

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2025.5.9>

Received: 03.09.2025

Revised: 20.10.2025

Accepted: 22.10.2025

УДК 678.72.43

Любомир РОЗВОРА, Олександр СЛЄПЦОВ,
Богдан САВЧЕНКО, Надія СОБА, Богдан САВЧУК
Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБУ ВВЕДЕННЯ НАПОВНЮВАЧА НА ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ПЛІВОК

Мета. встановлення впливу способу введення мінерального наповнювача на основі карбонату кальцію на механічні властивості поліетиленових плівок та визначення ефективнішого технологічного підходу до їх виготовлення.

Методика. Використано методи літературно-системного аналізу наукових публікацій за тематикою дослідження для узагальнення існуючих даних та вибору напрямку досліджень. Механічні властивості досліджуваних плівкових зразків визначали згідно ДСТУ EN ISO 527-3:2017.

Результати. Стаття присвячена дослідженню впливу способу введення наповнювача на властивості поліетиленових плівок на основі лінійного поліетилену та поліетилену низької густини. В ході досліджень було отримано дослідні зразки поліетиленових плівок, що містили наповнювач на основі природнього карбонату кальцію в кількості 10-50% мас. Для введення наповнювача застосовувались дві технології – введення через компаунд та концентрат. Аналіз результатів дослідження механічних властивостей отриманих плівок показав, що технологія введення наповнювача через компаунд дозволяє отримати плівки з вищими механічними показниками для обох типів полімерів. Ймовірно це пов'язано з більш рівномірним розподілом наповнювача в об'ємі полімерної матриці.

Наукова новизна. Встановлено, що механічні властивості поліетиленових плівок залежать від способу введення наповнювача в їх структуру. Введення наповнювача методом компаунду в кількості 50% мас. дозволяє в 1,5 рази підвищити значення відносного видовження при розриві та в 1,9 рази – міцності при розриві порівняно з методом введення шляхом використання концентрату.

Практична значимість. Запропоновано технологію введення наповнювача в поліетиленові плівки методом компаунду, яка забезпечує вищий рівень механічних властивостей порівняно з методом введення концентрату.

Ключові слова: поліетиленова плівка; концентрат; компаунди; карбонат кальцію; екструзія; полімерні композити; фізико-механічні властивості.

Вступ. У сучасній промисловості плівки, зокрема поліетиленові, займають важливе місце завдяки своїй універсальності, дешевизні та легкості у виготовленні. Однак однією з основних задач в цій галузі є підвищення ефективності використання наповнювачів, зокрема карбонату кальцію (CaCO_3), для покращення механічних характеристик плівок. Для цього часто застосовують різноманітні концентрати та компаунди, що дозволяють досягти бажаного рівня властивостей без значних втрат у процесах виробництва.

CaCO_3 є одним з найбільш доступних та ефективних наповнювачів для полімерів, особливо поліетилену, завдяки своїй здатності покращувати механічні властивості композитів, знижуючи витрати на первинні чи вторинні матеріали. Дослідження показують, що карбонат кальцію здатний значно підвищити модуль еластичності та міцність поліетиленових плівок, при цьому знижуючи їх подовження при розриві. Однак, це не єдиний аспект, на який слід звернути увагу при розробці композитів з поліетилену та карбонату кальцію.

Автори [1] розглядали мікроефект пластичної деформації при ударному навантаженні на композити поліетилену, армовані 20% карбонатом кальцію. Для дослідження використано методи скануючої електронної мікроскопії та атомно-силової мікроскопії. У результаті проведених порівняльних досліджень між композитом і не армованим

поліетиленом при однакових умовах обробки виявлено суттєві відмінності в механічних властивостях матеріалів.

Основними ефектами, які забезпечує карбонат кальцію при змішуванні з поліетиленом, є армуючий та нуклеюючий ефекти. Армуючий ефект полягає в підвищенні кристалічності та модуля матеріалу, що, в свою чергу, покращує механічні характеристики композиту. Нуклеюючий ефект зменшує розмір сферолітів, що дозволяє досягти більш однорідної структури матеріалу. Це призводить до підвищення ударної міцності композитів у температурному діапазоні від -40 до $+70$ °С.

Таким чином, композити з карбонатом кальцію мають суттєві переваги перед чистим поліетиленом завдяки покращеним механічним властивостям, зокрема підвищеній ударній міцності, що робить їх кращими для використання в умовах високих ударних навантажень. Ці структурні зміни і підвищення механічних властивостей є важливими для обґрунтування економічної доцільності використання готових компаундів для виробництва плівок, оскільки карбонат кальцію сприяє кращій стабільності матеріалу при обробці.

У роботі [2] автори вказують на важливість оптимізації процесу покриття карбонату кальцію стеариновою кислотою для забезпечення належної дисперсії в полімерній матриці. Як було показано, надмірне покриття стеариновою кислотою може негативно впливати на механічні властивості композиту, зокрема знижувати розривну міцність і подовження при розриві. Однак, якщо покриття карбонату кальцію здійснюється в оптимальних пропорціях, то можна досягти досконалого поєднання високої міцності і хороших деформаційних характеристик матеріалу.

Автори [3] дослідили, що оптимальний вміст CaCO_3 у поліпропіленовій матриці становить 20% мас., що забезпечує найкращий баланс між жорсткістю, міцністю та ударною в'язкістю. При вищих концентраціях наповнювача механічні характеристики погіршуються через агломерацію частинок, що призводить до утворення мікропор та зниження когезійної міцності матеріалу.

В процесі використання концентратів часто спостерігається нерівномірне розподілення наповнювачів у полімерній матриці, що може знижувати загальні властивості матеріалу [4].

У випадку з одношнековими екструдерами, які зазвичай використовуються для змішування концентратів, процес гомогенізації матеріалу обмежений. Тому навіть після розплавлення концентрату в екструдері можливі дефекти в розподілі наповнювача, що може призвести до погіршення кінцевих властивостей плівки. У таких процесах значна частина зусиль зосереджена саме на інтенсивному перемішуванні та плавленні, що ускладнює досягнення ідеальної гомогенізації компонентів [5, 6]. Недоліками в цьому випадку є невисока гомогенність, що може призвести до появи дефектів на поверхні плівки та необхідність додаткових затрат на забезпечення стабільності розподілу наповнювача в матеріалі.

Виготовлення компаунду передбачає додавання CaCO_3 безпосередньо до поліетилену в певній пропорції (20–25%). Процес виготовлення таких компаундів включає більш інтенсивне змішування компонентів у двошнекових екструдерах, що дозволяє досягти більш однорідного розподілу наповнювачів [7]. Таким способом забезпечується вища гомогенність розплаву, оскільки компаунд вже є гомогенізованим матеріалом, можна бути впевненим, що весь наповнювач рівномірно розподілений в полімері [8]. Такий матеріал менш схильний до деформацій і непередбачуваних змін під час виготовлення плівки, що дозволяє отримувати стабільну якість кінцевого продукту [9]. Використання готового компаунду дозволяє зменшити витрати на виробництво, оскільки зменшується кількість етапів змішування та додаткових процесів. Завдяки гомогенності компаунду, матеріал має кращі механічні властивості, такі як міцність на розрив, стійкість до деформацій і термічна стабільність. Оскільки компаунд уже підготовлений до плавлення, процес виробництва плівки є більш

ефективним з точки зору енергоспоживання. Готовий компаунд простіше обробляти, оскільки не потрібно додатково змішувати компоненти, що знижує ймовірність помилок в технологічному процесі.

