

УДК 621.831.004.55

В. Б. МЕЛЬНИК, В. В. НЕЧИПОРУК

Національний авіаційний університет, Україна

ОЦІНКА ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ В ЗОНІ КОНТАКТУ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Розглянуто питання визначення шорсткості поверхонь тертя трибосполучень методом падіння електричної напруги на мастильному шарі зоні контакту. Визначено методологію вимірювання шорсткості за допомогою методу падіння електричної напруги.

Ключові слова: шорсткість, мастильний шар, полімерна плівка, падіння електричної напруги, нормально-тілючий розряд, самогенеруючі органічні плівки.

Вступ. Шорсткість поверхонь пар тертя має дуже вагомий вплив на енергетичні втрати, на зношування деталей вузлів тертя і в даний час є одним з основних параметрів, що враховуються при проектуванні, виготовленні та припрацюванні трибосполучень.

Відомо, що зі зменшенням шорсткості поверхні деталей вузлів тертя межа контактної витривалості набагато зростає (у деяких випадках - удвічі). Подібний вплив шорсткості і навантаження має на заїдання контактних поверхонь. В залежності від шорсткості навантаження заїдання змінюється більш ніж у два рази. Подібним чином шорсткість впливає і на інтенсивність механічного зносу, тобто зносу внаслідок зачеплення нерівностей контактних поверхонь. Однією з основних причин впливу шорсткості на інтенсивність зносу вважають, зазвичай, те, що при збільшенні висоти нерівностей зменшується товщина розділяючого ці нерівності мастильного шару, внаслідок чого захисні властивості останнього послаблюються. Розрив мастильного шару виступами нерівностей в першому наближенні можна вважати порушенням умов задовільної зносостійкості. Тому зв'язок між висотою нерівностей на контактних поверхнях і товщиною, володіючого захисними властивостями, суцільного шару мастила становить великий інтерес, проте достатні дані з цього питання в даний час відсутні.

Аналіз літературних джерел і стан проблеми. Відомо, що при розрахунку підшипників ковзання товщину мастильного шару h , що розділяє виступи поверхонь тертя H_1 , H_2 , приймають рівною

$$h = h_T - (H_1 + H_2), \quad (1)$$

де h_T – теоретична товщина шару мастила, тобто товщина шару на ідеально гладких поверхнях 1 і 2 відповідно.

Подібну формулу використовують іноді й при розгляді умов в локальному контакті деталей машин [1]. Проте порівняння розрахункових товщин шару мастила з висотою нерівностей приводить до висновку, що в більшості випадків тертя контактних поверхонь, при припущенні, що товщина визначається залежністю (1), існування суцільного шару мастила неможливе.

Наприклад, теоретична товщина шару масла між зубами коліс автомобільних коробок передач автомобілів, підрахована на основі контактної-гідродинамічної теорії змащування, складає соті частки мікрона. Важко припустити, що суми нерівностей на зубах цих коліс мають меншу величину. У той же

час тривалі терміни служби цих передач та ряд інших даних свідчать про задовільні умови тертя, тобто про збереження мастильного шару.

Так, наприклад, автор [2] описує випадки, коли при однакових умовах тертя на поверхнях з меншою шорсткістю був відсутній суцільний мастильний шар, в той час як на поверхнях з великою шорсткістю спостерігалася наявність мастильного шару.

Авторами [3] були проведені дослідження залежності довговічності підшипника від відношення товщини мастильного шару і середньоквадратичної шорсткості поверхонь в місці контакту. З досліджень випливає, що підвищення в'язкості мастила за рахунок низької робочої температури (95°) збільшує відношення товщини мастильного шару до шорсткості і супроводжується підвищенням довговічності в порівнянні з довговічністю при більш високій робочій температурі (182°C). Це добре узгоджується з контактнo-гiдродинамічною теорією змащування. Випробування велися на зразках з шорсткістю $0,125\text{ мкм}$, отриманої хонінгуванням. Закономірною є встановлена низька довговічність шліфованого зразка ($R_z = 0,25\text{ мкм}$). Однак полірований зразок, шорсткість якого в 25 разів менше, ніж у хонінгованого, показав значно меншу довговічність, ніж останній.

