

О.П. Чигвінцева, І.В. Рула, Ю.В. Бойко

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ АРОМАТИЧНОГО ПОЛІАМІДУ ФЕНІЛОН С-2

Досліджені основні теплофізичні, фізико-механічні і трибологічні властивості ароматичного поліаміду фенілон С-2. Встановлено, що полімер має високі значення коефіцієнта теплопровідності і міцнісних характеристик, гарну зносостійкість, низький коефіцієнт тертя і критерій працездатності PV до $1,6 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$ при роботі в умовах тертя без змащування. Результати досліджень дозволяють рекомендувати фенілон С-2 до застосування як полімерне в'язуче з метою створення нових полімерних композитів конструкційного призначення.

Ключові слова: ароматичний поліамід, фенілон С-2, експлуатаційні характеристики, коефіцієнт тертя, зносостійкість, конструкційний матеріал

O.P. Chigvintseva, I.V. Rula, Ju.V. Boyko

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF THE AROMATIC POLYAMIDE PHENYLON C-2

The main thermophysical, physical-mechanical and tribological properties of the aromatic polyamide phenylone C-2 have been studied. It has been established that the polymer has high values of thermal conductivity coefficient and strength characteristics, excellent wear resistance, low friction coefficient and performance criterion PV up to $1.6 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$ while working in frictional conditions without lubrication. The results of the study allow us to recommend phenylone C-2 for use as a polymer binder for the purpose of creating new polymer composites for structural purposes.

Key words: aromatic polyamide, phenylone C-2, performance characteristics, friction coefficient, wear resistance, structural material.

До перспективних термопластичних полімерних матеріалів відносяться ароматичні поліаміди. Температура початку активної деструкції цих полімерів досягає 350°C , а температура розм'якшення – 300°C . Завдяки цьому вироби із ароматичних поліамідів зберігають свою гарну працездатність у вузлах різних конструкцій в умовах підвищених температур, а за рівнем механічних властивостей та зносостійкістю – значно перевершують більшість відомих існуючих полімерів [1-2]. Вони мають високу міцність, легко обробляються, вироби на їх основі мають гладку поліровану поверхню, стійку до пошкоджень. Завдяки поєднанню високих тепло-і термостійкості з жорсткістю, міцністю та стабільними трибологічними властивостями, ароматичні поліаміди знайшли широке застосування у різних галузях промисловості з метою заміни металів: в автомобілебудуванні, електротехнічній промисловості, для виробництва товарів народного споживання, спортивних товарів, деталей машин та механізмів.

Ароматичний поліамідфенілон С-2 має високі деформаційно-міцнісні показники, гарну зносостійкість, хімічну стійкість до агресивних середовищ, формостабільність у широкому інтервалі температур. Відомо, що ароматичні поліаміди при терті в умовах невисоких навантажень зношуються приблизно в чотири рази менше у порівнянні з аліфатичними [3]. Характер процесів тертя і зношування фенілону С-2 істотно залежить від режимів експлуатації і температур, що розвиваються у вузлі тертя, тому вивчення експлуатаційних характеристик зазначеного в'язучого має науковий і практичний інтерес.

Як відомо, необхідною умовою визначення режимів експлуатації полімерних матеріалів є дослідження їх теплофізичних характеристик, особливо, теплопровідності, низька величина якої може негативно впливати на термін роботи виробів із них. Теплофізичні характеристики мають винятково велике значення практичної цінності полімерів, оскільки від них суттєво залежать технологічні та експлуатаційні властивості матеріалів.

Дослідження впливу температури на питому теплоємність фенілону С-2 (рис. 1, крива 1) показало, що в області невисоких температур ($273\text{--}448 \text{ K}$) спостерігалось близьке до лінійного монотонне підвищення теплоємності, що здійснювалось за рахунок поглинання енергії, яке викликано збільшенням рухомих кінетичних елементів макромолекул при нагріванні полімеру [4]. Подальше підвищення температури призвело до інтенсивного зростання вказаного теплофізичного показника, а в області переходу полімеру зі склоподібного у високоеластичний стан ($498\text{--}573 \text{ K}$) проявлявся характерний стрибок питомої теплоємності (ΔC_p).

Дослідження коефіцієнта теплопровідності фенілону С-2, який знаходився в межах $0,35\text{--}0,45 \text{ Вт/м} \cdot \text{K}$, свідчили про його зростання в усьому інтервалі температур (рис. 1, крива 2), що пов'язане із розповсюдженням і розсіюванням пружних хвиль, які виникають внаслідок теплових коливань макромолекул полімеру.

