

УДК 620.22:621.763–037.47

DOI: 10.18372/0370-2197.2(83).13687

О. І. БУРЯ, А. – М. В. ТОМІНА, Є. Е. ЛИТВИНОВА

*Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське***ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИСПЕРСНОГО КАРБІДНОГО
НАПОВНЮВАЧА НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ
НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ С-2**

В статті розглянуто як впливає вміст титано-вольфрамо-кобальтового твердого сплаву на трибологічні властивості композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду фенілон марки С-2. Встановлено, що введення дисперсного наповнювача призводить до зменшення інтенсивності лінійного зношування та показника абразивного стирання фенілону на 30-90 та 22-45%. Встановлено, що оптимальним комплексом властивостей (низьким зношуванням, високою твердістю) володіє композит що містить 3 мас.% карбід. В результаті чого, його можна рекомендувати для виготовлення деталей автомобілів, дорожніх та сільськогосподарських машин, які працюють в агресивних умовах, при підвищених температурах та змінних навантаженнях.

Ключові слова: ароматичний поліамід, фенілон С-2, твердий сплав, карбід, інтенсивність лінійного зношування, показник абразивного стирання, коефіцієнт тертя, мікротвердість

Вступ. В останні роки полімерні композиційні матеріали (ПКМ), являються одними з найбільш затребуваних в багатьох галузях промисловості [1]. ПКМ характеризуються високими функціональними можливостями, забезпечують здатність роботи у важких умовах (агресивних середовищах, змінних навантаженнях та вібраціях), при одночасному збільшенні надійності (в 1,5 рази), робочого ресурсу (в 3 рази) та економічності (зменшення витрат на 40% при виготовленні деталей) машин та механізмів, [2], в порівнянні з металами та іншим конструкційними сплавами [3].

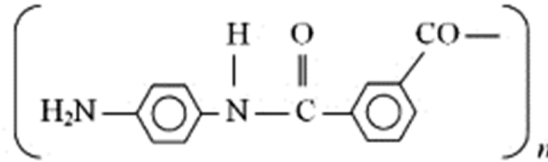
Аналіз останніх досліджень та результатів. Більшість відмов (80-85%) у роботі сучасного обладнання пов'язано із зношуванням робочих органів машин та механізмів, що виникає в процесі експлуатації [4], що призводить до значних економічних збитків, в результаті простоїв, витрат на ремонт або купівлю нових деталей [5]. В зв'язку з чим, значна увага сучасного матеріалознавства приділяється створенню зносостійких ПКМ здатних підвищити надійність та довговічність машин та механізмів, при одночасному зменшенні трудомісткості та технічного обслуговування при експлуатації.

В номенклатурі композитів триботехнічного призначення, особливе місце займають дисперсно-зміцненні композити на основі термопластичних в'язучих, які відрізняються від термореактивних підвищеною в'язкістю руйнування та термостійкістю, меншою чутливістю до пошкоджень, можливістю вторинної переробки, необмеженим терміном зберігання та рядом цінним переваг. Підбираючи термопластичну матрицю та наповнювач можна в значній мірі розширити марочний асортимент ПКМ [6].

Одними з перспективних дисперсних наповнювачів являються карбіди, які створюють в полімерній матриці найбільш сильне гальмування дислокацій, що виникають під дією навантажень.

Мета роботи: дослідження трибологічних властивостей дисперсно-зміцнених полімерних композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду фенілон марки С-2, наповненого титано-вольфрамо-кобальтовим сплавом.

Об'єкти та методи досліджень. В якості в'язучого використовували ароматичний поліамід фенілон марки С-2 (ТУ 6-05-221-226-72) - тонкодисперсний порошок білого кольору з насипною густиною 0,2 – 0,3 г/см³, характеризується високою жорсткістю, зносо- та морозостійкістю, радіаційною та хімічною стійкістю, здатністю тривалої експлуатації при 523-533 К [7]. Наступної хімічної формули:



В якості наповнювача використовували дисперсний порошок титано-вольфрамо-кобальтового твердого сплаву (ТК), що складається з трьох основних фаз: твердого розчину карбідів титану і вольфраму (TiC-WC), карбиду вольфраму (WC) та кобальтової зв'язки, хімічний склад $-WC_{84}TiC_4Co_{12}$. Головними особливостями сплавів ТК є велика стійкість до окислення, твердість і теплостійкість, і в той же час низька теплопровідність і електропровідність.

