

Методика визначення гідро- та негідродинамічної складових товщини мастильного шару

Проаналізовано будову та властивості змащувальних шарів в трибологічному контакті та методики визначення товщини мастильного шару..

При визначенні трибологічних характеристик вузлів тертя слід враховувати будову та властивості шарів граничної плівки, яка утворюється молекулами поверхнево-активних речовин. Такі шари мають різний ступінь впорядкованості по мірі віддалення від поверхні тертя, вони являють собою твердий молекулярний кристал для моношару та окремі полімолекулярні шари рідких кристалів. Кожен з таких шарів має різну за значеннями несучу здатність та коефіцієнт тертя, і, як наслідок, трибологічні характеристики вузла тертя залежать від того, який шар сприймає зовнішні навантаження [1].

Про різну структуру граничних шарів зазначено в роботі [2]. За допомогою простої двовимірної моделі авторами змодельовано трибологічні властивості тонкої плівки мастильного матеріалу, що складається з лінійних (ланцюгових) молекул у режимі гідродинамічного мащення. Встановлено, що тертя зазвичай зростає з довжиною ланцюга відповідно до їх більшої об'ємної в'язкості. Порівнюючи трибологічні властивості молекул, які мають міцні адгезійні зв'язки з металом по всій довжині ланцюга молекули («лежача» орієнтація), з іншими молекулами, які мають один адгезійний зв'язок (орієнтація «головка» / «ворсинки»), встановлено, що останні зазвичай створюють більше тертя, ніж перші (рис. 1).

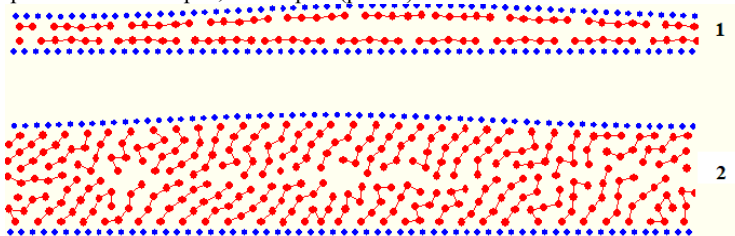


Рис. 1. Орієнтація молекул граничного мономолекулярного шару при терті: 1 – «лежача», 2 – у вигляді «ворсу» [2].

Автори зазначеної роботи з'ясували роль довжини молекул мастильного матеріалу при визначенні антифрикційних характеристик для тонкої (кілька молекулярних шарів) плівки мастильного матеріалу при «лежачій» орієнтації. Довші молекули мастильного матеріалу важче видавити з зони контакту, і саме тому вони забезпечують кращі змащувальні властивості. Таким чином, довші алкани працюють краще в граничному

режимі мащення, ніж коротші, оскільки вони ефективніше запобігають появі холодно-зварених з'єднань і, як наслідок, зносу.

Існує низка способів визначення товщини граничного шару, яка є однією з основних характеристик, що характеризує його міцність та здатність чинити опір нормальним навантаженням. Наприклад, одним із методів отримання інформації про особливості орієнтаційної впорядкованості органічних рідин у тонких шарах є аналіз залежності форми їх спектрів поглинання від товщини [3]. Для цього може бути використаний метод дихроїзму поглинання домішкових молекул. Ступінь орієнтаційної впорядкованості молекул у граничному шарі мастильного матеріалу оцінювався за усередненим значенням оптичної анізотропії пристінного шару. За допомогою цього методу визначалася товщина граничного мастильного шару порядку 8...15 мкм для пари вал-вкладиш.

Згідно з методикою оцінки змащувальної здатності мастильних матеріалів з застосуванням методу падіння напруження в режимі нормального тліючого розряду [4], проводиться вимірювання падіння напруження в змащувальному шарі при силі струму 2 і 4 А, надалі, за тарувальними таблицями, визначається товщина мастильного шару:

$$h = \frac{2U_{2A} - U_{4A}}{k}, \quad (1)$$

де U_{2A} і U_{4A} – падіння напруження в шарі мастильного матеріалу при силі струму 2 і 4 А, k – коефіцієнт.

В процесі тертя активовані молекули мастильного матеріалу можуть формувати змащувальні шари різної природи. В роботі [5] встановлено, що мінеральні оливи адсорбують на поверхні металу первинну моно-плівку з органічних кислот та спиртів, при цьому полярні групи розташовуються до металу, а зовнішня поверхня плівки утворюється метильними групами вуглеводневих радикалів адсорбованих молекул. Далі мономолекулярний шар добудовується нашаруванням бімолекулярними димерами поверхнево-активних речовин. В залежності від умов тертя товщина граничної мастильної плівки може становити від декількох до 400...500 молекулярних шарів і досягати товщини близько 1 мкм. Такі плівки мають анізотропність механічних властивостей, яка викликана силами взаємодії активних груп молекул з поверхнею металу значно більше сил взаємодії в площинах, що утворюються метильними групами молекул сусідніх шарів. Неполарні молекули вуглеводнів також орієнтуються та адсорбуються під дією силового поля металу, але утворюють неміцні моноплівки, які легко руйнуються через слабкий зв'язок сусідніх молекул. Молекули полярних і неполярних речовин можуть формувати плівки змішаної будови, що володіють нестійкістю [6].

