

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТРИБОСПОЛУЧЕНЬ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ МОДИФІКОВАНИМИ ДИСКРЕТНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Загальна постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними задачами. Важливе місце у вирішенні комплексу проблем підвищення надійності роботи авіаційної техніки, збільшення її термінів служби займають питання підвищення зносостійкості й надійності роботи вузлів тертя. У процесі експлуатації відбувається інтенсивне зношування робочих поверхонь трибосполучень у результаті високих навантажень, швидкостей і температур, впливу агресивних середовищ і вібрацій. При цьому спостерігається не тільки зміна розмірів деталей, але й їх фізико-механічних властивостей, що впливає на початковий стан матеріалів трибосполучень.

За останні роки зросла надійність деталей і вузлів літальних апаратів за рахунок підвищення вимог до якості рухомих деталей, більш надійними в роботі стала більшість вузлів тертя. Разом з тим, незважаючи на значні досягнення, проблему надійності не вирішено повністю. Надійність забезпечується головним чином на етапах виготовлення та ремонту літальних апаратів, що визначає практично її повну залежність від технологій.

Огляд публікацій та аналіз невирішених проблем. Досвід експлуатації літальних апаратів показує, що експлуатаційна надійність злітно-посадкових пристроїв як основних елементів конструкції літальних апаратів з точки зору міцності нижче експлуатаційної надійності інших систем планера. Це пояснюється тим, що міцність злітно-посадкових пристроїв літальних апаратів значною мірою залежить від рівня технологічних процесів виготовлення і ремонту деталей і вузлів, а також умов їх роботи.

Аналіз показує, що велика кількість несправностей і відмов шасі літальних апаратів цивільної авіації (АН-24, АН-26, АН-30, АН-32 та ін.) пояснюється важкими умовами експлуатації і підвищеним рівнем змінних навантажень, діючих при злеті, посадці й рулінні. У той же час у польоті система шасі є зайвим навантаженням, яке досягає на транспортних літаках 2...3% від злітної ваги. Прагнення забезпечити під час проектування оптимальну міцність при мінімальній вазі шасі призвело до того, що 70% деталей і вузлів шасі виготовляється з високоміцних конструкційних сталей 30ХГСА і 30ХГСНА, які мають підвищену чутливість до концентраторів напружень. До того ж значну кількість

з'єднань елементів конструкції шасі виконано за допомогою зварювання [1].

Найбільш характерними відмовами і несправностями шасі є пошкодження і знос пар тертя шарнірно-болтових з'єднань. Шарнірно-болтові з'єднання працюють при високих питомих навантаженнях, малих швидкостях ковзання, низькій і високій температурах поверхонь тертя, граничних умовах змащування, в умовах забруднення абразивом, пилом, конденсатом, атмосферними опадами.

Зношування шарнірно-болтових з'єднань починається з поверхні тертя, що призводить до зміни її геометрії, втрати кінематичної точності силової конструкції, перерозподілу навантажень, а в деяких випадках – до ударів в зчленуваннях, що в цілому може позначитися на надійності шасі літальних апаратів. Усе це потребує заходів щодо поліпшення якості поверхневого шару при виготовленні та ремонті поверхонь деталей і вузлів, які працюють в умовах високих експлуатаційних навантажень.

Велике розмаїття конструктивних елементів вузлів тертя, робочого середовища, умов навантаження разом з великою кількістю різновидів трибосполучень деталей, характеру пошкоджень рухомих з'єднань створює різні умови одночасного протікання трибологічних процесів, основними з яких є, як правило, циклічне навантаження, фретинг-корозія, абразивне зношування, схоплювання.

У загальному обсязі робіт з відновлення деталей на авіаремонтних підприємствах технологічні методи становлять різний відсоток (рис. 1). Усі вони успішно використовуються і дозволяють відновлювати практично усі пошкодження: з нестандартним ($\approx 58\%$), припустимим ($\approx 26\%$), стандартним ($\approx 11\%$) і довготривалим ($\approx 5\%$) ремонтом [2], але практично відновлюються тільки 20...30% пошкоджених поверхонь. Перспективність та ефективність використання того чи іншого методу визначається конкретними умовами роботи трибосполучення, що безпосередньо впливає на довговічність вузлів і якість відремонтованого виробу в цілому.

