

УДК 677.494

О.П. Чигвинцева, В.В. Киприч

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ОРГАНОПЛАСТИКІВ НА ОСНОВІ ТЕРМОПЛАСТІВ**

Вивчені основні теплофізичні властивості термопластичних полімерів – складних поліефірів поліарилат, полікарбонат та аліфатичного поліаміду-6. Показано, що армування термопластів органічними волокнами терлон і внівлон дозволяє покращити теплофізичні характеристики органопластиків. Встановлено, що максимальне підвищення коефіцієнта теплопровідності і зниження питомої теплоємності характерне для органопластика на основі полікарбонату, армованого волокном внівлон.

Ключові слова: поліарилат, полікарбонат, поліамід-6, органічні волокна, органопластики, тепло-фізичні властивості

О.П. Чигвинцева, В.В. Киприч

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ОРГАНОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТОВ**

Изучены основные теплофизические свойства термопластичных полимеров – сложных полиэфиров полиарилат, поликарбонат и алифатического полиамида-6. Показано, что армирование термопластов органическими волокнами терлон и внивлон позволяет улучшить теплофизические характеристики органопластиков. Обнаружено, что максимальное повышение коэффициента теплопроводности и снижение удельной теплоемности характерно для органопластика на основе поликарбоната, армированного волокном внивлон.

Ключевые слова: полиамид-6, полиарилат, поликарбонат, органические волокна, органопластики, теплофизические свойства

O.P. Chigvintseva, V.V. Kiprich

Dnipropetrovsk State Agrarian-Economic University

**RESEARCH OF THERMO-PHYSICAL PROPERTIES
ORGANOPLASTICS ON BASED THERMOPLASTS**

The main thermophysical properties of thermoplastic polymers – polyarylate, polycarbonate polyesters, and alyphatic polyamide-6 are studied. It is shown that the thermoplast reinforcing by organic fibers terlon and vniivlon let us to improve thermo-physical characteristics of organoplastics. It was found that maximum increasing of the heat conductivity coefficient and decreasing of the specific heat conductivity is indicative for organoplastics based on polycarbonate, reinforced by vniivlon fiber.

Key words: polyamide-6, polyarylate, polycarbonate, organic fibers, organoplastics, thermo-physical properties

Ресурс експлуатації изделий из полимерных композиционных материалов в узлах трения машин и механизмов в существенной мере определяется их теплофизическими характеристиками. Вследствие незначительной теплопроводности поверхность изделий из полимерных композитов подвергается существенному нагреву, что приводит к их быстрому выходу со строя.

Учитывая вышеизложенное, представляло научный и практический интерес изучить основные теплофизические свойства [удельную теплоемкость (C_p) и коэффициент теплопроводности (λ)] полимерных композитов на основе термопластичных связующих – алифатического полиамида-6 (ПА-6) и сложных полиэфиров полиарилат (ПАР) и поликарбонат (ПКР), армированных дискретными органическими волокнами марок терлон и внивлон в количестве 25 мас. %.

Теплофизические свойства органопластиков (ОП) изучались согласно существующим ГОСТам для пластмасс. Определение удельной теплоемкости (C_p) и коэффициента теплопроводности (λ) ОП производили на измерителях ИТ-С-400 и ИТ- λ -400 согласно ГОСТ 23630.1-79 и 25630.2-79. Полимерные композиции готовились методом сухого смешения компонентов во вращающемся электромагнитном поле посредством неравноосных ферромагнитных частиц, а перерабатывались в блочные изделия – методом компрессионного прессования.

На первоначальном этапе исследований было изучено влияние температуры на удельную теплоемкость и коэффициент теплопроводности исходных полимеров. Температурные зависимости исследованных материалов были аналогичными: с ростом температуры теплоемкость

и теплопроводность возрастали, что является типичным для термопластичных полимеров. Результаты исследований показали, что термопласты в порядке снижения теплофизических характеристик (рис. 1) можна расположить в следующий ряд: ПКР (кривая 3) > ПАР (кривая 2) > ПА-6 (кривая 1) [1]. Обращает на себя внимание тот факт, что полиамидная матрица имеет недостаточно высокие теплофизические свойства.

