621.7.024:658.345

Г.М. Франчук, д-р техн. наук, проф.,
А.М. Овсянкін, канд. техн. наук, доц.,
А.В. Попов, інж.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЕПРИДАТНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ШАСІ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ З ПІДВИЩЕНОЮ ЧУТЛИВІСТЮ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Розглянуто спеціальні системи для неруйнівного контролю внутрішніх поверхонь об'єктів. Запропоновано типи і метод розрахунку форсунок для неруйнівного контролю. Обґрунтовано універсальність системи для контролю об'єктів різними методами неруйнівного контролю.

Проблема забезпечення контролепридатності (КП) конструкцій повітряного корабля (ПК) вирішуються на етапах проектування, ресурсних та льотних випробувань експлуатації [1]. Забезпечення КП здійснюється на основі виконання вимог:

– пристосування деталей і конструкцій до оптимальних методів неруйнівного контролю (НК);

– мінімальної трудомісткості контролю та демонтажних робіт;

– урахування розмірів, розташування люків та оглядових отворів у зоні контролю.

Визначальним параметром контролю елементів конструкції є розміри пошкодження. Для більшості ресурсовизначальних елементів характерним пошкодженням є тріщина утомленості, яка може виникнути:

– у критичних місцях силових елементів;

– у місцях корозійних та механічних пошкоджень.

Критичні місця елементів визначаються на етапі проектування на основі розрахунків і аналізу пошкоджень через утомленість аналогічних конструкцій під час випробувань та в експлуатації.

Виробничі дефекти навіть дуже малих розмірів у різних зонах конструкцій можуть сприяти швидкому розвитку дефектів в експлуатації.

Конструкції елементів ПК вважаються контролепридатними, якщо забезпечені умови для застосування НК із заданою чутливістю.

У конструкціях сучасних ПК використовується широкий асортимент матеріалів, що відповідають вимогам до міцності і масових характеристик. До таких матеріалів відносять, зокрема, титанові сплави, які використовують при виготовленні конструктивних елементів шасі. Виготовлення таких елементів пов'язане з виконанням цілого ряду технологічних операцій – зварювання, механічної обробки, термообробки. З урахуванням підвищеної чутливості титанових сплавів до концентрації напруг кожна з названих операцій у певних умовах може призвести до появи дефекту, який у подальшому може підвищити концентрацію напруг [2]. Такими дефектами можуть бути поверхневі несучільності з розкриттям менше 1 мкм, що виникають як на зовнішніх, так і на внутрішніх поверхнях конструкцій. Зі всіх використовуваних методів НК для виявлення дефектів з такою чутливістю найбільше застосування знаходить капілярний контроль (люмінесцентний або кольоровий методи) відповідно до технологій експлуатації та поточного ремонту елементів ПК.

При використанні відповідного обладнання ці технології забезпечують надійний контроль зовнішніх поверхонь, але не можуть задовольнити вимоги до контролю внутрішніх протяжних поверхонь, наприклад, циліндричних з перехідними зонами. Такі поверхні характерні, зокрема, для траверс шасі, виготовлених зі сплаву ВТ-22, внутрішній діаметр яких складає 65...105 мм, а довжина – 650...950 мм.

Для виконання контролю в цьому випадку необхідно використовувати спеціальне обладнання і технологічні режими для забезпечення:

- якісної очистки та сушіння поверхні;
- обробки індикаторним пенетрантом і видалення його надлишку;
- обробки, що проявляє речовиною;
- аналізу індикацій на поверхні;
- видалення дефектоскопічних матеріалів після контролю.

Якщо для візуально-оптичного аналізу поверхні можна використати відомі ендоскопічні системи ТЛА, ЛПШ-474, ПДК-60, Olympus, то для обробки дефектоскопічними матеріалами із забезпеченням підвищеної чутливості контролю необхідна розробка спеціальних систем, які повинні відповідати вимогам:

- забезпечення ефективного просочення пенетрантом;
- регулювання швидкості робочих потоків;
- непошкодження індикаторних шарів до проведення аналізу результатів контролю.

