УДК 621.89 **DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.147.2014.75317**

ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ МАСТИЛЬНОЇ ПЛІВКИ НА ПОВЕРХНЯХ ТЕРТЯ В УМОВАХ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ ОЛИВИ

Канд. техн. наук С.В. Воронін, Г.М. Сладков, Е.І. Османов

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ МАСЛЯНОЙ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАСЛА

Канд. техн. наук С.В. Воронин, Г.Н. Сладков, Э.И. Османов

THE PROCESS OF THE FORMATION OF OIL FILM ON THE SURFACE FRICTION IN ELECTROSTATIC OIL TREATMENT

Cand. of techn. sciences S.V. Voronin, G.N. Sladkov, E.I. Osmanov

Розглядається математична модель визначення товщини мастильної плівки на поверхні тертя з врахуванням електростатичної обробки оливи.

Ключові слова: *олива, електростатична обробка, поверхнево-активні речовини, поверхня тертя, диполь, енергія.*

Рассматривается математическая модель определения толщины смазочной пленки на поверхности трения с учетом электростатической обработки масла.

Ключевые слова: *масло, электростатическая обработка, поверхностно-активные вещества, поверхность трения, диполь, энергия.*

A mathematical model of the thickness of the lubricant film on the friction surface with regard to electrostatic oil treatment. This lubricating film is formed due to the adsorption of surfactants on the volume of oil and has a thickness equal to the scope of the force field surface friction. By using electrostatic processing oils scope of the force field surface increases, which leads to a increase in the number of adsorbed molecules and surfactants per unit area, ie get thicker lubricant film.

Keywords: *oil, electrostatic treatment, surfactants, surface friction dipole energy.*

Вступ. Ресурс будівельних, дорожніх та інших машин, зокрема їх силових агрегатів, а також інших технічних систем багато в чому залежить від властивостей застосовуваних мастильних матеріалів. Як одну з основних властивостей, притаманних мастильним матеріалам, можна виділити протизношувальну, тобто здатність до утворення шару змащення, що розділяє поверхні тертя елементів різних технічних систем, запобігаючи їх зносу.

З точки зору зносу вузлів тертя найбільш небезпечним є граничний режим змащення. Цей режим реалізується в умовах високих контактних навантажень, низьких швидкостей переміщення поверхонь одна відносно одної, а також при підвищених температурах мастильних матеріалів. У таких умовах відбувається руйнування шару змащення, що призводить до безпосереднього контакту поверхонь тертя.

Аналіз робіт у цьому напрямку показав, що одним з найперспективніших способів покращення протизношувальних властивостей мастильних матеріалів (зокрема рідких) є застосування електростатичної обробки оливи [1-5]. Даний спосіб дає можливість збільшити товщину змащувального шару, що утворюється на поверхні тертя з поверхнево-активних речовин (ПАР), а також підвищити його несучу здатність [5, 6]. У роботах [7, 8] було визначено область дії силового поля поверхні тертя та можливу товщину мастильної плівки, але без впливу на оливу електростатичного поля.

Метою дослідження є визначення товщини мастильної плівки, що утворюється на поверхні тертя при обробці оливи електростатичним полем.

Виклад основного матеріалу. На основі фізичних процесів, що відбуваються на поверхні тертя в мастильному середовищі (адсорбція ПАР), та впливу електростатичної обробки оливи на ці процеси, які описані в роботах [1, 2, 4, 8], розглянемо формування мастильного шару.

У роботі [7] визначення товщини мастильного шару (адсорбованих молекул присадки) починається з визначення напруженості електростатичного поля рівномірно розподіленого заряду іонних остовів ділянки поверхні радіусом r_1 у точці, на осі, перпендикулярній до поверхні (рис.1).

