

Крім того, помилка відліку часу практично не впливає на сумарну СКВ пошкодження, Тому з кінцевого алгоритму розрахунку може бути виключено обчислення величини  $S_{\mu}^t$  (залежність (13)).

### Список літератури

1. *Ветров А.Н., Кучер А.Г.* Вероятностные методы оценки остаточного ресурса конструктивных элементов авиационных ГТД в эксплуатации // Проблемы прочности. – 1989. – № 8. – С. 70–76.
2. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
3. *Двигатель ПС–90А.* Руковод. по техн. эксплуатации: В 3 кн. – Пермь: ПНПО Авиадвигатель, 1990.
4. *Ветров А.Н., Кучер А.Г., Ковешников Н.А.* Вероятностно-параметрические модели длительной прочности металлических материалов АГТД // Проблемы прочности. – 1989. – № 4. – С. 14–17.
5. *Якушенко О.С.* Автоматизированный мониторинг залишкового ресурсу авіаційних ГТД в експлуатації за критерієм пошкодження робочих лопаток турбіни: Автореф. дис. канд. техн. наук. – К.: КМУЦА, 1999. – 17 с.
6. *Соппротивление* материалов деформированию и разрушению: Справочник / Под ред. В.Т. Трошенко. – К.: Наук. думка. – 1994. – Т. 2. – 701 с.

Стаття надійшла до редакції 06.07.01.

УДК 621.981+621.762

ББК 058 - 058.051.21

Є.Ю. Більчук, І.М. Новіков

### ЗНОСОСТІЙКІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ПОШКОДЖЕННЯМИ

*Запропоновано результати досліджень з розроблення і випробування композиційних порошків та матеріалів без використання дефіцитних компонентів. Наведено алгоритм вирішення цих питань, залежних від окремих аргументів. Обґрунтовано теоретичні положення щодо збільшення опору зносу покриттів з позиції структурно-енергетичної теорії тертя.*

Сучасний літальний апарат – це складний інженерний комплекс, обладнаний потужним силовим устаткуванням, злітно-посадковою механізацією, працездатність якого залежить від безвідмовного функціонування рухомих спряжень з різними за призначенням парами тертя. У процесі експлуатації внаслідок дії високих навантажень, швидкостей пересування, температур, впливу агресивних середовищ, вібрації, рухомі спряження зазнають природного зносу, це призводить до руйнування або схоплення, невідворотних відмов деталей та агрегатів, що потребує їх передчасного зняття з експлуатації. За багатостадійністю конструктивних форм і функціональних особливостей вузлів тертя вимоги зносостійкості є загальним параметром, який визначає їх безвідмовність та довговічність.

Явище зносу, що обмежує термін експлуатації, виникає і розвивається в поверхневих прошарках. Найважливішими факторами, які визначають експлуатаційну надійність і термін служби деталей, в умовах тертя, є властивості матеріалів та їх робочих поверхонь, здатність до відновлення зношених поверхонь та повернення їм потрібних експлуатаційних властивостей. Це є важливим завданням сучасного авіаремонтного виробництва. На теперішній час реалізуються різні технології поверхневого зміцнення. Але з існуючих технологій значний практичний інтерес викликає метод детонаційного напилювання. Наприклад, у США, за цим методом зміцнюють і відновлюють понад 63% вузлів авіаційної техніки [1].

В Україні впровадження такої технології стримується через відсутність необхідного асортименту порошкових матеріалів для нанесення покриттів. Використовувані композиції на основі нікелю містять велику кількість таких дефіцитних та дорогокоштуючих компонентів, як вольфрам, кобальт, ванадій, молібден та інші, що значно знижує економічну ефекти-

вність їх застосування. Тому при виборі матеріалів покриття, зважаючи на реальні умови експлуатації, доводиться враховувати техніко-економічні обмеження, які обумовлені вимогами виробництва, зокрема, витратами дефіцитних та дорогокоштуючих компонентів [2].

Структурно-фазовий склад поверхневого прошарку, а також регенерація вторинних структур з визначеними властивостями істотно залежить від хімічного складу початкового матеріалу. Початковою сировиною для композиційних покриттів був запропонований порошок заліза. Підвищення зносостійкості покриттів досягалося за рахунок спрямованого додаткового введення таких легувальних домішок: бору – приблизно 6%, алюмінію – 10%, хрому – 1,6%, вуглецю 1% (за масою). Легувальні домішки значною мірою обумовлюють кінетику і весь комплекс властивостей вторинних структур. Варіацією складу композиційного порошку в напилюваному покритті можна впливати на рівень активації структурного формування вторинних структур з наперед визначеними властивостями і в результаті, забезпечити мінімальні трибологічні показники.

Таким чином, керуючи процесом отримання композиційних порошоків, вдалося не тільки забезпечити бажаний хімічний склад, але й отримати при напилюванні задану структуру, яка оптимізує комплекс властивостей, обумовлених у визначеному діапазоні параметрів тертя. Стійке проявлення принципу структурної пристосованості триботехнічних можливостей композиційних покриттів в умовах відсутності схоплення оцінювали, при відсутності змащування та торцевому терті модельних зразків на випробувальній установці типу УМТ.

При дослідженні процесів тертя і зношування покриттів з композиційних порошоків для порівняння в подібних умовах за аналогічними програмами використовувалися зразки з покриттям з вольфрамового стопу ВК15 та з гартованих сталей 45, ІЗОХГСА. Товщина покриттів після доведення складала 0,20 – 0,25 мм, шорсткість поверхні  $Ra = 0,63 - 0,32$ . Вивчення фізико-хімічних властивостей покриття проводилося мікрофазовим аналізом за допомогою електронного сканувального мікроскопа "Camscan".

