

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.1(102).18414

В. В. ХАРЧЕНКО, І. А. ГУМЕНЮК, А. О. КОРНІЄНКО, М. С. ІВАНИЦЬКИЙ
Національний авіаційний університет

КОМБІНОВАНІ МЕТОДИ ІНЖЕНЕРІЇ КОНТАКТНИХ ПОВЕРХОНЬ ТРИБОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Питання забезпечення міцності та надійності техніки, підвищення зносостійкості та розширення діапазону роботи пар тертя в екстремальних умовах експлуатації потребують рішень, пов'язаних з інноваційними технологіями утворення зносостійких поверхонь, які дозволяють суттєво підвищити ефективність використання методів зміцнення, створення нових та удосконалення існуючих. Проведено короткий огляд комбінованих методів інженерії контактних поверхонь трибологічних систем. Показана перспективність застосування даного напрямку для розширення діапазону використання дискретних захисних структур, а саме в умовах фретингу, фретинг-втоми, граничного тертя.

Ключові слова: *комбіновані методи інженерії, текстура, зношування, лазерна обробка, азотування.*

Вступ. Розвиток науки про тертя та зношування стає все більш важливим у сучасному машинобудуванні. Питання підвищення зносостійкості та зниження втрат у трибологічних системах залишаються значною мірою невирішеними через складність процесів і явищ, що відбуваються в тонких поверхневих шарах. Дослідження цих явищ за довгу історію існування науки про тертя та зношування викликає значний інтерес у трибологічній спільноті.

Економічна доцільність комплексного забезпечення якості поверхневих шарів у трибологічних системах поклала початок науковому напрямку інженерії поверхні – розробці комбінованих методів інженерії, інноваційний характер яких охоплює комплекс наукових напрямів різних наук і знань, поєднує методи цілеспрямованої зміни фізико-хімічних властивостей поверхневих шарів матеріалів шляхом деформації, модифікації, нанесення плівок, покриттів, захисних шарів різними методами та їх комбінаціями. Унікальне поєднання сучасних науково-технічних засобів і досягнень, реальних потреб і стимулів ініціювали творчу атмосферу, масштабну міжнародну співпрацю та залучило до інженерії поверхонь велику кількість науково-технічної інтелігенції.

Постановка завдання. Обґрунтований вибір комбінованих методів інженерії для конкретних деталей і вузлів тертя є складною техніко-економічною задачею. Лише способів модифікації поверхні сьогодні відомо понад сто. У найближчі десятиліття очікується ще більш швидкий розвиток комбінованих методів інженерії поверхні, що стимулюватиме розвиток нових технологій. Це потребує дослідження та аналізу розвитку комбінованих інженерних методів та їх впливу на зносостійкість і довговічність контактних поверхонь трибологічних систем.

Огляд публікацій та результати аналізу. Розробка та застосування комбінованих інженерних методів дозволяє значно покращити експлуатаційні властивості поверхонь тертя машин і механізмів. Ці методи засновані на послідовному або одночасному застосуванні двох і більше технологічних

прийомів для створення зносостійких поверхневих шарів з різними фізико-механічними властивостями, що дозволяє багаторазово підвищити контактну міцність і зносостійкість деталей.

Для сталевих деталей найбільше зміцнення, твердість і зносостійкість досягається азотуванням їх поверхневого шару. Огляд досліджень комплексного підходу зміцнення поверхневого шару різними методами [1-3] підтверджує високу ефективність використання технологій лазерної обробки з наступним азотуванням. Це дозволяє уникнути недоліків «класичного» азотування, зміцнити матеріал під азотованим шаром і збільшити товщину дифузійного шару.

Широко використовуються комбіновані методи створення дискретних захисних структур. Дискретна лазерна обробка поверхні і наступне азотування суттєво підвищує зносостійкість сталей. Встановлено [4], що зносостійкість сталі 40X з дискретними азотованими шарами в 7–9 разів вища за її зносостійкість в азотованому стані без лазерної обробки.

