

УДК 621.787.4

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТОПОГРАФІЇ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Дзюра В.О. д.т.н., професор, Бица Р.О. к.т.н., Семеген В.О.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Застосування видозміненої топографії поверхонь є важливим напрямом розвитку сучасної інженерної науки. Створення регулярних та частково-регулярних мікрорельєфів – особливих штучно створених структур на поверхні деталі для покращення – дієвий метод покращення експлуатаційних властивостей поверхонь. Технології створення таких поверхневих структур потребує створення спеціальних технологій та інструменту, а також спеціального програмного забезпечення для роботи верстатів з ЧПК.

Аналіз наукових публікацій вказує на те, що сфери застосування функціональних поверхонь із регулярними мікрорельєфами є досить широкими. Найбільшого застосування поверхні із регулярними мікрорельєфами набули в машинобудуванні, де робочі поверхні працюють у складних умовах експлуатації (високі робочі температури, питомі тиски, відсутність належного змащування). Такі умови експлуатації мають місце у гільзах двигунів внутрішнього згорання, коробках автоматичних та механічних трансмісій. Досить широко створення регулярних мікрорельєфів використовується у машинобудуванні для виробництва металообробного інструменту. Формування на робочих поверхнях інструментів мікрорельєфу дозволяє зменшити питомі тиски на поверхню, покращує відведення тепла та дозволяє здійснювати обробку металу при прогресивніших режимах оброблення.

Різноманітні галузі промисловості, де використовують регулярні мікрорельєфи потребують різних підходів до їх створення, різних форм, розмірів та взаємного розміщення канавок мікрорельєфів для забезпечення відповідних експлуатаційних властивостей. Для того, щоб структурувати мікрорельєфи та певними ознаками необхідно їх класифікувати. На сьогодні відомо кілька класифікацій мікрорельєфів. В закордонній літературі поверхні з регулярними, частково регулярними та іншими мікрорельєфами доволі часто називають текстуровані поверхні (surface texture чи surface topography).

Цікавою з точки зору проведення класифікацій є робота [1]. В ній наведено класифікацію напрямів наукових досліджень текстурованих поверхонь, зокрема: технологій створення регулярних мікрорельєфів; вхідних/вихідних характеристик таких поверхонь; моделювання їх взаємодії та подальших досліджень в цьому напрямі. Також в цій роботі наведено класифікацію основних методів створення текстурованих поверхонь, таких як методи термічної, механічної, електро-хімічної взаємодії, мікро- та нанофінішна обробка, мікролиття. У статті наведено технологічні схеми процесів формування поверхневих мікроструктур із обґрунтуванням основних технологічних

параметрів. Результатом проведених авторами досліджень є таблиця опису різних інструментальних матеріалів, робочих матеріалів і параметрів різання, що використовуються при обробці за допомогою мікротекстурованого інструменту та таблиця методів генерації текстур разом із розмірами та геометрією канавок.

Формування на робочих поверхнях деталей машин регулярних мікрорельєфів значно розширює їх експлуатаційні властивості [2].

Регуляризація мікрорельєфу поверхні дозволяє надати їй наступних властивостей: краща здатність утримувати більшу кількість рідини; збільшена корозійна стійкість; збільшена здатність поверхні до самоочищення; зменшення коефіцієнта тертя; антибактеріальні, гідрофобні та протиобледенінні властивості.

Встановлення основних закономірностей впливу рельєфних утворень на механізми тертя та зношування та оптимізація технології формування регулярного рельєфу поверхонь тертя активно досліджуються за детермінованими та стохастичними підходами, а також прямими фізичними експериментами [3, 4].

Зокрема в роботі [5] відзначено, що нанесення регулярного мікрорельєфу на внутрішню циліндричну поверхню плунжерної пари штангового насоса значно збільшує герметичність рухомого з'єднання і, як наслідок, ресурс його роботи. Підтвердженням цього є дослідження наведені в роботі [6, 7]. Авторами встановлено, що формування регулярних мікрорельєфів з різними геометричними параметрами можна керувати режимами тертя та змащування спряжених поверхонь тертя і, таким чином, запобігати недопустимим режимам, при яких поверхня буде пошкоджена. Процес керування режимами тертя є важливим в робочих поверхнях авіаційного обладнання. Застосування поверхонь з регулярним мікрорельєфом перспективне технічне рішення для високоточних вузлів та агрегатів із спряженими рухомими деталями - заслінок клапанів масляних та гідравлічних систем, торців шестерень насосів, елементами двигунів внутрішнього згорання та інших машин, що забезпечує високий термін служби.

В роботі [8] наведено результати досліджень впливу різних форм канавок регулярного мікрорельєфу, що був сформований на поверхнях дослідного зразка на коефіцієнт тертя, температуру в зоні тертя, властивість поверхні відводити продукти зношування. Зменшення коефіцієнта тертя призводить до зменшення споживання енергетичних ресурсів, які витрачається для приведення механізмів в рух, що може бути дуже актуальним як у авіаційній промисловості та і в будь-якій інших галузях транспорту.

