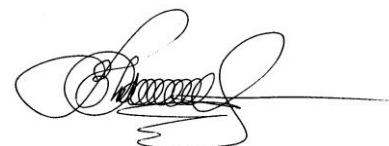


Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ТКАЧ В'ЯЧЕСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 621.89

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ
ЗА РАХУНОК ОБРОБКИ ЗМАЩУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ
ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИМ ПОЛЕМ

Спеціальність 05.02.02 – машинознавство

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук

Харків – 2013

Дисертація на правах рукопису.

Робота виконана в науково – дослідному центрі Академії внутрішніх військ Міністерства внутрішніх справ України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Лисіков Євген Миколайович,

Українська державна академія залізничного транспорту, професор кафедри колії та колійного господарства

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Рябчиков Микола Львович,

Українська інженерно-педагогічна академія, завідувач кафедри технології і дизайну

кандидат технічних наук, доцент

Лукічов Олександр Володимирович,

Донецька академія автомобільного транспорту, в.о. завідувача кафедри основи проектування машин

Захист відбудеться « 23 » жовтня 2013 року о 16.00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.10 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002 м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002 м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий « 20 » вересня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 64.050.10



В.Г. Сукіасов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Довговічність технічних систем, в яких використовуються підшипники ковзання, головним чином визначається формуванням змащувальної плівки на поверхнях деталей. Механізм формування змащувальної плівки залежить від природи поверхні, структури мастильного матеріалу та зовнішніх чинників – режимів роботи підшипника.

Молекули поверхнево-активних речовин (ПАР), що додаються в мастила складаються з вуглецевого радикала й полярно-активної частини, яка за рахунок рознесення позитивних і негативних зарядів має постійний дипольний момент. Тому, по мірі збільшення концентрації ПАР підсилюється взаємодія між їхніми молекулами в об'ємі, тобто росте частина агрегованої речовини. Досягши деякої концентрації, що зветься критичною концентрацією міцелоутворення, основна частина ПАР в базовому мастилі перебуває у зв'язаному або міцелярному стані, що суперечить ефективному формуванню змащувального шару на поверхні тертя.

Одним з перспективних методів інтенсифікації формування змащувальної плівки, відповідно до раніше проведених досліджень, може бути застосування зовнішнього електростатичного поля, спрямованого на руйнування міцел, що призводить до переводу молекул ПАР у мономірний стан. В цьому контексті доцільно провести дослідження механізму формування змащувальної плівки з присадки у мономірному стані, вплив будови та товщини змащувальної плівки на контактні напруження у підшипниках ковзання, а також процеси зношування підшипників ковзання в умовах електростатичної обробки мастил.

Таким чином, науково-практична задача по збільшенню строку служби підшипників ковзання за рахунок формування на поверхнях деталей граничної плівки кристалічної будови з молекул присадок до мастил є актуальною, що визначає напрям дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в науково-дослідному центрі Академії внутрішніх військ МВС України. Основні результати отримані при виконанні науково-дослідної роботи «Прогнозування ресурсів вузлів тертя двигунів автомобілів ВВ МВС України при обробці електростатичними полями моторних мастил», в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета та задачі дослідження. Метою даної роботи є підвищення довговічності підшипників ковзання за рахунок інтенсифікації формування граничної змащувальної плівки, що утворюється з молекул ПАР при обробці мастил електростатичним полем.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

– провести аналіз структури мастил, що використовуються для змащення підшипників ковзання та сучасних методів інтенсифікації формування змащувальної плівки і зменшення зносу деталей підшипників.

– розробити фізико-математичну модель довговічності підшипників ковзання при пружно-пластичному контакті поверхонь за умови попередньої електростатичної обробки мастил.

– встановити теоретичним шляхом зв'язок між товщиною змащувальної плівки та втомною міцністю деталей підшипників ковзання.

– розробити фізико-математичну модель розподілу напруженості силового поля поверхні тертя по товщині змащувальної плівки, сформованої за умови попередньої електростатичної обробки моторного мастила.

– визначити розподіл напруженості силового поля поверхні тертя в змащувальній плівці.

– експериментальним шляхом встановити вплив напруженості електростатичного поля та температури мастила на товщину змащувальної плівки, яка утворюється з молекул присадок на поверхнях тертя.

– встановити закономірності впливу напруженості електростатичного поля під час обробки мастил, навантаження та швидкості ковзання деталей на інтенсивність зношування підшипників.

Об'єкт дослідження – процес зменшення контактних напружень у підшипниках ковзання шляхом інтенсифікації формування граничної змащувальної плівки на поверхнях тертя при попередній обробці мастил електростатичним полем.

Предмет дослідження – підшипники ковзання технічних систем з використанням мастил на нафтовій основі з присадками, що підлягають попередній обробці електростатичним полем.

Методи дослідження. При теоретичному вивченні строку служби підшипників ковзання, механізму формування змащувальної плівки і розробці фізико-математичних моделей використані фундаментальні положення теоретичної механіки, електростатики, тріботехніки та колоїдної хімії.

Для встановлення впливу напруженості електростатичного поля та температури мастила на товщину змащувальної плівки, утвореної молекулами присадок на поверхнях тертя, а також закономірності впливу напруженості електростатичного поля, тиску та швидкості руху на інтенсивність зношування підшипників ковзання використовувалися методи планування експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

– розроблена фізико-математична модель оцінки довговічності підшипників ковзання при контакті поверхонь в умовах електростатичної обробки мастил;

– експериментально встановлений зв'язок між товщиною змащувальної плівки та втомною міцністю деталей підшипників ковзання;

– встановлена закономірність інтенсифікації адсорбційного процесу на поверхнях вузлів тертя шляхом обробки мастил зовнішнім електростатичним полем;

– розроблена фізико-математична модель розподілу напруженості силового поля поверхні тертя по товщині змащувальної плівки, утвореної в умовах електростатичної обробки мастила;

– експериментально визначені режими обробки моторних мастил електростатичним полем, при яких спостерігається максимальний ефект

зменшення контактних напружень і зносу підшипників ковзання за рахунок інтенсифікації адсорбційного процесу на поверхнях тертя.

Практичне значення одержаних результатів для машинобудування полягає в удосконаленні систем змащення підшипників ковзання при застосуванні способу електростатичної обробки мастил. Розроблено практичні рекомендації щодо застосування електростатичної обробки моторних мастил в системах змащення двигунів внутрішнього згорання та підшипникових вузлів технологічного обладнання, що змащуються турбінними мастилами. Запропонований спосіб електростатичної обробки мастил дозволяє підвищити ресурс підшипників ковзання в 1,8...3,5 рази.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у системах змащення ДВЗ автомобільної техніки управління Східного Територіального командування внутрішніх військ МВС України, підрозділів науково-дослідного експертно-криміналістичного центру ГУМВС України в Донецькій області, а також використані у навчальному процесі Донецької академії автомобільного транспорту у дисциплінах «Автомобілі» та «Транспортні засоби».

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення та практичні результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, одержані здобувачем особисто.

Серед них: фізико-математична модель довговічності підшипників ковзання при контакті поверхонь в умовах електростатичної обробки мастил; дослідження зв'язку між товщиною змащувальної плівки та втомною міцністю деталей підшипників ковзання; побудова фізико-математичної моделі розподілу напруженості силового поля поверхні тертя по товщині змащувальної плівки, утвореної в умовах електростатичної обробки мастила; результати експериментальних досліджень по встановленню впливу напруженості електростатичного поля та температури мастила на товщину змащувальної плівки, утвореної молекулами присадок на поверхнях тертя; результати експериментальних досліджень по встановленню закономірності впливу напруженості електростатичного поля, тиску та швидкості на швидкість та інтенсивність зношування підшипників ковзання.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідалися на: науково-практичній конференції «Внутрішні війська МВС України на етапі реформування та розбудови» (м. Харків, 2007); науково-практичній конференції «Проблемні питання службово-бойового застосування сил охорони правопорядку на сучасному етапі» (м. Харків, 2008); науково-практичній конференції «Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України» (м. Харків, 2009); засіданні НДЦ Академії внутрішніх військ МВС України (м. Харків, 2008, 2009); II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Освітньо-наукове забезпечення діяльності правоохоронних органів і військових формувань України» (Хмельницький, 2009); кафедрі тактико-спеціальної підготовки ДЮІ ЛДУВС (м. Донецьк, 2009, 2010); кафедрі колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту (м. Харків, 2010); науково-практичній конференції «Наукове забезпечення службово-бойової

діяльності внутрішніх військ МВС України» (м. Харків, 2010); кафедрі деталей машин НТУ «ХП» (м. Харків, 2010); кафедрі автомобілів і двигунів Автомобільно-дорожнього інституту ДонНТУ (м. Горлівка, 2010), III Всеукраїнській науково-практичній конференції «Освітньо-наукове забезпечення діяльності правоохоронних органів і військових формувань України» (Хмельницький, 2010); технічній нараді ВАТ «Азовзагальмаш» (м. Маріуполь, 2011); кафедрі підйомно-транспортні машини і обладнання НТУ «ХП» (м. Харків, 2013).

Публікації. Основні наукові положення і результати досліджень за темою дисертації опубліковано у 13 наукових працях, з яких 6 статей у фахових виданнях, 1 патент України та 6 публікацій у матеріалах науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації складає 139 сторінок, з них 30 рисунків по тексту, 1 рисунок на 1 окремії сторінці, 22 таблиці у тексті, 2 таблиці на 2 окремих сторінках, 74 найменування використаних джерел на 8 сторінках, 7 додатків на 8 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність досліджень впливу процесу інтенсифікації формування змащувальної плівки за рахунок електростатичного поля на довговічність підшипників ковзання, надається загальна характеристика роботи та сформульована мета і задачі досліджень.

У **першому розділі** виконаний аналіз головних чинників, що впливають на довговічність підшипників ковзання при наявності змащувального матеріалу. При роботі підшипників ковзання, особливо в режимі граничного змащення поверхонь, на довговічність суттєво впливають товщина та міцність граничної змащувальної плівки котра утворюється з молекул поверхнево-активних речовин (ПАР) змащувального матеріалу. Така плівка зменшує дотикові напруження при контакті деталей підшипників ковзання, як слід уповільнює процеси пластичного деформування поверхневих шарів деталей та підвищує їх втомну міцність. Встановлено, що структура сучасних змащувальних матеріалів для підшипників ковзання не в повній мірі забезпечує ефективне формування граничної змащувальної плівки, оскільки молекули ПАР в об'ємі об'єднані в надмолекулярні агрегати, в яких сила зв'язку молекул між собою має електричну природу і перевищує силу взаємодії одиночної молекули ПАР із поверхнею підшипника. В зв'язку з цим при роботі підшипників ковзання в систему змащення слід вводити підготовчий етап, спрямований на руйнування надмолекулярних агрегатів, тобто перевід їх в одиночний стан. Дослідженнями, проведеними раніше школою проф. Лисікова Є.М., встановлено, що найбільш ефективним методом руйнування надмолекулярних агрегатів є обробка змащувальних матеріалів зовнішніми електричними полями. Однак, виникає потреба у розкритті

закономірності інтенсифікації формування змащувальної плівки кристалічної будови на поверхнях тертя підшипників ковзання в умовах такої обробки, а також у встановленні зв'язку між властивостями змащувальної плівки та довговічністю підшипників ковзання.

У **другому розділі** проведені теоретичні дослідження довговічності підшипників ковзання, що працюють в умовах граничного змащення поверхонь деталей та в умовах електростатичної обробки змащувального матеріалу. Запропонована модель довговічності підшипників ковзання (по критерію строку служби) з урахуванням контакту поверхонь в умовах електростатичної обробки змащувального матеріалу. При такій обробці граничний змащувальний шар, на відміну від традиційного варіанту, рис. 1 а), утворюється лише з мономерів молекул ПАР, рис. 1 б), має кристалічну будову та наближається по властивостям до твердого тіла.

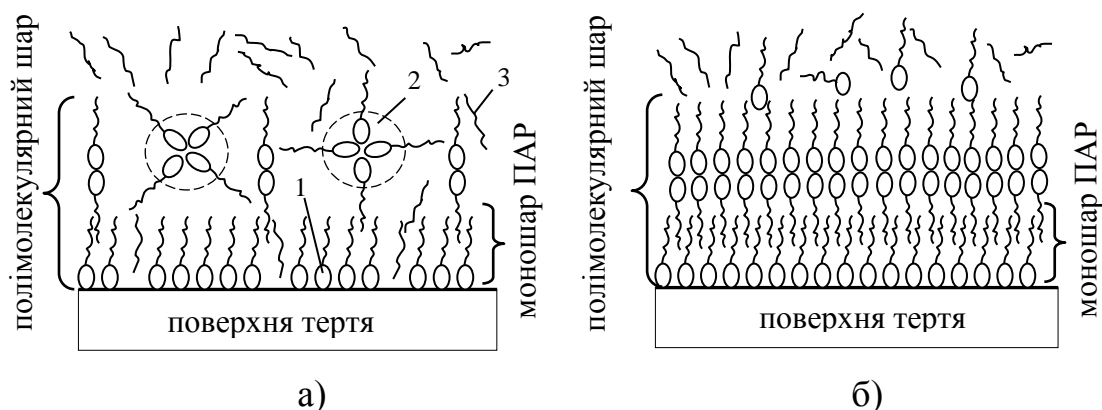


Рис. 1. Змащувальна плівка на поверхні тертя. а) – без електростатичної обробки; б) – після використання електростатичної обробки моторного мастила: 1 – молекула ПАВ; 2 – агрегат молекул ПАВ; 3 – молекула базового мастила.

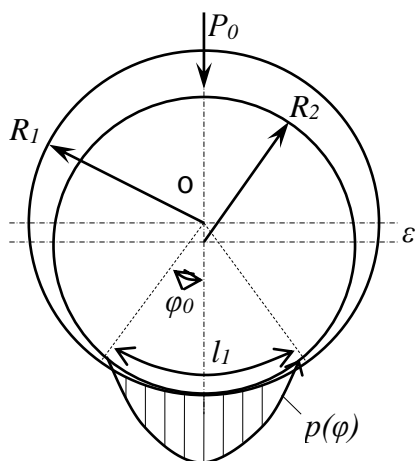


Рис. 2. Розрахункова схема підшипника ковзання: P_0 – навантаження на одиницю довжини; R_1, R_2 – радіуси відповідно вкладиша та валу; ε – радіальний зазор; $2\varphi_0$ – кут обхвату; l_1 – шлях тертя вкладиша за один оберт; $p(\varphi)$ – функція розподілу контактного тиску.