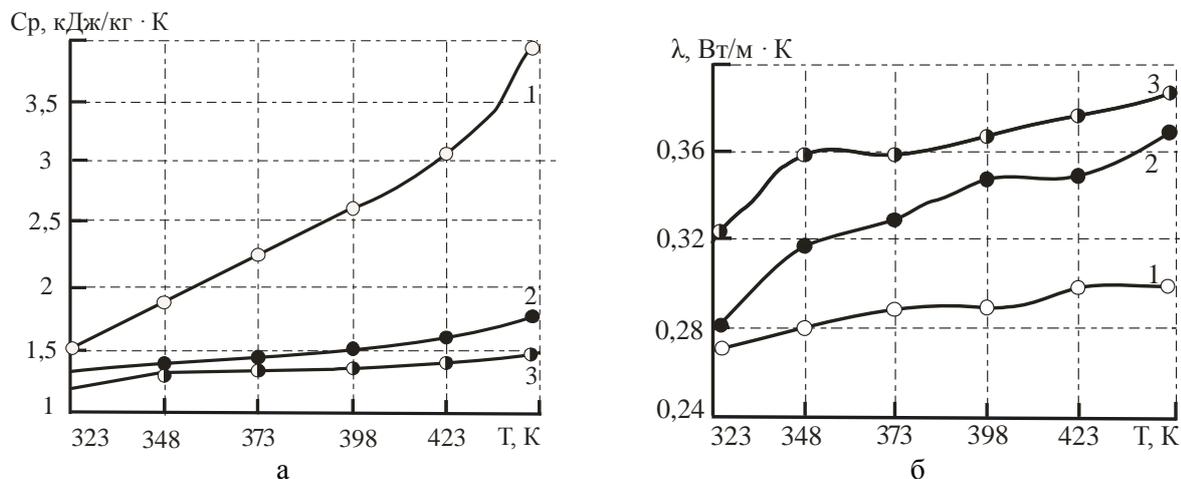


Рис. 1. Температурные зависимости удельной теплоемкости (а) и коэффициента теплопроводности (б) ПА-6 (1), полиарилата (2) и поликарбоната (3)

Одним из эффективных методов повышения эксплуатационных характеристик полимерных связующих является армирование их дискретными химическими волокнами. В качестве армирующих наполнителей выбранных термопластов использовались органические волокна марок вни- ивлон и терлон в количестве 25 мас. %, основные свойства которых представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Свойства органических волокон терлон и вниивлон [2, 3]

Показатели	Терлон	Вниивлон
Плотность, кгс/м ³	1450	1440
Разрывная прочность, н/текс	250-260	280-300
Разрывное удлинение, %	2-4	2-4,5
Начальный модуль, ГПа	135-145	120-135
Прочность в узле, %	40	40-45

Арамидные высокомодульные волокна терлон и вниивлон, обладающие высокими тепло- и химической стойкостью, удельной прочностью на разрыв, стабильно работающие в температурном интервале от -250 до +275°C, широко используются в качестве перспективных армирующих наполнителей полимеров и резин. По химическому составу волокно терлон – полифенилентерефталамид, а органическое волокно вниивлон получено из жесткоцепного полигетероарилена (рис. 2).

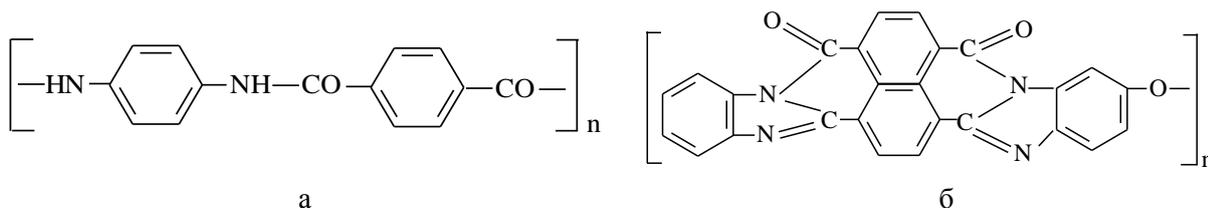


Рис. 2. Структурные формулы волокон терлон (а) и вниивлон (б)

Указанная выше тенденция изменения теплофизических свойств сохраняется и в случае армирования выбранных полимеров волокнами вниивлон и терлон.

