

УДК 620.22:621.763–037.47

DOI: 10.18372/0370-2197.2(87).14723

І. І. НАЧОВНИЙ¹, О. І. БУРЯ, А. – М. В. ТОМІНА², А. А. ПАВЛЕНКО¹¹Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро²Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське**ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТІВ
НА ОСНОВІ ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕНУ**

У статті розглянуто вплив порошку шунгіту на трибологічні властивості композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену в умовах тертя без змащування. Встановлено, що введення дисперсного наповнювача призводить до зменшення інтенсивності зношування базового полімеру в 492 рази та збільшення його твердості та температури по Віка на 12 і 45%, відповідно. Визначено, що ефективний вміст наповнювача в полімерній матриці складає 15 мас.%. Внаслідок цього даний композит можна рекомендувати для виготовлення деталей сучасної техніки, яка працює в агресивних умовах і в умовах тертя без змащення.

Ключові слова: політетрафторетилен, шунгіт, зношування, коефіцієнт тертя, швидкість ковзання, питоме навантаження, полімерні композиційні матеріали.

Вступ. Економічна доцільність будь-якого виробництва безпосередньо пов'язана із стабільною роботою обладнання, оскільки його простий та ремонт завдають підприємствам значних економічних збитків. У більшості випадків безвідмовна працездатність механізмів напряму пов'язана зі стабільною роботою вузлів тертя [1]. Використання полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення (ПКМ) на основі термопластичних матриць у вузлах тертя машин та механізмів дозволяє зменшити енерговитрати при виготовленні підшипників ковзання і шестерень [2], збільшити економічну ефективність та термін експлуатації обладнання.

Враховуючи вищезазначене, розробка та дослідження нових ресурсозберігаючих та високоефективних полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення є ключовою задачею технологічного прогресу в багатьох галузях сучасної техніки [3].

Постановка завдання. Полімерна матриця є важливою складовою, оскільки вона забезпечує більшість необхідних технологічних характеристик ПКМ, тому її необхідно обирати дуже ретельно. Аналіз літературних джерел [4-8] показав, що використання ПТФЕ є найбільш перспективним, оскільки дає змогу отримати полімерні композиційні матеріали, що зберігають свою працездатність під впливом багатьох кислот і розчинників, вологості. Перспективним шляхом розширення асортименту та галузей використання, покращення експлуатаційних і технологічних характеристик політетрафторетилену є використання різноманітних дисперсних наповнювачів [5]. Так, сьогодні для модифікації ПТФЕ з метою отримання антифрикційних композитів використовують: кремнезем [6], графіт, бронзу [7], бентоніт і дисульфід молібдена [8]. Усе це дозволяє стверджувати, що дослідження, спрямовані на розробку таких полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення на основі політетрафторетилену, що зберігають працездатність у агресивних середовищах, є перспективними. Порошок шунгіту є одним із багатообіцяючих наповнювачів для створення ПКМ триботе-

хнічного призначення, оскільки характеризується гарними показниками технічних характеристик у поєднанні з екологічною безпекою [9, 10].

Мета роботи: дослідження трибологічних властивостей дисперсно-зміцнених полімерних композиційних матеріалів на основі політетрафторетилєну наповненого порошком шунгіту.

Об'єкти та методи досліджень. Як полімерна матриця був обраний політетрафторетилєн, який поєднує ряд корисних властивостей, таких як здатність працювати в умовах тертя без змащення, тепло- і морозостійкість, хімічна стійкість до багатьох розчинників, гідрофобність, стійкість до впливу сонячних променів і великий діапазон температур експлуатації (від 73 до 523 К) [7; 8].

Порошок шунгіту (Зажогінське родовище, Росія) використовували як наповнювач для створення композитів з покращеним комплексом технічних характеристик. Шунгіт – це специфічна вуглецева порода, що складається з високодисперсних силікатних часток, рівномірно розподілених в аморфній вуглецевій матриці. Вміст вуглецю не менше 20 %, діоксид кремнію – не більше 70 %, а також оксиди алюмінію, заліза, кальцію, титану, марганцю та ін. Середній розмір часток 2-3 мкм. Для шунгіту характерні висока механічна міцність та зносостійкість [9].