Приготування композицій фенілону С-2, що містять 0,5-5 мас.% титано-вольфрамо-кобальтового сплаву, здійснювалося методом сухого змішування в апараті з обертальним електромагнітним полем (0,12 Тл) за допомогою феромагнітних частинок, які з приготовленої композиції вилучались методом магнітної сепарації. Далі готові суміші таблетували при кімнатній температурі і тиску 25 МПа. Таблетки завантажували в прес-форму, нагріту до 523 К, нагрівали до 598 К і витримували при цій температурі 5 хв. без тиску та 5 хв. під тиском 40 МПа.

Трибологічні характеристики вивчали в умовах тертя без змащення на дисковій машині тертя при навантаженні 0,6 МПа, швидкості ковзання 1 м/с. Шлях тертя становив 1000 м. Зразки з композицій виготовляли циліндричної форми $\varnothing = 10$, $h = 10$ мм; в якості контртіла використовували сталь 45 (45-48 HRC, $R_a = 0,16-0,32$ мкм).

Коефіцієнт тертя визнали за формулою:

$$f = \frac{F_1 + F_2}{N},$$

де F_1 – сила тертя вихідного зразка; F_2 – втрати, що виникають при повороті важеля на вістрях в горизонтальній площині. Точність виміру сили тертя складає 5%; N – нормальне навантаження на зразок.

Зношування зразків визначали ваговим методом на аналітичних терезах ВЛР-200 (ГОСТ 24104-80) з точністю 0,0001 г. За основну інженерну характеристику процесу зношування, приймали інтенсивність лінійного зношування I_h виражену співвідношенням:

$$I_h = \frac{\lambda}{\rho_T} \cdot \frac{dG}{A_a \cdot dL_T},$$

де G – величина масового зношування; ρ_T – густина матеріалу що зношується; A_a – номінальна площа контакту; L – шлях тертя.

$$\lambda = \frac{A_a}{A_T}$$

де A_T – номінальна площа тертя.

Приймали $\lambda = 1$, тобто розглядали зношування тіла, всі точки поверхні тертя якого знаходяться в контакті.

Дослідження матеріалів на абразивне зношування нерухомо закріпленими абразивними частками (дисперсність шкурки 40—60 мкм) проводили згідно ГОСТ 11012-69 на дослідній машині Necker. Величину показника абразивного стирання визначали за формулою:

$$V_i = \frac{\Delta G \cdot 1000}{\rho \cdot L}$$

де ΔG – величина масового зношування; ρ – експериментальна густина матеріалу що зношується, г/см³; L – довжина шляху стирання, м.

Дослідження поверхні тертя розроблених композитів здійснювали на мікроскопі «Біолам-М». Густина зразків визначали адитивним та гідростатичним методом згідно ГОСТ 15139-69.

Обговорення результатів. З результатів представлених на рис. 1, видно що наповнення фенілолу С-2 титано-вольфрамо-кобальтовим твердим сплавом призводить до зменшення інтенсивності лінійного зношування та показника абразивного стирання вихідного полімеру на 30-90 та 22-45%. Дані результати можна пояснити наступним чином.