Одним з перспективних методів забезпечення високої працездатності деталей і вузлів є використання дискретних поверхонь. Принцип створення покриттів дискретної структури дозволяє по новому підійти до технології відновлення зношених деталей. Він реалізується різними технологічними процесами поверхневого зміцнення. Сьогодні активно розвиваються роботи з використання методу електроіскрового нанесення покриттів, який по суті й за природою формування є дискретним; механічний метод формування дискретних поверхонь, суть якого полягає у динамічній дії індентора на поверхню деталі й створенні мікрозаглиблень (лунок) за рахунок поверхнево-пластичної деформації. Мікрозаглиблення поліпшують мастильні властивості поверхні, підвищують опір схоплюванню і корозії, скорочують період

припрацювання. Ідея використання таких поверхонь також полягає у тому, що вони являють собою мікропастки для абразивних часток, які потрапляють у трибосполучення ззовні чи в результаті видалення продуктів зношення контактуючих поверхонь. Вибір оптимального розташування мікропоглиблень дозволяє конструювати поверхню з високими експлуатаційними властивостями, поліпшити триботехнічні характеристики, знизити напружений стан поверхні [3, 4, 5].

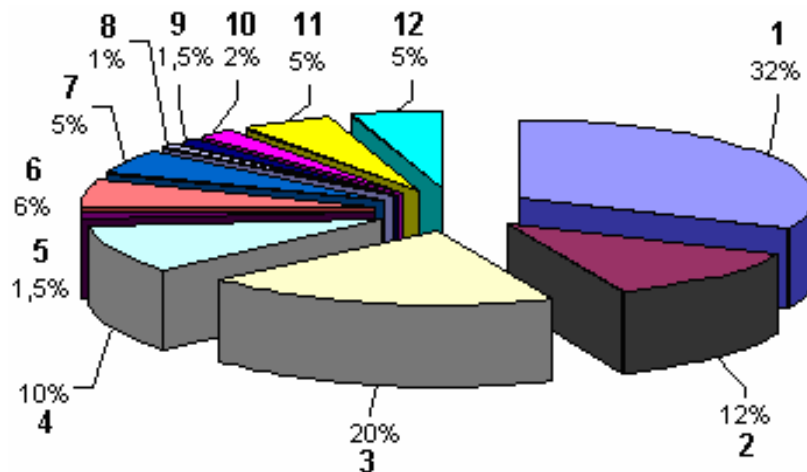


Рисунок 1 – Статистика застосування різних способів відновлення зношених деталей на авіаремонтних підприємствах [6]: 1 - наплавлення під шаром флюсу; 2 - вібродугове наплавлення; 3 - наплавлення у середовищі вуглекислого газу; 4 - наплавлення порошковим дротом без флюсового або газового захисту; 5 - плазмове наплавлення; 6 - електроконтактне спікання; 7- гальванічні способи; 8 - електромеханічне оброблення; 9 - електрошлакове наплавлення; 10 - заливка деталей рідким металом; 11 - відновлення деталей полімерами; 12 - інші способи

Мета дослідження. Вивчення процесів зношування дискретних поверхонь в умовах абразивного зношування і фретинг-втоми та дослідження їх властивостей.

Методика досліджень. Як досліджувані матеріали використовували сталь 30ХГСА. Дискретні структури наносили на зразки розміром 30×30 мм і товщиною 4 мм на спеціально розробленій установці [7]. Перед нанесенням дискретних структур зразки шліфувалися до шорсткості $R_z=0,63\pm 0,32$ мкм. Шорсткість поверхонь визначали на профілографі-профілометрі моделі 201.

Випробування зразків на абразивне зношування проводили на стандартній установці відповідно до ГОСТ 23.208-79 в умовах нежорстко закріпленого абразиву в середовищі кварцового піску (SiO_2) зернистістю 180...220 мкм, при швидкості ковзання 0,158 м/с, навантаженні 44,1 Н, шлях тертя 50 м. Перед випробуванням абразив просували у сушильній шафі при температурі 150°C.

