

УДК 620.178.16 (045)

¹В.О. Краля, канд. техн. наук²О.Г. Моляр, канд. техн. наук³А.М. Хімко⁴Д.О. Пугачевський

ВИБІР ГАЗОТЕРМІЧНОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ МОНОРЕЙОК МЕХАНІЗАЦІЇ КРИЛА ЛІТАКІВ

^{1,3,4}НАУ, кафедра технологій відновлення авіаційної техніки

E-mail: witlab@nau.edu.ua

²Інститут металофізики НАН України

Розглянуто основні триботехнічні характеристики плазмових газотермічних покриттів для відновлення монорейок випускання-прибирання закрилків і передкрилків сучасних літаків, виконаних із титанового сплаву BT-22. Визначено параметри фретингостійкості та адгезійної міцності покриттів. Установлено, що оптимальне покриття – це покриття молибдену. Результати особливо актуальні для сучасної авіаційної промисловості, оскільки на сьогодні немає єдиної думки щодо відновлення цього вузла. Відновлення монорейок механізації крила методом плазмового напилювання дає значний економічний ефект і економію матеріалу.

The main tribotechnical characteristics of plasm gasthermal retraction – coatings for restoration of monorail of alloy BT-22 for extension of flaps and slats of modern aircraft are analysed. The parameters of fretting-resistance and adhesive strength of coatings are determined. It is established that the optimal coating is a coating of molybdenum. The results are especially actual for modern aviation industry, as for nowadays there is no common opinion about the given assembly restoration. The monorail recovery of high lift devices by means of plasm covering gives significant economic effect and economy of material.

Постановка проблеми

У сучасному машинобудуванні та авіабудуванні все ширше застосовують титанові сплави, особливо сплав BT-22, завдяки його міцності і питомій вазі [1].

Однак титанові сплави і, зокрема, сплав BT-22 мають не дуже добрі зносостійкі характеристики [2].

В авіаційному виробництві зі сплаву BT-22 виготовляють одні з самих відповідальних деталей:

- монорейки випускання-прибирання закрилків;
- деталі шасі;
- диски турбін двигунів;
- вхідні лопатки газотурбінних двигунів.

До найбільш масових і дорогих деталей сучасних пасажирських і транспортних літаків належать рейки механізації крила.

У процесі експлуатації на бігових доріжках рейок у місцях зупинки роликів утворюються зони спрацювання, глибина яких вже до першого ремонту може перевищувати встановлену граничну величину зносу, у зв'язку з чим виникає необхідність заміни рейки.

Заміна пошкоджених рейок під час ремонту викликає великі матеріальні витрати на закупівлю запасних частин.

Спрацювання від контактної взаємодії з роликами кареток – основний дефект, що визначає подальшу експлуатаційну придатність рейок механізації крила під час ремонту.

Аналіз місць розташування, величини і характеру пошкоджень дозволяє зробити висновок, що найбільш інтенсивне зношування рейки відбувається при злітному положенні закрилка під час руління і прогону двигунів. У цих умовах, очевидно, спостерігається найбільш інтенсивне вібраційне навантаження, яке викликає проковзування і динамічну взаємодію контактуючих поверхонь у сполученні рейка-ролик.

Спрацювання утворюється в місцях контакту, що відповідають крайнім положенням роликів при прибраному-випущеному положенні закрилків і передкрилків. Дослідження топографії пошкодженої поверхні монорейок показує, що спрацювання утворюється в результаті відносного циклічного проковзування між роликами і робочою поверхнею рейки і за своїми ознаками класифікується як фретинг-корозія [3].

Аналіз досліджень і публікацій

Дослідження методів відновлення монорейок випускання-прибирання закрилків-передкрилків крила знайшло розповсюдження в працях [4–6].

У праці [4] розглядається можливість відновлення монорейки газотермічними покриттями методом детонаційного напилювання. Покриття, нанесені цим методом, мають добру адгезію і малу пористість [7]. Також було досліджено фретингостійкість і вплив електродного потенціалу покриттів та титанового сплаву BT-22 в 3%-му розчині NaCl відносно до хлоросрібного електрода.

