

УДК 678.7:678.5:66.017

О.С. Кабат ^{а, б}, Ю.В. Бойко ^{а, б}**ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ АРОМАТИЧНОГО ПОЛІАМІДУ ІЗ ГІБРИДНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ ТА МЕТОД ЇХ ПЕРЕРОБЛЕННЯ У ВИРОБИ**^а Український державний університет науки і технології, м. Дніпро, Україна^б Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

У роботі доведено перспективність використання полімерів та полімерних композитів конструкційного призначення у сучасному машинобудуванні, зокрема ароматичного поліаміду. Визначено доцільність використання як наповнювача ароматичного поліаміду гібридного матеріалу на основі арамідного волокна та силікагелю. Розроблено ресурсозберігаючий метод *in situ* суміщення вихідного полімеру із гібридним наповнювачем у процесі його синтезу, що дозволяє відмовитися від операції механічного суміщення вихідних компонентів полімерної композиції та отримувати більш якісне розподілення наповнювача у полімерній матриці. Це сприяє здешевленню виробів із матеріалів на основі ароматичного поліаміду та гібридного наповнювача (арамідне волокно+силікагель) та покращенню рівня їх властивостей у порівнянні із тими, що отримані за стандартним методом. Проведені дослідження фізико-механічних (густина, твердість за Брінелем, напруження при межі текучості та модуль пружності при стисканні) та теплофізичних (температура розм'якшення за Віка та температура початку активної деструкції) властивостей полімерних композитів на основі ароматичного поліаміду та гібридного наповнювача (арамідне волокно+силікагель). Встановлено, що введення у ароматичний поліамід гібридного наповнювача дозволяє підвищити рівень його досліджених властивостей на 5–10%. Визначено вплив методики перероблення розроблених полімерних композитів на їх властивості. Встановлено, що композити, одержані при *in situ* суміщенні вихідних компонентів полімерних композицій мають кращий рівень властивостей ніж ті, що одержані за стандартним методом при механічному суміщенні. Це є наслідком отримання кращої якості розподілення наповнювача в об'ємі полімеру при одержанні полімерної композиції в процесі синтезу наповнювача силікагелю.

Ключові слова: ароматичний поліамід, силікагель, композиційні матеріали, арамідне волокно, гелеутворення, густина, твердість за Брінелем, напруження при стисканні, температура пом'якшення, температура початку деструкції.

DOI: 10.32434/0321-4095-2026-167-4-151-158**Вступ**

Сучасна індустрія стикається із проблемою нестачі нових конструкційних матеріалів із високим рівнем властивостей, ніж вже існуючі. Відпо-

відно до принципів, розроблених Європейською комісією з ключових технологій (European Commission Key Enabling Technologies (KETs)), створення таких матеріалів є одним з найбільш

© О.С. Кабат, Ю.В. Бойко, 2026



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Polymer composites based on an aromatic polyamide with a hybrid filler and a method for their processing into products

актуальних і невідкладних завдань сьогодення¹.

До найбільш перспективних матеріалів конструкційного призначення слід віднести полімери та полімерні композити на їх основі [1–3]. Деталі із цих матеріалів відрізняються високим рівнем стійкості до дії агресивних середовищ, мають невелику вагу при достатньому рівні міцнісних властивостей, є досить надійними та довговічними при роботі у вузлах тертя, які працюють без та із змащуванням тощо. Відповідно до BCC Research Report Overview «Engineering Resins, Polymer Alloys and Blends: Global Markets» світовий ринок конструкційних полімерів та композитів на їх основі збільшиться з \$70,7 мільярдів у 2021 до \$94,0 мільярдів до 2026 року.

Серед великого різноманіття полімерів найвищий рівень властивостей мають матеріали на основі ароматичних поліамідів, поліамідів, поліефіркеонів тощо [4].

З цих полімерів особливо відрізняються ароматичні поліаміди. При невисоких значеннях густини (1300–1400 кг/м³) їх напруження при межі текучості при стисканні досягає 230 МПа, що перевищує аналогічні значення для низьковуглецевих сталей [5]. При цьому ароматичні поліаміди мають досить високу термічну стійкість до 350°C та деталі з них можуть працювати у вузлах машин і механізмів при температурах до 280°C не втрачаючи при цьому своїх експлуатаційних властивостей [6]. Слід також відмітити, що ароматичні поліаміди здатні працювати у вузлах тертя, які працюють без використання змащування чи при граничному змащуванні.

