

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.3.3>

УДК 678.06:
622

ІСКАНДАРОВА Р. Ш., СЛЄПЦОВА О. О.,
ПУШКАРЬОВ Д. В., ОСАУЛЕНКО С. І.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ВИСОКОНАПОВНЕНІ КОМПОЗИТИ В ТЕХНОЛОГІЯХ ПОЛІМЕРНОГО ПАКУВАННЯ

Мета дослідження. Дослідження можливостей застосування високонаповнених полімерних композитів в технологічних процесах полімерного пакування.

Методи дослідження: Визначали основні фізико-механічні властивості дослідних зразків – міцність та відносне видовження при розриві за ISO 527-2:2012, густину за ISO 1183-1:2019. Визначення показника текучості розплаву композитів проводили згідно ISO 1133:1997 на капілярному віскозиметрі постійного тиску при температурі $(190 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ та масі вантажу 2,16 кг. Ефект пам'яті форми оцінювали за значенням коефіцієнту незминання, визначеним методом орієнтованого зминання.

Результати. Введення наповнювача на основі мінерального карбонату кальцію в поліетилен низької густини в кількості більше 30% мас. зумовлює отримання полімерного композиту, що володіє «папероподібним ефектом». Даний матеріал є перспективним для застосування у пакувальній галузі промисловості для виготовлення багатошарової упаковки для харчових продуктів. Введення значної кількості наповнювача дозволяє знизити частку використання нафтової сировини, що є економічно та екологічно вигідно. Попереднє висушування застосовуваного наповнювача забезпечує задовільний рівень фізико-механічних властивостей композиту. Введення до 5% мас. компатибілізатору – прищепленого співполімеру поліетилену та малеїнового ангідриду забезпечує взаємодію між наповнювачем та полімерною матрицею, що позитивно відображається на збереженні механічних властивостей композиту.

Наукова новизна. Встановлено залежність фізико-механічних властивостей високонаповненого полімерного композиту на основі поліетилену від вмісту наповнювача, його вихідної вологості та наявності компатибілізатору в системі.

Практична значимість. Встановлено склад високонаповненого полімерного композиту на основі поліетилену, що володіє «папероподібним ефектом» та має задовільні фізико-механічні властивості і може застосовуватись для виготовлення упаковки.

Ключові слова: поліетилен; наповнювач; високонаповнені композити; компатибілізатор; папероподібний ефект; пакування.

Вступ. Композити – це об'ємне монолітне штучне поєднання різноманітних за формою і властивостями двох і більше компонентів, з чіткою межею розділу фаз, що використовує переваги кожного з компонентів і виявляє нові властивості, обумовлені граничними процесами. Зазвичай композити складаються з полімерної матриці, армованої наповнювачами різної природи, виду, походження, чи їх комбінацією [1]. Шляхом підбору складу і властивостей наповнювача і матриці, їх співвідношення, орієнтації наповнювача, можна отримати матеріал з необхідним поєднанням експлуатаційних і технологічних характеристик. Метою створення композиту є досягнення комбінації властивостей, не властивих кожному з вихідних матеріалів окремо.

Висконаповнені композити містять від 40% мас. наповнювача чи комбінацію наповнювачів різного типу. Метою створення високонаповнених композитів є здешевлення готової продукції на їх основі, при умові застосування наповнювача значно дешевшого за полімерну матрицю. Наприклад, це композити на основі поліолефінів, наповнені карбонатом кальцію [2]. Також наповнювач, при його значному вмісті в композиті, відіграє роль функціональної добавки – надає композиту певних властивостей – змінює густину, покращує фізико-механічні та технологічні властивості [3–4]. Особливо при застосування

компатибілізаторів, що покращують взаємодію полімеру та наповнювача [5], а також використовуючи різні способи обробки наповнювача [6].

В пакувальній галузі відомий полімерний композит під торговою маркою «Еколін», який з'явився на ринку років 20 назад в Швеції [7]. Це плівковий композит, що містить біополімер та наповнювач, застосовується для пакування молокопродуктів – сиркові маси, масло, тощо. Даний матеріал ще називають «полімерний папір» [8]. Основні переваги такого матеріалу – хороші тактильні властивості, матова поверхня, тримання форми, допуск до контакту з харчовими продуктами, здатність до нанесення друку, тощо [9].

Створення високонаповненого полімерного композиту з ефектом «полімерного паперу» на основі поліолефінів та карбонату кальцію є актуальною задачею в розвитку пакувальних матеріалів. Тактильні відчуття, подібні до паперу є популярним трендом у пакуванні та асоціюються у споживачів з природністю та натуральністю упаковки.