Дослідження триботехнічних характеристик базового полімеру та композитів на його основі здійснювали в режимі тертя без змащування на машині зі зворотньо-поступальним рухом при навантаженні 64 Н, швидкості ковзання 0,83 м/с. Зразки виготовляли циліндричної форми $\varnothing=10$, $h=15$ мм, як контртіло використовували сталь 38Х2МЮА (45-48 HRC, $Ra=0,16-0,32$ мкм). Отримані результати оброблювались за допомогою методів математичної статистики.

Твердість знаходили за методом Роквелла (ГОСТ 9013-59) на твердомірі ТК-2М.

Температуру розм'якшення по Віка визначали відповідно до ГОСТ 15065-69.

Зносостійкість визначали за втратою маси дослідних зразків з наступним перерахунком у лінійне зношування:

$$h = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d^2 \cdot \rho \cdot F}$$

де m – зношування матеріалу, г; d – діаметр поверхні зразка, мм; ρ – експериментальна густина розроблених композицій, г/см³, яку визначали відповідно до ГОСТ 15139. F – добуток обертів та довжини одного подвійного ходу та часу проведення дослідів, визначається за формулою:

$$F = n \cdot l \cdot t,$$

де n – оберти; l – довжина подвійного ходу, $l=124$ мм; t – час проведення дослідів, $t = 30$ хв.

Обговорення результатів. Аналіз результатів трибологічних досліджень, представлених на рис. 1, показав, що введення порошку шунгіту у кількості 10-20 мас.% призводить до зменшення інтенсивності зношування ПТФЕ у 492 рази, що пояснюється збільшення твердості композиту на 12 % (рис. 2) порівняно з вихідним матеріалом.

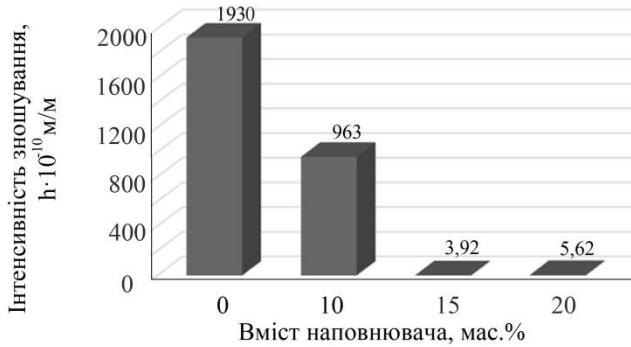


Рис. 1. Вплив відсоткового вмісту шунгіту на інтенсивність зношування політетрафторетилену при $v=0,83$ м/с, $P=64$ Н

З іншого боку, покращення трибологічних властивостей можна пояснити тим, що шунгіт [10] складається з високодисперсних кристалічних силікатних часток, рівномірно розподілених в аморфній вуглецевій матриці, при цьому між ними існує міцний зв'язок. Шарувата структура силікатів сприяє в процесі експлуатації на поверхні тертя утворенню «антифрикційного шару», який виконує роль сухого змащувача та характеризується низькими зсувними опорами та високою навантажувальною здатністю [11]. Слід також відзначити, що при поширенні «антифрикційного шару» (плівки переносу) на поверхні сталюого контр тіла послідує тертя відбувається за схемою «полімер-полімер», а контртіло вилучається з процесу зношування.

