

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.1(86).14491

В. О. МЕЛЬНИК

*Державне підприємство «ЗАВОД 410 ЦА», Україна***ПРИЧИНИ ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ТА МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ**

*Проведено аналіз причин втрати працездатності деталей вузлів тертя авіаційної техніки. Досліджено вплив зовнішніх чинників на фізико-механічні властивості конструкційних матеріалів, елементів трибосистем. Установлено, що основними видами зношування деталей, вузлів тертя авіаційної техніки є наступні: абразивне, корозійно-механічне, окислювальне, втомне і кавітаційне зношування, а також схоплення і фретинг-корозія. Запропоновано методи поверхневого зміцнення та нанесення покриттів з метою відновлення зношених деталей*

**Ключові слова:** *деталі тертя, зносостійкість, причини руйнування, працездатність.*

**Загальний стан проблеми та її зв'язок з важливими науково-практичними задачами.** Одна з основних проблем, що визначає напрям і етапи розвитку сучасної авіаційної техніки (АТ) – підвищення надійності та довговічності вузлів тертя. У комплексі заходів, спрямованих на вирішення цієї проблеми, найбільш значущим є питання підвищення працездатності деталей трибовузлів. Особливо це стосується деталей трибосполучень, які працюють в умовах найбільш поширених видів зношування, а саме: абразивного, корозійно-технічного і фретинг-корозії.

На сьогодні працездатність деталей трибосистем забезпечуються застосуванням різних конструкцій, технологічних і експлуатаційних методів. Що стосується технологічних методів, то поверхня зміцнення та відновлення деталей тертя є одним із напрямів створення зносостійких структур, серед яких особливе місце займають композиційні покриття.

Варто відзначити, що обмеження використання цих покриттів зумовлено недостатнім розробленням технологічних режимів оптимального фазового та структурного складу, які забезпечать данні фізико-механічні властивості. Крім того триботехнічні характеристики композиційних покриттів вивчено недостатньо. Для визначення технологічного методу поверхневого зміцнення деталей, які зносились, спочатку необхідно дослідити провідний вид зношування.

**Огляд публікацій і аналіз невирішених проблем.** У сучасному літальному апараті нараховується велика кількість вузлів тертя, які працюють у різноманітних умовах контактної взаємодії. Так, наприклад, деталі шасі працюють в умовах високих швидкостей і навантажень, вібрацій, а також твердих абразивних частинок і вологи.

В процесі експлуатації на робочих поверхнях деталей вузлів тертя розвиваються катастрофічні процеси зношування і які спонукають до руйнування робочих поверхонь деталей трибовузлів, як результат втрати їх працездатності.

Працездатність вузлів тертя забезпечується використанням зносостійких антифрикційних і фракційних компактних матеріалів, але на сьогодні їх можливості вичерпані. Окрім того, у зв'язку із старінням авіаційного парку актуальним стає відновлення зношених деталей шляхом нанесення зносостійких покриттів [1].

Згідно [2], оптимальна зносостійкість для пари тертя визначається сприятливим поєднанням структури і складного комплексу властивостей:

1. Фізико-механічних (високий опір тиску, згину, зсуву, значні сили молекулярно-механічному зчепленню, поєднання великих твердості і в'язкості при відсутності крихкості);

2. Фізичних (висока теплопровідність, велика різниця температурних коефіцієнтів розширення фаз і поверхневого натягу на міжфазних границях сплаву тощо);

3. Фізико-хімічних (висока насиченість і нерівномірність мікророзподілу легувальних елементів, стійких проти дії корозії та ін.).

Відомо, що працездатність захисних покриттів триботехнічного призначення залежить від багатьох чинників, основним із яких є хімічний склад покриття і умови експлуатації (питоме навантаження, швидкість переміщення, температура середовища). Цим питанням присвячені дослідження багатьох авторів [3 – 6 та інші], у яких наголошується, що для усунення катастрофічного зношування, або зменшення інтенсивності його розвитку, необхідно на робочих поверхнях деталей, що контактують, формувати композиційні структури.

Аналіз джерел [5; 6] свідчить про те, що на сьогодні до основних технологічних методів формування композиційних покриттів відносяться: наплавлення (електродугове, газополум'яне, лазерне та ін.), напилення (плазмове, детонаційне, газополум'яне, іонно-плазмове), електроіскрове та лазерне легування, електрорізнотермічне припікання порошків, саморозповсюджуючий високотемпературний синтез та електрохімічні методи.

