

УДК 539.621:530.096:678.01:676.035

А. И. БУРЯ<sup>1</sup>, О. А. НАБЕРЕЖНАЯ<sup>1</sup>, В. И. ТЕРЕНИН<sup>2</sup>, А. М. В. ТОМИНА<sup>1</sup><sup>1</sup>Днепродзержинский государственный технический университет, Украина<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт полимерных волокон, Россия

## ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРГАНОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА

Исследовано влияние содержания волокна лоло на трибологические свойства органопластиков на основе ароматического полиамида фенилон С-1. Испытания при трении без смазки показали, что с увеличением содержания волокна в органопластике коэффициент трения и износ резко снижаются, достигая минимальных значений в интервале от 15 до 20 мас.%. Показано, что наименьший износ органопластиков наблюдается при содержании волокна 15 мас.%. Установлено, что полученные органопластики достигают снижения износа и коэффициента трения в 3-5 и 1,3-2 раза соответственно, стабилизации температуры в зоне контакта и уменьшения глубины дорожек истирания поверхности по сравнению с базовым полимером.

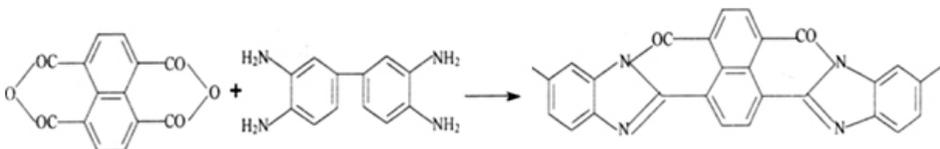
**Ключевые слова:** ароматический полиамид, органическое волокно, лоло, износ.

**Постановка задачи.** За годы существования промышленности химических волокон было создано значительное число оригинальных видов волокон, технологических процессов и их аппаратного оформления, новых видов волокнистых материалов. Современные композиционные материалы на основе полимеров, армированные волокнами, позволяют решить задачу повышения эксплуатационного ресурса и надежности машин, обеспечив при этом значительные материальные выгоды и экономический эффект[1]. Это обуславливает постановку важных научно-технических задач получения волокон с заданным комплексом свойств и высокими качественными показателями, оптимизации процессов переработки и рационального их применения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В связи с практической важностью и большим научным интересом к волокнам как наиболее ориентированной и упорядоченной форме полимерных материалов, растет число и объем экспериментальных исследований и публикаций в области изучения их структуры и свойств. Среди них все большую долю составляют работы по физико-механическому материаловедению волокон и изучению возможности использования их для армирования термостойких полимеров[2].

К числу собственно термостойких волокон, разработанных не только применительно к лабораторным условиям, но и освоенных в масштабе опытных установок, относятся ариamid, оксалон, штапельное волокно терлон и лоло [3]. Одним из наиболее интересных из этой группы волокон является лоло.

Высокотеплостойкое и огнестойкое волокно лоло из гетероциклического полиарилена лестничного строения [4] получали мокрым формованием из серноокислотных растворов (В.И. Теренин, А.И. Корецкая, А.В. Волохина). Зарубежным аналогом волокна лоло являлось американское волокно ВВВ полиарилена, синтезируемого по схеме:



Прочность ВВВ волокна 40-47 сН/текс, удлинение 3-3,5%. Его бесспорное преимущество перед другими волокнами заключается в исключительно высокой теплостойкости: даже при температуре 873 К, превышающей температуру нулевой прочности других термостойких волокон, ВВВ сохраняет 50% от прочности, измеренной при обычной температуре. Волокно лолола по механическим показателям и термостойкости приближается к ВВВ, но уступает ему по теплостойкости. КИ волокна лолола даже без дополнительных обработок самый высокий из всех текстильных материалов - 54, а после обработки фосфорсодержащими реагентами он повышается до 70 [5]. В открытом пламени пропановой горелки при 1473 К волокно лишь накаляется докрасна, но не воспламеняется и не горит. Выдающиеся огнезащитные свойства волокна лолола позволили рекомендовать его для изготовления полетных костюмов космонавтов - участников советско-американской программы «Союз» - «Аполлон», успешно осуществленной в 1975 г. В последние годы это уникальное по термическим свойствам и огнезащитности волокно не имеет платежеспособного спроса.