Таким чином, поверхні тертя підшипника ковзання при граничному змащенні розділені твердим шаром – змащувальною плівкою кристалічної будови. При розробці моделі довговічності використовувалась розрахункова схема підшипника ковзання, рис. 2. Довговічність підшипника ковзання T можна визначити, згідно І.В. Крагельського, як

$$T = \frac{|U| - (R_1 - R_2)}{(I_1 \cdot l_1 - I_2 \cdot l_2) \cdot n}, \quad (1)$$

де $|U|$ – допустимий знос підшипника; I_1, I_2 – інтенсивності

зношування відповідно вкладиша та валу; l_1, l_2 – шляхи тертя за один оберт відповідно вкладиша та валу; n – кількість обертів валу.

Для оцінки строку служби підшипників ковзання необхідно встановити значення інтенсивності зносу його деталей в залежності від умов навантаження та змащення. За результатами робіт І.В. Крагельського та Г. Фляйшера, інтенсивність зношування при контакті

$$I = \frac{\tau}{l_T} = \frac{\tau \cdot \Delta V}{W_T}, \quad (2)$$

де τ – питома сила тертя або дотикові контактні напруження; l_T – енергетична щільність тертя; W_T – робота тертя; ΔV – об'єм зношеного матеріалу.

Враховуючи той факт, що при граничному змащенні підшипника ковзання об'ємно-в'язкісні властивості змащувальної плівки суттєво відрізняються від властивостей мастила, зв'язок між товщиною граничної плівки та дотиковими напруженнями при роботі підшипника можна записати з урахуванням положень теорії пружногідродинамічного змащення та зміни товщини граничної плівки в залежності від напруженості зовнішнього електростатичного поля, а саме

$$\frac{\tau}{1 - (\tau/G)^2} = \eta \cdot \frac{v_2 - v_1}{h(E)} \cdot \frac{\arctg \Lambda^0}{\Lambda^0}, \quad (3)$$

де $\Lambda^0 = \Lambda^* \cdot [1 - (\tau/G)^2]^{1/2}$; $\Lambda^* = \frac{|v_2 - v_1|}{2[1 + \delta(\Theta - \Theta_0)]} \cdot \left\{ \frac{\eta_0 \cdot \delta \cdot \exp(\alpha \cdot p)}{k} \right\}^{1/2}$; η – динамічна в'язкість змащувальної плівки кристалічної будови

$$\eta = \eta_0 \cdot \exp \left[\frac{\alpha \cdot p}{1 + \delta(\Theta - \Theta_0)} \right], \quad (4)$$

де η_0 – динамічна в'язкість мастила; p – контактний тиск; α – п'єзокоефіцієнт в'язкості мастила; δ – температурний коефіцієнт в'язкості мастила; Θ_0 – початкова температура мастила; Θ – температура мастила в зоні контакту; v_1, v_2 – лінійні швидкості ковзання поверхонь; k – коефіцієнт теплопровідності мастила; G – модуль зсуву змащувальної плівки; $h(E)$ – функція товщини змащувальної плівки, яка визначається в роботі експериментальним шляхом.

Залежності (1), (2) і (3) разом утворюють модель довговічності підшипників T ковзання при пружно-пластичному контакті поверхонь, яка має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \frac{|U| - (R_1 - R_2)}{\frac{\tau \cdot \Delta V_1}{W_{T1}} l_1 - \frac{\tau \cdot \Delta V_2}{W_{T2}} l_2 \cdot n}; \\ \frac{\tau}{1 - (\tau / G)^2} = \eta \cdot \frac{v_2 - v_1}{h(E)} \cdot \frac{\arctg \Lambda^0}{\Lambda^0}. \end{array} \right. \quad (5)$$

Залежності (5) дозволяють проводити розрахунок довговічності підшипників T по критерію строку служби деталей з урахуванням їх допустимого зносу в умовах інтенсифікації формування змащувальної плівки.

$\tau \times 10^6$, Па

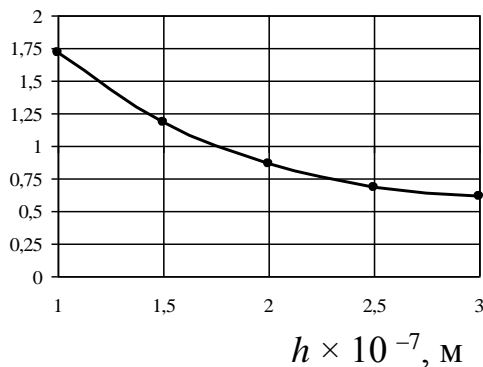


Рис. 3. Розрахункові значення напружень тертя в залежності від товщини змащувальної плівки

В якості прикладу на рис. 3 наведено зв'язок між дотиковими напруженнями при роботі підшипника ковзання та товщиною граничної змащувальної плівки. Розрахунки проводилися по першому рівнянню моделі (5) за такими вихідними даними: товщина плівки змінюється в межах $h = 10^{-7} \dots 3 \cdot 10^{-7}$ м; контактний тиск $p = 25$ МПа; початкова температура мастила $\Theta_0 = 80$ °С; температура мастила в зоні контакту $\Theta = 120$ °С; динамічна в'язкість мастила $\eta_0 = 3 \cdot 10^{-3}$ Па·с; п'єзокоефіцієнт в'язкості мастила $\alpha = 13,2 \cdot 10^{-7}$ м²/Н; температурний коефіцієнт в'язкості мастила $\delta = 3 \cdot 10^{-2}$ 1/°С; лінійні швидкості ковзання $v_1 = 0$, $v_2 = 1,25$ м/с; теплопровідність мастила $k = 0,13$ Н/(с·°С); модуль зсуву $G = 5 \cdot 10^7$ Н/м².

Згідно проведеного розрахунку, із збільшенням товщини плівки в 2 рази дотикові напруження зменшуються в 1,9 раз.

Оскільки, окрім пластичного деформування поверхневих шарів деталей до основних видів руйнування можна віднести втомне зношування, на другому етапі теоретичних досліджень встановлювався зв'язок між товщиною змащувальної плівки кристалічної будови і втомною міцністю деталей підшипників ковзання. Розрахунки деталей на втомну міцність проводилися по відомим залежностям:

$$\sigma(h) \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{-1}}{K_0 \cdot n_\sigma}, \quad (6)$$

$$N_\sigma = \left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma(h)} \right)^m \cdot N_{G\sigma}, \quad (7)$$

де $\sigma(h)$ – діючі максимальні нормальні напруження в контакті; h – товщина граничної змащувальної плівки; $[\sigma]$ – допустимі напруження на витривалість; σ_{-1} – границя витривалості для матеріалу деталі; n_σ – коефіцієнт запасу міцності; K_0 – коефіцієнт зниження границі витривалості: $K_0 \geq 1$; N –

втомна міцність деталі (кількість циклів навантаження); $N_{G\sigma}$ – абсциса точки перелому на кривій втомленості; m – показник ступеня, який встановлюється експериментальним шляхом і дорівнює $m = \operatorname{ctg}\alpha$, де α – кут нахилу кривої втомленості матеріалу до границі перелому.

Для розкриття функції $\sigma(h)$ розглянутий дискретний контакт у підшипнику ковзання, а саме контакт окремих мікроскопічних нерівностей, вкритих граничною плівкою молекул ПАР змінної товщини, як показано на рис. 4.