Постановка завдання. Важливими тенденціями розвитку пакувальної галузі є потреба в новітніх властивостях та підвищена увага до екологічності. Дане питання може бути вирішено шляхом створення високонаповнених полімерних композитів, придатних до застосування в технологіях полімерного пакування. Метою роботи було дослідження можливостей застосування високонаповнених полімерних композитів в технологічних процесах полімерного пакування.

Вихідні матеріали та методи. Для досліджень було використано поліетилен низької густини марки Sabic HP 2023np. Як наповнювач застосовували мінеральний карбонат кальцію марок Omyacarb 2KA – класичний необроблений (1), Omyacarb 2T-KA – оброблений стеарином (2) та Omyatax 92-KA – оброблений не стеарином (3).

Наповнювачі компаундували у концентрат з вмістом 60% мас. без додаткових доданків на двошнековому екструдері з діаметром шнеку 22 мм, співвідношенням L/D = 40, при швидкості 250 об/хв і продуктивності 4,5 кг/год. Температурний профіль – 160 – 200 – 190 – 190°C. Отриманий концентрат використовували для виготовлення композицій з вмістом наповнювача 5–50% мас. у вигляді рукавної плівки товщиною 50 мкм з діаметром рукава 100мм на лабораторній лінії марки SCM Film blowing machine з діаметром шнеку D = 20 мм L/D = 28. Діаметр фільтри 40 мм. Температурний профіль – 160 – 190 – 180 – 180 – 185 – 190°C. Швидкість обертання шнеку 50 об/хв, продуктивність 2,2 кг/год.

Як компатибілізатор було використано прищеплений співполімер поліетилену та малеїнового діангідрид в кількості 2 – 3 – 5% мас.

Перед випробуванням плівки витримували 1 добу при кімнатних умовах.

Стандартні зразки для випробування на розривній машині P-50 виготовляли методом висікання на пресі. Визначали міцність при розтязі та відносне видовження при розриві плівкових зразків в повздовжньому напрямку формування плівки за ISO 527-2:2012. Густина визначали з допомогою аналітичних вагів RADWAG з опцією гідростатичного зважування згідно ISO 1183-1:2019.

Здатність до ефекту пам'яті форми оцінювали методом орієнтованого зминання. Сутність орієнтованого методу полягає в тому, що зразок плівки вирізують Т-подібної форми, який складається по лінії між широкою і вузькою частинами, пробу згинають під кутом 180°, навантажують протягом 15 хв тиском $9,8 \cdot 10^4$ Па. Через 5 хв після зняття навантаження визначають коефіцієнт незминання за формулою [10]:

$$K = 100\alpha / 180, \quad (1)$$

де α – кут відновлення зразка, після зняття навантаження.

Результати досліджень. Плівкові матеріали, отримані методом роздуву випробовували на механічні властивості при розтязі. Введення наповнювача призводить до зростання густини матеріалів, що суттєво впливає на масові питомі показники, а саме вагу

погонного метра. Економічні показники створюваних композитів, особливо високонаповнених, доцільно оцінювати з врахуванням ефекту зростання густини та ваги одиниці продукції. Фізико-механічні властивості досліджуваних композицій наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості досліджуваних композицій

№ п/п	Склад композиції	Густина, г/см ³ (розрахована/виміряна) (в залежності від виду наповнювача)			Міцність при розтязі, МПа (в залежності від виду наповнювача)			Відносне видовження при розриві, % (в залежності від виду наповнювача)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	ПЕ	0,923			17,2			630		
2	ПЕ + 5% мас. наповнювача	1,017/ 0,992	1,017/ 0,996	1,017/ 1,005	16,4	16,9	17,2	450	650	660
3	ПЕ + 10% мас. наповнювача	1,106/ 1,041	1,106/ 1,038	1,106/ 1,064	14,3	16,4	17,1	310	600	630
4	ПЕ + 20% мас. наповнювача	1,286/ 1,232	1,286/ 1,253	1,286/ 1,268	12,3	15,2	15,8	160	510	580
5	ПЕ + 30% мас. наповнювача	1,465/ 1,405	1,465/ 1,423	1,465/ 1,458	8,3	11,2	13,6	170	400	470
6	ПЕ + 40% мас. наповнювача	1,644/ 1,613	1,644/ 1,612	1,644/ 1,640	7,4	10,3	13,1	180	370	460
7	ПЕ + 50% мас. наповнювача	1,824/ 1,775	1,824/ 1,791	1,824/ 1,793	7,1	10,2	12,1	140	320	430
8	Папір А4	0,7			4,5			2		

Примітки: 1 – необроблений наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію; 2 – наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію, оброблений стеарином; 3 – наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію, оброблений не стеарином.

