

УДК 620.178.16 (045)

А.М. Хімко, к.т.н., доц.
О.Є. Якобчук, ст. викл.
В.М. Бородій, ст. викл.
С.М. Задніпровська, асп.
Н.В. Холод, асп.

ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ ВУЗЛІВ МЕХАНІЗАЦІЇ КРИЛА ЛІТАКІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Проведено випробування титанового сплаву BT-22 при динамічному навантаженні з циклічним ковзанням та динамічному навантаженні в умовах кочення з просковзуванням. Встановлено, що заклинювання ролика в каретці збільшує знос рейок механізації крила літаків до двадцяти разів. Визначено покриття для зміцнення зношених ділянок та відновлення робочих поверхонь рейок механізації крила.

The conducted researches of titanic alloy BT-22 at dynamic loading with cycled sliding and dynamic loading in conditions of rolling with slipping. It is established that roller jamming in the carriage increases wear of rod of mechanization of a wing to twenty times. The optimum covering for strengthening wearied sites and restoration of working surfaces of wing's mechanization rod is defined.

динамічні навантаження, дисипація, механічна енергія, молібден, монорельс, плазмові покриття, титановий сплав BT-22, фретинг-корозія

Постановка проблеми

До наймасовіших і дорогих деталей сучасних пасажирських і транспортних літаків належать монорейки механізації крила, функціональним призначенням яких є переміщення рухомих елементів крила, керування аеродинамічними характеристиками літака. У процесі експлуатації на бігових доріжках монорейок у місцях зупинки роликів утворюються зони вироблення, глибина яких вже до першого ремонту може перевищувати встановлену граничну величину зносу.

Для різних літаків (Ан-24, Ан-124, Ан-148, Іл-76, Іл-86 та ін.) сполучення монорейка – ролик у системі механізації крила має близьке конструктивне рішення. Вироблення від контактної взаємодії з роликами кареток є основним дефектом, що визначає подальшу експлуатаційну придатність монорейок механізації крила під час ремонту.

Аналіз місць розташування, величини і характеру пошкоджень дає змогу зробити висновок, що найінтенсивніший знос монорейок відбувається за злітного положення закрилка та за нульового положення під час руління на землі. У цих умовах, мабуть, виникає найінтенсивніше вібраційне навантаження, яке викликає просковзування і динамічну взаємодію контактуючих поверхонь у сполученні монорейка-ролик [1].

Монорейки виготовляють з високоміцного титанового сплаву BT-22, який має високу міцність і незадовільні антифрикційні властивості [2], що визначає підвищений знос цих деталей в експлуатації.

Для виготовлення монорейок та їх заміни під час ремонту, потрібні значні матеріальні витрати, тому необхідно аналізувати вивчення причини пошкодження монорейок механізації крила літаків, а також забезпечити високу зносостійкість робочої поверхні монорейок за рахунок використання захисних покриттів.

Аналіз досліджень та публікацій

Проблеми, пов'язані з монорейками механізації крила останнім часом, були розглянуті у роботах [3–7].

Автори роботи [5] пропонують зміцнювати монорейки механізації крила скляним дробом діаметром 0,6–1,2 мм. Розроблена установка моделі УУСП-10, дає змогу повністю автоматизувати процес зміцнення. Ресурс монорейок в експлуатації при цьому підвищується у 1,5–2 рази.

У роботі [6], досліджуючи можливості відновлення деталей газотурбінних двигунів і дефлектора закрилків, автори пропонують відновлювати монорейки механізації крила вольфрамо-титанонікелевим покриттям детонаційним методом.

У роботі [7] В.М. Неровний та В.В. Перемитько пропонують підвищити зносостійкість зміцненням поверхневого шару газонасиченням, дугою з уведенням в зону розряду реактивного газу.

Максимальної глибини насиченої аліфированої зони при витраті аргону 3–4 л/хв і висоті електродів 12–16 мм вдалося досягти до 0,54 мм, мікротвердість поверхневого шару на глибині 0,01 мм при цьому підвищується у 2–2,5 разу.

Такий підхід прийнятний для виробництва монорейок механізації крила, але не для відновлення зношених поверхонь, до того ж немає даних порівняльного аналізу зносостійкості цієї методики.

У роботі [3] автори досліджують можливість відновлення монорейок механізації крила літаків Ан-72. Усі досліджувані покриття наносили тільки імпульсно-плазмовим методом. Дослідження зносостійкості покриттів проводили за контактів «куля – площина» і «площина – площина» на одному режимі випробувань.