**Мета роботи** – провести аналіз причин руйнування деталей вузлів тертя АТ, що працюють у різноманітних умовах тертя, установити провідні види їх зношування та визначити шляхи підвищення їх зносостійкості.

**Матеріали і методи дослідження.** Контактуючі елементи трибосистем АТ у більшості випадків це леговані сталі, сплави на основі алюмінію, магнію, титану, полімерні і композиційні матеріали. Дефектацію їх проводили методами неруйнівного контролю, а саме: акустичним, магнітним, індукційним і рентгенографічним. Дослідження проводили на мікроскопі МБС-2 при збільшенні 20...80, дефектоскоп АЛ-4-1.

**Результати дослідження досліджень та їх обговорення.** У більшості випадків вузли тертя АТ, деталі яких працюють у різноманітних умовах контактної взаємодії, забезпечують надійну роботу трибосистем у продовж заданих ресурсів. Однак, як свідчать результати дефектації деталей тертя, неодинокі випадки передчасного руйнування робочих поверхонь деталей, що контактують, і знижує довговічність пари тертя, а інколи і до втрати працездатності.

Одним із небезпечних видів зношування є абразивне, а також і його різновиди – газоабразивне, гідроабразивне. Інтенсивне абразивне зношування спостерігається на деталях шасі (вісі, болти, втулки, штоки, замки створок тощо).

На рис. 1, а представлено шток амортизаційної стійки основного шасі літака Ан-32. Матеріал – легована сталь 30ХГСН2А, робочим середовищем якої є гідравлічна рідина АМГ-10. Дефектація штоку показала, що причиною втрати працездатності є інтенсивне абразивне зношування робочих поверхонь штоку, яке обумовлено потраплянням твердих абразивних частинок піску, твердість яких досягає 11...12 ГПа. На поверхнях деталей, що контактують, видно подряпини, риси на штоці (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Пошкодження штоку амортизаційної стойки основного шасі літака Ан-32 у результаті абразивного зношування

Необхідно зазначити, що на інтенсивність абразивного зношування здійснює великий вплив не тільки твердість абразивних частинок, а і їх форма, геометричні розміри, навантаження, швидкість переміщення, фізико-механічні властивості поверхні тертя та багато інших чинників. Різноманітність цих чинників, а також їх неоднозначний вплив на процеси абразивного зношування ускладнюють розроблення методів захисту від даного виду зношування.

В основі механізму абразивного зношування, у випадку коли твердість абразивної частинки значно більша у порівнянні із твердістю конструкційного матеріалу, лежить взаємодія абразивної частинки з металом, яка складається із двох етапів; 1) занурення твердої частинки у метал; 2) поступове її переміщення по поверхні тертя. У випадку високої твердості металу, абразивні частинки у процесі тертя перекочуються по робочій поверхні без пластичного деформування.

Газоабразивного зношування зазнають лопаті гвинтів авіадвигунів, обтікачі, деталі вхідних пристроїв газоповітряного тракту двигунів, робочі і направляючі лопатки компресорів. Цей вид зношування інтенсивно розвивається, як відзначається у [7], на цих деталях в процесі роботи вертольоту у наземних умовах, або при зависанні на невеликій висоті від поверхні, від повітряного потоку від гвинта, пісок і пил легко піднімаються у повітря і утримуються у зваженому стані, а при потраплянні у систему двигуна, тверді частинки призводять до інтенсивного газоабразивного зношування.

При експлуатації АТ виникає вібрація, яка стимулює розвиток процесів фреттигг-корозії на деталях, які знаходяться у контакті [8]. У даному випадку руйнування полягає в утворенні на дотичних поверхнях дрібних виразок і продуктів корозії у вигляді нальоту, скупчення порошку. Цьому виду зношування піддаються вісі (рис. 2, б), вали, шпонки, кільця підшипників кочення, заклепки, болти, втулки та інші деталі.



а



б

Рис. 2. Пошкоджена в результаті фретинг-корозії вісь шасі літака Ан-74

Фретинг-корозія являє собою вид руйнування металевих поверхонь і різноманітних середовищах у результаті одночасного впливу механічних і хімічних чинників.

Фретинг-корозія знижує поверхневу міцність деталі, що є причиною її об'ємного руйнування (рис. 2, а).