Знос зразків визначали ваговим методом на аналітичних вагах АДВ-200 з точністю до 0,0001 г. До і після випробувань зразки промивали в етиловому спирту, просушували й зважували.

Експериментальне визначення характеристик опору фретинг-втому проводили на установці ВЛЗ (на базі електродинамічного вібростенду; сертифікаційний № UA6.001.Н.313) у режимі резонансних коливань за нормальних лабораторних умов. Плоскі консольні корсетного типу зразки випробували за умов симетричного поперечного згину. За критерій руйнування зразка приймали падіння власної частоти коливань на 1% порівняно з початковим резонансним значенням, що відповідало зародженню в «небезпечному» перерізі зразка поверхневої напівеліптичної макротріщини глибиною до 0,1 мм. Частота резонансних коливань зразків при випробуванні на втому становила ~ 130 Гц, на фретинг-втому – ~ 75 Гц.

Дослідження структури поверхневих шарів зразків проводили на растровому електронному мікроскопі.

Результати досліджень та їх аналіз. Експериментальні дослідження показали, що мінімальну зносостійкість в умовах абразивного зношування має загартована сталь 30ХГСАзаг (рис. 2). Зносостійкість сталі забезпечується високою твердістю поверхневих шарів, які протидіють більш активному руйнуванню поверхневих шарів абразивними частинками. Процес руйнування в основному визначається більшою твердістю абразивних частинок кварцового піску (11...12 ГПа).

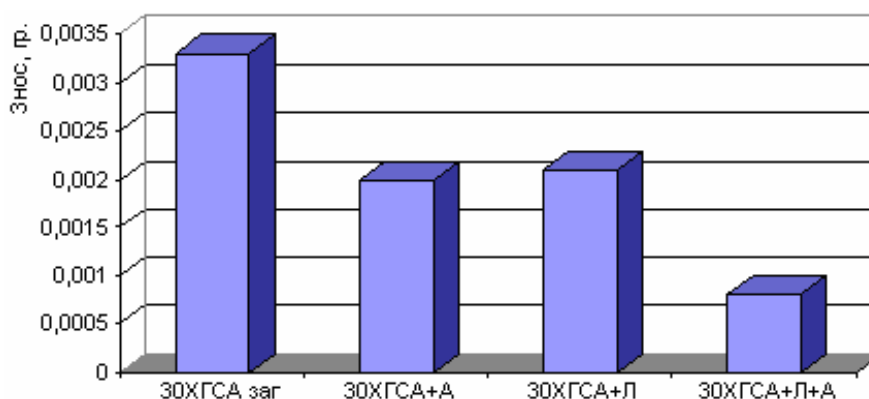


Рисунок 2 – Величина зношування дискретних поверхонь на сталі 30ХГСА при абразивному зношуванні (шлях тертя - 50 м, зернистість абразиву 180...220 мкм, швидкість ковзання 0,158 м/с, навантаження 44,1 Н)

У результаті силового впливу абразивні частки вдавлюються в поверхню зразка, що призводить до поступового переходу від пластичної деформації до процесу мікрорізання на контакті. Взаємодія абразивних частинок одна з одною під час удару формує осколки, деякі з яких заклинюються на поверхні тертя. Повторні пластичні деформації

призводять до “розпушування” поверхні тертя. Після використання всіх площ ковзання метал переходить у стан перенаклепу, стає крихким і руйнується. Зруйновані частини видаляються з поверхні течією абразивних частинок [5].

Формування дискретної поверхні у формі мікрозаглибин (лунок) забезпечує зниження абразивного зношування поверхні сталі 30ХГСА+Л на 37...38% за рахунок використання лунок як пасток для абразивних частинок. Деякі абразивні частки вилучаються з поверхні тертя і, потрапляючи до лунок, не контактують з нею. Заповнення об'єму лунки абразивними частинками призводить до поверхнево-пластичного деформування її стінок і залежно від рівня навантаження формуються різні за формою і глибиною кратери і лунки. Зносостійкість дискретної поверхні збігається зі зносостійкістю сталі, підданої іонному азотуванню.