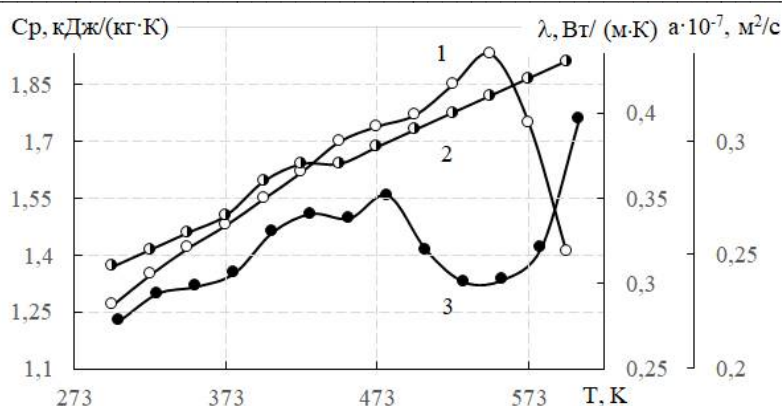


Рис. 1. Температурні залежності питомої теплоємності (1), коефіцієнтів теплопровідності (2) і температуропровідності (3) фенілону С-2

Визначення коефіцієнта температуропровідності, який характеризує теплоінерційні властивості матеріалів і є мірою “ефективної” швидкості вирівнювання температурних полів у тілі [5], необхідне в технологічних цілях для визначення технології переробки виробів із полімеру, а також для оцінки поведінки полімерної деталі в нестандартних теплових полях. Підвищення цього теплофізичного показника, зазвичай, забезпечує більш інтенсивне вирівнювання температури в усіх точках тіла. На температурній кривій коефіцієнта температуропровідності (рис. 1, крива 3), спостерігались позитивні і негативні відхилення даного показника від лінійних. Це пояснюється появою додаткових рухомих сегментів в області температур, нижче температури склування (T_c), і значних рухомих ділянок ланцюга в області вище неї, що призводить до додаткового розсіювання теплових хвиль.

Міцнісні показники фенілону С-2 (табл. 1) мали доволі високі значення: межа міцності і модуля пружності при стисканні складала 438 і 3274 МПа відповідно. Крива залежності межі міцності при стисканні від деформації фенілону С-2 (рис. 2), згідно з класифікацією Херцберга, відноситься до кривих II типу. На першій прямолінійній ділянці кривої при малих значеннях деформації напруження і деформація пропорційні одна одній (описуються законом Гука) і характеризують пружну деформацію матеріалу, після чого йде параболічна ділянка кривої, яка описує його гомогенну пластичну деформацію [6]. Зовнішній вигляд зразків фенілону С-2 після стискання (рис. 2) свідчили про те, що вони руйнувалися пластично за рахунок втрати стійкості.

Табл. 1

Міцнісні показники фенілону С-2

Межа міцності при стисканні $\sigma_{ст.}$, МПа	438,0
Межа текучості при стисканні, $\sigma_{тек.}$, МПа	215,3
Модуль пружності при стисканні, Е, МПа	3273,9
Відносне подовження при руйнуванні, $\epsilon_{руйн.}$, %	38,4
Відносне подовження при текучості, $\epsilon_{тек.}$, %	13,2

Вивчення процесів тертя і зносу фенілону С-2 здійснювалося на дисковій машині тертя в режимі тертя без змащення в умовах питомих навантажень 0,2-0,8 МПа і швидкостей ковзання 1,0, 1,5 і 2 м/с, шлях тертя становив 1000 м. Як контртіло використовувався сталевий диск, термооброблений до твердості 45-48 HRC з шорсткістю поверхні $Ra = 0,16-0,32$ мкм.

Трибологічні дослідження зразків фенілону С-2 показали, що полімер має доволі низькі значення коефіцієнта тертя (f) і стабільні показники інтенсивності лінійного зношування ($J_h \cdot 10^{-8}$) в умовах усіх досліджених режимів експлуатації.

Визначення коефіцієнта тертя фенілону С-2 свідчило про те, що зі зростанням питомого навантаження в інтервалі усіх досліджуваних швидкостей ковзання ($v = 1-2$ м/с) він знижувався в середньому на 40-50 % досягаючи своїх мінімальних значень (0,08-0,10) при питомому навантаженні $P = 0,8$ МПа (рис. 3а).