Розрахункову густину композицій визначали за формулою для суміші [11]:

$$\rho_c = \rho_1 x_1 + \rho_2 x_2, \quad (2)$$

де ρ_c – густина композиції, кг/м³;

ρ_1, ρ_2 – густини компонентів композиції, г/см³;

x_1, x_2 – масові частки компонентів композиції.

Розрахункова густина для наповнювача складає 2,71 г/см³ згідно довідкових даних [12].

Наповнювач на основі карбонату кальцію використовується в різних галузях промисловості. Для застосування в полімерній галузі наповнювач часто поверхнево обробляють. В процесі подрібнення на поверхню наповнювача наносять поверхневу добавку – стеаринову кислоту, вазелін, силани, похідні титану та цирконію. Традиційний спосіб обробки наповнювача – це стеаринова обробка. Нестеаринова обробка – інноваційний підхід при виготовленні наповнювача для полімерних композицій.

Густина зразків з необробленою крейдою нижча за розрахункову, що зумовлено утворення пористої структури у пограничному шарі між наповнювачем та полімером при орієнтаційному витягуванні в процесі формування плівки. У випадку обробленої крейди, зокрема не стеарином, виміряна густина близька до розрахункової, через краще змочування частинки наповнювача полімерною матрицею.

Обробка поверхні наповнювача на основі мінерального карбонату кальцію впливає на ефективність змочування та утворення інтерфейсних шарів, котрі можуть містити дефекти у

вигляді пор або комірок (рис. 1). Комірки заповнюються газоподібними продуктами, що виділяються з наповнювача.

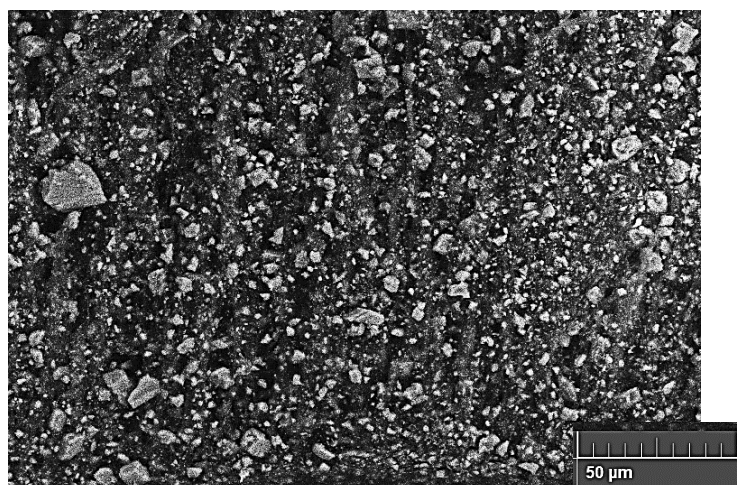


Рис. 1. СЕМ зображення поверхні плівки ПЕ, наповненої наповнювачем на основі мінерального карбонату кальцію

Крім того, на густину плівки, наповненої наповнювачем на основі мінерального карбонату кальцію впливає також вологість вихідного наповнювача. Через свою пористу структуру частинки наповнювача добре сорбують вологу, яка в процесі формування плівки випаровується та забезпечує також утворення пористої структури в плівці, що знижує її густину (табл. 2).

Таблиця 2

**Фізико-механічні властивості досліджуваних композицій
 в залежності від вологості наповнювача**

№ п/ п	Склад композиції	Густина, г/см ³ (розрахована/виміряна) (в залежності від виду наповнювача)			Міцність при розтязі, МПа (в залежності від виду наповнювача)			Відносне видовження при розриві, % (в залежності від виду наповнювача)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	ПЕ	0,923			17,2			630		
Попередньо висушений наповнювач										
2	ПЕ + 10% мас. наповнювача	1,106/ 1,041	1,106/ 1,038	1,106/ 1,064	14,3	16,4	17,1	310	600	630
3	ПЕ + 30% мас. наповнювача	1,465/ 1,405	1,465/ 1,423	1,465/ 1,458	8,3	11,2	13,6	170	400	470
4	ПЕ + 50% мас. наповнювача	1,824/ 1,775	1,824/ 1,791	1,824/ 1,793	7,1	10,2	12,1	140	320	430
Несушений наповнювач										
5	ПЕ + 10% мас. наповнювача	1,106/ 1,012	1,106/ 1,026	1,106/ 1,051	12,1	14,2	16,1	160	380	480
6	ПЕ + 30% мас. наповнювача	1,465/ 1,310	1,465/ 1,405	1,465/ 1,428	6,2	10,4	12,9	80	230	380
7	ПЕ + 50% мас. наповнювача	1,824/ 1,626	1,824/ 1,721	1,824/ 1,783	6,4	9,6	11,6	55	200	320

Примітки: 1 – необроблений наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію; 2 – наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію, оброблений стеарином; 3 – наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію, оброблений не стеарином.