Вивчення зон локалізації структурних складових і кількісний хімічний аналіз здійснювали методом якісного та подальшого кількісного рентгенівського дисперсійного енергетичного аналізу на установці "Link 860".

У процесі дослідження мікроструктури композиційного покриття системи Fe-Cr-Al-B було встановлено, що при взаємодії заліза з алюмінієм у присутності хрому утворюються алюмінід заліза легований хромом (Fe,Cr)Al. Світлі зони – це твердий розчин компонентів покриття на основі сполуки FeAl і структурно вільного карбіду хрому. Інтерметалідні дисперсні ділянки являють собою сполуки на основі  $Fe_3Al$ ,  $CrB_2$ . Наявність у сполуці FeAl оксидів алюмінію  $\alpha-Al_2O_3$  у вигляді дрібно дисперсійних кристалічних вкраплень обумовлено імовірно його окислюванням у процесі екзотермічної реакції при напилюванні. Закономірності кривих розподілення хімічних елементів, які входять у склад композиційного покриття на основі заліза, добре корелює із характером розподілення структурних складових, встановлених за відповідними знімками у рентгенівському характеристичному випромінюванні.

Аналіз результатів дослідження впливу швидкості ковзання на інтенсивність зношування з коефіцієнтом тертя покриття показав, що максимальний опір зносу притаманний покриттям системи Fe-Cr-Al-B-C, на всьому діапазоні швидкості ковзання, спостерігається механікохімічне зношування.

Стан поверхневого прошарку, в якому проходять процеси активування при терті, що впливають на інтенсивність окислювання та схоплення, вивчався методом електрографічного аналізу на установці ЕМР-100. Електронограма фіксування зміни тонкої структури у процесі тертя показала, що в найтоншому поверхневому прошарку покриття здійснюється диспергування з подрібненням кристалітів. Це доведено наявністю максимумів інтенсивності на дифузійних ореолах.

Високий опір зносу досліджених покриттів, значною мірою, обумовлюється властивостями і характером поверхневих оксидних плівок, які за даними електрографічного аналізу

вляють собою складний, важко активуючий комплекс структур у вигляді сполук типу шпінелей, на основі оксидів металів, які входять до складу покриття, та борного ангідриду.

Механізм утворення вторинних структур даного типу обумовлений пластичною деформацією і, на думку авторів, виявляється як процес аморфізації і механохімічного легування з диспергуванням матеріалів поверхонь, подрібнення дисперсоїду з частинами оксидів інгерметалідів і трансформації цих ультрадисперсних фаз під дією локальних тривалих температур і тисків до нової чотирифазної зносостійкої структури, яка визначає високі триботехнічні характеристики покриттів системи Fe-Cr-AL-B-C.

Таким чином, дослідженому покриттю характерні найменші значення параметрів тертя і зношування. На всьому діапазоні швидкостей ковзання (до 1,0 м/с при  $P = 5$  МПа) спостерігається встановлений режим нормального механохімічного зношування, який характеризується малими значеннями зносу і низьким коефіцієнтом тертя. Зносостійкість даних покриттів у 15–20 разів перевищує зносостійкість гартованих сталей.

Застосування вказаних детонаційних покриттів, на які отримано авторське свідоцтво, сприяє: підвищенню якості та довговічності механізмів авіаційної техніки, зменшенню витрат на ремонтні роботи запасних частин і, як результат, значної економії матеріалів.

### Список літератури

1. Новиков И.М., Бурлаков В.И., Захаров В.И. Модель формирования параметрических отказов изделий АТ и ее построение по данным эксплуатации // Проблемы совершенствования системы технического обслуживания и ремонта: Сб. науч. тр. – К.: КИИГА, 1989. – С. 15 – 18.
2. *Catalog Handbook of Fine Chemicals*. Aldrich Chemical Company, Inc., USA, 1992. – P.882.

Стаття надійшла до редакції 07.09.01.

УДК 629.735.064.3-33

629.735.064.3-33 365.22-048.9-024

В.С. Бутько, Є.М. Сябряк

### ПОРІВНЯННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛЯТОРІВ ІЗ ЗРІВНОВАЖЕНИМИ І НЕЗРІВНОВАЖЕНИМИ РОБОЧИМИ ПЛОЩАМИ В УМОВАХ ЇХНЬОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*Розглянуто статичні характеристики регуляторів тиску непрямої дії, отримано графіки  $P_1=f(Q)$ ,  $P_1=f(Q_1)$ ,  $P_1=f(Q_2)$  при сталому режимі роботи регуляторів. На підставі одержаних графіків зроблені практичні висновки про доцільність експлуатації регуляторів розглянутих схем у гідросистемах.*

В регуляторі із зрівноваженими площами тиск у міжклапанній порожнині і тиск у напірній порожнині діють на рівні площі затвора основного клапана. В регуляторі з незрівноваженими площами тиск у міжклапанній порожнині діє на більшу площу затвора основного клапана, ніж тиск у напірній порожнині. У зв'язку з цим при однакових тисках у міжклапанній і напірній порожнинах клапан буде притискатися до сідла (рис. 1)

Для одержання статичних характеристик двокаскадного регулятора із зрівноваженими площами складаємо рівняння сил і витрат у сталому режимі:

– рівняння сил, що діють на пілотний клапан:

$$c_2(x_2 + h_2) = (p_2 - p_3) \frac{\pi d^2}{4};$$

– рівняння витрати через пілотний клапан:

$$Q_3 = \mu \pi d_3 x_2 \sin \alpha_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_2 - p_3)};$$