

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.1(90).15253

О. В. МЕЛЬНИК, О. Є. ЯКОБЧУК

Національно авіаційний університет

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПАЛИВНО-ГІДРАВЛІЧНИХ АГРЕГАТИВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ

Наведено результати аналізу втрат працездатності гідроагрегатів і гідроапаратури, які у процесі експлуатації авіаційної техніки зношуються. Для відновлення деталей, які зношуються в результаті кавітації запропоновано композиційні плазмові покриття, висока зносостійкість котрих підтверджена результатами експериментальних досліджень.

Ключові слова: кавітаційне зношування, композиційні плазмові покриття, структура, зносостійкість.

Загальна постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними задачами. Сучасна авіаційна техніка (АТ) оснащена складними паливно-гідролічними агрегатами, які виконують визначені функції. У зв'язку з цим від ступеня їх працездатності залежить надійність і довговічність АТ. У свою чергу, працездатність паливно-гідролічних агрегатів залежить від безвідмовного функціонування рухомих спряжень, деталі яких у процесі експлуатації зношуються. Найбільша кількість відмов паливно-гідролічних агрегатів і гідроапаратури обумовлена поверхневими фізико-хімічними процесами, такими як корозія, ерозія, але в основному зношенням. Так, наприклад, аналіз відмов різних видів (більш 150 тис. випадків) гідроагрегатів показав, що основною причиною були різного виду зношування – 70 %, корозія – 25 %, інші види пошкоджень – 5 % [1].

Огляд публікацій і аналіз невирішених проблем. В сучасних машинах, зокрема двигунах, використовують паливні та гідролічні агрегати з метою автоматичного регулювання подачі палива або мастильних матеріалів, для підтримання чи зміни тиску у системах, що забезпечує регулювання продуктивності насосів і управління гідролічними силовими агрегатами [2, 3].

Для деталей вузлів тертя паливно-гідролічних апаратів характерними видами зношування є механо-хімічне, окислювальне, втомне, абразивне, кавітаційне, фретинг-корозія [4 – 6 та ін.]. Кожен із цих видів зношування виникає і розвивається у певних умовах експлуатації і має характерні зовнішні та структурні ознаками, а також значні наслідками, які впливають на працездатність спряжених пар тертя. Всі ці види зношування можуть бути як провідними, так і супровідними. Так, наприклад, для башмаків гідронасосів НІ 92 у деяких випадках абразивне зношування є супровідним, а провідним – механічне. Опори насосів типу НІ 39-100 зношуються в результаті фретинг-корозії.

Часто робочі поверхні деталей паливно-гідролічних агрегатів піддаються гідро-ерозійному зношуванню, а саме кавітації, у результаті якої виникають каверни, вириви, що спричиняють неоднорідність рельєфу з виступами та заглибинами. Кавітаційне зношування виникає, коли у суміжному шарі потоку рідини і твердого тіла, що омивається, поряд із зонами підвищеного тиску виникають зони розріджування. Якщо тиск падає нижче тиску насичення парів рідини, у останній утворюються газові порожнини і порушається безперервність потоку. При попаданні в зону високих тисків, ці порожнини захлопуються, що спричи-

няє ефект гідравлічного удару, флуктації тиску, які виникають поблизу поверхні, таким чином прискорюються процеси її руйнування та хімічні реакції [7].

Про одночасність протікання складних динамічних явищ при гідроабразивному зношуванні, які створюють труднощі у встановленні закономірностей і механізму процесів зношування у поверхневих шарах деталей трибовузлів, як зазначено у роботі [8].

Для оцінки працездатності деталей рухомих спряжень гідроагрегатів і розробки засобів з підвищення їх зносостійкості, потрібно знати зовнішні і структурні ознаки видів зношування, які віддзеркалюють умови навантаження, мастильні процеси та інші чинники, що характеризують силу тертя, інтенсивність пошкодження деталей. Аналіз цих ознак передбачає вивчення початкового стану поверхні деталі і характерних особливостей зміни мікро геометрії і фізико-механічних властивостей матеріалів поверхневих шарів [6].

Установлення провідних видів зношування деталей вузлів тертя паливно-гідравлічних агрегатів і механізму їх розвивання – це передумова для розроблення методів забезпечення працездатності вузлів тертя.

