

Поліщук Б.В.

<https://orcid.org/0009-0001-5213-6191>

Український державний університет науки і технологій

Мітіна Н.Б.

<https://orcid.org/0000-0002-5384-7040>

Український державний університет науки і технологій

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ У ВКЛАДИШАХ ПІЛЬГЕРНИХ СТАНІВ

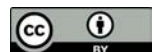
У статті теоретично проведено аналіз застосування полімерних матеріалів як термостійких елементів. Важливою науково-практичною проблемою, що визначає техніко-економічну ефективність упровадження нових полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), є прогнозування їх експлуатаційних властивостей та моделювання поведінки в умовах реального навантаження. У виробничих умовах, виконано експеримент з розробки аналогу матеріалу для використання у якості підшипника ковзання пільгервалка пільгерстану. Проведено порівняльні дослідження вкладишів з матеріалів тимлон-7 та триболіт на знос та надійність подушок пільгерстану в виробничих умовах. Обрані ПКМ призначені для виготовлення конструкційних деталей вузлів тертя, що працюють в умовах нормальної та обмеженої подачі мастила, підвищеної запиленості, вібрації, в агресивних середовищах. У ході випробувань опрацьовані дані з обсягу прокатних труб та осей за кожним місцем встановлення у пільгерному стані № 1, № 2, визначено швидкість руйнування вкладишів, середня стійкість вкладишів із матеріалу триболіт, тимлон-7. Експериментальні вкладиші № 2 та № 3 з полімеру марки тимлон-7 показали підвищену зносостійкість більш ніж у два рази вищу порівняно з вкладишами з триболіту. Вкладиші № 2, встановлений у верхній подушці з приводного боку стану, зруйнувався після досягнення стійкості 1097,5 т/шт. Визначено, що вкладиші №3 зберігає працездатність при поточній стійкості і може бути використаний у нижніх подушках пільгерстану. Встановлено, що руйнування вкладиша № 4 було зумовлене його експлуатацією спільно з вкладишами з триболіту, які перебували в роботі та характеризуються інакшими фізико-механічними властивостями і швидкістю зносу, що призвело до перекосу валка. Отримані результати свідчать про доцільність подальших випробувань вкладишів з полімеру марки тимлон-7 при їх встановленні у верхні та нижні подушки пільгерних станів № 1 та № 2.

Ключові слова: термостійкі полімери, полімерна композиція, вузли тертя, зносостійкість деталей, антифрикційні властивості, триболіт, тимлон, валки, вкладиші, пільгерний стан, пільгервалк, прокат, труби.

Постановка проблеми. На сьогодні приблизно від однієї третини до половини світових енергетичних ресурсів у тій чи іншій формі витрачається на подолання сил тертя, тому значення проблеми тертя та зношування деталей машин у сучасному високотехнологічному світі важко переоцінити. У зв'язку з цим сучасна промисловість потребує створення нових полімерних і полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) з підвищеними фізико-механічними та експлуатаційними властивостями. Перспективним напрямом створення таких матеріалів є застосування різних способів модифікації відомих полімерів. Важливою науково-практичною проблемою, що визначає

техніко-економічну ефективність упровадження нових композиційних матеріалів, є прогнозування їх експлуатаційних властивостей, а також моделювання поведінки ПКМ в умовах реального навантаження. Тому подальший розвиток виробництва ПКМ на основі політетрафторетилену (ПТФЕ) має ґрунтуватися на наукових засадах технології полімерів і композитів, прикладного матеріалознавства та фізико-хімічної механіки композитних структур.

Згідно з дослідженнями авторів [1], були розроблені дві жаро- та вогнестійкі термореактивні матриці на основі нового тетракізаміну, що містить циклотрифосфазен. Отримані смоли є пер-



спективними матеріалами для створення термо- та вогнестійких волокнистих композитів, клеїв, покриттів і ламінатів, які можуть бути використані в космічній, аерокосмічній та електронній галузях. Розроблений тетракізамін є універсальним мономером для синтезу широкого спектра термо- та вогнестійких сходових полімерів і може застосовуватися як ефективний агент зшивання.

Застосування полімерних матеріалів як термостійких елементів забезпечує підвищення надійності та ресурсу роботи машин, а в окремих випадках – дає змогу спростити конструкцію й технологію виготовлення вузлів тертя. Сукупність таких ключових фізико-механічних характеристик полімерів, як висока міцність, стійкість до задирок за умов обмеженого мащення, здатність демпфувати вібрації та сприймати ударні навантаження, зумовлює їх широке впровадження як підшипникових матеріалів. Низький коефіцієнт тертя, висока зносостійкість, можливість роботи без мастила, толерантність до короточасних перевантажень і ударів, швидке припрацювання та здатність функціонувати в абразивному середовищі – саме ці властивості роблять полімери конкурентоспроможною альтернативою традиційним антифрикційним сплавам [2].

У сучасних машинах і механізмах як конструкційні та триботехнічні матеріали застосовуються метали та їх сплави, кераміка, полімери та полімерні композиційні матеріали, деревина, скло тощо. Водночас найбільш перспективними серед них є саме полімери та ПКМ [3 – 5], що підтверджується постійним зростанням обсягів їх використання у всіх галузях промисловості, які в останні роки суттєво перевищують споживання традиційних матеріалів.

Полімери та ПКМ на їх основі завдяки комплексу унікальних властивостей – відносно низькій собівартості виробів, високій хімічній стійкості, малій густині, здатності працювати у вузлах тертя без змащування тощо [6 – 8] – широко застосовуються практично в усіх сферах діяльності людини: від побутових виробів до відповідальних елементів ракетно-космічної техніки [9 – 12].

У зв'язку з цим актуальною науково-прикладною задачею є розробка нових підходів до створення полімерних композиційних матеріалів з підвищеними теплофізичними, фізико-механічними та трибологічними властивостями при одночасному зниженні собівартості за рахунок використання недефіцитної сировини та спрощення технології переробки. Зношування рухомих спряжень під дією сил тертя призводить до перед-

часного виходу машин з експлуатації та значних економічних витрат на їх ремонт, тому проблемам тертя і зношування в промислово розвинених країнах світу приділяється підвищена увага.

Особливо жорсткими умовами експлуатації характеризуються прокатні стани, вузли та деталі яких працюють при високих навантаженнях, швидкостях ковзання, підвищених температурах, а також за дії абразивних і агресивних середовищ протягом тривалого часу. У зв'язку з цим однією з основних проблем при їх розробці та впровадженні є забезпечення високого рівня надійності та довговічності. Одним із ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є застосування нових конструкційних і триботехнічних матеріалів з покращеними експлуатаційними характеристиками. Тому, доцільним є дослідження композиційних матеріалів на основі термостійких полімерів для використання у вузлах тертя прокатних, зокрема пільгерних станів.

Постановка завдання. Метою статті є експериментальне дослідження ефективності застосування термостійких полімерних композиційних матеріалів для підвищення зносостійкості вкладишів пільгерного стану.

Виклад основного матеріалу. Об'єкти дослідження полімерні композиційні матеріали (ПКМ) тимлон та триболіт. Обрані ПКМ призначені для виготовлення конструкційних деталей вузлів тертя, що працюють в умовах нормальної та обмеженої подачі мастила, підвищеної запиленості, вібрації, в агресивних середовищах. Тимлон-7 (виробник Україна за чеською технологією) – модифікований антифрикційний полімерний матеріал наповнений рубленим скловолокном, дисульфідом молібдену. У порівнянні з поліамідами має кращу жорсткість та кращий опір повзучості, температура плавлення 290°C, має високий опір теплового старіння (табл. 1). Виходячи з цих якостей, тимлон-7 застосовується в областях де мають місце високі температури і такі матеріали як PA6, PA66, POM або PET не можуть забезпечити необхідні робочі характеристики, зокрема для підвищення зносостійкості вкладишів пільгерного стану.

Триболіт (вироблений за ТУ У 00186192.061-2000) є композицією вуглецевого і фенольного наповнювача сполученого з антифрикційними добавками, температура плавлення до 300°C.