Модифікація дискретної поверхні шляхом нанесення тонкого поверхневого шару покриття плюс іонне азотування (позначено як 30ХГСА+Л+А на рис. 2) дозволило підвищити зносостійкість на 70...72%. Висока зносостійкість забезпечується збільшенням твердості поверхневого шару, а також формуванням на поверхні залишкових напружень стиску, які досягають значень від 400 до 950 МПа, рівень і розподіл яких залежать від параметрів процесу імпульсного газотермічного циклу іонного азотування. Крім того, насичення поверхневого шару азотом дозволяє усувати дефекти, що виникли після формування лунок.

На абразивне зношування дискретних поверхонь суттєво впливає розмір абразивних частинок. Експериментальними дослідженнями встановлено, що зі збільшення розміру абразивних частинок величина зношування поверхні зразка зменшується [8].

Дослідження дискретних покриттів на фретинг-втому (рис. 3) показало, що відбувається істотне зниження характеристик опору втомі зразків із сталі 30ХГСА порівняно з вихідними зразками (границя витривалості зменшилася приблизно в 1,84 раза). Це пояснюється тим, що лунки є концентраторами напружень, і, крім того, у процесі нанесення лунок навколо них на поверхні зразка ініціюються залишкові напруження розтягу. Проте зниження характеристик опору фретинг-втомі дискретних покриттів відносно характеристик їх «чистої» втоми істотно менше (границі витривалості відрізняються приблизно в 1,22 раза), ніж зниження їх для полірованих зразків (границі витривалості відрізняються приблизно в 1,91 раза), що свідчить про деякий позитивний ефект дискретних ділянок відносно характеристик опору втомі в умовах фретинг-корозії. Крім цього, характеристики опору втомі в умовах фретинг-корозії зразків з лунками і полірованих зразків схожі (границі витривалості відрізняються приблизно в 1,17 раза), а в області напружень вище границі витривалості, криві втоми в умовах фретинг-корозії практично збігаються [3].

Суттєвий позитивний ефект на характеристики опору втомі має іонне азотування поверхонь дискретних поверхонь. При випробуваннях на фретинг-втому таких зразків жоден з них не руйнувався від фретинг-втоми. Тобто руйнування проходило від «чистої» втоми в зоні дії максимальних напружень по лінії розташування лунок.