Мета роботи – визначити причини відмов рухомих спряжень паливно-гідравлічних агрегатів АТ і шляхом відновлення зношених деталей забезпечити їх працездатність в умовах кавітаційного зношування.

Матеріали і методи досліджень. Дефектацію деталей тертя паливно-гідравлічних агрегатів виконували на сертифікованих приладах неруйнівного контролю в ЦЗЛ ДП «Завод 410 ЦА». Профілографічні дослідження робочих поверхонь здійснювали на профілографі-профілометрі «Калібр-210». Дослідження проводили з використанням комплексної методики, яка включає низку методів, а саме: структурно-фазовий аналіз зон контактної взаємодії композиційних матеріалів та покриттів, доріжки тертя досліджували на електронному мікроскопі РЕМ-106И і мікротвердомірі ПМТ-3. Дослідження процесів фазоутворення в композиційних матеріалах та закономірностей їх окислення здійснювали методом високотемпературного диференційного-термічного аналізу (ВДТА) на установці ВДТА-8М. Подрібнення та змішування порошкових сумішей проводили у планетарному млині «Санд-1». Спікання композиційних матеріалів здійснювали у вакуумній печі СШОЛ. Покриття з розроблених композиційних матеріалів на основі нікелю наносили методом плазмового напилення на установці УПУ-3Д в лабораторії УПГЛ НАН України [9]. Порошкові матеріали на основі заліза, що розроблені у лабораторії НТУ КПП, напиляли на плазмові установці УПНС-304, з модернізованим плазмотроном [10]. Трибомеханічні випробування композиційних покриттів, що напилені на зразки з конструкційної легованої сталі 30ХГСНА, проводили на установці для кавітаційного зношування конструкції НАУ. Експерименти проводили в режимі: тиск на вході був постійний 15 МПа; перепад тиску $\Delta p = 0,93$; тиск насоса $P_n = 0,5$ МПа. Покриття наносили на зразки, які мали форму шайб діаметром 25 мм з центральним отвором 4 мм і товщиною 2 мм, які установлювали в конфузотно-дифузотну насадку перпендикулярно до струменя, що сприяло підвищенню швидкості ерозії і скороченню часу для проведення експерименту. У якості робочої рідини використовували водопровідну воду. Знос покриттів визначали на електронних вагах з точністю до 0,0001 г.

Результати дослідження та їх обговорення. У процесі триботехнічних випробувань композиційних покриттів особливу увагу приділяли початковій стадії процесу кавітаційного зношування, від якого залежить швидкість розповсюдження кавітаційних зон. Результати досліджень кавітаційної стійкості покриттів подані на рис. 1 і 2. Для отримання порівняльних даних експерименти проводили на сталях 30ХГСН2А і Х18Н12Т, які часто використовуються у якості конструкційних матеріалів у паливно-гідравлічних агрегатах.

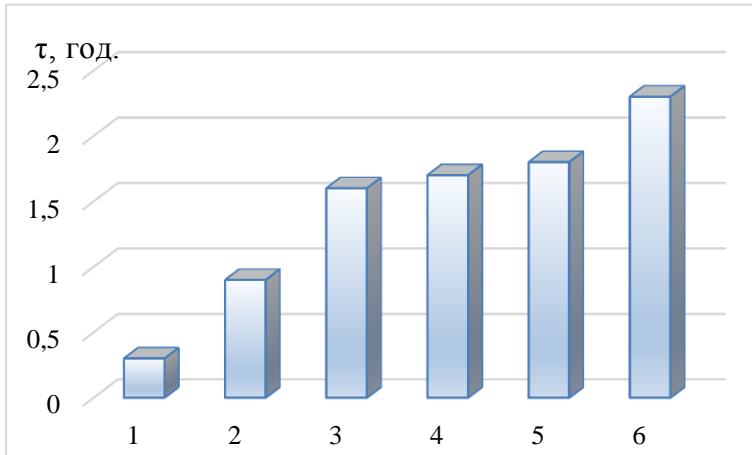


Рис.1. Інкубаційний період кавітації на композиційних плазмових покриттях на основі заліза 1 – механічна суміш; 3 – інтерметалід; на основі нікелю: 2 – самофлюс; 4 – NiCrBSiC+20% TiCrC і конструкційних легуваних сталей: 5-30ХГСН2А; 6-Х18Н12Т.