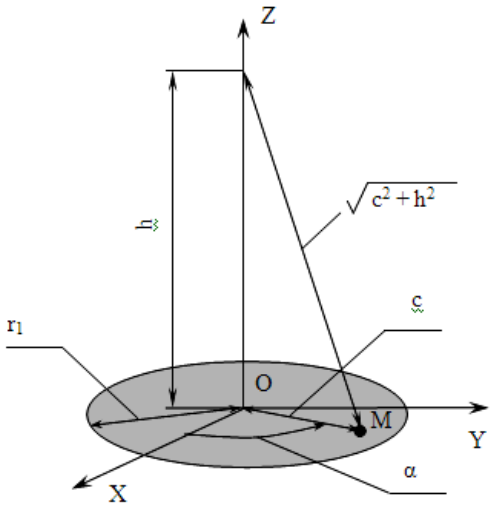

Рис. 1. Схема для визначення напруженості поля ділянки поверхні діаметром $2r_1$

За даними роботи [9], потенціал поля поверхневого заряду дорівнює

$$\varphi = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \int_S \frac{\sigma \cdot dS}{r}, \qquad (1)$$

де r – відстань між елементом площі dS і точкою, в якій шукаємо потенціал; ε – діелектрична проникність оливи (в даному випадку робоча рідина); ε_0 – електрична стала; $\sigma = \frac{q_i}{a_0^2}$ – щільність заряду на ділянці поверхні; q_i – заряд одного іонного остова, *Кл*; a_0 – міжатомна відстань у кристалічній решітці металу.

Для рис. 1 вираз (1) матиме вигляд:

$$\varphi(d) = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \int_S \frac{\sigma \cdot dxdy}{\sqrt{x^2 + y^2 + h^2}}, \qquad (2)$$

де x, y – координати довільної точки поверхні *M*.

Для знаходження інтеграла перейдемо до полярних координат у площині кола (рис. 1). При цьому $x^2 + y^2 = c^2$, $dx \cdot dy = c \cdot dc \cdot d\alpha$. Тоді

$$\varphi(d) = \frac{\sigma}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \int_0^{2\pi} d\alpha \int_0^{r_1} \frac{cdc}{\sqrt{c^2 + h^2}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \left(\sqrt{r_1^2 + h^2} - h\right), \qquad (3)$$

де $r_1 = \sqrt{r^2 - d^2}$ радіус площі зносу, що залежить від висоти зрізаної нерівності *d*.

Звідси напруженість електростатичного поля ділянки поверхні визначається за виразом

$$E_h = -\frac{\partial\varphi}{\partial d} = \frac{\sigma}{2\varepsilon\cdot\varepsilon_0}\cdot\left(1-\frac{h}{\sqrt{r_1^2+h^2}}\right). \quad (4)$$

Знаючи напруженість поля, визначимо потенційну енергію молекули присадки ($W_П$), що знаходиться в області дії даного поля на осі OZ (рис. 1), враховуючи, що вісь диполя розташована нормально до поверхні. Тоді

$$W_П = -pE_h = -\frac{p\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\left(1-\frac{h}{\sqrt{r_1^2+h^2}}\right), \quad (5)$$

де p – дипольний момент молекули ПАР.

Одночасно з адсорбційними процесами на поверхні трибосполучень будуть відбуватись процеси десорбції, викликані хаотичним рухом молекул. Це пов'язано з тим , що всі молекули мають кінетичну енергію, величина якої залежить від температури рідини. Якщо зазначена енергія перебільшуватиме енергію взаємодії молекули ПАР з поверхнею, то це призведе до її десорбції. У зв'язку з цим умова адсорбційно - десорбційної рівноваги матиме вигляд:

$$W_П \geq W_T, \quad (6)$$

де W_T – кінетична енергія молекули ПАР, що визначається виразом

$$W_T = K\cdot T, \quad (7)$$

де K – стала Больцмана;
T – температура оливи, K.

З умови (6) визначимо відстань, на якій можливе утримання молекули ПАР електростатичним полем поверхні.

$$W_T = \frac{p\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\cdot\left(\frac{h}{\sqrt{r_1^2+h^2}}-1\right). \quad (8)$$

Проведемо заміну: $k = (2\varepsilon\varepsilon_0)/(p\sigma)$ і визначимо відстань h.

$$h = r_1\cdot\sqrt{\frac{(W_T k+1)^2}{2W_T k - W_T^2 k^2}}. \quad (9)$$

Максимальна товщина мастильної плівки графічно визначатиметься в точці перетину значень енергії взаємодії молекули присадки з поверхнею тертя та значенням енергії теплових коливань молекули (рис. 2) [2].

