

УДК 620.178.169

## ВЛИЯНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ

**Буря А. И.**, к.т.н., проф., профессор кафедры физики конденсированного состояния Днепропетровского государственного технического университета, e-mail: [ol.burya@gmail.com](mailto:ol.burya@gmail.com);

**Липко Е. А.**, с.н.с. Украинского государственного химико-технологического университета (г. Днепр);

**Томина А.-М. В.**, аспирант кафедры физики конденсированного состояния, Днепропетровского государственного технического университета

*В статье рассмотрено влияние органических волокон на трибологические свойства фенолформальдегидной смолы. Установлено, что при введении 60 мас. % органического полисульфонамидного волокна, снижаются коэффициент трения в 2 раза и интенсивность линейного износа на 39 % по сравнению с аналогом, армированным параарамидным волокном Русар-С. Определено, что наилучшим комплексом прочностных характеристик характеризуется композит, содержащий 60 мас. % волокна Русар – С, превосходя композицию, содержащую волокно Танлон в 1,3–2 раза соответственно. В статье показано, что композиционный материал с оптимальным содержанием волокна (60 мас. % Танлона), обладает хорошими триботехническими характеристиками, что позволяет рекомендовать его использование в подвижных соединениях машин и механизмов, а также деталей ответственного назначения.*

**Введение.** Широкое внедрение полимерных композиционных материалов (ПКМ) во все отрасли народного хозяйства является существенным элементом научно-технической революции, которая охватывает все промышленно развитые страны. В этом процессе решающую роль играет производство полимеров с улучшенными эксплуатационными свойствами. В результате замены традиционных материалов (баббит, бронза и др.) пластмассами стало возможно улучшать эксплуатационные характеристики узлов трения многих машин и аппаратов.

Особое внимание уделено износостойкости полимерных композиционных материалов, поскольку изготовление колес и подшипников скольжения из ПКМ – одно из наиболее перспективных направлений. ПКМ нового поколения, благодаря хорошему комплексу эксплуатационных характеристик, позволяют увеличить ресурс механизмов, повысить их надежность, снизить затраты при ремонте и эксплуатации [1, 2].

**Решение проблемы.** Надежность, долговечность и точность работы оборудования в значительной степени зависят от износостойкости отдельных деталей. Учитывая это, весьма актуальной задачей является создание и использование в узлах и механизмах оборудования новых полимерных материалов. Кроме того, их применение снижает себестоимость и трудоемкость изготовления подвижных сочленений и затраты при эксплуатации. Наиболее перспективными являются материалы, в состав которых входят органические волокна. Волокно выступает «скелетом» композита, воспринимающим основную нагрузку и обеспечивающим жесткость конструкции изделия. Упрочнение пластмасс волокнами имеет много преимуществ – низкая масса, высокие удельные характеристики при растяжении, большая прочность, стойкость к разрушению, высокотемпературная прочность, высокая вязкость разрушения, химическая и электромагнитная инертность, легкость и химическая пассивность материалов волокон [3, 4].

**Объекты и методы исследования.** В качестве связующего использовали фенолформальдегидную смолу ЛБС-1 (ГОСТ 901-78), получаемую путем конденсации фенолов с формальдегидом в водной среде в присутствии аминного катализатора при нагревании с последующим охлаждением продукта конденсации и добавлением в него спиртового растворителя до достижения требуемой вязкости.

Таблица 1 – Технические характеристики ЛБС-1

<i>Показатель</i>	<i>Показатель</i>
Массовая доля, %	
смолы	50–60
воды	10–17
свободного фенола	9–10
Динамическая вязкость, МПа·с	60–1000
Время желатинизации на плитке при 423 К, с.	50–120
Гарантийный срок хранения при температуре не выше 293 К	3 месяца

В качестве наполнителей выступали:

– органическое параарамидное волокно Русар-С (производство Россия), обладает высокими прочностными и технологическими характеристиками, предназначено для изделий специального назначения (табл. 2) [5].

– органическое полисульфонамидное (ПСА) волокно Танлон Т 700 (производство Шанхай), обладающего высокой термостойкостью (табл. 2).

Таблица 2 – Свойства волокон [6, 7]

<i>Показатель</i>	<i>Русар-С</i>	<i>Танлон Т 700</i>
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,45	1,42
Модуль упругости при растяжении, ГПа	170	7,45
Относительное удлинение при разрыве, %	3,3	20-25
Прочность при разрыве, сН / дтекс	5,5-6,5*	>3
Температура размягчения, К	700-755	640
Температура эксплуатации, К:		
– длительной;	433-453	523
– кратковременной	573	573
Кислородный индекс	35	33

\*при испытании микропластика

Композиции, состоящие из 30–40 мас. % фенолформальдегидной смолы марки ЛБС-1 (ГОСТ 901-78) и хаотически расположенного в ней волокнистого наполнителя: параарамидного Русар-С (60 мас. %) и полисульфонамидного Танлон Т 700 (60–70 мас. %), готовили по следующей технологической схеме:

– приготавливали раствор фенолформальдегидного связующего для пропитки – бакелитовый лак разводили ацетоном до концентрации 30–35 % (в пересчете на сухой олигомер);

– пропитку связующего волокнистым наполнителем проводили механическим смешением (хаотическое армирование);

– феноорганопрепрег сушили 24 часа на воздухе при комнатной температуре и при 353 К в термошкафу до обеспечения содержания летучих в фенопрепреге 6–6,5 %;

– прессование образцов органопластиков (ОП) проводили при удельном давлении 35–40 МПа и температуре 433 К, температура загрузки пресс-материала в пресс-форму и температура выгрузки – 353 К, скорость подъема температуры 2 град/мин [8].

Трибологические характеристики изучали в условиях трения без смазки на дисковой машине трения [9] при нагрузке 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 составляла 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  $I_h$ , выраженную соотношением:

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

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

где  $G$  – величина массового износа;  $\rho_T$  – плотность изнашиваемого материала;  $A_a$  – номинальная площадь контакта;  $L$  – путь трения;  $A_T$  – номинальная площадь трения.

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

**Результаты исследований.** Анализируя результаты исследований, представленные на рис. 1, видно, что наибольшим коэффициентом трения обладает ОП, содержащий 60 мас. % волокна Русар, при содержании волокна Танлон 60–70 мас. % данный показатель снижается в 2 раза.

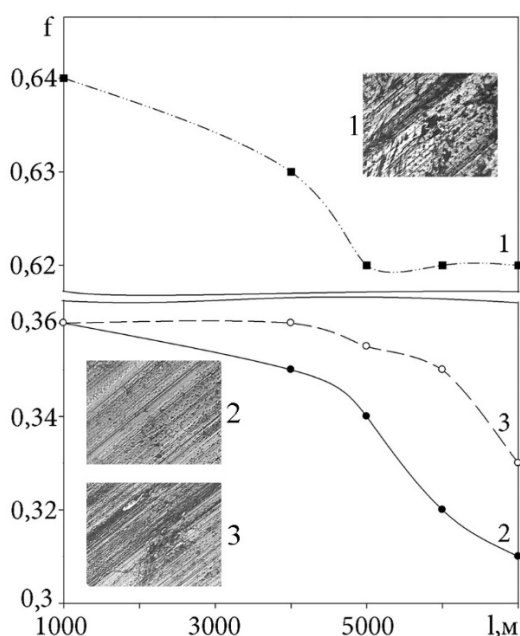


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента трения от длины пути органопластиков на основе смолы ЛБС-1 содержащих: 60 мас. % волокна Русар (1), 60 (2) и 70 (3) мас. % волокна Танлон

При трении ОП, наполненного Русаром (рис. 1), на его поверхности образуются глубокие борозды – неровности более твердой поверхности (диск) пропахивают более мягкую (полимер), образуя дорожку трения. Поверхность ОП, армированного Танлоном более гладкая в сравнении с трибоповерхностью органопластика, упрочненного Русаром [10]. По мере увеличения длины пути, коэффициент трения снижается, поскольку в процессе трения ОП по стальному диску появляется граничный слой, который значительно снижает адгезию органопластиков к контртелу.

Волокно ПСА замедляет процесс отверждения фенолоформальдегидной смолы, сорбируя низкомолекулярные компоненты на поверхности волокон, что является причиной снижения физико-механических свойств (табл. 3) и коэффициента трения (рис. 1). Высокая износостойкость исследованных материалов обусловлена термической устойчивостью синтетических волокон, природой межфазных слоев и особенностями триботехнических процессов при трении без смазки [11].

Что касается износа, наименьшими значениями обладает ОП, содержащий 60 мас. % Танлона, при повышении содержания последнего до 70 мас. % износ увеличивается. Объясняется это, как и в случае с коэффициентом трения, тем, что разрыхление на границе «полимер – волокно (наполнитель)» начинает превалировать над упорядочением макромолекул связующего. Подтверждением сказанного служит тот факт, что экспериментальная (гидростатическая) плотность ОП, содержащего 70 мас. % волокна, меньше расчетной табл. 3, что обусловлено снижением плотности упаковки макромолекул на границе раздела «полимер–волокно».