Як видно на рис. 1, інкубаційний період для покриттів і легуваних сталей 30ХГСН2А і Х18Н12Т знаходиться у широкому діапазоні, зокрема, для покриття 1, для якого руйнування настає через 20 хвилин, а для нержавіючої сталі Х18Н12Т – 2,3 години. Інкубаційний період усіх плазмових покриттів знаходиться інтервалі 0,3 – 1,7 години. Максимальний час початку руйнування становить 1,7 години для композиційного покриття NiCrBSiC + 20% TiCrC, а мінімальний для покриття Fe-Al (механічна суміш).

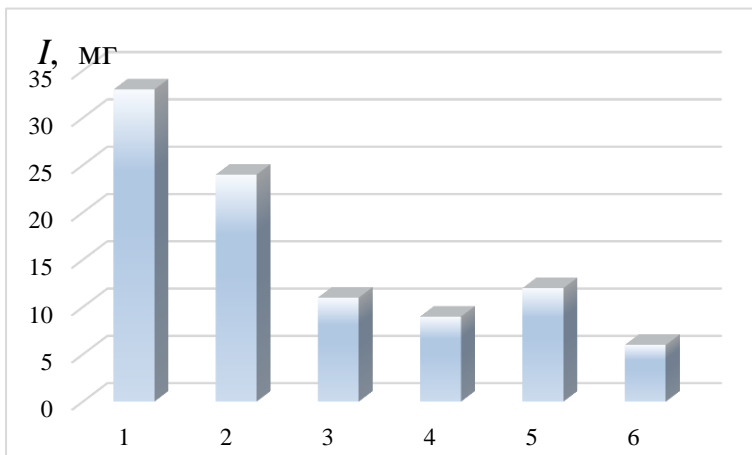


Рис.2. Кавітаційна стійкість композиційних плазмових покриттів на основі заліза: 1, 3; на основі нікелю: 2, 4; конструкційних легуваних сталей: 5 і 6.

Результати експериментальних випробувань на кавітаційну стійкість конструкційних легованих сталей і композиційних плазмових покриттів подано на рис. 2, які свідчать, що їх зносостійкість корелює з інкубаційним періодом, а саме, чим більше термін інкубаційного періоду, тим більш висока стійкість матеріалів і покриттів.

Кавітаційні руйнування композиційних покриттів, зміцнених інтерметалідами, докорінно відрізняється від механізму руйнування плазмового покриття на основі заліза з механічною сумішшю Fe-Al. Фрактограми зразків з композиційними покриттями (рис. 3, а) свідчать про відсутність великих і глибоких каверн, макротріщин і сколів покриттів. Рельєф поверхонь характеризується незначною шорсткістю. Це обумовлено тим, що в процесі розвитку кавітації, динамічні ділянки ударних хвиль і імпульсних мікроструменів рідини визиває деформування більш пластичного матричного матеріалу покриття, ніж покриття з механічною сумішшю. При невеликих ступенях деформації відбувається пружне зміщення матеріалу основи, що не стимулює руйнування покриття. У тих випадках, коли діючі сили перевищують межу пружності матричного матеріалу, відбувається пластичне зміщення матриці, що забезпечує її зміщення і більш міцнішому закріпленню частинок інтерметалідів. Все це сприяє зниженню інтенсивності кавітаційного зношування. Для покриття з механічною сумішшю, поверхнева міцність якого неоднорідна, мінімальне значення досягається в місцях розміщення мікропор, ударна хвиля стимулює появу і розвиток мікротріщин, а згодом інтенсивне руйнування (рис. 3 б).

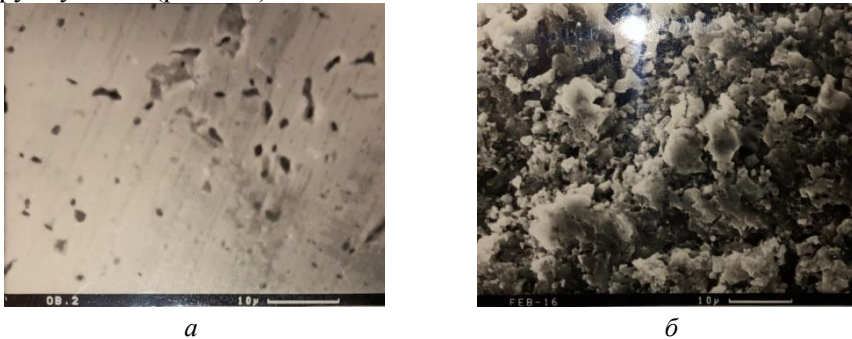


Рис. 3. Фрактограми поверхонь композиційних плазмових покриттів після кавітаційного зношування: *а* – з інтерметалідами; *б* – з механічною сумішшю.

