УДК 620.22:621.763–037.47

О. І. БУРЯ[1], *А.–М. В. ТОМІНА*[1], *М. В. КІНДРАЧУК*[2]

[1]***Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське***
[2]***Національний авіаційний університет, Київ***

ВПЛИВ ВОЛОКНА ЛОЛА НА АБРАЗИВНУ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ОРГАНОПЛАСТИКІВ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ С-1

Досліджено вплив вмісту термостійкого волокна лола на триботехнічні характеристики органопластиків на основі ароматичного поліаміду фенілону С-1. Випробування на абразив показало, що зі збільшенням кількості наповнювача в в'яжучому інтенсивність абразивного зношування знижається на 34 – 56 %, сягаючи мінімальних значень в інтервалі від 10 до 15 мас.% волокна. Встановлений взаємозв'язок, між структурою органопластиків та його трибологічними властивостями: введення волокна сприяє утворенню впорядкованої структури.

Ключові слова: *ароматичний поліамід, органічне волокно, лола, абразивне зношування, рентгеноструктурний аналіз, міжплощинна відстань.*

Вступ. Інтерес до волокнистих полімерних композиційних матеріалів (ВПКМ), в тому числі наповнених органічними волокнами (ОВ) – органопластиків (ОП), обумовлений тим, що притаманний їм комплекс властивостей та особливостей істотно відрізняє їх від традиційних конструкційних матеріалів (сталь, спиж, олово, алюміній та ін.) [1]: більш високі значення питомої жорсткості і міцності, що веде до зменшення маси виробу в 2 – 5 р., можливість ремонту деталей без застосування спеціального обладнання, стійкість до віброакустичного, абразивного і ударного впливу [2].

Аналіз останніх досліджень та результатів. Робота підшипників дорожніх та сільськогосподарських машин, автомобілів, хімічних апаратів що, працюють в агресивних умовах вимагає підбору зносостійких матеріалів, оскільки інтенсивне зношування деталей, являється одним з основних пошкоджувальних процесів, що призводить до зниження потенціалу працездатності обладнання, здатних протистояти абразивному зношуванню і поглинати абразивні частинки. Тому, рішення з питань підвищення довговічності, надійності, економічності та робочого ресурсу вузлів тертя, потребує застосування матеріалів здатних працювати при підвищених температурах, навантаженнях та дії кислот [3]. Одними з перспективних зносостійких матеріалів, які використовуються у вузлах тертя, являються ароматичні поліаміди (АП), які через свої високі фізико - механічні та термічні властивості, є основою для створення високоміцних, термостійких волокнистих композиційних матеріалів. Відомий представник АП лінійний гетероцепний полімер – фенілон, який у ряді випадків являється єдиним матеріалом, що зберігає працездатність вузлів пневмо - і гідроавтоматики, що експлуатуються у важких умовах: високих температурах 523-533 К, агресивних середовищах [4]. Для покращення трибологічних властивостей якого, використовуються різні наповнювачі, в тому числі органічні волокна, що дозволяють вирішити такі проблеми як: зниження собівартості виробу, підвищення надійності і довговічності, здешевлення експлуатації та ремонту [5].

Мета роботи: Враховуючи вищесказане, актуальною задачею сучасної триботехніки, являється створення органопластиків, здатних протистояти абразивному зношуванню, працювати при підвищених температурах, навантаженнях та дії кислот.

Об'єкти та методи досліджень. В якості в'яжучого використовували ароматичний поліамід фенілон С-1 (ТУ 6-05-221-101-71) – тонкодисперсний порошок рожевого кольору з насипною густиною 0,2 – 0,3 г/см^3, що характеризується наступними властивостями: густина - 1,35 г/см^3, ударна в'язкість-20 кДж/м^2, твердість – 180 МПа, температура розм'якшення за Віка - 543 К [6].