З дослідження топографії поверхні, аналізу характеру пошкодження та умов роботи монорейок [3] видно, що знос утворюється у результаті відносного циклічного ковзання між роликом і робочою поверхнею монорейки і, за ознаками класифікується як фретинг-корозія [4].

За характером виділяють два типи зносу:

- зноси, які мають блискучу металеву поверхню з ризиками, направленими уздовж напрямку переміщення роликів;
- зноси, які мають окиснену поверхню з корозійними і змішаними корозійно-абразивними пошкодженнями.

Аналіз літературних джерел [3–7] показує, що наявні дані присвячені переважно зміцненню і підвищенню зносостійкості робочих поверхонь монорейок механізації крила літаків. Питання аналізу і причин пошкоджень залишаються недостатньо вивченими. Наприклад, наявність нерівномірного зносу поверхонь на одній ділянці монорейки за однакових умов навантаження.

Мета роботи – визначення пошкоджень монорейок механізації крила залежно від умов навантаження і виду випробувань, а також вибір покриття для зміцнення робочих поверхонь та відновлення зношених ділянок монорейок.

Методика випробування монорейок механізації крила на зносостійкість

Для проведення випробувань на зносостійкість монорейок механізації крила і газотермічних покриттів використовували напівнатурну установку, яка імітує роботу сполучення вузла зношування монорейки з роликом каретки [8].

На установці було реалізовано схему контакту зразків площина – циліндр. Зразки розміщували на кінцях консольно закріплених пружин, виконаних у вигляді ресор, і притискали один до одного робочими поверхнями.

На одній із пружин кріпили диск із зафіксованою на ньому неврівноваженою масою, яка здатна вільно обертатися. Під час обертання диска з неврівноваженою масою виникає контактна взаємодія торцевих поверхонь зразків із змінним нормальним зусиллям у контакті.

Зразок для випробувань – це шестигранник з плоскими робочими поверхнями, виготовлений з того самого матеріалу, що і монорейка механізації крила.

Рухомий контрзразок являє собою кільце шириною 5 мм, яке вирізали з роликів каретки.

Матеріал контрзразка – 95X18Ш з твердістю 50...55 HRC.

Критерієм оцінювання зносостійкості вважали усереднену максимальну глибину пошкодження. Вимірювання проводили за допомогою оптиметра вертикального типу ІКВ, знімаючи показники з п'яти ділянок робочої поверхні зразка.

Для підвищення точності експерименту, випробування проводили більш, ніж по три рази на кожний стовпчик на гістограмі.

Дослідження на зносостійкість проводили на зразках, виконаних з високоміцного титанового сплаву ВТ-22, а також на зразках з газотермічним покриттям з ВКНА, ПГ10Н-01, ПС12НВК-01 або молібдену, яке наносили на робочі поверхні титанового зразка.

Газотермічні покриття наносили на плазмовій установці УПУ-3Д на заводі АНТК. Заздалегідь підготували поверхню шліфуванням й обробленням піском. Товщина нанесених покриттів, становила 600 мкм.

Далі обробляли поверхню зразка механічним способом до товщини 400 мкм, включаючи підшар. Для підвищення міцності зчеплення покриттів з основою газотермічні покриття ПГ10Н-01 і ПС12НВК-01 наносили з підшаром ВКНА завтовшки 50 мкм.

Експерименти проводили з жорстко закріпленим роликом та роликом, що вільно обертається.

Умови експериментів такі:

- частота коливань – 30–35 Гц;
- обороти ротора, що навантажує, – 1900–2100 об/хв;
- база випробувань – 325 тис. циклів;
- значення попереднього натягу – 30 Н;
- вага вантажу, що дисбалансує – 17,5 г;
- відстань вантажу від осі обертання – 35 мм;
- амплітуда в кінці експерименту – 200 мкм.

Вплив заклинювання ролика каретки на знос деталей механізації крила

Отримані результати експериментів подано на рисунку.

Третій стовпчик на гістограмі відповідає проведенню експерименту з роликом, що вільно обертається – динамічне навантаження в умовах кочення з просковзуванням.

Зносостійкість матеріалів за динамічного навантаження з циклічним ковзанням показано на першому стовпчику, що відповідає проведенню експерименту з жорстко закріпленим роликом.

Середній стовпчик – частка фретинг-корозії, яку визначали аналітично, відніманням результатів зносу під час динамічного навантаження в умовах кочення з просковзуванням від динамічного навантаження з циклічним ковзанням.

Як видно з гістограми, мінімальний знос відповідає умові випробування ролика, що вільно обертається, тобто динамічному навантаженню в умовах кочення з просковзуванням.

Знос титанового сплаву ВТ-22 у два – три рази вищий за знос газотермічних покриттів.

