

С.А. Плешкунов, Р.М. Джус, С.В. Рєзніков

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ АГРЕГАТИВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ЗАСТОСУВАННЯМ ІОННО-ПЛАЗМОВИХ МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ

Анотація. Наведено результати досліджень про можливість підвищення ресурсу агрегатів авіаційної техніки застосуванням іонно-плазмових методів зміцнення. Визначено переваги такого виду зміцнення перед традиційним цементуванням. Результати було отримано завдяки розробленою авторами методики прискореної оцінки показників втомної пошкоджуваності, яка істотним чином зменшує час порівняльної оцінки. На основі цих досліджень в подальшому можливе впровадження та використання іонно-плазмових технологій азотування для подовження ресурсних показників агрегатів авіаційних двигунів та трансмісій повітряних суден

Ключові слова: авіаційна техніка, повітряне судно, подовження ресурсу, іонно-плазмове азотування, авіаційний двигун, трансмісія авіаційної техніки, контактна втомна міцність.

The results of research on the possibility of increasing the resource of Aeronautical Engineering units using ion-plasma strengthening methods are presented. The advantages of this type of strengthening over traditional cementation have been determined. The results were obtained thanks to the method of accelerated assessment of fatigue damage indicators developed by the authors, which significantly reduces the time of comparative assessment. On the basis of these studies, it is possible to introduce and use ion-plasma nitriding technologies in the future to extend the service life of aircraft engine units and aircraft transmissions.

Key words: aeronautical engineering, aircraft, service life extension, ion-plasma nitriding, aircraft engine, aircraft transmission, contact fatigue strength.

Збільшення ресурсу авіаційної техніки в сучасних обставинах та при існуючому положенні зі справністю є актуальним, як ніколи, завданням. Ресурс агрегатів двигунів та трансмісій авіаційної техніки визначається здатністю уникати втомного руйнування поверхонь тертя завдяки контактній міцності матеріалу. А вона може бути підвищена шляхом зниження механічних і термічних впливів на контактуючі поверхні внаслідок їх деформації при терті [1].

Серед методів зменшення таких впливів широко використовуються хіміко-термічні методи цементації. Також для цього застосовують азотування, хоча і в меншій мірі. Це пов'язано з уявленнями про перевагу цементації перед азотуванням у формуванні зміцнених шарів великої протяжності.

Але на даний час розроблені і застосовуються нові методи азотування, які мають значні переваги над цементацією. Для визначення експлуатаційних показників (у тому числі і ресурсних) конструкційних матеріалів, зміцнених за новими методами, необхідно проведення довготривалих та коштовних випробувань на втомну міцність на машинах тертя, які моделюють роботу агрегатів авіаційної техніки. Такий стан питання обумовлює обмежену кількість досліджень по впливу азотування на величину контактної міцності матеріалів, особливо іонно-плазмовими методами азотування, які мають істотні відмінності та переваги перед традиційними піщаними методами газового азотування [2-7].

В Україні проводяться інтенсивні дослідження і розробки багатокомпонентних багатофункціональних покриттів та методів їх нанесення на поверхні з прецизійною обробкою, яку потребують деталі вузлів сучасних агрегатів літакобудування, космічної техніки та інших галузей [6-8]. Такі ж дослідження проводяться і за кордоном [9-12]. Розробляються і методи прискорених випробувань таких високоміцних трибо спряжень, що також відкриває перспективи подальшого їх поширення [13].

Широко використовуємі в промисловому виробництві АТ «ФЕД» методи плазмового прецизійного азотування «Авініт N» [5-7], мають істотні відмінності і переваги перед традиційними грубними методами газового азотування, а саме:

- значне скорочення (в 2-3 рази) тривалості дифузійного насичення азотом поверхневого шару сплавів на основі заліза при загальному скороченні часу технологічного циклу обробки до 3-5 разів;

- дозволяють повністю уникнути водневої крихкості;

- забезпечують збереження розмірів (азотування «в розмір») і високу чистоту обробки поверхні, зниження крихкості азотованого шару і формування нітридних зон всіх складів без пір, внаслідок чого не потрібно доопрацювання поверхні після азотування.

