

УДК 620.178.16 (045)

СИСТЕМНІСТЬ ТА КОМПЛЕКСНИЙ ХАРАКТЕР НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОВЕРХОНЬ ДИСКРЕТНОЇ СТРУКТУРИ

Марчук В.Є., к.т.н., доц.

Національний авіаційний університет

Градиський Ю.О., к.т.н., доц.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Описана загальна методологія комплексного дослідження властивостей і характеристик поверхонь дискретно-орієнтованої структури у вигляді лунок на базі застосування системного підходу для вирішення проблем тертя та зношування деталей машин та механізмів.

Загальна постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку науки і техніки системність та комплексний характер наукових досліджень виступає як один із головних чинників рішення глобальних проблем в різних галузях промисловості із залученням зусиль багатьох фахівців, які представляють різні наукові напрямки. Представлення вузлів тертя машин і механізмів як системи дозволяє систематизувати результати фізико-механічних і трибологічних досліджень для різних умов тертя та зношування, при якому найбільш повно враховуються всі властивості елементів вузлів і всі взаємозв'язки між властивостями цих елементів.

Огляд публікацій та аналіз невирішених проблем. За останні роки дослідження процесів тертя та зношування здійснюється з метою найбільш повного врахування різних факторів, які можуть вплинути на цей процес. Особливо це важливо для розвитку теоретичних основ трибології, оскільки воно дозволяє об'єднати різні наукові і технічні дисципліни. Так, відомо, що тертя розглядається як пружно-коливальний процес генерації тепла в поверхневому шарі і утворення вторинних структур. Поряд з генеруванням тепла при терті є і інші перетворення енергії, серед яких має місце збудження електричних і магнітних полів, створення термострумів, трибохімічні реакції та ін. Крім того, більшість вузлів тертя машин і механізмів працюють в умовах мащення контактуючих поверхонь. Механізм зношування в таких умовах складний і різний для більшості вузлів тертя.

У монографії [1] наведено приклад практичного застосування методів системного аналізу для вирішення завдань тертя та зношування. Тут найбільш природно реалізується головна перевага системного підходу, яка полягає у вирішенні завдань міждисциплінарного характеру. Показано, що системний підхід отримав широке поширення у Німеччині, де його використовує багато фахівців з тертя та зношування для вирішення практичних завдань, які висуваються промисловістю і транспортом.

Для більш глибокого дослідження процесів, які відбуваються між контактуючими поверхнями, застосовуються різні методи випробувань, моделювання та контролю вузлів тертя із застосуванням сучасних вимірювальних засобів і обчислювальні методики, які дозволяють на атомному рівні виявити механізми різних явищ, що відбуваються на поверхні, і оцінити їх вплив на процеси тертя і зношування. Зокрема, в останні роки активно використовується методи рентгено-електронної спектроскопії, оже-електронної спектроскопії, за допомогою яких досліджуються елементний склад на ділянках поверхні і підповерхневих шарів діаметром кілька мікрометрів, зміна в розподілі цього складу в процесі тертя, та квантової хімії, яка дозволяє вивчати типи хімічних сполук, виникнення та зміну хімічних зв'язків на поверхні трибоконтактів.

Важливе значення для застосування системного підходу у трибології є використання сучасного трибологічного програмного забезпечення. Головними особливостями сучасного підходу до побудови та впровадження програмного забезпечення є всебічний аналіз процесів, на основі якого проводиться розробка проекту програмного забезпечення і обґрунтування закладених у ньому рішень; використання широкої палітри сучасних методологій та інструментальних засобів моделювання та проектування систем; детальне опрацювання необхідних ресурсів [2].

Таким чином, можна констатувати, що досвід теоретичних і прикладних досліджень процесів тертя та зношування виявив потребу об'єднати воедино різні науково-технічні напрямки для більш глибокого пояснення процесів, які відбуваються на поверхнях тертя контактуючих деталей, а саме механіки контакту, фізики поверхонь, магнітних і електричних явищ, гідродинаміки, технологій, питань технічного обслуговування та надійності трибосистем і обладнання. Триботехнічна система повинна описуватися в рамках її структури (елементи системи, властивості елементів, взаємозв'язки між елементами), а також її функції (входи, виходи, передавальні функції).