Таким чином, висока зносостійкість композиційних покриттів з інтерметалідами обумовлена їх високим опором пластичним зсувам при мікроударній дії. Відповідальним за виникнення і розвиток ділянок ерозійного руйнування є бульбашки, які вдаряються у тверду поверхню, захоплюються, і це зумовлює виникнення ударних хвиль на поверхні покриттів. Висока стійкість плазмового покриття на основі нікелю відзначається не тільки вищою корозійною стійкістю у порівнянні з покриттями на основі заліза, а також особливостями поширення у поверхневих шарах ударних пружних і пластичних хвиль.

Висновки.

1. Установлено механізм зношування композиційних плазмових покриттів на основі нікелю і заліза. 2. Покриття у структурі яких, у якості зміцнюючої фази, знаходяться інтерметаліди мають більш високу зносостійкість у порівнянні з механічною сумішшю в умовах кавітації. 3. На основі проведених досліджень

розроблені практичні рекомендації для відновлення деталей трибоспрязень паливно-гідролічних агрегатів авіаційної техніки.

Список літератури

1. Колядина Р.А. К вопросу об ускоренных испытаниях арматуры на надежность / Р.А. Колядина, Ю.Д. Ситкин // Пневмогидроарматуростроение. сб. науч. трудов. - Л.: ЦКБА, 1975. - Вып. 8. - С. 3-8.
2. Аксёнов А.Ф. Износостойкость авиационных топливно-гидравлических агрегатов / А.Ф. Аксёнов, В.Н. Лозовский. - М.: транспорт, 1986 – 240 с.
3. Трибологія: підруч. / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашенко, Е.В. Корбут. - К.: вид-во Нац. авіац. ун-ту «Нау-друк» - 2009. – 329 с.
4. Богачёв И.Н. Кавитационное разрушение и кавитационные сплавы/ И.Н. Богачев. - М.: Металлургия, 1972 – 192 с.
5. Хильчевський В.В. Надежность трубопроводной пневмо-гидроарматуры / В.В. Хильчевский, А.Е. Ситников, В.А. Ананьевский. - М.: Машиностроение, 1989 – 208 с.
6. Причини втрати працездатності тертьових деталей аксіально-плунжерних гідролічних насосів / В.Ф. Лабунець, В.А. Тіт, А.В. Дмитренко, Р.М. Діденко // Проблеми тертя та зношування: наук. техн. зб. - К.: Вид-во НАУ, НАУ-друк, 2010. - Вип. 53 - С. 120 – 127.
7. Справочник по троботехнике / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. В 3 т. Т.1. Теоретические основы. - М.: Машиностроение, 1980 – 400 с.
8. Гочиташвили Т. Ш. К вопросу экспериментального обоснования расчетной модели процесса гидроабразивного изнашивания/ Т.Ш. Гочиташвили // Трение и износ, 1989 - Т.10 - №.5, С. 826-836.
9. Структура та зносостійкість плазмових покриттів з композиційних порошкових матеріалів системи NiCrBSiC-TiCrC / О.П. Уманський. М.С. Стороженко, Г.А. Баглюк, О.В. Мельник та ін.//Порошкова металурія, 2020 - №7/8, С.97-111.
10. Патент №54496 Україна. МПК (2009) B23K 10/00 - № 54496; заявл. 20.05.2010; опубл. 10.11.2010, бюл. №21.

Стаття надійшла до редакції 29.02.2021.

Мельник Олексій Валерійович – аспірант, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058.

Якобчук Олександр Євгенійович – старший викладач кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 72 58, E-mail: a-yak@ukr.net.