Регулювання зносостійкості плазмових покриттів шляхом дискретного оплавлення її лазером приблизно 15% поверхні у вигляді смуг постійної ширини 2,5 мм дозволило підвищити їх зносостійкість у 6 разів. Це можна пояснити зниженням їх напружено-деформованого стану, більш рівномірним перерозподілом навантажень на поверхні тертя в процесі зношування за рахунок локальних мікроруйнувань крихких структурних складових і відносно невисокого когезійного зв'язку між ними в не оплавлених ділянках [5].

Для формування дискретних азотованих покриттів рівної зносостійкості, виконували лазерну обробку поверхні сталевих виробів за схемами: острівного типу (рис.1, а) та стільникового типу (рис.1, б) з відстанню між зміцненими ділянками 3-5мм з наступним азотуванням в середовищі аміаку при температурі 800-860 К із витримкою 15–20 годин. Встановлено, що зміцнення металевих виробів за сітчасто-стільниковою схемою дискретної обробки підвищує контактну втомну міцність та зносостійкість покриття за рахунок мінімізації напружено деформованого стану [6].

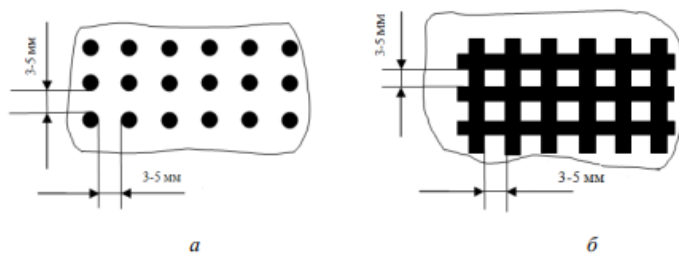


Рис. 1. Схеми конструкцій поверхневих структур дискретного покриття: а – острівного типу; б – стільникового типу

Формування структури у вигляді оптимізованої за параметрами текстурованої лункової поверхні (ТЛП) на зразках сталі 30XXCA та її додаткова обробка методом іонно-плазмового термоциклічного азотування призводить до значного підвищення опору фреттинг-втомі (рис. 2). За обраних для порівняльних випробувань параметрів фреттингу зразки не руйнуються від фреттинг-утоми (злам викликаний «чистою» втомою), хоча для гладких зразків і зразків з ТЛП такі руйнування спостерігаються при значно менших циклічних

напруженнях згину [7]. Це пояснюється тим, що додаткове іонне азотування текстурованої поверхні призводить до зменшення залишкових структурних напружень розтягу в поверхневому шарі металу від лунок (отворів) і заліковування тріщин, що утворилися при їх формуванні, з метою підвищення зносостійкості і характеристик опору від втоми поверхні тертя [8].

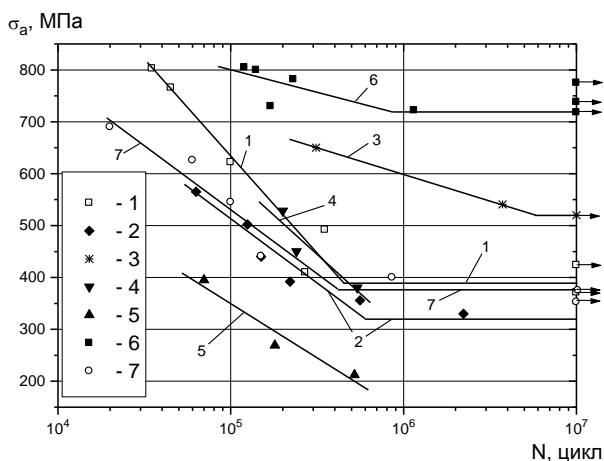


Рис. 2. Результати випробувань на втому та фретинг-втому зразків із сталі 30ХГСА: 1,3,4,6 – криві «чистої» втоми; 2,5,7 – криві втоми за умов фретинга. □, ◆ – зразки з лунками; * - зразки з лунками з наступним іонним азотуванням; ▼, ▲ – зразки з електроіскровим покриттям; ■, ○ – поліровані зразки без покриття

Подібні дослідження трибосполучень з текстурованою лунковою поверхнею в умовах граничного тертя показало, що зміцнення текстури поверхні методом іонно-плазмового термоциклічного азотування додатково підвищує зносостійкість в 1,7 разів завдяки високій захисній дії поверхневих азотованих шарів та їх високій твердості (до 9500 МПа). Це посилює ефект гальмування виникнення дефектів у поверхневих шарах трибоконтакту, забезпечує високу швидкість змочування місць фактичного контакту трибосполучень, прискорює процес регенерації граничної мастильної плівки [9].