Істотним недоліком є нанесення визначеної товщини покриттів, недостатньої для відновлення глибоких пошкоджень монорейок.

Аналіз умов праці та характеру пошкоджень бігових доріжок рейок досліджували автори праць [5]. Виходячи з установленого характеру руйнування для відновлення монорейок, автори використовували технологію імпульсно-плазмового напилення, яке показало позитивні результати.

Автори встановили, що товщина напиленого шару з урахуванням тенденції до зниження властивостей міцності покриття не повинна перевищувати 0,5 мм.

У цій роботі досліджено основні триботехнічні властивості газотермічних покриттів, які нанесені плазмовим способом на титановий сплав ВТ-22, а саме фретингостійкість і адгезійна міцність.

Мета роботи – дослідження триботехнічних характеристик газотермічних покриттів, які нанесені плазмовим методом, і вибір оптимального покриття для ремонту монорейок.

Фретингостійкість плазмових газотермічних покриттів

Випробування на фретинг-корозію проводилися на напівнатурній вібраційній установці [5]. На установці реалізується схема контакту зразків “шар–площина”, що ідентична парі тертя монорейка–ролик.

Принцип роботи машини тертя полягає у виникненні збуджуючих коливань шляхом зміни кутової швидкості неврівноваженого дисбалансируючого вантажу. Зразки розміщуються на консольно закріплених пружинах, виконаних у вигляді ресор та притискаються один до одного поверхнями. На вібраційній установці, що імітує роботу вузла тертя, було реалізовано контакт: удар із проковзуванням.

Частота вібрації становила 30–35 Гц, що відповідало 1900–2100 об/хв ротора установки, який навантажує. База випробувань дорівнювала 325 тис. циклів. Величина попереднього натягу становила 30 Н. Вага дисбалансируючого вантажу, який розташовувався на відстані 35 мм від вісі обертання, дорівнювала 17,5 г, амплітуда наприкінці експерименту – 200 мкм.

Кількість випробувань складала по три на один експеримент. За критерій зносостійкості покриття брали максимальну середню глибину пошкодження покриття.

Зразки для напівнатурної вібраційної установки являють собою шестигранник із плоскими робочими поверхнями, що виготовлялися з того самого матеріалу, що і монорейка, – титанового сплаву ВТ-22, загартованого за другим режимом термообробки [8].

Як рухливий контрзразок використовували кільця шириною 5 мм, вирізані з роликів каретки. Матеріал контрзразка – 95Х18 із твердістю 50...55 НRC.

Покриття наносили на плазмовій установці УПУ-3Д.

Перед нанесенням існували підготовчі операції поверхні:

- шліфування;
- обробка піском.

Товщина покриттів, що наносили, відповідає 600 мкм, після чого проводили механічну обробку до величини 500 мкм, включаючи підшар.

Дослідження фретингостійкості проводили на чотирьох газотермічних покриттях – ВКНА, ПГ10Н-01, ПС12НВК-01, молібден – та визначали зносостійкість чистого титанового сплаву ВТ-22. Покриття вибирали з розрахунку найбільш використовуваних в авіаційній промисловості для відновлення деталей літальних апаратів та авіаційних двигунів.

Гістограму зміни лінійного зносу плазмових покриттів при динамічному віброконтактному навантаженні зображено на рис. 1.

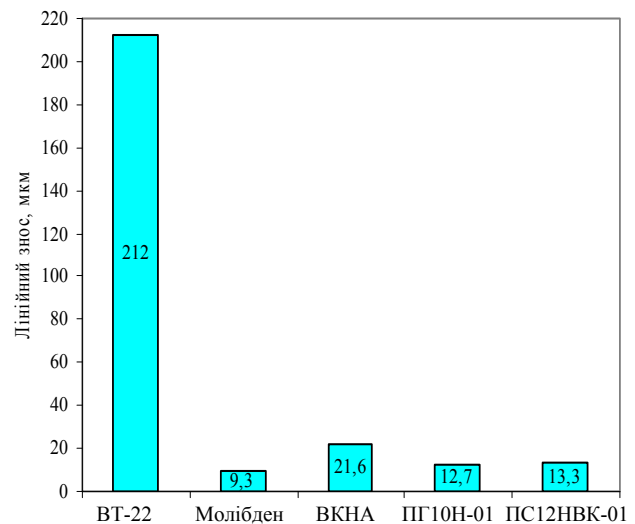


Рис. 1. Зносостійкість плазмових газотермічних покриттів при випробуваннях на напівнатурній вібраційній установці в умовах фретинг-корозії