Застосування ж традиційних методів газового азотування вимагає проведення дуже трудомістких, складних операцій високоточного механічного шліфування, як, наприклад, при виготовленні деталей зубчастих передач високої точності. При цьому, через формування крихкого нітридного шару необхідно, часом, зішліфувати його на глибину до 0,1 мм, що може становити значну частину всього зміцненого шару і як наслідок, істотно погіршення механічних характеристик.

Авторами проводилися трибологічні дослідження впливу плазмового азотування за технологією АТ «ФЕД» на контактну міцність від втоми сталі 20Х3МВФ ГОСТ 20072 при терті кочення з проковзуванням поверхонь і порівняння отриманих результатів з контактною втомною міцністю такої ж сталі, зміцненої за традиційною технологією газової цементації. Вони показали, що зносостійкість зразків, зміцнених азотуванням «Авініт N», істотно вище, ніж зразків, зміцнених традиційною цементацією.

Проведено аналіз структурно-енергетичного балансу енергії поверхневих шарів в умовах контактної взаємодії, який дозволив визначити критерій утомної міцності матеріалів: питома енергія руйнування за один цикл навантаження $\bar{E}_{\text{пит}}$. На основі цього сформульовано умови проведення прискорених випробувань на контактну втомну міцність з використанням методу акустичної емісії (АЕ): імпульсне навантаження до максимальних величин з реєстрацією кількості циклів до настання утомного пошкодження. На базі цього розроблено методику прискореної оцінки показників утомної міцності поверхневих шарів конструкційних матеріалів, яка істотним чином зменшує час експериментальної оцінки при проведенні порівняльних випробувань різних конструкційних матеріалів чи порівняння різних видів їх модифікації (зміцнення). Метод реєстрації сигналу АЕ експериментально визначено як зручний та точний інструмент кількісної оцінки параметру утомної пошкоджуваності $n_{\text{кр}}$.

Теоретично встановлено, що основним фактором, який впливає на утомну контактну міцність матеріалу є коефіцієнт дисипації енергії, постійний для кожного з матеріалів.

Запропонована методика прискореної оцінки показників втомної пошкоджуваності конструкційних матеріалів істотним чином зменшує час порівняльної оцінки. Вона може бути використана при розробці нових конструкційних матеріалів або способів їх зміцнення.

Результати довготривалих випробувань на базі 1 млн. циклів підтвердили висновки, зроблені після порівняльних випробувань за розробленою методикою прискореної оцінки показників утомної пошкоджуваності. Інтегральна багатоциклова стійкість до утомного зношування зразків, зміцнених азотуванням (іонно-плазмове азотування «Авініт N» з глибиною шару 0,25 мм), в 10 разів вище, ніж у зразків, зміцнених цементацією (з глибиною шару 1,2 мм). Поглиблені фрактографічні, мікроструктурні і фазові дослідження особливостей поверхневого шару сталевих зразків, зміцнених традиційною цементацією та іонно-плазмовим азотуванням, виявили причини значної переваги іонно-плазмового азотування перед цементуванням за показником втомної міцності.

На основі цих досліджень в подальшому можливе впровадження та використання іонно-плазмових технологій азотування замість цементування для подовження ресурсних показників агрегатів авіаційних двигунів та трансмісій повітряних суден, приймаючи до уваги також такі переваги азотування, як збереження розмірів та високої чистоти обробки поверхонь, внаслідок чого відпадає необхідність їх механічної доробки після зміцнення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прочность материалов и конструкций: Серия монографий. Под общ. ред. Трощенко В.Т. К.: Институт проблем прочности им. Г.С.Писаренко НАН Украины. Т.2. *Усталость металлов. Влияние состояния поверхности и контактного взаимодействия*. Трощенко В.Т., Цыбанев Г.В., Грязнов Б.А., Налимов Ю.С. 2009. 664 с..
2. Пастух І.М. Вплив режимних параметрів азотування у тліючому розряді на товщину нітридної зони модифікованого шару / І.М. Пастух, Г.М. Соколова, О.С. Здибель // Вісник Хмельницького національного університету, 2014, №4 (215). – С. 130-134.
3. Могильная Е.П. Ионное азотирование изделий из конструкционной стали 38ХМФА / Е.П. Могильная, В.М. Дубасов // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні, 2013, №1. – С. 193-198.
4. Костик К.О. Порівняльний аналіз впливу газового та іонно-плазмового азотування на зміну структури і властивості легованої сталі 30Х3ВА / К.О. Костик, В.О. Костик // Вісник Нац.

техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. Темат. вип. : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – №48 (1090). – С. 21-41.

5. Сагалович О.В., Сагалович В.В. Спосіб іонно-плазмового прецизійного азотування поверхонь сталей та сплавів Avinit N. Pat. UA №84664 від 25.10.13.

6. Сагалович О.В., Сагалович В.В. Спосіб іонно-плазмового прецизійного азотування поверхонь сталей та сплавів Avinit N. Pat. UA №107408 від 28.12.14.

7. Sagalovich V.V., Sagalovich, A.V. The method of ion-plasma precision nitriding of the surfaces of metal products, Patent 2555692, Russian Federation, C23C8/36 (H01J 37/00), C23C14/48, stated 27.12.2014; publ. 10.07.2015, Bull. No. 19, 13 p.

8. Сагалович А.В. Разработка многокомпонентных покрытий для повышения износостойкости поверхностей пар трения в прецизионных узлах / Сагалович А.В., Дудник С.Ф., Сагалович В.В., Кононыхин А.В., Попов В.В., Любченко А.П., Олейник А.К. // Физическая инженерия поверхности. – 2007. – Т. 5, № 3-4. – С. 155-164.

9. Amiri M. On the thermodynamics of friction and wear – a review / M. Amiri, M.M. Khonsari // Entropy. Vol. 12, – 2010. – P. 1021–1049.

10. Yunhui M. Research on friction-coatings with activated ultra-thick tin-base / M. Yunhui, T. Dehua, W. Xicheng, L. Qinghua // Advanced Tribology. – 2010. – P. 915–919.

11. Gromakovsky D.G. Problems of Kinetics of Surface Destruction / D.G. Gromakovsky, A.G. Kovshov, I.D. Ibatullin, A.V. Dynnikov // Proceedings of VII-th International Symposium "INTERTRIBO 2002", section B – Wear. – Slovak Republic, Stara Lesna: House of Technology, 2002. – P. 57-58.

12. Gromakovsky D.G. Modelling and Wear Calculation on Friction / D.G. Gromakovsky, A.N. Malyarov, Y.P. Samarin // Abstracts of Papers of the World Tribology Congress. – Bath, UK: Bookcraft Limited, 1997. – 462 p.

13. Стадниченко В. М. Методика прискороної оцінки проказників втомної пошкоджуваності конструкційних матеріалів / В.М. Стадниченко, Р.М. Джус, С.А. Плешкунов // Системи озброєння і військова техніка. – 2019. – № 2(58). – С. 122-131. <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.58.15>.

Плешкунов Сергій Анатолійович – старший викладач кафедри інженерно-авіаційного забезпечення Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: pleshkunov70@ukr.net.

Джус Роман Миколайович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, старший викладач кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: dromnik1@gmail.com.

Резніков Сергій Володимирович – старший викладач кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: dromnik1@gmail.com.

Pleshkunov Sergiy – Senior Lecturer of the Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: pleshkunov70@ukr.net.

Dzhus Roman Mykolayovych – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Senior Lecturer of the Department of Design and Strength of Aircraft and Engines, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: dromnik1@gmail.com.

Reznikov Serhii Volodymyrovych – Senior Lecturer of the Department of Design and Strength of Aircraft and Engines, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: dromnik1@gmail.com.