

**Буря А.И.,  
Томина А.-М.В.,  
Чернов В.А.**

Днепропетровский государственный технический университет, г.Камянск, Украина  
E-mail: ol.burya@gmail.com

**ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОЛОКНА  
ОКСАЛОН НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРГАНОПЛАСТИКОВ  
НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА С – 1**

УДК 620.178.169

Исследовано влияние содержания (5 - 20 масс.%) термостойкого волокна оксалон на триботехнические характеристики органопластиков на основе ароматического фенилон С-1. Показано, что с увеличением содержания волокна в органопластике износ и коэффициент трения в сравнении с исходным полимером снижаются в 3,8 - 12,1 раза и на 49 – 56 % соответственно.

**Ключевые слова:** фенилон С-1, органическое волокно оксалон, коэффициент трения, износ, твердость.

### **Введение**

В настоящее время имеются технико – экономические предпосылки для широкого применения композиционных материалов (КМ) в отраслях массового машиностроения. Замена традиционных металлических материалов на КМ обеспечивает снижение материалоемкости деталей машин до 2,5 раз при увеличении их рабочего ресурса до 3 раз, уменьшает трудоемкость изготовления до 10 раз при сокращении времени на организацию производства детали до 2,5 раз. Надежность деталей из КМ в 1,5 раза выше, чем из традиционных материалов, что позволяет успешно прогнозировать неуклонное расширение их использования в перспективных моделях транспорта будущего [1].

Современное машиностроение нуждается в расширении ассортимента износостойких КМ с высокими эксплуатационными свойствами. В связи с этим большой интерес представляет получение полимерных КМ, обладающих высокими механической прочностью, износо- и химической стойкостью, что позволит их применять в машиностроении вместо дорогостоящих и дефицитных материалов и улучшить эксплуатационные качества многих машин и аппаратов [2, 3].

Важную роль с точки зрения повышения надежности подвижных соединений машин и механизмов представляет разработка новых антифрикционных материалов, особенно органопластиков (ОП). ОП отличаются от типичных представителей полимерных КМ полимерной природой обоих компонентов – волокна и матрицы. ОП, наполненные волокнами из гибкоцепных полимеров, являются материалами, в которых наиболее выгодно используются свойства данных волокон (высокие диэлектрические и теплофизические свойства, химическая стойкость, трибологические характеристики) [4].

### **Цель и постановка задачи**

В настоящее время требуется создание совершенно новых материалов с заданными свойствами, применяемых в узлах трения и других подвижных соединений машин и механизмов. Эксплуатационные характеристики исходных полимеров, однако не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым к конструкционным пластмассам. Как правило, их применение в различных отраслях техники ограничивается низкой износостойкостью и теплопроводностью или недостаточной прочностью. В связи с этим решение данной проблемы, связано с применением для изготовления трущихся деталей полимерных материалов. Однако часто применяемое модифицирование пластмасс различными порошкообразными наполнителями не позволяет получить желаемый результат, ввиду резкого снижения прочностных свойств композитов. Это происходит в следствие того, что частицы наполнителя, погруженные в расплав полимера, имеют на своей поверхности пленки оксидов, препятствующие контакту между наполнителем и полимером. Решением данной проблемы стало введение в полимер органических волокон.

Учитывая это целью данной работы являлось исследование триботехнических характеристик органопластиков на основе фенилона С-1, армированного термостойким волокном оксалон.

### **Объекты и методы исследований**

В качестве связующего использовали ароматический полиамид фенилон С–1 (ТУ 6-05-221-101-71) - тонкий порошок розоватого цвета с насыпной плотностью 0,2 - 0,3 г/см<sup>3</sup>. Предназначается для изготовления пластмассовых изделий методом прямого прессования. Свойства фенилона приведены в табл. 1.

Полимерные композиты на основе фенилона относятся к числу наиболее перспективных полимерных материалов, которые вместе с высоким уровнем физико - механических и теплофизических свойств обладают высокой износостойкостью при трении в паре со сталью.