Для направленої регулювання рівня властивостей у ароматичні поліаміди додають наповнювачі та модифікатори різної природи, структури та морфології. Досить широке розповсюдження серед таких матеріалів отримали органічні волокна [7,8], введення яких у ароматичні поліаміди дозволяє значно покращити рівень

їх фізико-механічних та трибологічних властивостей. Використання деталей із таких полімерних композитів у вузлах сучасних машин і механізмів показало їх досить високу ефективність та сприяло збільшенню надійності та довговічності у роботі. До органічних волокон, які найбільше покращують рівень властивостей ароматичного поліаміду слід віднести арамідні волокна. Завдяки своїй хімічній спорідненості вони вступають у хімічну взаємодію із матричним полімером, значно збільшуючи його рівень фізико-механічних та теплофізичних властивостей.

З недоліків матеріалів на основі ароматичних поліамідів, наповнених арамідними волокнами, слід відмітити їх досить високу вартість, яка складається як із вартості вихідних компонентів полімерної композиції, так і з витрат коштів на досить складну і енерговитратну технологію їх перероблення у вироби. Тому актуальним завданням є здешевлення композиційних матеріалів на основі ароматичних поліамідів, які наповнені органічними волокнами без втрати рівня їх властивостей.

Методи та об'єкти дослідження

Об'єкт дослідження

Як полімерну основу обрано ароматичний поліамід полі м-, п-феніленізофталамід, який є полімером гетероциклічної будови, що складається з ароматичних фрагментів різної будови, поєднаних амідними зв'язками (рис. 1). Він являє собою дрібнодисперсний порошок світло-коричневого кольору із основним розміром частинок 20–40 мкм.

Як арамідне волокно обрано продукт марки терлон, який є термостійким високомодульним волокном, що одержано способом мокрого формування з концентрованого розчину поліаміду в сульфатній кислоті. Для використання як наповнювач арамідне волокно подрібнювали на частинки довжиною 0,5–1 мм.

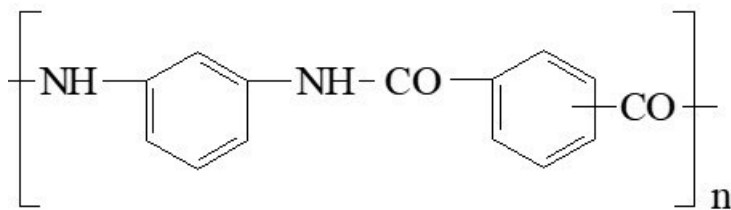


Рис. 1. Структурна формула ароматичного поліаміду

¹ European parliament. Key enabling technologies for Europe's technological sovereignty. Available from: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/697184/EPRS_STU\(2021\)697184_EN.pdf/](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/697184/EPRS_STU(2021)697184_EN.pdf/).

Методи досліджень

Стійкість до дії температури об'єктів дослідження виміряно за допомогою методу термогравіметричного аналізу, відповідно до ISO-11358, методами сканування за температурою і часом на дериватографі TGA Q50.

Мікрометричні знімки частинок силікагелю отримано за допомогою електронного мікроскопу Axia ChemiSEM, обладнаних камерами для електронних мікрофотографій.

Густину полімерів та ПКМ на їх основі визначено за ISO 1183 за допомогою методу гідростатичного зважування на аналітичних вагах ВЛР-200, з модулем для гідростатичного зважування.

Твердість (HB) матеріалів визначено методом вдавлення кульки на твердомірі 2013 ТШСП відповідно до ISO 2039-1.

Напруження при межі текучості (σ_y) та модуль пружності (E) при стисканні вихідних полімерів та ПКМ на їх основі визначено за ISO 604 на універсальній розривній машині 2167 P-50 згідно з ISO 604.

Температуру розм'якшення за Віка ТВК визначено на приладі FWV633/10 відповідно до ISO 1183-1.

Результати та обговорення

Відомі два основних підходи до здешевлення композиційних матеріалів на основі ароматичних поліамідів. Це вибір більш дешевих наповнювачів та спрощення методу переробки полімерних композицій у вироби. У даній роботі були застосовані одразу обидва.

Використання більш дешевих наповнювачів, ніж арамідні волокна, у ароматичних поліамідах у більшості випадків не дає суттєвого покращення їх властивостей [9,10]. Тому нами було прийнято рішення щодо створення гібридного наповнювача на основі арамідних волокон та неорганічного дешевого активного наповнювача, здатного до взаємодії, як із волокном, так і з полімером.