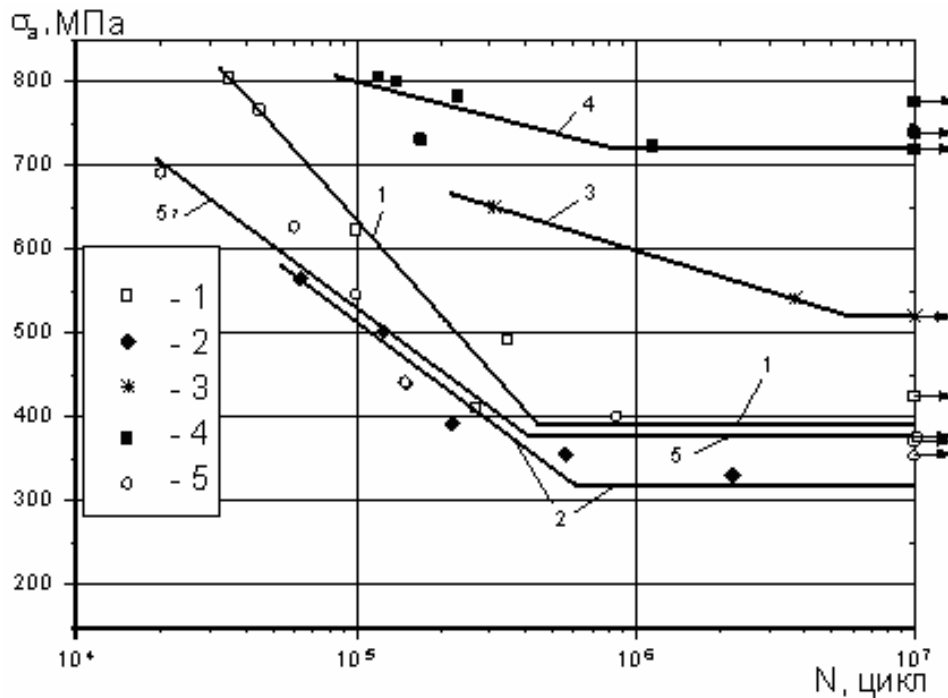


Рисунок 3 – Результати випробувань на втомі і фретинг-втомі зразків зі сталі 30ХГСА: 1, 3, 4 – криві «чистої» втоми; 2, 5 – криві втоми в умовах фретингу, \square , \blacklozenge – зразки з лунками; $*$ - зразки з лунками з подальшим іонним азотуванням, \blacksquare , \circ – поліровані зразки без покриття (σ_a - амплітуда напружень, N - число циклів навантаження до руйнування)

Висновки

1. Застосування дискретних покриттів забезпечує зниження абразивного зношування поверхні на сталі 30ХГСА на 37...38% за рахунок вилучення абразивних частинок і продуктів зношування з поверхні тертя.

2. Модифікація дискретних ділянок методом іонного азотування дозволяє розширити діапазон працездатності дискретного покриття в умовах абразивного зношування на 70...72%. Висока зносостійкість забезпечується збільшенням твердості поверхневого шару, а також формуванням на поверхні залишкових напружень стиску, рівень і розподіл яких залежать від параметрів процесу імпульсного газотермічного циклу іонного азотування. Крім того, насичення поверхневого шару азотом дозволяє усувати дефекти, що виникли після формування лунок.

3. Нанесення дискретного покриття знижує границю витривалості зразків із сталі 30ХГСА в умовах «чистої» втоми приблизно в 1,84 раза порівняно з початковим матеріалом без покриття. У той же час в умовах фретинг-втоми це зниження незначне – 1,17 раза.

4. Модифікація (оброблення) дискретного покриття методом іонного азотування підвищує характеристики опору втоми досліджуваного матеріалу в умовах фретингу. Границя витривалості підвищилася приблизно в 1,4 раза. З проведеного аналізу результатів зроблений висновок про значне підвищення початкової границі витривалості сталі 30ХГСА за рахунок азотування поверхні зразків.

5. На сьогоднішній день дискретні покриття є перспективними для використання в різних умовах контакту і зношування. Це свідчить про необхідність подальшого вивчення дискретних покриттів і розроблення оптимальних методів їх нанесення.

Список використаних джерел

1. Бойцов Б.Н. Надежность шасси самолета. – М.: Машиностроение, 1976. – 216 с.

2. Weisenbach M., Bennet G. Aircrafts battle damage repair estimating procedures and effectiveness impacts // AIAA. Per. – 1986. - №2689. – P. 1 - 7.

3. Цыбанев Г.В., Марчук В.Е., Герасимчук О.Н. Фреттинг-усталость поверхностей с дискретными покрытиями // Проблемы трибологии. – 2009. - № 1. – С. 97 - 104.

4. Марчук В.Є. Зносостійкість дискретних поверхонь в умовах фретинг-зношування // Вісник НАУ. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту “НАУ-друк”, 2010. – Вип. 2 (43). – С. 40 - 45.

5. Марчук В.Є. Механізм зношування дискретних поверхонь в умовах абразивного зношування // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту “НАУ-друк”, 2010. – Вип. 52. – С. 112 - 119.

6. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.

7. Пат. 13762 Украина, F01L 1/20, F01L 1/46. Пристрій для утворення на плоскій поверхні тертя рельєфу заглибин, що утримують мастильні матеріали / Марчук В.Є., Шульга І.Ф., Шульга О.І., Плюснін О.Є. (Україна). – u200509981; заявл. 24.10.2005; опубл. 17.04.2006. Бюл. № 4. – 4 с.: ил.

8. Марчук В.Є. Вплив зернистості абразиву на зносостійкість дискретних поверхонь // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту “НАУ-друк”, 2010. – Вип. 53. – С. 139 - 146.

Поступила в редакцію 04.12.2010.

*Рецензент: канд. техн. наук, проф. Н.И. Семишов,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков*