

УДК 621. 537. 611

DOI: 10.18372/0370-2197.2(91).15532

М. М. СВИРИД¹, І. В. СМІРНОВ², О. Ю. СИДОРЕНКО¹, С. В. ХИЖНЯК¹¹Національний авіаційний університет, Україна²Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНО-ТРИБОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ НА ПАРАМЕТРИ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ

Розкрито механізм зміни топографії трибологічного контакту поверхні під дією магнітного поля (МП) 0,3 Тл без змащення. В парі тертя ШХ-15 по контр-тілу діамантного класу (склу). Проведено аналіз шорсткості створених трибологічних плівок за умов направленої дії МП в дослідну поверхню. Користуючись критерієм оптимізації параметрів шорсткості (R_a , R_z) та опорною кривою профіля на поверхні тертя було встановлено кореляцію між характеристиками зносостійкості і положенням кривої Abbot-Firestone.

Ключові слова : знос, профілограма, опорна крива профіля поверхні тертя, магнітне поле, поверхневі плівки.

Вступ. Відносне переміщення площин між собою спряжене з подоланням опору на профілях і шорсткостях базової поверхні. В результаті чого в місцях контакту поверхневих выступів створюються зачепи і згладжування частин выступів. Народжується нова топографічна площа нерівномірної різновисокої структури з різкими виступами і заглибленнями. Закони тертя вимагають компромісу між ідеально гладкою і працездатною шорсткою поверхнею. Сума елементарних площ утворює контурну площину контакту, величина якої складає 5-15% від номінальної площі контакту, при занадто високих навантажень досягає 40-45%. Тому дослідження перебудови поверхні в період експлуатації набуває значного сенсу. Сьогодення вимагає покрокового наукового підходу до створення технологічних процесів в відновленні і припрацюванні контактних поверхонь тертя.

Опорна площа є основною характеристикою мікрогеометрії поверхні. Має параметри: опорну довжину профілю h , що дорівнює сумі довжин відрізків b_i , які відсікаються на заданому рівні P_i в матеріалі профілю середньою лінією, в межах базової довжини l . Провідним параметром працездатності є фактична площа контакту яка змінюється в процесі напрацювання обох поверхонь. Кореляція залежності висотних параметрів профілограми для відполірованої поверхні становить $R_z = 4 \cdot R_a$; $R_{\max} = 5 \cdot R_a$, яка формується при терті.

Відомим параметром якості поверхні є опорна крива профілю (ОКП), яку має вільна поверхня та безкінечно перетворюється в процесі тертя і характеризує параметри зміни шорсткості поверхні під час напрацювання в заданих умовах експлуатації [1].

Параметром оцінки топографії поверхні тертя є крива Abbot-Firestone, а нахил опорної кривої поверхні (ОКП) характеризує зносостійкість поверхневого шару [2].

Основою формування рельєфу поверхні тертя є сукупність структурно-фазових станів матеріалу та вплив на них зовнішніх факторів і енергетичних потоків. За рахунок впливу енергії МП на зміни поверхневих процесів в період припрацювання контактної площі формуються шорсткості поверхні з новими трибологічними параметрами.

Основними характеристиками профілю поверхні, згідно зі стандартами ГОСТ 2789 – 73 та ISQ 4287, є висотні, крокові, середні радіуси кривизни мікроступів.

При взаємодії шорсткої поверхні зразка з абсолютно гладкою поверхнею збільшується фактична площа контакту (ФПК), що знижує навантаження на поверхню тертя завдяки чому підвищується зносостійкість і змінюється положення ОКП. Довговічніша буде та поверхня тертя у якої ОКП більш полого [3].

При контактуванні мікронерівностей поверхонь тертя по окремим виступам в цілому відбуваються короткострокові взаємодії процесів пружної і пластичної деформацій що підвищує процес наклепу і зняття частини матеріалу з поверхневих шарів збільшуючи їх твердість, що вигладжує ОКП поверхні [4].

Відомо, що працездатність вузла тертя забезпечується розміщенням середовища між поверхнями як оливи так і напрацьованих захисних плівок, а їх зміщення і товщина забезпечується деформуванням найбільших мікронерівностей на 0,26...0,75 частини їх висоти [5]. Таким чином між поверхнями тертя завжди є проміжок для проникнення матеріальної маси речовини.

Останнім часом значна увага приділяється наноструктурним змінам в поверхневих шарах як матеріалів так і їх структуроутворенням під енергетичним впливом ззовні. Відома значна кількість наукових шкіл з напрямком зміцнення матеріалів і їх поверхонь в яких помітну роль виконує вплив МП на структурну зміну як поверхневих так і внутрішніх характеристик. Такі як умови виникнення МПЕ [6, 7], зміцнення інструменту [8, 9].