Найбільш фретингостійке – покриття молібдену, яке знижує знос у 20 разів порівняно з чистим титановим сплавом ВТ-22. Покриття ПГ10Н-01 і ПС12НВК-01 показали практично однакові результати зі зносостійкості.

Знос покриття ВКНА майже в два рази перевищує знос покриттів молібдену, ПГ10Н-01 і ПС12НВК-01. Поверхні плазмових покриттів і сплаву ВТ-22 після проведення випробувань з віброконтактного динамічного навантаження зображено на рис. 2.

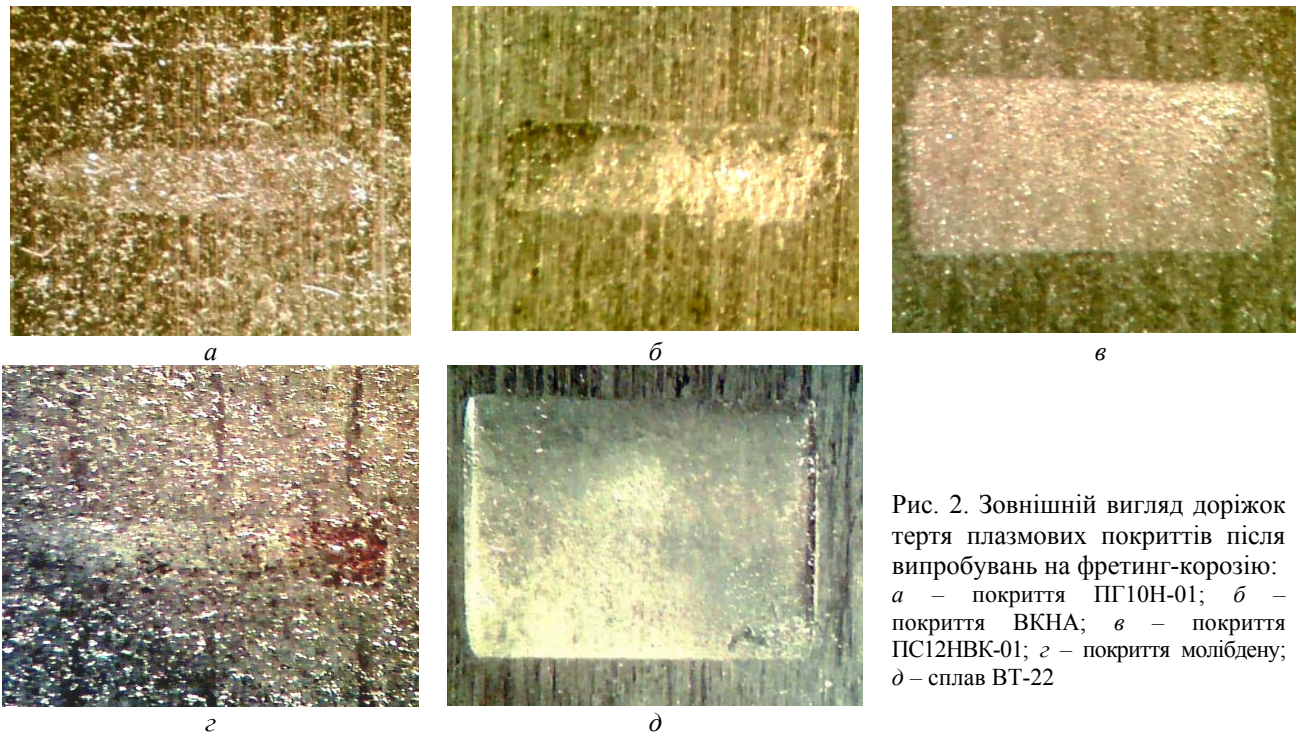


Рис. 2. Зовнішній вигляд доріжок тертя плазових покриттів після випробувань на фретинг-корозію: а – покриття ПГ10Н-01; б – покриття ВКНА; в – покриття ПС12НВК-01; г – покриття молібдену; д – сплав ВТ-22

