

УДК 536.413.3:539.422.5:539.25

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВОЛОКНА НА ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ОРГАНОПЛАСТИКОВ

А. И. БУРЯ<sup>+</sup>, О. А. НАБЕРЕЖНАЯ

Днепродзержинский государственный технический университет, Днепродзержинск, Украина.

*Исследовано тепловое расширение и прочностные характеристики самоармированных органопластиков с различным содержанием волокна в полимерной матрице. Рассмотрено структуру полимеров до испытаний и после. Установлено, что полученные материалы с высокоразвитой поверхностью в 1,3–1,4 раза превышают исходный фенилон по физико-механическим свойствам.*

**Ключевые слова:** волокнистые композиционные материалы, самоармированные пластики, органопластики, термостойкие полимеры.

### Введение

За годы существования промышленности химических волокон было создано значительное число их оригинальных видов, технологических процессов и их аппаратного оформления, новых видов волокнистых материалов [1]. Активное внедрение в различные области техники волокнистых композиционных материалов (ВКМ) на основе высокопрочных волокон и полимерной матрицы требует расширения температурной области их эксплуатации. Полимерные ВКМ, способные длительно и стабильно работать не только в обычных условиях, но и при температурах более 473 К, представляют особый интерес при разработке отдельных узлов и частей различных механизмов [2].

Сказанное обуславливает постановку важных научно-технических задач получения волокон с заданным комплексом свойств и высокими качественными показателями, оптимизации процессов переработки и рационального их применения. В выполнении этих задач за последние годы достигнуты значительные успехи. Однако неясными вопросы, решение которых возможно только при достаточном знании свойств волокон в связи со спецификой их структуры. 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]. Целью

данной работы является разработка и исследование термостойких органопластиков (ОП) на основе фенилона С-1, армированного хаотически распределенным и дискретным волокном фенилон С-1.

### Объекты и методы исследования

В качестве связующего для органопластиков использовался ароматический полиамид фенилон С-1 – продукт поликонденсации смеси м-фенилендиамин и дихлорангидрида изофталевой кислоты – 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 использовали термостойкое органическое волокно (ОВ) фенилон (длинной 2–3 мм, прочностью 69 кгс/мм<sup>2</sup>, удлинение 15–20%, модуль упругости 9–12 ГПа, плотность 1,37–1,38 г/см<sup>3</sup>).

Пресскомпозиции из указанных компонентов загружали в емкость из блочного полиамида. Туда же добавляли ферромагнитные частицы в количестве 0,04–0,06 объема электрического поля, величина магнитной индукции которого составляла 0,12 Тл на 5–20 с. Под действием вращающегося электромагнитного поля ферромагнитные частицы приходят в интенсивное хаотическое движение, за счет чего вышеуказанные компоненты равномерно смешиваются. Переработку, приготовленную таким образом смеси в блочные изделия, осуществляли методом компрессионного прессования при давлении 30 МПа и темпера-

<sup>+</sup>— автор, с которым следует вести переписку. E-mail: ol.burya@gmail.com

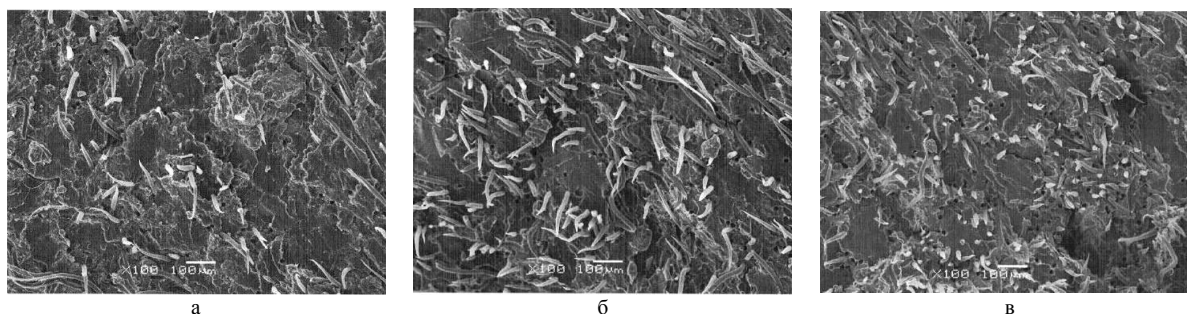


Рис.1 – Распределение волокна в полимерной матрице, с содержанием наполнителя: а – 5; б – 10; в – 15 мас.%

туре 598 К. 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 [4].

