

Технічні науки

УДК 538.9:536.6

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України, завідувач відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

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

Дінжос Роман Володимирович

*доктор технічних наук, професор
Кафедра фізики і математики
Миколаївський національний університет ім. В.О. Сухомлинського*

Dinzhos Roman

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

Шеренковський Юлій Владиславович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Sherenkovskiy Julii

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

Меранова Наталія Олегівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник*

Інститут технічної теплофізики НАН України

Meranova Nataliia

Candidate of Technical Sciences (PhD),

Senior Scientific Researcher, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Прокопов Віктор Григорович

доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Prokopov Viktor

Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Навродська Раїса Олександрівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Navrodska Raisa

Candidate of Technical Sciences,

Senior Scientific Researcher, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Полозенко Ніна Петрівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Polozenko Nina

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

Кутняк Ольга Миколаївна

*науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Kutnyak Olha

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

Альошко Сергій Олександрович

*кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Aleshko Serhii

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

Пархоменко Олександр Юрійович

*кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри фізики і математики
Миколаївський національний університет ім. В. О. Сухомлинського*

Parkhomenko Oleksandr

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of Physics and Mathematics
V.O. Sukhomlinskiy National University of Mykolaiv*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ГУСТИНИ НАНОКОМПОЗИТІВ ВІД
ТРИВАЛОСТІ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ У РОЗПЛАВІ
ПОЛІМЕРУ**

**STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE NANOCOMPOSITES DENSITY
ON THE MIXING DURATION OF THE COMPONENTS IN THE
POLYMER MELT**

***Анотація.** Виконано експериментальні дослідження густини полімерних наноккомпозитів, отриманих методом змішування компонентів розплаву полімеру з використанням спеціального дискового екструдера. Проведено аналіз впливу тривалості змішування на особливості зміни густини одержуваних наноккомпозиційних матеріалів при різних значеннях їхньої температури.*

***Ключові слова:** полімерні наноккомпозити, вуглецеві нанотрубки, густина композиту, екструдер, тривалість змішування.*

***Summary.** Experimental studies of the polymer nanocomposites density obtained by mixing the components of a polymer melt using a special disk extruder have been carried out. An analysis of the effect of mixing duration on the features of changes in the density of the obtained nanocomposite materials at different temperatures was carried out.*

***Key words:** polymer nanocomposites, carbon nanotubes, composite density, extruder, mixing duration.*

Вступ. При створенні полімерних композиційних матеріалів із заданим поєднанням властивостей паралельно вирішуються питання вибору як компонентів наноккомпозитів, так і технології їх отримання, тобто вибору матеріалу матриці, типу та концентрації наповнювача, а також методу

отримання композиту (див., наприклад, [1-14]). В даній статті розглядається одержання полімерних наноконпозиційних матеріалів на основі пропілену, наповненого вуглецевими нанотрубками, з використанням методу змішування компонентів у розплаві полімеру.

Мета даної роботи полягає у дослідженні впливу тривалості змішування компонентів у розплаві полімеру на величину густини наноконпозиту при різних значеннях його температури.

Метод дослідження. Для отримання полімерних наноконпозиційних матеріалів використовувався метод, що базується на змішуванні компонентів розплаву полімеру із застосуванням спеціального дискового екструдера. Принципову схему екструдера наведено на рис. 1.

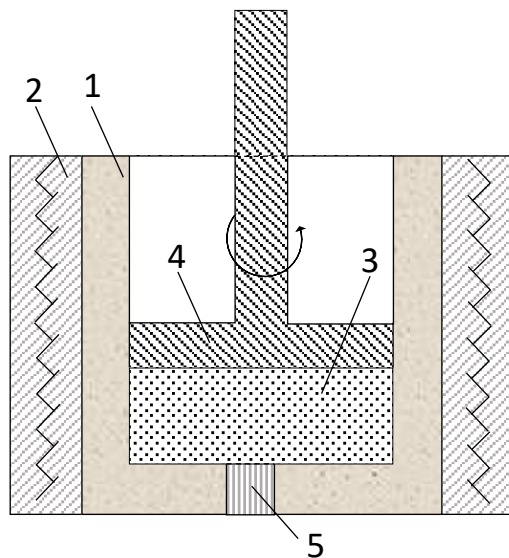


Рис. 1. Принципова схема дискового екструдера:

1 – циліндрична прес-форма; 2 – електронагрівач; 3 – порошкоподібний композит; 4 – поршень, що обертається; 5 – отвір для видалення наноконпозитного матеріалу

Порошкоподібна суміш компонентів 3 поміщається в прес-форму 1 і нагрівається за допомогою електронагрівача 2 до температури, що перевищує температуру плавлення полімеру на певну задану величину. Змішування

компонентів композиту здійснюється з використанням металевого поршня 4, що обертається, який в процесі роботи поступово занурюється в розплав полімеру. Після закінчення заданого часу змішування наноконпозиційний матеріал видаляється з прес-форм через отвір 5.

Завершення процесу отримання полімерних композитів здійснюється із застосуванням методу гарячого пресування у спеціальній установці. В ній композит нагрівається до температури, що перевищує на 20 °С температуру плавлення полімеру, і витримується за даної температури протягом 15–20 хв. Потім виконується пресування одержаних зразків, яким надається задана форма.

У процесі експериментальних досліджень визначалася величина густини полімерних наноконполитів при різних значеннях їхньої температури та тривалості процесу змішування компонентів у розплавi. Для знаходження густини досліджуваних матеріалів використовувався метод гідростатичного зважування.