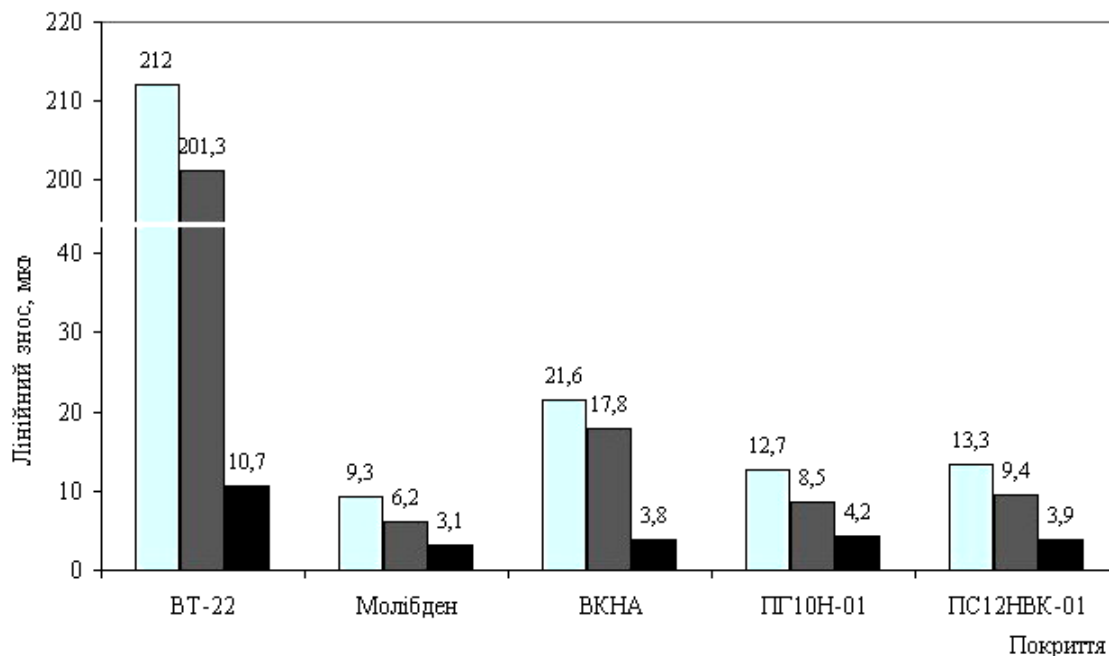
Найбільший знос було виявлено за умови динамічного випробування матеріалів з циклічним ковзанням – експеримент з жорстко закріпленим роликом.

Крім ударів, покриття піддається і тертю ковзання з максимальним відхиленням консолю-закріплених пружин в обидва боки.

Ролик рухається по поверхні випробуваного матеріалу. У цьому випадку на тертя працює тільки певна поверхня ролика. Амплітуду вертикальних зсувів обчислювали аналітично залежно від конструкції і горизонтальних коливань. У цьому випадку вертикальна амплітуда становила близько 10 мкм.

Знос титанового сплаву ВТ-22 збільшився у 20 разів, а газотермічних покриттів у три – чотири рази під час випробувань в умовах динамічного навантаження з просковзуванням порівняно з коченням з просковзуванням. Таке різке збільшення зносу матеріалів зумовлено мікропереміщенням ролика по поверхні, яке класифіковане як фретинг-корозія.

Частку фретинг-корозії в загальному зносі матеріалів показано на другому стовпчику гістограми.



Гістограма зміни лінійного зносу плазмових покриттів і сплаву ВТ-22 під час модельних випробувань на динамічне навантаження:

□ – динамічне навантаження з циклічним ковзанням;

■ – динамічне навантаження в умовах кочення з просковзуванням;

■ – різниця між динамічним навантаженням з циклічним ковзанням та динамічним навантаженням в умовах кочення з просковзуванням

Аналіз зносостійкості матеріалів видно, що знос від динамічного навантаження з проковзуванням значно більший від зносу від динамічного навантаження в умовах кочення з проковзуванням. Найкраще це видно на сплаві VT-22, що свідчить про його незадовільну фретингостійкість. У разі заклинювання ролика каретки випуску – прибирання передкрильків і зак-рилків на монорельсі механізації крила різко зростає знос, що може спричинити посилення вібрації крила і, як наслідок, катастрофу літака.

Фретингостійкість газотермічних покриттів значно вище сплаву VT-22, і тому монорельси з напиленням на робочі поверхні покриттям менш чутливі до заклинювання ролика – проковзування. З результатів модельних випробувань видно, що газотермічні покриття в 10–20 разів більш зносостійкі, ніж титановий сплав.