Таблица 1

**Свойства ароматического полиамида фенилона С–1 [5, 6]**

Показатель	Значение
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	1350
Разрушающее напряжение, МПа, не менее: при растяжении	100
при статическом изгибе	150
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup> , не менее	20
Предел текучести при сжатии, МПа, не менее	220
Твердость, МПа, не менее	180
Температура плавления, К, не ниже	543
Усадка после прессования, %, не более	0,6

Фенилон армировали полиоксадиазольным волокном оксалон. Для получения полиоксадиазольных волокон в качестве мономеров используют фталевые кислоты и гидразинсульфат, а в качестве растворителя – серную кислоту и олеум, доступные и дешевые продукты массового производства. Свойства волокна приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Основные свойства волокна оксалон [7]**

Показатель	Значение
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1430 - 1440
Прочность при растяжении, сН/текс (МН/м <sup>2</sup> )	50 - 70 (7,0 - 9,8)
Относительное удлинение, %	4 - 8
Модуль упругости при 1% удлинении, ГПа	30 - 50
Снижение прочности при повышенной температуре, % при 573 К	44 - 50
при 673 К	70 - 80
Коэффициент трения	0,25
Стойкость к истиранию, число циклов	30000 - 40000
Температура стеклования, К	593 - 563

Приготовление композиций фенилона С – 1 содержащих 5 - 20 % дискретного (3 мм) волокна оксалон, осуществлялось методом сухого смешивания в аппарате с вращающимся электромагнитным полем (0,12 Тл) с помощью ферромагнитных частиц, впоследствии извлекаемых методом магнитной сепарации.

Перед прессованием полиамид необходимо тщательно высушить. Переработка в изделия невысушенного фенилона ухудшает его прочностные показатели, приводит к образованию поверхностных дефектов (раковин, пузырей и др.). Сушка заготовок производилась в термошкафу SPT – 200 в течении 2 - 3 часов при 473 - 523 К. Таблетка из термошкафа сразу же загружалась в пресс – форму, нагретую до 523 К. После загрузки в пресс – форму материал нагревали до 598 К и выдерживали без давления 10 минут, после чего давали выдержку в 5 мин при давлении 50МПа и той же температуре. Далее изделие охлаждали при постоянном давлении до температуры 543 К и проводили распрессовку.

Трибологические характеристики изучали в условиях трения без смазки на дисковой машине трения [8] при давлении 0,6 МПа, скорости скольжения 1 м/с. Путь трения составлял 1000 м. Образцы из ОП изготавливались цилиндрической формы  $\varnothing = 10$ ,  $h = 12$  мм; в качестве контртела использовали сталь 45 (45 - 48 HRC,  $R_a = 0,16-0,32$  мкм).

Коэффициент трения определяли по формуле:

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

где  $F_1$  – сила трения исследованного образца;

$F_2$  – потери, что возникают при повороте рычага на остриях в горизонтальной плоскости. Точность измерения силы трения составляет 5 %;

$N$  – нормальная нагрузка на образец.

Износ образцов определяли весовым методом на аналитических весах ВЛР – 200 (ГОСТ 24104 – 80) с точностью 0,0001 г. За основную инженерную характеристику процесса изнашивания, принимали интенсивность линейного износа  $I_h$  [9] выраженную соотношением:

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

где  $G$  – величина массового износа;

$\rho_T$  – плотность изнашиваемого материала;

$A_a$  – номинальная площадь контакта;

$L$  – путь трения.

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

где  $A_T$  – номинальная площадь трения.

Принимали  $\lambda = 1$ , то есть рассматривали износ тела, все точки поверхности трения которого постоянно находятся в контакте.

Интенсивность тепловыделения [10] определяли по формуле:

$$q = f \cdot p \cdot v,$$

где  $f$  – коэффициент трения;

$p$  – контактное давление;

$v$  – скорость скольжения.

Твердость по Бриннелю определяли по методу вдавливания шарика диаметром  $5 \pm 0,005$  мм при заданной нагрузке согласно ГОСТ 4670-77 на твердомере ТШСП. Суть метода состоит во вдавливании стального шарика при нагрузке МПа на поверхность исследуемого образца. Твердость по Бриннелю рассчитывали по формуле:

$$HB = \frac{P}{\pi \cdot d \cdot h},$$

где  $HB$  – твердость по Бриннелю, МПа;

$P$  – нагрузка, кгс;

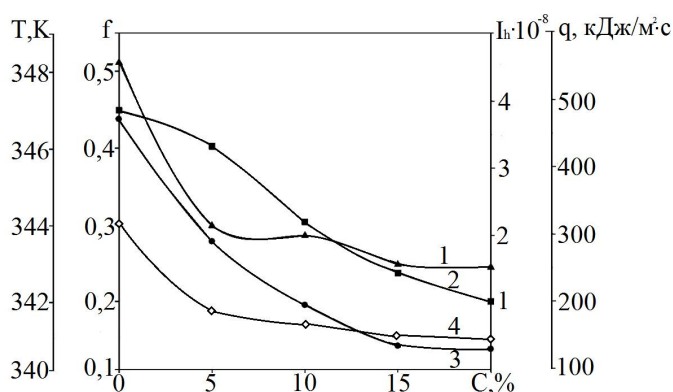
$d$  – диаметр шарика, мм;

$h$  – глубина проникновения шарика, мм.

Шероховатость образцов измеряли при помощи профилометра 170621, посредством острой и твердой иглы (щупа), что перемещалась по исследуемой поверхности, копируя ее неровности.

### Обсуждение результатов исследования

Анализируя результаты исследований, представленные на рис.1, можно заключить, что увеличение количества оксалона с 5 до 20 масс. %, позволяет уменьшить коэффициент трения и интенсивность линейного износа фенилона С – 1 на 49 - 56 % и в 3,8 - 12,1 раза соответственно, что можно объяснить низким (0,25) коэффициентом трения волокна по стальному диску. Наиболее интенсивное снижение коэффициента трения происходит при введении волокна до 10 масс.%, после чего он практически не меняется. Данные результаты можно объяснить следующим образом.