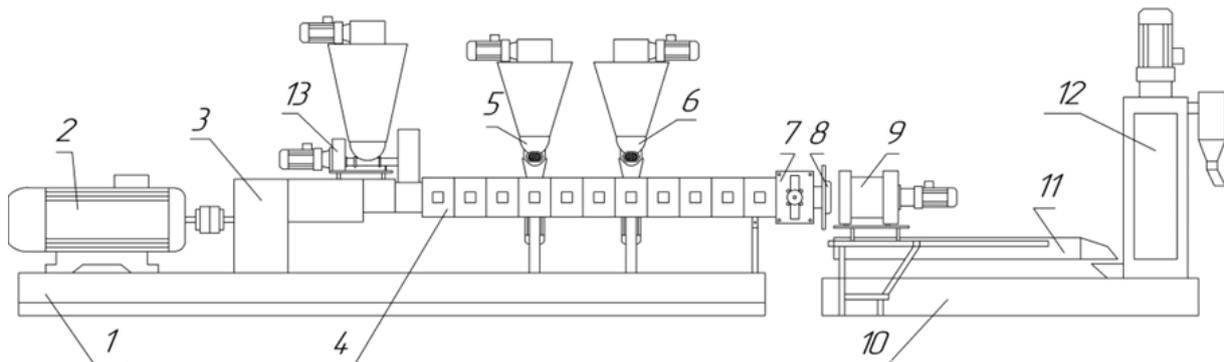
Загалом, сучасні дослідження показують, що правильний підбір наповнювачів, їх розмір і форма, а також оптимізація технологічних параметрів процесу можуть значно покращити механічні та функціональні властивості поліетиленових плівок. Це відкриває нові можливості для створення високоякісних пакувальних матеріалів, що відповідають сучасним екологічним і технологічним вимогам [10].

Постановка завдання. Сучасне виробництво полімерних плівок із поєднанням високих якісних показників та низької собівартості здебільшого базується на застосуванні при їх виготовленні мінеральних наповнювачів. Введення наповнювачів у плівку може здійснюватися шляхом використання компаундів, або через застосування концентратів наповнювачів. Водночас вибір раціонального технологічного підходу виступає ключовим чинником, що визначає рівень якості продукції, стабільність технологічного процесу та економічну ефективність виготовлення. Тому дослідження залежності властивостей плівок від технології введення наповнювача є актуальною задачею.

Метою досліджень є встановлення впливу способу введення мінерального наповнювача на основі карбонату кальцію на механічні властивості поліетиленових плівок та визначення ефективнішого технологічного підходу до їх виготовлення.

Вихідні дані. Для виготовлення дослідних зразків використовували лінійний поліетилен низької густини марки SABIC LLDPE 118N, поліетилен низької густини SABIC LDPE 2102TX00, наповнювач на основі природнього карбонату кальцію – кальциту марки Омукарб 2Т-VO (виробник – Туреччина), технологічна добавка – віск поліетиленовий UWAX L300P1.5 (виробник – Україна).

Концентрат наповнювача і компаунд виготовляли на двошнековому компаундері НК73 (рис. 1) (діаметр шнека – 73 мм, відношення L/D – 48). Попередньо порошкоподібні матеріали, дозували у визначеній послідовності в одностадійний швидкісний міксер, де здійснювалося інтенсивне перемішування до отримання рівномірної суміші.



Примітка: 1 – станина (рама); 2 – головний електродвигун; 3 – редуктор; 4 – шнекова пара; 5, 6 – бокові дозатори; 7 – шибєрний фільтр; 8 – формуючий інструмент (фільєра); 9 – водокільцева різка; 10 – ємність з оборотною водою; 11 – жолоб; 12 – центрифуга; 13 – дозатор полімерної гранули.

Рис. 1. Принципова схема лінії компаундування НК73, призначеної для отримання концентратів і компаундів

У зону завантаження компаундера подавали поліетилен LLDPE, який у перших трьох температурних зонах частково розплавлявся. У четвертій та сьомій зонах через два бокові живильники вносили суміш попередньо підготовлених компонентів на одностадійному

міксері. Після гомогенізації розплаву здійснювалося формування екструдату через фільтру, а на водокільцевій різці гранулювання з отриманням частинок заданого розміру.

Отримані гранули надходили у центрифугу, де відділялися надлишкова волога та дрібнодисперсний пил. Далі матеріал проходив через перше вібросито з поділом на фракції, після чого усереднювався у бункері-накопичувачі. Після стадії усереднення гранулят повторно просіювався на віброситі для усунення пилової фракції.