Триболіт, це сучасний антифрикційний матеріал, що самозмазується на полімерній основі, спеціально розроблений для вузлів тертя, в порів-

нянні з капролоном володіє високою зносостійкістю, не схильний до деформації під навантаженням, має низький коефіцієнт тертя, витримує високі навантаження до 35 МПа у всьому діапазоні температур, не боїться агресивних середовищ, а також економить енергію за рахунок зниження втрати при терті, якщо застосовувати замість таких матеріалів як бабіт або бронзу. Характеристика триболіту марок БТФ (бавовняний наповню-

вач, текстоліт, фібра) та ВТФ (вуглецевий наповнювач, текстоліт, фібра) наведено в таблиці 2.

Опитне промислове випробування вкладишів із ПКМ тимлон-7 та триболіт-БТФ здійснено в умовах «Інтерпайп» м. Дніпро на пільгерстані № 1, № 2 елонгаторі ТПЦ-4. Проведено випробування трьох виробів. Зовнішній вигляд вкладок для подушок пільгерстану тимлон-7 та триболіт представлено на рисунку 1.

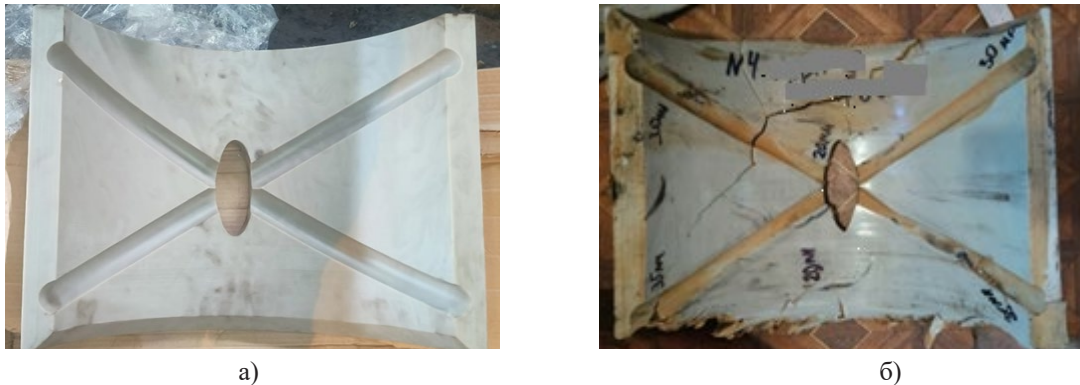


Рис. 1. Зовнішній вигляд зразків з полімерного композиційного матеріалу: а) тимлон-7, б) триболіт

Таблиця 1

Характеристика ПКМ марки тимлон-7

Найменування	Одиниці виміру	Показник
Щільність	г/см ³	1,19
Водопоглинення при 23°C	%	0,9
Водопоглинення після занурення у воду на 24/96 год	%	1,3/2,6
Температура плавлення	°C	290
Діапазон робочих температур	°C	Від мінус 40 до плюс 180
Межа плинності при розтягуванні	МПа	195
Деформація в межі плинності	%	18
Деформація під час розриву	%	25
Модуль пружності при розтягуванні	МПа	4400
Твердість по Брінелю	Н/мм ²	175
Ударна міцність по Шарпі	кДж/м ²	-
Твердість Роквелля	-	M92
Діелектрична міцність	кВ/мм	25
Об'ємний опір	Ом·см	більше 10 ¹⁴
Поверхневий опір	Ом	більше 10 ¹³

Таблиця 2

Характеристика ПКМ марки триболіт

Найменування показника	Одиниці виміру	Марка	
		БТФ	ВТФ
Щільність	г/см ³	1,30-1,50	1,30-1,50
Руйнівна напруга при стисканні перпендикулярно шарам, не менше	МПа	130	100
Руйнівна напруга при згинанні перпендикулярно шарам, не менше	МПа	108	90
Опір розколюванню вздовж шарів матеріалу, не більше	МПа	150	100
Масова частка зв'язуючого	кН/м	35-45	35-45
Ступінь заперечення матеріалу, не менше	%	88	88
Коефіцієнт тертя		0,03-0,15	0,03-0,15
Водопоглинення, не більше	%	1,0	0,8



а)



б)

Рис. 2. Зовнішній вигляд розташування вкладишів з тимлон-7: а) № 2 з приводної сторони; б) № 3 з холостої сторони



а) Привідна сторона



б) Холоста сторона

Рис. 3. Загальний вигляд вкладишів встановлених у верхні подушки: а) № 2, б) № 3

Для проведення експерименту вкладиші встановлювали в подушках пільгерстану № 2 і перебували в експлуатації: у нижній подушці з холостого боку вкладиш № 4 з триболіту; у верхніх подушках з тимлону-7: з приводного боку вкладиш № 2 (рис. 2 а); з холостого боку вкладиш № 3 (рис. 2 б).