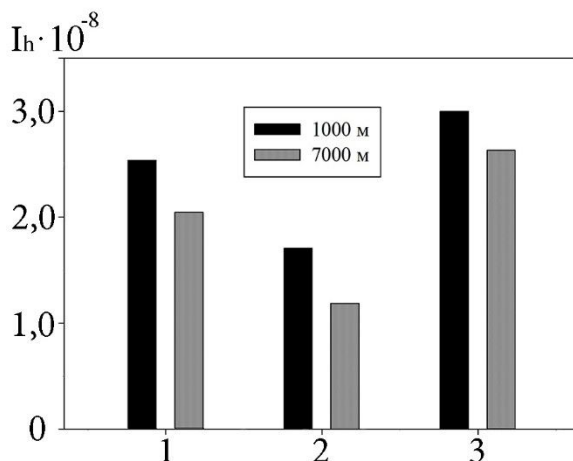


Рисунок 2 – Интенсивность линейного износа органопластиков на основе смолы ЛБС-1 содержащих: 60 мас. % волокна Русар (1), 60 (2) и 70 (3) мас. % волокна Танлон

Таблица 3 – Расчетная и определенная экспериментально гидростатическим методом плотность органопластиков

Композиция	ЛБС-1+60% Русар	ЛБС-1+60% ПСА	ЛБС-1+70% ПСА
Расчетная плотность, г/см <sup>3</sup>	1,2634	1,2496	1,2882
Экспериментальная плотность, г/см <sup>3</sup>	1,2686	1,3248	1,2855
Модуль упругости E, МПа	2820	2152	1419
Предел текучести σ <sub>т</sub> , МПа	104	82	49
Относительная деформация ε, %	4,6	4,9	4,6

**Выводы.** Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о том, что наилучшим комплексом трибологических характеристик обладает ОП, содержащий 60 мас. % волокна Танлон, который превосходит композит с Русаром по коэффициенту трения в 2 раза.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарнопольский Ю. М. Перспективы применения композитов в машиностроении / Ю. М. Тарнопольский // Изв. АН Латв ССР. – 1989. – № 3. – С.63–70.
2. Бюллер К.-У. Тепло- и термостойкие полимеры / К.-У. Бюллер ; пер. с нем. Н. В. Афанасьева, Г. М. Цейтлина; под. ред. Я.С. Выгодского. – М. : Химия, 1984. – 1056 с.
3. Афанасьев Б. А. Проектирование элементов подсистем автомобиля из композиционных материалов / Б. А. Афанасьев, И. З. Даштиев. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 136 с.
4. High performance organic fibers for composite reinforcement / Calundann G., Jaffe M., Jones R. S. [et al.] // Fibre Reinforcem. Compos. Mater. – 1988. – P. 211–248.
5. Шебанов С. М. Увеличение прочностных характеристик арамидного волокна Русар при электромагнитной обработке / С. М. Шебанов, И. К. Новиков // Наука и мир. – 2014. – Т. 1, № 10. – С. 81–83.

6. Черкасова Н. Г. Реактопласты, хаотически армированные химическими волокнами / Н. Г. Черкасова, А. И. Буря. – Днепропетровск : ИМА-прес, 2011. – 234 с.
7. Tanlon against fire, Shanhai Tanlon fiber CO, Ltd.
8. Пат. Украины № Полимерная композиция конструкционного назначения / Буря А. И., Черкасова Н.Г., Арламова Н.Т., Тихонов И.В., Сугак В.Н.; заявитель и патентообладатель ООО НПП «Термотекс». – № 2005113831/04; заявл. 10.11.06; опубл. 27.11.09, Бюл. №33.
10. Буря А. И. Трение и изнашивание органопластиков на основе полиамида-6 / А. И. Буря // Трение и износ. – 1998. – Т. 19, № 5 – С. 671–676.
11. Буря А. И. Влияние содержания волокна оксалон на триботехнические характеристики органопластиков на основе фенолона С-1 / А. И. Буря, А.-М. В. Томина, В. А. Чернов // Проблеми трибології. – 2016. – № 4. – С. 11–16.
12. Термофрикционные свойства армированных систем на основе тканей из полигетероариленов. Коршак В. В., Грибова И. А., Краснов А. П. [и др.] // Трение и износ. – 1984. – Т. 5, № 6. – С. 965–971.

