

УДК 538.9:536.6

Технические науки

Фиалко Наталья Михайловна

*доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент НАН Украины, заведующая отделом
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of Department
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Динжос Роман Владимирович

*доктор технических наук, профессор
Кафедра физики и математики
Николаевский национальный университет имени В.А. Сухомлинского*

Dinzhos Roman

*Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Physics and Mathematics
V.O. Sukhomlynskyi Mykolaiv National University*

Прокопов Виктор Григорьевич

*доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Prokopov Viktor

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Шеренковский Юлий Владиславович

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Sherenkovskiy Julii

*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher,
Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Меранова Наталия Олеговна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Meranova Nataliia

*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher,
Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Попружук Илья Олегович

*младший научный сотрудник
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Popruzhuk Iliia

*Junior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Клищ Андрей Владимирович

*младший научный сотрудник,
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Klishch Andriy

*Junior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ТЕПЛОПРОВОДЯЩИЕ
СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА
ИХ ПОЛУЧЕНИЯ**

**STUDIES OF THE INFLUENCE ON THE HEAT-CONDUCTING
PROPERTIES OF NANOCOMPOSITES OF THE TEMPERATURE
REGIME OF THEIR PREPARATION**

***Аннотация.** Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости теплопроводности нанокompозитов на основе полипропилена, наполненного углеродными нанотрубками, от уровня перегрева расплава полимера относительно температуры его плавления. Установлено, что при увеличении данного уровня растет значение коэффициента теплопроводности композитов. Показано, что при достижении определенного перегрева его дальнейший рост не обеспечивает повышения теплопроводности нанокompозитов. На основе полученной закономерности определена величина рационального уровня перегрева.*

***Ключевые слова:** полимерные нанокompозиты, углеродные нанотрубки, теплопроводность нанокompозитов.*

***Summary.** The results of experimental studies of the dependence of the heat conductivity of nanocomposites based on polypropylene filled with carbon nanotubes on the level of overheating of the polymer melt relative to its melting temperature are presented. It was found that with an increase in this level, the value of the heat conductivity coefficient of composites increases. It is shown that when a certain overheating is reached, its further growth does not provide an increase in the heat conductivity of nanocomposites. On the basis of the obtained regularity, the value of the rational level of overheating was determined.*

Key words: *polymer nanocomposites, carbon nanotubes, heat conductivity of nanocomposites.*

Введение. К важным направлениям использования полимерных композитов относится применение их высокотеплопроводных модификаций [1-15]. Последние могут широко использоваться для изготовления таких типичных деталей элементов энергетических установок, как теплообменные поверхности, в микро- и нанoeлектронике – для отведения теплоты от теплонапряженных элементов оборудования и пр.

Теплопроводящие свойства полимерных композитов, как известно, существенно зависят от методов их получения. Применительно к классу методов получения полимерных композитов, базирующихся на смешивании компонентов в расплаве полимера, одним из важных параметров, существенно влияющим на теплопроводящие свойства полимерных композитов, является уровень перегрева расплава относительно температуры плавления полимера. Это обуславливает актуальность исследования зависимости теплофизических свойств полимерных композиционных материалов от данного параметра.

Цель работы – установлению закономерностей влияния одного из основных параметров температурного режима их получения – уровня перегрева расплава полимера относительно температуры его плавления на теплопроводность полимерных нанокомпозитов. При этом исследовались высокотеплопроводные полимерные нанокомпозиты на основе полипропилена, наполненного углеродными нанотрубками, при варьировании в широких пределах массовой доли наполнителя.

Методика проведения исследований. В работе для получения полимерных нанокомпозитов использовался метод, базирующийся на

смешении компонентов в расплаве полимера с применением специального дискового экструдера [11].

Коэффициент теплопроводности полимерных композитов определялся с использованием модифицированного прибора ИТ- λ -400.

Экспериментальные исследования теплопроводящих свойств рассматриваемых полимерных нанокомпозитов проведены в диапазоне изменения массовой доли наполнителя от 0,3 до 10 %. При этом в процессе получения композитов уровень перегрева расплава полимера ΔT относительно температуры его плавления изменялся от 10 до 75 °С.

Результаты исследований. На рис. 1 представлены результаты экспериментальных исследований коэффициентов теплопроводности рассматриваемых композитов в зависимости от уровня перегрева ΔT при разных значениях массовой доли углеродных нанотрубок (УНТ).