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** Однако осталось еще много невыясненных вопросов, касающихся влияния волокна лолола на трибологические свойства полимеров с термопластичной матрицей. Решение этих вопросов возможно только при достаточном знании свойств волокон и их структурной зависимости, а также проведении исследований в данной области.

**Цель работы.** Исследование влияния волокна лолола на трибологические характеристики полученных органопластиков на основе термостойких полиамидов.

**Объекты и методы исследования.** В качестве связующего использовался ароматический полиамид фенилон С-1 (ТУ 6-05-221-101-71), который представляет собой мелкодисперсный порошок розового цвета с насыпной плотностью 0,2 - 0,3 г/см<sup>3</sup> и удельной вязкостью 0,5%-ного раствора в диметилформамиде с 5% хлористого лития не менее 0,75, характеризующийся следующими свойствами: ударная вязкость – 24 кДж/м<sup>2</sup>, твердость – 18 HRB, разрушающее напряжение при растяжении – 1МПа.

Содержание волокна лолола в органопластиках варьировалась в пределах 5-20 мас.%. Армирование фенилона осуществляли дискретными ( $l = 3 \pm 0,2$  мм) волокнами во вращающемся электромагнитном поле (0,12 Тл) с помощью ферромагнитных частиц, которые извлекали из композиции магнитной сепарацией. Приготовленные композиции сушили при температуре 323–343 К на протяжении 1-2 ч и перерабатывали в изделия методом компрессионного прессования. Параметры режима переработки органопластиков и чистого фенилона: загрузка в пресс-форму с температурой 383 К; нагрев до 443–447 К и выдержка при этой же температуре 10 мин; прессование при удельном давлении 45–70 МПа. После этого прессформу охлаждали под давлением до температуры 383 К и выпрепрессовывали изделия. Полученные таким образом образцы термостатировали при температуре 413 К в течение 30 минут, после чего подвергали испытаниям.

Трение и износ без смазки полимеров определяли на дисковой машине трения, вертикальный вал, которой приводится в движение от электродвигателя постоянного тока через ременную передачу. На вал насажен сменный диск из стали 45, термообработанной до твердости 45–48HRC, с чистотой поверхности  $R_a=0,8$ . Число оборотов вала и путь трения регистрируется счетчиком. К жестко закрепленной крестовине присоединены три рычага, в стаканах которых укреплены образцы – ци-

линдрики диаметром 10 мм, высотой 8 мм. Нормальное давление на каждый из трех образцов создается грузами при помощи рычагов.

Во время работы под действием силы трения, возникающей между диском и образцом, рычаг стремится повернуться в горизонтальной плоскости и через призму оказывает давление на балку. На балку наклеивают тензодатчики, меняющие сопротивление пропорционально силе трения. Сигналы датчиков, усиленные тензометрической станцией 8АНЧ-7М регистрируются микроамперметром [6].

Путь трения в опытах по определению влияния содержания волокон на износ армированных пластиков составлял 1,0 км. Удельная нагрузка – 0,6 МПа, скорость скольжения 1 м/с.

Износ образцов определяли на аналитических весах ВЛР-200 с точностью 0,0002 г.

Микроструктуру и поверхности трения изучали с помощью оптического микроскопа NEOFOT 30.

**Обсуждение результатов.** Анализируя полученные результаты, представленные на рис. 1, видно, что показатели износостойкости органопластиков с увеличением количества волокна в матрице от 0 до 20 мас.% - улучшаются, достигая минимальных значений износа и коэффициента трения при 15-20 мас.% (длина волокна 3 мм). При этом они, уменьшаются в 3-5 раза и 1,3-2 раза соответственно, в сравнении с исходным пластиком.