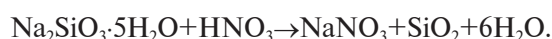
Виходячи із огляду літератури, як дешевий активний наповнювач було обрано діоксид кремнію марки силікагель. Цей матеріал має досить розвинену питому поверхню (до 300 м²/г) і активні силанольні групи (SiOH) на ній. Відповідно до попередніх досліджень [11] теоретично (за допомогою квантово-хімічних розрахунків на рівні *ab initio* теорії) та експериментально (за допомогою ІК-спектроскопії) доведено взаємодію силанольних груп діоксиду кремнію із амідним поліамідами. Тому використання силікагелю як компонента гібридного наповнювача ароматичних поліамідів є виправданим.

Стандартний метод перероблення матеріалів на основі ароматичного поліаміду складається із трьох етапів: підготовчий, основний та завершальний.

На підготовчому етапі відбуваються операції зважування компонентів полімерних композицій, їх механічне змішування, брикетування та видалення вологи із брикетів при їх сушці. На основному етапі відбуваються операції безпосередньої переробки отриманих брикетів методом компресійного пресування у формах із підігрівом. На заключному етапі відбуваються операції механічної оброблення виробів із метою надання їм необхідної геометричної форми та морфології поверхонь.

Спрощення методу перероблення полімерних композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду, наповненого гібридним наповнювачем арамідне волокно+силікагель, у вироби полягає у використанні методу *in situ* суміщення вихідних компонентів полімерної композиції у процесі синтезу наповнювача силікагелю. Це дозволить відмовитися від операції механічного змішування вихідних компонентів полімерної композиції на підготовчому етапі її переробки. У результаті метод перероблення буде здешевлений. Також відповідно до попередніх робіт [12,13] цей метод перероблення дозволяє покращити якість розподілення наповнювача у полімері, що, у свою чергу, приводить до покращення властивостей полімерних композитів у порівнянні із аналогами отриманими за стандартним методом.

Згідно із запропонованим методом синтез силікагелю відбувається при взаємодії натрій силікату пентагідрату (Na₂SiO₃·5H₂O) та 10%-вого розчину нітратної кислоти. Реакція проходить за схемою:



Метод *in situ* суміщення вихідних компонентів полімерної композиції (рис. 2) умовно можна розділити на 3 етапи: початковий, основний і заключний.

На початковому етапі у реакційноактивне середовище (водяний розчин натрій силікату пентагідрату) додають дрібнодисперсний ароматичний поліамід та подрібнене арамідне волокно у заздалегідь визначених співвідношеннях (рис. 2,а), яке обрали відповідно до результатів попередніх досліджень [8].

На основному етапі при постійному перемішуванні створюють суспензійну систему, яка складається із рівномірно розподілених твердих частинок полімеру та волокна у водяному розчині натрій силікату пентагідрату (рис. 2,б). Одержану систему при постійному перемішуванні підкислюють 10%-вим розчином нітратної кислоти до рН 6,5–7,5 (рис. 2,в). При цьому відбувається практично моментальне її застигання із переходом рідинної фази суспензії у аквагель, в якому знаходяться рівномірно розподілені частинки ароматичного поліаміду та арамідного волокна (рис. 2,г).

На заключному етапі сушать отриману систему при температурі 30–40°C до повного видалення вологи і переходу аквагелю у ксерогель, який промивають дистильованою водою з метою очищення від солі та залишків нітратної кислоти (рис. 2,д). Одержана суміш підлягає сушці та є полімерною композицією, готовою до подальшо-

го перероблення у вироби (рис. 2,е).

Отриману полімерну композицію переробляють у вироби відповідно до методики, яка приведена у попередніх роботах [12,14].

Відповідно до результатів роботи [12] полімерні композити, одержані за подібним методом перероблення, мають різну структуру у порівнянні із тими, що отримані за стандартним методом. Це пояснюється особливостями формування силікагелю при його синтезі у присутності дрібнодисперсного ароматичного поліаміду. Тому важливо дослідити вплив методу одержання полімерних композицій на основі ароматичного поліаміду на його структуру. Одним із методів визначення такого впливу є візуальний. Згідно з ним по мікрофотографіях сколів полімерного композиційного матеріалу можна оцінювати морфологію та форму його складових частин. Для визначення зміни морфології силікагелю у полімерних композитах одержаних за механічним