Особливий інтерес представляє застосування системного підходу для дослідження поверхонь з дискретно-орієнтованою структурою. Дискретні поверхні (в закордонній літературі їх ще називають текстуровані поверхні, плямисті покриття), як засіб покращення трибологічних характеристик деталей і вузлів машин, виникли багато років назад, але широке розповсюдження отримали за останнє десятиліття як найбільш перспективний, життєздатний напрямок інжинірингу поверхні. Результатом впровадження такої технології є розширення діапазону роботи деталей в екстремальних умовах експлуатації (за допустимим навантаженням, зносостійкості, коефіцієнтом тертя, фізико-механічними, магнітними, електричними, гідродинамічними властивостями та ін.).

Основою системного підходу дослідження властивостей поверхонь з дискретно-орієнтованою структурою становить ієрархічна структура методологічних рівнів аналізу: проблемно-концептуального, операційного і детального. На рівні проблемно-концептуального аналізу визначається мета дослідження та основні задачі її вирішення, аналізується системне оточення, виділяється й обґрунтовується вибір технологічного процесу, що створює базис

для проведення операційного аналізу. На операційному рівні визначаються фізико-механічні і триботехнічні показники, здійснюється вибір придатності кращих режимів для створення структурно-функціонального базису системного дослідження технологічного процесу на детальному рівні й розробку його математичних моделей. На детальному рівні дослідження формується базис операцій вибору оптимальних проектних рішень, обґрунтування й оцінка оптимальних параметрів технологічного процесу, які дозволять вирішити поставлену задачу.

Мета дослідження. Застосування системного підходу для аналізу властивостей дискретних поверхонь у вигляді лунок з заданою текстурою.

Результати досліджень та їх аналіз. Системність та комплексний характер наукових досліджень поверхонь дискретно-орієнтованої структури у вигляді лунок з заданою текстурою [3, 4] дозволяє логічно упорядкувати складні процеси досліджень на спільній методологічній інформаційній базі системного підходу, в основі якого лежать відомі принципи цілеспрямованості, моделювання, фізичності, що визначає основні процедури проведення системних досліджень (рис. 1).



Рисунок 1. Системний підхід та комплексний характер наукових досліджень дискретних поверхонь

Для визначення оптимальних параметрів технологічного процесу формування текстурованих лункових поверхонь широко використовувався метод багатокритеріального планування експерименту та математичної обробки статистичних даних, який дозволяє представити технологічний процес у вигляді функціональної залежності вхідних та вихідних параметрів. Тобто технологію формування лункових поверхонь розглянуто як спосіб управління властивостями поверхневого шару. При проведенні комплексних досліджень, що пов'язані з експериментальним визначенням основних триботехнічних характеристик

деталей з лунковими поверхнями, задачу оптимізації технологічного процесу їх формування розглядалось як багатопараметричну з врахуванням конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів. Об'єктивна та повна оцінка умов роботи деталей вузлів і механізмів при різних видах тертя та зношування дозволила обирати певні критерії оптимізації технологічного процесу формування лункових поверхонь (технологічні залишкові напруження, інтенсивність зношування, коефіцієнт тертя, температура трибоконтакту та ін.). При виборі керованих факторів використовувались методи експертної оцінки, на основі яких було визначено групу факторів, що впливають на величину критеріїв оптимізації, та рівні їх варіювання.

Чисельне моделювання напружено-деформованого стану у дискретних ділянках методом скінченно-елементного аналізу дозволило встановлювати і розкривати закономірності і механізми явищ і процесів, які відбуваються у тонких поверхневих шарах, використовуючи і поєднуючи області наук і знань фізики деформованого твердого тіла, гідродинаміки, матеріалознавства, електромагнітних полів та ін. Так моделювання температурно-силового навантаження методом скінченно-елементного аналізу в умовах фретингу дозволило встановити картину розподілу напружено-деформованого стану і температури текстурованої лункової поверхні. Найбільші напруження виникають у міжлунковому просторі, які розподіляються у вигляді острівців. За рахунок відсутності високих залишкових напружень даний тип модифікації поверхні у вигляді лунок має переваги, у порівнянні з покриттями, для яких характерні різні коефіцієнти температурного розширення матеріалу основи і покриття. Це підтверджується дослідженнями розподілу температури на поверхні трибоконтакту. Відсутність істотного перепаду температур у міжлунковому просторі, у лунці і основі матеріалу на поверхні призводить до зменшення термічних напружень. В сукупності ці процеси забезпечують високі триботехнічні характеристики текстурованої лункової поверхні [5].

У дискретних ділянках у вигляді заглибин чи лунок формується складний рух рідини в залежності від режимів обтікання та геометричних параметрів поверхні. Циркуляційний рух рідини породжує вихрові структури, кількість яких збільшується із зростанням швидкості обтікання. Вихрові структури періодично можуть займати весь об'єм дискретної ділянки, після чого, за відповідних умов, викидаються у потік, виконуючи роль "вихрових підшипників", які запобігають руйнування поверхонь в місцях контакту в екстремальних умовах експлуатації [6].

Висока зносостійкість текстурованих лункових поверхонь обумовлена високою здатністю лунок запобігати виникненню недопустимих процесів пошкодження поверхневого шару у міжлунковому просторі в місцях фактичного контакту за рахунок здатності притягувати парамагнітні частинки деструкції мастильного матеріалу і феромагнітні частинки продуктів зношування. Продукти зношування (феромагнетики) будуть концентруватися (контактувати) спочатку з великими виступами на поверхні (кромками лунок), які є концентратором найбільших магнітних силових ліній, у порівнянні з шорсткістю поверхні у

міжлунковому просторі (рис. 2). Кожна частка продуктів зношування у магнітному полі буде направлена до вершини кромки лунки більшою віссю. В залежності від навантаження пари тертя, швидкості ковзання та інших факторів здійснюється зношування вершин кромки лунки і затуплення вершин частинок зношування та їх переорієнтація таким чином, щоб знову створена найбільша вісь направлялася уздовж найбільших магнітних силових ліній. Тобто здійснюється механічне зношування (згладжування) виступів кромки лунки і частинок продуктів зношування на субмікроскопічному (нано) рівні. При зношуванні кромки лунки силові лінії магнітного поля зменшуються до величини напруженості магнітного поля у міжлунковому просторі і продукти зношування в подальшому вилучаються у лунки. Ці процеси дозволяють усунути ймовірність появи у зоні тертя критичних навантажень і температур та запобігатиме виникненню недопустимих процесів пошкодження поверхневого шару у міжлунковому просторі в місцях фактичного контакту та покращити триботехнічні характеристики пар тертя. Крім того, у лунках будуть зберігатися мастильні матеріали, які забезпечують постійну регенерацію граничної мастильної плівки [7, 8].

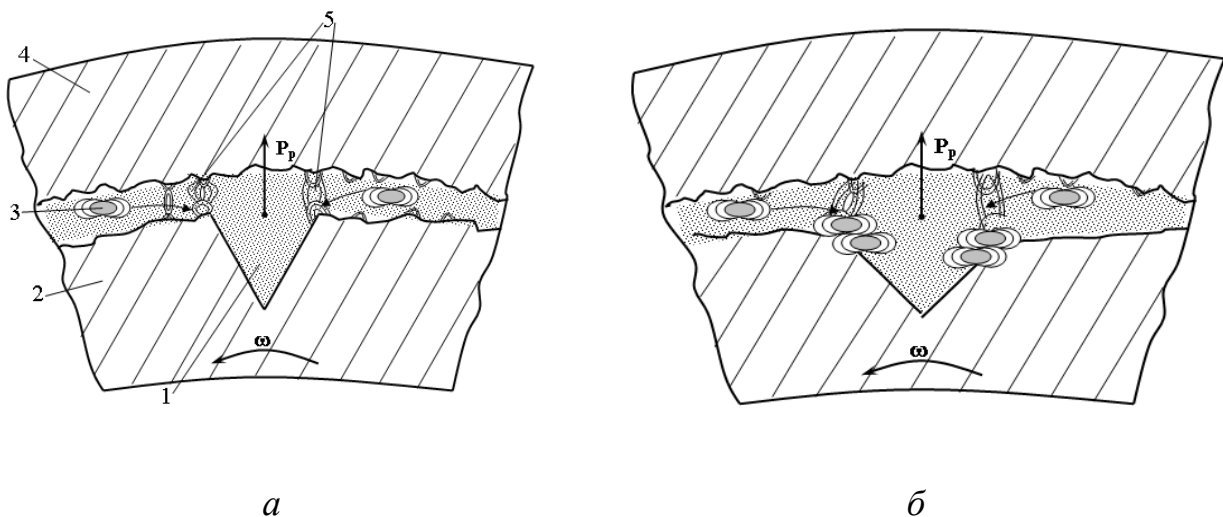


Рисунок 2. Фізична модель зношування окремої дискретної ділянки в умовах граничного мащення: 1 - лунка; 2 - контртіло; 3 - продукти зношування; 4 - зразок; 5 - лінії магнітного поля; P_p - результуюча сила

Це підтверджуються даними, отриманими в результаті проведення експериментальних досліджень дискретних поверхонь в умовах граничного мащення. Встановлено високу зносостійкість текстурованих лункових поверхонь як без, так і з додатковим зміцненим методом іонно-плазмового термоциклічного азотування (ПТА). Вони перевищують зносостійкість сталей 45 у 3,1–5,3 рази і 30ХГСА - 1,9–3,25 рази, сталі 30ХГСА, поверхневий шар якої зміцнений методом ПТА у 1,3–2,3 рази [9]. Також покращились умови припрацювання пар тертя з дискретними поверхнями. Встановлено зменшення як тривалості припрацювання, так і величини коефіцієнта тертя зразків з дискретними поверхнями [5].