Наявність вологи у наповнювачі під час формування плівки призводить до суттєвого зменшення видовження, міцності та густини, що пояснюється утворенням дефектів структури. Виробництво високонаповнених композитів обов'язково повинно супроводжуватись попереднім висушуванням компаунду чи концентрату.

Найбільше зменшення густини помітно для необробленого наповнювача, що пов'язано з покращеною його сорбційною здатністю. Для наповнювача, обробленого не стеарином спостерігається найменший вплив вологи, оскільки обробка захищає від сорбції вологи.

Міцність плівок з несущим наповнювачем також знижується, через дефекти в структурі, викликані надлишковою вологою.

Таким чином, перед переробкою обов'язково сушити наповнювач, особливо у випадку високонаповнених композицій, для отримання задовільних фізико-механічних властивостей готових виробів. Використовуючи різні види крейди можна регулювати густину плівок та їх механічні властивості в заданому напрямку.

Введення необробленої крейди приводить до зниження і міцності і відносного видовження зразка. Але паралельно знижується різниця між значеннями властивостей в повздовжньому та поперечному напрямках формування плівки, тобто знижується анізотропія властивостей плівки, що позитивно позначається на експлуатації виробів з таких матеріалів. З іншої сторони, застосування обробленої крейди розширює зону несуттєвого зниження властивостей при значному вмісті наповнювача, що дозволяє зекономити полімерну сировину без суттєвого погіршення експлуатаційних властивостей матеріалу. Так введення 20% мас. необробленої крейди знижую відносно видовження плівки в 4 рази, а обробленої не стеарином – лише на 10%.

Під час виробництва плівки методом видувної екструзії відбувається орієнтація надмолекулярної структури полімеру в напрямку дії деформації. Поряд з орієнтацією відбуваються процеси утворення нової надмолекулярної структури – сферолітів та ін. кристалічних форм. Сфероліти значних розмірів порівняно з товщиною плівки є дефектами структури. Наявність наповнювача чинить нуклеюючий вплив – відбувається утворення сферолітів меншого розміру, що позитивно впливає на механічні властивості плівки.

Невеликі вмісти наповнювача підвищують теплопровідність композиції, що впливає на процеси кристалізації під час формування плівки.

Введення необробленого наповнювача знижує текучість композиції. Проте використання обробленого наповнювача, особливо не стеарином дозволяє навпаки підвищити текучість, за рахунок добавки, як виступає як внутрішній змащувач в композиції (табл. 3).

Таблиця 3

Текучість композицій в залежності від виду наповнювача

№ п/ п	Склад композиції	ПТР, г/10 хв (в залежності від виду наповнювача)		
		1	2	3
1	ПЕ	2,30		
2	ПЕ + 10% мас. наповнювача	2,10	2,42	2,51
3	ПЕ + 30% мас. наповнювача	1,05	1,41	1,82
4	ПЕ + 50% мас. наповнювача	0,31	0,35	0,62

Примітки: 1 – необроблений наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію; 2 – наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію, оброблений стеарином; 3 – наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію, оброблений не стеарином.

Питомі міцність – це міцність матеріалу віднесена до його густини. Показує, наскільки міцною буде матеріал при заданому обмеженні на масу. Питомі значення міцності

досліджених композицій знижуються, через зростання густини зразків при збільшенні вмісту наповнювача (табл. 4).

Таблиця 4

Значення питомої міцності для досліджених зразків

№ п/п	Склад композиції	Питома міцність, $\cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}^2$ (відносно розрахованої/вимірної густини) (в залежності від виду наповнювача)		
		1	2	3
1	ПЕ	18,6		
2	ПЕ + 10% мас. наповнювача	12,9/13,7	14,8/15,8	15,5/16,1
3	ПЕ + 30% мас. наповнювача	5,7/5,9	7,6/7,9	9,3/9,3
4	ПЕ + 50% мас. наповнювача	4,0/4,0	5,6/5,7	6,6/6,7

Примітки: 1 – необроблений наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію; 2 – наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію, оброблений стеарином; 3 – наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію, оброблений не стеарином.