Изучение зависимости температуры в зоне контакта развивающейся при работе пары органопластик – сталь от длины пути, показало (см. рис.2), что температура стремительно повышается при приработке образцов в интервале 0-0,4 км, после чего стабилизируется на участке кривой от 0,5 до 1,0 км, достигая максимального значения в конце пути трения (1,0 км), при давлении 0,6 МПа, скорости 1 м/с, а именно при температуре 358 К.

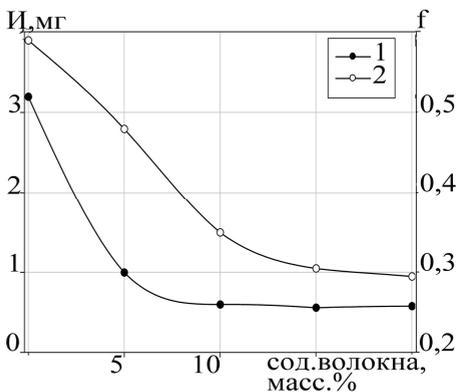


Рис. 1. Зависимость износа (1) и коэффициента трения (2) армированных пластиков на основе фенилона от содержания волокна лолоа

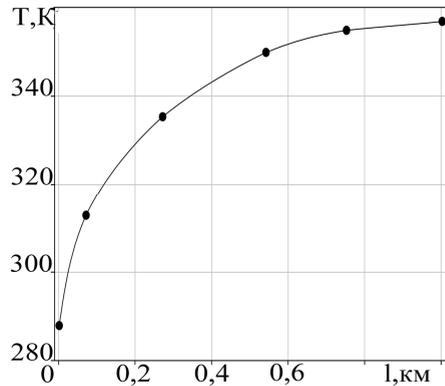


Рис. 2. Зависимость температуры в зоне контакта контртелло-полимер от длины пути фенилона, армированного 15% волокна лолоа длиной 3 мм

В результате исследования микроструктуры поверхности трения при изнашивании исходного фенилона и органопластика при оптимальном содержании волокна, было установлено, что глубина дорожек истирания значительно уменьшилась (рис. 3).

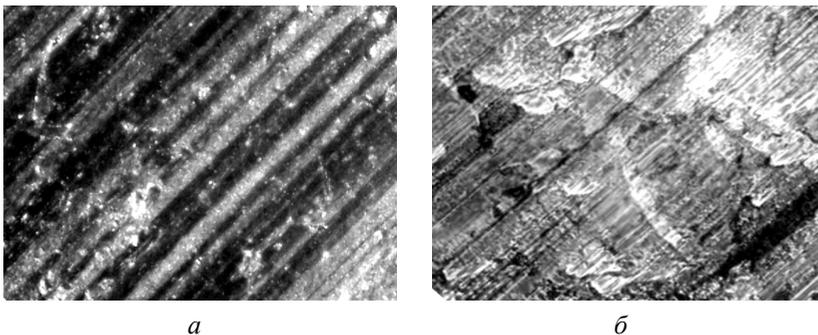


Рис. 3. Микроструктура поверхні тертя при изнашиванні вихідного фенолона (а) і органопластика (б), армованого 15% волокна лопи довжиною 3 мм (увеличення  $\times 100$ )

Такое улучшение свойств фенолона при армировании его волокном лопи, по-видимому, можно объяснить упорядочением надмолекулярной структуры, т.е. фибриллизацией исходной глобулярной структуры связующего, а это, как известно[7], сопровождается повышением износостойкости материала.

### Выводы

Таким образом, при изучении трибологических характеристик органопластиков, армированных термостойкими волокнами, было установлено, что оптимальное содержание волокна – 15 мас.%, длиной 3мм. Разработанные органопластики превосходят по износостойкости и антифрикционным свойствам исходный полимер в 3-5 и 1,3-2 раза соответственно. Приведенные результаты позволяют предположить, что разработанные материалы, обладая хорошими триботехническими характеристиками, могут быть внедрены в качестве деталей подвижных соединений машин и механизмов.