Формування текстурованої лункової поверхні знижує границю витривалості зразків зі сталі 30ХГСА в умовах «чистої» утоми приблизно у 1,84 рази, у порівнянні з вихідним матеріалом без лунок. В той же час, в умовах фретинг-утоми це зниження незначне – 1,17 рази (рис. 3). Фрактографічними дослідженнями поверхонь зламів зразків з лунками виявлено, що в умовах фретингу зародження утомних тріщин відбувається в одному, двох чи трьох осередках на поверхні небезпечного перетину і не пов'язано з розташуванням лунок. Тільки в одному випадку тріщини утоми ініціювалися на контурах лунок, тому що в цьому випадку край опори контртіла збігся з лінією розміщення лунок. Це свідчить також про те, що напружено-деформований стан у зоні фретингу визначає довговічність сталі при фретинг-утомі, а концентрація напружень і залишкові напруження в лунках впливають на граничний стан матеріалу в даних умовах. Істотний позитивний ефект на характеристики опору утомі надає іонне азотування поверхонь зразків з лунками. При випробуваннях на фретинг-утому трьох зразків цієї партії жоден з них не зруйнувався від фретингу. Тобто, руйнування відбувалося від «чистої» утоми в зоні дії максимальних напружень по лінії розташування лунок [10].

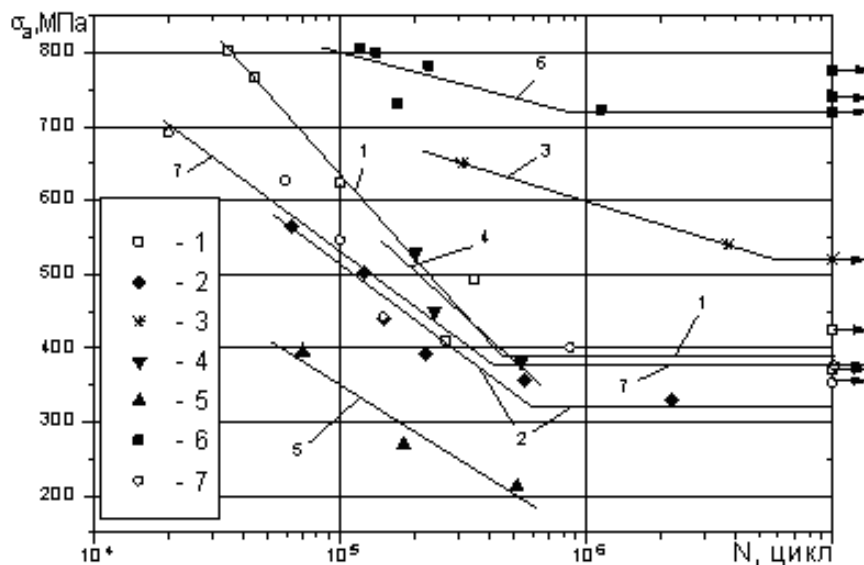


Рисунок 3. Результати випробувань на утому і фретинг-утому зразків зі сталі 30ХГСА: 1, 3, 4, 6 - криві «чистої» утоми; 2, 5, 7 - криві утоми в умовах фретингу, □, ◆ - зразки з лунками; * - зразки з лунками з наступним іонним азотуванням; ▼, ▲ - зразки з електроіскровим покриттям; ■, ○ - поліровані зразки без покриття

Текстуровані лункові поверхні забезпечують зниження абразивного зношування поверхневого шару сталей 30ХГСА на 37–38 % за рахунок поглинання (вилучення) абразивних часток і продуктів зношування з поверхні тертя у лунки. Руйнування поверхневих шарів абразивними частками пов'язано з їх багатократним впливом і накопичення пошкоджень у поверхневих шарах трибоконтакту і внутрішніх сторін лунок. Найбільшому зношуванню піддається дальня поверхня лунки, по відношенню до напрямку руху абразивних часток.