Висновки. Таким чином, фундаментальні дослідження використання комбінованих методів інженерії контактних поверхонь відкривають нові можливості для розширення діапазону роботи пар тертя, підвищення їх надійності та довговічності в екстремальних умовах експлуатації. Незважаючи на кількість публікацій, механізм явищ, що відбуваються з регулярним мікрорельєфом, зміцнених додатково іншими методами, сьогодні вивчений недостатньо. Відсутнє напрацювання даних про дизайн текстури таких поверхонь потребує удосконалення існуючих та розробки нових методів прогнозування тривалої поведінки поверхонь у процесі експлуатації за результатами короткострокових лабораторних досліджень.

Список літератури

1. Sim, C. Park, N. Kang, Y. Kim, E-J. Chun, (2019), Effect of laser-assisted nitriding with a high-power diode laser on surface hardening of aluminum-containing martensitic steel, Optics and Laser Technology, 116, 305–314.

2. N. Maharjan, W. Zhou, N. W. (2020). Direct laser hardening of AISI 1020 steel under controlled gas atmosphere. Surf. Coat. Tech., 3856 125399.

3. J. Boes, A. Röttger, L. Becker, W. Theisen. (2019) Processing of gas-nitrided AISI 316L steel powder by laser powder bed fusion – Microstructure and properties. Additive Manufacturing, 30, 100836.

4. Поверхнєве зміцнення сталей нанесенням дискретних азотованих шарів / М. В. Кіндрачук, М. С. Яхья, О. В. Герасимова, Н. В. Ішук // Технологічні системи. – 2007. – №2. – С. 55–58.

5. Кіндрачук М. В. Триботехнічні властивості плазмових покриттів з дискретною структурою / М. В. Кіндрачук, Н. В. Ішук, В. В. Пастернак // Проблеми трибології. – 2003. – №1. – С. 75–81.

6. Кіндрачук М. В. Формування дискретної структури азотованих покриттів рівної зносостійкості / М. В. Кіндрачук, В. В. Харченко, О. І. Духота, І. А. Гуменюк // Проблеми тертя та зношування, 2022. 4 (97). С. 4-9.

7. Tsyban'ov, G.V., Marchuk, V.E., Mikosyanchyk, O.O. Effect of Textured Dentated Surfaces on 30KhGSA Steel Damage and Life at Fatigue, Fretting Fatigue, and Fretting // Strength of Materials. – 2019. – 51(3), с. 341-349. DOI 10.1007/s11223-019-0080-x.

8. Пат. 44643 Україна, F01L 1/20 C23C 8/02. Спосіб отримання рельєфних зносостійких азотованих шарів сталевих деталей / В. С. Марчук, І. Ф. Шульга, Б. А. Ляшенко, Г. В. Цибаньов, А. В. Рутковський, В. В. Калініченко ; заявник та патентовласник Національний авіаційний університет. – № u200904236 ; заявл. 29.04.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19.

9. Marchuk V, Kindrachuk M., Harmash O., Kharchenko V. Determining features in the wear resistance characteristics of tribocompounds with a textured hole surface under conditions of boundary friction // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2023. 6/12 (126). P. 22-29. ISSN 1729-3774. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291785

Стаття надійшла до редакції 20.02.2024.

Харченко Володимир Володимирович – завідувач лабораторії кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Національного авіаційного університету, проспект Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, +38(044)4067773, E-mail: nau12@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6383-5337>.

Гуменюк Ігор Анатолійович – докторант, Національний авіаційний університет, <https://orcid.org/0000-0002-4352-7035>.