Загальною характеристикою якості поверхні деталей після механічної обробки була запропонована ОКП, як достатньо простий та зручний параметр для практичного застосування [1]. Такими ж параметрами володіє і механізм утворення поверхонь трибологічним шляхом, тільки має значні динамічні зміни, тому методику ОКП активно використовують для характеристики топографії поверхонь тертя.

Специфічною відмінністю, при трибологічних дослідженнях, є початковий відрізок кривої на частині ОКП (вище середньої лінії) з урахуванням параметру R_p [10].

Для трибологічного опису параметрів поверхневого контакту автором [2] запропоновано використовувати початкову частину ОКП з параметрами

$$t_p = t_m \varepsilon^v, \quad (1)$$

де $\varepsilon = p/R_p$ – відносний рівень профіля; v – параметр апроксимації. Логічне твердження було таким, що деформація шорсткого шару під дією стискаючого навантаження на величину більше, ніж R_p , неможлива. Така умова впливає на розташування середньої лінії профіля.

Основою показників контактування є співвідношення між номінальною і фактичною площами контакту, які характеризують величину взаємного перекриття контактуючих поверхонь і багато в чому визначають характер процесу тертя.

Мета дослідження полягає в створенні сприйнятливих трибологічних умов в поверхневих структурах на точках ФПК разом з підвищенням зносостійкості вузла тертя трибо-магнітними технологіями, з визначенням параметрів мікрогеометрії поверхні тертя, розрахунком місця розташування середньої лінії профілю та, побудови опорної кривої поверхні тертя.

Методика визначення триботехнічних параметрів контакту. Методика дослідження базується на зміні дислокаційно енергетичних трансформацій внутрішньої будови кристалічної ґрадки під дією МП за рахунок яких формується

магнітно-пластичний ефект (МПЕ) в структурному об'ємі магнетика підтягаючись до поверхні тертя (ПТ).

Трибологічні дослідження проводили по схемі палець – площина на модельній парі тертя сталь ШХ-15 по склу без змащування на трибологічному комплексі [11]. Скло хімічно нейтральний матеріал для заданих умов тертя, з твердою структурою і «нульовою» шорсткістю, має діамантні властивості дані параметри ідеально пасують для дослідження умов створення захисних плівок, які групуються, на модельній поверхні скла.

Якість поверхні тертя можливо оцінити за допомогою кривої Abbot-Firestone, яка допомагає відслідкувати залежність відносної площі мікроставів від їх глибини параметру шорсткості поверхневих трибологічних плівок напрацьованих в процесі тертя на скляній підкладці (так як скло для плівок надтвердий матеріал).

Результати дослідження. На базі отриманих профілограм поверхонь на базі 300 мкм (рис. 1, рис. 2) визначаємо положення середньої лінії профіля і ОКП тертя. Дослідження поверхні проводили на приладі [12] розробленому в НАУ.

На рис. 1, *а* зображена профілограма поверхневих утворень на склі після тертя без змащування, де товщина напрацьованих плівок (рис. 1, *а*) досягала 21 мкм на модельному контр-тіла. На рис. 1, *б*, побудована ОКП згідно вимог Abbot-Firestone. Враховуючі, що середня лінія профілю (СЛП) базується на арифметичному відхиленні профіля R_a і R_z згідно якому площі їх повинні бути рівні. Звідси необхідно визначити точку відліку розташування СЛП по осі ординат.

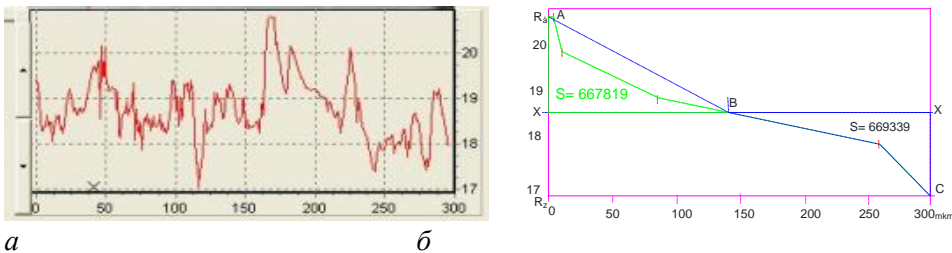


Рис. 1. Шорсткість плівок на поверхні скла після тертя сталі ШХ-15 в середовищі повітря: *а* – профілограма поверхні утворених оксидних плівок на склі, *б* – АВС зовнішній вигляд ОКП згідно вимог Abbot-Firestone

Технологічно процес розрахунків розташування середньої лінії шорсткої поверхні по осі ординат проводили за допомогою програмного забезпечення AutoCAD з використанням функції «Утиліта» – «площа».