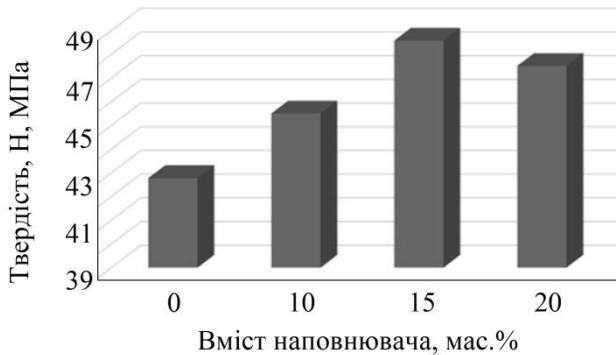


Рис. 2. Вплив відсоткового вмісту шунгіту на твердість політетрафторетилену

Найбільш інтенсивне збільшення показника зносостійкості базового полімеру відбувається при введенні наповнювача до 15 мас.%, після чого він починає зменшуватись, що, імовірно, обумовлено збільшенням дефектності матеріалу. Поява дефектів (пор, тріщин) в об'ємі матеріалу обумовлена поганим просоченням в'язучого в середину агломератів часток, які утворюються через надмірну кількість наповнювача.

Композит з ефективним вмістом шунгіту (15 мас.%) піддавали комплексу трибологічних випробувань варіюючи навантаження та швидкість ковзання у діапазонах: $P=50-150$ Н та $v=0,52-1,14$ м/с (рис. 3, 4), відповідно.

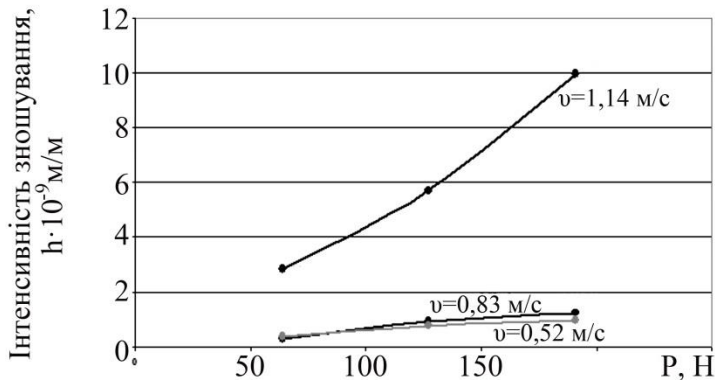


Рис.3. Залежність інтенсивності зношування композиту з ефективним (15 мас.%) вмістом наповнювача від швидкості ковзання (v , м/с) та питомого навантаження (P , Н)

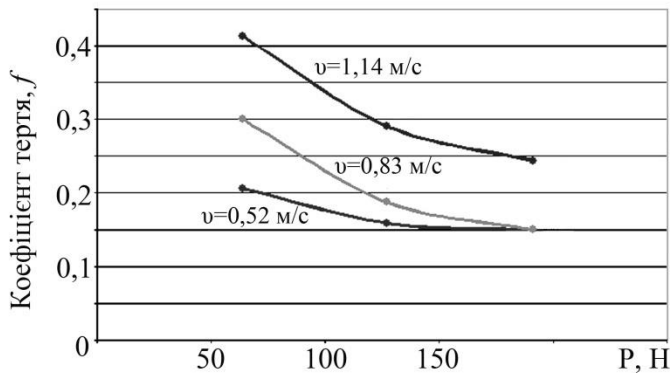


Рис.4. Залежність коефіцієнту тертя композиту з ефективним (15 мас.%) вмістом наповнювача від швидкості ковзання (v , м/с) та питомого навантаження (P , Н)

Встановлено, що збільшення питомого навантаження та швидкості ковзання до критичних значень $P=150$ Н та $v=1,14$ м/с призводить до збільшення зношування композиту (рис. 3). Отримані результати можна пояснити тим, що в умовах тертя без змащення в поверховому шарі композиту відбувається послаблення міжмолекулярної взаємодії. З іншого боку, їх можна пояснити зростанням фрикційної взаємодії між сталевим контртілом і матеріалом, що в свою чергу призводить до протікання процесів механічного руйнування поверхні тертя композитів порівняно з процесами формування плівки перенесення [12].

Що стосується коефіцієнту тертя, з рис. 4 встановлено, що зі збільшенням навантаження він змінюється антибатно інтенсивності зношування. Його зниження може бути пов'язано зі зменшенням сил захоплення поверхонь, що контактують [8], та збільшенням площі фактичного контакту. Підвищення швидкості ковзання від 0,52 до 1,14 м/с призводить до його збільшення, що обумовлено зростанням молекулярної складової сили тертя [13].