В роботі [9] наведено результати досліджень, які вказують на те, що формування мікроструктури у вигляді впорядкованого мікрорельєфу на внутрішній циліндричній поверхні гільзи циліндра сприяє здатності цієї поверхні утримувати масляну плівку. Така властивість робочої поверхні гільзи гідроциліндра покращує експлуатаційні властивості поверхні і збільшує ресурс гідроциліндра в цілому.

В результаті теоретичних і експериментальних досліджень [10] переходу трибосистем із умов нормального до «аномально низького» тертя з позиції термодинаміки. Причиною такого переходу є формування на поверхні контакту

мікрорельєфу з певними параметрами, який створює умови для мікро контактної квазіпружної взаємодії. В статті представлені результати теоретичних та експериментальних досліджень аномально низького тертя з позицій термодинаміки нерівносісних процесів.

Покращення антикорозійних властивостей поверхні із магнієвого сплаву (Mg Alloy AZ31) після оброблення поверхні пластичним деформуванням у спосіб близький до віброобкатування кулькою описано в роботі [11]. Автором проведені експериментальні дослідження по методу Taguchi для підтвердження ефективності процесу оброблення поверхні обкатуванням кулькою та покращення корозійної стійкості матеріалу.

Проведено експериментальне дослідження впливу режимів віброобкочування на основні розмірні характеристики канавок [12]. В якості вхідних факторів процесу використовувались: діаметр кульки, сила і швидкість обертання заготовки. Були виміряні глибина і ширина канавок, утворених рухомими кульками на поверхневому шарі заготовки. Шляхом математичної обробки експериментальних результатів виведені емпіричні математичні залежності. Ці залежності підкреслюють інтенсивність впливу вхідних факторів процесу віброобкочування на геометричні параметри канавки. Однак в даному дослідженні не встановлено впливу швидкості подачі як параметра режиму оброблення на геометричні параметри канавки.

Результати експериментальних досліджень процесу формування регулярних мікрорельєфів з наступним хромуванням плоскої поверхні розглянуто в роботі [13]. Розроблено алгоритм керування технологічним процесом формування регулярних мікрорельєфів поверхневим пластичним деформуванням на плоских поверхнях деталей поліграфічного обладнання. Алгоритм враховує комплекс показників пов'язаних з матеріалом, геометричними і фізико-механічними параметрами поверхні плоскої направляючої, режимами поверхневого пластичного деформування. Залежно від твердості матеріалу і геометрії регулярного мікрорельєфу в алгоритмі обирається геометрія і параметри деформувального інструменту. Від твердості матеріалу розраховується зусилля вдавлювання інструмента.

Характерно, що швидкість деформування в досить широких межах чинить значний вплив на якість поверхневого шару [14]. Із зростанням швидкості деформування збільшується величина пластичної деформації та зменшується шорсткість обробленої поверхні. Однак ця залежність носить екстремальний характер. Саме пошук цього значення є задачею сучасних досліджень в цій галузі. Це слід розглядати як можливість підвищення продуктивності обробки. Визначення функціонального зв'язку між силою, яка додається до інструменту і параметрами якості деталей, є однією з основних задач досліджень в галузі обробки ППД.

Класифікація актуальних напрямів наукових досліджень, що мають відношення до формування регулярних мікрорельєфів на робочих поверхнях деталей машин наведено в роботі [15]. Так автори вважають, що актуальними напрямами досліджень текстурованих поверхонь є: високоефективні методи

методи створення текстурованих поверхонь; створення поверхонь із заданими експлуатаційними властивостями; моделювання та симуляція роботи таких поверхонь та інші напрями.

На нашу думку найперспективнішим напрямом досліджень є створення нових типів мікрорельєфів, які забезпечували б сповільнення інтенсивності зношування за рахунок включення в роботу додаткових виступів канавок мікрорельєфу.

