

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

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

НОВИЙ ОРГАНОПЛАСТИК НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ С-2

Вивчено теплофізичні, фізико-механічні і трибологічні властивості органопластику на основі ароматичного поліаміду фенілон С-2, армованого арамідним волокном терлон. Встановлено, що армування поліамідного зв'язуючого волокнистим наповнювачем у кількості 15 мас. % дозволило знизити питому теплосмість полімеру на 30-54% і підвищити його теплопровідність з одночасним зростанням міцнісних характеристик. Показано, що розроблений органопластик має антифрикційні властивості зберігаючи в умовах усіх досліджених режимів експлуатації низький коефіцієнт тертя і високу зносостійкість, що дозволило рекомендувати його до застосування як пластик конструкційного призначення для вузлів тертя машин і механізмів.

Ключові слова: ароматичний поліамід, фенілон С-2, арамідне волокно, органопластик, теплофізичні властивості, міцнісні показники, коефіцієнт тертя, зносостійкість, пластик конструкційного призначення

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

NEW ORGANOPLASTIC BASED ON PHENYLON C-2

The thermophysical, physico-mechanical and tribological properties of organoplastics based on aromatic polyamide phenylone C-2 reinforced with aramid fiber Terlon were investigated. It was established that reinforcement of the polyamide binder with a fibrous filler in an amount of 15 wt.% made it possible to reduce the specific heat capacity of the polymer by 30–54% and to increase its thermal conductivity, accompanied by a simultaneous improvement in strength characteristics. It was shown that the developed organoplastic exhibits antifriction properties, maintaining a low coefficient of friction and high wear resistance under all investigated operating regimes, which makes it suitable for recommendation as a structural plastic for friction units of machines and mechanisms.

Keywords: aromatic polyamide, phenylone C-2, aramid fiber, organoplastic, thermophysical properties, strength indicators, coefficient of friction, wear resistance, structural plastic

Останнім часом з метою створення нових полімерних композитів конструкційного призначення широкого застосування отримали ароматичні поліаміди, до яких належить фенілон С-2. Цей пластик відрізняється високою робочою теплостійкістю (270°C), хімічною інертністю до більшості органічних розчинників, високою міцністю, зносостійкістю, стійкістю до ударних навантажень, а також гарними тепло- та морозостійкістю. За комплексом фізико-механічних властивостей фенілон С-2 може конкурувати із склопластиками, причому його цінні властивості здатні зберігатися в інтервалі температур від -70 до +250°C.

Оскільки серед конструкційних матеріалів ароматичні поліаміди характеризуються доволі невисокими значеннями тепло- і температуропровідності, це сприяє накопиченню тепла в робочих органах і рухомих з'єднаннях під впливом механічних навантажень, що у багатьох випадках призводить до розвитку деструкційних процесів, які викликають катастрофічний знос виробів із них. Гарний ефект поліпшення властивостей поліамідних композитів досягається при використанні як армуючого наповнювача арамідного волокна марки терлон, яке має здатність експлуатуватися в широкому температурному інтервалі, відрізняється високими термо- і тепло-стійкістю, питомою міцністю на розрив, низькою термічною усадкою, завдяки чому широко застосовується як конструкційний армуючий матеріал в різноманітних виробках технічного призначення. Унікальні характеристики арамідного волокна терлон пояснюються комбінацією жорстких молекул полімеру зі строго орієнтованими кристалами, а також сильною взаємодією між ланцюгами полімеру, що створені водневими зв'язками. Відомо, що арамід складається із бензольних кілець, з'єднаних один з одним через групу $-NH-CO-$, отже, між водневими і кисневими фрагментами сусідніх молекул утворюються міцні міжмолекулярні зв'язки, що забезпечує підвищену хімічну, механічну і термічну міцність волокна.

З метою створення нового органопластика (ОП) з покращеним комплексом експлуатаційних характеристик, ароматичний поліамід фенілон С-2 армували арамідним волокном марки терлон у кількості 15 мас. %. Композит отримували "сухим" способом, який полягав у змішуванні компонентів в електромагнітному полі, що обертається. Для цього в реактор завантажували порошкоподібний полімер, арамідне волокно і нерівновісні феромагнітні частинки. Під впливом електромагнітного поля, що обертається, феромагнітні частинки інтенсивно оберталися, стикаючись між собою, що забезпечило рівномірний і хаотичний розподіл арамідного волокна у полімерній матриці.

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

Вивчення теплофізичних характеристик полімерних композитів є однією із необхідних умов визначення їх технологічних і експлуатаційних властивостей, а також режимів експлуатації виробів із них. Порівняльний аналіз даних проведених теплофізичних досліджень свідчив про те, що армування фенілону С-2 арамідним волокном дозволило знизити його питому теплоємність на 30-54% (рис. 1а). Зокрема, в дослідженому температурному інтервалі (323-623 К) теплоємність фенілону С-2 знаходилась в межах 0,86-1,66 кДж/кг · К, в той час як для ОП вона змінювалась з підвищенням температури від 0,6 до 0,77 кДж/кг · К. Поряд з цим, спостерігалось зростання коефіцієнта теплопровідності (рис. 1б) полімерного в'язучого, що позитивно вплинуло на зміну його трибологічних властивостей, оскільки забезпечувало покращений тепловідвід із зони тертя зразків обумовлюючи стабільний енергетичний стан трибосистеми.

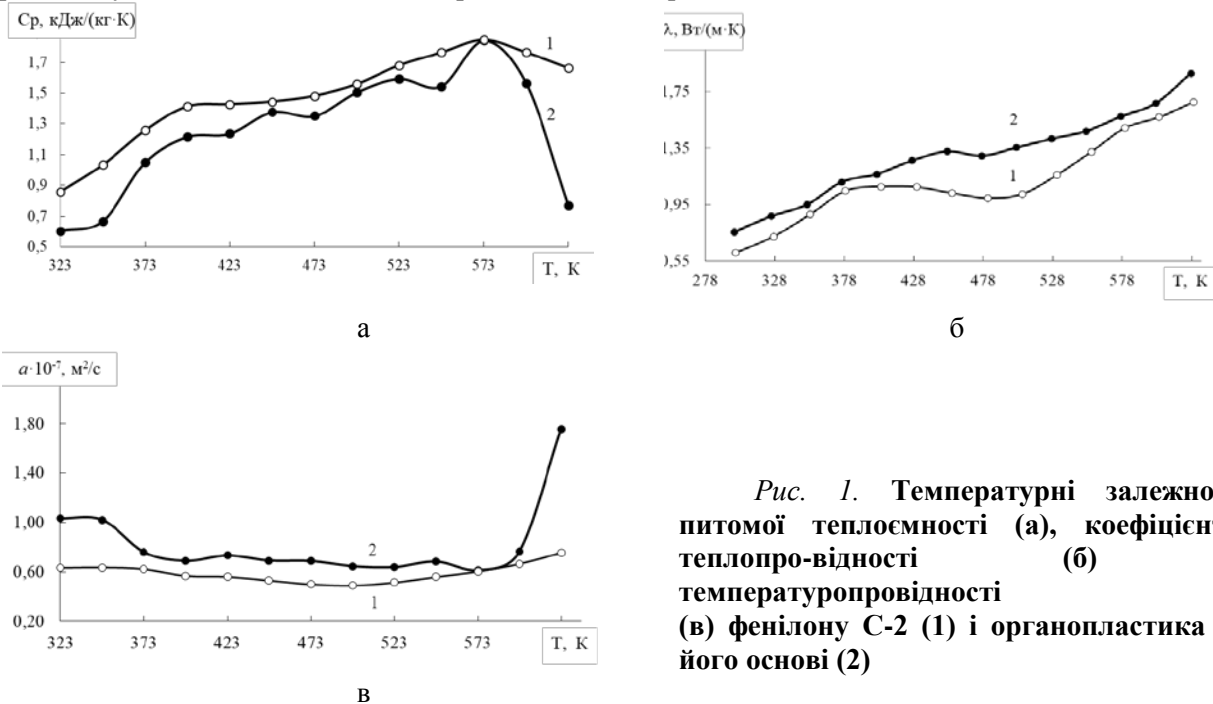


Рис. 1. Температурні залежності питомої теплоємності (а), коефіцієнтів теплопро-відності (б) і температуропровідності (в) фенілону С-2 (1) і органопластика на його основі (2)

Розроблений ОП мав також покращені фізико-механічні властивості (табл. 1). Зокрема, спостерігалось зростання мікротвердості, модуля пружності і межі текучості при стисненні ОП у порівнянні із вихідним полімером.

Табл. 1.

Фізико-механічні властивості фенілону С-2 і органопластика на його основі

Властивості	Матеріал	Фенілон С-2	С-2 + 15% терлону
Мікротвердість		36,07	50,03
Межа текучості при стисненні, МПа		215,3	250,1
Модуль пружності, МПа		3273,9	3855,0
Відносна деформація при стисненні, %		13,17	10,63

Трибологічні властивості композиту суттєво залежали від експлуатаційних параметрів: мінімальний коефіцієнт тертя в усьому дослідженому інтервалі навантажень мали зразки, для яких здійснювалось тертя по сталюму контртілу в умовах швидкості ковзання $v = 1,5$ м/с (рис. 2а, крива 2), однак їх зносостійкість різко зменшувалась при навантаженні $P = 0,8$ МПа.