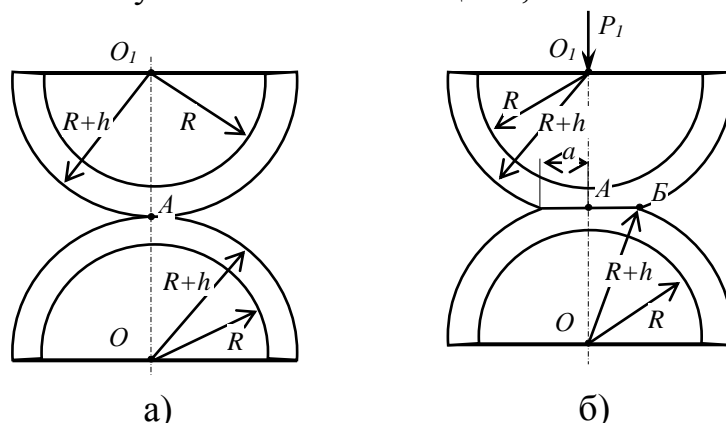


Рис. 4. Розрахункова схема до визначення ділянки контакту та максимальних контактних напружень при контакті двох мікроскопічних виступів підшипника ковзання: а) до навантаження; б) після навантаження.

$\sigma(h) \times 10^8, \text{ Па}$

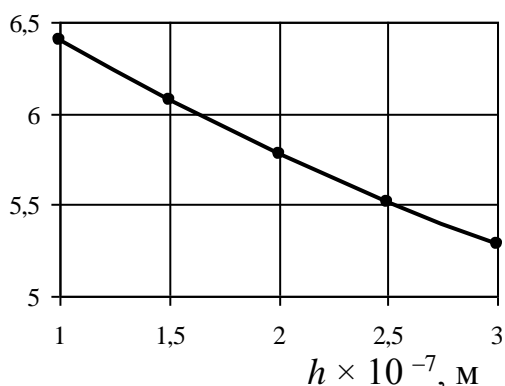


Рис. 5. Нормальні напруження в контакті нерівностей

$N_{\sigma} \times 10^8, \text{ циклів}$

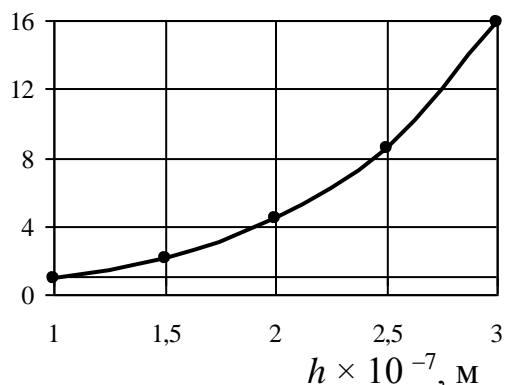


Рис. 6. Зміна втомної міцності

На основі теорії Герца для контакту нерівностей у вигляді півсфер, рис. 4, отриманий радіус ділянки контакту

$$a = \left(\frac{3P_1(R+h)}{4E^*} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (8)$$

Максимальний контактний тиск (нормальне напруження) становить

$$\sigma(h) = p_m = \left(\frac{6P_1E^{*2}}{\pi^3(R+h)^2} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (9)$$

де E^* – зведений модуль пружності.

Для прикладу проведений розрахунок нормальних напружень, що виникають на нерівностях валу підшипника з такими вихідними даними: товщина плівки змінюється в межах $h = 10^{-7} \dots 3 \cdot 10^{-7}$ м; зовнішнє навантаження на вал $P_0 \cdot B = 1000$ Н при $B = 10^{-2}$ м; радіус валу $R_2 = 25 \cdot 10^{-3}$ м; радіус виступів рівновагової шорсткості $R = 0,5 \cdot 10^{-6}$ м; $m = 14,5$; матеріал вкладиша БрОЦС 4-4-17, матеріал валу 18Х2Н4МА.

Результати розрахунків показують, що із зростанням товщини граничної змащувальної плівки зменшуються нормальні контактні навантаження, та підвищується втомна міцність підшипників ковзання. Так, при збільшенні товщини плівки в 2 рази з $1 \cdot 10^{-7}$ м до $2 \cdot 10^{-7}$ м, нормальні напруження зменшуються в 1,11 рази, рис. 5, при цьому втомна міцність збільшується в 4,4 рази, рис. 6. Такі ефекти досягаються використанням при змащенні підшипників електростатичної обробки мастил. Завдяки цієї обробки, згідно проведених експериментальних досліджень товщина змащувальної плівки збільшується до 2 разів, у порівнянні з необробленим мастилом.

Встановлена закономірність розподілу силового поля поверхні тертя по товщині змащувальної плівки, яка враховує ефект поляризації плівки кристалічної будови під дією поля поверхні.

Якщо уявити створену при терті мікроскопічну ділянку металевої поверхні, що взаємодіє з молекулою ПАР, у вигляді кола радіусом R , на якому з рівною періодичністю розташовані активні центри (вільні зв'язки, утворені при руйнуванні кристалічної решітки), рис. 7. Величина заряду одного центру q визначається з моделі однорідного фону металу – «желе». Кількість активних центрів n , що приходить на одну молекулу ПАР, згідно А. С. Ахматова, визначається з урахуванням періоду їх розташування a_0 та площі поперечного перерізу молекули в площині XY. Потенціал поля в точці, віддаленій на відстань h , у змащувальній плівці дорівнює

$$\varphi(h) = \frac{1}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{Q}{R^2} (\sqrt{R^2 + h^2} - h), \quad (10)$$

де Q – сумарний електричний заряд активних центрів, що взаємодіють із однією молекулою ПАР; ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму; ϵ – відносна діелектрична проникність змащувальної плівки.

З робіт по дослідженню електричних властивостей полярних діелектриків відомо, що рідкі кристали, до яких можна віднести змащувальну плівку, володіють набагато вищим значенням діелектричної проникності – на 1...2 порядки вище ніж у ізотропної рідини. Таким чином, по мірі віддалення від поверхні тертя, значення ϵ повинно змінюватися від максимального до мінімального на границі розділу «плівка - мастило». Мінімальне значення, відоме для сучасних мастил на нафтовій основі, становить приблизно 2,5...3. Уявимо, що

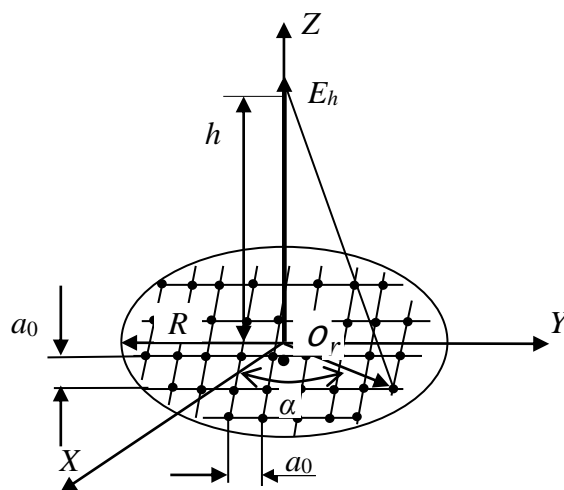


Рис. 7. Розрахункова схема для визначення напруженості поля мікроскопічної ділянки поверхні

$$\varepsilon = \frac{K_1}{\sqrt{h}}, \quad (11)$$

де K_1 – коефіцієнт, що відбиває характер зміни діелектричної проникності плівки по мірі переходу від кристалічного тіла до ізотропної рідини, тоді

$$K_1 = \varepsilon \cdot \sqrt{h}. \quad (12)$$

З урахуванням (10) та (11) напруженість E_{II} поля мікроскопічної ділянки

$$E_h = -\frac{d\varphi}{dh} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 R^2 \cdot K_1} \left[\frac{3}{2} \sqrt{h} - \frac{\sqrt{R^2 + h^2}}{2\sqrt{h}} - \frac{h\sqrt{h}}{\sqrt{R^2 + h^2}} \right]. \quad (13)$$

При встановленні закономірності розподілу силового поля поверхні тертя необхідно також враховувати ще й факт поляризації змащувальної плівки, оскільки таке явище притаманне усім діелектрикам, розташованим у зовнішньому полі, особливо полярним. Сумарні поляризаційні ефекти призводять до появи у кожній точці плівки локального поля

$$E_{лок} = E_{II} + \frac{P}{3\varepsilon_0}, \quad (14)$$

де P – поляризація змащувальної плівки.