Як видно з рис.5, при введенні порошку шунгіту теплостійкість базового полімеру збільшується на 45 %, що може бути обумовлено зменшенням ступенів свободи макромолекул політетрафторетилену за рахунок їхньої хімічної взаємодії з активною поверхнею часток шунгіту [14].

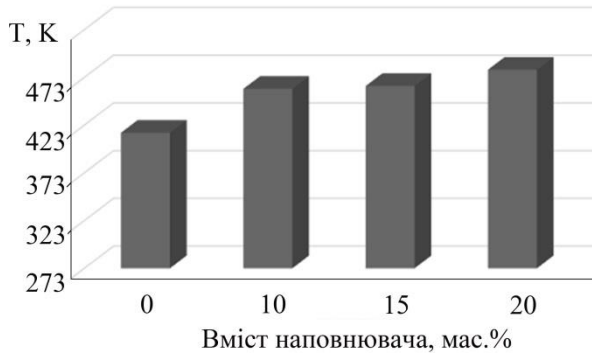


Рис. 5. Вплив відсоткового вмісту шунгіту на теплостійкість по Віка вихідного полімеру

Висновок. Аналіз результатів трибологічних досліджень розроблених ПКМ показав, що використання порошку шунгіту як наповнювача для політетрафторетилену є перспективним шляхом покращення його експлуатаційних властивостей: зменшення інтенсивності лінійного зношування в 492 р., підвищення твердості та теплостійкості по Віка на 45 та 12, % відповідно. Покращення триботехнічних характеристик базового полімеру обумовлено тим, що шунгіт має шарувату структуру, яка сприяє в процесі експлуатації на поверхні тертя утворенню «антифрикційного шару», тобто послідує тертя відбувається за схемою «полімер-полімер», а контртіло вилучається з процесу зношування. На основі отриманих результатів композит із ефективним вмістом наповнювача (15 мас.%) можна рекомендувати для виготовлення деталей рухомих з'єднань машин та механізмів, які працюють в умовах тертя без змащення.

Список літератури

1. Кох-Татаренко В. С. Исследование антифрикционных свойств армированного полиамида / В. С. Кох-Татаренко, Н. Ф. Майникова, О. И. Кладовщикова [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2016. – Т. XXX, № 10. – С. 46 – 48.
2. Вешкин Е. А. Опыт применения технологического контроля полуфабрикатов из полимерных композиционных материалов / Е. А. Вешкин, В. И. Постнов, С. В. Стрельников [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 6. – С. 393 – 398.
3. Петров А. В. Зарубежный опыт развития производства изделий с использованием вторично переработанных полимерных композиционных материалов / А. В. Петров, М. С. Дориомедов, С. Ю. Скрипачев // Труды ВИАМ – 2015. – № 12. – С. 100 – 106.
4. Охлопкова А. А. Разработка полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и базальтового волокна / А. А. Охлопкова, С. В. Васильев, О. В. Гоголева // Нефтегазовое дело – 2011. – № 6. – С. 404 – 410.
5. Адериха В. Н. Триботехническое поведение композитов политетрафторэтилен-кремнезем / В. Н. Адериха, В. А. Шаповалов // Трение и износ. – 2011. – Т. 32, № 2 – С. 171 – 182.
6. Калинин Э. Л. Эффективный подход к созданию современных полимерных композиционных материалов / Э. Л. Калинин, М. Б. Саковцева, И. В. Павлова [и др.] // Полимерные материалы. – 2008. – № 3. – С. 4 – 14.
7. Иванова Е. М. Разработка самосмазывающихся композитов на основе политетрафторэтилена для узлов трения сельскохозяйственной техники / Е. М. Иванова, И. И. Злотников, В. А. Смуругов [и др.] // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2004. – № 1. – С. 20 – 25.

