

**А.И. Буря**, канд. техн. наук

**О.А. Набережная**, аспирант

**В.В. Перемитько**, д-р техн. наук

Днепродзержинский государственный технический университет, г. Днепродзержинск, Украина

### **ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВОЛОКНА НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА**

**О.І. Буря**, канд. техн. наук

**О.О. Набережна**, аспірант

**В.В. Перемітько**, д-р техн. наук

Дніпродзержинський державний технічний університет, м. Дніпродзержинськ, Україна

### **ВПЛИВ ВМІСТУ ОРГАНІЧНОГО ВОЛОКНА НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ**

**Aleksandr Burya**, PhD in Technical Sciences

**Olga Naberezhnaya**, PhD student

**Valeriy Peremitko**, Doctor of Technical Sciences

Dneprodzerzhinsk State Technical University, Dneprodzerzhinsk, Ukraine

### **EFFECT OF ORGANIC FIBERS CONTENT ON THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON PHENYLONE**

*Исследовано влияние содержания волокна фенилон 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 5 до 10 мас.%. Изменение трибологических свойств хорошо коррелирует с прочностными характеристиками. Показано, что минимальный износ органопластиков как в режиме трения без смазки, так и при смазке водой наблюдается при содержании волокна 5 мас. %. Установлено, что при оптимальном содержании волокон органопластики превосходят базовый полимер в 2 раза.*

**Ключевые слова:** ароматический полиамид, органическое волокно, износ, смазка – дистиллированная вода.

*Досліджено вплив вмісту волокна фенілон на трибологічні властивості органопластиків на основі ароматичного поліаміду фенілон С-1. Дослідження під час тертя без змащування показали, що зі збільшенням вмісту волокна в органопластику коефіцієнт тертя та знос різко знижуються, досягаючи мінімальних значень в інтервалі від 5 до 10 мас.%. Зміна трибологічних властивостей добре корелює з характеристиками міцності. Показано, що мінімальний знос органопластиків як у режимі тертя без змащування, так і при змащуванні водою спостерігається при вмісті волокна 5 мас. %. Встановлено, що при оптимальному вмісті волокон органопластики перевершують базовий полімер у 2 рази.*

**Ключові слова:** ароматичний поліамід, органічне волокно, знос, змащування – дистильована вода.

*The effect of fiber content on the tribological properties of phenylone organic plastics based on aromatic polyamide phenylone C-1. Test friction without lubrication showed that an increase in fiber content organoplastics coefficient of friction and wear are dramatically reduced, reaching minimum values in the range of from 5 to 10 wt.%. Changing tribological properties correlate well with the strength characteristics shown that the minimum wear organic plastics in both friction without lubrication and under lubrication with water observed when fiber content is 5 wt. %. It is found that for optimum fiber content, the base polymer organoplastics exceed 2 times.*

**Key words:** aromatic polyamide, organic fiber, wear, lubrication - distilled water.

**Постановка проблемы.** Современные композиционные материалы на основе полимеров позволяют решить задачу повышения эксплуатационного ресурса и надежности машин, обеспечив при этом значительные материальные выгоды и экономический эффект [1]. За годы существования промышленности химических волокон в нашей стране было создано значительное число оригинальных видов волокон, технологических процессов и их аппаратного оформления, новых видов волокнистых материалов [2].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Прорыв в области знаний, технологий, создание изделий с требуемыми свойствами, резкое увеличение экологических показателей – все это возможно благодаря полимерным композиционным материалам (ПКМ). Особое место среди ПКМ занимают высокоэффективные ПКМ, армированные

химическими волокнами. Введение волокнистого наполнителя в полимерную матрицу способствует значительному увеличению прочности и жесткости композиции, изменению физических характеристик [3]. При этом появляется возможность рационального расположения армирующего наполнителя, т. е. получения оптимальной по выбранным критериям конструкции. Указанные преимущества композиционных материалов предопределяют тенденцию внедрения их в современном машиностроении.

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** Однако осталось еще много невыясненных вопросов, решение которых возможно только при достаточном знании свойств волокон и их структурной зависимости. 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 [3]. Накопленный опыт разработки, изготовления и эксплуатации позволяет подойти к рассмотрению процесса создания новых изделий из композитов с учетом их специфики и уровня развития отраслей науки [4].

**Цель работы.** Учитывая вышеизложенное, цель данной работы заключалась в возможности создания новых самоармированных полимерных композиционных материалов на основе ароматического полиамида фенилона, армированного волокном фенилон.

**Изложение основного материала. Объекты и методы исследования.** В качестве связующего для органопластиков использовался ароматический полиамид фенилон С-1 (ТУ 6-05-221-101-71), который представляет собой мелкодисперсный порошок 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 – 20 кДж/м<sup>2</sup>, твердость – 18 HRB, разрушающее напряжение при растяжении – 100 МПа.