Структура змащувальної плівки, утвореної в умовах електростатичної обробки мастил близька до структури рідких кристалів, а, згідно численних досліджень, у таких речовин зв'язок поляризації з напруженістю зовнішнього поля має нелінійний характер, тобто

$$P = \varepsilon_0 \chi E_h + \chi_1 E_h^2, \quad (15)$$

де χ - діелектрична сприйнятливість плівки, $\chi = \varepsilon - 1$.

Перша складова (15) відбиває лінійний зв'язок індукованого електричного моменту із зовнішнім полем. Друга складова $\chi_1 E_h^2$ – механізм спонтанної поляризації. Використовуючи вирази (11), і (15), поляризацію змащувальної плівки на поверхнях тертя визначається за допомогою наступної залежності

$$P = \varepsilon_0 \left(\frac{K_1}{\sqrt{h}} - 1 \right) \cdot E_h + \chi_1 E_h^2. \quad (16)$$

На основі (13) і (16) визначається локальне електричне поле в змащувальній плівці. Отримана модель розподілу електростатичного поля в змащувальній плівці дозволяє враховувати рідкокристалічні властивості, набуті при формуванні під дією поля поверхні тертя в умовах

електростатичної обробки мастила. У випадку, коли відсутні будь які механічні дії на плівку, умовою адсорбції молекул є перевищення енергії взаємодії молекули ПАР з поверхнею тертя W_M над тепловою енергією молекули W_T , тоді товщину плівки, з урахуванням законів електростатики, можна знайти із виразу

$$\frac{P \cdot Q}{2\pi\epsilon_0 R^2 \cdot K_1} \left(\frac{3}{2} \sqrt{h} - \frac{\sqrt{R^2 + h^2}}{2\sqrt{h}} - \frac{h\sqrt{h}}{\sqrt{R^2 + h^2}} \right) \times \left[1 + \frac{K_1 - \sqrt{h}}{3\sqrt{h}} + \frac{Q \cdot x^1}{6\pi\epsilon_0^2 \cdot R^2 \cdot K_1} \left(\frac{3}{2} \sqrt{h} - \frac{\sqrt{R^2 + h^2}}{2\sqrt{h}} - \frac{h\sqrt{h}}{\sqrt{R^2 + h^2}} \right) \right] = KT^*, \quad (17)$$

де P – дипольний момент молекули ПАР; K - постійна Больцмана; T^* -температура в змашувальній плівці.

Залежність (16) дозволяє визначити максимальну товщину граничної змашувальної плівки, що утворюється в умовах електростатичної обробки мастила. Наприклад, для $P = 10^{-29}$ Кл·м; $Q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, розрахункове значення дорівнює $h_{max} = 0,48$ мкм.

У **третьому розділі** наведені методики та результати експериментальних досліджень впливу електростатичної обробки мастил для підшипників ковзання на товщину граничної змашувальної плівки та довговічність деталей підшипників.

Товщина плівки вимірювалась методом «стопи» А.С. Ахматова та визначалася при різній напруженості зовнішнього електростатичного поля E , В/м та температурі мастила T , °К. Обробка зовнішнім полем проводилася у пристрої з коаксіальними електродами. По результатах досліджень побудовані рівняння регресії, що відбивають закономірність зміни товщини змашувальної плівки, а їх графічне відображення наведено на рис. 8.

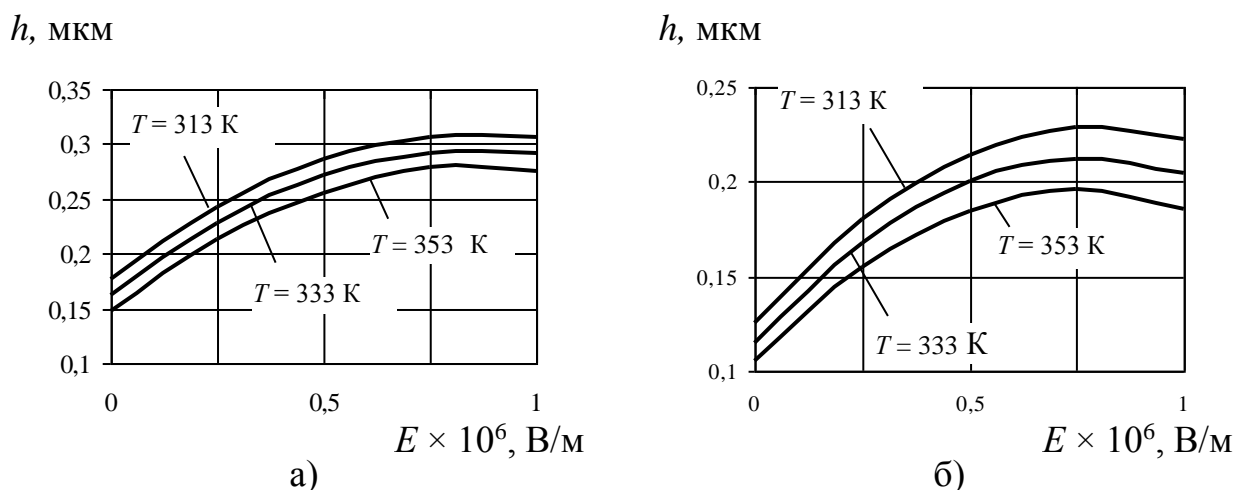


Рис. 8. Зміна товщини плівки: а) мастило М10-Г2; б) мастило ТП-22.

Згідно результатів досліджень товщина плівки, що утворюється на металевих поверхнях, залежить нелінійно від напруженості зовнішнього електростатичного поля, при цьому зі збільшенням напруженості

спостерігається ріст товщини для обох досліджуваних мастил. Для мастила М10-Г2 товщина плівки ПАР зростає в 1,7 – 1,8 рази, в залежності від температури, рис. 8 а). Для мастила ТП-22 товщина плівки зростає в 1,76 – 1,78 рази, рис. 8 б).