В наш для оцінки шорсткості переважно застосовують щупові методи відтворення профілю з використанням індуктивних, п'єзоелектричних і фотоелектричних датчиків.

Наприклад, метод оптичного вимірювання шорсткості поверхонь оснований на посилянні на досліджувану поверхню як мінімум двох променів світла дискретних за своєю природою, від двох джерел світла через збиральну оптичну систему. Один з цих променів фокусується перед поверхнею, а другий – позаду неї. Відбиття променів реєструється фотоелектричним пристроєм який видає два електричні сигнали, що характеризують інтенсивність відбиття. Інтенсивність максимальна, якщо промені сфокусовані на поверхні і спадає при збільшенні розфокусування. Профіль шорсткості визначається по різниці електричних сигналів. Для отримання неперервного профілю шорсткості світлові промені переміщують вздовж поверхні [4]. Точність наведеного способу в значній мірі залежить від забруднення поверхні і навколишнього середовища.

Також відомий метод оцінки шорсткості контактних поверхонь металевих пар тертя, полягає в тому, що перетворюють нерівності шорсткості в електричний сигнал модульований по амплітуді, потім його підсилюють, детектують, виділяють сигнал, що відповідає обвідній амплітудно-модульованого сигналу і ним обмежують сигнал амплітуди один з полюсів якого зведені до нульового рівня [5]. Спосіб потребує використання досить складної вимірювальної апаратури, а також розбирання пар тертя при визначенні шорсткості контактних поверхонь. Як наслідок, шорсткість не визначається безпосередньо в контакті пари тертя, що знижує точність.

Всі відомі способи мають недолік в тому, що шорсткість визначається поза межами зони контакту пари тертя. Але в зоні контакту шорсткість значно змінюється під впливом великих навантажень і температури. На шорсткість в зоні контакту також впливає ряд факторів які на практиці важко врахувати, наприклад, різного роду перекося і особливості конструкції, що приводять до перерозподілу навантаження на поверхні контакту, а, як наслідок, і до зміни шорсткості в зоні контакту. В роботі [6] зроблена спроба врахувати вплив деформації шорсткості в зоні контакту на товщину мастильного шару. В роботах американ-

ських авторів використовується навіть спеціальний термін «динамічна шорсткість», яка відображає уявлення про зміну шорсткості в процесі тертя.

Розроблений метод оцінки шорсткості, який дозволяє досліди́ним шляхом визначити шорсткість безпосередньо в зоні контакту у випадку роботи вузлів тертя з мастилом. Спосіб базується на визначенні мінімальної відстані між деталями, яка пропорційна падінню електричної напруги (ПЕН) в контакті деталей при проходженні через неї електричної напруги в режимі нормально-тілючого розряду (НТР).

Метод оцінювання шорсткості. Суть способу полягає в тому, що мінімальна товщина змащувального шару між шорсткими поверхнями менша, ніж між ідеально гладкими (поверхнями, шорсткістю яких можна знехтувати). Величина цієї розбіжності пов'язана з величиною шорсткості.

На контрольовані поверхні контакту наносять в розплавленому стані (рідкому) струмопровідну полімерну плівку. Після застигання ця плівка покриває всі нерівності і утворює нову тверду гладку поверхню. Товщина плівки повинна бути в межах, при яких через контакт проходить електричний струм.