Опитний вкладиш №4 з триболіту був встановлений позапланово в нижню подушку з холостого боку. Перекіс валка спричинив передчасне руйнування вкладиша який експлуатувався з уже працював вкладишем з матеріалу-Триболіту, що має інші технологічні характеристики та властивості (при високих температурах до 300°C відносно незначної втрати маси). За період експлуатації, прокатано 650 т труб, відповідно стійкість вкладишей з ПКМ Триболіт становила 162,5 т/шт.

Експериментальні вкладиші № 2 і № 3 з Тимлон-7, встановлені одночасно у верхні подушки: № 2 з приводної, а № 3 – з холостої сторони (рис. 3).

Тривалість експерименту десять діб у верхніх подушках пільгерстану №2 показала, що прокатано 4390,001 т з них 2302,651 т труб і 2087,35 т осей, що становить 52% та 47% відповідно. Зовнішній вигляд після виведення з експлуатації показано на рисунку 3. Після закінчення прокату при поточній стійкості 1097,5 т/шт зразки виробів вкладишів були вилучені для ревізії. Загальний вигляд робочої поверхні вкладишів з Тимлону-7 №2, №3 наведена на рисунку 4.

Виявлено, що вкладиш №2, який був встановлено з приводної сторони розрушився, вкладиш №3 підлягає подальшій експлуатації у нижній подушці. Огляд робочої поверхні для вкладиша №3, встановленого з холостого боку, показало нерівномірне зношування, а саме зменшення товщини на 5 мм у центральній зоні та на одному з коротких торців при збереженні номінальної товщини 35 мм на протилежному торці. Отже,



Рис. 4. Загальний вигляд фотофіксації робочій поверхні вкладишів з тимлону-7:
а) приводна сторона – № 2, б) холоста сторона – № 3

вкладиш №3 з тимлону-7 придатний для подальшої експлуатації та може використовуватись у нижніх подушках пільгерстану.

Висновки. Встановлено, що руйнування вкладиша № 4 було зумовлене його спільною роботою з вкладишами з триболіту, які характеризуються іншими фізико-механічними властивостями та швидкістю зносу, що спричинило перекіс валка. Експериментальні вкладиші № 2 і № 3 з полімеру тимлон-7 продемонстрували більш ніж дворазове

підвищення зносостійкості порівняно з вкладишами з триболіту. Вкладиш № 2 досяг ресурсу 1097,5 т/шт, після чого був зруйнований, тоді як вкладиш № 3 за цього рівня навантаження зберіг працездатність і може бути використаний у нижніх подушках пільгерного стану. Отримані результати підтверджують доцільність подальших випробувань та розширення застосування полімерних вкладишів із матеріалу тимлон-7 у вузлах пільгерних станів.

Список літератури:

1. Kumar D., Gupta A. D., Khullar M. Heat-resistant thermosetting polymers based on a novel tetrakisaminophenoxycyclotriphosphazene // *Journal of Polymer Science. Part A: Polymer Chemistry*. 1993. Vol. 31, № 11. P. 2739–2745 <https://doi.org/10.1002/POLA.1993.080311109>
2. Поліщук Б. В., Мітіна Н. Б. Питання щодо розробки полімерних композиційних матеріалів // *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2025. Т. 36 (75), № 2. С. 300–304 <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.2/40>
3. Liu Q., Tang Z., Ou B. та ін. Design, preparation, and application of ordered porous polymer materials // *Materials Chemistry and Physics*. 2014. Vol. 144, Issue 3. P. 213–225 <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2014.01.013>
4. Friedrich K. Polymer composites for tribological applications // *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 2018. Vol. 1, Issue 2. P. 3–39. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2018.05.001>
5. Zhao W., Liu L., Zhang F. та ін. Shape memory polymers and their composites in biomedical applications // *Materials Science and Engineering: C*. 2019. Vol. 97. P. 864–883. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.12.054>
6. Bernède J. C. Materials for erasable optical disks // *Materials Chemistry and Physics*. 1992. Vol. 32, Issue 2. P. 189–195 [https://doi.org/10.1016/0254-0584\(92\)90276-E](https://doi.org/10.1016/0254-0584(92)90276-E)
7. Chiechi R. C., Havenith R. W. A., Hummelen J. C. та ін. Modern plastic solar cells: materials, mechanisms and modeling // *Materials Today*. 2013. Vol. 16, Issue 7–8. P. 281–289 <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.07.003>
8. Berry D. H., Wohl C. J. Aerospace and marine environments as design spaces for contamination-mitigating polymeric coatings // *Advances in Polymer Science*. Berlin : Springer, 2018. P. 1–16. https://doi.org/10.1007/12_2018_43
9. Zhong Y., Godwin P., Jin Y. та ін. Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: a mini-review // *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 2020. Vol. 3, Issue 1. P. 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.002>
10. Kabat O., Sytar V., Sukhyi K. Antifrictional polymer composites based on aromatic polyamide and carbon black // *Chemistry & Chemical Technology*. 2018. Vol. 12, № 3. P. 326–333. <https://doi.org/10.23939/chcht12.03.326>

11. Sukhyy K. M., Belyanovskaya E. A., Sukhyy M. P. та ін. Obtaining technology for nanocomposites based on polyamide-6 and organomodified montmorillonite // Journal of Chemistry and Technologies. 2018. Vol. 26, Issue 1. P. 9–19. <https://doi.org/10.15421/081802>

12. Chervakov D. O., Bashtanyk P. I., Burmistr M. V. Modified polypropylene with improved physical-mechanical properties // Mechanics of Composite Materials. 2015. Vol. 51. P. 93–98. <https://doi.org/10.1007/s11029-015-9479-6>

Polishchuk B.V., Mitina N.B. PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF POLYMER PLAIN BEARINGS IN PILGER ROLLING MILLS

In this study, a theoretical analysis of the use of polymer materials as heat-resistant elements was carried out. An important scientific and practical problem that determines the techno-economic efficiency of implementing new polymer composite materials (PCM) is the prediction of their performance characteristics and the modeling of their behavior under real loading conditions. Under production conditions, an experiment was conducted to develop an analogous material for use as a sliding bearing for the pilger roll of a pilger mill. Comparative tests were performed on bushings made of Timlon-7 and Tribolite materials to evaluate wear and the reliability of pilger mill bearing housings under industrial operating conditions. The selected PCMs are intended for manufacturing structural components of friction units operating under normal and limited lubrication, increased dust content, vibration, and aggressive environments. During the tests, data were processed on the rolled pipe volume and shafts for each installation location in pilger mills No. 1 and No. 2, and the rate of bushing failure as well as the average service life of Tribolite and Timlon-7 bushings were determined. Experimental bushings No. 2 and No. 3 made of Timlon-7 demonstrated more than twice the wear resistance compared with Tribolite bushings. Bushing No. 2, installed in the upper bearing housing on the drive side of the mill, failed after reaching a service life of 1097.5 t/unit. It was determined that bushing No. 3 remains operational at the current service level and can be used in the lower bearing housings of the pilger mill. It was established that the failure of bushing No. 4 was caused by its simultaneous operation with Tribolite bushings, which had different physical and mechanical properties and wear rates, resulting in roll misalignment. The obtained results confirm the feasibility of further testing of bushings made of Timlon-7 polymer when installed in the upper and lower bearing housings of pilger mills No. 1 and No. 2.

Keywords: *heat-resistant polymers, polymer composite materials, friction units, wear resistance of components, antifriction properties, Tribolite, Timlon, rolls, bushings, pilger mill, pilger roll, rolling, pipes.*

Дата першого надходження статті до видання: 11.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 19.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті 11.05.2026