

Н.І. Сабадах

Протизносні властивості лінійних перфторполієфірів

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76025, Україна*

Приведені результати впливу температури лінійних перфторполієфірів на гідродинамічний ефект і товщину плівки на поверхнях сталевих виробів тертьових механізмів. Встановлено умови, що забезпечують мінімальний знос металічних поверхонь тертьових механізмів.

Ключові слова: тертя, перфторполієфіри, гідродинамічний ефект, металічні поверхні.

Стаття поступила до редакції 22.09.2010; прийнята до друку 15.12.2010.

Вступ

В останні десятиліття широко використовують перфторполієфіри (ПФПЕ), як основа мастильних матеріалів у високонавантажених вузлах тертя [1 - 3, 5, 6, 7, 9 - 15], атомних двигунів [1 - 8], насосів для перекачування вуглеводневої сировини [1, 2, 9] і рідкого кисню [7, 10 - 16], а в останнє – в звуко- і відеозаписуючій апаратурі [2, 7, 9]. Разом з тим, ПФПЕ часто бувають незамінними в умовах високих температур і навантажень з хімічно-активними середовищами та розплавленими металами.

Наявність тонких плівок на поверхнях тертя є природним і необхідною умовою нормальної експлуатації тертьових сполучень. Граничне тертя реалізується при товщині масляної плівки менше 0,1 мкм, що може бути викликано підвищенням температури мастила, збільшенням навантаження чи зменшенням швидкості, вона змінює свої властивості і значно відрізняється від змащення в об'ємі. Це пояснюється тим, що коефіцієнт тертя не залежить від в'язкості мастила, а головний вплив робить ряд інших факторів, об'єднаних загальною назвою — маслянистість змащення. Під маслянистістю Б. В. Дерягин [17] розуміє здатність забезпечувати кращу мастильну дію в умовах, коли мастильний прошарок досить тонкий і його дія не визначається тільки в'язкістю. Встановлено, що в'язкість і інші властивості рідкого мастила змінюються в міру видалення від металевої поверхні – існує різка границя між плівкою й іншим об'ємом мастила. Це пояснюється тим, що в граничних плівках адсорбовані молекули мастила строго орієнтовані на відміну від хаотичного їх розташування в об'ємі рідини. Якість граничних плівок поліпшується при зростанні довжини молекул.

Встановлено також, що товщина граничних

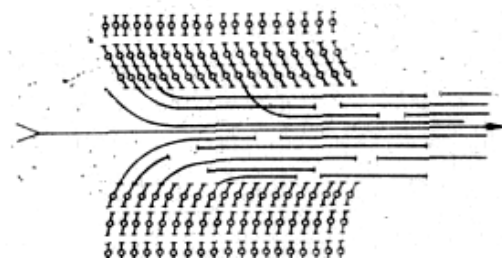


Рис. 1. Механізм переходу від граничного змащення до гідродинамічного режиму (по А. С. Ахматову).

масляних плівок з особливими властивостями значно перевищує товщину мономолекулярного шару. Ця обставина привела до розробки моделі полімолекулярного граничного шару. Схема поступового переходу від граничного змащення до гідродинамічного режиму (рис. 1) розроблена А.С. Ахматовим [18]. Отже, при будь-якому граничному терті реалізується часткового гідродинамічний режим, який полегшує умови тертя і відповідно знос металевих деталей.

Оскільки термостійкі рідини ПФПЕ працюють в умовах гідродинамічного ефекту, то важливим є дослідити вплив температур при яких реалізується даний вид тертя та які фракції ПФПЕ найефективніші за даних умов контактного тертя.

I. Методика експерименту

Для комплексної оцінки граничних умов тертя використовували критерій гідродинамічного ефекту

(S_h) та товщини плівки (h) в кінці випробувань [19, 20]:

$$S_h = \frac{h_i V d^3}{p_i} = \frac{n_i p_i V d^3}{0,41 p}, \quad (1)$$

$$h = \sqrt{\frac{S_h}{20,3465}}, \quad (2)$$

де η_t – динамічна в'язкість при температурі випробувань t К, ν_t – кінематична в'язкість при t [$\text{м}^2/\text{с}$], ρ_t – густина при t [$\text{кг}/\text{м}^3$], d – середній діаметр плями зносу [мм], p_i – нормальне навантаження на 1 кульку [Н], p – осьове навантаження на 3 нижні кульки через верхню кульку [Н], V – швидкість ковзання [м/с];

В роботі гідродинамічний ефект розрахований для випробувань (в кінці тертя) на зношування за 4 год. При $p = 200$ Н ($p_i = 0,41P = 0,41 \cdot 200 = 82$ Н) при швидкості обертання верхньої кульки зі сталі ШХ-15 $n = 1470$ об/хв (лінійна швидкість $v = 0,09$ м/с) і температурі 313 – 333 К (у більшості випадків 318 К) у кінці тертя гідродинамічний ефект буде максимальний, бо відповідає найбільша площа зношування.

Гідродинамічний ефект дає оцінку частки гідродинамічного тертя у загальному процесі порівняно з граничним тертям. З аналізу розмінностей гідродинамічний ефект має розмірність [м^2] а товщина плівки [м].

При рівному зношуванні і меншій в'язкості менша величина гідродинамічного ефекту характеризує здатність мастил протистояти зношуванню при більш жорстких граничних умовах. Гідродинамічний ефект буде служити додатковим критерієм порівняльної характеристики після тертя сталі ШХ - 15 при мащенні мастилами однієї групи.

II. Результати експерименту та їх обговорення

Нами були використані лінійні перфторполієфіри (ПФПЕ) марки ПЕФ загальної структури $R'-(\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{O})_p-R$ зі ступенем полімеризації 3 - 60, з розгалуженнями кінцевих груп. Досліджувалися перфторполієфіри широких фракцій ПЕФ - 240, ПЕФ - 180 (де 240 °С і 180 °С – це температури вище яких проходить кипіння даних фракцій ПФПЕ при 1 – 2 мм.рт.ст), ПЕФ - 130/110 ($t_{\text{кип}} = 110 - 130$ °С), ПЕФ - 130/50 ($t_{\text{кип}} = 50 - 130$ °С), ПЕФ - 70/60 ($t_{\text{кип}} = 60 - 70$ °С), ПЕФ - 40/30 ($t_{\text{кип}} = 30 - 40$ °С) провівши експеримент на протизносні випробування на чотирикульовій машині тертя (ЧКМТ). Протизношувальні властивості сталі ШХ - 15 при мащенні визначали за діаметром плями зносу на нижніх кулях за 1 – 10 год. випробувань при кількості обертів верхньої кулі 672 ± 6 і 1470 ± 12 за хвилину (частота обертання $11,2 \pm 0,1$ і $24,5 \pm 0,2$ с⁻¹); лінійній швидкості 0,04 і 0,09 м/с; нормальному навантаженні на одну нижню кульку 82 Н і температурі мастила 293 ± 2 К, 318 ± 2 К і 363 ± 2 К.

У процесі випробування вимірювали температуру мастила в об'ємі в момент тертя, а після кожного випробування на мікроскопі вимірюється середній діаметр плями зносу на кулях сталі ШХ-15.

Провівши обрахунки гідродинамічного ефекту та відповідно товщини плівки даних фракцій ПФПЕ (табл. 1) і побудувавши криві отримали наступні графіки (рис. 2, і рис. 3).

Як бачимо, з рис. 2 і криві 1, 2, 3 спостерігаємо низькі значення гідродинамічного ефекту широких фракцій перфторполієфірів < 250 і 180 С. Для ПЕФ-240 Sh складає 1,160; 3,738 і 0,318 м² при температурах 293, 318 і 363 К відповідно, для ПЕФ-180 Sh складає 0,792; 2,878 і 0,226 м² при таких самих температурах. Стосовно вузьких фракцій то ці величини на 1-2 порядки менші і складають відповідно $Sh = 0,113 - 0,008$ при температурі 293 К, $Sh = 0,427 - 0,085$ при 318 К і $Sh = 0,089 - 0,020$ при 363 К. Отже зі зменшенням температури кипіння фракцій лінійних перфторполієфірів гідродинамічний ефект зменшується від 10 - 14 до

Таблиця 1

Протизносні випробування на чотирикульовій машині тертя (ЧКМТ)

Олива	Протизносні випробування							
	p_i , Н	$d_{зкр}$, мм	$S_{hr}, *10^{-14}$ м ² (за $d_{зкр}$ при 293 К)	$S_{h3}, *10^{-14}$ м ² (за $d_{зкр}$ при 363 К)	$S_{h3}, *10^{-14}$ м ² (за $d_{зкр}$ при 318 К)	$h, *10^{-14}$ м ² (за $d_{зкр}$ при 293 К)	$h, *10^{-14}$ м ² (за $d_{зкр}$ при 363 К)	$h, *10^{-14}$ м ² (за $d_{зкр}$ при 318 К)
<u>Перфторполієфіри</u>								
ПЕФ-40/30	500	0,63	0,008	0,020	0,085	0,02	0,031	0,065
ПЕФ-70/60	677	0,58	0,022	0,032	0,157	0,005	0,04	0,089
ПЕФ-130/50	718	0,60	0,063	0,059	0,399	0,056	0,05	0,14
ПЕФ-130/110	902	0,48	0,113	0,089	0,427	0,075	0,066	0,145
ПЕФ-180	1107	0,54	0,792	0,226	2,878	0,197	0,105	0,376
ПЕФ-240	1476	0,53	1,160	0,318	3,738	0,239	0,125	0,429

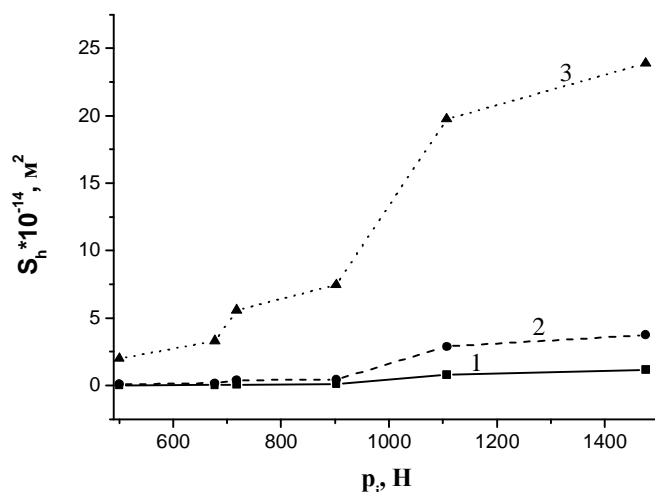


Рис. 2. Залежність гідродинамічного ефекту від нормального навантаження на одну кульку лінійних перфторполієфірів починаючи від вузьких фракцій (ПЕФ - 40/30, ПЕФ - 70/60, ПЕФ - 130/50, ПЕФ - 130/110) і завершуючи широкими фракціями (ПЕФ - 180 і ПЕФ - 240): 1 – при 293 К; 2 – при 318 К, 3 – при 363 К.

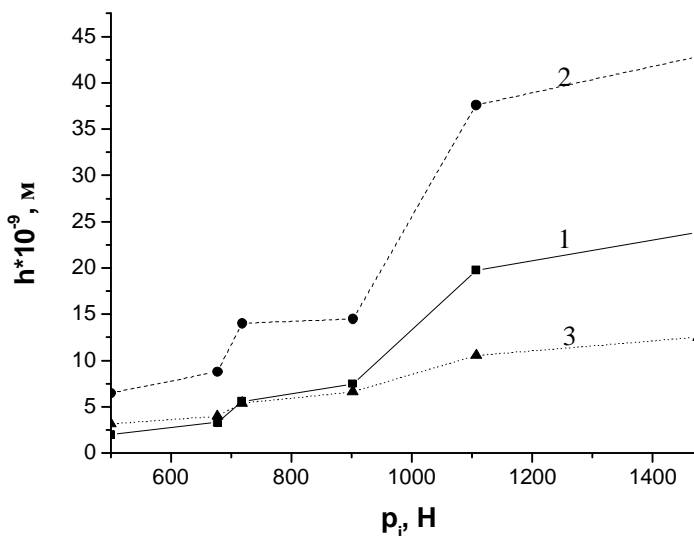


Рис. 3. Залежність товщини плівки від нормального навантаження на одну кульку лінійних перфторполієфірів починаючи від вузьких фракцій (ПЕФ - 40/30, ПЕФ - 70/60, ПЕФ - 130/110, ПЕФ - 130/60) і завершуючи широкими фракціями (ПЕФ - 180 і ПЕФ - 240): 1 – при 293 К; 2 – при 318 К, 3 – при 363 К.

10 - 16 м², а чим вище значення Sh, тим в більшій мірі реалізується гідродинамічне тертя поряд із граничним тертям утворених тонких плівок на поверхні сталі, і чим вищий гідродинамічний ефект тим легше поверхні сталі протидіяти високим навантаженням.

Як бачимо, з рис. 2 і кривих 1, 2, 3 товщина плівки при зростанні температури має дещо інший характер розподілу ПФПЕ ніж гідродинамічний ефект при аналогічних температурах. При температурі 3180С товщина плівки всіх фракцій

перфтополієфірів зростає в 2 - 4 рази (крива 2) $h = 0,065 \div 0,429 \cdot 10^{-14}$ м, а при температурі 363 С товщина плівки різко зменшується (крива 3) $h = 0,031 \div 0,125 \cdot 10^{-14}$ м. Проміжне положення займає температурний режим в 2930С (крива 1) $h = 0,02 \div 0,239 \cdot 10^{-14}$ м. Отже, найбільшу товщину плівки при гідродинамічному терті утворюють перфторполієфіри при температурі від 293 К до 318 К. А отже призводять до найменшого зносу металічних поверхонь тертьових механізмів саме в цих температурних межах.

Висновки

1. Встановлено, що зі зменшенням температури кипіння фракцій лінійних перфторполіефірів гідродинамічний ефект зменшується від 10^{-14} до 10^{-16} м². ПФПЕ марок ПЕФ - 240 і ПЕФ - 180 мають найвищі значення гідродинамічного ефекту, які

протидіють високим навантаженням.

2. Товщина плівки всіх фракцій перфтополіефірів зростає в 2-4 рази при 318 К і складає відповідно $h = 0,065 \div 0,429 \cdot 10^{-14}$ м.

3. Найменший знос металічної поверхні тертьових механізмів мають у температурних межах ПФПЕ від 293 К до 318 К.

- [1] D. Lawson Neal // *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 N 1, PP. 22-38. (1987).
- [4] G.U. Caporiccio // *Fluorine Chem.*, **33**(1), 4. pp. 314-320. (1986).
- [5] C.E. Snyder, J.R. Gschwender. // *Ibid*, (8), pp. 458-465.
- [6] C.E. Snyder. R.E Dolle // *ASLE Trans.*, **20**(3), pp. 171-180 (1976).
- [7] Перфторполиэферы как основа смазочных материалов/ В.Г.Мельников, Т.В.Попкова, Л.Б.Капустина, М.В.Доброва // *Химия и технология топлив и масел*, **1**(4), сс. 36-38 (990).
- [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**, N 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] Б.В. Дерягин и др. О природе маслянистости смазочных средств и методах ее количественный оценки. // «Трение и износ в машинах. Труды Всесоюзной конференции». Т.І. Изд-во АН СССР, М., 167с. (1952).
- [18] А.С. Ахматов. // *Трение и износ в машинах. Труды Всесоюзной конференции. Т.ІІІ.* Изд-во АН СССР, М. 267 с. (1968).
- [19] Г.А. Сиренко, А.С. Смирнов Критерии оценки смазочной способности масел на четырехшариковой машине трения // *Вопросы трения, износа и смазки.* Политехн. Ин-т, Новочерк. сс. 38-42 (1969).
- [20] W.G. Robertson, D.T. Spillman // *Proc. Inst. Mech. Engr. Paper 1*, 180 (3K), pp. 49-60 (1966).

N.I. Sabadah

Antiwear Properties of Linear Perfluoropolyethers

Stefanyk Precarpathion National University, 57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine

The results of the effect of temperature on linear perfluoropolyethers hydrodynamic effect and film thickness on the surfaces of steel for fretting mechanisms. The conditions which ensure minimum wear of metal surfaces rubbing mechanisms.

Key words: friction, perfluoropolyethers, hydrodynamic effect, the metal surface.