ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 11, № 3 (2010) С. 733-737

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 11, № 3 (2010) P. 733-737

УДК 665.7.035.9

ISSN 1729-4428

Н.І. Сабадах, Г.О. Сіренко

Вплив наночастинок пірогенного кремнезему на антифрикційні властивості пластичних мастил на основі перфторполіефірів

Прикарпатський університет імені Василя Стефаника,
вул. Галицька,201, м. Івано-Франківськ, 76000, Україна,E-mail: nli@optima.com.ua

Приведені результати дослідження мастильних композицій на основі перфторполіефірів, загущених діоксидом кремнію під час зношування в точковому контакті поверхонь твердих тіл. Показано, залежність зношування сталі ШХ-15 від питомої поверхні наночастинок кремнезему, введених у пластичні мастила на основі перфторполіефірів.

Ключові слова: мастило, точковий контакт, кремнезем, питома поверхня, перфторполіефір.

Стаття поступила до редакції 15.01.2010; прийнята до друку 15.06.2010.

Вступ

Мастильні матеріали на основі перфторполіефірів (ПФПЕ) широко застосовують у вузлах тертя авіаційного устаткування [1-15], атомних двигунів [1-3, 7, 9-12], насосів для перекачування вуглеводневої сировини [1,2,9] і рідкого кисню [7,16], а за останній час – у звуко- і відеозаписуючій апаратурі [2,7,9]. ПФПЕ мають високу механічну стабільність [7], мастильні [1,4,9-11] протизношувальні [10], а та протизадирні властивості [7, 12].

Важливими компонентами пластичних мастильних матеріалів, які забезпечують довготривалу роботу вузлів тертя, є загущуючі речовини та спеціальні добавки. Для покращення властивостей пластичних мастил до них додають від 2 до 10 % загусника. Загусники істотно покращують низку характеристик мастильних матеріалів: окислювальну стабільність, термостійкість, захисні та антифрикційності, підвищують адгезію до металів, колоїдну стабільність тощо [17,18]. Дослідження протизадирних та протизношувальних властивостей перфторполіефірів, загущених нано- і мікрочастинками твердих матеріалів та їх стійкості до твердих окислювачів показали на високу ефективність пластичних мастил на їх основі [19-23].

Одними з таких матеріалів є наночастинки пірогенного діоксиду кремнію марок А-175, А-200, А-300, А-380 з розміром 0,1-10 нм і питомою поверхнею 175-380 $м^2/г$. Разом з тим, відсутні дослідження про вплив питомої поверхні загущуючих матеріалів – аеросилів на протизносні властивості мастильного рідкого середовища, зокрема такого як ПФПЕ.

Мета роботи полягала у дослідженні впливу питомої поверхні наночастинок пірог енного кремнезему на протизношуваьні властивости пластичних мастил на основі ПФПЕ в умовах високих навантажень пі час тертя сталі ШХ-15.

I. Експериментальна частина

1.1. Матеріали. Для експерименту були створені мастила на основі ПЕФ-130/110 з вмістом наповнювача 2% – максимальний вміст, при якому створюється пластичне мастило без розділу фаз.

1.2. Методи дослідження. Створені мастильні матеріали досліджували на протизношувальні властивості на чотирикульовій машині тертя (ЧКМТ) типу ХТІ-72 [19-33]: калібровані кульки зі сталі ШХ-15 (HRC 60-62) діаметром 12,7 мм. Протизношувальні властивості визначали за діаметром плями зносу за 5 хв. випробувань при нормальному навантаженні на одну (N_i) кульку N_i = 122,58-1021,5 Н при загальному N = 300 ÷ 2500 Н і кількості обертів верхньої кульки 1470 за хв.

Тертя та зношування сталі в присутності ПФПЕ вивчали на чотирикульовій машині тертя (ЧКМТ)[40-53]. Висока чутливість точкового контакту до процесів, що виникають і супроводжують тертя та зношування твердих тіл, спонукали вибрати для дослідження схему контакту «куля-куля», який реалізується в чотирикульовій машині тертя. Схема контакту на ЧКМТ представлена на рис. 1.

Чотири кульки для вальниць діаметром 12.7 мм зі сталі ШХ-15 (HRC 60-65), були складені у піраміду. Три долішні кульки були поміщені у підп'ятник і закріплені притискним кільцем. Горішня кулька жорстко була зафіксована у спеціальному патроні на кінцівці прямовисного валу [24, 25].

Геометрія тетраедра (рис. 1) визначала значення лінійної швидкості у зоні контакту υ, величну нормальної складової N_i, на 1 кульку в теоретичній точці контакту осьової сили N на 3 кульки та момент тертя (коефіцієнт тертя μ) [25]:

$$x = \frac{dw}{2}\sin a = 0{,}576pdn \ \ [м/с], \qquad (1)$$

$$N_i = N/3\cos\alpha = 0{,}4086N \approx 0{,}41 \ [Н] \qquad (2)$$

де $d=12{,}7*10^{-3}$[м] – діаметр кульок; $\omega = 2\pi n$ – кутова швидкість обертання горішньої кульки [c^{-1}] (n – число обертів цієї кульки за секунду ω - частота обертання f); α=35°20 – кут між висотою і ребром правильного тетраедра (кут в основі піраміди з чотирьох кульок);

$$M = \frac{F}{N} = \frac{2rQ}{dNtga}, \qquad (3)$$

де Q – сила, що згинала тензобалку; F – сила тертя; r – відстань від осі обертання верхньої кульки до точки дотику важеля з тензодавачем.

Випробування на навантажувальну здатність плівок мастильних олив проводили за 1140. 1470, 1495 обертів за хвилину горішньої кульки (частата f = 19c^{-1}, 24,5 c^{-1}, 24,9 c^{-1}), що відповідало лінійній швидкості у зоні контакту υ = 0,4384 м/с, 0,5628 м/с і 0,5723 м/с відповідно.

При визначенні навантаження заїдання – ікритичного навантаження $N_{1Кр}$, при якому спостерігається підвищений знос сталі, - навантаження N змінювали ступенями від 100-200 Н до $N < N_{кр}$ та $N > N_{кр}$., а в ділянці $N = N_{кр}$ - через 10-25 Н. Кожний дослід тривав 1 хв. і проводився окремо з новою порцією мастила. ЧКМТ була обладнана тензометричним пристроєм і потенціометром КСП-4, що дозволяло перехід до $N_{кр}$ фіксувати за різким зростанням моменту тертя (коефіцієнта тертя). Температура мастильної оливи визначали за ~ 2,5 мм від зони контакту, яка в момент задиру становила 393 К.

Характеристика чотирикульової машини тертя зведена в табл. 1.

Початковий p_o та у кінці випробування $p_к$ тиски у зоні контакту, що витримувала мастильна плівка, розраховували за [24]:

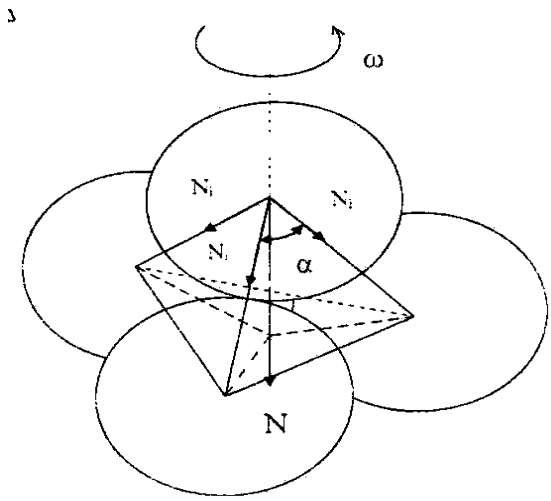

Рис. 1. Контакт, який реалізується при терті кульок ШХ-15 на ЧКМТ.

$$p_o = \frac{N_i}{\frac{pd_г^2}{4}}; \qquad (4)$$

$$p_к = \frac{N_i}{\frac{pd_з^2}{4}} \qquad (5)$$

де $d_з$ – діаметр плями зношування для однієї кульки; $d_г$ – діаметр плями пружної деформації за Герцем, розрахований за формулою[25, 26], для однієї кульки:

$$d_г = 1{,}76\sqrt[3]{\frac{N_i\frac{d}{2}}{E}} = 0{,}040948\sqrt[3]{N} \ \ [мм], \qquad (6)$$

де E=206010[Н/мм^2] – модуль пружності Юнга сталі ШХ-15. N_i, N в [Н], d в [мм].

Оцінку протизношувальних властивостей мастильних плівок здійснювали також за діаметром плями зносу при N = 200 Н (N_i = 82 Н), температура за -2,5 мм від зони контакту, що визначена термопарою ХК і вторинним приладом - потенціометром КСП-4, становила 318 ± 5 К за 1-4 год. випробувань.

II. Результати та обговорення

Як видно з рис. 2 та 3 і табл. 2 зі збільшенням питомої поверхні аеросилів покращуються протизношувальні властивості мастильних матеріалів

Таблиця 1

Характеристика машини тертя

Ступінь	Швидкість обертання верхньої кульки (без навантаження)		Відносна швидкість ковзання поверхонь тертя кульок, м/с, при осьовому навантаженні, Н				Середня швидкість ковзання в інтервалі навантажень 0-4500 Н, м/с
	об/хв	м/с	500	1500	3000	4500	
1	610	0,2335	0,233	0,232	0,230	0,226	0,23
2	1520	0,582	0,580	0,578	0,571	0,560	0,57
3	3500	1,341	1,338	1,334	1,322	1,303	1,33

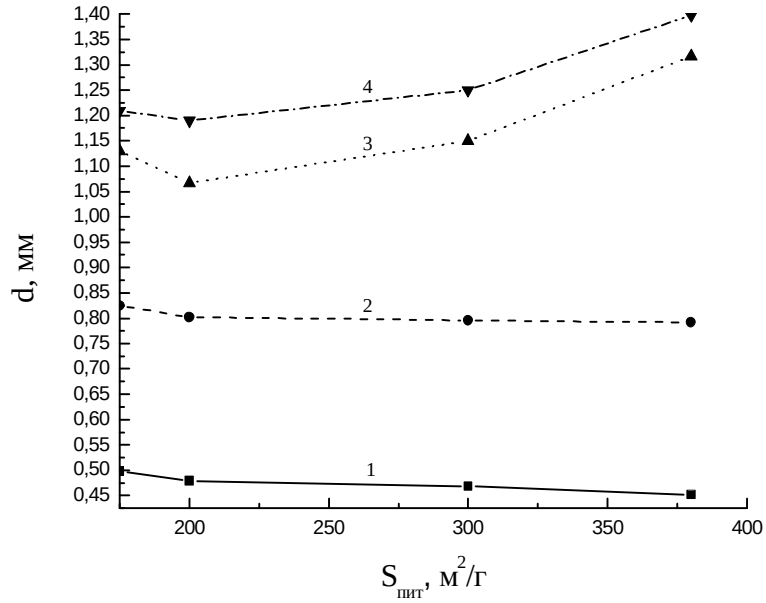

Рис. 2. Залежність діаметра плями зносу (d) від питомої поверхні наночастинок аеросилів ($S_{пит}$) при зношуванні кульок зі сталі ШХ-15 в середовищі мастильного матеріалу на основі ПЕФ-130/110: 1 – А-380; 2 – А-300; 3 – А-200; 4 – А-175.

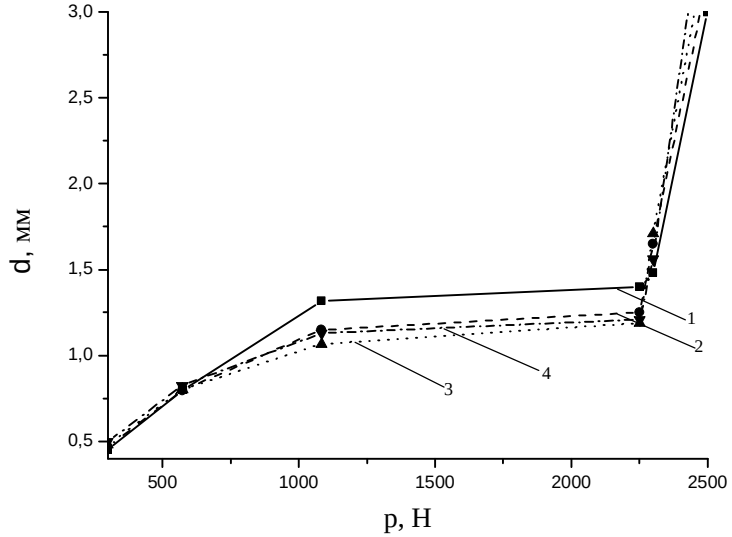

Рис. 3. Залежність діаметра плями зносу (d) від осьового навантаження (p) в середовищі мастильного матеріалу на основі ПФПЕ загущеного: 1 – А-380; 2 – А-300; 3 – А-200; 4 – А-175.

на основі ПФПЕ. Зокрема, при низьких навантаженнях (N_i = 234 Н) спостерігаються наступна закономірність: зі збільшенням питомої поверхні пірогенного діоксиду кремнію діаметр плями зносу зменшується ($S_{пит}$ = 175-380, d ÷ 0,792-0,825).

Якщо дослідити, як поводять себе загущувачі при більш вищих навантаженнях, то закономірності впливу дисперсності матеріалу не прослідковується, оскільки в цьому випадку характерні більш високі контактні температури і відіграють більшу роль хемотрибологічні процеси, а не структурні характеристики.

Отже, при використанні наночастинок аеросилів в якості загущувачів, характерна ефективність впливу дисперсності їх при навантаженнях N_i = 123-234 Н, оскільки при збільшенні питомої поверхні загущувача покращується колоїдна стабільність і підвищується адгезія до металу [17,18], таким чином при збільшенні S зменшується d. Проте при більш вищих навантаженнях не спостерігається такої закономірності, це можна пояснити більш суттєвим впливом трибохімічних характеристик (тертя, зношування), ніж хімічних.

Висновки

1. Встановлено, що зі збільшенням питомої поверхні кремнезему - загущувача в пластичних мастилах на основі лінійних перфторполіетерів покращуються протизношувальні властивості мастильних матеріалів на основі перфторполіефірів: зокрема, при низьких навантаженнях (N_i = 234 Н) спостерігаються наступна закономірність: зі збільшенням питомої поверхні пірогенного діоксиду кремнію від 175 до 380 м^2/г діаметр плями зносу

Таблиця 2

Протизношувальні властивості мастильних композицій на основі ПФПЕ марки ПЕФ-130/110 та 2% пірогенного аеросилу

Пірогенний аеросил	$\omega_{напов.}$, %	Густина мастила, кг/см^3	Температура крапле падіння, К	Діаметр плями зносу сталі ШХ-15, мм при осьовому (нормальному) навантаженні, Н					
				300 (123)	573 (234)	1080 (443)	2251 (920)	2300 (940)	2500 (1022)
-	2	1850	369,7	0,798	0, 971	1, 242	1,443	2,500	3,600
А-175	2	1850	370,2	0,498	0,825	1,130	1,210	1,410	3,800
А-200	2	1845	371,2	0,479	0,802	1,067	1,190	1,360	3,400
А-300	2	1845	371,7	0,468	0, 796	1,150	1,250	1,390	3,200
А-380	-	1890	-	0,452	0,792	1,317	1,398	1,480	3,000

зменшується при випробуванні на чотири кульовій машині тертя від 0,792 до 0,825.

2. При загущені високодисперсним кремнеземом спостерігається наступна закономірність: температура перехідних процесів тертя в присутності мастил зміщуються в низькотемпературну ділянку по відношенню до базової рідини і область заїдання для мастил не виражена (μ = 0,20-0,26).

3. Таким чином, введення органічних немодифікованих аеросилів в якості загусника до базової оливи перфторполіетерів можна запобігти процесу інтенсивного заїдання до 623 К, а регулюючи ступінь наповнення системи ПФПЕ-загусник, можна приготувавши пластичні мастила різної консистенції і міцності, які б працювали при граничному терті.