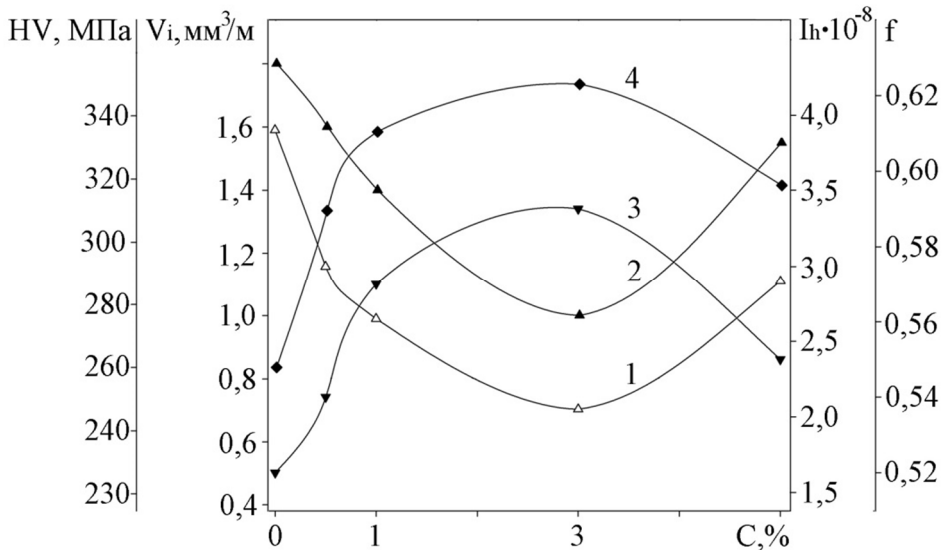


Рис.1. Вплив вмісту карбідного наповнювача на інтенсивність лінійного зношування (1), показник абразивного стирання (2), коефіцієнт тертя (3) та мікротвердість матриці (4) фенілолу С-2

Відомо [8], що частки наповнювача послаблюють міжмолекулярні зв'язки в'язучого та виступають інгібіторами зношування матеріалу, в результаті чого спостерігається покращення трибологічних властивостей. Також підвищення зносостійкості вихідного полімеру можна пояснити тим, що карбідні сплави характеризуються високою твердістю, яка в свою чергу чинить великий вплив на зменшення зношування, так при введенні наповнювача від 0,5 до 3 мас.% спостерігається підвищення мікротвердості полімерної матриці на 15-28%.

Що стосується коефіцієнту тертя, його підвищення на 13% обумовлене тим фактом, що в умовах тертя без змащення спостерігається підвищення адгезійної складової тертя між наповнювачем та металевим контртілом. Тверді частки карбїду мають великий опір на зсув, в результаті чого концентруючись на поверхні тертя підвищують сили тертя в зоні контакту, підтвердженням сказаного слугує наявність борозен проорювання на поверхні тертя (рис. 2, а).

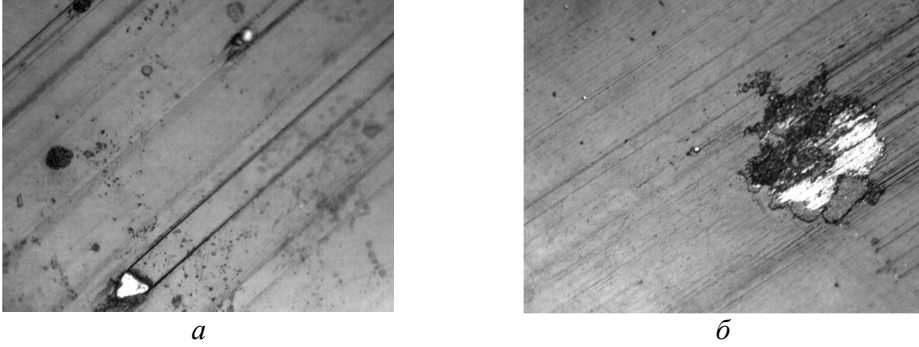


Рис.2. Мікроструктура поверхні тертя фенїлону С-2 наповненого 0,5 (а) та 5 (б) мас.% карбїдного сплаву ($\times 100$) в режимі тертя без змащення

Отримані результати носять екстремальний характер: відбувається покращення дослідних характеристик в при вмісті сплаву 0,5-3 мас.%, при подальшому його збільшенні до 5 мас.% відбувається їх спад. З одного боку, це можна пояснити тим, що при збільшенні кількості наповнювача в полімерній матриці збільшується сила взаємодії часток наповнювача. Відомо [9], що вуглець у складі карбїдів характеризується більш високим ступенем електронегативності (здатністю атомів притягувати до себе електрони інших атомів), внаслідок чого утворюються агломерати, які не дозволяє в'язучому просочити наповнювач, внаслідок чого частки наповнювача видаляються з поверхні тертя (рис. 2, б), відбувається зростання дефективності композиту.