Подібні системи використовують для нанесення покриттів на внутрішню поверхню труб. Однак застосування відомих конструкцій не забезпечує рівномірності обробки, непошкодженості нанесеного покриття та виконання інших вимог до капілярного контролю.

Авторами запропонована система обробки внутрішніх поверхонь об'єктів, наприклад, на основі струминних пневматичних форсунок, які встановлюються на передній частині жорсткої штанги з повітряними та рідинними каналами, що фіксується відносно осі об'єкту (рис. 1).

Умовам регулювання розмірів крапель струмини, її швидкості і рівномірної обробки по периметру, найбільше відповідають пневматичні форсунки з омиванням струмини рідини потоком повітря (рис. 2).

Радіальне спрямування струмини в таких форсунках забезпечується за рахунок тарілки або deflectора. Швидкість струмини визначається тиском повітря, а розміри крапель (що важливо при обробці об'єкта індикаторним пенетрантом) залежать від співвідношення витрат газу (повітря) до витрат рідини (рис. 3).

Для групи пневматичних форсунок з близьким характером взаємодії фазових складових використовують єдину методику їхнього розрахунку. Наприклад, для найдослідженіших фор-

сунок із зовнішнім змішуванням рідини і газу розрахунок може бути виконаний у такій послідовності [3].

Газодинамічні параметри повітря у форсунці визначають за формулою

$$q(\lambda) = \lambda \left(1 - \frac{K-1}{K+1} \lambda^2 \right)^{1/(k+1)} \left(\frac{K+1}{2} \right)^{1/(k-1)}$$

Наведена швидкість λ за відомими значеннями тиску газу на вході і виході з форсунки складе [4]:

$$П(\lambda) = P_{\text{вх}} / P_{\text{вх}}^*$$

Секундні масові витрати рідини m_p у довільному перерізі обчислюють за формулою:

$$m_p = \frac{\varphi}{1-\varphi} \varepsilon \mu_p F q(\lambda) \frac{P_{\text{вх}}^*}{\sqrt{T_{\text{вх}}^*}}, \quad (1)$$

де φ – відносні витрати рідини через форсунку:

$$\varphi = \frac{m_p}{m_{\text{см}} + m_p};$$

m_p , $m_{\text{см}}$ – відповідно витрати рідини і суміші; μ_p – коефіцієнт витрат рідини; F – площа каналів на вході до форсунки; $P_{\text{вх}}^*$, $T_{\text{вх}}^*$ – відповідно тиск і температура загальмованого потоку на вході до форсунки.

За допомогою виразу (1) знаходять коефіцієнт заповнення ε :

$$\varepsilon = 1 - c \frac{\pi}{4} \sqrt[3]{(b_1 \varepsilon)^2} \left(1 - \frac{W_k}{W_{\text{см}}} \right),$$

$$\text{де } b_1 = \frac{80}{\pi} F q(\lambda) \frac{M_{\Gamma} P_{\text{вх}}^*}{\rho_p W_k \left(\frac{1}{\varphi} - 1 \right) \sqrt{T_{\text{вх}}^*}}$$

Для спрощення, прийнявши

$$A = \frac{\pi}{4} c \left(1 - \frac{W_k}{W_{\text{см}}} \right) \sqrt[3]{b_1^2},$$

одержують

$$A = \frac{1-\varepsilon}{\sqrt[3]{\varepsilon^2}}. \quad (2)$$

Залежність коефіцієнта заповнення ε від геометричної характеристики форсунки A , побудована за виразом (2) (рис. 4).

Витрати газу обчислюють за формулою

$$m_{\Gamma} = f \varepsilon \mu_{\Gamma} F q(\lambda) \frac{P_{\text{вх}}^*}{\sqrt{T_{\text{вх}}^*}},$$

де μ_{Γ} – коефіцієнт витрат газу.