Результати та дослідження. Експериментальні дослідження щодо визначення впливу тривалості змішування τ на густину наноконпозиційних матеріалів проводилися для композитів з поліпропіленовою матрицею та наповнювачем у вигляді вуглецевих нанотрубок. При цьому час змішування компонентів у розплавi полімеру змінювався від 5 до 52 хвилин, а температура полімерного наноконполиту варіювалася від 390 К до 445 К. Характерні результати досліджень наведено у таблиці.

Таблиця 1

Температурна залежність густини нанокompозиту ρ кг/м³ при масовій частці наповнювача $\omega = 0,3$ % для різних значень часу змішування τ

τ , хв	T , К								
	390	400	410	420	425	430	435	440	445
52	934,92	927,54	918,82	907,24	901,26	886,82	866,77	854,03	832,69
27	931,13	923,76	915,04	903,46	897,48	883,04	862,99	850,24	828,91
20	891,14	883,76	875,04	863,46	857,48	843,04	822,99	810,25	788,91
16	884,91	877,52	868,81	857,23	851,25	836,8	816,76	804,01	782,67
10	880,96	873,58	864,86	853,28	847,3	832,86	812,81	800,07	778,73
5	865,96	858,92	850,2	838,62	832,64	818,19	798,15	785,41	764,07

Як показав аналіз отриманих даних, зі збільшенням температури композиту його густина зменшується, причому в діапазоні T , що розглядається, швидкість зниження густини тим більше, чим вище температура. Так, для $T = 390$ К та $\tau = 52$ хв при збільшенні температури на один градус густина нанокompозитів знижується на $0,74$ кг/м³, а для $T = 440$ К – на $4,3$ кг/м³, тобто темп зниження густини зріс майже в шість разів. Зазначений характер зміни густини нанокompозитів зі зростанням температури типовий для всіх значень швидкості змішування компонент у розплаві полімеру.

Щодо залежності густини нанокompозиту від тривалості змішування, то тут звертають увагу на такі особливості. В цілому, зі збільшенням часу змішування τ густина нанокompозитів зростає, проте швидкість цього зростання суттєво різна на різних часових інтервалах. Так, при зміні від 5 до 20 хвилин має місце поступове зростання густини нанокompозиту із середньою швидкістю $1,7$ кг/м³ за кожен хвилину змішування. При збільшенні часу змішування від 20 до 27 хвилин спостерігається максимальна швидкість зростання густини ($5,7$ кг/м³ за хвилину). Однак при подальшому збільшенні тривалості змішування (від 27 до 52 хвилин) швидкість зміни густини різко знижується і виявляється в десятки разів нижче, ніж на попередньому інтервалі

часу (наприклад, для $T = 400 \text{ K}$ – у 38 разів). При цьому величина густини змінюється незначно, лише на 0,4 %. Це свідчить про те, що для досліджуваних умов величина часу змішування $\tau = 27$ хвилин є граничним раціональним значенням цього параметра, що дозволяє уникнути невиправданих додаткових енерговитрат.

Висновки. Проведено дослідження впливу тривалості змішування компонентів у розплаві полімеру на густину наноконпозиційних матеріалів для різних значень температури композиту. Виявлені характерні закономірності зміни густини наноконполитів зі збільшенням часу змішування можуть бути джерелом інформації, необхідної для визначення раціональних значень режимних параметрів розроблюваної технології, які впливають на її енергетичні характеристики.

Література

1. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние типа полимерной матрицы на теплофизические свойства и структурообразование полимерных наноконполитов. Технологические системы. 2016. №3(76). С. 49-60.
2. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Температурные зависимости коэффициентов теплопроводности полимерных микро- и наноконполитов для теплообменных аппаратов. Промышленная теплотехника. 2016. №1. С. 5-14.
3. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Теплофизические характеристики высокотеплопроводных полимерных микро- и наноконполитов. Промышленная теплотехника. 2015. №5. С.5-15.

4. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Навродська Р.О. Теплофізичні властивості і структуроутворення полімерних мікро- і нанокомпозиційних матеріалів. Миколаїв: СПД Румянцева Г.В., 2020. 142 с.
5. Дінжос Р.В., Лисенков Е.А., Фіалко Н.М. Вплив технології виготовлення та типу наповнювача на теплофізичні властивості нанокомпозиту на основі поліпропілену. Вопросы химии и химической технологии. 2015. 5. С.56-61.
6. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Дінжос Р.В., Шевчук С.І., Меранова Н.О., Гнедаш Г.О. Ефективність використання полімерних мікро- і нанокомпозиційних матеріалів в теплоутилізаційних технологіях. Миколаїв: СПД Румянцева Г.В., 2020. 128 с.
7. Фіалко Н.М., Навродська 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.
8. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В. Теплофизические основы создания полимерных микро- и нанокомпозитов для элементов энергетического оборудования. Промышленная теплотехника, 2015. №7. С.172-176.
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. Фізика інженерії поверхні. 2014. Т.12. №4. С. 446-453.
10. Долинский А.А., Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние методов получения полимерных микро- и нанокомпозитов на их теплофизические свойства. Промышленная теплотехника. 2015. №4. С. 5-12.

11. Фіалко Н.М., Дінжос Р.В., Навродська Р.А. Полимерные микро- и нанокомпозиты как объекты теплофизических исследований для элементов теплоэнергетического оборудования. Промышленная теплотехника, 2017. №2. С. 36-45.
12. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Navrodska R., Izvorska D., Korzhyk V., Lazarenko M., Koseva N. Study of the temperature regime effect of obtaining nanocomposites on their heat-conducting properties. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. 4 №5 (112). P. 21–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236915>
13. 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.
14. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Alosko S., Izvorska D., Korzhyk V., Lazarenko M., Mankus I., Nedbaievskia L. Establishment of regularities of influence on the specific heat capacity and temperature conductivity of polymer nanocomposites of a complex of defining parameters. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. 6 №12 (114). P. 34-39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245274>