8. Лазарева Н. Н. Разработка полимерных композиционных материалов триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена и комплексного наполнителя / Н. Н. Лазарева, Е. С. Афанасьева, С. А. Слепцова / Инновационный потенциал молодежной науки: материалы Всероссийской научной конференции 8 ноября 2013 г. / под ред. А.Ф. Мустаева. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. – С. 163 – 166.

9. Шунгит: свойства и области применения [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=3209&cat_id=5&page_id=4

10. Мосин О. В. Состав и структурные свойства природного фуллеренсодержащего минерала шунгита / О. В. Мосин, И. И. Игнатов / Технологическая безопасность. – 2013. – № 1(25) – С. 29 – 33.

11. Стукач А. В. Состав и структурные свойства природного фуллеренсодержащего минерала шунгита / А. В. Стукач // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2010. – № 3(13). – С. 10 – 18.

12. Буря А. И. Трение и износ графитопластов на основе полиамида фенилона / А. И. Буря, В. Ю. Дудин, М. В. Бурмистр // Сборник докладов международного конгресса: Механика и трибология транспортных систем-2003, Т.1. – Ростов-на-Дону, 2003 – С. 163 – 167.

13. Дудка А. М. Розробка теплостійких композитних матеріалів на основі фторопласту-4 для вузлів тертя і герметизації обладнання хімічних виробництв / А. М. Дудка, В. І. Ситар, І. І. Начовний // Вопросы химии и химической технологии. – 2008. – № 6. – С. 167 – 170.

14. Липатов Ю. С. Межфазные явления в полимерах / Липатов Ю.С. – Киев: Наук. Думка, 1980. – 260 с.

Стаття надійшла до редакції 14.05.2020.

Начовний Ілля Іванович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інноваційної інженерії Українського державного хіміко-технологічного університету, dekan.udhtu@gmail.com

Буря Олександр Іванович – канд. техн. наук, професор

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

Павленко Алла Анатоліївна – аспірант кафедри інноваційної інженерії Українського державного хіміко-технологічного університету, aavsa@ukr.net

I. I. NACHOVNIY, O. I. BURYA, A. – M. V. TOMINA, A. A. PAVLENKO

THE RESEARCH ON THE TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITES BASED ON POLYTETRAFLUOROETHYLENE

Polymer materials based on polytetrafluoroethylene filled with dispersed fillers (silica, graphite, bronze, bentonite and disulfide of molybdenum, etc.) are now widely used in many industries. Thus, the use of these composites can increase the service life of agricultural and automobile equipment. Shungite powder is one of the most promising fillers for the creation of polymer composite materials of tribotechnical purposes, thanks to the combination of good technical indicators with environmental safety. The article considers the influence of shungite powder on the tribological properties of composite materials based on polytetrafluoroethylene under the conditions of friction without lubrication according to the scheme of back and forth motion. It was found that the introduction of a dispersed filler leads to the decrease in wear intensity by 492 times and to the increase in hardness by 12% of the base polymer. The improvement of the tribotechnical characteristics of the polymer matrix can be explained by the fact that shungite has a layered structure that, while operating on the friction surface, forms a structure close to the structure of liquid crystals that acts as a dry lubricant ("antifriction layer") and is characterized by low bias resistance and high load ability. When the "antifriction layer" spreads on the surface of the steel counterbody, the subsequent friction occurs according to the "polymer-polymer" scheme, and the counterbody is removed from the wear process. It is determined that the effective content of filler in the polymer matrix is 15 mass%. As a result, this composite can be recommended for the manufacture of parts for movable joints of machines and mechanisms that operate in conditions of friction without lubrication.

