

ЗАСТОСУВАННЯ ІОННО-ПЛАЗМОВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ АГРЕГАТІВ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ТА ЇХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Анотація

У доповіді представлені результати порівняльної оцінки технологічних методів цементації та іонно-плазмового азотування по технології "АВІНІТ N" (АТ "ФЕД") при їх використанні для зміцнення високонавантажених вузлів авіаційної техніки.

Ключові слова: акустична емісія, утомна міцність, зміцнення поверхонь тертя цементацією, зміцнення поверхонь тертя азотуванням, іонно-плазмове азотування, технологія зміцнення «Авініт N», методика прискорених випробувань.

Abstract

The report presents the results of a comparative assessment of technological methods of carburising and ion-plasma nitriding using the technology 'AVINIT N' (JSC 'FED') when they are used to strengthen high-load components of aviation equipment.

Keywords: acoustic emission, fatigue strength, hardening of friction surfaces by carburising, strengthening of friction surfaces by nitriding, ion-plasma nitriding, 'Avinit N' hardening technology, accelerated test method.

Вступ

Часто ресурс агрегатів і деталей 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 таких методів широко використовуються хіміко-термічні методи цементації. Також для цього застосовують азотування, хоча і в меншій мірі. Але на даний час розроблені і застосовуються нові методи азотування, які мають значні переваги над цементацією. Але для оцінки експлуатаційних показників конструкційних матеріалів, зміцнених за новими методами, необхідно проведення довготривалих випробувань на втомну міцність на машинах тертя, які моделюють роботу таких спряжень. 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 пічними методами газового азотування [2–7].

Результати досліджень

В нашій країні проводилися 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 грубими методами газового 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, зішліфувувати його на глибину до 0,1 мм, що може становити значну частину всього зміцненого шару і як наслідок, істотне погіршення механічних характеристик. Автором

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. В середньому по чотирьом випробуванням, пари зразків до утворення початкових осередків втомного викришування відпрацювали: – зміцнені азотуванням «Авініт N» – 97875 циклів; – зміцнені газовою цементацією – 53812 циклів. Інтегральна багатоциклова стійкість до втомного зношування (руйнування) зразків, зміцнених азотуванням «Авініт N», більш ніж в 10 разів вище, ніж у зміцнених цементацією. Це пов'язано з механізмами втомного руйнування цементованих зразків (вищерблення по межі дефекту). Результати досліджень можуть служити основою для проведення дослідних робіт з використання іонно-плазмових технологій азотування замість цементування з метою підвищення контактної міцності поверхні деталей, беручи до уваги також такі переваги цієї технології, як збереження розмірів та високої чистоти обробки поверхонь, внаслідок чого відпадає необхідність їх механічної доробки після зміцнення.

Висновки

Попередні експерименти на контактну утому при великих навантаженнях ($\sigma_{\max} \approx 1400$ МПа), (багатоциклове утомне зношування) показали багатократну перевагу методу зміцнення "АВІНІТ N" перед цементацією за параметром сумарного вагового зносу (біля 10 разів) [1]. Однак, при даних умовах випробувань неможливо відрізнити знос малоциклової утоми (який відбувається за механізмом утворення та руйнування на поверхнях тертя вторинних структур) від багатоциклової утоми (при якому дефекти накопичуються у великих об'ємах поверхневого шару). Тому цілком актуальним було завдання проведення таких експериментальних випробувань для оцінки параметрів зносостійкості саме від малоциклової утоми. Для цього величина питомого навантаження в зоні контакту в експериментальних дослідженнях була знижена (у порівнянні з експериментами, проведеними у попередніх випадках [1], [13]) до $\sigma_{\max} \approx 500$ МПа (за формулою Герца) і змащування здійснювалося авіаційним гасом ТС-1. Решта умов та параметрів випробувань відповідали випробуванням на зносостійкість за механізмом багатоциклової утомної міцності [1].

Триботехнічні характеристики оцінювались за показниками вагового зносу, коефіцієнта тертя і середньоповерхневої температури випробуваних зразків. Відсутність початкових пошкоджень утомного характеру оцінювались за показниками АЕ [14-16]. Встановлено, що перехід від нормального зношування до початкових пошкоджень утомного характеру супроводжується сигналами акустичної емісії, енергоємність яких вище від першопочаткового рівня в 5...10 разів [15].

Аналіз результатів визначення коефіцієнтів тертя свідчить про те, що коефіцієнти тертя зразків, зміцнених за технологією "AVINIT N" суттєво, приблизно на 30% менші, ніж коефіцієнти тертя, одержані при випробуваннях зразків зміцнених цементацією [17].

Таким чином, проведений авторами комплекс експериментальних досліджень перспективної технології підвищення контактної утомної міцності методом іонно-плазмового азотування "АВІНІТ N" при моделюванні трибоспрямих авіаційної техніки показав її значну перевагу перед традиційним зміцненням цементацією та може бути використаним для збільшення ресурсу авіаційної техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Р.М. Джус, М.Г. Стадніченко, В.В. Попов, С.А. Плешкунов, Я.І. Семенов Порівняльна оцінка технологічних методів цементації та іонно-плазмового азотування при їх використанні для зміцнення високонавантажених вузлів авіаційної техніки Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2020. № 2(39). С. 54-61. <https://doi.org/10.30748/nitps.2020.39.06>.
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 прискореної оцінки проказників втомної пошкодженості конструкційних матеріалів / В.М. Стадниченко, Р.М. Джус, С.А. Плешкунов // Системи озброєння і військова техніка. – 2019. – № 2(58). – С. 122– 131.
14. S.F. Filonenko, V.N. Stadnichenko and O.N. Troshin, "Research of influence of thermal resistance of elements of tribosystem on wearproofness of friction units," *Proceeding of the fourth world congress "Aviation in the XXI-st century", "Safety in aviation and space technology"*, 2010. Vol. 1, pp. 12.1–12.4.
15. Wang Zh., Wu X., Liu X., Cao Y., Xie J. Research on feature extraction algorithm of rolling bearing fatigue evolution stage based on acoustic emission. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol. 113. 2018. P. 271 284.
16. Sause M., Hamstad M. Acoustic Emission Analysis. *Comprehensive Composite Materials II*. Vol. 7. 2018. P. 291-326.
17. Р.М. Джус, М. Г. Стадніченко, С. А. Плешкунов, Ю.О. Градиський Порівняльний аналіз параметрів зносостійкості зразків, зміцнених цементуванням та іонно-плазмовим азотуванням, працюючих в умовах багатоциклового зношування. *Проблеми тертя та зношування*, 2020, №3 (88). С. 87-98.

Джус Роман Миколайович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший викладач кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів, e-mail: dromnik1@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7079-0912>, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

Плешкунов Сергій Анатолійович, доктор філософії, старший викладач кафедри інженерно-авіаційного забезпечення, e-mail: dromnik1@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0733-4535>, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

Roman Dzhus, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Senior Lecturer of the Department of Structure and Strength of Aircraft and Engines, e-mail: dromnik1@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7079-0912>, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv.

Serhii Pleshkunov, Master, Senior Lecturer of the Department of of Engineering and Aviation Support, e-mail: dromnik1@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0733-4535>, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv