

УДК 677.494

О.П. Чигвінцева, Ю.В. Бойко*Дніпровський державний аграрно-економічний університет***ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ВМІСТУ ОРГАНІЧНОГО ВОЛОКНА ТЕРЛОН
НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АРОМАТИЧНОГО
ПОЛІАМІДУ ФЕНІЛОН С-1**

Досліджено вплив режимів експлуатації на трибологічні властивості ароматичного поліаміду фенілон С-1 і органопластиків на його основі, армованих 15 і 25 мас. % органічного волокна терлон. Показано, що при роботі в умовах тертя без змащування низький коефіцієнт тертя та високу зносостійкість має органопластик, що містить 25 мас. % органічного волокна. Критерій працездатності вказаного органопластику більш, ніж у 2 рази вищий, ніж у полімерного в'язучого.

Ключові слова: ароматичний поліамід фенілон С-1, органічне волокно терлон, органопластики, трибологічні властивості, коефіцієнт тертя, інтенсивність лінійного зношування, критерій працездатності

О.П. Чигвінцева, Ю.В. Бойко*Днепро́вский госуда́рственный аграрно-экономический университет***ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ТЕРЛОН
НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АРОМАТИЧЕСКОГО
ПОЛИАМИДА ФЕНИЛОН С-1**

Изучено влияние режимов эксплуатации на трибологические свойства ароматического полиамида фенилон С-1 и органопластиков на его основе, армированных 15 и 25 мас. % органического волокна терлон. Показано, что при работе в условиях трения без смазки низкий коэффициент трения и высокую износостойкость имеет органопластик, который содержит 25 мас. % органического волокна. Критерий работоспособности указанного органопластика более, чем в 2 раза выше, чем у полимерного связующего.

Ключевые слова: ароматический полиамид фенилон С-1, органическое волокно терлон, органопластики, трибологические свойства, коэффициент трения, интенсивность линейного изнашивания, критерий работоспособности

О.Р. Chigvintseva, Yu.V. Boyko*Dnipro State University of Agriculture and Economics***STUDY OF THE INFLUENCE OF TERLON ORGANIC FIBER CONTENT
ON TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF AROMATIC POLYAMIDA PHENILON C-1**

The influence of operating modes on the tribological properties of the aromatic polyamide phenylone C-1 and organoplastics based on it, reinforced with 15 and 25 wt. % organic fiber terlon, has been studied. It is shown that when working in conditions of friction without lubrication, the low friction coefficient and high wear resistance has the organoplastic which contains 25 wt. % organic fiber. The coefficient of friction of the specified organoplastic during operation under conditions of sliding speed $v = 1$ m/s in the range of specific loads $P = 0.2-0.8$ MPa in comparison with the initial polymer has decreased by an average of 27-63%. At sliding velocities of 1.5 and 2 m/s, the polymeric material remained operational up to maximum loads and had a friction coefficient on average 2.5 times lower than that of phenylone C-1. Organoplastic containing 25 wt. % terlon, had minimal wear and stably worked in the entire studied mode of specific loads and sliding speeds having PV performance criterion more than 2 times higher than that of the polymeric binder.

Key words: aromatic polyamide phenylone, organic fiber terlon, organoplastics, tribological properties, friction coefficient, intensity of linear wear, performance criterion

На даний час промисловість виробництва полімерних матеріалів розвивається значними темпами. Провідними світовими фірмами з виробництва полімерів використовується понад п'ятдесят різних груп пластмас, які виконують роль полімерної матриці в композиційних матеріалах. Однак, з точки зору вартості і властивостей, найбільш прийнятними є лише половина з них [1, 2].

До найбільш перспективних полімерних матриць слід віднести аліфатичні та ароматичні поліаміди (ПА). На ринку щорічно з'являється близько ста нових модифікацій ПА. Унікальні властивості ПА забезпечили їм широкий спектр галузей застосування. Завдяки ряду цінних

властивостей – високій термостійкості, збереженню фізико-механічних і електричних показників за умов високих температур, стійкості до дії розчинників і хімічних реагентів, низькій займистості, високій твердості, високій діелектричній проникності і стійкості до іонізуючого опромінення – поліаміди широко використовують як полімерне в'язуче для створення нових полімерних композитів конструкційного призначення. Нові полімерні композиційні матеріали знаходять широке застосування в різних галузях промисловості як матеріали: для підшипників, вкладишів підшипників ковзання ролгангів прокатних верстатів, у валькових машинах, для деталей апаратів хімічної технології, для вузлів тертя в двигунах внутрішнього згорання, для сепараторів високооборотних шарикопідшипників, ущільнювального матеріалу для різного роду запірних пристроїв, зубчастих коліс та деталей хвильових передач, для дрібно-модульних шестерен, для електро-, радіо- та електронної техніки, для деталей малогабаритних реле, для каркаса реостатних датчиків, для корпусу мікровимикачів, для осі змінних резисторів, для штекерів з ізоляцією та ін. [3].

Термічний коефіцієнт лінійного розширення ароматичного поліаміду фенілон в області експлуатації досить стабільний і в 2-3 рази нижчий, ніж у інших ненаповнених пластмас. За великих навантажень і швидкостей ковзання в умовах поганого тепловідведення може відбуватися саморозігрів вузла тертя, і за температур 250-260°C фенілон втрачає працездатність. У вузлах тертя з малими навантаженнями зносостійкість фенілону доволі висока, а за наявності змащення коефіцієнт тертя та знос фенілону різко зменшуються.

При розробці композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду фенілон особлива увага приділяється поліпшенню таких властивостей, як термостійкість, вогнестійкість, електропровідність, ударна міцність, тертя та знос.

Відомо [4-6], що ароматичні поліаміди при експлуатації в умовах тертя за невисоких навантажень мають більш високу зносостійкість у порівнянні з аліфатичними. Характер процесів тертя та зношування фенілону визначається режимами експлуатації, у яких він працює, тому вивчення трибологічних властивостей вказаного полімеру и композиційного матеріалу на його основі має науковий і практичний інтерес.

З метою створення нового полімерного композиційного матеріалу антифрикційного призначення ароматичний поліамід фенілон С-1 (ТУ 6-05-221-10) армували термостійким високоміцним органічним волокном терлон у кількості 15-25 мас. %.

Вивчення процесів тертя і зносу фенілону С-1 і органопластиків (ОП) на його основі здійснювалося на дисковій машині тертя в режимі тертя без змащування при питомих навантаженнях $P = 0,2-0,8$ МПа і швидкостях ковзання $v = 1, 1,5$ та 2 м/с, шлях тертя складав 1000 м. Як контртіло використовуввся диск, виготовлений зі сталі 45 (ГОСТ 1050-74), термообробленої до твердості 45-48 HRC з жорсткістю поверхні $R_a = 0,16-0,32$ мкм.

Коефіцієнт тертя f визначався за формулою:

$$f = \frac{(F_1 + F_2)}{N}$$

де N – нормальне навантаження на зразок; F_1 – сила тертя досліджуваного зразка; F_2 – втрати, які виникають при повороті важеля у горизонтальній площині.

Інтенсивність лінійного зношування I_h розраховувалась згідно зі співвідношенням:

$$I_h = \frac{\lambda}{\rho_T} \cdot \frac{dG}{(A_a \cdot dL_T)} \quad (2)$$

де G – величина вагового зносу; L_T – шлях тертя, м; A_a – номінальна площа контакту; ρ_T – густина досліджуваного зразка.

Результати трибологічних досліджень (рис. 1) свідчать про те, що коефіцієнт тертя (f) ОП суттєво залежав від вмісту волокнистого наповнювача: мінімальні значення цього показника в усьому дослідженому діапазоні навантажень мав ОП, що містить 25 мас. % терлону. Коефіцієнт тертя ОП, армованого 25 мас. % терлону, при експлуатації в умовах швидкості ковзання $v = 1$ м/с в діапазоні питомих навантажень $P = 0,2-0,8$ МПа порівняно з вихідним полімером знизився в середньому відповідно на 27-63 %. При швидкостях ковзання 1,5 і 2 м/с вказаний ОП залишався працездатним до максимальних навантажень і мав коефіцієнт тертя в середньому у 2,5 рази нижчий, ніж у фенілону С-1. Зразок неармованого полімера в умовах тертя при $v = 1,5$ і 2 м/с залишався дієздатним до питомих навантажень 0,65 і 0,35 МПа відповідно, в той час як ОП, що містив 25 мас. % терлону, при вказаних режимах експлуатації показав гарну працездатність і мав

низький коефіцієнт тертя (0,08-0,09). Зразок ОП, що містив 15 мас. % терлону, стабільно працював при $v = 1,5$ і 2 м/с до питомих навантажень $0,65$ і $0,5$ МПа відповідно маючи коефіцієнт тертя $0,12-0,08$.

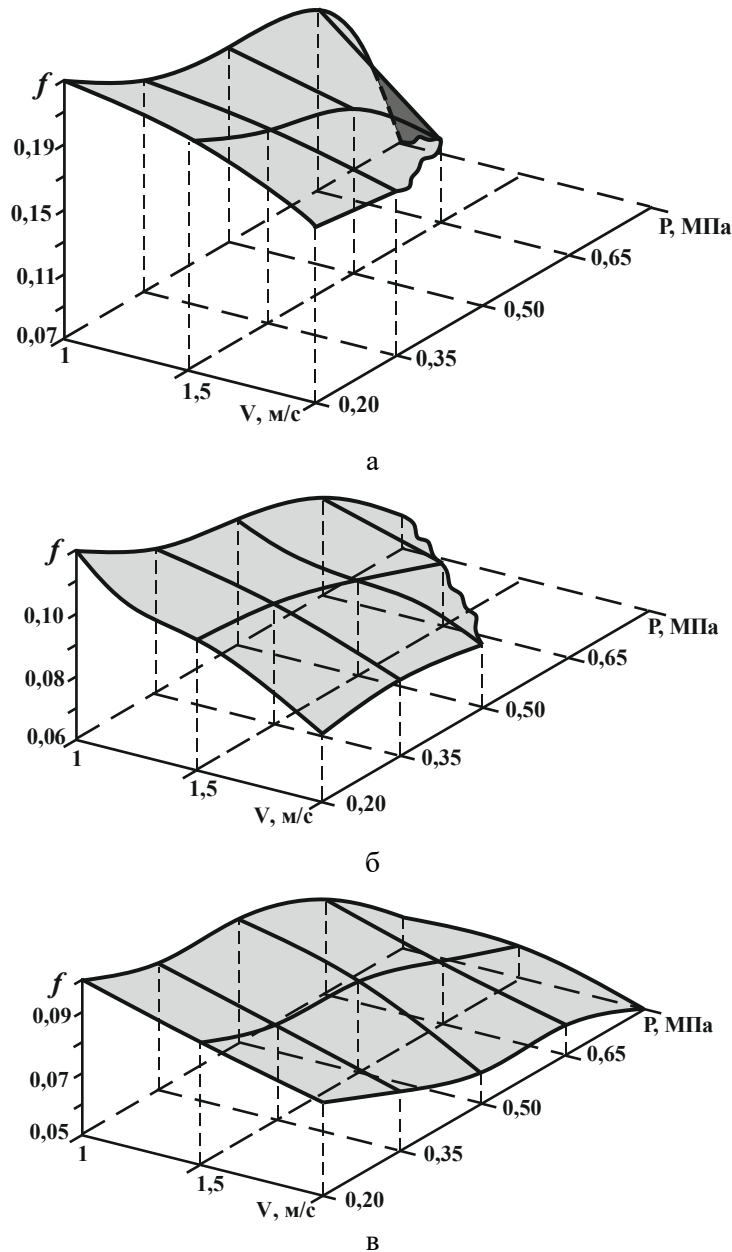


Рис. 1. Вплив режимів експлуатації на коефіцієнт тертя фенілону С-1 (а) та органопластиків на його основі, армованих 15 (б) і 25 (в) мас. % терлону

Дані проведених досліджень свідчать про те, що зі зростанням швидкості ковзання коефіцієнт тертя вихідного полімеру і ОП на його основі зменшувався в середньому на 30-40 %. В умовах максимальної швидкості ковзання стабільно низькі значення коефіцієнта тертя в усьому дослідженому діапазоні питомих навантажень були характерні для ОП, що містить 25 мас. % терлону (рис. 2). З одного боку, це можна пояснити скороченням часу фрикційного зв'язку полімерний зразок – контртіло, а з іншого – зростанням тангенційної складової швидкості ковзання, що сприяло ефективному видаленню частинок зносу із зони тертя [7].

Інтенсивність лінійного зношування матеріалів суттєво залежала від режимів трибологічних досліджень. Звертає на себе увагу загальна тенденція збільшення інтенсивності лінійного зношування зі зростанням швидкості ковзання та питомого навантаження (табл. 1). Зразки ароматичного поліаміду при терті в умовах швидкостей ковзання $v = 1,5$ і 2 м/с катастрофічно зношувались при $P = 0,8$ МПа і $0,5-0,8$ МПа відповідно і втрачали свою працездатність.

Органопластик, що містив 15 мас. % терлона, як і вихідний полімер, також катастрофічно зношувався в умовах високих питомих навантажень і швидкостей ковзання [8]. Визначення температури в зоні контакту “полімерний зразок – контртіло” показало, що на поверхні сталюого диску розвивалась доволі висока температура, яка призводить до схоплювання полімерних матеріалів зі сталюим диском, внаслідок чого процеси зносу зразків суттєво інтенсифікуються.

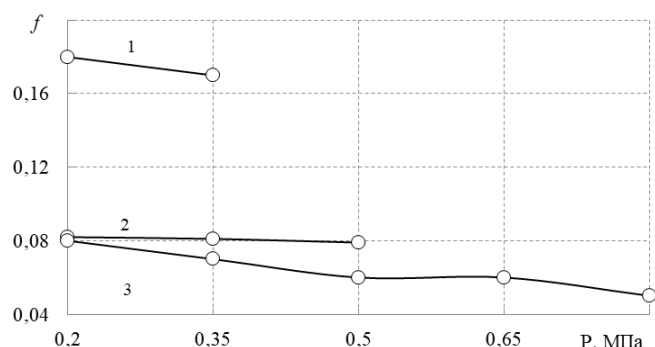


Рис. 2. Вплив питомого навантаження на коефіцієнт тертя зразків фенолону С-1 (1) і органопластиків на його основі, армованих 15 (2) та 25 (3) мас. % волокна терлон, досліджених в умовах швидкості ковзання 2 м/с

Найбільш зносостійким матеріалом виявився зразок ОП, армованого 25 мас. % терлону, який стабільно працював і мав найменший порівняно з іншими досліджуваними матеріалами знос. Визначення інтенсивності лінійного зношування вказаного ОП показало, що зі зростанням навантажувального режиму цей показник збільшувався в усьому діапазоні досліджуваних швидкостей ковзання (табл. 1). При випробуванні в умовах швидкості ковзання $v = 1$ м/с інтенсивність лінійного зношування цього ОП зросла майже у 7 раз, при $v = 1,5$ та 2 м/с відповідно – в середньому у 15 разів [8].

Таблиця 1.

Вплив режимів експлуатації на інтенсивність лінійного зношування фенолону С-1 і органопластиків на його основі, $I_h \cdot 10^{-8}$

P, МПа	Фенілон С-1	С-1+15% терлону	С-1+25% терлону
$v = 1$ м/с			
0,2	1,29	0,52	0,12
0,35	1,11	0,96	0,20
0,5	4,19	1,65	0,48
0,65	5,85	1,91	0,49
0,8	10,7	2,84	0,92
$v = 1,5$ м/с			
0,2	10,5	0,62	0,19
0,35	2,69	1,39	0,20
0,5	5,53	4,97	1,17
0,65	29,4	22,5	0,82
0,8	–	–	3,23
$v = 2$ м/с			
0,2	1,76	1,30	0,20
0,35	4,35	2,34	0,33
0,5	–	–	0,67
0,65	–	–	0,75
0,8	–	–	2,41

Слід зазначити, що поверхня тертя усіх досліджуваних зразків була скловидною. Це свідчить про те, що і вихідний полімер, і ОП на його основі зношувались за втомлюваним механізмом (рис. 3).

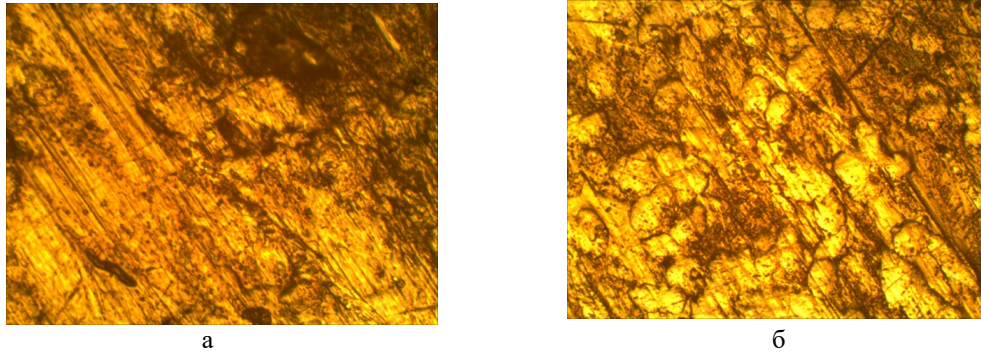


Рис. 3. Зовнішній вигляд зразків фенілону С-1 і органопластика на його основі після тертя при режимах експлуатації: $v = 2$ м/с, $P = 0,2$ МПа

Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновок, що критерій працездатності PV (добуток швидкості ковзання і питомого навантаження) ОП, який містить 25 мас. % терлону, більш, ніж у 2 рази перевищує критерій PV вихідного полімеру і ОП, армованого 15 мас.% терлону (1,6 та 0,7 МПа · м/с відповідно).

Отже, дослідження особливостей процесів тертя та зношування ароматичного поліаміду фенілон С-1 і ОП на його основі свідчать про те, що покращені трибологічні властивості має композит, армований максимальною кількістю волокна терлон. Органопластик, що містить 25 мас.% волокна терлон, має низький коефіцієнт тертя та високу зносостійкість і може з успіхом використовуватись як антифрикційний матеріал у вузлах тертя рухомих з'єднань машин та мезанізмів.

Список використаних джерел:

1. Нелсон У.Е. Технология пластмасс на основе полиамидов. М.: Химия, 1979. – 256 с.
2. Композиционные материалы. Справочник / Под ред. Д.М. Карпиноса. Киев: Наукова думка, 1985. – 592 с.
3. Буря О. І., Чигвінцева О. П., Бурмистр М. В. Переробка, властивості та застосування композитів на основі поліамідів // Питання хімії та хімічної технології. – 2000. – № 3. – С. 36–41.
4. Термостойкие ароматические полиамиды / Л.Б. Соколов, В.Д. Герасимов, В.Д. Савинов, В.К. Беляков – М.: Химия, 1975. – 256 с.
5. Соколов Л.Б. Термостойкие и высокопрочные полимерные материалы. – М. : Знание, 1984. – 64 с.
6. Термостойкие и высокопрочные материалы на основе ароматических полиэфиров и полиамидов / Л.В. Соколов, В.М. Савинов, В.Д. Герасимов, В.С. Наумов, Ю.А. Федотов // Пластические массы. – № 9. – 1982. – С. 15-17.
7. Бартнев Г.М., Лаврентьев В.В. Трение и износ полимеров Л.: Химия, 1972. – 240 с.
8. Чигвінцева О. П., Бойко Ю.В. Трибологічні дослідження органопластиків на основі фенілону С-1 // Матеріали V Всеукраїнської наукової конференції “Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів” ТАСХ-2021, 10 квітня 2021 р., м. Дніпро: “Середняк Т.К.”, 2021. – С. 26.

Рецензенти:

Завідувач кафедри “Експлуатація машино-тракторного парку”
Дніпровського державного аграрно-економічного університету,
к.т.н., доцент

О.Д. Деркач

Професор кафедри ТПП та ПМ
ДВНЗ “Український державний хіміко-технологічний університет”, д.х.н.

О.С. Свєрдліковська