Одним із катастрофічних видів зношування деталей авіадвигунів є ерозійне. До таких деталей належать передусім лопатки турбін і компресорів, завихрювачі, сектори лопаток соплового апарату, які інтенсивно зношуються в процесі експлуатації. Особливо високі вимоги до працездатності цих елементів обумовлені тим, що руйнування однієї лопатки спричиняє такі пошкодження ротора, що спричиняють відмову всього двигуна.

Лопатки компресора працюють в умовах високих статичних і динамічних навантажень при впливі ерозійного і корозійного середовища. Тому навіть невеликі пошкодження, як концентратори напружень, можуть бути осередком втомних тріщин. Лопатки турбін, окрім цього, працюють в умовах високих температур, різких теплових змін і корозійного впливу газового середовища. Вони можуть руйнуватись внаслідок розвитку як тріщин втоми від динамічних навантажень, так і тріщин повзучості і термічної втоми матеріалу лопатки.

Характерними дефектами лопаток компресора є: тріщини втоми, корозійні і ерозійно-корозійні ураження, забоїни, вм'ятини, риски, накледи та інші механічні пошкодження. До характерних дефектів лопаток турбін відносяться тріщини втоми, тріщини повзучості і термічної втоми, газової корозії, розтріскування матеріалу на межі зерен, ерозійно-корозійні раковини, механічні ураження (забоїни, вм'ятини, риски, наклеп) і плівки продуктів згорання та інше.

Окрім описаних видів зношування, деталі вузлів тертя АТ працюють в умовах утомного, корозійно-термічного, окислювального зношення, кавітації і схоплювання.

З метою зменшення інтенсивності зношування деталей трибовузлів та забезпечення їх працездатності використовують різноманітні технологічні процеси поверхневого зміцнення і нанесення покриттів, перспективними із яких є високо енергетичні методи (газотермічне напилення, електроіскрове легування, лазерна обробка, комплексний).

Збільшується область застосування комплексних методів поверхневого зміцнення і відновлення деталей тертя, особливо сумісно із лазерною обробкою.

Проводяться пошукові роботи по зміцненню деталей методами саморозпосюджуючого високотемпературного синтезу, іонної імплантації, електронно-променевого випромінювання, використання сонячної енергії [9].

В теперішній час на підприємствах України впроваджено велику кількість різних способів поверхневого зміцнення і відновлення деталей. Аналіз цих способів свідчить про те, що універсальних технологічних методів не існує, так як кожному із них притаманні певні переваги і недоліки, які можуть бути охарактеризовані як кількісно, так і якісно, наприклад, пористістю і крихкістю покриття, енергоємністю і продуктивністю процесу, необхідність додаткових виробничих площ і доступністю використаних матеріалів, рівнем механізації і автоматизації процесу і багато інших. Тому для вибору оптимального способу відновлення конкретної деталі потрібно проведення спеціальних досліджень в умовах виробництва і експлуатації, на підставі яких будуть розроблені практичні рекомендації для даної деталі.

### **Висновки:**

1) Аналіз результатів проведеної дефектації деталей трибовузлів літальних апаратів і авіадвигунів свідчать про те, що переважна більшість з них зумовлена недостатньою поверхневою міцністю, яка спонукає зниження опору руйнуванню деталей у процесі експлуатації;

2) Деталі, що зношені більше за допустимі норми, необхідно відновлювати сучасними технологічними методами;

3) Для розроблення технологічних методів відновлення зношених деталей необхідно спочатку визначити їх провідний вид зношування.

### **Список літератури**

1. Кудрін А.П. Особливості руйнування деталей вузлів тертя авіаційно техніки в процесі її експлуатації / А.П.Кудрін, В.В.Жигинас // Проблеми тертя та зношування : Наук. техн. зб. – К.: НАУ,2006. - Вип.45. – С.63-71.
2. Лубарський И.М. Металлофизика трения / И.М. Лубарський, Л.С. Палатник. – М.: Химия, 1967.- 239с.
3. Базотермические покрытия из порошковых материалов / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. – Справочник. – К.: Наукова думка, 1987. – 544с.
4. Патон Б.Е. Современные электронно-лучевые технологии Института электросварки им. Е.О. Патона НАН України / Б.Е.Патон // Автоматическая сварка, 2001. - N2.- С.3-8.
5. Лабунец В.Ф. Тенденції створення захисних структур триботехнічного призначення / В.Ф. Лабунец // Проблеми тертя та зношування. – Наук. техн. зб-ик. – К.: НАУ. – 2006. – Вип.45. – С.107- 118.
6. Трибологія: підруч. / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунец, М.І. Пашечко, Е.В.Корбут, - К.: Вид-во Нац. авіан. ун-ту «НАУ-друк.» - 2009. – 392с.
7. Крылов К.А. Долговечность узлов трения самолетов / К.А. Крылов, М.Е. Хаймзон. – М.: Транспорт, 1976. – 184с.
8. Голего Н.А. Фреттенг-коррозия // Н.Л.Голего, А.Я. Алябьев, В.В. Шевеля, - К.: Техніка,1965. – 231с.