Аналіз поверхні випробуваних зразків (рис. 2) показує, що під дією повторно-змінних ударних навантажень у покритті відбувається деформація в поверхневих шарах. Як наслідок відбувається наклеп з наступним окиснюванням під дією температури і руйнуванням деформованого поверхневого шару. Найбільш яскраво це спостерігається у покриття ВКНА (рис. 2, б). Тверді частки хрому та оксидів алюмінію в нікелевій матриці мало деформуються і висипаються під дією ударних навантажень.

Подібна картина спостерігається і у покриття ПГ10Н-01 (рис. 2, а), але не настільки явна. Покриття молібдену, мабуть, за рахунок своєї однорідності та високої міцності між зернами показало одні з кращих результатів із фретингостійкості.

Практично всі покриття мають гладку, блискучу поверхню в зоні тертя з невеликими, менш ніж 50 мкм, виривами.

Міцність зчеплення плазових газотермічних покриттів

Усі досліджені плазові покриття значною мірою фретингостійкі, тому для вибору покриття варто враховувати інші властивості газотермічних покриттів. Міцність зчеплення покриття з основою є одним з найважливіших показників якості покриття, тому що вона багато в чому визначає працездатність покритих деталей у реальних умовах [9].

Випробування на міцність зчеплення газотермічних покриттів з основою здійснювали методом штифта [10].

За цим методом відрив покриття від підкладки здійснюється створенням нормальних зусиль на межі розділу покриття з підкладкою. За такою схемою випробувань покриття працює на зріз по окружності та відрив по плоскій поверхні штифта, тому цей метод застосовується, коли зусилля зрізу більше зусилля відриву.

Лінійність зростання навантаження значно впливає на стабільність результатів виміру зусилля, що руйнує.

Час зростання навантаження до розриву повинен бути не менше, ніж 20 с. Цим вимогам задовольняє розривна машина виробництва Німеччини типу НЕСКЕРТ 100/1, на якій і проводили випробування.

Покриття ПС12НВК-01 і ПГ10Н-01 наносили як з підшаром ВКНА, так і без нього.

Товщина нанесених плазових покриттів становила 0,5 і 1 мм, включаючи підшар 50 мкм.

Виходячи з того, що діапазон показників при випробуванні методом штифта досить великий, використовували для напilenня на одному режимі шести зразків з наступним усередненням.

Усереднені результати випробувань на міцність зчеплення плазових покриттів показано на рис. 3.

Покриття молібдену і ВКНА при випробуваннях на адгезію розшарувалися, тобто на торці штифта залишалися місця, де покриття не відійшло від поверхні (адгезійно-когезійний характер).

При розрахунках площі відриву покриттів бралася площа, що в більшості випадків відповідала конусу.

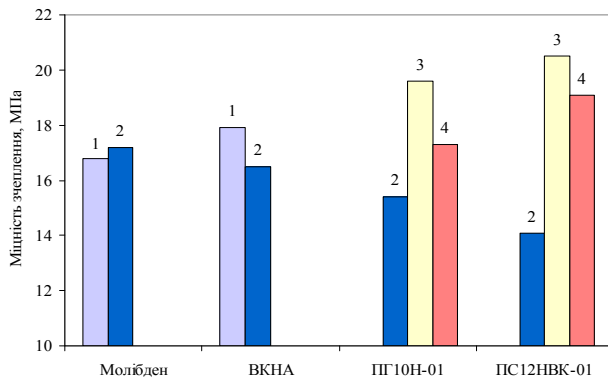


Рис. 3. Міцність зчеплення плазмових газотермічних покриттів з титановим сплавом ВТ-22:

1 – товщина покриття 0,5 мм без підшару; 2 – товщина покриття 1,0 мм без підшару; 3 – товщина покриття 0,5 мм з підшаром ВКНА 50 мкм; 4 – товщина покриття 1,0 мм з підшаром ВКНА 50 мкм

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що міцність зчеплення покриттів ВКНА і молибдену зі сплавом ВТ-22 вище.