Для армирования фенилона С-1 было выбрано термостойкое органическое волокно фенилон (длинной 2–3 мм, прочностью 69 кгс/мм<sup>2</sup>, удлинение 15–20 %, модуль упругости 900–1200 кгс/мм<sup>2</sup>, плотность 1,37–1,38 г/см<sup>3</sup>).

Пресскомпозиции из указанных компонентов готовили во вращающемся электромагнитном поле (0,12 Тл), интенсивное хаотическое движение обеспечивало идеальное распределение волокна. Переработку приготовленной таким образом смеси в блочные изделия, осуществляли методом компрессионного прессования при давлении 30 МПа и температуре 325 °С. Готовые изделия подвергали механической обработке, которая главным образом заключалась в зачистке изделий – удалении облоя. При необходимости с помощью различных методов обработки можно изменять форму изделий, повышать точность размеров [5].

Исследование трибологических свойств в режиме сухого трения осуществляли при комнатной температуре на дисковой машине трения. Износ образца оценивали по схеме диск (сталь 45, HRC<sub>3</sub> 50, R<sub>a</sub> 0,08) – пальчик из композита (Ø 10 мм, высота 10 мм) при удельной нагрузке 0,4–1 МПа, скорости скольжения 1–2,5 м/с, пути трения – 1000 м. Износ образцов определяли на аналитических весах ВЛР-200 с точностью 0,0002 г. Исследование износа армированного пластика при смазке дистиллированной водой (ГОСТ 6769-72) проводили на машине трения МИ-1М по схеме ролик-колодка (ролик – сталь 45, HRC 45–48, колодка – из армированного пластика) при скорости 1 м/с. Величины износа подсчитывали по трем и более испытываемым образцам одного и того же материала. Путь трения при смазке водой составлял 400 м. Удельную ударную вязкость, которая является динамическим испытанием полимеров однократным ударом

на изгиб, испытывали согласно ГОСТ 4647-69. Предел текучести при сжатии определяли на испытательной машине ИМ-4Р с механическим нагружением образца и механическим силоизмерением.

Для проведения термомеханических исследований, которые позволили исследовать свойства в зависимости от температуры, которая является важной характеристикой деформации полимера материалов, использовали установку, разработанную в институте органической и физической химии им. А.Е. Арбузова АН СССР. В ней обеспечивается равномерный подъем температуры при периодической нагрузке 0,7 МПа на образец. Исследование образцов размерами 10x8 мм<sup>2</sup> проводили при скорости подъема температуры 2 °С/мин на установке.

Изучение тонкой структуры поверхности трения проводили с помощью микроскопа УЭМВ-100, используя метод реплик. Получали желатиновый отпечаток с поверхности, на который наносили углеродную реплику методом термического распыления угольных электродов в вакууме (10–5 мм рт. ст. на установке ТНП-1). Оттенивание реплики осуществляли платиной.

Микроструктуру и поверхности трения изучали с помощью оптического микроскопа NEOFOT 32.

**Результаты и их обсуждение.** Исследование трибологических свойств при трении без смазки показало, что с увеличением содержания волокна в органопластике коэффициент трения и износ резко снижаются, достигая минимальных значений в интервале от 5 до 10 мас.% (рис. 1).