Найбільш зносостійким є покриття молібдену. Його знос майже у 20 разів менший, ніж у титанового сплаву VT-22.

Такі результати зі зносостійкості можна пояснити модулем пружності та твердістю покриття. Покриття молібдену має більш м'яку основу, ніж випробовувані газотермічні покриття. Під час удару, покриття з невисоким значенням модуля пружності демпфірує, а жорстке покриття сприймає удари і протистоїть їм більшою мірою. Під час відносного руху ролика поверхня покриття піддається імпульсним (вібраційним) навантаженням, внаслідок чого в поверхневих шарах поширюються затухаючі хвилі деформацій – напружень. Механічна енергія, яка при зовнішньому терті передається в матеріал покриття за допомогою вказаних хвиль, яке обумовлене непружними явищами, характеризує здатність твердого тіла необоротно розсіювати енергію механічних коливань, перетворюючи її на тепло [4].

Покриття ПГ10Н-01 і ПС12НВК-01 показали майже однакові результати зі зносостійкості. Знос покриття ВКНА майже у 2 рази перевищує знос інших досліджуваних покриттів.

Достатньо високу зносостійкість плазмового покриття з молібдену можна також пояснити тим, що зі збільшенням навантаження та амплітудних параметрів логарифмічний декремент [9] (демпфірувальна здатність) молібденового покриття збільшується більше, ніж у інших матеріалів [10].

На підставі аналізу характеру руйнування контактуючих поверхонь та інтенсивності зношування лабораторних зразків, можна зробити висновок, що неоднаковий характер зношування свідчить про різні процеси, що протікають у зоні контакту.

Для плазмових покриттів провідним механізмом зношування був нормальний механічний знос, який

відбувається за рахунок утворення і видалення з поверхні тонких вторинних структур. Для зношування сплаву VT-22 для фретинг-корозії виявляються більш характерними втомно-корозійні процеси.

Висновки

На підставі виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Розділені складові складного динамічного навантаження, яким піддається монорельс механізації крила літаків у польоті.
2. Визначено, що заклинювання ролика в каретці збільшує знос монорельса механізації крила до 20 разів за рахунок проковзування ролика по монорельсу – частка фретинг-корозії.
3. Проведені випробування щодо оцінювання експлуатаційної придатності газотермічних покриттів для зміцнення і відновлення монорельсів механізації крила літаків показали, що найприйнятнішим покриттям є молібден.

Література

1. *Вибір газотермічного покриття для відновлення монорельс механізації крила літаків* / В.О. Краля, О.Г. Моляр, А.М. Хімко, Д.О. Пугачевський // Вісник НАУ. – 2006. – № 2. – С. 85–88.
2. *Горынин И.В.* Титан в машиностроении / И.В. Горынин, Б.Б. Чечулин. – М.: Машиностроение 1990. – 400с.
3. *Исследование работоспособности защитных покрытий упрочняющих технологий для восстановления рельсов механизации крыла самолетов* / Отчет по НИР № 133Х-92. – К.: КИИГА, 1992. – 44 с.
4. *Шевеля В.В.* Трибохимия и реология износостойкости / В.В. Шевеля, В.П. Олександренко. – Хмельницький: ХНУ, 2006. – 278 с.
5. *Установка для упрочнения стеклянной дробью рельсов механизации крыла* // 2-я Международная выставка «Авиакосмические технологии и оборудование 2004». 10–13 августа 2004. – Казань: ВЦ «Казанская ярмарка». – С. 1–4.
6. *Технологические рекомендации по применению износостойких покрытий для восстановления деталей ГТД Д-30 и дефлектора закрылков самолета Ил-76* // Отчет по НИР № 482-В83. – К.: КИИГА. 1984. – 32 с.
7. *Неровный В.М.* Азотирование технически чистого титана / В.М. Неровный, В.В. Перемытько // ФХОМ. – № 3. – 1995. – С. 49–54.
8. *Хімко А.М.* Методика випробувань матеріалів при контактному динамічному навантаженні / А.М. Хімко, В.М. Бородій, О.Є. Яковчук // Вісник НАУ, – К.: НАУ. № 1. – 2008. – С. 80–83.
9. *Писаренко Г.С.* Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев // справ. – К.: Наук. думка. – 1971. – 375 с.
10. *Шевеля В.В.* О природе повышения фретингостойкости стали некоторыми видами поверхностной обработки / В.В. Шевеля, Г.С. Калда, В.П. Олександренко // Трение и износ. – 2004. – № 2 (25). – С. 140–147.