В якості наповнювача обрали волокно із гетероциклічного поліарилену сходової будови – лола, що має високу вогне-, термо- та стійкість до дії концентрованих кислот та органічних розчинників, створеному у ВНДІВіВ (м. Митищі) на основі мономерів, отриманих Тульським ВНДІПО (ангідрид) та Новосибірським ІОХ СО АН СРСР (амін) [7].

Приготування композицій фенілону С-1, що містять 5-20 мас.% поліариленового волокна лола, 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 переробляли у вироби методом компресійного пресування [8].

Дослідження матеріалів на абразивний знос нерухомо закріпленими абразивними частками (дисперсність шкурки 40—60 мкм) проводили згідно ГОСТ 11012-69 на дослідній машині Hecker. Величину абразивної зносостійкісті визначали за формулою:

$$V_i = \frac{\Delta G \cdot 1000}{\rho \cdot L} \qquad (1)$$

де ΔG – величина масового зносу; ρ – густина матеріалу що зношується, г/см^3; L – довжина шляху стирання, м.

Дослідження поверхонь тертя здійснювали за допомогою USB Digital Microscope. Густину зразків визначали адитивним та гідростатичним методом згідно ГОСТ 15139-69.

Твердість знаходили методом Роквелла за шкалою HRE згідно ГОСТ 9013-59 на твердомірі 2074 ТПР.

Для оцінки процесів взаємодії органічного волокна лола з полімерною матрицею проведений рентгеноструктурний аналіз (РСА) фенілону та органопластиків на його основі, на дифрактометрі УРС – 50 ІМ в MoK_α монохроматичному світлі в інтервалі кутів 2θ від 2 до 26º.

Міжплощинні відстані (d_{HKL}, нм) вихідного матеріалу та органопластиків на його основі визначалися з рівняння Вульфа – Брегга:

$$d_{HKL} = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin\theta} \qquad (2)$$

де λ = 0,07107 нм – довжина хвилі характеристичного випромінювання MoK_α; θ – брегівський кут відбиття рентгенівського проміння.

Найкоротшу міжатомну відстань R_0 обчислювали за формулою Регеля:

$$R_0 = \frac{0{,}615 \cdot \lambda}{\sin\theta} \qquad (3)$$

Розмір визначали знаходили за формулою Селякова – Шеррера:

$$L = \frac{\lambda}{\beta \cdot \cos\theta} \qquad (4)$$

де β – інтегральна півширина аморфного гало.

Обговорення результатів. Аналізуючи результати досліджень представлених на рис.1, видно що армування вихідного полімеру термостійким органічним волокном лола, є перспективним шляхом підвищення абразивної зносостійкості вихідного полімеру на 34 – 56%.

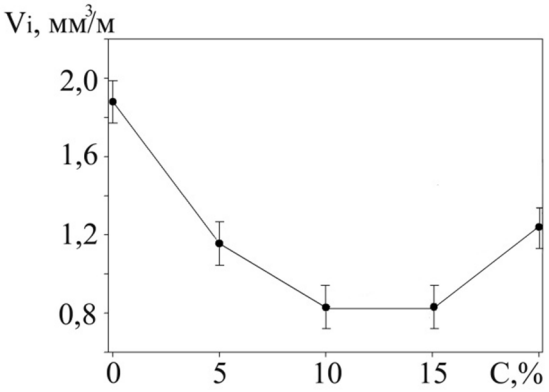
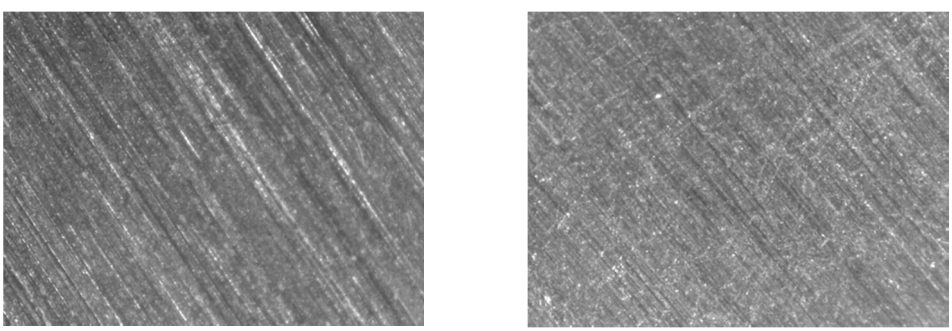