Протидія впровадженню абразивних часток у дальню поверхню і буде визначати рівень абразивного зношування дискретних ділянок і лункової поверхні в цілому [11].

Висновки. Системність та комплексний характер наукових досліджень поверхонь дискретно-орієнтованої структури дозволяє логічно упорядкувати складні процеси дослідження на спільній методологічній інформаційній базі системного підходу, в основі якого лежать відомі принципи цілеспрямованості, моделювання, фізичності, що визначає основні процедури проведення системних досліджень: декомпозицію, змістовний аналіз, формалізований опис, моделювання, дослідження, вибір оптимального варіанту.

Список літератури

1. Чихос Х. Системный анализ в трибонике / Х. Чихос. – М.: Мир, 1982. – 352 с.
2. [Левитин М.А.](#) Развитие системного подхода в трибологии / М.А. Левитин. – Ташкент: Фан, 1988. – 144 с.
3. Пат. 13762 Україна, МПК (06) 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.; заявник та патентовласник Національна академія оборони України. – № u200509981; заявл. 24.10.2005; опубл. 17.04.2006. Бюл. № 4.
4. Пат. 44643 Україна, F01L 1/20 C23C 8/02. Спосіб отримання рельєфних зносостійких азотованих шарів сталевих деталей / Марчук В.Є., Шульга І.Ф., Ляшенко Б.А., Цибаньов Г.В., Рутковський А.В., Калініченко В.В.; заявник та патентовласник Національний авіаційний університет. – № u200904236; заявл. 29.04.2009; опубл. 12.10.2009. Бюл. № 19.
5. Цыбанев Г.В. Управление свойствами поверхностей трения при приработке дискретных покрытий в условиях фреттинга / Цыбанев Г.В., Марчук В.Е., Калиниченко В.И. // Проблемы трибологии. – 2011. - № 1. – С. 52–57.
6. Вихрові потоки рідини у дискретних ділянках трибосполучень / [Цибаньов Г.В., Марчук В.Є., Кураш Ю.П., Градиський Ю.О.] // Вісник Харківського НТУСГ ім. Петра Василенка. – Вип. 109. / Проблеми технічної експлуатації машин. – Х: «Апостроф», 2011. – С. 55–64.
7. Марчук В.Є. Зносостійкість текстурованих лункових поверхонь з дискретно-орієнтованою структурою в умовах граничного мащення / Марчук В.Є., Духота О.І., Морозов В.І. // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 57. – С. 128–138.
8. Процеси тертя та зношування у трибосистемах з дискретно-орієнтованою структурою. Повідомлення 1. Магнітні явища при терті поверхонь з дискретно-орієнтованою структурою / [Марчук В.Є., Морозов В.І., Духота О.І., Морозова І.В.] // Проблеми трибології. – 2012. - № 4. – С. 53–57.
9. Фретингостійкість дискретних поверхонь в умовах граничного тертя [Марчук В.Є., Духота О.І., Градиський Ю.О., Єнін О.М.] // Вісник Харківського НТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків: Вид-во Харківського НТУСГ ім. Петра Василенка, 2010. – Вип. 100. – С. 147–152.

10. Цыбанев Г.В. Фреттинг-усталость поверхностей с дискретными покрытиями / Цыбанев Г.В., Марчук В.Е., Герасимчук О.Н. // Проблемы трибологии. – 2009. – № 1. – С. 97–104.
11. Марчук В.Є. Механізм зношування дискретних поверхонь в умовах абразивного зношування / Марчук В.Є. // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во нац. авіац. ун-ту “НАУ-друк”, 2010. – Вип. 52. – С. 112–119.

Аннотация

СИСТЕМНОСТЬ И КОМПЛЕКСНЫЙ ХАРАКТЕР НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДИСКРЕТНОЙ СТРУКТУРЫ

Марчук В.Е., Градыский Ю.А.

Описанная общая методология комплексного исследования свойств и характеристик поверхностей дискретно-ориентированной структуры в виде лунок на базе применения системного подхода для решения проблем трения и износа деталей машин и механизмов.

Abstract

SYSTEMATIC AND COMPREHENSIVE NATURE OF SCIENTIFIC RESEARCH OF A SURFACE DISCRETE STRUCTURES

V. Marchuk, Y. Gradyskiy

This general methodology for a comprehensive study of the properties and characteristics of the surface of a discrete - oriented structure in the form of pits on the basis of a systematic approach to solve the problems of friction and wear of machine parts and mechanisms.

Рецензент: д.т.н., професор Войтов В.А.