Отже, введення до 20% мас крейди дозволяє отримувати плівки з задовільними фізико-механічними властивостями внаслідок орієнтаційного витягування, що компенсує присутність наповнювача.

Для зразків з вмістом наповнювача вище 30% мас. було помічено появу «папероподібного ефекту». Зокрема плівки мають матову поверхню, ефект «soft touch» на дотик, утримують рисунок нанесений фарбою, не шарудять при зминанні і характеризуються ефектом пам'яті форми, що властиво паперу. Ефект пам'яті форми характеризували за коефіцієнтом незминання (табл. 5) – чим більше значення коефіцієнту, тим гірший ефект пам'яті форми.

Таблиця 5

Коефіцієнт незминання досліджуваних композицій

№ п/п	Склад композиції	Коефіцієнт незминання, % (в залежності від виду карбонату кальцію)		
		1	2	3
1	ПЕ	90		
4	ПЕ + 20% мас. наповнювача	56	60	58
5	ПЕ + 30% мас. наповнювача	43	45	42
6	ПЕ + 40% мас. наповнювача	30	33	32
7	ПЕ + 50% мас. наповнювача	24	23	25
8	Папір	8,7		

Примітки: 1 – необроблений наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію; 2 – наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію, оброблений стеарином; 3 – наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію, оброблений не стеарином.

Необроблений наповнювач дає вище значення коефіцієнту незминання при вмісті 50% мас. Зразки з «папероподібним ефектом» володіють зниженими фізико-механічними характеристиками, через високий вміст наповнювача, які можна покращити шляхом введення в склад матеріалу компатибілізатору – добавки, яка покращує сумісність полімеру та наповнювача – прищепленого співполімеру поліетилену та малеїнового ангідриду (ПЕ-МА) (табл. 6).

Наповнювач у цьому випадку обов'язково попередньо висушувати, оскільки ПЕ-МА чутливий до надлишкової вологи і здатен гідролізуватися в розплаві, що знижує його ефективність. Прищеплений співполімер поліетилену та малеїнового діангідрид хімічно

взаємодіє з наповнювачем (рис. 2), що в результаті підвищує адгезію між наповнювачем та полімером і покращує механічні властивості плівки.

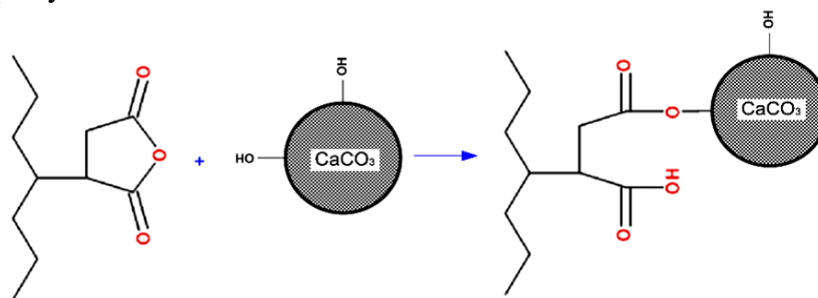


Рис. 2. Схема взаємодії компатибілізатора та наповнювача

Таблиця 6

Фізико-механічні властивості композицій з компатибілізатором

№ п/п	Склад композиції	Густина, г/см ³ (розрахована/виміряна) (в залежності від виду карбонату кальцію)			Міцність при розтязі, МПа (в залежності від виду карбонату кальцію)			Відносне видовження при розриві, % (в залежності від виду карбонату кальцію)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	ПЕ	0,923			17,2			630		
2	ПЕ + 40% мас. наповнювача + 2% ПЕ-МА	1,644/ 1,614	1,644/ 1,615	1,644/ 1,643	7,3	10,4	13,2	210	390	460
3	ПЕ + 40% мас. наповнювача + 3% ПЕ-МА	1,644/ 1,613	1,644/ 1,616	1,644/ 1,642	7,2	10,6	13,3	260	440	480
4	ПЕ + 40% мас. наповнювача + 5% ПЕ-МА	1,644/ 1,614	1,644/ 1,620	1,644/ 1,643	7,3	10,7	13,1	310	460	510
5	ПЕ + 50% мас. наповнювача + 2% ПЕ-МА	1,824/ 1,778	1,824/ 1,792	1,824/ 1,793	7,7	11,3	12,7	210	340	440
6	ПЕ + 50% мас. наповнювача + 3% ПЕ-МА	1,824/ 1,777	1,824/ 1,793	1,824/ 1,795	7,6	11,1	12,8	270	380	450
7	ПЕ + 50% мас. наповнювача + 5% ПЕ-МА	1,824/ 1,779	1,824/ 1,794	1,824/ 1,799	7,2	11,4	12,6	260	390	460
Несушений наповнювач										
	ПЕ + 50% мас. наповнювача + 5% ПЕ-МА	1,824/ 1,631	1,824/ 1,742	1,824/ 1,785	6,7	9,9	11,8	92	280	370

Примітки: 1 – необроблений наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію; 2 – наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію, оброблений стеарином; 3 – наповнювач на основі мінерального карбонату кальцію, оброблений не стеарином.