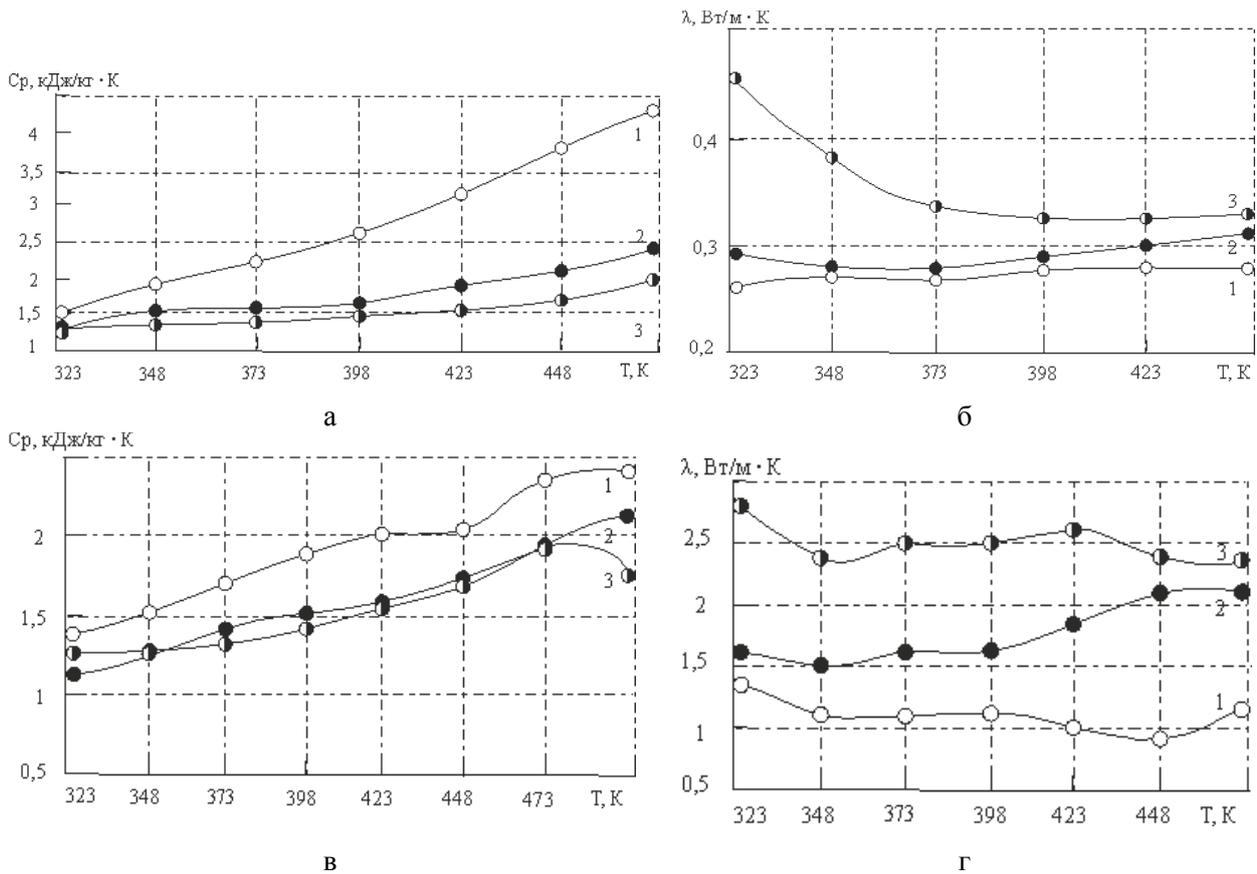


Рис. 3. Температурные зависимости удельной теплоемкости (а, в) и коэффициента теплопроводности (б, г) органопластиков на основе ПА-6 (1), полиарилата (2) и поликарбоната (3), армированных органическими волокнами вниивлон (а, б) и терлон (в, г)

В частности, было обнаружено, что независимо от природы волокна, максимальную теплоемкость имели ОП на основе ПА-6, а минимальную – на основе ПКР. Анализ данных по определению теплоемкостей ОП на основе ПА-6 и ПКР, армированных вниивлоном, показал, что в интервале температур 323-473 К данный теплофизический показатель для поликарбонатных композитов был ниже на 13-56% по сравнению с полиамидными, причем с ростом температуры данная тенденция проявлялась более выражено. Несмотря на то, что температурные зависимости удельной теплоемкости ОП на основе полиэфирных связующих отличались незначительно (рис. 3, а, в, кривые 2 и 3), минимальные значения данного показателя имели поликарбонатные композиты.

В результате математической обработки результатов исследований были получены уравнения, наиболее адекватно описывающие зависимость удельной теплоемкости (1) и коэффициента теплопроводности (2) ОП на основе ПКР, армированного 25 мас. % вниивлона, от температуры:

$$Y = 0.46335 + 0.00263 \cdot x \quad R = 0.98982 \quad (1)$$

$$Y = 0.17829 + 0.00048 \cdot x \quad R = 0.92687 \quad (2)$$

Как известно, значения удельной теплоемкости полимеров существенно зависят от изменения подвижности структурных элементов макромолекулярных цепей. Поскольку теплоемкость является интегральной характеристикой тепловой подвижности молекул вещества, она зависит от влияния не только “внешних” (межмолекулярных) степеней свободы полимера, определяющихся условиями локальной упаковки колебательных элементов цепи, но и внутримолекулярных (конформационных) степеней колебательной свободы макромолекулы, которые могут изменяться в результате адсорбционного связывания сегментов с поверхностью волокнистого наполнителя [4].

В нашем случае, армирование полимерных матриц дискретными химическими волокнами приводит к снижению подвижности макромолекул, что влечет за собой закономерное снижение

теплоемкости композитов по сравнению с исходными полимерами. В частности, сравнительный анализ теплоемкостей исследованных материалов при температуре 323 К показал, что независимо от природы волокнистого наполнителя и термопластичной матрицы теплоемкость композитов ниже (табл. 2), причем, самое интенсивное падение теплоемкости проявляется для ОП на основе ПКР, содержащего волокно вниивлон. Тенденция к снижению абсолютного значения теплоемкости с введением в состав полимера арамидных волокон дает основание предположить, что под влиянием волокнистого наполнителя происходит снижение сегментальной подвижности макромолекул полимера вследствие перехода некоторой их части в граничные слои.

Армирование термопластов ОВ повышает их коэффициент теплопроводности (табл. 2), причем наиболее ярко эта тенденция проявляется в случае армирования ПКР волокном вниивлон (для данного ОП коэффициент теплопроводности почти на 20% выше, чем у полимерной матрицы). Возрастание теплопроводности в случае армировании термопластичных связующих органическими волокнами, по-видимому, можно объяснить формированием в структуре композитов теплопроводящих каналов [5].

Таблица 2.

Сравнительный анализ теплофизических характеристик термопластов и органопластиков

Исходный полимер	Органическое волокно	
	вниивлон	терлон
Связующее – ПА-6		
$\frac{1,52}{0,26}$	$\frac{1,48}{0,27}$	$\frac{1,32}{0,29}$
Связующее – поликарбонат		
$\frac{1,80}{0,26}$	$\frac{1,30}{0,32}$	$\frac{1,32}{0,28}$
Связующее – полиарилат		
$\frac{1,34}{0,27}$	$\frac{1,32}{0,28}$	$\frac{1,18}{0,32}$

Примечание: в числителе указаны значения удельной теплоемкости ($\text{кДж/кг} \cdot \text{К}$), в знаменателе – коэффициента теплопроводности ($\text{Вт/м} \cdot \text{К}$)

Кроме снижения теплоемкости и увеличения теплопроводности композит, содержащий 25 мас. % вниивлона, характеризуется более высокими значениями теплостойкости (рис. 4): указанный ОП имеет на 18 и 30 градусов соответственно более высокую теплостойкость по Вика и при сжатии по сравнению с исходным полиэфиром.

Учитывая то, что улучшенный комплекс теплофизических свойств имел ОП на основе ПКР, армированный вниивлоном, вполне закономерной является и тенденция улучшения прочностных и трибологических показателей данного ОП.

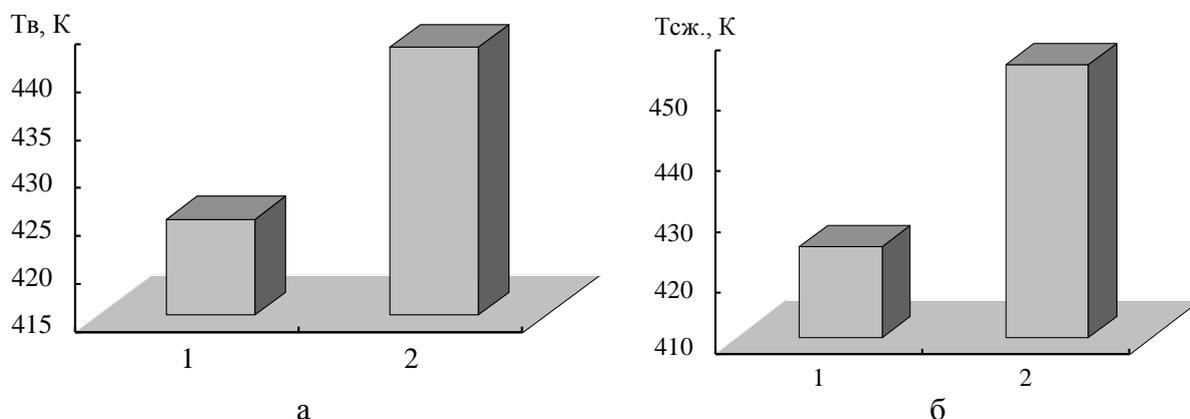


Рис. 4. Теплостойкость по Вика (а) и при сжатии (б) поликарбоната (1) и органопластика на его основе, армированного волокном вниивлон (2)