Для встановлення впливу електростатичної обробки мастил на довговічність підшипників ковзання проведена серія випробувань зразків підшипників на машині тертя СМТ-1. Перша частина випробувань дозволила

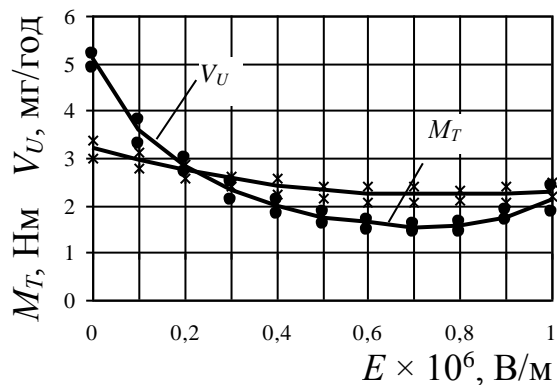
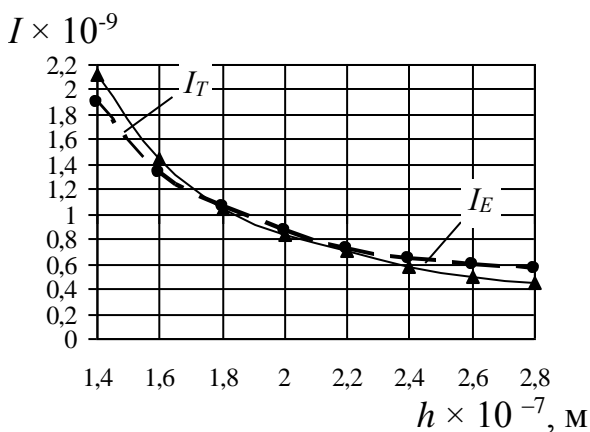


Рис. 9. Зміна швидкості зношування вкладишу та моменту тертя

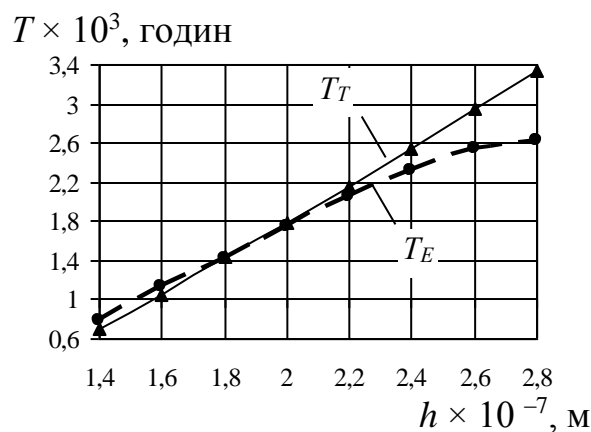
встановити зв'язок швидкості зношування вкладишів V_U та моменту сил тертя M_T із напруженістю зовнішнього поля, рис. 9. Ці дані дозволили встановити область раціональних значень напруженості – $(0,7...0,8) \times 10^6$ В/м.

За даними експерименту розраховані значення інтенсивності зношування вкладишів підшипників, а також проведені порівняння теоретичних значень інтенсивності зношування та строку служби із

відповідними експериментальними значеннями, як показано на рис. 10. Тут теоретичні значення отримані за допомогою моделі (5). Розбіжність між теоретичними даними, отриманими по розробленій моделі довговічності підшипників ковзання (5), та експериментальними даними знаходиться в межах 11...21 %.



а)

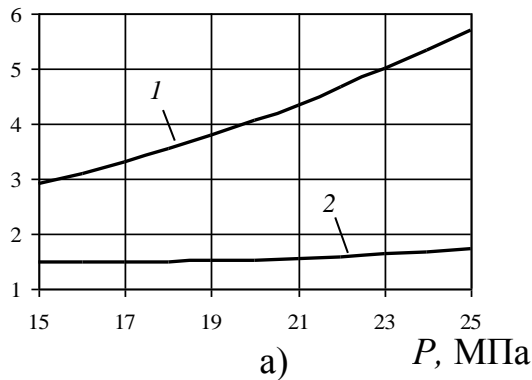


б)

Рис. 10. Порівняння теоретичних та експериментальних даних: а) – інтенсивність зношування; б) – строк служби

Експериментально встановлені закономірності зміни швидкості зношування деталей підшипників ковзання в залежності від тиску P , МПа у контакті та швидкості обертання валу n , s^{-1} в умовах обробки мастила з раціональним значенням напруженості поля, отриманими раніше, рис. 11.

V_U , мг/год



V_U , мг/год

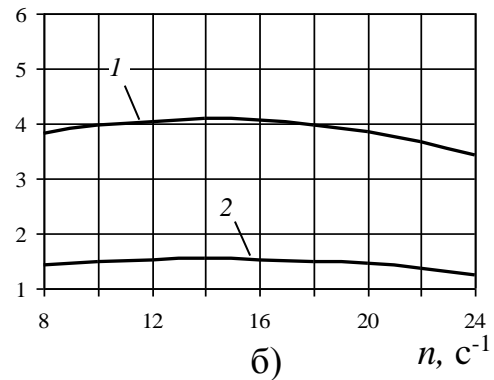


Рис. 11. Зміна швидкості зношування залежно від контактного тиску – а) і швидкості обертання валу – б): 1 – без обробки мастила; 2 – з обробкою.

У **четвертому розділі** розроблені практичні рекомендації щодо впровадження електростатичної обробки мастил в циркуляційні системи змащення підшипників ковзання, а також на прикладі системи змащення ДВЗ номінальною потужністю 85 КВт розрахований річний економічний ефект від використання результатів досліджень, який склав 2800 грн. на один двигун.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу машинознавства – збільшення строку служби підшипників ковзання за рахунок формування на поверхнях деталей граничної плівки кристалічної будови з молекул присадок до мастил при їх електростатичній обробці.

Основні теоретичні і практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Сучасні мастила на нафтовій основі по своїй структурі, як колоїдні системи, не повною мірою відповідають умовам ефективного формування змащувальної плівки на поверхнях підшипників ковзання, що пов'язано із властивістю молекул присадок утворювати в об'ємі мастила специфічні агрегати – міцели які володіють слабкою поверхневою активністю за рахунок розташування полярно-активних частин молекул в ядрі агрегату. Перспективним способом інтенсифікації процесу формування змащувальної плівки є вплив на мастила у процесі роботи системи змащення електростатичним полем.

2. Розроблена фізико-математична модель довговічності підшипників ковзання при контакті поверхонь в умовах електростатичної обробки мастил. Згідно розробленої моделі використання такої обробки суттєво зменшує дотикові напруження в контакті, що призводить до зменшення інтенсивності зношування в 2...4,7 рази і аналогічного збільшення строку служби підшипників ковзання.

3. Теоретичними дослідженнями встановлений зв'язок між товщиною змащувальної плівки та нормальними контактними напруженнями і втомною

міцністю підшипників ковзання. Результати розрахунків показують, що при збільшенні товщини плівки в 2 рази, нормальні напруження зменшуються на 10...15 %, при цьому втомна міцність збільшується в 4,4 рази.

4. Отримана залежність розподілу силового поля поверхні тертя в змащувальній плівці, згідно якої напруженість поля зворотно пропорційна квадрату відстані від поверхні. Ця залежність дозволяє в загальному вигляді визначити напруженість поля поверхні тертя в змащувальній плівці безвідносно до механізму її формування, оскільки вона не враховує властивостей змащувальної плівки, особливо, коли розглядається вплив зовнішнього електростатичного поля на структуру мастила.