В результаті хімічної взаємодії ПЕ-МА з наповнювачем відбувається розкриття ангідридного циклу та взаємодія з гідроксильними групами на поверхні наповнювача.

Застосування високонаповнених композитів найбільш доцільно у складі багатошарових структур, отриманих за технологією співекструзії, що дозволяє одержувати багатошарові композити з високими фізико-механічними характеристиками. Складові шари багатошарової системи можуть виконувати різне завдання у складі структури. Високі фізико-механічні властивості забезпечуються шаром без наповнювача. Застосування наповнювача в кількості 40-50% мас дозволяє ефективно здешевлювати готову продукцію за рахунок економії дорогої нафтової сировини. Також високий вміст наповнювача зумовлює появу «папероподібного ефекту» що відкриває нові можливості в пакувальній галузі.

Висновки. Введення наповнювача на основі мінерального карбонату кальцію в поліетилен низької густини в кількості більше 30% мас. зумовлює отримання полімерного композиту, що володіє «папероподібним ефектом». Даний матеріал є перспективним для застосування у пакувальній галузі промисловості для виготовлення упаковки для молочних продуктів. Введення значної кількості наповнювача дозволяє знизити частку використання нафтової сировини, що є економічно та екологічно вигідно. Відмінність значень розрахованої та вимірної густини композитів ймовірно пов'язана з утворенням інтерфейсних шарів на поверхні наповнювача в наслідок неповного або часткового змочування розплавом полімеру наповнювача. Одночасно, в процесі видувного формування, рукав підлягає двовісній орієнтації полімеру в частково розплавленому стані, що також призводить до утворення комірок навколо часток наповнювача. Частки наповнювача можуть містити газоподібні речовини, наприклад воду, сорбовану структурою наповнювача, що має природну мікропористу структуру, яка здатна утримувати вологу та виділяти її під час термопластичної переробки композиту. Для забезпечення задовільного рівня фізико-механічних властивостей отриманого композиту необхідно обов'язково проводити процес попереднього висушування застосовуваного наповнювача. Крім того, в склад композиту потрібно вводити до 5% мас. компатибілізатору – прищепленого співполімеру поліетилену та малеїнового ангідриду, який забезпечує взаємодію між наповнювачем та полімерною матрицею, що позитивно відображається на збереженні механічних властивостей композиту.

References

Література

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. Deborah, D. L. (2003). <i>Chung Composite Materials Functional Materials for Modern Technologies</i>. London, Springer. 348 p.</p> <p>2. Saitarly, S., Rezanova, N., Plavan, V., Beleška, K. (2019). Rheological and mechanical properties of filled with calcite concentrate polypropylene blends. <i>IOP Conference Series: Materials Science and Engineering</i>, 500(1), 012034.</p> <p>3. Sova, N. V., Savchenko, B. M., Plavan, V. P., Biloshenko, V. O. (2017). <i>Sposoby stvorennia ekolohichno bezpechnoi polimernoї upakovky v Ukraini [Methods of creating ecologically safe polymer packaging in Ukraine]</i>. <i>Upakovka</i>, № 5, P. 31–34 [in Ukrainian].</p> <p>4. Sova, N. V., Savchenko, B. M., Khomenko, V. H., Talalai, O. V. (2018). <i>Doslidzhennia osoblyvostei pryskorenogo rozkladu vtorynnykh poliiolefiniv [Study of features of accelerated decomposition of secondary polyolefins]</i>. <i>Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya Tekhnichni nauky = Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and</i></p> | <p>1. Deborah D. L. <i>Chung Composite Materials Functional Materials for Modern Technologies</i>. London: Springer, 2003. 348 p.</p> <p>2. Saitarly S., Rezanova N., Plavan V., Beleška K. Rheological and mechanical properties of filled with calcite concentrate polypropylene blends. <i>IOP Conference Series: Materials Science and Engineering</i>. 2019. 500(1). 012034.</p> <p>3. Сова Н. В., Савченко Б. М., Плаван В. П., Білошенко В. О. Способи створення екологічно безпечної полімерної упаковки в Україні. <i>Упаковка</i>. 2017. № 5. С. 31–34.</p> <p>4. Сова Н. В., Савченко Б. М., Хоменко В. Г., Талалай О. В. Дослідження особливостей прискороного розкладу вторинних поліолефінів. <i>Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки</i>. 2018. № 3 (122). С. 32–37.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Design. Series Technical sciences, № 3 (122), P. 32–37 [in Ukrainian].