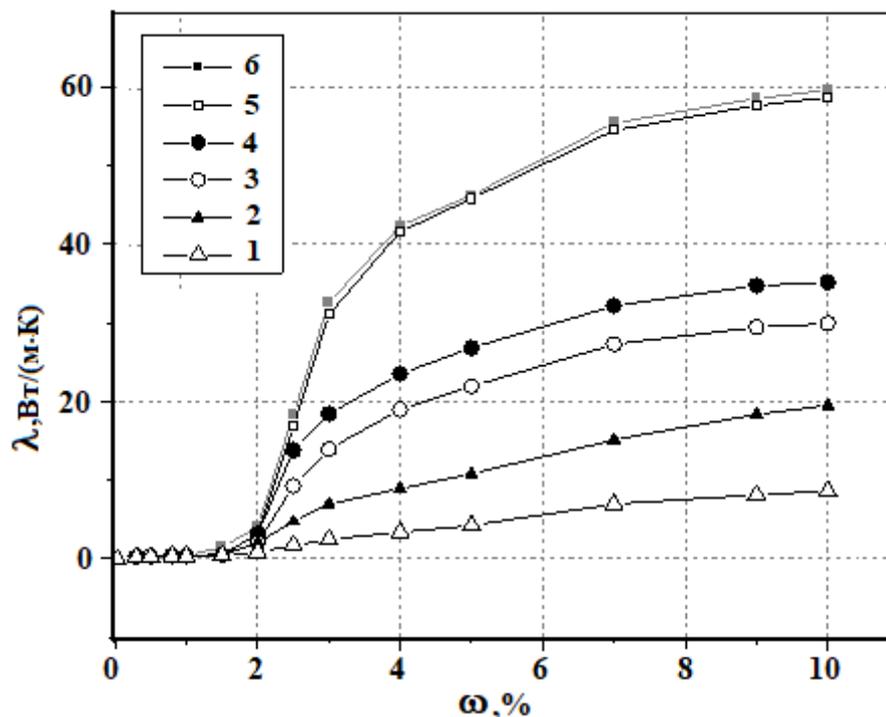


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности λ нанокомпозитов на основе полипропилена, наполненных углеродными нанотрубками, от массовой доли наполнителя ω при различных величинах перегрева расплава полимера ΔT : 1 – 10 К; 2 – 20 К; 3 – 30 К; 4 – 40 К; 5 – 50 К; 6 – 75 К

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что коэффициент теплопроводности λ рассматриваемых полимерных нанокомпозитов в целом может существенно зависеть от уровня перегрева расплава полимера ΔT . Как видно, для всех значений массовой доли наполнителя ω коэффициент теплопроводности λ растет с увеличением ΔT от 10 до 50 К. При этом в данном интервале изменения ΔT зависимости коэффициента теплопроводности от ΔT для разных значений ω имеют определенные особенности. Во-первых, чем больше ω , тем более существенным оказывается влияние роста ΔT на повышение коэффициента теплопроводности композита. Так, при $\omega=2,0\%$ коэффициент теплопроводности λ изменяется от 0,8 до 3,15 Вт/(м·К) с увеличением ΔT от 10 до 50 К. Для $\omega=10,0\%$ соответствующие изменения составляют 8,62 и 58,72 Вт/(м·К). Что касается увеличения уровня перегрева композита ΔT от 50 К до 75 К, то в данном интервале это увеличение не приводит к заметному изменению λ композитов.

Приведенные результаты исследований позволяют осуществить выбор рационального уровня перегрева полимера ΔT , отвечающего задаче получения высокотеплопроводных нанокомпозитов.

В общем случае выбор указанного рационального уровня ΔT определяется следующими соображениями. Перегрев ΔT ограничен сверху температурой деструкции полимера. Его величина соответствует получению нанокомпозита, теплопроводность которого близка к максимальной при заданной концентрации наполнителя. Из соображений реализации энергосберегающей технологии уровень перегрева ΔT ограничивается областью существенного изменения λ с ростом ΔT .

Принимая во внимание указанные соображения, рациональная величина перегрева ΔT для рассматриваемых нанокомпозитов составляет 50 К.