O. V. MELNYK, O. YE. YAKOBCHUK

ENSURING THE EFFICIENCY OF FUEL AND HYDRAULIC UNITS OF AIR-CRAFT BY RESTORING WORN PARTS

Ensuring the efficiency of fuel and hydraulic units of aircraft by restoring worn parts. An analysis of the loss of serviceability of hydraulic units and hydraulic equipment that wear out during the operation of aircraft. The surface physicochemical processes, such as corrosion, erosion is the reason for the largest number of failures of fuel and hydraulic units and hydraulic equipment. When examining the causes of the non-serviceable condition of the investigated components, that the main type of damage is to wear was found, namely: mechano-chemical, fatigue, abrasive, cavitation and fretting corrosion. Each type of wear can be both leading and supplementing. Depending on the operating conditions of the estimated friction pair, its efficiency is defined by the tribomechanical characteristics of the structural materials used for the parts manufacturing of the tribocouple. Cavitation wear is most common in fuel and hydraulic units. It occurs when air cavities slam and cause a water hammer effect. The self-fluxing powder materials are used for plasma spraying and recommended for the restoration of the damaged working surfaces of the parts of the friction units. In this process, intermetallics are part of self-fluxing powder materials. Composite plasma coatings based on iron and nickel significantly increase the incubation period and cavitation resistance compared to the coating without intermetallics. Cavitation destruction of composite coatings reinforced with intermetallics is radically different from the mechanism of destruction of plasma coating based on iron. Mechanisms of wear of composite plasma coatings in the conditions of cavitation wear are established. It is shown that the incubation period of structural materials and coatings correlates with their corrosion resistance. Based on the administered researches, possible directions for the restoration of details of tribocouples of fuel and hydraulic units of aeronautical engineering are developed.

Key words: cavitation wear, composite plasma coatings, structure, wear resistance.

Referenses

1. Kolyadina R.A. K voprosu ob uskorennykh ispytaniyakh armatury na nadezhnost' / R.A. Kolyadina, YU.D. Sitkin // Pnevmodidroarmaturostroyeniye. sb. nauch. trudov. - L.: TSKBA, 1975. - Vyp. 8. - S. 3-8.
2. Aksonov A.F. Iznosostoykost' aviatsionnykh toplivno-gidravlicheskiykh agregatov / A.F. Aksonov, V.N. Lozovskiy. - M.: transport, 1986 – 240 s.
3. Tribologiya: pidruch. / M.V. Kindrachuk, V.F. Labunets', M.Í. Pashenko, Ye.V. Korbut. - K.: vid-vo Nats. aviats. un-tu «Nau-druk» - 2009. – 329 s.
4. Bogachov I.N. Kavitatsionnoye razrusheniye i kavitatsionnyye splavy/ I.N. Bogachev. - M.: Metalurgiya, 1972 – 192 s.
5. Khil'chevskiy V.V. Nadezhnost' truboprovodnoy pnevmo-gidroarmatury / V.V. Khil'chevskiy, A.Ye. Sitnikov, V.A. Anan'yevskiy. - M.: Mashinostroyeniye, 1989 – 208 s.
6. Prichini vtrati pratsezdatsnosti tert'ovikh detaley aksial'no-plunzhernykh gidravlichnykh nasosiv / V.F. Labunets', V.A. Tit, A.V. Dmitrenko, R.M. Didenko // Problemi tertya ta znoshuvannya: nauk. tekhn. zb. - K.: Vid-vo NAU, NAU-druk, 2010. - Vip. 53 - S. 120 – 127.
7. Spravochnik po trebotekhnike / Pod obshch. red. M. Khebdy, A.V. Chichinadze. V 3 t. T.1. Teoreticheskiye osnovy. - M.: Mashinostroyeniye, 1980 – 400 s.
8. Gochitashvili T. SH. K voprosu eksperemental'nogo obosnovaniya raschetnoy modeli protsessu gidroabrazivnogo iznashivaniya/ T.SH. Gochitashvili // Treniye i iznos, 1989 - T.10 - №5, S. 826-836.
9. Struktura ta znosostykykist' plazmovykh pokryttiv z kompozitsyynikh poroshkovykh materialiv sistemi NiCrBSiC-TiCrC / O.P. Umans'kiy. M.S. Storozhenko, G.A. Baglyuk, O.V. Mel'nik ta in. // Poroshkova metalurgiya. 2020 - №7/8, S. 97-111.
10. Patent №54496 Ukraïna. MPK (2009) V23K 10/00 - № 54496; zayavl. 20.05.2010; opubl. 10.11.2010, byul. №21.