З огляду на рис. 1, *б* сумарна площа виступів $F_{\text{вист}}$ над середньою лінією повинна дорівнювати площі впадин $F_{\text{вп}}$ під нею. При переміщенні вдовоної середньої лінії $X^0 - X^1$ по осі ординат $R_a - R_z$, площа фігур змінюється, від однієї віднімається до другої додається, що дасть можливість визначити розташування середньої лінії профілограми поверхні з достатньою точністю вимірювання.

Після визначення середньої лінії будуюмо лінію нахилу (А-В) яка характеризує параметри якості трибологічної взаємодії шорсткості поверхневих захисних плівок тертя.

Відомо, що з втручанням направленої енергетичної дії МП на процеси тертя в поверхневих структурах приводять значні перебудови захисних поверхневих плівок. Для визначення впливу енергії МП на зміну утворень шорсткості захис-

них плівок взято ідентичні, до рис. 1, технологічні параметри дослідження. Модельний трибологічний вузол з направленим МП до скла (рис. 2, а), тобто полюс магніту N знаходився під склом, а полюс S на кінці зразка наближеного до скла (використано два магніти). Параметри утворених плівок значно різняться від плівок без дії МП, їх товщина становить до 1,1 мкм. На рис. 2, б представлена ОКП після тертя в МП, з якої можливо відмітити фігуру яка визначає параметри шорсткості поверхні, а нахил прямої від т. A^m до т. B^m характеризує трибологічні характеристики.

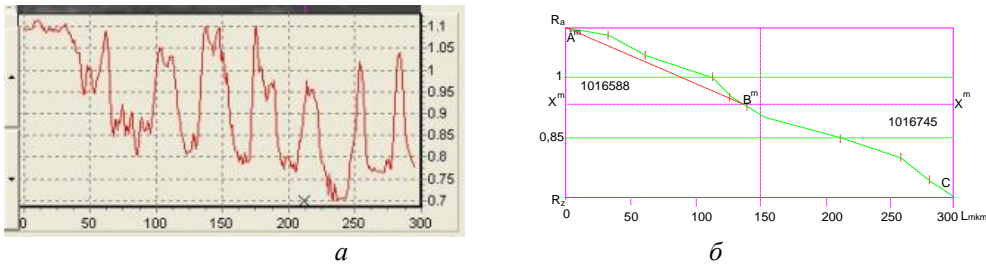


Рис. 2. Шорсткість плівок під направленою дією МП 0,3 Тл на поверхні скла після тертя сталі ШХ-15 в середовищі повітря: а – Профілограма шорсткості трибологічних плівок на поверхні скла, б – $A^m B^m C$ зовнішній вигляд ОКП згідно вимог Abbot-Firestone

Кінцевим результатом формування різниці трибологічних параметрів пари тертя за рахунок показників шорсткості поверхонь (рис. 1 і рис. 2.) базується на куті нахилу кривих Abbot-Firestone. Тому геометрично, в програмі AutoCAD, зносимо розташування обох кривих в одну точку C . На рис. 3 представлено нахили кривих Abbot-Firestone згідно ОКП рис. 1, б нахил «1» дорівнює 48° , та рис. 2, б нахил «2» = 32° .

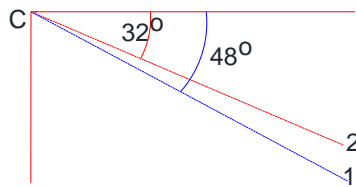


Рис. 3. Розташування кривих Abbot-Firestone ОКП.
1 – без впливу магнітного поля, 2 – в магнітному полі

Топографічні показники поверхні яка сформувалася під дією тертя в МП на доріжці тертя по склу характеризується меншою товщиною 0,4 мкм (рис. 2, б) в порівнянні з поверхнею рис. 1, а, де товщина нашарування плівки досягає до 4 мкм.

Оскільки зміна внутрішньої структури магнетика підпорядковується впливу МП і формується за рахунок накопичення дефектів кристалічної ґрадки, особливо в поверхневих шарах, з подальшими зривами і відокремленням кінців дислокацій з наступним переміщенням їх в умови внутрішнього тертя, що супроводжує підвищення деформаційної складової матеріалу. Феро- і пара-магнітні матеріали сприймають МПЕ з пониженням міцності і підвищенням пластичності на величину до 15%. Діамагнітні структури навпаки підвищують міцність.