Рис. 1. Вплив вмісту поліариленового волокна лола на абразивну зносостійкість фенілону С-1

Підтвердженням чого служить зменшення борозн проорювання. Дослідження поверхні тертя чистого полімеру (рис. 2, *а*), показало що на його поверхні утворюються глибокі борозни, при введенні 15 мас.% волокна (рис. 2, *б*) вони зменшуються, оскільки поява ОВ зміцнює полімерну матрицю, що підтверджують данні твердості рис. 3, і гальмує розвиток деструктивних процесів, що збільшує зносостійкість систем.



а *б*

Рис. 2. Мікроструктура поверхні тертя фенілону С-1 (*а*) та органопластику на його основі що містить 15 мас.% (*б*) волокна (× 180)

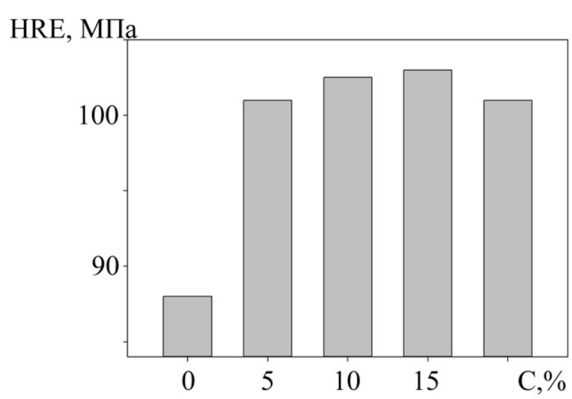


Рис. 3. Вплив вмісту волокна на твердість органопластиків

Покращення трибологічних властивостей фенілону, можна пояснити впорядкуванням надмолекулярної структури: фібрилізацією вихідної глобулярної

структури в'яжучого, а це як відомо, супроводжується підвищенням зносостійкості матеріалу. Досліджуючи дифрактограми отриманих органопластиків рис. 4, видно, що при армуванні вихідного полімеру органічним волокном лола зменшується міжплощина (d_{HKL}) та найкоротша міжатомна відстань (R_0) на 6 та 7,5% відповідно, при одночасному збільшенні середнього розміру кристалів (L) на 15 – 24% (табл. 1), що свідчить про зростання ступеня кристалічності: вдосконалення геометричного порядку в'яжучого [9] та інтенсивності піків. Це можна пояснити тим, що більшість органічних волокон мають фібрилярну аморфно-кристалічну структуру [10].

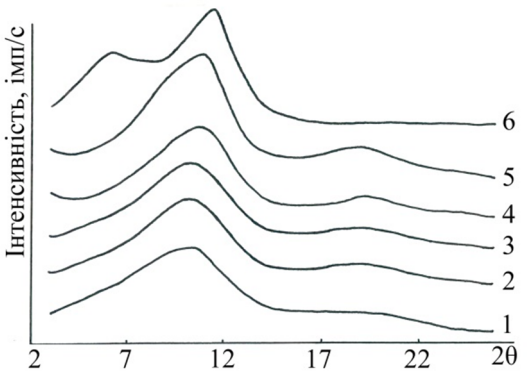


Рис. 4. Дифрактограми вихідного полімеру (*1*) та органопластиків на його основі, що містять 5(*2*), 10(*3*), 15(*4*), 20 (*5*) мас.%, волокна, наповнювача (*6*)

Таблиця 1

Результати якісного і кількісного аналізу

Вміст волокна, мас.%	d_{HKL}, нм	R_0, нм	L, нм
0	0,4033	0,4961	1,5493
5	0,4017	0,4941	1,7759
10	0,3955	0,4865	1,7762
15	0,3808	0,4684	1,9007
20	0,3738	0,4598	1,9234
Волокно	0,3590	0,4416	3,5554

Висновок. Аналіз результатів триботехнічних характеристик органопластиків свідчить, що використання термостійкого волокна лола, в якості наповнювача є перспективним шляхом підвищення абразивної зносостійкості (на 34 – 56%) вихідного полімеру, що дозволяє застосувати розроблені органопластики для виготовлення підшипників автомобілів, дорожніх та сільськогосподарських машин працюючих в агресивних умовах.