5. Для варіанту електростатичної обробки мастил побудована фізико-математична модель розподілу напруженості силового поля поверхні тертя по товщині змащувальної плівки, утвореної мономерами молекул ПАР. Згідно отриманої моделі основний вклад в розподіл напруженості поля поверхні тертя по товщині плівки надає складова механізму спонтанної поляризації, в якій відбивається квадратична залежність орієнтації диполів ПАР від напруженості електричного поля.

6. Згідно експериментальних досліджень, проведених за допомогою метода «стопи» Ахматова, товщина граничного змащувального шару зростає по мірі збільшення напруженості зовнішнього електростатичного поля для мастила М10-Г2 в 1,7 – 1,8 рази, а для мастила ТП-22 в 1,76 – 1,78 рази, в залежності від температури. По досягненню напруженості електростатичного поля величини $0,65...0,75 \times 10^6$ В/м зростання товщини шару припиняється, і вона досягає максимальних значень. Температура мастил також суттєво впливає на товщину граничного шару молекул присадок. Так, при збільшенні температури з 313 К до 353 К товщина граничного шару зменшується на 40...50% для необроблених мастил і на 10...15% для мастил, що підлягали обробці електростатичним полем.

7. Експериментальні дослідження швидкості зношування підшипників ковзання дозволили встановити для мастила М10-Г2 раціональні значення напруженості електростатичного поля, при яких спостерігається максимальний протизношувальний ефект від електростатичної обробки. Згідно отриманих експериментальних даних раціональні значення напруженості поля для досліджуваних мастил знаходяться в межах $0,65...0,8 \times 10^6$ В/м. Розбіжність між теоретичними та експериментальними даними по інтенсивності зношування та строку служби підшипників ковзання знаходиться в межах 11...21 % в досліджуваному діапазоні товщини змащувальної плівки. Цими ж дослідженнями встановлені емпіричні залежності, які відображають зміну швидкості зношування підшипників ковзання від контактної тиску і швидкості ковзання як при змащенні необробленим мастилом, так і при використанні обробки мастила М10-Г2 електростатичним полем з раціональними значеннями його напруженості.

8. Проведеними в роботі дослідженнями встановлено, що електростатична обробка мастил призводить до збільшення довговічності підшипників ковзання від 2 до 4 разів, в залежності від напруженості поля, температури мастила та

зовнішніх навантажень. Розбіжність між експериментальними та теоретичними значеннями критерію довговічності – строку служби становить 11...21 %, в залежності від товщини граничної змащувальної плівки.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у вигляді пристрою для електростатичної обробки, методик та рекомендацій щодо удосконалення системи змащення підшипників ковзання у автомобільній техніці управління Східного територіального командування внутрішніх військ МВС України, підрозділів науково-дослідного експертно-криміналістичного центру ГУМВС України в Донецькій області, а також використані у навчальному процесі Донецької академії автомобільного транспорту.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ткач В.В. Надмолекулярні структури присадки й механізм формування мастильного шару / С.В. Воронін, В.В. Ткач // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – Донецьк: ПП Рекламно-виробнича фірма «Молнія». – 2009. – Вип. 1. – С. 367 – 371.

Здобувачу належить проведення аналізу стану молекул присадки в об'ємі моторних мастил.

2. Ткач В.В. Область дії напруженості силового поля поверхні тертя в умовах наявності мастильної плівки / Є.М. Лисіков, В.В. Ткач // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця: ВНТІ МОН України. – 2009. – Вип. 6. – С. 65 – 68.

Здобувачу належить розроблення фізико-математичної моделі розподілу напруженості силового поля поверхні тертя по товщині змащувальної плівки, утвореної в умовах електростатичної обробки мастила.

3. Ткач В.В. Вплив напруженості зовнішнього електростатичного поля на товщину змащувальної плівки / С.В. Воронін, В.В. Ткач // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2009. – № 1. – С. 58 – 63.

Здобувачу належить встановлення закономірності інтенсифікації адсорбційного процесу на поверхнях вузлів тертя шляхом обробки мастил зовнішнім електростатичним полем.

4. Ткач В.В. Вплив змащувальної плівки на втомну міцність деталей підшипників ковзання / В.В. Ткач // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк: ДІЗТ Укр.ДАЗТ. – 2010. – Вип. 24. – С. 172 – 177.

5. Ткач В.В. Вплив факторів навантаження та товщини граничної змащувальної плівки на строк служби підшипників ковзання при пружно-пластичному контакті деталей / С.В. Воронін, В.В. Ткач // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк: ДІЗТ Укр.ДАЗТ. – 2011. – Вип. 25. – С. 107 – 111.

Здобувачу належить розроблення фізико-математичної моделі довговічності підшипників ковзання при пружно-пластичному контакті поверхонь в умовах електростатичної обробки мастил.

6. Tkach V.V. Increase in resource of slider bearings by means of formation intensification of boundary lubricating layer / S.V. Voronin, I.S. Grunyk, V.V. Tkach // Nauka i studia. Techniczne nauki, budownictwo i architektura, fizyka. – Przemysl: – 2013. – № 7 (75). – P. 18 – 31.

Здобувачу належить розробка фізичних основ формування граничного змащувального шару на поверхнях тертя підшипників ковзання а також, визначений вплив товщини змащувальної плівки на напруження в контактні підшипників ковзання.

7. Пат. 72366 Україна, МПК C10G 71/00. Пристрій для обробки рідких мастильних матеріалів на вуглеводневій основі / Є.М. Лисіков, С.В. Воронін, Д.В. Онопрейчук, В.В.Ткач, О.О. Овчинніков, В.О. Стефанов; № u2012 03748. Заявл. 28.03.2012. Опубл. 10.08.2012. Бюл. № 15.

Здобувачу належить визначення значень напруженості електростатичного поля при обробці моторного мастила.

8. Ткач В.В. Підвищення ресурсу вузлів тертя двигунів спеціальних машин, шляхом використання електростатичних полів / Є.М. Лисіков, В.В. Ткач // Науково-практична конференція «Внутрішні війська МВС України на етапі реформування та розбудови», 27-28 лютого, 2007р.: тези доп. – Харків, 2007. – С. 22.

Здобувачу належить розгляд зміни структури існуючих змащувальних матеріалів під впливом електростатичного току.

9. Ткач В.В. Надмолекулярні структури присадок у моторних мастилах спецтехніки МВС / Є.М. Лисіков, В.В. Ткач // Науково-практична конференція «Проблемні питання службово-бойового застосування сил охорони правопорядку на сучасному етапі», 04-05 березня, 2008р.: тези доп. – Харків, 2008. – С. 28.

Здобувачу належить розгляд питання виникнення міцелярних структур поверхнево-активних речовин в базовому мастилі.

10. Ткач В.В. Зниження зносу вузлів тертя двигунів внутрішнього згоряння шляхом застосування електростатичних полів/ В.В. Ткач // Науково-практична конференція «Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України», 09-10 квітня, 2009р.: тези доп. – Харків, 2009. – С. 17.

11. Ткач В.В. Експериментальні дослідження впливу зовнішнього електростатичного поля на змащувальні властивості моторних мастил і знос деталей двигуна внутрішнього згоряння / В.В. Ткач // II Всеукраїнська науково-практична конференція «Освітньо-наукове забезпечення діяльності правоохоронних органів і військових формувань України», 20 листопада, 2009р.: тези доп. – Хмельницький, 2009. – С. 112.

12. Ткач В.В. Вплив електростатичної обробки моторних мастил на ефективність роботи протизношувальних присадок / В.В. Ткач // Науково-практична конференція «Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України», 17-18 березня, 2010р.: тези доп. – Харків, 2010. – С. 22.