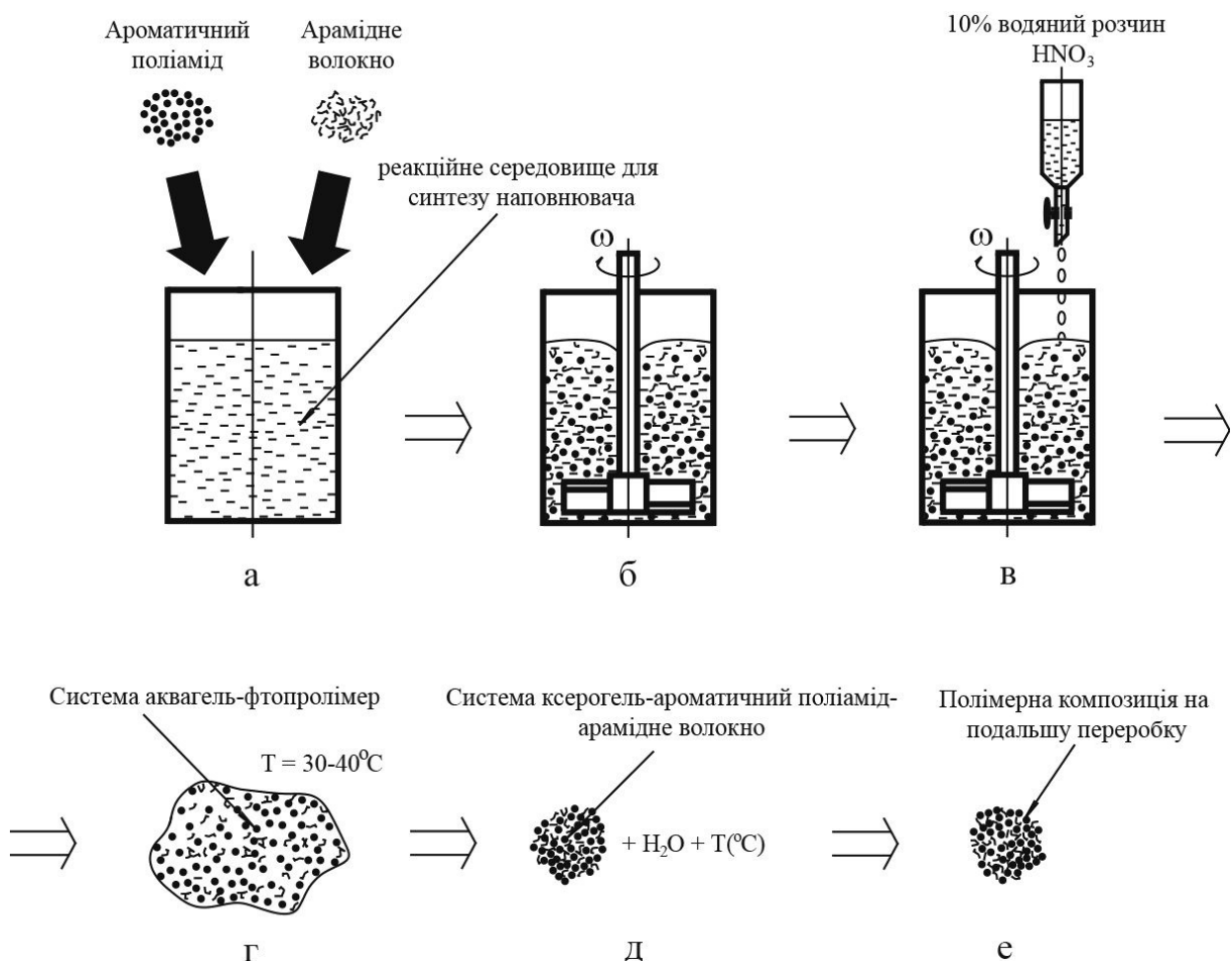


Рис. 2. Схема *in situ* суміщення вихідних компонентів полімерних композицій на основі ароматичного поліаміду, арамідного волокна і силікагелю у процесі синтезу наповнювача

та *in situ* методом суміщення вихідних компонентів полімерних композицій його необхідно відокремити від полімерної матриці та арамідного волокна. Для цього існують два основних способи: хімічний і фізичний. За хімічним способом необхідно підібрати розчинник, який не буде взаємодіяти із силікагелем і повністю видалить ароматичний поліамід та арамідне волокно із полімерного композиційного матеріалу. Фізичний спосіб полягає у видаленні органічної складової (ароматичний поліамід та арамідне волокно) із полімерного композиційного матеріалу за допомогою його термічного розкладення при дії температурного поля.

Зважаючи на те, що ароматичний поліамід та арамідне волокно розчиняються тільки у деяких концентрованих кислотах та органічних розчинниках, які є досить небезпечними у роботі для людини та навколишнього середовища, було прийняте рішення щодо використання фізичного способу видалення органічної складової із полімерного композиційного матеріалу за допомогою дії на нього визначеного температурного поля. Для знаходження температури, при якій відбувається повне розкладення ароматичного поліаміду та арамідного волокна, було проведено термогравіметричний аналіз цих матеріалів. Також було визначено її вплив на силікагель. Результати наведені на рис. 3.

