

УДК 621.891

В. Є. Марчук, канд. техн. наук

МЕХАНІЗМ ЗНОШУВАННЯ ДИСКРЕТНИХ ПОВЕРХОНЬ В УМОВАХ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ

Національний авіаційний університет

Досліджено зносостійкість дискретних поверхонь в умовах абразивного зношування, проаналізовано результати експериментальних досліджень, розкрито механізм їх зношування. Показано перспективність застосування дискретних поверхонь для відновлення зношених деталей машин і механізмів.

Загальна постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними завданнями. Механізм абразивного зношування дуже складний і складається з ряду взаємозалежних процесів, що включають вдавнення абразивних частинок у поверхні тертя і наступне їх відносне переміщення. При цьому частинки зношування можуть утворюватися в результаті однократного чи багатократного впливу абразивної частинки, пластичного деформування, пружного деформування або в результаті механо-хімічного процесу. Інтенсивність і повноту проходження кожної зі складових частин цих процесів визначають як за властивостями матеріалу деталі, так і за умовами зношування.

Сучасні технологічні методи поверхневого зміцнення дозволяють наносити суцільні захисні структури, які забезпечують надійну роботу вузлів тертя в найрізноманітніших умовах експлуатації. Як наслідок підвищується продуктивність праці, зменшується собівартість, заощаджуються величезні матеріальні, енергетичні й трудові ресурси. Але в екстремальних умовах експлуатації такі структури мають обмежене застосування. Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми сьогодні є застосування технологічних методів створення дискретних структур, які сприяють розширенню діапазону роботи деталей в екстремальних умовах експлуатації за допустимим навантаженням, зносостійкістю, коефіцієнтом тертя та іншими характеристиками вузлів тертя.

Огляд публікацій та аналіз невирішених проблем. Дискретні поверхні (текстуровані поверхні) виникли багато років тому,

але широко їх стали застосовувати в останнє десятиліття як найбільш перспективний напрям інжинірингу поверхні. Дослідження в цьому напрямі ґрунтуються на ідеї, що дискретна поверхня створює мікрорезервуари для утримання мастильного матеріалу чи мікропасти для уловлювання продуктів зносу.

Перші результати досліджень зношування дискретних поверхонь були опубліковані наприкінці 30-х років К.Фальцом. Він запропонував створювати канали підведення мастила в нерухомі елементи підшипників у вигляді похилих поверхонь канавок на плоскій деталі [1].

Ю.Г. Шнейдером [2] у 80-х роках минулого століття розроблено технологію створення мікроканалів вібраційним накочуванням. Особливістю цієї технології є те, що формування регулярного мікрорельєфу досягається шляхом пластичної деформації твердим індентором. Наявність системи канавок забезпечує розтікання мастила та зменшення зношення трибоспряження.

Для видалення продуктів зношування з електричних контактів були застосовані дискретні поверхні, які формувалися за допомогою технологій іонного травлення [3; 4]. З часом ці технології були замінені абразивною обробкою, у результаті якої поверхня мала хвилеподібну форму.

Формування дискретних поверхонь методом реактивного іонно-променевого травлення (RIE – Reactive ion etching) було використано в Японії групою дослідників, очолюваною Като Х. [5]. Вони вивчали вплив текстурування поверхні у формі мікрозаглибин на рівнобіжних ковзних поверхнях у водному середовищі з абразивом SiC.

Багато праць присвячено впровадженню інших технологій для створення дискретних поверхонь: LIGA [6], літографія й анізотропне травлення [7], абразивна реактивна механічна обробка [8] та ін. Більшість цих праць є експериментальними і використовують для цього різні типи дослідних машин. Однак, незважаючи на відсутність оптимізації параметрів текстурування, у цих експериментах були продемонстровані значні успіхи в дослідженні тертя і зниження зносу.

Великий обсяг науково-дослідних праць присвячено напряму формування дискретних поверхонь із застосуванням лазерних технологій (LST). Ці технології забезпечують високу швидкість обро-

бки поверхні, контроль форми і розміру “мікроямок”. Їх застосовують у різних трибосполученнях, механічних ущільненнях, підшипниках, що працюють в умовах мастильного середовища чи нестачі мастила [9].

Технологію формування дискретних поверхонь механічним способом проводять за допомогою поверхнево-пластичного деформування поверхні деталі індентором [10; 11]. Вибір оптимального розташування мікрозаглиблень дозволяє конструювати поверхні з високими експлуатаційними властивостями, поліпшити триботехнічні характеристики, знизити напружений стан поверхні [12].