Для определения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) полученные образцы испытывали согласно ГОСТ 15173-70 на dilatометре ДКВ-5АМ в интервале температур 293–1173 К. Количество образцов для испытания каждой партии материала составляло не меньше десяти. Средний ТКЛР ( $\alpha$ ,  $K^{-1}$ ) исследуемого образца рассчитывали по формуле:

$$\alpha = \frac{\Delta l_n + \Delta l_H}{l_0} \cdot \frac{1}{T_{i+1} - T_i} + \alpha^k$$

где  $\Delta l_n$  – разница отклонения стрелки потенциометра по оси Y в интервале температур  $T_{i+1} - T_i$ , мм;  $\Delta l_H$  – отклонение от нуля прибора в интервале температур  $T_{i+1} - T_i$ , мм;  $l_0$  – длина образца при начальной температуре 293 К, мм;  $\alpha^k$  – ТКЛР кварцевого стекла в интервале температур  $T_{i+1} - T_i$ ,  $K^{-1}$ .

Изучение тонкой структуры поверхности 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 материалов изучали на растровом электронном микроскопе высокого разрешения СЕРИЯ JEOL JSM-6460 LV.

Ударную вязкость по Шарпи определяли согласно ГОСТ 4647-80. Предел текучести при сжатии определяли на испытательной машине ИМ-4Р, с механическим нагружением образца и механическим силоизмерением.

## Результаты экспериментов и их обсуждение

Изучение равномерности распределения ОВ в органопластиках, полученных смешением исходных компонентов во вращающемся электромагнитном поле показало, что под действием неравноосных ферромагнитных частиц дискретные ОВ равномерно распределены в полимерной матрице (рис. 1).

Как известно [5], тепловое расширение обусловлено ангармоничностью колебаний составляющих тело частиц и отражает силы, действующие между частицами и особенности тепловых колебаний связанных между собой элементов. Количественной характеристикой линейного расширения служит ТКЛР. Расчет ТКЛР важен по нескольким причинам. Во-первых, снижение его приводит к минимальной усадке полимеров при изменении температуры в процессе изготовления или использования. Во-вторых, неодинаковое расширение компонентов композиции может привести к возникновению остаточных напряжений, которые оказывают существенное влияние на механические свойства.

Таблица 1 – Влияние длины и содержания волокна на ТКЛР органопластиков на основе фенилона

Концентрация волокон, мас.%	Длина волокон, мм			
	1	3	5	7
	ТКЛР-10-6, 1/К			
5	12,1	8,5	8,1	10,9
10	10,3	8,0	7,9	9,0
15	8,5	7,6	7,7	8,3

\*ТКЛР исходного фенилона  $16,4 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ , усредненный для температурного интервала 300–460 К

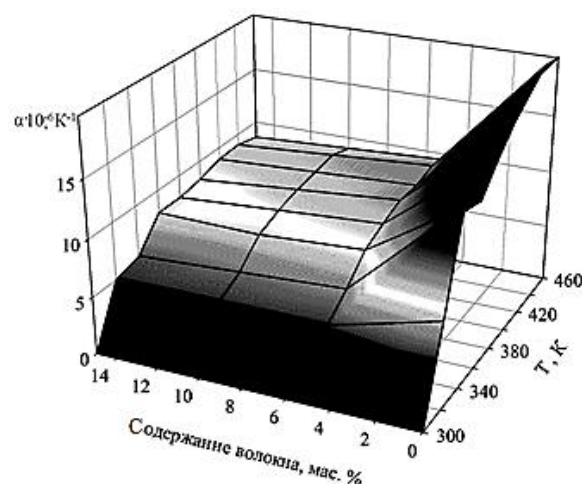
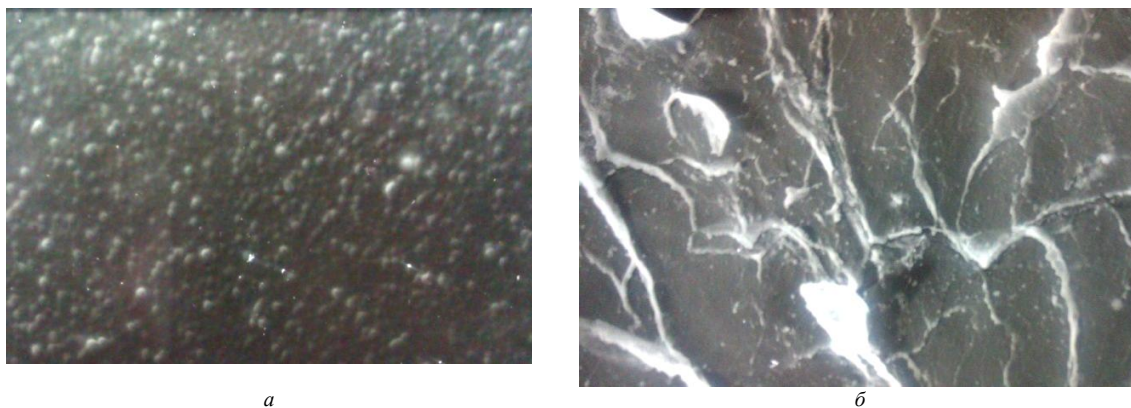