### Список литературы

1. Буря А.И. Влияние содержания органического волокна на трибологические свойства композитов на основе фенолона / Буря А.И., Набережная О.А., Перемитько В.В. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». Науковий збірник. Чернігів, 2015. – №2, 78. – С. 33 – 37.
2. Буря А.И. Влияние содержания волокна сульфон-Т на трибологические свойства органопластиков на основе фенолона С-1./ Буря А.И., Набережная О.А., Щетинин А.М.// «Дизайн. Материалы. Технология» Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна, 2014. – №5(35). – С. 104 – 107.
3. Волохина А.В. Создание высокопрочных, термо- и огнестойких синтетических волокон / Волохина А.В., Щетинин А.М. // Химические волокна, 2001. – №2. – С. 14-21.
4. Информация Всероссийский научно-исследовательский институт полимерных волокон // Хим.волокна. 1975.– №3. – С. 36–37.
5. Буря А.И. Исследование влияния содержания волокна лопи на термодинамические свойства органопластиков на основе пентапласта / Буря А.И., Ленченко Р.Л., Губская М.И., Тихонов И.В., Теренин В.И. // Материалы 33 ежегодной международной конференции и блиц выставки «Композиционные материалы в промышленности (Славполик-ком)» «Ай-Даниль», Крым, Гурзуф, Даниловка, 27-31 мая 2013. Киев, 2013. – С. 26–29.
6. Методика расчетной оценки износостойкости поверхностей трения деталей машин [Под ред. Крагельского И.В.] – М.:Изд-во стандартов, 1979 – 100с.
7. 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.

*О. І. БУРЯ, О. О. НАБЕРЕЖНА, В. І. ТЕРЕНІН, А. М. В. ТОМІНА*

### ТРИБОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРГАНОПЛАСТИКІВ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ

Досліджено вплив вмісту волокна лола на трибологічні властивості органопластиків на основі ароматичного поліаміду фенілон С-1. Випробування при терті без мастила показали, що зі збільшенням вмісту волокна в органопластиці коефіцієнт тертя і знос різко знижуються, досягаючи мінімальних значень в інтервалі від 15 до 20 мас.%. Показано, що найменший знос органопластиків спостерігається при вмісті волокна 15 мас. %. Встановлено, що отримані органопластики досягають зниження зносу і коефіцієнта тертя в 3-5 та 1,3-2 рази відповідно, стабілізації температури в зоні контакту і зменшення глибини доріжок стирання поверхні, в порівнянні з базовим полімером.

**Ключові слова:** ароматичний поліамід, органічне волокно, лола, знос

*О. І. BURYA, О. А. NABEREZHNYAYA, V. I. TERENIN, A. M. V. TOMINA*

### TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ORGANIC PLASTICS BASED ON PHENYLONE

Influence of the content of fiber Lola on tribological properties of organic plastics based of aromatic polyamide phenylone C-1 are investigated. The test of friction without greasing showed that with increase of the content of fibre in organic plastics the friction coefficient and wear sharply decrease, reaching the minimum values in the range from 15 to 20 mass. %. It is shown, that the least wear of organic plastics is observed at the content of fibre 15 mass. %. It is established that the developed organic plastics achieve reduction of wear and friction coefficient in 3-5 and 1,3-2 times respectively, stabilization of temperature in contact zone and reduction of depth of attrition paths on surface in comparison with basic polymer.

**Keywords:** aromatic polyamide, organic fiber, Lola, wear

**Буря Александр Иванович** – канд.техн.наук, профессор кафедры физики конденсированного состояния Днепродзержинского государственного технического университета, академик УГА, Заслуженный изобретатель Украины, ol.burya@gmail.com

**Набережная Ольга Александровна** – аспирант, младший научный сотрудник кафедры физики конденсированного состояния Днепродзержинского государственного технического университета, olckina@inbox.ru

**Теренин Виктор Иванович** – старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт полимерных волокон, г. Мытищи, Россия

**Томина Анна-Мария Вадимовна** – аспирант, младший научный сотрудник кафедры физики конденсированного состояния Днепродзержинского государственного технического университета.