Відповідно до отриманих результатів можна стверджувати, що термогравіметричні

криві ароматичного поліаміду та арамідного волокна мають схожий характер. При цьому повна втрата ваги ароматичного поліаміду та арамідного волокна при швидкості підняття температури 5°C за хвилину спостерігається при температурах, близьких до 900°C , що свідчить про їх повне термічне розкладення. При цьому термогравіметрична крива силікагелю змінюється в інтервалі температур від 50 до 160°C , що відповідає випаровуванню із матеріалу води. При подальшому збільшенні температур до 1000°C вона стабілізується. Це свідчить про незмінність хімічної складу силікагелю у дослідженому інтервалі температур.

На підставі проведених термогравіметричних досліджень можна стверджувати, що видалення органічної складової із полімерного композиційного матеріалу за допомогою дії на нього визначеного температурного поля повністю відбувається при температурі 900°C . При цьому неорганічна складова полімерного композиту не зазнає термічного руйнування. Отже, для подальших досліджень морфології силікагелю у полімерних композитах, одержаних за різними методиками, проводили операцію їх прокалювання при температурі 900°C зі швидкістю підняття 5°C за хвилину і витримки впродовж мінімум 1 години. Далі отримували мікрофотографії неорганічного залишку (силікагелю) полімерних композитів (рис. 4).

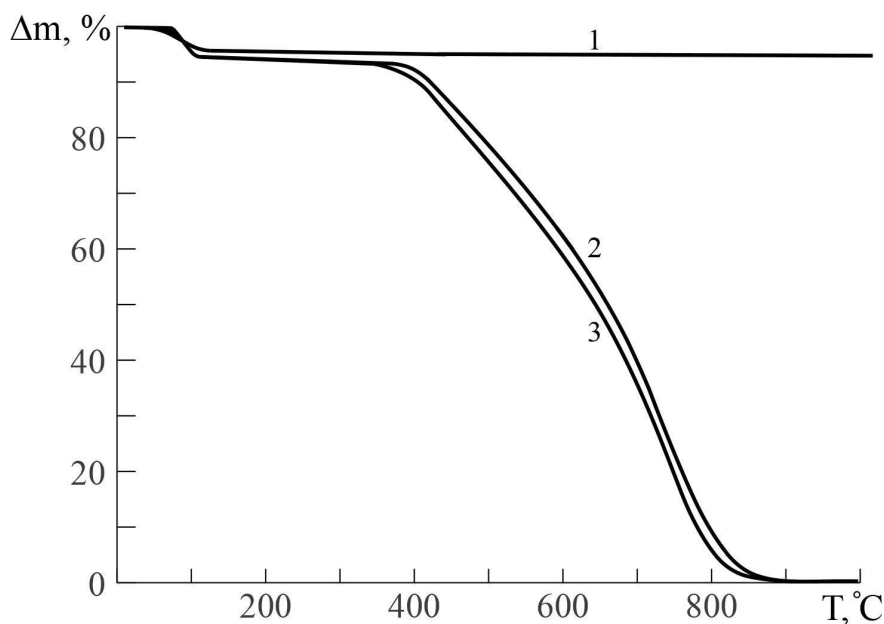


Рис. 3. Термогравіметричні криві досліджених матеріалів: 1 — силікагель; 2 — арамідне волокно; 3 — ароматичний поліамід

Відповідно до отриманих мікрофотографій можна стверджувати, що наповнювач після прокалювання полімерних композитів, отриманих за механічним та *in situ* методом суміщення вихідних компонентів полімерних композицій має різну морфологію. Так, силікагель із композитів, одержаних за *in situ* методом, має більш розвинену поверхню із великою кількістю отворів, мікро та макропор у порівнянні із аналогом, одержаним за механічним методом суміщення вихідних компонентів у полімерній композиції. Ця зміна морфології наповнювача свідчить про особливості структуроутворення силікагелю при його синтезі у присутності дрібнодисперсного ароматичного поліаміду та арамідного волокна. Відомо, що наповнювачі із більш розвиненою поверхнею мають краще підсилювати полімерну матрицю за рахунок більшої поверхні взаємодії із молекулами полімеру. Тому було цікаво дослідити вплив методики перероблення полімерних композитів на основі ароматичного поліаміду у виробі на їх фізико-механічні та теплофізичні властивості (таблиця).

Відповідно до отриманих результатів можна стверджувати, що введення у вихідний полімер гібридного наповнювача, який складається із терлону та силікагелю, дозволяє покращити рівень фізико-механічних та теплофізичних властивостей на 5–10%. Це пояснюється взаємодією активних елементів молекул ароматичного поліаміду із силікагелем на арамідними волокнами [11].