5. Wang, Zhao Xia et al. (2012). Effects of Coupling Agents on the Mechanical Properties of the Calcium Carbonate-Plastic Composite Packaging Materials. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 200, Trans Tech Publications, Ltd., Oct. 2012, P. 321–324. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.200.321.

6. Li, Cq., Liang, C., Chen, Zm. et al. (2021). Surface modification of calcium carbonate: A review of theories, methods and applications. *J. Cent. South Univ.*, 28, 2589–2611. <https://doi.org/10.1007/s11771-021-4795-6>.

7. Rozumnyy papir “Ecolin” [Ecolin smart paper]. URL: <http://www.specpaper.com/index.php/umnaya-bumaga/17-magazin> [in Ukrainian].

8. Stefanski, W., Czerniawski, B. (2001). Ecolean – nowy proekologiczny material opakowaniowy do pakowania produktow spozywczych [Ecolean – a new environmentally friendly packaging material for packaging food products]. *Fermentation and Fruit and Vegetable Industry*, 45(7), S. 12–13. URL: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.agro-article-9c849b4e-e49a-4762-a2e6-c58ed49a68d7> [in Polish].

9. Ecolin – Rozumna papir [Ecolin – Smart paper]. URL: <https://superdar.com.ua/ua/p560948160-ekolin-umnaya-bumaga.html> [in Ukrainian].

10. Suprun, N. P., Vashchenko, Yu. O., Lytvynova, O. I. (compilers) (2014). Materialoznastvo: metodychni rozrobky za kursom «Materialoznastvo» dlia studentiv dennoi ta zaочноi form navchannia napriamu pidhotovky 6.051602 «Tekhnolohiia vyrobiv lehkoi promyslovosti» spetsialnosti Konstruiuvannia ta tekhnolohii shveinykh vyrobiv» [Materials science: methodological developments for the course "Materials science" for students of full-time and part-time forms of education in the field of training 6.051602 "Technology of light industry products"]. Kyiv: KNUVD. 157 p. [in Ukrainian].

11. Johnson, G., Massoudi, K. M., Rajagopal, R. (1991). Flow of a fluid-solid mixture between flat plates. *Chemical Engineering Science*, Vol. 46, P. 1713–1723.

12. Dovidkovi dani [Reference data]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki> [in Ukrainian].

5. Wang Zhao Xia et al. Effects of Coupling Agents on the Mechanical Properties of the Calcium Carbonate-Plastic Composite Packaging Materials. *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Vol. 200, Trans Tech Publications, Ltd., Oct. 2012. P. 321–324. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.200.321.

6. Li Cq., Liang C., Chen Zm. et al. Surface modification of calcium carbonate: A review of theories, methods and applications. *J. Cent. South Univ.* 2021. 28. 2589–2611. <https://doi.org/10.1007/s11771-021-4795-6>.

7. Розумний папір “Еколін”. URL: <http://www.specpaper.com/index.php/umnaya-bumaga/17-magazin>.

8. Stefanski W., Czerniawski B. Ecolean – nowy proekologiczny material opakowaniowy do pakowania produktow spozywczych. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*. 2001. 45(7). S. 12–13. URL: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.agro-article-9c849b4e-e49a-4762-a2e6-c58ed49a68d7>.

9. Еколін – Розумна папір. URL: <https://superdar.com.ua/ua/p560948160-ekolin-umnaya-bumaga.html>.

10. Матеріалознавство: методичні розробки за курсом «Матеріалознавство» для студентів денної та заочної форм навчання напряду підготовки 6.051602 «Технологія виробів легкої промисловості» спеціальності «Конструювання та технології швейних виробів». Упор.: Н. П. Супрун, Ю. О. Ващенко, О. І. Литвинова. К.: КНУТД, 2014. 157 с.

11. Johnson G., Massoudi K. M., Rajagopal R. Flow of a fluid-solid mixture between flat plates. *Chemical Engineering Science*. 1991. Vol. 46. P. 1713–1723.

12. Довідкові дані. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.