Навантажують деталі пар тертя з заданим постійним (статичним), протягом всього випробування, навантаженням. Пропускають електричний струм через контакт і вимірюють ПЕН в контакті $U_{n/n}$. Після цього деталі пар тертя занурюють у випробовуване масло і приводять їх до руху з заданими швидкістю і навантаженням. І визначають ПЕН в контакті в режимі НТР на сумарному шарі U_{Σ} , обумовленому наявністю в контакті полімерної плівки і гідродинамічного мастильного шару

$$U_{\Sigma} = U_{\text{зод}} + U_{n/n}. \quad (2)$$

Потім полімерну плівку видаляють з поверхні розчинником, який не повинен взаємодіяти з матеріалом пар тертя (слабкий розчин сірчаної кислоти). Приводять пару тертя до руху з швидкістю і навантаженням, з умовою відсутності безпосереднього контакту шорсткостей, в маслі. В такому режимі між деталями пари тертя утворюється мінімальний суцільний гідродинамічний прошарок на якому визначається падіння $U_{\text{зод min}}$ електричної напруги в режимі НТР. Товщина мінімального змащувального шару в цьому випадку $U_{\text{зод min}}$ менша $U_{\text{зод}}$ на величину U_{RZ}

$$U_{\text{зод min}} = U_{\text{зод}} - U_{RZ}. \quad (3)$$

Величина U_{RZ} обумовлена тим, що частина змащувального шару знаходиться нижче рівня шорсткостей.

Із виразів (2) і (3) отримуємо

$$U_{RZ} = U_{\Sigma} - (U_{\text{зод min}} + U_{n/n}).$$

Ця величина характеризує шорсткість в зоні контакту. [7].

Висновки. Як показали спеціальні дослідження, самогенеруючі органічні плівки (СОП) здатні проводити електричний струм. По електропровідності вони значно відрізняються від металів і близькі до тонких масляних плівок. Це дозволяє для їх дослідження використовувати метод ПЕН. Однак тарування для визначення залежності між СОП і падінням електричної напруги не здійснено. Тим не менш

це не заважає досліджувати шорсткість у зоні контакту шляхом напрацювання «звичайних» полімерних плівок СОП, оскільки значення ПЕН на них не входить в кінцевий вираз по визначенню величини шорсткості.

Список літератури

1. Райко М.В. Смазка зубчатых передач. – К.: Техника, 1970. – 196с.
2. Кузнецов Н.Д. Вопросы работоспособности подшипников качения, зубчатых передач и других узлов трения и роль контактно-гидродинамической теории трения. Труды I Всероссийской конференции, вып. II. Контактно-гидродинамическая теория смазки и ее практическое применение в технике. Куйбышев, 1974. – С.3 – 17.
3. Коднир Д.С. Некоторые вопросы решения стационарных контактно-гидродинамических задач. Труды I Всероссийской конференции, вып. II. Контактно-гидродинамическая теория смазки и ее практическое применение в технике. Куйбышев, 1974. – С.138 – 149.
4. Патент США №4115005, кл. G 01 B 11/30, 1978.
5. А.с. (СССР) №456976 кл. G 01 B 7/34, 1972 (прототип).
6. Коднир Д.С. Контактная гидродинамика смазки деталей машин. М.: Машиностроение, 1976. – 304с.
7. А.с. №966490 СССР В 7/34 Способ оценки шероховатости контактных поверхностей /М.В. Райко, И.И. Бавин, В.Б. Мельник, П.А. Головач, А.П. Михайленко (СССР) - № 3/56; Заявл. 18.03.81; Опубл. 15.10.82, Б№38.

Стаття надійшла до редакції 22.05.2015

V. B. MELNIK, V. V. NECHYPORUK

ASSESSMENT SURFACE ROUGHNESS IN THE CONTACT ZONE PARTS OF MACHINES

The question of the definition of surface roughness friction trybospoluchen by the voltage drop on the lubricant layer of the contact zone. Defined roughness measurement methodology using the voltage drop method.

Keywords: roughness, lubricant layer polymer film, the voltage drop, normal glow discharge samoheneruyuchi organic film.

Мельник Володимир Борисович – канд. техн. наук, доцент кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 74 14, E-mail: NAU12@ukr.net.

Нечипорук Віталій Володимирович – канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 74 14, E-mail: NAU12@ukr.net.