Выводы. Выполнен комплекс экспериментальных исследований по определению зависимости коэффициентов теплопроводности нанокompозитов на основе полипропилена, наполненных УНТ, от основного параметра температурного режима их получения – величины перегрева расплава полимера относительно температуры его плавления.

Показано, что увеличение уровня указанного перегрева полимера может приводить к существенному (примерно в 7 раз) повышению теплопроводности композитов. Установлено также, что влияние данного перегрева тем более значительно, чем выше массовая доля наполнителя. Для рассматриваемых нанокompозитов определена рациональная величина уровня перегрева расплава полимера, составляющая 50 К.

Литература

1. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Навродская Р.О. Теплопроводность полимерных микро- и нанокompозитов на основе полиэтилена при различных способах их получения. Промышленная теплотехника. 2017. 4. С. 21-26. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2017.03>
2. Dinzhos R., Fialko N., Prokopov V., Sherenkovskiy Ju., Meranova N., Koseva N., Korzhik V., Parkhomenko O., Zhuravskaya N. Identifying the influence of the polymer matrix type on the structure formation of microcomposites when they are filled with copper particles. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. №5/6(107) P. 49-57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214810>
3. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние типа полимерной матрицы на теплофизические свойства и структурообразование полимерных нанокompозитов. Технологические системы. 2016. №3. С. 49-59.

4. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Теплофизические характеристики высокотеплопроводных полимерных микро- и нанокомпозитов. Промышленная теплотехника. 2015. №5. С. 5-15.
5. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Температурные зависимости коэффициентов теплопроводности полимерных микро- и нанокомпозитов для теплообменных аппаратов. Промышленная теплотехника. 2016. №1. С. 5-14.
6. Фіалко Н.М., Навродская Р.О., Дінжос Р.В., Меранова Н.О., Шевчук С. І. Ефективність використання полімерних мікро- і нанокомпозитів для теплообмінних апаратів газо-газового типу. Промышленная теплотехника. 2017. №5. С. 12-18.
7. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние методов получения полимерных микро- и нанокомпозитов на их теплофизические свойства Промышленная теплотехника. 2015. №4. С.5-12
8. Дінжос Р.В., Лисенков Е.А., Фіалко Н.М. Моделювання теплопровідності полімерних композитів на основі поліметилметакрилату з різними типами наповнювачів. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2015. № 6. С. 21-24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.53999>
9. Дінжос Р.В., Лисенков Е.А., Фіалко Н.М., Клепко В.В. Вплив методу введення наповнювача на теплофізичні властивості систем на основі термопластичних полімерів та вуглецевих нанотрубок. ФІП PSE. 2014. Т.12, №4. С. 446-453.
10. Дінжос Р.В., Фіалко Н.М., Лисенков Е.А. Особливості теплопровідності композитів на основі термопластичних полімерів та частинок алюмінію. Журнал нано- та електронної фізики. 2015. Т.7. № 3. С. 03022-1 - 03022-5.

11. Дінжос Р.В., Лисенков Е.А., Фіалко Н. М. Вплив технології виготовлення та типу наповнювача на теплофізичні властивості нанокompозиту на основі поліпропілену. *Вопросы химии и химической технологии*. 2015. Т.5. С. 56-61.
12. Фіалко Н.М., Динжос Р.В. Теплофизические основы создания полимерных микро- и нанокompозитов для элементов энергетического оборудования. *Промышленная телотехника*. 2015. №7. С. 172-176.
13. Фіалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Полимерные микро- и нанокompозиты как объекты теплофизических исследований для элементов теплоэнергетического оборудования. *Промышленная теплотехника*. 2017. №2. С. 36-45.
14. Фіалко Н. М., Дінжос Р.В., Навродська Р.О., Меранова Н.О., Шеренковський Ю.В. Закономірності кристалізації полімерних мікрокомпозиційних матеріалів при різних методах їх отримання. *Промышленная теплотехника*. 2018. №2. С. 5-11.
15. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О. Створення низькотеплопровідних полімерних нанокompозитів для внутрішніх газовідвідних стволів димових труб котелень. *Енергетика та автоматика*. 2020. № 5. С. 57-68. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/14641>
16. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskiy Ju., Meranova N., Navrodska R. Features of structure formation of dispersively filled with microcomposites with a polypropylene matrix. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2020. Vol. 89. No 2. P. 91-98. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.89.211384>