Зносостійкість сталі ШХ-15 по склу майже втричі нижча в направленому МП в порівнянні з тертям без дії поля.

Таким чином направлена дія МП в зоні магнітно-трибологічного контакту переформатує геометричні параметри утворених захисних плівок підвищуючи трибологічні параметри вузла тертя вцілому.

Висновки:

1. Показано можливості використання стандартного програмного забезпечення для визначення геометричного розташування користуючись критерієм оптимізації параметрів шорсткості (R_{a} , R_{z}) опорної кривої профіля на поверхні тертя.
2. Встановлено кореляцію нахилу кривої Abbot-Firestone опорної кривої профілю для встановлення параметрів шорсткості поверхні.
3. Визначено вплив товщини і шорсткості утвореної трибологічної плівки на зміну параметрів нахилу кривої Abbot-Firestone і параметри опорної кривої профілю, при 4 мкм нахил дорівнює 48° , при 0,4 мкм під дією МП нахил становить 32° .

Список літератури

1. Abbot, E.J. Specifying surface quality / E.J. Abbot, F.A. Firestone // Mechanical Engineering. 1933. V. 55. № 9. P. 569–572.
2. Демкин, Н.Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н.Б. Демкин, Э.В. Ръжов. М.: Машиностроение, 1981. 244 с
3. Повышение износостойкости формообразующих деталей технологической оснастки Формы+. Оснастка для переработки полимерных материалов. П.А.Тополянский ген. Директор НПФ «Плазмацентр» (Санкт-Петербург) № 2 (4). 2008. - С. 6-12
4. Опорные кривые профиля поверхности после обработки абразивным потоком А. Е. Симакова*, В. А. Левко Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева Технология и мехатроника в машиностроении 531-533 *E-mail: annasaklakova@mail.ru
5. Дослідження форми кривих опорних поверхонь віброзміцнених втулок бурових помп Кусий Я.М. к.т.н., доцент, Топільницький В.Г. Національний університет “Львівська політехніка” к.т Lviv Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua>
6. Вплив слабких магнетних полів на механічні властивості берилію / Є. І. Курек, І. Г. Курек, А. В. Олійнич-Лисюк, М. Д. Раранський // Металлофізика и новейшие технологии. — 2015. — Т. 37, № 11. — С. 1517-1525.
7. Особенности пластической деформации металлов и сплавов в магнитном поле. Обзор / М.А. Васильев // Успехи физики металлов. — 2007. — Т. 8, № 1. — С. 65-105.
8. Шорсткість поверхні твердосплавного різального інструменту у зв'язку з параметрами магнітно-абразивної обробки А. Б. Бобін*, М. М. Бобіна, В. С. Майборода, Науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів» 2019, Том 89, № 1, сс.34-38.
9. Состояние вопроса обработки инструментальных материалов в магнитных и магнитно-импульсных полях Скирденко О.И., Клевцов К.М., Шарко А.В., Михайлик В.Д. Научный вестник Херсонської державної морської академії № 2 (11), 2014, с.213-219.
10. Опорная кривая и бета-распределение высот и радиусов вершин выступов шероховатой поверхности В.В. Измайлов, М.В. Новоселова (ТвГТУ) Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования Межвузовский сборник научных трудов Выпуск 11 стр. 4-10.
11. Пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування Свирид М.М., Занько С.М., Задніпровська С.М., Паращанов В.Г., Приймак Л.Б. Патент на корисну модель № 36600, G01N 3/56. Заявка u200809663, 23.07.2008. Опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20. – 3 с.
12. Игнатович С. Р. Методика исследования физико-механических свойств поверхностных слоев материалов при усталости с использованием многофункционального прибора "МИКРОН ГАММА" / С. Р. Игнатович, И. М. Закиев, Д. И. Борисов, В. И. Закиев // Авиационно-космическая техника и технология. - 2004. - № 8. - С. 163–166. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/aktit_2004_8_37

M. M. SVYRYD¹, I. V. SMIRNOV², O. Yu. SYDORENKO¹, S. V. HIZHNYAK¹

RESEARCH OF MAGNETIC-TRIBOLOGICAL INFLUENCE ON THE SURFACE ROUGHNESS PARAMETERS

The mechanism of topography change of tribological contact at a surface under the influence of a magnetic field (MP) of 0,3 T without greasing is opened in article. In the pair of friction SHH-15 on the counter-body of the diamagnetic class (glass). The roughness of the created tribological films under the conditions of the directed action of MP in the experimental surface is carried out. Using the criterion of optimization of roughness parameters (R_a , R_z) and the reference curve of the profile on the friction surface, a correlation was established between the wear resistance characteristics and the position of the Abbot-Firestone curve. The method of calculating the location of the middle line of the profile using the standard program AutoCAD is presented. It was found that the formation of surface films change the shape of the support surface and the direction of the Abbot-Firestone curve.