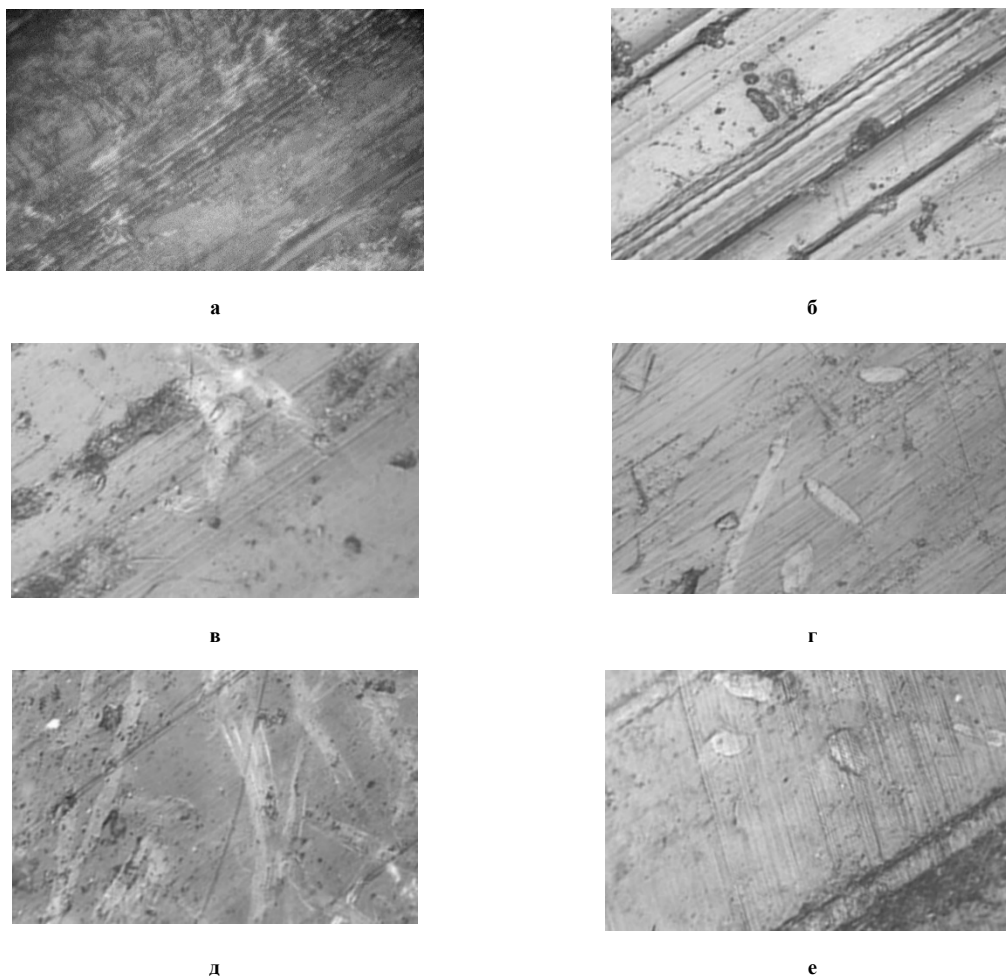


**Рис. 1 – Влияние содержания волокна оксалон на:**  
**1 – коэффициент трения; 2 – температуру в зоне контакта;**  
**3 – интенсивность линейного износа; 4 – интенсивность тепловыделения**

В процессе трения ОП по стальному диску появляется граничный слой (пленка переноса) рис. 2, а, которая выполняет при трении несколько важных функций. С одной стороны, она предотвращает непосредственный контакт неровностей полимера (трещины, микрорельеф) и, защищая поверхностные слои трущихся тел, значительно снижает адгезию органопластиков к контртелу, возникающую в результате Ван-дер-Вальсовых связей (сил межмолекулярного взаимодействия) между поверхностями трения. С другой стороны, малая толщина пленки не препятствует упругой и пластической деформации контактирующих тел (полимера и контртела). Но самое главное, сдвиговые деформации локализуются внутри пленки, которая обладает малым сопротивлением на сдвиг, что и приводит к снижению силы трения.

Снижение износа при увеличении содержания оксалона в органопластике сопровождается симбатным понижением температуры в зоне контакта полимер – контртело. Уменьшение интенсивности тепловыделения контактного слоя в 1,65 - 2,1 раза подтверждает снижение работы сил трения, которая расходуется на разрушение межмолекулярных связей, что ведет к увеличению сил Ван-дер-Вальса, и как следствие, уменьшению фрикционности ОП [11].

Из рис. 2, а видно, что при трении ненаполненного полимера, на его поверхности образуются глубокие борозды ( $R_a = 0,26 - 0,68$ ) – неровности более твердой поверхности (диска) пропахивают более мягкую (полимер), образуя дорожку трения. В соответствии с моделью трения скольжения Боудена - Тейбора [10], сопротивление пропахиванию вызывает силу, вносящую вклад в силу трения, так называемая пропахивающая составляющая силы трения, которая всегда сопровождается адгезией.



**Рис. 2 – Микроструктура ( $\times 200$ ):**  
**а – пленки переноса органопластика, содержащего 10 масс. % оксалона;**  
**б – чистого фенилона С-1;**  
**и органопластиков содержащих:**  
**в – 5; г – 10; д-15; е-20 масс.% волокна**

Уменьшение адгезионной силы (переход пластического контакта к упругому) и шероховатости органопластиков ( $R_a = 0,15 - 0,5$ ) сопровождается увеличением фактической площади контакта рис. 2, б, в, г (поверхность становится более гладкой) [10].