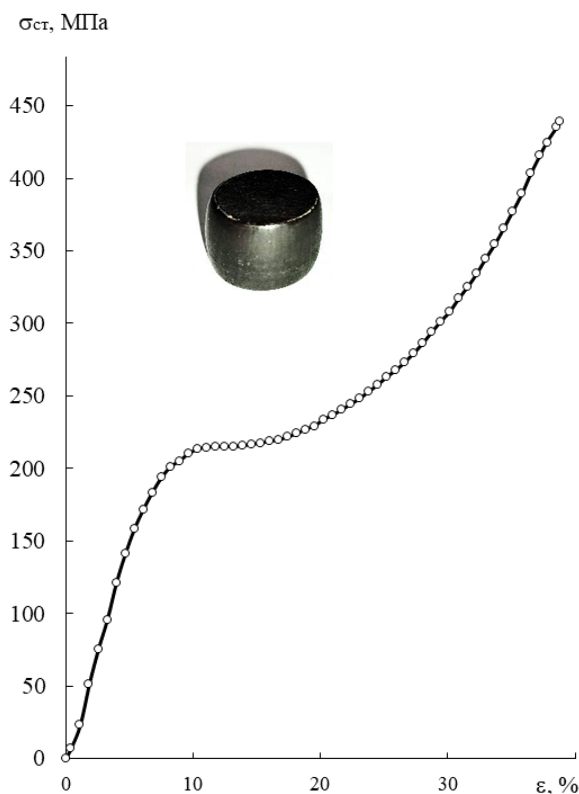


Рис. 2. Крива залежності межі міцності при стисканні ($\sigma_{ст.}$) від відносного подовження (ϵ) зразків фенілону С-2

Найбільш високі значення коефіцієнта тертя були характерні для зразків полімеру, досліджених при мінімальній швидкості ковзання ($v = 1$ м/с) [7]. Зменшення значень коефіцієнта тертя зі зростанням швидкостей ковзання от 1,0 до 2,0 м/с можна пояснити, з одного боку, скороченням часу фрикційного зв'язку зразку фенілону С-2 – сталіне контртіло, а з іншого – збільшенням тангенційної складової швидкості ковзання, що призводило до більш ефективного видалення частинок зношування із зони тертя [8].

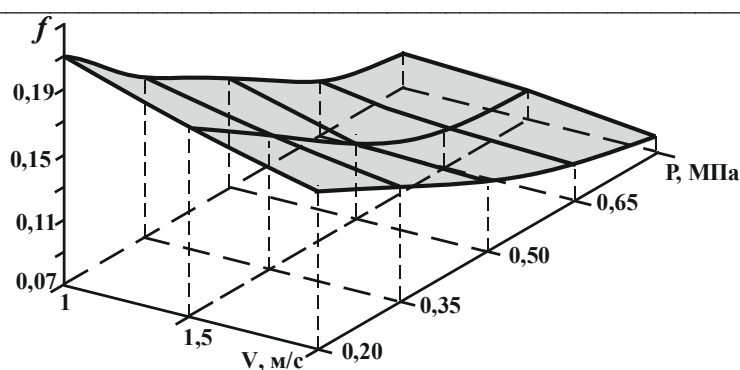
Інтенсивність лінійного зношування з посиленням навантажувального режиму суттєво зростала (від 4,7 до 14,3), причому найбільш чітко цей процес проявлявся в умовах мінімальної швидкості ковзання ($v = 1,0$ м/с). Вказаний факт можна пояснити тим, що в умовах значних навантажень на поверхні сталіного диску зросла температура, яка виникала на межі розподілу полімерний зразок – контртіло. Це призводило до розм'якшення поверхневих шарів в'язучого, внаслідок чого адгезія між поверхнями тертя збільшилась, а це, в свою чергу, викликало інтенсифікацію процесу зношування зразків фенілону С-2.

При дослідженнях в умовах швидкостей ковзання 1,5-2,0 м/с процес зношування зразків стабілізувався і інтенсивність лінійного зношування знаходилась в межах $3,2-6,0 \cdot 10^{-8}$, що свідчило про гарну зносостійкість матеріалу (рис. 3б). Ефект стабілізації процесу зношування полімеру можна пояснити тим, що в ході тривалих досліджень на поверхні контртіла утворилася плівка із дрібнодисперсних частинок зношування, внаслідок чого тертя зразків фенілону С-2 здійснювалось не по сталіному диску, а по полімерній плівці.