Рецептурний склад концентрату та компаунду наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Рецептура концентрату та компаунду

| № п/п | Вміст, % мас. | | | |
|----------|------------------|-----------------|------------------------------|---------------------|
| | Поліетилен LLDPE | Поліетилен LDPE | Наповнювач CaCO ₃ | Віск поліетиленовий |
| | концентрат | | | |
| 1 | 17 | - | 80 | 3 |
| 2 | - | 17 | 80 | 3 |
| | компаунд | | | |
| 3 | 90 | - | 10 | - |
| 4 | 80 | - | 20 | - |
| 5 | 70 | - | 30 | - |
| 6 | 60 | - | 40 | - |
| 7 | 50 | - | 50 | - |
| 8 | - | 90 | 10 | - |
| 9 | - | 80 | 20 | - |
| 10 | - | 70 | 30 | - |
| 11 | - | 60 | 40 | - |
| 12 | - | 50 | 50 | - |

До складу концентрату входило три основні компоненти: поліетилен, наповнювач та поліетиленовий віск. Полімерна матриця забезпечує необхідну дисперсію мінерального наповнювача та стабільність структури композиції. Поліетиленовий віск застосовувався як модифікатор, що сприяє поліпшенню перероблюваності. Таким чином, раціональне співвідношення компонентів забезпечує отримання концентрату з високим вмістом мінерального наповнювача при збереженні технологічної стабільності.

До складу компаунду входили два компоненти – поліетилен та наповнювач.

Отримання концентрату та компаунду здійснювалося з дотриманням регламентованих технологічних режимів, параметри яких наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Швидкісні режими отримання концентрату та компаунду

| Параметри | Значення | |
|--------------------------|------------|----------|
| | Концентрат | Компаунд |
| Швидкість шнека, Гц | 415 | 350 |
| Струм двигуна, А | 230 | 180 |
| Температура розплаву, °С | 195 | 178 |
| Тиск розплаву, бар | 65 | 21 |

Дотримання заданих режимів є важливим чинником для забезпечення рівномірного диспергування мінерального наповнювача в полімерній матриці. Контроль швидкісних характеристик дозволяє уникнути агрегації частинок та забезпечує стабільність фізико-

механічних властивостей композиції. Паралельно з цим у процесі отримання композиції застосовувалися температурні режими, що наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Температурні режими отримання концентрату та компаунду

| Температура, °C (для концентрату) | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | T12 | T13 |
| 145 | 155 | 175 | 210 | 185 | 185 | 200 | 175 | 170 | 170 | 185 | 185 | 200 |
| Температура, °C (для компаунду) | | | | | | | | | | | | |
| T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | T12 | T13 |
| 120 | 135 | 158 | 195 | 180 | 175 | 190 | 170 | 170 | 165 | 165 | 180 | 175 |

Температурні режими визначають в'язкість полімерної основи та впливають на якість розподілу CaCO_3 у структурі матеріалу. Правильно підібрані параметри сприяють збереженню однорідності системи та запобігають термічній деградації компонентів. Таким чином, комплексне регулювання швидкісних і температурних режимів забезпечує отримання концентрату та компаунду з високою стабільністю та відтворюваністю властивостей.

Результати дослідження. Як об'єкт дослідження використовували поліетиленову плівку, виготовлену на лабораторному екструдері. Технологічний процес екструзії здійснювався на обладнанні зі шнеком діаметром 20 мм та відношенням довжини до діаметра $L/D=25$. Формування плівкового матеріалу відбувалося через плоскощілинну голівку, що забезпечувало отримання зразків із заданими геометричними параметрами. Застосування лабораторного екструдера дозволило відтворити умови промислової переробки у зменшеному масштабі, зберігаючи при цьому точність контролю технологічних режимів.

Поліетиленова плівка виготовлялася двома альтернативними методами. Перший передбачав використання попередньо отриманого компаунду. Другий спосіб полягав у застосуванні концентрату наповнювача, що вводився безпосередньо у полімерну матрицю під час екструзії. Порівняння цих підходів дозволяє оцінити вплив способу введення наповнювача на властивості готового матеріалу.

Випробування отриманої плівки проводилися на розривній машині (P-50) з метою визначення її основних механічних характеристик. У процесі тестування вимірювалися такі показники: межа текучості при розтязї (F_t , МПа), міцність при розриві (F_m , МПа) та відносне видовження при розриві (ϵ , %). Отримані результати були систематизовані та подані на рис. 2–4.