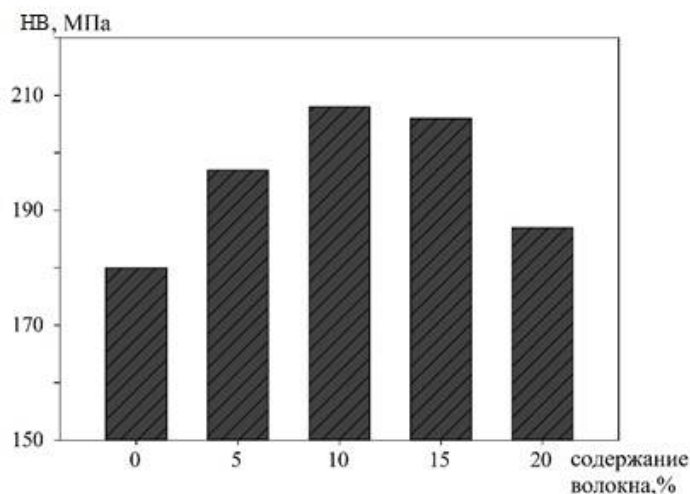


Рис. 3 – Влияние содержания волокна на твердость органопластиков

Как известно [12] на трение и износ значительное влияние оказывает твердость материала рис. 3, что подтверждаются и в нашем случае: органопластик обладающий максимальной твердостью имеет и наилучший комплекс триботехнических характеристик.

### Выводы

Таким образом в результате выполненных исследований можно заключить, что разработанные органопластики превосходят базовый полимер при оптимальном (10 - 15 масс. %) содержании волокна, базовый полимер по антифрикционным свойствам в 2 раза, а по износостойкости более чем на порядок.

### Литература

1. Волков Г.М. Композиционные материалы в массовом машиностроении / Г.М. Волков // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1990. – № 8. – С. 2 - 7.
2. Фомичев И.А. Получение термостойких полимерных материалов в магнитном поле / И.А. Фомичев, А.И. Буря, М.Г. Губенков // Электронная обработка материалов. – 1978. – №4. – С. 26 - 27.
3. Пивень А.Н. Теплофизические свойства полимерных материалов. Справочник / Н.А. Гречная И.И. Чернобыльский / Издательское объединение «Вища школа», 1976. – 180 с.
4. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю.А. Михайлин. – Издательство «НОТ». – 2008. – 822 с.
5. Машиностроительные материалы. Краткий справочник / В.М. Раскатов, В.С., Чуенков, Н.Ф. Бессонова, Д. А. Вейс. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: «Машиностроение», 1980. – 511 с.
6. Справочник по пластическим массам. Изд. 2-е. Т. II. Под ред. В.М. Катаева, В.А. Попова, Б.И. Сажина. – М.: «Химия», 1975. – 568 с.
7. Черкасова Н.Г. Реактопласты, хаотически армированные химическими волокнами / Н.Г. Черкасова, А.И. Буря. – Днепропетровск: ИМА – прес, 2011. – 234 с.
8. Буря А.И. Трение и изнашивание органопластиков на основе полиамида-6 / А.И. Буря // Трение и износ. - 1998. – № 5, т. 19. – С. 671 - 676.
9. Методика расчетной оценки износостойкости поверхностей трения деталей машин / [И.В. Крагельский, Г.М. Харач, А.В. Блюмен и др.]. – М.: Издательство Стандартов, 1979. – 100 с.
10. Мышкин Н.К. Трибология. Принципы и приложения / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. – Гомель: ИММС НАНБ, 2002. – 310 с.
11. Саундерс Дж.Х. Химия полиуретанов / Дж.Х. Саундерс, К.Ф. Фриш. – М.: «Химия», 1968. – 470 с.
12. Погосян А.К. Трение и износ наполненных полимерных материалов / А.К. Погосян – М.: «Наука», 1977. – 138 с.