Таким чином, проведення дослідів щодо оцінки експлуатаційної придатності газотермічних покриттів для відновлення монорейок випускання-прибирання закрилків і передкрилків літаків показали непогані результати всіх досліджуваних покриттів, але найкращі були покриття молибдену. Однак газотермічне покриття необхідно вибирати, з погляду не тільки на адгезійну міцність і динамічне навантаження, але й через інші властивості покриттів, наприклад, втомну міцність.

Висновки

1. Усі досліджені плазмові газотермічні покриття підвищують фретингостійкість сплаву ВТ-22 у 10–20 разів.
2. Неоднакова інтенсивність зношування плазмових покриттів і титанового сплаву ВТ-22 свідчить про різні процеси, що протікають в зоні тертя. У випадку плазмових покриттів ведучим механізмом зношування був нормальний механічний знос. У випадку зношування титанового сплаву ВТ-22 виявляються більш характерні для фретинг-корозії втомно-корозійні процеси.
3. Застосування підшару ВКНА при напилюванні покриттів ПГ10Н-01 і ПС12НВК-01 на титанову підкладку збільшує міцність зчеплення в 1,5–1,7 раза.

4. Плазмові покриття мають більшу адгезію з титановим сплавом ВТ-22 при товщині покриття 0,5 мм, ніж при товщині 1,0 мм. Винятком є лише покриття молибдену, міцність зчеплення якого практично однакова, невеликий розкид до 1 МПа порівняно з похибкою при випробуванні методом штифта.

5. Покриття молибдену і ВКНА при випробуванні міцності зчеплення методом штифта носили адгезійно-когезійний характер, покриття ПГ10Н-01 і ПС12НВК-01 – адгезійний характер.

6. Для відновлення монорейок механізації крила найбільш оптимальним серед досліджуваних є покриття молибдену.

Література

1. Горьнин И.В., Чечулин Б.Б. Титан в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
2. Носовский И.Г., Соха А.Е., Исаев Э.В. Исследование изнашивания некоторых титановых сплавов в вакууме // Пробл. трения и изнашивания. – 1975. – Вып. 7. – С. 76–80.
3. Голего Н.Л., Алябьев А.Я., Шевеля В.В. Фреттинг-коррозия металлов. – К.: Техніка, 1974. – 272 с.
4. Технологические рекомендации по восстановлению рабочих лопаток турбин ГТД и рельсов механизации крыла самолетов; Отчет по НИР. – №482-В83 за I-II кв.; Науч. руководитель проф. А.Я. Алябьев. – К.: КИИГА, 1984. – С. 40–56.
5. Исследования работоспособности защитных покрытий и упрочняющих технологий для восстановления рельсов механизации крыла самолета; Отчет по НИР. – №133Х-92 за IV кв.; Науч. руководитель проф. А.Я. Алябьев. – К.: КИИГА, 1992. – 44 с.
6. Разработка метода выбора покрытий и справочных данных о триботехнических свойствах покрытий, применяемых с целью упрочнения и восстановления машин и механизмов, работающих в условиях фреттинга; Отчет по НИР. – №008-ГБ92 за I-IV кв.; Науч. руководитель проф. А.Я. Алябьев. – К.: КИИГА, 1993. – 78 с.
7. Зверев А.И., Шариквер С.Ю., Астахов Е.А. Детонационное напыление покрытий. – Л.: Судостроение, 1979. – 232 с.
8. Масленков С.Б., Масленкова Е.А. Стали для высоких температур: Справ. В 2 кн. Кн. 2 – М.: Металлургия, 1991. – С.583–586.
9. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справ. / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко и др. – К.: Наук. думка, 1987. – 544 с.
10. Исследование прочности детонационно-напыленных покрытий / Б.А. Лященко, В.В. Ришин, Е.А. Астахов и др. // Пробл. прочности. – 1972. – №3. – С.35–38.

Стаття надійшла до редакції 21.03.06.