ISKANDAROV RUSLAN

Department of Applied Ecology, Technology
of Polymers and Chemical Fibers,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2164-0061>
E-mail: iskandarov.r.sh@gmail.com

SLIPTSOV ALEKSANDR

PhD, Assistant, Department of Applied Ecology,
Technology of Polymers and Chemical Fibers,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
Scopus Author ID: 57189215952
E-mail: slyepcov.oo@knuvd.edu.ua

PUSHKAROV DENIS

Postgraduate student, Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

OSAULENKO SERHIJ

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

ИСКАНДАРОВ Р. Ш., СЛЕПЦОВ А. О., ПУШКАРЕВ Д. В., ОСАУЛЕНКО С. И.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫ КОМПЗИТЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПОЛИМЕРНОЙ УПАКОВКИ

Цель исследования. Исследование возможностей применения высоконаполненных полимерных композитов в технологических процессах полимерной упаковки.

Методы исследования: Определяли основные физико-механические свойства опытных образцов – прочность и относительное удлинение при разрыве по ISO 527-2:2012, плотность по ISO 1183-1:2019. Определение показателя текучести расплава композитов проводили согласно ISO 1133:1997 на вискозиметре капиллярном постоянного давления при температуре $(190 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ и массе груза 2,16 кг. Эффект памяти формы оценивали по значению коэффициента неизменения, определенному методом ориентированного замятия.

Результаты. Введение наполнителя на основе минерального карбоната кальция в полиэтилен низкой плотности в количестве более 30% масс. обуславливает получение полимерного композита, обладающего «бумажным эффектом». Данный материал перспективен для применения в упаковочной отрасли промышленности для изготовления многослойной упаковки для пищевых продуктов. Введение значительного количества наполнителя позволяет снизить долю использования нефтяного сырья, что экономически и экологически выгодно. Предварительное высушивание применяемого наполнителя обеспечивает удовлетворительный уровень физико-механических свойств композита. Введение до 5% масс. компатибилизатор – привитый сополимер полиэтилена и малеинового ангидрида обеспечивает взаимодействие между наполнителем и полимерной матрицей, что положительно отражается на сохранении механических свойств композита.

Научная новизна. Установлена зависимость физико-механических свойств высоконаполненного полимерного композита на основе полиэтилена от содержания наполнителя, его исходной влажности и компатибилизатора в системе.

Практическая значимость. Установлен состав высоконаполненного полимерного композита на основе полиэтилена, обладающего «бумажным эффектом» и обладает удовлетворительными физико-механическими свойствами и может применяться для изготовления упаковки.

Ключевые слова: полиэтилен; наполнитель; высоконаполненные композиты; компатибилизатор; бумажный эффект; упаковка.

ISKANDAROV R. Sh., SLIEPTSOV A. O., PUSHKAROV D. V., OSAULENKO S. I.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

HIGHLY FILLED COMPOSITES IN POLYMER PACKAGING TECHNOLOGIES

Purpose. Creation of highly filled polymer composites suitable for use in polymer packaging technologies.

Methodology. The main physical and mechanical properties of the test samples were determined – strength and relative elongation at break according to ISO 527-2:2012, density according to ISO 1183-1:2019. Determination of the melt flow index of composites was carried out according to ISO 1133:1997 on a capillary viscometer of constant pressure at a temperature of $(190 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ and a load weight of 2.16 kg. The effect of shape memory was evaluated by the non-creasing coefficient value determined by the method of oriented creasing.

Findings. Introduction of a filler based on mineral calcium carbonate into low-density polyethylene in an amount of more than 30% by weight. leads to obtaining a polymer composite with a "paper-like effect".

This material is promising for use in the packaging industry for the production of multilayer packaging for dairy products. The introduction of a significant amount of filler allows to reduce the use of petroleum raw materials, which is economically and environmentally beneficial. Preliminary drying of the applied filler ensures a satisfactory level of physical and mechanical properties of the composite. Introduction of up to 5% by mass. compatibilizer – a grafted copolymer of polyethylene and maleic anhydride provides interaction between the filler and the polymer matrix, which positively affects the mechanical properties of the composite.

Originality. *The dependence of the physical and mechanical properties of the highly filled polymer composite based on polyethylene on the content of the filler, its initial humidity and the presence of a compatibilizer in the system was established.*

Practical value. *The composition of a highly filled polymer composite based on polyethylene, which has a "paper-like effect" and has satisfactory physical and mechanical properties, has been established and can be used for the manufacture of packaging.*

Keywords: *polyethylene; filler; highly filled composites; compatibilizer; paper-like effect; packaging.*