## REFERENCES

1. Tarnopolskyi, Yu. M. (1989). Perspektivi prymenenya kompozytov v mashynostroenu / *Yzv. AN Latv SSR*, 3. 63–70.
2. . Biuller, K.-U. (1984). *Teplo- y termostoikye polimeri*. Moskva: Khymiya.
3. Afanasev, B. A. S Dashtyev, Y. Z. (2007). *Proektyrovanye elementov podsystem avtomobylia yz kompozytsyonnikh materyalov*. MHTU ym. N.E. Baumana.
4. Calundann, G., Jaffe, M., Jones, R.S., & Yoon, H. (1988). *High performance organic fibers for composite reinforcement*. Fibre Reinforcem. Compos. Mater. 211–248
5. Shebanov, S. M., & Novykov, Y. K. (2014). Uvelychenye prochnostnykh kharakterystyk aramydnogo volokna Rusar pry elektromahnytnoi obrabotke. *Nauka y myr.*, 1, 81–83.
6. Cherkasova, N. H., Buria, A. Y. (2011). *Reaktoplasti, khaotychesky armovannie khymycheskymy voloknamy*. Dnepropetrovsk: YMA.
7. Tanlon against fire, Shanhai Tanlon fiber CO, Ltd.
8. Buria, A. Y., Cherkasova, N. H., Arlamova, N. T., Tykhonov, Y. V., Suhak, V. N. Polymernaia kompozytsiya konstruktsyonnoho naznacheniya /; zaiavytel y patentoobladatel ООО NPP «Термотекс». – № 2005113831/04; zaiavl. 10.11.06; opubl. 27.11.09, Biul. № 33.
9. Buria, A. Y. (1998). Trenye y yznashyvanye orhanoplastykov na osnove polyamida-6. *Trenye y yznos*, 19, 5, 671–676.
10. Buria, A. Y., Tomyna, A.-M. V., & Chernov, V. A. (2016). Vlyanye sodержaniya volokna oksalon na trybotekhnicheskye kharakterystyky orhanoplastykov na osnove fenylona S-1. *Problemy trybolohii*, 4, 11–16.
11. Korshak, V. V., Hrybova, Y. A., & Krasnov, A. P. et al. (1984). Termofryktsyonnie svoistva armyrovannikh system na osnove tkanei yz polyheteroarylenov. *Trenye y yznos*, 5, 965–971.

### **Буря А. І., Липко Є. А., Томіна А.-М. В. ВПЛИВ СИНТЕТИЧНИХ ВОЛОКОН НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГІДНОЇ СМОЛИ**

*У статті розглянуто вплив органічних волокон на трибологічні властивості фенолформальдегідної смоли. Встановлено, що при введенні 60 мас. % органічного полісульфонамідного волокна, знижується коефіцієнт тертя в 2 рази й інтенсивність лінійного зношування на 39 % порівняно з аналогом, армованим параарамідним волокном Русар-С. Визначено, що найкращим комплексом міцнісних характеристик володіє композит, що містить 60 мас. % волокна Русар-С перевершуючи композицію що містить волокно Танлон в 1,3–2 рази відповідно. У статті показано, що композиційний матеріал з оптимальним вмістом волокна (60 мас. % Танлона), володіє хорошими триботехнічними характеристиками, що дозволяє рекомендувати його для використання в рухливих з'єднаннях машин і механізмів, а також деталей відповідального призначення.*

**Burya A. I., Lipko E. A., Tomina A.-M. V. THE INFLUENCE OF SYNTHETIC FIBERS ON THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF PHENOLFORMALDEHYDE RESIN**

*The influence of organic fibers on the tribological properties of phenol-formaldehyde resin was regarded in this article. It was found that, with 60 wt. % of organic polysulfonamide fiber, the coefficient of friction is reduced by 2 times and the intensity of linear wear is reduced by 39 % compared to the analogue reinforced with paraaramide fiber Rusar-C. It is determined that the best complex of strength characteristics is characterized by a composite containing 60 wt. % Fiber Rusar-With superior composition containing fiber Tanlon in 1,3–2 times, respectively. The article shows that the composite material with the optimal fiber content (60 % by weight of Tanlon) has good tribotechnical characteristics, which allows recommending its use in mobile connections of machines and mechanisms, as well as for critical parts.*

© Буря А. І., Липко Є. А., Томіна А.-М. В.

Статтю прийнято  
до редакції 22.05.17