13. Ткач В.В. Вплив електростатичної обробки моторних мастил на термін служби підшипників ковзання двигунів внутрішнього згоряння / В.В. Ткач // III Всеукраїнська науково-практична конференція «Освітньо-наукове забезпечення діяльності правоохоронних органів і військових формувань України», 19 листопада, 2010р.: тези доп. – Хмельницький, 2010. – С. 160.

АНОТАЦІЇ

Ткач В'ячеслав Володимирович. Підвищення довговічності підшипників ковзання за рахунок обробки змащувальних матеріалів електростатичним полем. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.02 – машинознавство. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, Харків, 2013.

Дисертацію присвячено вирішенню важливого питання підвищення строку служби підшипників ковзання за рахунок інтенсифікації процесу формування граничної змащувальної плівки на поверхнях деталей. Запропоновано для інтенсифікації формування змащувальної плівки застосовувати спосіб електростатичної обробки мастил. Розроблені моделі довговічності підшипників ковзання при пружно-пластичному контакті поверхонь, розподілу силового поля поверхні в змащувальній плівці кристалічної будови, встановлений взаємозв'язок між властивостями змащувальної плівки і втомною міцністю деталей підшипників, а також, визначені раціональні параметри зовнішнього поля при обробці мастил для підшипників ковзання. Використання результатів роботи на практиці підвищує довговічність підшипників ковзання, які періодично працюють у режимі граничного змащення, до двох разів, залежно від режимів навантаження.

Ключові слова: підшипник ковзання, довговічність, строк служби, контактні напруження, змащувальна плівка, електростатична обробка мастила.

Ткач Вячеслав Владимирович. Повышение долговечности подшипников скольжения за счет обработки смазочных материалов электростатическим полем. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – машиноведение. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2013.

Диссертация посвящена решению важной задачи повышения срока службы подшипников скольжения, смазываемых принудительно жидкими смазочными материалами на нефтяной основе. Согласно проведенному анализу исследований, наиболее перспективным методом повышения срока службы подшипников скольжения является обработка масел внешним электростатическим полем, которая позволяет при минимальных затратах интенсифицировать процесс формирования граничной смазочной пленки на

поверхностях деталей подшипников и, тем самым, замедлить их износ. В работе высказана гипотеза о снижении контактных напряжений в подшипниках скольжения за счет увеличения толщины смазочной пленки под действием внешнего электростатического поля, причем образованную в таких условиях пленку следует рассматривать как кристаллическое тело, разделяющее поверхности подшипника при граничной смазке. В результате, с повышением толщины и механической прочности граничной пленки, контактные напряжения и интенсивность изнашивания деталей снижаются, а их ресурс, соответственно, растет.

Опираясь на высказанную гипотезу, проведены теоретические исследования, направленные на установление закономерностей изменения контактных напряжений и срока службы подшипников скольжения в зависимости от толщины граничной смазочной пленки, а также, закономерностей влияния электростатической обработки на толщину смазочной пленки, применительно к маслам для подшипников скольжения.

В результате исследований получена модель долговечности подшипников скольжения при упругопластическом контакте, позволяющая прогнозировать срок службы деталей, как в условиях электростатической обработки масел, так и без нее. Разработанная модель показала, что рост толщины пленки до двух раз приводит к аналогичному снижению контактных напряжений, как следствие, возрастает ресурс деталей, поверхность которых подвержена пластической деформации.

Установлена взаимосвязь между усталостной прочностью деталей подшипников скольжения и толщиной граничной смазочной пленки. Такая взаимосвязь была получена для одиночного контакта неровностей шероховатости поверхностей, и основывается на положениях механики контактных взаимодействий.

На основании законов электростатики получена закономерность распределения силового поля поверхностей трения подшипников по толщине смазочной пленки кристаллического строения. На основе полученной модели произведен расчет максимальной толщины смазочной пленки, формирование которой возможно в условиях электростатической обработки масел. Результаты расчетов толщины пленки согласуются с экспериментальными данными, полученными как в работе, так и другими исследователями.

С целью подтверждения теоретических положений была проведена серия экспериментальных исследований. Лабораторные исследования влияния напряженности внешнего электростатического поля и температуры масла на толщину граничной смазочной пленки подтвердили полученные в теоретических исследования значения максимальной толщины пленки, а также наиболее полно раскрыли механизм адсорбции и десорбции молекул поверхностно-активных веществ (присадок к маслам) на поверхностях деталей подшипников скольжения.

Результаты испытаний подшипников скольжения на машине трения подтвердили возможность снижения контактных напряжений при трении в подшипнике, а также позволили произвести сравнение теоретических и

экспериментальных данных по интенсивности изнашивания и сроку службы подшипников скольжения. Согласно проведенным расчетам, использование электростатической обработки масел приводит к увеличению срока службы подшипников скольжения до 4 раз, при этом различие между теоретическими значениями и экспериментом находится в пределах 10...20 %. Проведенные экспериментальные исследования позволили установить для основных марок масел, используемых в системах смазки подшипников скольжения, область рациональных параметров напряженности внешнего поля, при которых наблюдается максимальный эффект продления срока службы. Кроме того, установлена закономерность влияния режимов нагружения подшипников (внешняя нагрузка и скорость скольжения) на скорость изнашивания деталей. Полученные данные также подтвердили основные теоретические положения.

На примере циркуляционных систем смазки подшипников скольжения двигателей внутреннего сгорания разработаны практические рекомендации по использованию способа электростатической обработки масел. Также для указанных систем смазки произведен расчет годового экономического эффекта от использования результатов работы, который составляет 2 800 грн. на одну систему смазки двигателя мощностью 85 кВт.

Ключевые слова: подшипник скольжения, долговечность, срок службы, контактные напряжения, смазочная пленка, электростатическая обработка масла.

Tkach Vyacheslaw Vladimirovich. Increased longevity of sliding bearings due to treatment of lubricants the electrostatic field. – With manuscript rights.

Thesis for a candidate degree (engineering) in specialty 05.02.02 – knowing machines. National technical university “Kharkov Polytechnic Institute” of Ministry of education and science of Ukraine, Kharkov, 2013.

The thesis is dedicated to enhancing the lifetime of bearings due to intensification of the process of forming the boundary lubricating film on the work piece surface. Proposed to intensify the formation of lubricating film electrostatic processing method used oils. Models of life bearings with elastic-plastic contact surface, the surface force field distribution in the lubricating film crystal structure, an interaction between lubricating film properties and fatigue strength of parts of bearings, as well as the rational parameters of the external field in the processing of oil for bearings . Using the results in practice increases the durability of bearings, periodically working in the boundary lubrication, up to two times, depending on the loading mode.

Key words: sliding bearing, durability, service life, contact stress, lubricant film, the electrostatic treatment of oil.



Ткач В'ячеслав Володимирович

Підвищення довговічності підшипників ковзання
за рахунок обробки змащувальних матеріалів
електростатичним полем

АВТОРЕФЕРАТ

Відповідальний за випуск:
к.т.н., доцент Гайдамака А.В.

Підписано для друку « 19 » червня 2013 р. Формат 60×84/16.
Папір офсетний. Друк – різнографія. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. Арка. 0,9. наклад 100 прим. Зам. №

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4 № 022953)
М. Харків, вул.. Червонопрапорна, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354
www.modelist.in.ua