Keywords: wear, profilogram, reference curve of friction surface profile, magnetic field, surface films.

Referenses

1. Abbot, E.J. Specifying surface quality / E.J. Abbot, F.A. Firestone // *Mechanical Engineering*. 1933. V. 55. № 9. P. 569–572.
2. Demkin, N.B. Surface quality and contact of machine parts / N.B. Demkin, E.V. Ryzhov. M.: Mashinostroenie, 1981.244 p.
3. Increasing the wear resistance of the forming parts of the technological equipment Mold +. Equipment for the processing of polymeric materials. P.A. Topolyansky gen. Director of NPF "Plazmacer" (St. Petersburg "No. 2 (4). 2008. - P. 6-12
4. Support curves of the surface profile after treatment with abrasive flow AE Simakova *, VA Levko Siberian State University of Science and Technology named after Academician MF Reshetnev Technology and mechatronics in mechanical engineering 531-533
5. Investigation of the shape of curved bearing surfaces of vibration-strengthened bushings of drilling pumps Kusyi Ya.M. Ph.D., Associate Professor, Topilnytsky VG Lviv Polytechnic National University Lviv Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua>
6. The influence of weak magnetic fields on the mechanical properties of beryllium / EI Kurek, IG Kurek, AV Oliynych-Lysyuk, MD Raransky // *Metal Physics and latest technologies*. - 2015. - V. 37, № 11. - P. 1517-1525.
7. Features of plastic deformation of metals and alloys in a magnetic field. Review / M.A. Vasiliev // *Advances in the physics of metals*. - 2007. - T. 8, No. 1. - S. 65-105.
8. The surface roughness of a carbide cutting tool in connection with the parameters of magnetic abrasive processing AB Bobin *, M. M. Bobina, VS Mayboroda, *Scientific and Technical Journal "Metallurgy and Metalworking"* 2019, Volume 89, № 1, p.34-38.
9. The state of the issue of processing of instrumental materials in magnetic and magnetic-pulse fields Skirdenko OI, Klevtsov KM, Sharko AV, Mikhailik VD *Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy* № 2 (11), 2014, p.213-219.
10. Support curve and beta distribution of heights and radii of the tops of the protrusions of a rough surface V.V. Izmailov, M.V. Novoselova (TvGTU) *Mechanics and physics of processes on the surface and in contact of solids, parts of technological and power equipment Interuniversity collection of scientific papers Issue 11 pp. 4-1*
11. Device for the study of materials for friction and wear Svirid MM, Zanko SM, Zadniprovskaia SM, Parashchanov VG, Priymak LB Utility model patent № 36600, G01N 3/56. Application u200809663, 23.07.2008. Publ. 27.10.2008, Bull. № 20. - 3 p.
12. Ignatovich S. R. Methods for studying the physical and mechanical properties of surface layers of materials with fatigue using the multifunctional device "MICRON GAMMA" / S. R. Ignatovich, I. M. Zakiev, D. I. Borisov, V. I. Zakiev // *Aerospace engineering and*

technology. - 2004. - No. 8. - P. 163-166. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/aktit_2004_8_37.

Свирід Михайло Миколайович – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедри конструкції авіаційних апаратів Національний авіаційний університет, Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 72 30, E-mail: svirid_mn@net

Сидоренко Олександр Юрійович – канд.техн.наук, доцент, заступник декана Аерокосмічного факультету Національний авіаційний університет, Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 70 10, E-mail: [sidoral@ukr.net](mailto:sidorol@ukr.net)

Смірнов Ігор Володимирович – Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет» ім. І. Сікорського», Україна, д.т.н. професор, завідувач кафедри «Кафедра смарт технологій з'єднань та інженерії поверхні» вул.Дашавська 6/2 к23 ком218, Київ, Україна тел. 38 380 731 419 848, E-mail: smimov-kpi@gmail.com

Хижняк Сергій Васильович – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедри конструкції авіаційних апаратів Національний авіаційний університет, Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +, E-mail: khz.serg@gmail.com