Список літератури

1. Скворцов Ю. В. Механика композиционых материалов / Скворцов Ю. В. – Самара, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва, 2013. – 94 с.

2. Семин М. И. Особенности проектирования болтовых соединений слоистых композиционных материалов / М.И. Семин, М.Ю. Карелина // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). – 2014. –№VII. – С. 130 – 133.

3. Мухаметшина Р. М. Трибологические отказы дорожно-строительных машин / Р.М. Мухаметшина //Известия Самарского научного центра Российской академии наук – 2016. – Т.18, №1(2). – С. 252 – 255.

4. Протонная магнитная релаксация в ароматических полиамидах при сорбции водяного пара / Т. В. Смотрина, Ю. С. Чулкова, Д. В. Карасев [та ін.] // Журнал Физической химии. – 2009. – Т.83, №7. – С.1346 – 1351.

5. Лахтин Ю.М. Материаловедение: [учебник для высших технических учебных завод. -3 – е изд. перераб. и доп.] / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева– М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.

6. Технология производства химических волокон / [Ряузов А.Н., Груздев В.А., Бакшеев И.П. и др.]; [учебник для техникумов. – 3 – е изд. перераб. и доп.] – М.: Химия, 1980 – 448 с.

7. Информация Всероссийский научно-исследовательский институт полимерных волокон // Химические волокна. – 1975.– №3. – С. 36–37.

8. Пат. № 105957 України, МПК F16C 19/00. Термостійка композиція [Текст] / Буря О.І., Набережна О.О., Томіна А.-М.В., Теренін В.І. – № u 2015 10084; заяв. 15.10.2015.; опубл. 11.04.2016. Бюл. № 7.

9. Регулирование упорядоченности структуры поли – м – фениленизофталамида / В. Д. Герасимов, Л. Б. Соколов, В. М. Савинов [та ін.] // Высокомолекулярные соединения. – 1968. – Т. Х(А), №9. – С. 1978 – 1983.

10. Каргин В. А. Связь надмолекулярной структуры с механическими свойствами полимеров / Каргин В. А., Слонимский Г. Л., Соголова Т. И // 22nd Annual Technical Conference: Technical papers SPE, Montreal. Тезисы докл. – 1966. –№12. – С. 43.

Стаття надійшла до редакції 29.05.2018.

Буря Олександр Іванович – канд. техн. наук, професор кафедри фізики конденсованого стану Дніпровського державного технічного університету, ol.burya@gmail.com

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

Кіндрачук Мирослав Васильович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, kindrachuk@ukr.net