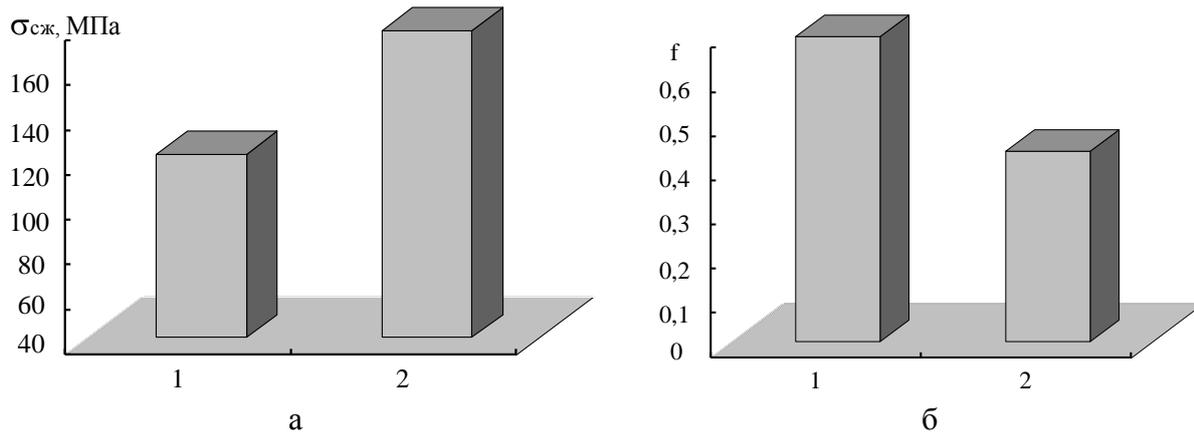


Рис. 5. Предел прочности при сжатии (а) и коэффициент трения (б) поликарбоната (1) и органопластика на его основе, армированного волокном вниивлон (2)

Установлено, что армирование сложного полиэфира ПКР волокном вниивлон повышает на 69 МПа предел прочности при сжатии и снижает на 38 % коэффициент трения (рис. 5).

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют заключить, что армирование термопластичных связующим арамидными волокнами благоприятно влияет на изменение их теплофизических свойств, причем максимальный эффект достигается для композита на основе сложного полиэфира поликарбонат, армированного волокон вниивлон в количестве 25 мас. %. Учитывая то, что указанный органопластик отличается высокой теплопроводностью, теплостойкостью, прочностью при сжатии и низким коэффициентом трения, его можно рекомендовать в качестве материала конструкционного назначения для подвижных сочленений машин и механизмов.

Список использованных источников:

- [1] Чигвинцева О.П., Киприч В.В. Изучение теплофизических свойств органопластиков на основе термопластичных связующих // Материалы VI Международной специализированной выставки-конференции "Композиты и стеклопластики 2013", 24-25 апреля 2013, Запорожье. – С. 59-60. [2] Таблица-вклейка. Термостойкие и жаростойкие волокна // Химические волокна. – 1975. – № 3. [3] Волохина А.В., Калмыкова В.Д. Получение высокопрочных и термостойких синтетических волокон // Итоги науки и техники. Серия; Химия и технология высокомолекулярных соединений. – 1981. – Т. 15. – 61 с. [4] Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров. М.: Химия. – 1977. – 304 с. [5] Годовский Ю.К. Теплофизические методы исследований полимеров. М.: Химия, 1970. – 216 с.

Рецензенты статьи:

Аулин Виктор Васильевич
Профессор кафедры эксплуатации
и ремонта машин
Кировоградского национального
технического университета
д.т.н., профессор

Деркач Алексей Дмитриевич
Заведующий кафедрой эксплуатации
машино-транспортного парка
Днепропетровского государственного
аграрно-экономического университета, к.т.н., доцент

Стаття надійшла до редакції 24.03.2016.