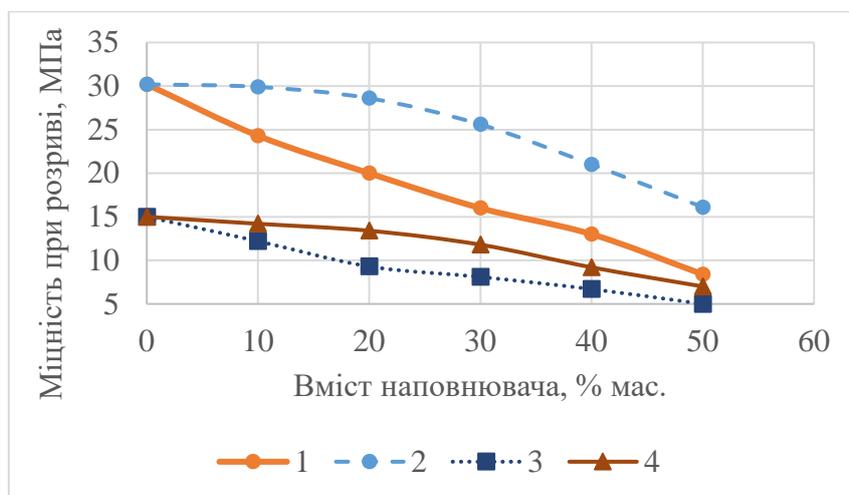


Рис. 2. Залежність міцності при розриві від вмісту наповнювача для плівок виготовлених з: 1 – LLDPE з використанням концентрату; 2 – LLDPE з компаунду; 3 – LDPE з використанням концентрату; 4 – LDPE з компаунду

Аналіз результатів показує, що збільшення вмісту карбонату кальцію призводить до поступового зниження міцності плівок. Для композицій на основі LLDPE з концентрату міцність при розриві зменшується приблизно в 3,3 рази при введенні наповнювача 50% мас., а у випадку плівок на основі LLDPE з компаунду – знижується в 1,7 рази. Для плівок LDPE з концентрату міцність знижується в 2,5 рази при 50% наповнювача та в 1,9 рази – для плівок, отриманих з компаунду. Таким чином, використання компаунду дозволяє зменшити втрату міцності на 20–30% порівняно з введенням наповнювача у вигляді концентрату.

Для LLDPE з концентрату межа текучості (рис. 3) знижується в 1,7 рази при вмісті 50% CaCO_3 , а для плівок LLDPE з компаунду межа текучості, навпаки, демонструє тенденцію до зростання: в 1,1 рази. Для композицій LDPE з концентрату спостерігається зменшення межі текучості в 1,6 рази, а для плівок з компаунду – в 1,1 рази. Отримані результати свідчать, що рівномірний розподіл наповнювача у компаунді забезпечує ефективніше перенесення навантаження між полімерною матрицею та частинками CaCO_3 .

