

Плешкунов С.А., ст. викладач

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІОННО-ПЛАЗМОВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ ТРИБОСИСТЕМ

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Ключові слова: контактна втомна міцність, іонно-плазмові методи, цементация, азотування.

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 цементации. Також для цього застосовують азотування, хоча і в меншій мірі. Це пов'язано з уявленнями про перевагу цементации перед азотуванням у формуванні зміцнених шарів великої протяжності.

Але на даний час розроблені і застосовуються нові методи азотування, які мають значні переваги над цементацией. 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].

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 грубими 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, че-

рез 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.

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.

Література

1. Ибатуллин И.Д. Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев: монография / И.Д. Ибатуллин. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 387 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., Дуд-

ник 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>.

Bibliography (transliterated)

1. Ibatullin I.D. Kinetika ustalostnoy povrezhdaemosti i razrusheniya poverhnostnyih sloev: monografiya / I.D. Ibatullin. – Samara: Samar. gos. tehn. un-t, 2008. – 387 p.

2. Pastuh I.M. Vpliv rezhimnih parametriv azotuvannya u tliyuchoму rozryadi na tovschinu nitridnoyi zoni modifikovanogo sharu / I.M. Pastuh, G.M. Sokolova, O.S. Zdibel // Вісник Хмельницького національного університету, 2014, #4 (215). – P. 130–134.

3. Mogilnaya E.P. Ionnoe azotirovanie izdeliy iz konstruktsionnoy stali 38HMFA / E.P. Mogilnaya, V.M. Dubasov // Resursozberigayuchi tehnologiyi virobnitstva ta obrobki tiskom materIaliv u mashinobuduvanni, 2013, #1. – P. 193–198.

4. Kostik K.O. Porivnyalniy analiz vplivu gazovogo ta ionno-plazmovogo azotuvannya na zminu strukturi i vlastivosti legovanoi stali 30H3VA / K.O. Kostik, V.O. Kostik // Вісник Нав. техн. ун-ту «НПІ»: зб. наук. пр. Темат. вип.: Нови рiшення в сучасних технологiях. – Харків: НТУ «НПІ». – 2014. – #48 (1090). – P. 21–41.

5. Sagalovich O.V., Sagalovich V.V. Sposib ionno-plazmovogo pretsiziynogo azotuvannya poverhon staley ta splaviv Avinit N. Pat. UA #84664 vid 25.10.13.

6. Sagalovich O.V., Sagalovich V.V. Sposib ionno-plazmovogo pretsiziynogo azotuvannya poverhon staley ta splaviv Avinit N. Pat. UA #107408 vid 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. Sagalovich A.V. Razrabotka mnogokomponentnyih pokrytiy dlya povyisheniya iznosostoykosti poverhnostey par treniya v pretsizionnyih uzlah / Sagalovich A.V., Dudnik C.F, Sagalovich V.V., Kononyihin A.V., Popov V.V., Lyubchenko A.P., Oleynik A.K. // Fizicheskaya inzheneriya poverhnosti. – 2007. – Т. 5, # 3–4. – P. 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 // *Absrtacts of Papers of the World Tribology Congress*. – Bath, UK: Bookcraft Limited, 1997. – 462 p.
13. Stadnichenko V.M. Metodika priskorenoyi otsinki prokaznikov vtomnoyi po-shkodzhuvanosti konstruktsiynih materialiv / V.M. Stadnichenko, R.M. Dzhus, S.A. Pleshkunov // *Sistemi ozbroennya i viyskova tehnika*. – 2019. – # 2(58). – P. 122–131. <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.58.15>.

УДК 621.9.031

Плешкунов С.А., ст. викладач

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІОННО-ПЛАЗМОВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ ТРИБОСИСТЕМ

В Україні та світі зараз 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. Широко використовуємо в промисловому виробництві АТ «ФЕД» методи плазмового прецизійного азотування «Авініт N», мають істотні відмінності і переваги перед традиційними грубними методами газового азотування, а саме: значне скорочення 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. У статті наведено результати трибологічних досліджень впливу плазмового азотування за технологією АТ «ФЕД» на контактну міцність від втоми сталі 20ХЗМВФ 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. 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.

Ключові слова: контактна втомна міцність, іонно-плазмові методи, цементация, азотування.