Дискретні поверхні на тепер вивчені недостатньо. Усі праці мають експериментальний характер, їх більшість містить ідею про те, що дискретна поверхня являє собою мікрорезервуари для підвищення мастильної дії в умовах мастильного голодування поверхні. Конкретних експериментальних даних про зносостійкість дискретних поверхонь в умовах абразивного зношування майже немає, що підтверджує актуальність проведення наукових досліджень цього напрямку.

Мета дослідження. Дослідження дискретної поверхні в умовах абразивного зношування та аналіз результатів з метою пояснення механізму їх зношування.

Методика досліджень. Як досліджувані матеріали використовували сталь 65Г і 30ХГСА. Дискретні структури наносили на зразки розмірами 30×30 мм і товщиною 4 мм на спеціальній установці [11]. Перед нанесенням дискретних структур зразки шліфували до шорсткості $R_z = 0,63 \pm 0,32$ мкм. Шорсткість поверхонь визначали на профілографі-профілометрі моделі 201.

Випробування зразків на абразивне зношування проводили на стандартній установці відповідно до ГОСТ 23.208–79 в умовах нежорсткого закріпленого абразиву в середовищі кварцового піску (SiO_2) зернистістю 180–220 мкм за швидкості ковзання 0,158 м/с, навантаження 44,1 Н, шляху тертя 50 м. Перед випробуванням абразив просушували у сушильній шафі за температури 150 °С.

Знос зразків визначали ваговим методом на аналітичних вагах АДВ-200 з точністю до 0,0001 г. До і після випробувань зразки промивали в етиловому спирту, просушували і зважували.

Дослідження структури поверхневих шарів зразків проводили на растровому електронному мікроскопі.

Результати досліджень. Експериментальні дослідження показали, що мінімальну зносостійкість в умовах абразивного зношування має сталь 65Г (рис. 1). Зносостійкість сталі 30ХГСА має в аналогічних умовах на 59–60 % вища. Висока зносостійкість забезпечується високою твердістю поверхневих шарів, які протидіють більш активно руйнуванню поверхневих шарів абразивними частинками.

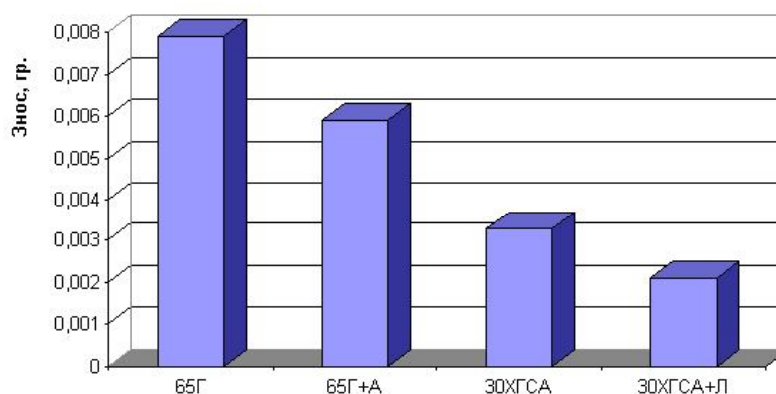


Рис. 1. Величина зношування сталених зразків зі сталей 65Г і 30ХГСА в умовах абразивного зношування

Фактографічний аналіз показав наявність великої кількості вм'ятин і борозенок на поверхні тертя (рис. 2, *а*). Це свідчить про те, що процес руйнування визначається більшою твердістю абразивних частинок кварцового піску (11–12 ГПа). В результаті силового впливу абразивні частинки вдавлюються в поверхню зразка, що призводить до поступового переходу від пластичної деформації до процесу мікрорізання на контакті (рис. 2, *б*). Взаємодія абразивних частинок одна з одною під час удару формують осколки, деякі з яких заклинюються на поверхні тертя (рис. 2, *в*). Повторні пластичні деформації призводять до “розпушування” поверхні тертя. Після використання всіх площ ковзання метал переходить у стан перенаклепу, стає крихким і руйнується. Зруйновані частини видаляються з поверхні течією абразивних частинок.

Формування дискретної поверхні у формі мікрозаглибин (лунок) забезпечує зниження абразивного зношування поверхні сталі 65Г на 24–25% і сталі 30ХГСА на 37–38% за рахунок використання лунок як пасток для абразивних частинок. Частина абразивних час-

тинок вилучається з поверхні тертя і, попадаючи до лунок, не контактує з нею. Заповнення об'єму лунки абразивними частинками призводить до поверхнево-пластичного деформування її стінок і залежно від рівня навантаження формуються різні за формою і глибиною кратери і лунки (рис. 3, *а, б*).