Поступила в редакцию 29.10.2016

**Burya A.I., Tomina A.-M.V., Chernov V.A. Effect of fiber on oksalon tribological characteristics organic plastics based on phenylone C-1.**

An important role in terms of improving the reliability of mobile joints and machinery is the development of new anti-friction materials, especially organic plastics. Organic plastics different from the typical representatives composition materials polymeric nature of the two components of the polymer - fiber and matrix.

Organic plastics filled with fibers of flexible chain polymers, are materials in which the most advantageous properties of these fibers are used (high dielectric and thermal properties, chemical resistance, tribological characteristics) The effect of the content of the heat-resistant fiber oksalon on the tribological characteristics of organic plastics on the basis of aromatic phenylone C-1. Tests have shown that with the increase of fiber content in organoplastics coefficient of friction and wear are dramatically reduced. It is found that the obtained composites to achieve reduced wear of 3.8 - 12.1 times the coefficient of friction by 49 - 56%, respectively, and the track depth decrease abrasion surface compared to the starting polymer.

Polymer composites based on phenylone are among the most promising polymer materials, which together with high levels of physical - mechanical and thermal properties have a high resistance to wear by friction in a pair with the steel.

The filler used polyoxadiazole fiber oksalon. Selection of the filler was determined on the one hand, its strength and antifriction properties, and on the other - a chemical affinity to the polymer matrix. For polyoxadiazole fibers are used as monomers phthalic acid and hydrazine, and the solvent - sulfuric acid and oleum available and cheap mass production products.

**Keywords:** phenylone C-1, an organic fiber oksalon, coefficient of friction, wear hardness.

### References

1. Volkov G.M. Composite materials in mass engineering. Metallurgy and heat treatment of metals. 1990. №8. P. 2 – 7.
2. Fomichev I.A. Preparation of heat-resistant polymeric material in a magnetic field. I.A. Fomichev, A.I. Burya, M.G. Gybenkov. Electronic processing of materials. 1978. №4. P.26-27.
3. Piven A.N. Thermal properties of polymer materials. Directory. N.A. Grechanai, I.I. Chernobilskii. Publishing association «Vishai shcola», 1976. 180 p.
4. Mihailin Y.A. Structural polymer composite materials. Publishing «NOT», 2008. 822 p.
5. Engineering materials. Short Guide. V.M. Raskatov, V.S. Chuenkov, N.F. Bessonova, D. A. Weiss. – 3-th. edit. revised and enlarged. M. «Machinostroenie», 1980. 511 p.
6. Guide to plastics. edit.. 2-nd. T.II. edited by. V.M. Kataeva, V.A. Popova, B.I. Sazhina. M. «Chimia», 1975. 568 p.
7. Cherkasova N.G. Thermosets, chaotically reinforced fibers. N.G Cherkasova, A.I. Burya. Dnepropetrovsk: IMA – press, 2011. 234 p.
8. Burya A.I. Friction and wear organic plastics based on polyamide – 6. Friction and Wear. 1998. № 5, т.19. P. 671-676.
9. Methods of estimation of wear resistance of the friction surfaces of machine parts. [I.V. Kragelskii, G.M. Kharach, A.V. Blumen and oth.]. M. Standards publishing, 1979. 100 p.
10. Sounders Dg.X. Polyurethane chemicals. Dg.X. Sounders, K.F. Frisch. M.: « Chimia», 1968. 470 p.
11. Myshkin N.K. Tribology. Principles and Applications. N.K. Myshkin, M.I. Petrokovets. Gomel: IMMS NANB, 2002. 310 p.
12. Pogosyan A.K. Friction and Wear of Filled Polymer Materials. M.: «Nayka», 1977. 138 p.