Список використаних джерел

1. Priya Ranjan, Somashekhar S. Hiremath. Role of textured tool in improving machining performance: A review. *Journal of Manufacturing Processes*. Volume 43, Part A, 2019. – pages 47-73. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.04.011>
2. Samanta, Avik & Wang, Qinghua & Shaw, Scott & Ding, Hongtao. (2020). Roles of chemistry modification for laser textured metal alloys to achieve extreme surface wetting behaviors. *Materials & design*. 192. 10.1016/j.matdes.2020.108744.
3. Nanbu, T., Ren, N., Yasuda, Y. et al. Micro-Textures in Concentrated Conformal-Contact Lubrication: Effects of Texture Bottom Shape and Surface Relative Motion. *Tribol Lett* 29, 241–252 (2008). <https://doi.org/10.1007/s11249-008-9302-9>
4. Pawlus, P.; Reizer, R.; Wiczorowski, M. Reverse Problem in Surface Texture Analysis-One-Process Profile Modeling on the Basis of Measured Two-Process Profile after Machining or Wear. *Materials* 2019, 12(24), 4169; <https://doi.org/10.3390/ma12244169>.
5. Bakhtizin R. N., Urazakov K. R., Latypov B. M., Ishmukhametov B. H., Narbutovskikh A. Y. The influence of regular microrelief forms on fluid leakage through plunger pair of sucker rod pump (Russian). *Oil Industry Journal*. Issue 04. (2017, April 1). – pp. 113 – 116
6. Radionenko, O., Kindrachuk, M., Tisov, O., & Kryzhanovskiy, A. (2018). Features of transition modes of friction surfaces with partially regular microrelief. *Aviation*, 22, 86-92.
7. Myroslav Kindrachuk, Oleksandr Radionenko, Andrii Kryzhanovskiy & Volodymyr Marchuk (2014) The friction mechanism between surfaces with regular micro grooves under boundary lubrication, *Aviation*, 18:2, 64-71. DOI: 10.3846/16487788.2014.926642.
8. Wu W, Chen G, Fan B, Liu J (2016) Effect of Groove Surface Texture on Tribological Characteristics and Energy Consumption under High Temperature Friction. *PLoS ONE* 11(4): e0152100. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152100>
9. Zhang, Y., Zeng, L., Wu, Z., Ding, X. and Chen, K. (2019), Synergy of surface textures on a hydraulic cylinder piston. *Micro Nano Lett.*, 14: 424-429. <https://doi.org/10.1049/mnl.2018.5535>
10. Viacheslav Stadnychenko, Valeriy Varvarov, Results of Theoretical and Experimental Researches of Anomalous Low Friction and Wear in Tribosystems, *Advances in Materials*. Vol. 8, No. 4, 2019, pp. 156-165. doi: 10.11648/j.am.20190804.14

11. Cao C., Zhu J., Tanaka T. (2020) Influence of Burnishing Process on Microstructure and Corrosion Properties of Mg Alloy AZ31. In: Itoh S., Shukla S. (eds) Advanced Surface Enhancement. INCASE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0054-1_11.

12. Nagit, G.; Dodun, O.; Slatineanu, L.; Ripanu, M.; Mihalache, A.; Hrituc, A. Influence of some process input factors on the main dimensions of the grooves generated during the ball vibroburnishing. IOP Conf. Series Mater. Sci. Eng. 2020, 968, 012007.

13. Kyrychok, P. O. & Lototska, O. I. (2011). Eksperymentalni doslidzhennia heometrychnykh parametriv tsylindrychnykh detalei polihrafichnykh mashyn pry kompleksnii obrobtsi [Experimental Studies of the Geometric Parameters of Cylindrical Parts of Printing Machines in the Time of Complex Processing]. Journal of Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva, 3(33), 4–12. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(33\).2011.52142](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(33).2011.52142) [in Ukrainian].

14. Schneider, Yu. “Formation of surfaces with uniform micropatterns on precision machine and instruments parts”, Precision Engineering, 6(4), pp. 219-225, 1984. DOI: 10.1016/0141-6359(84)90007-2.

15. Wos, S., Koszela, W., & Pawlus, P. (2020). Comparing tribological effects of various chevron-based surface textures under lubricated unidirectional sliding. Tribology International, 146, 106205. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106205>

УДК: 681.891

ПРОГНОЗУВАННЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСНЕННЯ ЖАРОМІЦНИХ КОМПЗИЦІЙНИХ СПЛАВІВ

Харченко В.В. завідувач ННЛ новітніх триботехнологій

Національний авіаційний університет

В роботі виконано термодинамічний аналіз взаємодії композиційних порошкових сплавів системи Co-TiC з повітрям. Встановлено основні закономірності їх окиснення. Показано взаємний вплив умісту хрому і карбїду титану на кількісний склад продуктів окиснення.

Покращення тягових та економічних характеристик авіаційних двигунів відбувається різними шляхами, і одним з найбільш ефективних – підвищення температури згоряння палива. Однак, це призводить до зростання температурно-силового навантаження елементів турбіни, і як наслідок – інтенсифікації зношування їх трибоспряжень, зокрема, контактних поверхонь бандажних полиць лопаток турбін, що працюють в умовах високотемпературного фретингу.

Для вирішення цього завдання було розроблено ряд композиційних порошкових сплавів на основі легованого кобальту і карбїду титану як зміцнювальної фази [1–4]. Для оцінки їх роботи в умовах високотемпературного тертя необхідно визначити склад оксидів, що будуть утворюватися внаслідок хімічної взаємодії з повітрям.

Поставлене завдання дослідження можна вирішити методом