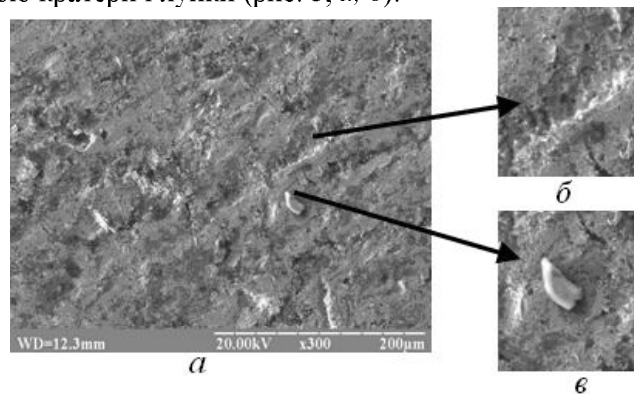


Рис. 2. Мікрофотографія поверхні тертя сталі 65Г в умовах абразивного зношування: *а* – загальний вигляд поверхні тертя; *б* – ділянка шляху мікрорізання абразивної частинки; *в* – осколок абразиву

Найбільшому руйнуванню, а відповідно і зношуванню піддається дальня внутрішня поверхня лунки відносно напрямку руху абразивних частинок порівняно з ближньою (рис. 3, *а*). Абразивні частинки під дією навантаження і швидкості пластично деформують її, вдавлюючись створюють кратери, вводять її в стан перенаклепу, крихкості і руйнування (рис. 3, *в*).

Ближня внутрішня поверхня лунки характеризується наявністю борозенок і фрагментів матеріалу, які сформувалися в результаті мікрорізання абразивних частинок по поверхні і наступного удару дальньої поверхні (рис. 3, *д*). На дні лунки сформувалися напливи металу, які з'явилися після мікрорізання абразивними частинками ближньої поверхні (рис. 3, *е*).

Відомо, що в процесі абразивного зношування взаємодія абразивних частинок з поверхнею деталі в місцях пружного контакту, пластичного деформування, зрізання мікрооб'ємів металу в його поверхневому шарі абразивними частинками супроводжується виділенням великої кількості теплоти. Локальне нагрівання в зоні контакту абразивних частинок з поверхнею зношування у зв'язку з недостатнім її

відведенням у холодні об'єми матеріалу може зумовлювати структурні перетворення, подібні до перетворень при відпуску сталей, які призводять до зниження механічних властивостей і опору абразивному зношуванню. Сформована текстура мікрозаглибин на поверхні тертя забезпечує прискорення процесу відведення тепла додатково в лунки відповідно до теплопровідності металу і середовища.

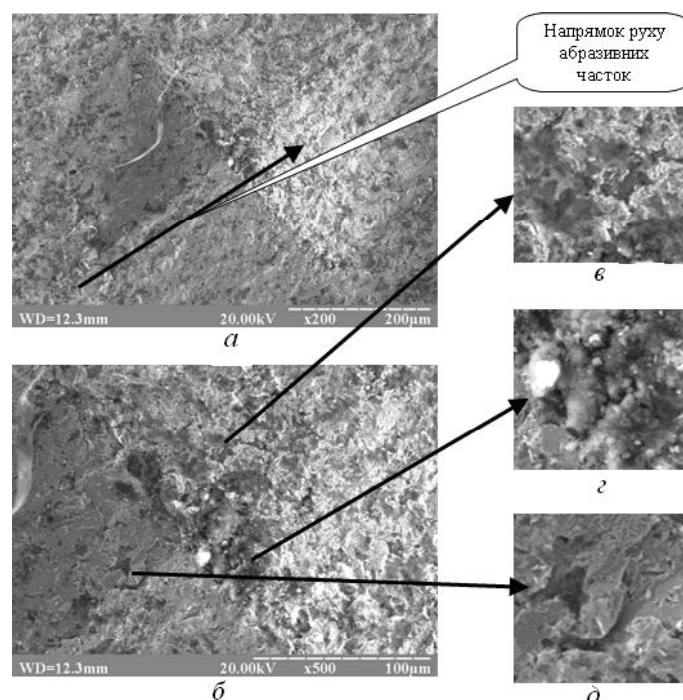


Рис. 3. Мікрофотографія поверхні тертя дискретної поверхні після абразивного зношування: *а* – загальний вигляд лунки; *б* – внутрішні поверхні лунки; *в* – кратери, створені абразивними частинками на дальній внутрішній поверхні лунки; *г* – напливи металу на дні лунки; *д* – ділянка шляху мікрорізання абразивної частинки

Процес руйнування внутрішньої поверхні лунок спричиняють мікротріщини, які виникають під час формування лунок. У процесі пластичної деформації внутрішньої поверхні лунок абразивними частинками мікротріщини розвиваються в макротріщини з подальшим віддаленням фрагментів об'єму металу (рис. 3, б).