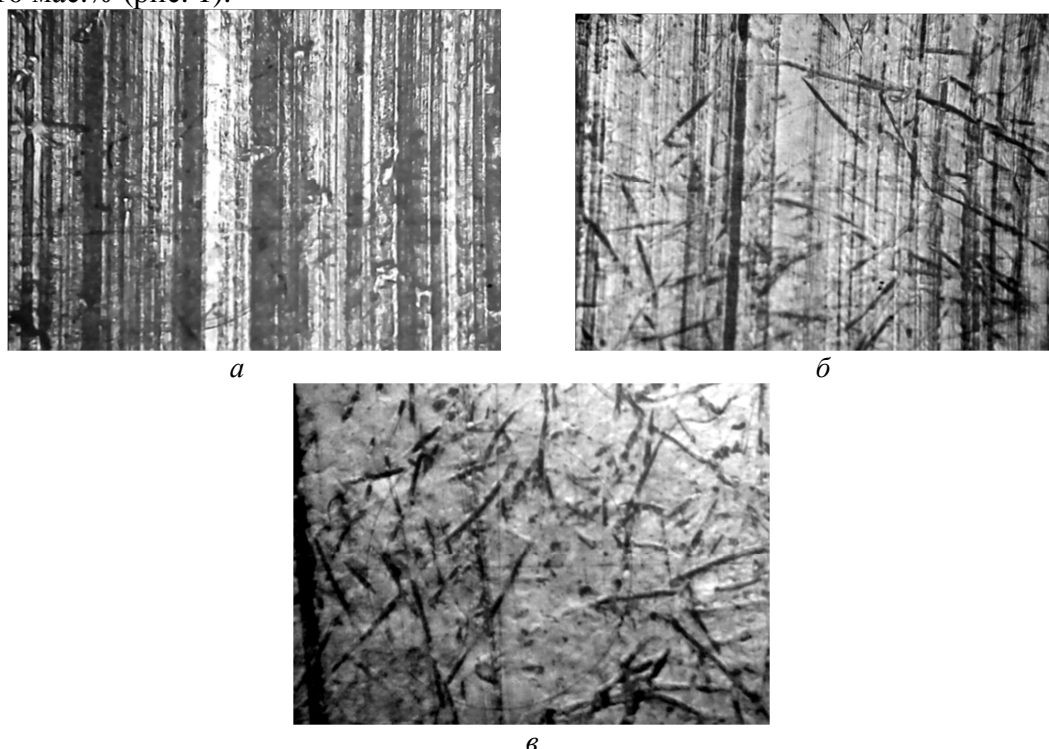


Рис. 1. Микроструктура поверхности трения фенилона (а) и органопластиков, содержащих: б – 5; в – 10 мас.% наполнителя (увеличение  $\times 100$ )

Изменение трибологических свойств, как видно из табл., хорошо коррелирует с прочностными характеристиками. Таким образом, было установлено, что оптимальным комплексом свойств обладает материал, содержащий 5–10 мас.% волокна. Органопластик при оптимальном содержании волокна превосходит базовый полимер по удельной ударной вязкости, прочности, износостойкости в 1,4; 1,3; 1,7 раза соответственно, при одновременном снижении коэффициента трения в 2,6 раза.

## Физико-механические свойства армированных пластиков

Материал	Содержание волокна, %	Предел текучести при сжатии, МПа	Удельная ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	При трении без смазки P=0,6МПа и v=1 м/с	
				Износ, мг	Коэффициент трения
Фенилон	-	262,2	31,5	3,10	0,52
Армированные пластики	5	269,9	43,0	1,92	0,24
	10	299,2	39,6	1,80	0,21
	15	341,4	36,8	1,95	0,20

Результаты исследований органопластиков при смазке водой (рис. 2) свидетельствуют о том, что при давлениях до 2 МПа эффект от армирования не проявляется, в то время как при  $PV > 2 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$  разница между исходным пластиком и армированным существенна, так, при  $PV = 4 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$  интенсивность изнашивания органопластика в 2 раза ниже, чем у фенилона.

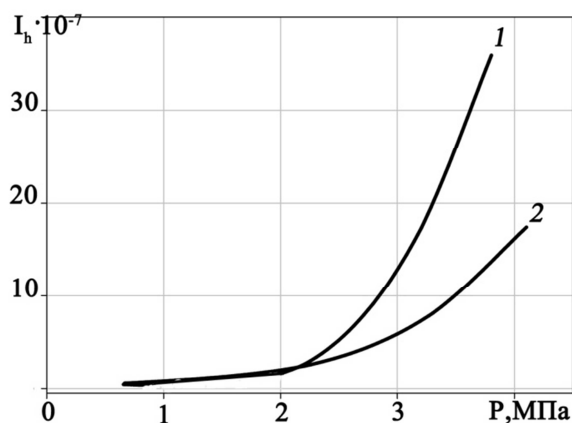


Рис. 2. Влияние давления на интенсивность линейного изнашивания фенилона (1) и органопластика (2) на его основе при смазке водой

Это можно объяснить более высокими механическими свойствами органопластика (с одной стороны за счет армирования, а с другой – за счет трансформации глобулярной структуры связующего в фибриллярную (рис. 3), что, как известно [6], также способствует повышению прочностных характеристик).

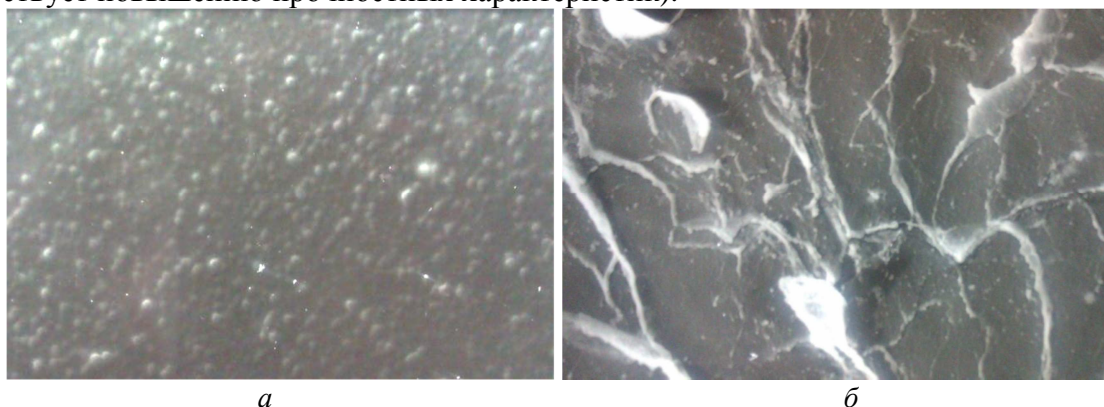


Рис. 3. Структура исходного полимера и органопластика (увеличение  $\times 8000$ )