Одержані полімерні композити по рівню значень твердості та напруження при межі текучості при стисканні (252 та 241 МПа, відповідно) перевищують аналогічні показники для низьковугле-

цевих сталей. При цьому дані композити мають густину (до 1375 кг/м³), що у 5–6 разів менше, ніж у низьковуглецевих сталей. Це відкриває можливості до використання розроблених полімерних композитів у наукоємних галузях машинобудівного виробництва при створенні морських та річкових суден, ракет, літаків тощо.

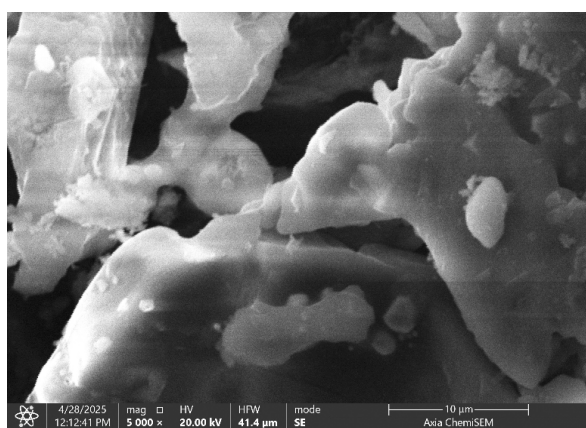
Також відповідно до результатів експериментів (таблиця) можна стверджувати, що композити, одержані при *in situ* суміщенні вихідних компонентів полімерних композицій, мають кращий рівень властивостей ніж ті, що отримані за стандартним методом при механічному суміщенні. Це є наслідком більшої питомої поверхні та кращої якості розподілення наповнювача в об'ємі полімеру при одержанні полімерної композиції в процесі синтезу силікагелю.

Висновки

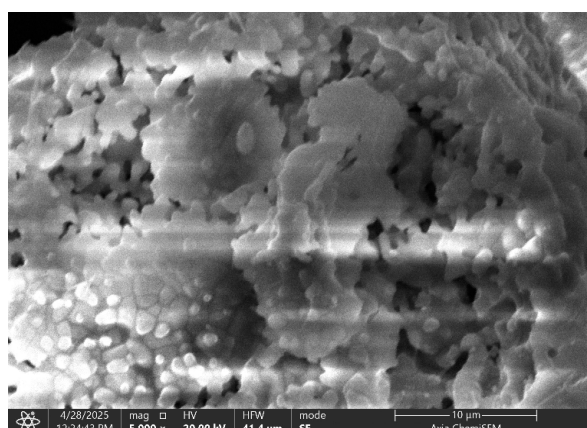
1. Розроблені полімерні композити конструкційного призначення із невеликим рівнем собівартості на основі ароматичного поліаміду та гібридного наповнювача, який складається із арамідних волокон та силікагелю.

2. Запропоновано використання більш дешевої методики переробки розроблених полімерних композитів у виробі за рахунок *in situ* суміщення їх вихідних компонентів в процесі синтезу наповнювача при отриманні полімерних композицій.

3. Визначено, що полімерні композити на основі ароматичного поліаміду і гібридного наповнювача (арамідне волокно+силікагель) по своїм фізико-механічним та теплофізичним властивостям на 5–10% перевищують аналогічні значення для вихідного ароматичного поліаміду.



а



б

Рис. 4. Мікрофотографії частинок силікагелю після прокалювання полімерних композитів, одержаних за (а) механічним та (б) *in situ* методом суміщення вихідних компонентів полімерних композицій

Фізико-механічні та теплофізичні властивості вихідного ароматичного поліаміду та композитів на його основі

Показник властивостей	Вихідний полімер	Композит фенілон+терлон+силікагель, одержані за методом	
		механічним	<i>in situ</i>
Густина ρ , кг/м ³	1330	1353	1375
Твердість за Брінелем НВ, МПа	213	233	252
Напруження при межі текучості при стисканні $\sigma_{\text{в}}$, МПа	226	229	241
Модуль пружності при стисканні E , МПа	2332	2356	2545
Температура розм'якшення за Віка T_{VC} , °C	270	297	300
Температура початку активної деструкції T , °C	350	366	367