Висновки. Таким чином, дискретні поверхні забезпечують зниження абразивного зношування поверхні на сталі 65Г на 24–25% і сталі 30ХГСА на 37–38% за рахунок поглинання (вилучення) абразивних частинок і продуктів зносу з поверхні тертя. Найбільшому зношуванню піддається дальня поверхня лунки відносно напрямку руху абразивних частинок. Протидія проникнення абразивних частинок у дальню поверхню і буде визначати рівень абразивного зношування дискретної поверхні.

Список літератури

1. *Фальц К.* Рациональные смазочные канавки в подшипниках. – М. – Л.: Госиздат, 1929. – 61с.
2. *Шнейдер Ю.Г.* Эксплуатационные свойства деталей с регулируемым микрорельефом. – Л.: Машиностроение, 1982. – 248 с.
3. *Saka N.* Boundary lubrication of undulated metal surface at elevated temperatures / Saka N, Tian H, Suh N.P. // Tribology Transactions. – 1989. – N32. – P. 385–389.
4. *Suh N.P.* Control of friction. / Suh N.P., Mosleh M., Howard P.S. // Wear. – 1994. – 175. – P. 151–158.
5. *Wang X.* Improving The anti-seizure ability of SiC seal in water with RIE texturing / Wang X., Kato K. // Tribology Letters. – 2003. – N14. – P. 275–280.
6. *Stephens L. S.* Deterministic Micro Asperities on Bearings and Seals Using a Modified LIGA Process / Stephens L. S., Siripuram R., Hyden M., McCart B. // J. Eng. Gas Turbines Power. – 2004. 126 (1). – P. 147–154.
7. *Pettersson U.* Influence of Surface Texture on Boundary Lubricated Sliding Contacts / Pettersson U., Jacobson S. // Tribol. Int. – 2003. 36 (11). – P. 857–864.
8. *Wakuda M.* Effect of Surface Texturing on Friction Reduction Between Ceramic and Steel Materials under Lubricated Sliding Contact / Wakuda M., Yamauchi Y., Kanzaki S., Yasuda Y. // Wear. – 2003. 254. – P. 356–363.
9. *Etsion I.* State of the art in laser surface texturing // 7th Biennial conference on Engineering systems design and analysis. July 19–22, 2004, Manchester, United Kingdom, – P. 1–9.
10. *Возненко В.В.* Поліпшення експлуатаційних характеристик деталей приладів шляхом формування функціональних поверхонь з дискретно-орієнтованою топографією: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.11.14 / НТУУ “КПІ”. – К., 2006. – 21 с.
11. *Пат. Україна, F01L 1/20, F01L 1/46.* Пристрій для утворення на плоскій поверхні тертя рельєфу заглибин, що утримують мастильні матеріали / Марчук В. Є., Шульга І. Ф., Шульга О. І., Плюснін О. Є. (Україна); НАОУ. – № 13762; заявл. 24.10.2005; опубл. 17.04.2006. Бюл. №4.

12. Марчук В.Є., Ляшенко Б.А., Калініченко В.І. Моделювання напружено-деформованого стану дискретної поверхні // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ. –2008. – Вип. 49. – Т. 2. – С. 25–30.

УДК 621.891

Марчук В.Є. **Механизм изнашивания дискретных поверхностей в условиях абразивного изнашивания** // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 52. – С.112–119.

Исследовано износостойкость дискретных поверхностей в условиях абразивного изнашивания, проанализированы результаты экспериментальных исследований, раскрыт механизм их изнашивания. Показана перспективность применения дискретных поверхностей для восстановления изношенных деталей машин и механизмов.

Рис. 3, список лит. 12 наим.

Marchuk V. **Mechanism of discrete surfaces wearing in the abrasive wear conditions**

The wearproofness of discrete surfaces in the conditions of abrasive wear is investigated, the results of experimental researches are analysed, the mechanism of their wear is exposed. Perspective of discrete surfaces application for renewal of threadbare details of machines and mechanisms is shown.

Стаття надійшла до редакції 12.10.09.