Підтвердженням сказаного слугує той факт, що теоретична густина розроблених матеріалів наповнених 0,5-3 мас. % сплаву ТК менше (рис. 3), ніж експериментальна: процес впорядкованості в'язучого превалює над розпушуванням на границі «фенїлон-наповнювач», і тільки при вмісті 5 мас.% вона вище гідростатичної.

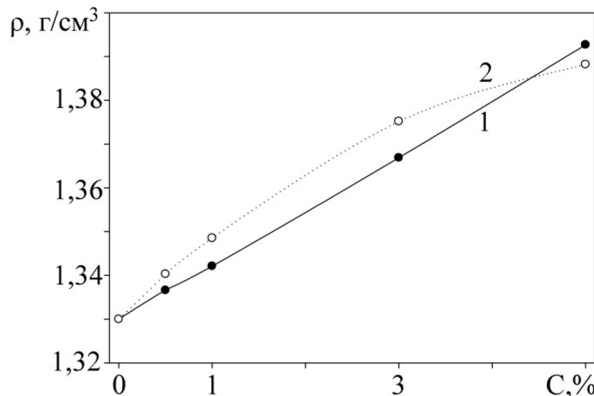


Рис.3. Вплив вмісту карбїдного наповнювача на розрахункову (1) та експериментальну (2) густину розроблених композитів

Висновок. Аналіз результатів досліджень розроблених композицій показав, що використання титано-вольфрамо-кобальтового твердого сплаву в якості наповнювача для фенілону С-2, являється перспективним шляхом покращення його експлуатаційних властивостей: зменшення інтенсивності лінійного зношування, показника абразивного стирання та мікротвердості полімерної матриці на 30-90, 22-45 та 15-28% відповідно. Отримані результати свідчать, що розроблені композити можна застосовувати для виготовлення зносостійких деталей автомобілів, дорожніх та сільськогосподарських машин що працюють в агресивних умовах, підвищених температурах та змінних навантаженнях.

Список літератури

1. В.Е. Юдин Полимерные композиционные материалы: разработка, свойства и перспективы применения [Электронный ресурс]: В.Е. Юдин. – Режим доступа: <http://kargin.msu.ru/files/yudin.pdf>
2. Перспективы использования полимерных композиционных материалов / [И.В. Коринько, Н.П. Горох, А.Н. Коваленко, В.В. Тимошенко, Ю.В. Ярошенко] / Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник №67. С. 56-64.
3. Высокопрочные полимерные композиционные материалы / Д.В.Кочуров //Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 5
4. Трибологические отказы дорожно-строительных машин [Р.М. Мухаметшина] - Известия Самарского научного центра Российской академии наук, - т.18 - №1(2), 2016. – С. 252-255.
5. Ефективні засоби підвищення довговічності та відновлення деталей обладнання рибопереробних виробництв / В.В. Мануїлов, О.Д. Сушков, Ю.Г. Сухенко [та ін.] // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". – Луцьк. - 2012. – №39. – С. 107-110.
6. Сафин В.Н. Композиционные материалы: текст лекций / В.Н. Сафин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ.- 2010. – 36 с.
7. Богодухов С.И. Курс материаловедения в вопросах и ответах: учебное пособие. /Богодухов С.И., Гребенюк В.Ф., Синюхин А.В. – М.: Машиностроение, 2003. – 256 с.
8. Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена / [А.А. Охлопкова, П.Н. Петрова, С.Н. Попов, С.А. Слепцова] / Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2008.- т. LIІ, № 3. – С. 147-152.
9. Что такое карбиды, их роль в производстве и свойства / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://stanok.guru/cvetnye-metally-i-splavy/chto-takoe-karbidy-ih-rol-v-proizvodstve-i-svoystva.html>.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2019.