В умовах роботи трибосистеми «пуск-стаціонарна робота-зупинка» на програмно-апаратному комплексі розрахунок товщини мастильного шару за падінням напруження в режимі нормального тліючого розряду здійснювався на ділянках «зупинка» та «стаціонарна робота» (рис. 2).

На ділянці «зупинка» існує лише граничний шар змащувального матеріалу (негідродинамічна складова), в період пуску дослідної установки відбувається приріст змащувального шару (гідродинамічна складова) (рис. 3).

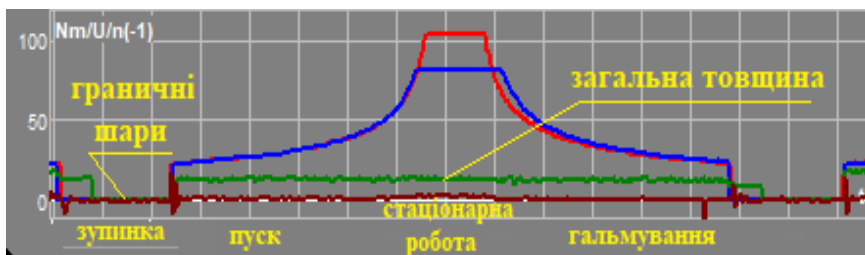


Рис. 2. Реєстрація падіння напруження (зелена крива) в локальному контакті ролик-ролик.

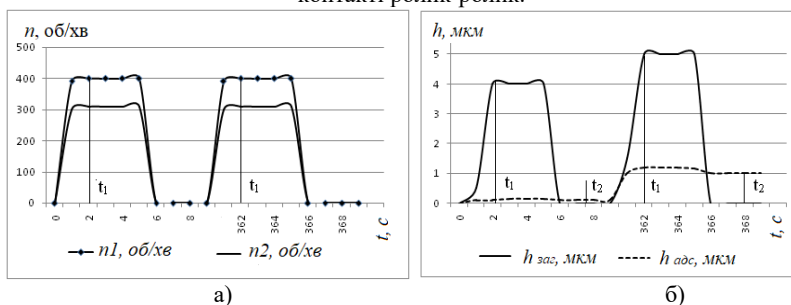


Рис. 3. Залежність частоти обертання дослідних зразків (а) та загальної товщини мастильного шару і товщини граничних шарів мастильного матеріалу (б) від часу роботи трибосистеми.

Залежно від товщини змащувального шару визначається режим мащення в фрикційному контакті за критерієм λ :

$$\lambda = \sqrt{\frac{h}{R_{a1}^2 + R_{a2}^2}} \quad (2)$$

де h – товщина змащувального шару; R_a – середнє арифметичне відхилення профілю контактуючих поверхонь.

Даний показник є інформативним показником умов переходу від режиму роботи трибосистеми без змащувального матеріалу до гідродинамічного режиму мащення за діаграмою Герсі – Штрібека.

Висновок. Вхідний контроль мастильних матеріалів лише за фізико-хімічними показниками, які нормуються в паспорті якості на товарні партії, не дає повного уявлення про експлуатаційні характеристики мастильних матеріалів. Для надання рекомендацій щодо експлуатації певної партії мастильних матеріалів в навантажувальному, швидкістному, температурному діапазонах, необхідно проводити лабораторні та стендові випробування. Важливим параметром оцінки змащувальної здатності мастильного матеріалу є товщина мастильного шару, яка формується в контакті пар тертя. Методика вимірювання товщини мастильного шару за оцінкою падіння напруження в режимі нормального тліючого розряду на етапі лабораторних досліджень

дозволяє проводити оцінку різних типів змащувальних шарів, які формуються в фрикційному контакті.

Список літератури

1. Воронін С.В. Оцінка несучої здатності та коефіцієнту тертя нематичного граничного шару. *Проблеми трибології (Problems of Tribology)*. 2013. № 4. С. 109-113
2. Braun O.M., Manini N., Tosatti E. *Role of lubricant molecular shape in microscopic friction. Physical Review B*. 2008. 78. 195402 <https://journals.aps.org/prb/cited-by/10.1103/PhysRevB.78.195402>
3. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей. *Проблеми техніки*. 2011. № 3. С. 78-88.
4. Райко М.В. Смазка зубчатых передач / М.В. Райко. – К.: Техника. 1970. – 196 с.
5. Steblin V. N., Shchukin E. D., Yaminsky V. V., Yaminsky I. V. Hydrodynamic Interaction of Surfaces in Electrolyte Solution. A New Method of Investigation of Surface Forces using a Capacitor Uitradynamometer. *Mendeleev Communications*. 1992. Vol. 2, Is. 2. P. 42-44.
6. Fan X., Li W., Li H. and ect. Probing the effect of thickener on tribological properties of lubricating greases. *Tribology International*. 2018. Vol. 118. P. 128-139.