9. Упрочнення и восстановление деталей авиационной техники современными технологическими методами / С.А. Дмитриев, А.П. Кудрин, В.Ф. Лабунец, М.В. Киндрачук // Технология производства и ремонта, 2004. – N3. – С. 93-98.

Стаття надійшла до редакції 03.03.2020.

**Мельник Олексій Валерійович** – інженер - технолог, ДП «ЗАВОД 410 ЦА», пр. Повітрофлотський 94, м. Київ, Україна, 03151, тел.: +38 067 920 43 90, E-mail: alexxxx@ukr.net.

*O.V. MELNYK*

### **CAUSES OF WEAR OF AIRCRAFT PARTS OF FRICTION UNITS AND METHODS FOR THEIR AVAILABILITY SUPPORTING**

The cause analysis of aeronautical equipment friction units' parts loss of performance were conducted. The influence of external factors on the physical and mechanical properties of structural materials of tribosystem elements were investigated. It was established that the following wear processes were appeared on the working surfaces of friction units components: abrasive, gas-abrasive, erosion, corrosion-mechanical, oxidation, fatigue, grasping, cavitation and fretting corrosion. The specific defects for the axles of the chassis, turbine blades and compressors and the other friction parts were indicated. The modern methods of surface hardening and coating, which include surface plastic deformation, surface heat treatment, electro-mechanical treatment, chemical-thermal treatment, electrocontact and magnetic-pulse sintering of powders, surfacing, coating by galvanic and electro-thermal methods, electroplating, gas-thermal spraying (flame, plasma, detonation), etc were introduced. The use of complex methods of surface hardening and restoration of fretting units' parts, especially in conjunction with laser processing was widespread. It was established that the loss of performance of the tribosystem elements was caused by insufficient durability of the working surfaces of friction parts. In order to increase their durability, it is necessary to apply scientifically grounded methods of surface hardening and coating

**Key words:** friction parts, wear resistance, causes of failure, workingability

#### **Referenses**

1. Kudrin A.P. The peculiarities of aeronautical equipment friction units' parts destruction in the process of its operation / A.P. Kudrin, V.V. Zhygynas // Problems of friction and wear: Scientific and technical digest. - K. : NAU, 2006. - Issue 45. - P. 63-71.
2. Lyubarsky I.M. Metallophysics of friction / I.M. Lyubarsky, L.S. Palatnik. - M. : Chemistry, 1967. - 239 p.
3. Gas-thermal coatings from powder materials / Y.S. Borisov, Y.A. Kharlamov, S.L. Sidorenko, E.N. Ardatovskaya // Handbook. - K.: Scientific Thought, 1987. - 544 p.
4. Paton B.E. The modern electron beam technologies of the Institute of electric welding named after E.O. Paton of NAS of Ukraine / B.E. Paton // Automatic welding, 2001. – No. 2 - P. 3-8.
5. Labunets V.F. The tendencies of creation of protective structures for tribotechnical purposes / V.F. Labunets // Problems of friction and wear. - Scientific and technical digest. - K. : NAU, 2006. - Issue 45. - P. 108-118.
6. Tribology: a textbook / M.V. Kindrachuk, V.F. Labunets, M.I. Pashechko, E.V. Korbut. - K. : Publishing office of the National Aviation University "NAU-print", 2009. - 392 p.
7. Krylov K.A. The durability of aircraft friction units / K.A. Krylov, M.E. Heimson. - M.: Transport, 1976. - 184 p.
8. Golego N.L. Fretting corrosion // N.L. Golego, A.Y. Aliabyev, V.V. Shevlyya. - K. : Engineering, 1965. - 231 p.
9. The strengthening and restoration of aeronautical equipment parts by modern technological methods / S.A. Dmitriev, A.P. Kudrin, V.F. Labunets, M.V. Kindrachuk // Technology of production and repair, 2004. – No. 3. - P. 93-98.