Для подтверждения данного вывода изучали свойства поверхностных слоев полимеров на границе раздела полимер–волокно с помощью термомеханического метода. Они играют определенную роль в механизме усиливающего действия волокна в армированном пластике. Учитывая это, изучали влияние свойств поверхностных слоев на структуру и прочность ароматического полиамида фенилон, армированного волокнами

фенилон. Установлено, что оптимальная температура переработки армированного пластика на 15–25 °С выше, чем у фенилона. С одной стороны, это вызвано сильным взаимодействием между волокном и связующим, имеющими одну химическую природу, с другой – ограничением числа конфигураций макромолекул фенилона, которые могут принять на границе раздела с волокном. В силу указанных причин уменьшение молекулярной подвижности на границе раздела фаз приводит также к уменьшению подвижности во всем объеме полимера. Вышеизложенное нашло экспериментальное подтверждение при исследовании свойств армированных пластиков: на термомеханических (рис. 4) отчетливо наблюдаются две температуры размягчения 302 и 342 °С, отвечающие соответственно температуре размягчения полимера в объеме и граничного слоя.

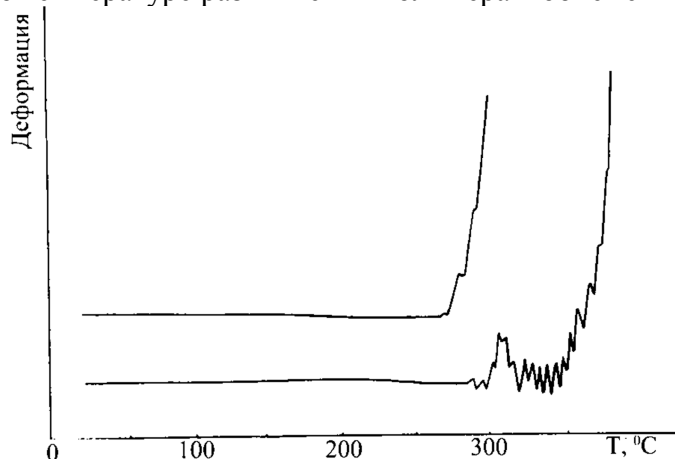


Рис. 4. Влияние температуры на деформацию образцов: 1 – фенилона; 2 – органоластика

**Итоги и предложения.** В ходе проведения исследования были разработаны новые органоластики на основе ароматического полиамида фенилона С-1 и термостойкого органического волокна фенилон. При изучении физико-механических и термомеханических свойств данного материала было установлено, что оптимальным содержанием наполнителя в связующем является 5–10 мас.%. Положительные результаты лабораторных испытаний позволяют предположить, что разработанный материал может быть использован в узлах трения машин и механизмов.

#### Список использованных источников

1. Струк В. А. Антифрикционные материалы на основе полимерных связующих / В. А. Струк. – Гродно, 1996. – 224 с.
2. Перепелкин К. Е. Структура и свойства волокон / К. Е. Перепелкин. – М. : Химия, 1985. – 208 с.
3. Ван Фо Фы Г. А. Конструкции из армированных пластмасс / Г. А. Ван Фо Фы. – К. : Техника, 1971. – 220 с.
4. Перепелкин К. Е. Химические волокна. Развитие производства, методы получения, свойства, перспективы : монография / К. Е. Перепелкин. – СПб. : РИОСПГУТД, 2008. – 354 с.
5. Миронов В. С. Технологическое управление триботехническими характеристиками слоистых полимерных композиций / В. С. Миронов // Трение и износ. – 1995. – Т. 16, № 3. – С. 527–536.
6. Буря А. И. Применение фенилона, армированного полиамидными углеродными волокнами в узлах сухого трения / А. И. Буря, И. А. Фомичев, А. П. Давыдов // Вопросы химии и химической технологии : Республ. межвед. науч.-техн. сб. – Х. : Вища школа, 1978. – Вып. 50. – С. 113–116.
7. Каргин В. А. Связь надмолекулярной структуры с механическими свойствами полимеров / В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский, Т. И. Соголова // 22nd Annual Technical Conference : Technical papers SPE, Montreal. – 1966. – № 12. – С. 43.
8. Картон В. А. Краткие очерки по физико-химии полимеров / В. А. Картон, Г. Л. Слонимский. – Издание второе. – М. : Химия, 1967. – 232 с.