Плешкунов С.А., ст. преподаватель

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ТРИБОСИСТЕМ

В Украине и мире сейчас проводятся интенсивные исследования и разработки многокомпонентных функциональных покрытий и методов их нанесения на поверхности с прецизионной обработкой, которую требуют детали узлов современных агрегатов самолетостроения, космической техники и других отраслей. Широко используемый в промышленном производстве АО «ФЭД» методы плазменного прецизионного азотирования «Авинит N», имеют существенные отличия и преимущества перед традиционными печными методами газового азотирования, а именно: значительное сокращение продолжительности диффузионного насыщения азотом поверхностного слоя сплавов на основе железа при общем сокращении времени технологического цикла обработки до 3-5 раз; позволяют полностью избежать водородной хрупкости; обеспечивают сохранение размеров (азотирование «в размер») и высокую чистоту обработки поверхности, снижение хрупкости азотированного слоя и формирования нитридных зон всех составов без пор, вследствие чего не требуется доработка поверхности после азотирования. В статье приведены результаты трибологических исследований влияния плазменного азотирования по технологии АО «ФЭД» на контактную прочность от усталости стали 20Х3МВФ ГОСТ 20072 при трении качения с проскальзыванием поверхностей и сравнение полученных результатов с контактной усталостной прочностью такой же стали, упрочненной по традиционной технологии газовой цементации. Они показали, что износостойкость образцов, усиленных азотированием «Авинит N», существенно выше, чем образцов, упрочненных традиционной цементацией. Интегральная многоцикловая стойкость к усталостному износу (разрушению) образцов, упрочненных азотированием «Авинит N», более чем в 10 раз выше, чем в упрочненных цементацией. Это связано с механизмами усталостного разрушения цементируемых образцов (выкрашивание по границе дефекта). Результаты работы могут служить основой для проведения исследовательских работ по использованию ионно-плазменных технологий азотирования вместо цементирования с целью повышения контактной прочности поверхности деталей, учитывая также такие преимущества этой технологии, как сохранение размеров и высокой чистоты обработки поверхностей, в результате чего отпадает необходимость их механической доработки после упрочнения.

Ключевые слова: контактная усталостная прочность, ионно-плазменные методы, цементация, азотирование.

Pleshkunov S.A., Senior Lecturer

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF ION-PLASMA METHODS FOR INCREASING THE FATIGUE STRENGTH OF TRIBOSYSTEMS

Intensive research and development of multicomponent functional coatings and methods of their application on the surface with precision processing, which is required by the components of modern units of aircraft construction, space technology and other industries, are now being carried out in Ukraine and in the world. The Avinit N plasma precision nitriding methods widely used in industrial production of JSC FED have significant differences and advantages over traditional furnace methods of gas nitriding, namely: a significant reduction in the duration of diffusion saturation with nitrogen of the surface layer of iron-based alloys with an overall reduction in the technological time processing cycle up to 3-5 times; completely avoid hydrogen embrittlement; ensure dimensional preservation (nitriding “to size”) and high surface finish, reduction of the brittleness of the nitrided layer and the formation of nitride zones of all compositions without pores, as a result of which surface refinement after nitriding is not required. The article presents the results of tribological studies of the effect of plasma nitriding according to JSC FED technology on the contact strength from fatigue of steel 20X3MVF GOST 20072 during rolling friction with slipping surfaces and comparing the results with the contact fatigue strength of the same steel hardened by traditional gas cementation technology. They showed that the wear resistance of specimens reinforced with Avinit N nitriding is significantly higher than that of specimens hardened by traditional carburizing. The integrated multi-cycle resistance to fatigue wear (fracture) of samples hardened by nitriding Avinit N is more than 10 times higher than that hardened by cementation. This is due to the mechanisms of fatigue failure of cemented samples (spalling along the boundary of the defect). The results of the work can serve as the basis for conducting research on the use of ion-plasma nitriding technologies instead of cementing in order to increase the contact strength of the surface of the parts, taking into account also the advantages of this technology, such as maintaining the size and high purity of the surface treatment, as a result of which there is no need for their mechanical refinement after hardening.

Keywords: contact fatigue strength, ion-plasma methods, cementation, nitriding.