Радіальну складову швидкості рідини визначають за допомогою виразу [4]

$$W_{\Gamma} = 4,47 \varphi \sin Q \sqrt{\Delta P_p / \rho_p},$$

де Q – кут між віссю форсунки і твірною дефлектора; φ – кут конусності дефлектора.

Швидкість газу в суміші з рідиною у вихідному перерізі форсунки визначається за формулою

$$W_{\text{см}} = 18,3 \lambda \sqrt{T_{\text{вх}}^*}.$$

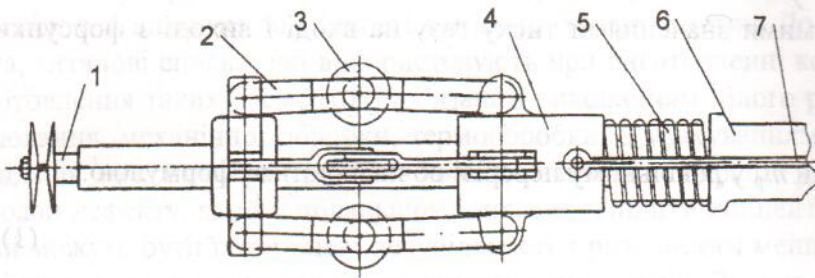


Рис. 1. Струминна форсунка з фіксацією відносно осі деталі:
1 – форсунка; 2 – важіль; 3 – шарнір; 4 – рухома частина корпусу;
5 – пружина; 6 – нерухома частина; 7 – тяга

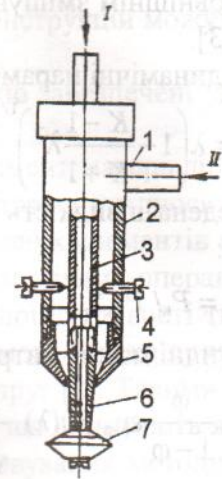


Рис. 2. Схема пневматичної форсунки для розпилювання рідин:

I – повітря; II – рідина;
1 – штуцер для подачі рідини; 2 – корпус; 3 – трубка; 4 – гвинт; 5 – наконечник; 6 – втулка з перфорованими стінками; 7 – дефлектор

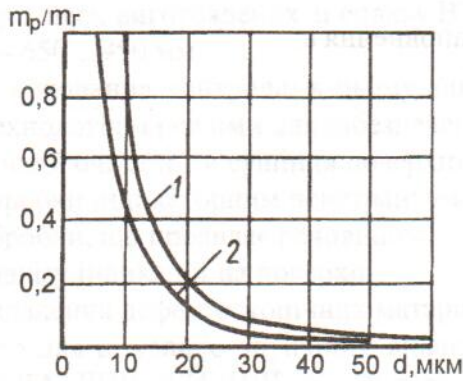


Рис. 3. Залежність розмірів крапель від співвідношення витрат повітря та рідини для різних діаметрів сопла:
1 – $d_c = 6,35$ мм; 2 – $d_c = 3,18$

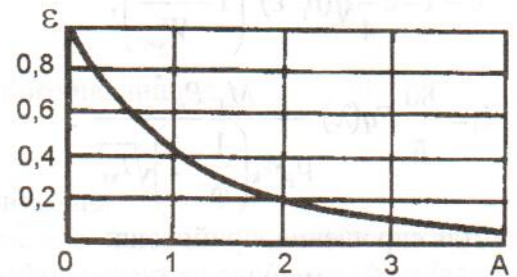


Рис. 4. Залежність коефіцієнта заповнення сопла від геометричної характеристики форсунки

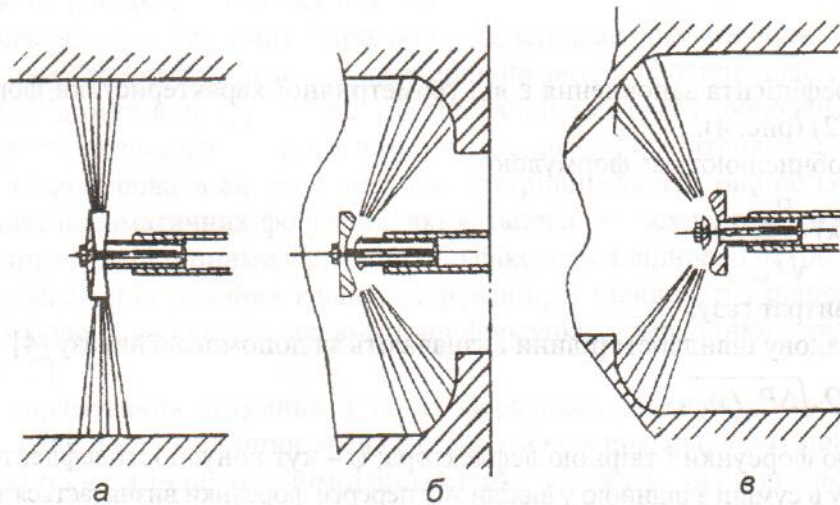


Рис. 5. Варіанти форсунок для обробки внутрішніх поверхонь:
а – циліндричних; б – зворотних перехідних; в – прямих перехідних

Густину суміші у форсунці обчислюють за формулою

$$P_{\text{см}} = 34,8\epsilon q(\lambda) \frac{P_{\text{вх}}}{K_{\text{см}} T_{\text{вх}}}$$

Секундні масові витрати газу без подачі рідини визначаються за допомогою залежності

$$m_{\text{г}} = f\mu_{\text{г}} F q(\lambda) \frac{P_{\text{вх}}}{\sqrt{T_{\text{вх}}}}$$

де коефіцієнт витрат газу $\mu_{\text{г}}$ дорівнює 0,95.

Витрати рідини обчислюють зі співвідношення:

$$m_{\text{р}} = \frac{\phi}{1-\phi} m_{\text{см}}$$

За відомим рівнянням витрат визначають площу поперечного перерізу каналів, а потім діаметр цих каналів.

За співвідношенням витрат рідини і газу знаходять медіанний діаметр крапель, що утворюються при розпилюванні рідини пневматичними форсунками (див. рис. 3).

Змінюючи форму тарілки або дефлектора форсунки, можна змінювати спрямованість струмени, що необхідно при обробці перехідних перерізів об'єктів (рис. 5).

Використання таких систем найдоцільніше на етапі приймального контролю в умовах виробництва, коли вирішується задача недопуску дефектної продукції до експлуатації.

Дефект, що з'являється в таких конструкціях на етапі експлуатації, найчастіше має дещо більші розміри (1...2 мкм і більше).

Несуцільності з такими розмірами можуть виявлятися іншими методами, наприклад, вихорострумовим. Для сканування внутрішньої поверхні об'єкту вихорострумовим перетворювачем може бути використана жорстка система з фіксацією перетворювача відносно осі та поверхні об'єкта (див. рис. 1).

Жорстка система транспортування робочих матеріалів і перетворювачів до зони контролю може бути використана і для ендоскопічного аналізу з розміщенням усередині трубчастої штанги ендоскопа, бороскопа або іншого оптичного пристрою.

Висновок. Для НК внутрішніх поверхонь об'єктів обґрунтовано використання спеціальних систем, для обробки внутрішніх поверхонь розроблено принципіальну схему системи, для системи контролю запропоновано типи і метод розрахунку форсунок, для контролю різними методами НК проаналізовано універсальність системи.

Список літератури

1. ОСТ 1 02611-87. Контролепригодность планера самолета. Общие требования. – Введ. 01.07.88.
2. Дроздовский Б.А. Трещиностойкость титановых сплавов. – М.: Металлургия, 1983. – 192 с.
3. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Распылители жидкостей. – М.: Химия, 1979. – 216 с.
4. А. с. СССР. Устройство для нанесения покрытий на внутреннюю поверхность труб. – № 584904. Оpubл. 25.12.77. Бюл. № 47.

Стаття надійшла до редакції 17.04.02.