Сіренко Г.О. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної і теоретичної хімії;
Сабадах Н.І. – викладач кафедри прикладної і теоретичної хімії;

1. Lawson Neal D // *Aircraft Eng.*, **58**(2), pp. 2-9 (1986).
2. L. Habbi, C. Corti // *Tribol. e'Lubrific,* **20**(3), pp. 109-116 (1985)
3. W. Schwickerath //*Tribol. und Schmierung,* Bd **34**(1), pp. 22-38 (1987).
4. G.У. Caporiccio // Fluorine Chem., **33**(1-4), pp. 314-320, (1986).
5. C.E. Snyder, J.R. Gschwender. // *Ibid,* (8), pp. 458-465 (1986).
6. C.E. Snyder. R. E. Dolle // *ASLE Trans,* **20** (3), pp. 171-180 (1976).
7. Перфторполиэфиры как основа смазочных материалов/ В.Г. Мельников, Т.В. Попкова, Л.Б. Капустина, М.В. Доброва // *Химия и технология топлив и масел,* (4), сс. 36-38 (1990).
8. W.H. Gamprecht //*ASLE Trans,* (9), pp. 24-30 (1966).
9. C.E. Snyder // *Lubric. Eng.,* **36**(3), pp. 160-167 (1980).
10. E. Cosmacini, V. Veronesi // *Wear,* **108**(3), pp. 269-283 (1986).
11. I. Lipp // *Lubric. Eng.* **24** (4), pp. 154-162 (1968).
12. J.T. Shehan // *NLJI Spokesman,* **34** (7), pp. 252-259 (1970).
13. J.B. Christian, C. Tamborski //*Lubric. Eng.,* **36** (11), pp. 639-642 (1980).
14. J.E. Christian, K.R. Bunting // *Ibid,* **23**(2), pp. 52-56 (1967).
15. C.E. Snyder, L.F. Gschwender, C. Tamborski // *Ibid,* **37**(6), pp. 344-349 (1981).
16. F. Messina // *Lubric. Eng.,* **29** (10), pp. 449-453 (1973).
17. В.В. Синицын. *Подбор и применение пластичных смазок.* «Химия», М. 376 с. (1969).
18. Особенности выбора смазочных материалов в соответствии с условиями их применения / К. И. Климов, В. М. Мартынов, В. А. Михеев и др. // *Труды ВНИИНП,* (11), сс. 47-50, (1969).
19. Г.О. Сіренко, Н.І. Луцишин. Лінійні перфторполіефіри як основа хімічно та термостійких мастильних матеріалів // *Проблеми трибології,* (3), сс.64-75 (2003).
20. Г.О. Сіренко, Н.І. Луцишин. Вплив . лінійних перфторполіефірів на автокаталітичний розклад перхлорату амонію та дослідження їх суміші на чутливість до удару і тертя // *Фізика і хімія твердого тіла,* **5**(2), сс. 330-337 (2004).
21. Г.О. Сіренко, Н.І. Луцишин. Вплив наночастинок загущувача пластичного мастила на взаємодію з перхлоратом амонію // *Фізика і хімія твердого тіла,* **5**(3), сс. 147-152 (2004).
22. Г.О. Сіренко, Н.І. Луцишин. Ефективність впливу органічних пігментів як загусників в пластичних мастилах на основі перфторполіефірів // *Проблеми трибології,* (3-4), сс. 118-122 (2004).
23. Г.О. Сіренко, Н.І. Луцишин. Дослідження термоокислювальної стійкості перфтрополіефірів і пластичних мастил на їх основі при термічному розкладі ПХА // *Полімерний журнал,* **26** (3), сс. 181-185 (2004).
24. Г.А. Сиренко, А.С. Смирнов. Критерии оценки смазочной способности масел на четырехшариковой машине трения // *Сб. «Вопросы теории трения, износа и смазки».* РИО Новочерк. политех, ин-та, Новочеркасск, 215, С. 38-42 (1969).
25. Гриневич, В.В. Цасюк, А.С. Смирнов. Специализированные машины трения // *Применение полимерных материалов.* Картя Молдовеняскэ, Кишинев, сс. 33-36 (1975).
26. Г.О. Сіренко, О.В. Кузишин, М.М. Добровольська. Антифрикційні властивості мастильних плівок,

утворених із водних розчинів K_2SiO_3 під час тертя та зношування сталі в точковому контакті // *Фізика і хімія твердого тіла*, **11**(2), 469-483 (2010).

N.I. Sabadakh, H.A. Sirenko

Influence Nanoparticles Fumed Silica on Antifrictional Properties Plastic Compositions on the Basis of Perfluorpolyethers

Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University,
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine

The methods of determination of antifriction properties of lubricating compositions are considered on the basis of perfluorpolyethers and aerosyls at the contact of surfaces of solids.