Корнієнко Анатолій Олександрович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Національного авіаційного університету, <https://orcid.org/0000-0002-7108-3152>.

Іваницький Максим Сергійович – студент, кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Національного авіаційного університету.

Volodymyr Kharchenko – head of laboratory of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: nau12@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6383-5337>.

Ihor Humenyuk - PhD student, National Aviation University, <https://orcid.org/0000-0002-4352-7035>.

Kornienko Anatoliy Oleksandrovych - PhD, senior researcher, associate professor of Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, National Aviation University, <https://orcid.org/0000-0002-7108-3152>.

Maksym Ivanytskyi - student, Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, National Aviation University.

V. V. KHARCHENKO, I. A. HUMENYUK, A.O. KORNIENKO, M. S. IVANYTSKYI

COMBINED METHODS OF ENGINEERING OF CONTACT SURFACES OF TRIBOLOGY SYSTEMS

The issues of ensuring the durability and reliability of equipment, increasing wear resistance and expanding the range of operation of friction pairs in extreme operating conditions require solutions related to innovative technologies for the formation of wear-resistant surfaces that can significantly increase the efficiency of using hardening methods, creating new ones and improving existing ones.

A brief review of the combined methods of engineering contact surfaces of tribological systems is carried out. The perspective of using this direction to expand the range of use of discrete protective structures, namely in the conditions of fretting, fretting fatigue, and limit friction, is shown.

Keywords: combined methods of engineering, texture, wear, laser processing, nitriding.

Referenses

1. Sim, C. Park, N. Kang, Y. Kim, E-J. Chun, (2019), Effect of laser-assisted nitriding with a high-power diode laser on surface hardening of aluminum-containing martensitic steel, *Optics and Laser Technology*, 116, 305–314.
2. N. Maharjan, W. Zhou, N. W. (2020). Direct laser hardening of AISI 1020 steel under controlled gas atmosphere. *Surf. Coat. Tech.*, 3856 125399.
3. J. Boes, A. Röttger, L. Becker, W. Theisen. (2019) Processing of gas-nitrided AISI 316L steel powder by laser powder bed fusion – Microstructure and properties. *Additive Manufacturing*, 30, 100836.
4. Surface hardening of steels by application of discrete nitrided layers / M. V. Kindrachuk, M. S. Yahya, O. V. Gerasimova, N. V. Ishchuk // *Technological systems*. – 2007. – No. 2. – pp. 55–58.
5. M. V. Kindrachuk Tribotechnical properties of plasma coatings with a discrete structure / M. V. Kindrachuk., N. V. Ishuk, V. V. Pasternak // *Problems of tribology*. – 2003. – No. 1. – pp. 75–81.
6. M. V. Kindrachuk Formation of a discrete structure of nitrided coatings of equal wear resistance / M. V. Kindrachuk, V. V. Kharchenko, O. I. Dukhota, I. A. Humenyuk // *Problems of friction and wear*, 2022. 4 (97). P. 4-9.
7. Tsyban'ov, G.V., Marchuk, V.E., Mikosyanchyk, O.O. Effect of Textured Dentated Surfaces on 30KhGSA Steel Damage and Life at Fatigue, Fretting Fatigue, and Fretting // *Strength of Materials*. – 2019. – 51(3), c. 341-349. DOI 10.1007/s11223-019-0080-x.
8. Pat. 44643 Ukraine, F01L 1/20 C23C 8/02. The method of obtaining relief wear-resistant nitrided layers of steel parts / V. E. Marchuk, I. F. Shulga, B. A. Lyashenko, G. V. Tsybanev, A. V. Rutkovskiy, V. V. Kalinichenko; applicant and patent holder National Aviation University. – No. u200904236; statement 29.04.2009; published 12.10.2009, Bull. No. 19.
9. Marchuk V, Kindrachuk M., Harmash O., Kharchenko V. Determining features in the wear resistance characteristics of tribocompounds with a textured hole surface under conditions of boundary friction // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. 6/12 (126). P. 22-29. ISSN 1729-3774. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291785