Рис. 2 – Влияние температуры и содержания волокна на ТКЛР самоармированных ОП

Анализ результатов показал (рис. 2), что введение органического волокна в полимерную матрицу

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

приводит к снижению изучаемого показателя, наиболее интенсивное снижение  $\alpha$  наблюдается при армировании 15% волокна. Что же касается влияния длины волокна на ТКЛР ОП, то последний по мере увеличения длины волокна (от 1 до 7 мм) снижается, проходя через минимум при длине волокна 3 мм, после чего начинает монотонно повышаться.

Объясняется это тем, что надмолекулярная структура исходного фенилона глобулярная, а волокно – фибриллярная (рис. 3) [6]. Вследствие этого волокна обладают лучшими теплофизическими свойствами, более низким ТКЛР, и, как следствие, у ОП он также более низкий, чем у фенилона.

Кроме того, с увеличением длины волокна увеличивается длина теплопроводящих мостиков. С другой стороны, увеличение длины волокон приводит к ухудшению равномерности их распределения в полимерной матрице, появлению пор, что, в свою очередь, сопровождается повышением ТКЛР [7].

Исследование прочностных характеристик органопластиков показало (рис. 4), что введение волокна в полимерную матрицу приводит к увеличению ударной вязкости в 1,4 раза, предела текучести при сжатии в 1,3 раза. При этом достигаются оптимальные значения показателей при содержании наполнителя в связующем 5–10 мас. %.

Электронно-микроскопические исследования показали, что морфология излома армированного органическим волокном полимера значительно отличается от морфологии исходного (рис. 5). Использование для армирования органических волокон оказывает существенное влияние на формирование

надмолекулярной структуры фенилона. Отчетливо видно, что при введении в исходный полимер ОВ (рис. 5а), излом композиции становится трансглобулярным. Волокна в процессе разрушения растягиваются, а не выдергиваются. На рис. 5 (в, г) видно только несколько отверстий от выдернутых волокон, остальные разрушены при растяжении. То есть при разрушении образца образуется трещина по полимерной матрице и в дальнейшем обломки образца удерживаются на микроволокнах. Также наблюдается образование шейки течения на волокне (рис. 5 б, в, г).

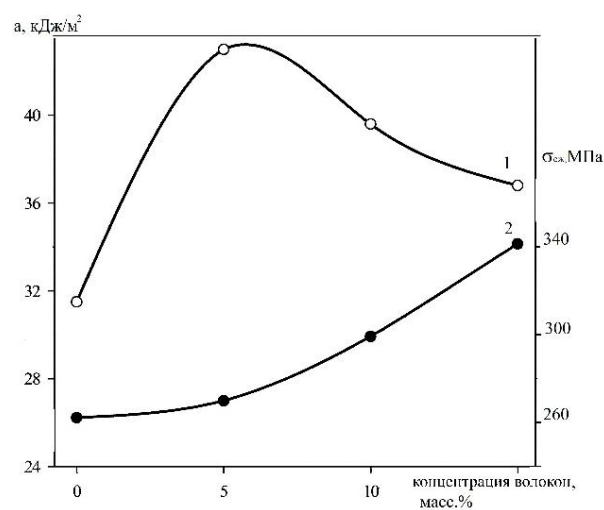


Рис. 4 – Зависимость прочностных характеристик ОП от содержания волокна

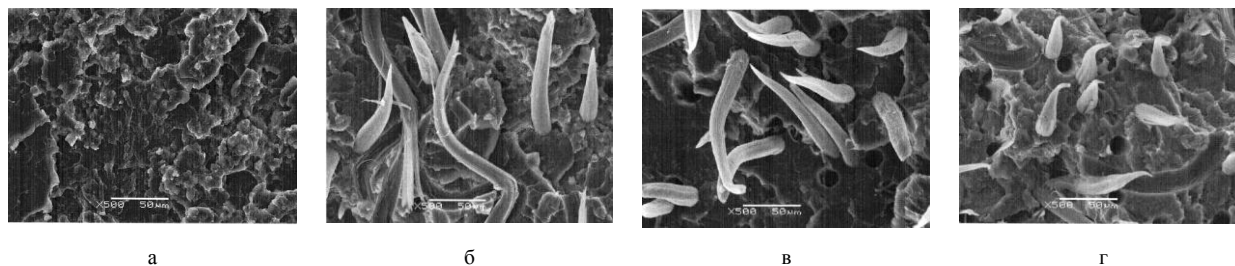


Рис. 5 – Электронные микрофотографии исходного полимера (а) и ОП на его основе, содержащих 5 (б); 10 (в); 15 (г) мас. % волокна

## Выводы

Установлено, что армирование фенилоновыми волокнами с высокоразвитой поверхностью можно рассматривать как процесс, способствующий структурной перестройке в самом полимере в присутствии наполнителя, что в свою очередь приводит к изменению свойств. С увеличением длины волокна с одной стороны увеличивается длина теплопроводящих мостиков, что сопровождается снижением ТКЛР, с другой стороны – увеличение длины волокон приводит к ухудшению равномерности их распределения в полимерной матрице, появлению пор, что, в свою очередь, повышает ТКЛР. Установлено, что оптимальным содержанием волокна в связующем является 5–10 мас. %.

## Обозначения

ВКМ – волокнистый композиционный материал; ОП – органопластик; ОВ – органическое волокно; ТКЛР – температурный коэффициент линейного расширения;  $\alpha$  – средний ТКЛР;  $a$  – ударная вязкость,  $\sigma_{сж}$  – предел текучести при сжатии.

Burya A. I., Naberezhnaya O. A.

### Study of the effect of fiber content on thermal expansion of self-reinforced organoplastics.

The thermal expansion and strength characteristics self-reinforced organic plastics with different contents of fiber in a polymer matrix. Consider the structure of the polymers before testing and after. It was found that the obtained materials with high surface area 1.3–1.4 times higher than the original phenylone on physical and mechanical properties.

**Keywords:** fiber composite materials, self-reinforced plastics, organoplastics, heat-resistant polymers

*Поступила в редакцию 18.03.2016.*

© А. И. Бурия, О. А. Набережная, 2016.

## Литература

1. Перепелкин К. Е. Химические волокна: Развитие производства, методы получения, свойства, перспективы: монография / К. Е. Перепелкин. – СПб : РИОСПГУТД – 2008. – 354 с.
2. Годовский Ю.К. Теплофизика полимеров. – М.: Химия, 1982. – 280 с.
3. Перепелкин К. Е. Структура и свойства волокон. – М.: Химия, 1985 – 208 с.
4. Миронов В.С. Технологическое управление триботехническими характеристиками слоистых полимерных композиций // Трение и износ. – 1995 – Т.16, №3. – С.527–536.
5. Пивень А.Н., Гречаная Н.А., Чернобыльский И.И. Теплофизические свойства полимерных материалов: Справочник. – К: Вища школа, 1976. – С. 14–16.
6. Бурия А.И., Набережная О.А. Влияние содержания органического волокна на трибологические свойства композитов на основе фенилона //Комплексное обеспечение качества технологических процессов и систем (КОКТПС-2015): материалы тезисов докладов в международной научно-практической конференции (19–22 мая 2015г., г.Чернигов). – Чернигов: ЧНТУ, 2015. – 87с.
7. Коршак В.В. Химическое строение и температурные характеристики полимеров. – М.: Наука, 1970. –367 с.