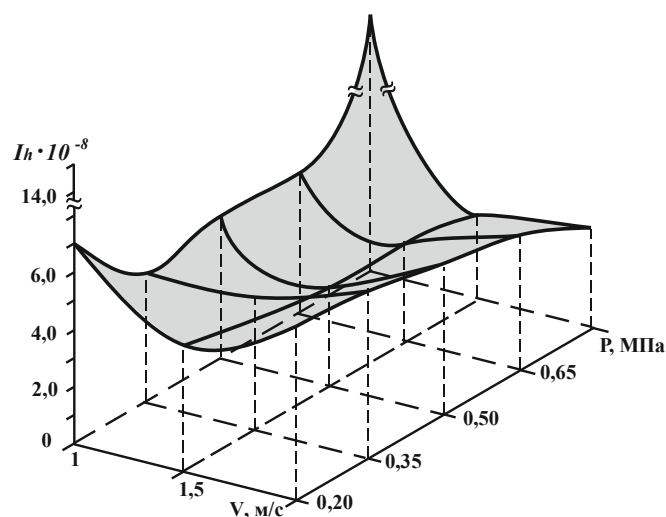
В цілому, за результатами проведених триботехнічних досліджень було визначено, що зношування зразків фенілону С-2 відбувалось за адгезійним механізмом (рис. 4).

Такий тип зношування характеризується фрикційним переносом полімерного матеріалу на контактну поверхню сталіного контртіла, що можна пояснити руйнуванням зв'язків на межах надмолекулярних глобулярних утворень фенілону С-2 [8].

В результаті трибологічних досліджень встановлено, що фенілон С-2 може працювати до значень критерію працездатності $PV \leq 1,6$ МПа · м/с. Гарна зносостійкість зразків фенілону С-2, відповідно до втомлювальної теорії зношування, може бути обумовлена високими значеннями коефіцієнта теплопровідності полімеру, що запобігає локалізації тепла у зоні тертя [9].



а



б

Рис. 3. Вплив питомого навантаження (P) і швидкості ковзання (v) на коефіцієнт тертя (а) і інтенсивність лінійного зношування (б) фенілону С-2

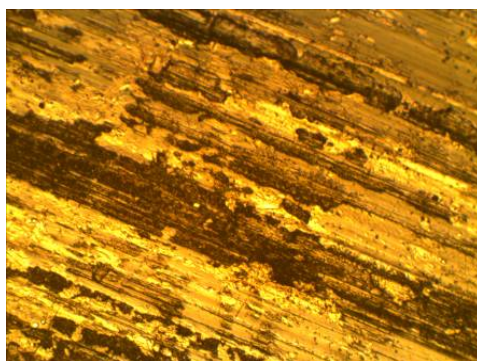


Рис. 4. Поверхні тертя зразків фенілону С-2 після тертя в режимі сухого тертя при навантаженні 0,65 МПа та швидкості ковзання 1 м/с

Таким чином, результати проведеного комплексу досліджень свідчать про те, що ароматичний поліамідфенілон С-2 має покращений комплекс теплофізичних і міцнісних властивостей, гарну зносостійкість і низький коефіцієнт тертя при роботі в умовах тертя без змащування, що дозволяє рекомендувати його до застосування як полімерне в'язуче з метою створення нових полімерних композитів конструкційного призначення.

Список використаних джерел.

1. Соколов Л.Б. (1984). Термостійкі і високоміцні полімерні матеріали. М.: Знання. 64 с.
2. Бюллер К.-У. (1984). Тепло- і термостійкі полімери: Пер. з нім. М.: Хімія. 1056 с.

3. Соколов Л.Б., Герасимов В.Д., Савинов В.Д., Беяков В.К. (1975). Термостійкі ароматичні поліаміди. М.: Хімія. 256 с.
4. Теплофизические свойства полимерных материалов / А.Н. Пивень, Н.А. Гречаная, И.И. Чернобыльский. К.: Вища школа. (1976). 180 с.
5. Тугов И.И., Кострыкина Г.И. (1989). Химия и физика полимеров: Учеб. пособие для вузов. М.: Химия. 432 с.
6. Херцберг Р.В. (1989). Деформация и механика разрушения конструкционных материалов: Пер. с англ. / Под ред. Бернштейна М.Л., Ефименко С.П. М.: Металлургия. 576 с.
7. Чигвинцева О.П., Рула І.В., Бойко Ю.В. (2024). Трибологічні властивості ароматичних поліамідів // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції “Перспективні полімерні матеріали та технології” Львів, 24–26 вересня 2024 р., Львів: Вид-во Львівської політехніки. С. 137-139.
8. Крагельский И.В. (1968). Трение и износ. М.: “Машиностроение”. 480 с.
9. Бартенев Г.М., Лаврентьев В.В. (1972). Трение и износ полимеров. Л.: Химия. 240 с.

Рецензенти:

Олексій ДЕРКАЧ, завідувач кафедри експлуатації машинно-тракторного парку Дніпровського державного аграрно-економічного університету, к.т.н., доцент

Олег КАБАТ, завідувач кафедри інноваційної інженерії ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій, д.т.н, професор