Буря Александр Иванович – канд. техн. наук, професор кафедри Фізики конденсованого стану Дніпровського державного технічного університету, ol.burya@gmail.com

Томіна Анна – Марія Вадимівна – науковий співробітник кафедри Фізики конденсованого стану Дніпровського державного технічного університету, an.mtomina@gmail.com

Литвинова Єлизавета Едуардівна – студент кафедри Фізики конденсованого стану Дніпровського державного технічного університету, litvinova_elizaveta@ukr.net

O. I. BURYA, A. – M. V. TOMINA, Ye. E. LYTVYNOVA

RESEARCH OF THE EFFECT OF DISPERSED CARBIDE FILLER ON THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON PHENYLONE C-2

It is known that wear is one of the main causes of failure of equipment of modern technics, which results in significant economic costs associated with the repair of equipment and shutdown of working process. Therefore, the subject of increasing the wear resistance details of machines and mechanisms is one of the important tasks of modern material science. One of the promising ways to increase the reliability and durability of the equipment is usage of polymer composite materials (PCM), including reinforced with dispersed fillers. The main reason of rapid development of PCM is due to the fact that traditional plastics including polyamides largely exhausted their capabilities, and modern technology progresses every year, and needs the materials with new properties, usage of that will reduce the use of scarce materials (titanium, steel, aluminium, copper and others), increase load-carrying capacity, provide significant fuel economy through weight reduction of constructions.

In the article is considered the influence of titanium-tungsten-cobalt solid alloy on tribotechnical properties of composite materials based on aromatic polyamide of phenylone brand C-2. Analyzing the results of obtained researches, it is seen that adding of dispersed filler due to positive results: decrease of the intensity of linear wear and indicator of abrasive wear of phenylone to 30-90 and 22- 45%. It has been established that the optimal complex of properties has composite containing 3 wt.% of carbide. As a result, it is possible to recommend production of details with high wear resistance for cars, road and agricultural machines working in aggressive conditions, high temperatures and variable loads.

Key words: aromatic polyamide, phenylone C-2, solid alloy, carbide, intensity of linear wear, indicator of abrasive wear, coefficient of friction, microhardness

References

1. V.E. Judin Polimernye kompozicionnye materialy: razrabotka, svoystva i perspektivy primeneniya [Elektronij resurs]: V.E. Judin. – Rezhim dostupu: <http://kargin.msu.ru/files/yudin.pdf>
2. Perspektivy ispol'zovaniya polimernyh kompozicionnyh materialov / [I.V. Korin'ko, N.P. Goroh, A.N. Kovalenko, V.V. Timoshenko, Ju.V.Jaroshenko] / Kommunal'-noe hozhajstvo gorodov. Nauchno-tehnicheskij sbornik №67. S. 56-64.
3. Vysokoprochnye polimernye kompozicionnye materialy / D.V.Kochurov // Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. – 2018. – № 5
4. Tribologicheskie otkazy dorozhno-stroitel'nyh mashin [R.M. Muhametshina] - Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, - t.18 - №1(2), 2016. – S. 252-255.
5. Efektyvni zasoby pidvyschennia dovhovichnosti ta vidnovlennia detalei obladnannia rybopererobnykh vyrobnystv / V.V. Manuilov, O.D. Sushkov, Yu.H. Sukhenko [ta in.] // Mizhvuzivskyi zbirnyk "NAUKOVI NOTATKY". – Lutsk. - 2012. – №39. – S. 107-110.
6. Safin V.N. Kompozicionnye materialy: tekst lekciij / V.N. Safin. – Chelja-binsk: Izdatel'skij centr JuUrGU.- 2010. – 36 s.
7. Bogoduhov S.I. Kurs materialovedeniya v voprosah i otvetah: uchebnoe posobie./ Bogoduhov S.I., Grebenjuk V.F., Sinjuhina A.V. – M.: Mashinostroenie, 2003. – 256 s.
8. Polimernye kompozicionnye materialy tribotehnicheskogo naznacheniya na osnove politetraforjetilena /[A.A. Ohlopkova, P.N. Petrova, S.N. Popov, S.A. Slepцова] / Ros. him. zh. (Zh. Ros. him. ob-va im. D.I. Mendeleeva), 2008.- t. LII, № 3. – S. 147-152.
9. Chto takoe karbidy, ih rol' v proizvodstve i svoystva / [Elektronij resurs] – Rezhim dostupu:<https://stanok.guru/cvetnye-metally-i-splavy/chto-takoe-karbidy-ih-rol-v-proizvodstve-i-svoystva.html>