За допомогою даної моделі розглянуто варіант знаходження молекули присадки в мастильному матеріалі у вигляді мономеру без впливу зовнішніх силових полів.

Під час обробки оливи електричним полем, як сказано в роботах [2, 10, 11], дипольні моменти молекул ПАР орієнтуються в одному напрямку, утворюючи нові структури – домени. Оскільки домен складається з N молекул, то дипольний момент такої структури адсорбує на поверхню тертя і його величина зростає в N разів:

$$p' = p\cdot N, \quad (10)$$

де N – кількість диполів у домені.

Енергія взаємодії домена та поверхні тертя відповідно матиме вигляд

$$W_{об} = W_П + \Delta W. \quad (11)$$

Величина ΔW залежить від напруження зовнішнього електростатичного поля ($E_{зв}$), тобто $\Delta W = f(E_{зв})$. Звідси

$$\Delta W = p'\cdot E_{зв} = p\cdot N\cdot E_{зв}. \quad (12)$$

Умова адсорбційно-десорбційної рівноваги набуде вигляду:

$$W_П + \Delta W \geq W_T. \quad (13)$$

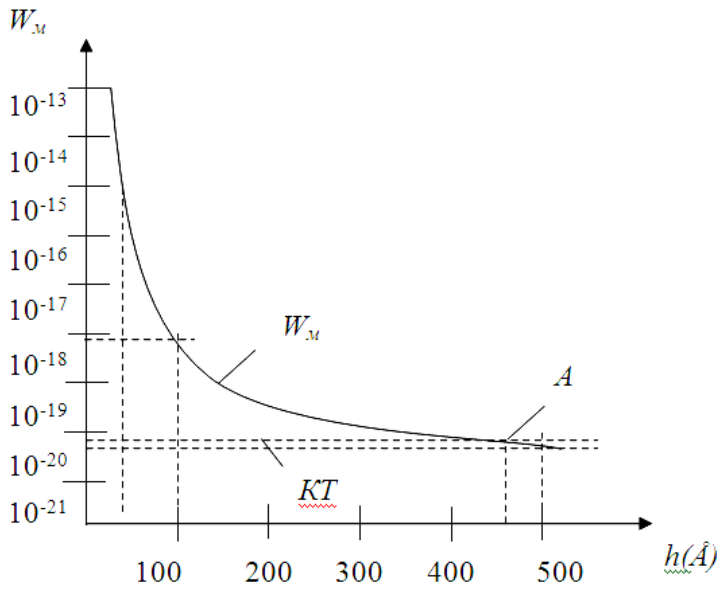

Рис. 2. Графік зміни потенційної енергії молекули присадки ($W_м$) у мастильному шарі залежно від його товщини (h): A – точка припинення адсорбції ($W_м = W_T$)

З умови (12) визначимо товщину мастильної плівки при обробці мастильного середовища електростатичним полем, підставивши вираз (13) у вираз (9),

$$h_{об} = r_1 \cdot \sqrt{\frac{\left((W_T - \Delta W)k + 1\right)^2}{2(W_T - \Delta W)k - (W_T - \Delta W)^2 k^2}} \quad .(14)$$

Для розрахунку використаємо такі вихідні дані:

- відстань між позитивно зарядженими центрами, $a_0 = 5Å$;
- заряд одного центру, $q_i = 0{,}4 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *Кл*;
- радіус мікронерівності, $r = 0{,}08$ *мкм*;
- дипольний момент молекули, $p \approx 0{,}2 \cdot 10^{-29}$ *Кл·м*;
- діелектрична проникність оливи (робочої рідини), $\varepsilon = 2{,}6$ [2];
- температура оливи (робочої рідини) в контакті поверхонь, $T = 300$ *К;*
- електрична стала, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ $Кл^2/(Н \cdot м^2)$;
- кількість молекул у домені, $N = 1200$ шт.[10];
- напруженість електростатичного поля, яким оброблюється олива, $E = 1{,}25 \cdot 10^6$ *В/м* [6];
- стала Больцмана, $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ *Дж/К*.