O. I. BURYA, A. – M. V. TOMINA, M. V. KINDRACHUK

FILLING OF LOLA FIBER TO ABRASIVE CONNECTION ORGANOPLASTICS ON THE BASIS OF FENILON C-1

It was investigated the influence of organic fiber Lola on the abrasive wear resistance of the aromatic polyamide of phenylone C-1 in the article. The increase of wear resistance of the materials which work in aggressive conditions is an actual task of the tribology of polymers, because the main reason of the machines out of operation isn't their breaking but the wear of tools and moving connections. The spending on the elimination of premature wear reaches 2% of the gross national product in the industrially developed countries, and the spending on friction is up to 30% of used energy all over the world. That's why it leads to the huge expenses on the machines' repair, decreased productivity and increase in energy consumption. The using of chemical fibers gives an opportunity to solve two problems at once: to reduce the cost price of products (reduction of energy consumption for their manufacture), to increase their reliability and durability, cheapening of operation and repair herewith improving ecological situation during the production. It's determined that filler has a positive impact on the tribological properties of the raw material such as the increase of abrasive wear resistance up to 34 – 56%. It was found the interconnection between the structure of polymer and its tribotechnical characteristics, since it's known that physico-chemical and mechanical properties of the products from polymeric materials depend on the way of the mutual spatial arrangement of molecules, the character of their movement and the way of the spatial arrangement of associates which define the whole structure of the products. Thus, the discovering of the structure of polymers by the methods of X-ray diffraction has already become traditional and established among the main methods of the investigation of the structure of polymers. According to the results of X-ray diffraction analysis it's determined that the introduction of the fiber to phenylone makes the degree of crystallinity increase. This is evidenced by the decrease of interplanar and the shortest interatomic distance by 6 and 7,5% respectively with simultaneous increase of the average size of the crystals by 15 – 24%. The investigation of the tribological properties and the structure of the developed organic plastics showed that the using of polyarylene fiber Lola as filler is perspective for the manufacture of machine parts and vehicle mechanisms, road and agricultural machines which work in the aggressive conditions.

***Key words*:** aromatic polyamide, organic fiber, lola, abrasive wear, X-ray diffraction analysis, interplanar distance.

References

1. Skvorcov Ju. V. Mehanika kompozicionyh materialov / Skvorcov Ju. V. – Samara, Samarskij gosudarstvennyj ajerokosmicheskij universitet imeni akademika S.P. Koroljova, 2013. – 94 s.

2. Semin M. I. Osobennosti proektirovanija boltovyh soedinenij sloistyh kompozicionnyh materialov / M.I. Semin, M.Ju. Karelina // Evrazijskij Sojuz Uchenyh (ESU). – 2014. –№VII. – S. 130 – 133.

3. Muhametshina R. M. Tribologicheskie otkazy dorozhno-stroitel'nyh mashin / R.M. Muhametshina //Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk – 2016. – T.18, №1(2). – S. 252 – 255.

4. Protonnaja magnitnaja relaksacija v aromaticheskih poliamidah pri sorbcii vodjanogo para / T. V. Smotrina, Ju. S. Chulkova, D. V. Karasev [ta in.] // Zhurnal Fizicheskoj himii. – 2009. – T.83, №7. – S.1346 – 1351.

5. Lahtin Ju.M. Materialovedenie: [uchebnik dlja vysshih tehnicheskih uchebnyh zavod. -3 – e izd. pererab. i dop.] / Ju.M. Lahtin, V.P. Leont'eva– M.: Mashinostroenie, 1990. – 528 s.

6. Tehnologija proizvodstva himicheskih volokon / [Rjauzov A.N., Gruzdev V.A., Baksheev I.P. i dr.]; [uchebnik dlja tehnikumov. – 3 – e izd. pererab. i dop.] – M.: Himija, 1980 – 448 s.

7. Informacija Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut polimernyh volokon // Himicheskie volokna. – 1975.– №3. – S. 36–37.

8. Pat. № 105957 Ukraïni, MPK F16C 19/00. Termostijka kompozicija [Tekst] / Burja O.I., Naberezhna O.O., Tomina A.-M.V., Terenin V.I. – № u 2015 10084; zajav. 15.10.2015.; opubl. 11.04.2016. Bjul. № 7.

9. Regulirovanie uporjadochennosti struktury poli – m – fenilenizoftalamida / V. D. Gerasimov, L. B. Sokolov, V. M. Savinov [ta in.] // Vysokomolekuljarnye soedinenija. – 1968. – T. H(A), №9. – S. 1978 – 1983.

10. Kargin V. A. Svjaz' nadmolekuljarnoj struktury s mehanicheskimi svojstvami polimerov / Kargin V. A., Slonimskij G. L., Sogolova T. I // 22nd Annual Technical Conference: Technical papers SPE, Montreal. Tezisy dokl. – 1966. –№12. – S. 43.