4. Визначено, що полімерні композити, отримані за методом *in situ* суміщення вихідних компонентів є не тільки більш дешевими, а і мають кращий рівень властивостей ніж отримані за стандартним методом при механічному суміщенні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Applications of sustainable polymer composites in automobile and aerospace industry* / Muhammad A., Rahman M.R., Baini R., Bakri M.K.B. // *Advances in sustainable polymer composites*. – Woodhead Publishing, 2020. – P.185-207.
2. *Bhandari S., Gupta P., Dey A. Industrial applications of polymer composites*. – Singapore: Bentham Science Publishers. – 2023. – 40 p.
3. *Lightweight polymer composite structures: design and manufacturing techniques* / Rangappa S.M., Parameswaranpillai J., Siengchin S., Kroll L. – London: CRC Press, 2020. – 410 p.
4. *Friedrich K. Polymer composites for tribological applications* // *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.* – 2018. – Vol.1. – No. 1. – P.3-39.
5. *Determining the influence of the filler on the properties of structural thermal-resistant polymeric materials based on Phenylone C1* / Kabat O., Makarenko D., Derkach O., Muranov Y. // *East. Eur. J. Enterprise Technol.* – 2021. – Vol.5. – No. 6(113). – P.24-29.
6. *Abadie M.J. High performance polymers – polyimides based – from chemistry to applications*. Rijeka: InTech, 2012. 254 p.
7. *Magnetic-resonance and tribological properties of organoplastics based on copolymer BSP-7* / Grashenkova M.O., Tomina A.-M.V., Burya O.I., Krasnovyd S.V., Konchyts' A.A., Shanina B.D. // *Ukr. J. Phys.* – 2023. – Vol.68. – No. 9. – P.619-627.
8. *Чигвинцева О.П., Бойко Ю.В.* Вивчення впливу вмісту органічного волокна терлон на трибологічні властивості ароматичного поліаміду фенілон C-1 // *Наукові нотатки*. – 2021. – Вип. 71. – С.146-150.
9. *Revealing patterns of change in the tribological efficiency of composite materials for machine parts based on phenylone and polyamide reinforced with arimide-t and fullerene* / Aulin V., Rogovski I., Lyashuk O., Tykhyi A., Kuzyk A., Dvornyk A., et.al. // *East.-Eur. J. Enterprise Technol.* – 2024. – Vol.3. – No. 12(126). – P.6-18.
10. *Yerionina Ye.A., Burya A.I.* Investigating the influence of overmolecular structure on the properties of metal-containing polymer // *Funct. Mater.* – 2020. – Vol.27. – No. 4. – P.781-785.
11. *Intermolecular interactions in complex systems «polyamide-silica gel»: the quantum-chemical interpretation* / Tokar A., Kabat O., Chigvintseva O., Belosevic S. // *New Technologies, Development and Application IV*. – 2021. – Vol.233. – P.875-882.
12. *Method for obtaining a polymer composite based on aromatic polyamide and silicon dioxide* / Kabat O., Sytar V., Heti K., Artemchuk V. // *J. Chem. Technol. Metall.* – 2021. – Vol.56. – No. 2. – P.283-288.
13. *Полімерні композиційні матеріали на основі фторопласту та методи їх отримання* / Кабат О.С., Харченко Б.Г., Деркач А. Д., Артемчук В.В., Бабенко В.Г. // *Питання хімії та хім. технол.* – 2019. – № 3. – С.116-122.
14. *Polymeric composite materials of tribotechnical purpose with a high level of physical, mechanical and thermal properties* / Kabat O., Sytar V., Derkach O., Sukhyi K. // *Chem. Chem. Technol.* – 2021. – Vol.15. – No. 4. – P.543-550.