Keywords: polytetrafluoroethylene, shungite, wear, friction coefficient, sliding speed, specific load, polymer composite materials

Reference

1. Kokh-Tatarenko V. S. Issledovanie antifrikzionnykh svoystv armirovannogo poliamida / V. S. Kokh-Tatarenko, N. F. Majnikova, O. I. Klodovshhikova [i dr.] // Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. – 2016. – T. XXX, № 10. – S. 46 – 48.
2. Veshkin E. A. Opyt primeneniya tekhnologicheskogo kontrolya polufabrikatov iz polimernykh kompozitsionnykh materialov / E. A. Veshkin, V. I. Postnov, S. V. Strel'nikov [i dr.] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossijskoy akademii nauk. – 2014. – T. 16, № 6. – S. 393 – 398.
3. Petrov A. V. Zarubezhnyj opyt razvitiya proizvodstva izdelij s ispol'zovaniem vtorichno pererabotannykh polimernykh kompozitsionnykh materialov / A. V. Petrov, M. S. Doriomedov, S. Yu. Skripachev // Trudy VIAM – 2015. – № 12. – S. 100 – 106.
4. Okhlopkoval A. A. Razrabotka polimernykh kompozitov na osnove politetrafluoretilena i bazal'tovogo volokna / A. A. Okhlopkoval, S. V. Vasil'ev, O. V. Gogoleva // Neftegazovoe delo – 2011. – № 6. – S. 404 – 410.
5. Aderikha V. N. Tribotekhnicheskoe povedenie kompozitov politetrafluoretilenkremnezem / V. N. Aderikha, V. A. Shapovalov // Trenie i iznos. – 2011. – T. 32, № 2 – S. 171 – 182.
6. Kalinchev E. L. Effektivnyj podkhod k sozdaniyu sovremennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov / E. L. Kalinchev, M. B. Sakovczeva, I. V. Pavlova [i dr.] // Polimernye materialy. – 2008. – № 3. – S. 4 – 14.
7. Ivanova E. M. Razrabotka samosmaznyvayushhikhsya kompozitov na osnove politetrafluoretilena dlya uzlov treniya sel'skokhozyajstvennoj tekhniki / E. M. Ivanova, I. I. Zlotnikov, V. A. Smurugov [i dr.] // Vestnik GGTU im. P.O. Sukhogo. – 2004. – № 1. – S. 20 – 25.
8. Lazareva N. N. Razrabotka polimernykh kompozitsionnykh materialov tribotekhnicheskogo naznacheniya na osnove politetrafluoretilena i kompleksnogo napolnitelya / N. N. Lazareva, E. S. Afanas'eva, S. A. Slepcovala / Innovatsionnyj potentsial

molodezhnoj nauki: materialy` Vserossijskoj nauchnoj konferenczii 8 noyabrya 2013 g. / pod red. A.F. Mustaeva. – Ufa: Izd-vo BGPU, 2013. – S. 163 – 166.

9. Shungit: svojstva i oblasti primeneniya [Elektronij resurs] – Rezhim dostupu: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=3209&cat_id=5&page_id=4

10. Mosin O. V. Sostav i strukturny`e svojstva prirodnogo fullerensoderzhashhego minerala shungita / O. V. Mosin, I. I. Ignatov / *Tekhnologicheskaya bezopasnost`*. – 2013. – № 1(25) – S. 29 – 33.

11. Stukach A. V. Sostav i strukturny`e svojstva prirodnogo fullerensoderzhashhego mine-rala shungita / A. V. Stukach // *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy` servisa*. – 2010. – № 3(13). – S. 10 – 18.

12. Burya A. I. Trenie i iznos grafitolastov na osnove poliamida fenilona / A. I. Burya, V. Yu. Dudin, M. V. Burmistr // *Sbornik dokladov mezhdunarodnogo kongressa: Mekhanika i tribologiya transportny`kh sistem* – 2003, T.1. – Rostov-na-Donu, 2003 – S. 163 – 167.

13. Dudka A. M. Rozrobka teplostiikykh kompozytnykh materialiv na osnovi ftoroplastu-4 dlia vuzliv tertia i hermetyzatsii obladnannia khimichnykh vyrobnystv / A. M. Dudka, V. I. Sytar, I. I. Nachovnyi // *Voprosy` khimii i khimicheskoy tekhnologii*. – 2008. – № 6. – S. 167 – 170.

14. Lipatov Yu. S. Mezhfazny`e yavleniya v polimerakh / Lipatov Yu.S. – Kiev: Nauk. Dumka, 1980. – 260 s.