$$h_{об} = 0{,}22 \text{ мкм}.$$

Товщина мастильної плівки без оброблення оливи електростатичним полем згідно з (9) дорівнюватиме:

$$h = 0{,}117 \text{ мкм}.$$

Відповідно

$$\frac{h_{об}}{h} = \frac{0{,}22}{0{,}117} \approx 1{,}88,$$

а це означає, що оброблена електричним полем робоча рідина утворює на поверхні тертя мастильну плівку майже вдвічі більшу, ніж без обробки.

Висновок. Отримана математична модель дає можливість розраховувати товщину мастильної плівки з врахуванням дії електростатичного поля на оливу, а також враховує зміну надмолекулярних структур оливи під впливом даного поля.

Список використаних джерел

1. Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей [Текст] / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.Н. Лысиков и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. - 544 с.

2. Лысиков, Е.Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем [Текст] / Е.Н. Лысиков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин. – Харьков: ЭДЭНА, 2009 – 274 с.

3. Лисіков, Є. М. Підвищення ресурсу технічних систем МВС України шляхом використання нанотехнологій [текст] / Є.М. Лисіков, Д.В. Онопрейчук // Зб. наук. праць. АВВ МВС України. – Харків: АВВ МВС України, 2010. - Вип. 1. – С. 34 - 37.

4. Лысиков, Е.Н. Физические основы механизма воздействия внешнего электростатического поля на структуру рабочей жидкости гидроприводов строительных и дорожных машин [Текст] / Е.Н. Лысиков // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. – Харьков: ХГАДТУ, 2000. – Вып. 11. – С. 44-47.

5. Лысиков, Е.Н. Интенсификация адсорбционной способности рабочей жидкости гидроприводов путем воздействия на нее електростатическим полем [Текст] / Е.Н. Лысиков, В.Б. Косолапов // Вестник ХГАДТУ. – Харьков: ХГАДТУ, 1997. - Вып. 6. - С. 44 - 47.

6. Онопрейчук, Д.В. Вплив напруження електростатичного поля на товщину мастильної плівки в гідроприводі при граничному терті [Текст] / Д.В. Онопрейчук // Зб. наук. праць. УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. – С. 282-288.

7. Лысиков, Е.Н. Расчет толщины адсорбированных слоев молекул ПАВ на поверхностях трибосопряжений [Текст] / Е.Н. Лысиков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2001. – Вип. 7-8.

8. Ахматов, А.С. Молекулярная физика граничного трения [Текст] / А.С. Ахматов. – М.: Физматгиз, 1963. – 471 с.

9. Матвеев, А.Н. Электричество и магнетизм [Текст] / А.Н. Матвеев. – М.: Высшая школа, 1983. – 463 с.

10. Адамчик, А.А. Жидкие кристаллы [Текст]: пер. с польск. / под ред. И.Г. Чистякова. - М.: Сов. радио, 1979. – 160 с.

11. Воронін, С.В. Формування доменів рідких кристалів у змащувальних матеріалах під дією зовнішніх силових полів [Текст] / С.В. Воронін // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 127. – С. 213-219.

Рецензент д-р техн. наук, професор М.П. Ремарчук

Воронін Сергій Володимирович, канд. техн. наук, завідувач кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 057-730-10-72.
Сладков Геннадій Миколайович, магістр групи МЗ-БКМ-12 Української державної академії залізничного транспорту.
Османов Ерлєн Ізетович, магістр групи МЗ-БКМ-12 Української державної академії залізничного транспорту.

Voronin Sergiy, kand. tekhn. sciences, assistant of department of build, travel and freight-unloading machines. Ukrainian state academy of railway transport.
Sladkov Genadiy, master's degree of group MZ-BKM-12, Ukrainian state academy of railway transport.
Osmanov Erlen, master's degree of group MZ-BKM-12, Ukrainian state academy of railway transport.