В умовах тертя за максимальної швидкості ковзання ($v = 2,0$ м/с) коефіцієнт тертя різко зростав з посиленням навантажувального режиму, а зразки катастрофічно стиралися (рис. 2а і б, крива 3). При цьому інтенсивність лінійного зношування збільшилась від 0,68 до $15,1 \cdot 10^{-8}$, а матеріал зберігав свою працездатність до навантаження $P = 0,5$ МПа.

В умовах жорстких режимів експлуатації на поверхні контртіла розвивалась підвищена температура, що призвело до збільшення адгезії між поверхнями, що труться, і як наслідок – до суттєвого підвищення інтенсивності лінійного зношування.

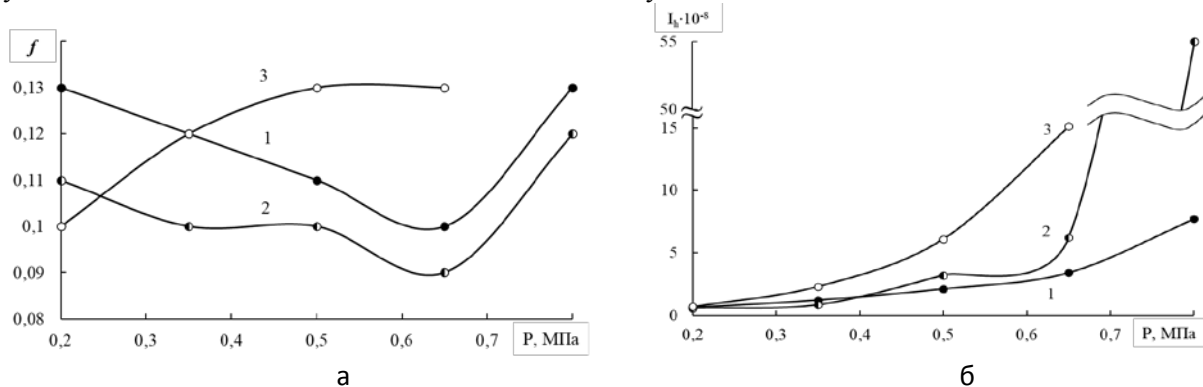


Рис. 2. Вплив питомого навантаження на коефіцієнт тертя (а) і інтенсивність лінійного зношування (б) зразків органопластику, досліджених в умовах тертя без змащування в умовах швидкостей ковзання 1 (1), 1,5 (2) і 2,0 м/с (3)

Слід зазначити, що зношування зразків ОП відбувалось внаслідок втомлювального механізму руйнування: в процесі зовнішнього тертя спостерігалось багаторазове деформування полімеру в окремих місцях фрикційного контакту, що призводило до руйнування та подальшого відділення матеріалу. За мінімальної швидкості ковзання ($v = 1,0$ м/с) зразки ОП стабільно працювали в усьому дослідженому інтервалі навантажень маючи низькі значення коефіцієнта тертя (0,10-0,13) і інтенсивності лінійного зношування ($I_h = 0,6-7,7 \cdot 10^{-8}$).

В результаті трибологічних досліджень встановлено, що розроблений ОП мав більш низькі значення коефіцієнта тертя порівняно із вихідним полімером, для якого вказаний показник знаходився в межах 0,21-0,17 в залежності від умов експлуатації. Як і для чистого фенілону С-2, для ОП кращими умовами для стабільної роботи були навантаження до $P = 0,8$ МПа (при $v = 1,5$ м/с) та до $P = 0,65$ МПа (при $v = 2,0$ м/с) [1-3].

Отже, в цілому, слід зазначити, що розроблений полімерний композит на основі фенілону С-2 і арамідного волокна терлон має покращені антифрикційні властивості зберігаючи низький коефіцієнт тертя ($f = 0,09-0,13$) та високу зносостійкість (інтенсивність лінійного зношування $I_h = 1,2-7,7 \cdot 10^{-8}$), що дозволило його рекомендувати до застосування як пластик конструкційного призначення для вузлів тертя машин і механізмів.

Список використаних джерел:

1. Чигвінцева О.П., Бойко Ю.В. Дослідження властивостей фенілону С-2 // VII International scientific and practical conference. «Scientific practice: modern and classical research methods» Boston, February 14, 2025. Boston-Vinnitsia: Primedia eLaunch & UKRLOGOS Group LLC, P. 160-161.
2. Чигвінцева О.П., Рула І.В., Бойко Ю.В. Дослідження властивостей ароматичного поліаміду фенілон С-2 // Матеріали IV Міжнародної наукової конференції «Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів ТАСХ-2025», 20 травня 2025 р., м. Дніпро: «Середняк Т.К.», С. 36-38.
3. Чигвінцева О.П., Рула І.В., Бойко Ю.В. Дослідження властивостей ароматичного поліаміду фенілон С-2 // Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки», Луцьк, 2025, №82, С. 46-50.

Рецензенти:

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

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