Надійшла до редакції 14.06.2025

Надійшла після виправлення 04.03.2026

Прийнята до публікації 17.07.2026

Опублікована 10.08.2026

POLYMER COMPOSITES BASED ON AN AROMATIC POLYAMIDE WITH A HYBRID FILLER AND A METHOD FOR THEIR PROCESSING INTO PRODUCTS

O.S. Kabat^{a,b,}, Yu.V. Boyko^{a,b}*

^a Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

^b Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

* e-mail: Amber_UDHTU@i.ua

The study demonstrates the prospects of using structural polymers and polymer composites in modern mechanical engineering, particularly aromatic polyamide. The feasibility of using a hybrid material based on aramid fiber and silica gel as a filler for aromatic polyamide was established. A resource-saving in situ method for combining the initial polymer with the hybrid filler during its synthesis was developed. This approach makes it possible to eliminate the mechanical mixing step of the initial components of the polymer composition and to achieve a more uniform distribution of the filler within the polymer matrix. As a result, it contributes to reducing the cost of products based on aromatic polyamide and the hybrid filler (aramid fiber+silica gel) while improving their properties compared to materials produced by the conventional method. The physical and mechanical properties (density, Brinell hardness, compressive yield strength, and compressive modulus of elasticity) as well as the thermal properties (Vicat softening temperature and the onset temperature of active thermal degradation) of polymer composites based on aromatic polyamide and the hybrid filler (aramid fiber+silica gel) were investigated. It was established that the incorporation of the hybrid filler into aromatic polyamide increases the investigated properties by 5–10%. The influence of the processing method of the developed polymer composites on their properties was also determined. It was found that the composites produced by the in situ combination of the initial components of the polymer compositions exhibit better properties than those produced by the conventional mechanical mixing method. This is attributed to the more uniform distribution of the filler throughout the polymer volume when the polymer composition is formed during the synthesis of the silica gel filler.

Keywords: aromatic polyamide; silica gel; composite materials; aramid fiber; gelation; density; Brinell hardness; compressive stress; softening temperature; onset of destruction temperature.

REFERENCES

1. Muhammad A, Rahman MR, Bains R, Bakri MKB. Applications of sustainable polymer composites in automobile and aerospace industry. In: *Advances in Sustainable Polymer Composites*. Woodhead Publishing; 2021. p. 185–207. doi: 10.1016/B978-0-12-820338-5.00008-4.
2. Bhandari S, Gupta P, Dey A. *Industrial applications of polymer composites*. Singapore: Bentham Science Publishers; 2023. 204 p. doi: 10.2174/97898151248111230101.
3. Rangappa SM, Parameswaranpillai J, Siengchin S, Kroll L. *Lightweight polymer composite structures: design and manufacturing techniques*. London: CRC Press; 2020. 410 p. doi: 10.1201/9780429244087.
4. Friedrich K. Polymer composites for tribological applications. *Adv Ind Eng Polym Res*. 2018. 1(1): 3–39. doi: 10.1016/j.aiepr.2018.05.001.
5. Kabat O, Makarenko D, Derkach O, Muranov Y. Determining the influence of the filler on the properties of structural thermal-resistant polymeric materials based on Phenylone C1. *East Eur J Enterprise Technol*. 2021; 5(6(113): 24–29. doi: 10.15587/1729-4061.2021.243100.
6. Abadie M. *High performance polymers – polyimides based – from chemistry to applications*. Rijeka: InTech; 2012. 254 p. doi: 10.5772/2834.
7. Graschenkova M, Tomina AM, Burya O, Krasnovy S, Konchyts' A, Shanina B. Magnetic-resonance and tribological properties of organoplastics based on copolymer BSP-7. *Ukr J Phys*. 2023; 68(9): 619. doi: 10.15407/ujpe68.9.619.
8. Chigvintseva OP, Boyko YuV. Study of the influence of terlon organic fiber content on tribological properties of aromatic polyamida phenilon C-1. *Naukovi Notatki*. 2021; (71): 146–150. doi: 10.36910/6775.24153966.2021.71.20.
9. Aulin V, Rogovskii I, Lyashuk O, Tykhyi A, Kuzyk A, Dvornyk A, et al. Revealing patterns of change in the tribological efficiency of composite materials for machine parts based on phenylone and polyamide reinforced with aramide-t and fullerene. *East Eur J Enterprise Technol*. 2024; 3(12(129): 6–18. doi: 10.15587/1729-4061.2024.304719.
10. Yeriomina YeA, Burya AI. Investigating the influence of overmolecular structure on the properties of metal-containing polymer. *Funct Mater*. 2020; 27(4): 781–785. doi: 10.15407/FM27.04.781.
11. Tokar A, Kabat O, Chigvintseva O, Belosevic S. Intermolecular interactions in complex systems “polyamide-silica gel”: the quantum-chemical interpretation. In: Karabegovic I, editor. *New technologies, development and application IV. NT 2021. Lecture notes in networks and systems*, vol 233. Cham: Springer; 2021. p. 875–882. doi: 10.1007/978-3-030-75275-0_96.
12. Kabat O, Sytar V, Heti K, Artemchuk V. A method for obtaining a polymer composite based on aromatic polyamide and silicon dioxide. *J Chem Technol Metall*. 2021; 56(2): 283–288.
13. Kabat OS, Kharchenko BG, Derkach OD, Artemchuk VV, Babenko VG. Polymer composites based on fluoroplastic and method for the production thereof. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2019; (3): 116–122.
14. Kabat O, Sytar V, Derkach O, Sukhyi K. Polymeric composite materials of tribotechnical purpose with a high level of physical, mechanical and thermal properties. *Chem Chem Technol*. 2021; 15(4): 543–550. doi: 10.23939/chcht15.04.543.