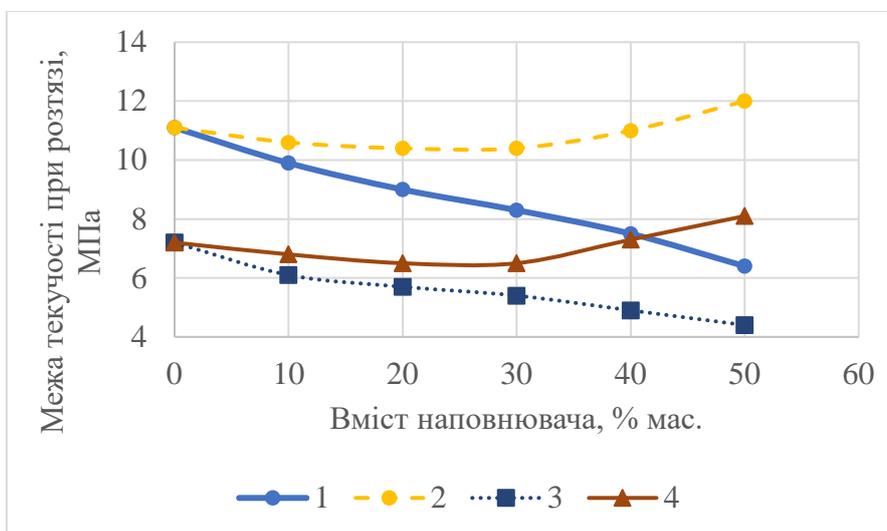


Рис. 3. Залежність межі текучості при розтязті від вмісту наповнювача для плівок виготовлених з: 1 – LLDPE з використанням концентрату; 2 – LLDPE з компаунду; 3 – LDPE з використанням концентрату; 4 – LDPE з компаунду

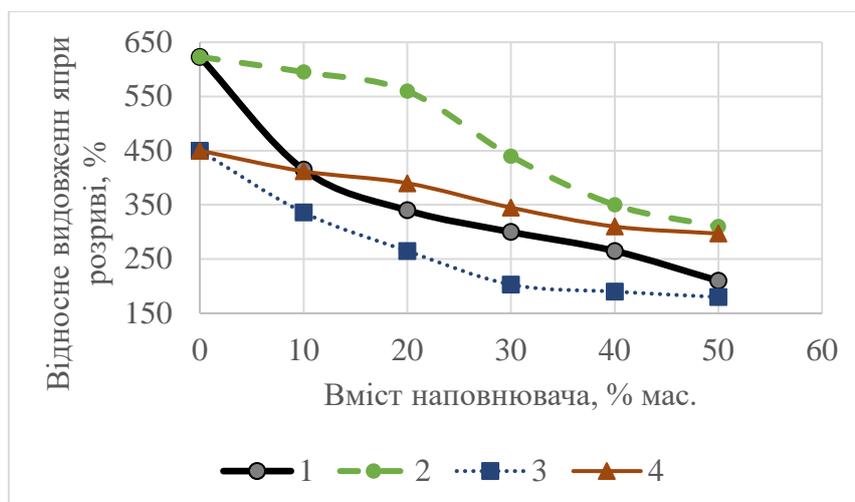


Рис. 4. Залежність відносного видовження при розриві від вмісту наповнювача для плівок виготовлених з: 1 – LLDPE з використанням концентрату; 2 – LLDPE з компаунду; 3 – LDPE з використанням концентрату; 4 – LDPE з компаунду

Збільшення вмісту карбонату кальцію призводить до зниження пластичності плівок. Для плівок LLDPE з концентрату видовження (рис. 4) при розриві зменшується приблизно в 1,9 рази при наповненні 50% мас., а для плівок з компаунду – 1,7 рази. Для плівок LDPE – в 2 рази та 1,25 рази відповідно. Таким чином, використання компаунду дозволяє зменшити втрату пластичності матеріалу приблизно у 1,5–2 рази.

Отримані експериментальні результати свідчать про суттєвий вплив способу введення мінерального наповнювача на формування структури та механічні властивості поліетиленових плівок. Порівняння композицій, отриманих із використанням концентратів і попередньо підготовлених компаундів, показало, що технологія введення наповнювача через компаунд забезпечує значно кращі механічні характеристики матеріалу. Це проявляється у вищих значеннях міцності при розриві, межі текучості та відносного видовження при розриві для обох досліджуваних полімерних матриць.

Однією з основних причин такого ефекту є різний рівень диспергування частинок карбонату кальцію в полімерній матриці. При виготовленні компаунду процес змішування здійснюється на двошнековому екструдері, що забезпечує інтенсивне зсувне перемішування розплаву і сприяє рівномірному розподілу мінерального наповнювача. У результаті формується більш однорідна структура композиційного матеріалу, в якій частинки CaCO_3 рівномірно розподілені в об'ємі полімеру. Натомість при використанні концентратів наповнювач вводиться безпосередньо у процесі екструзії плівки, що ускладнює досягнення повної гомогенізації системи. У таких умовах можуть утворюватися локальні агломерати частинок, які виступають концентраторами механічних напружень і знижують міцність матеріалу.

Зниження міцності при розриві зі збільшенням концентрації наповнювача є типовою закономірністю для полімерних композиційних матеріалів. Частинки мінерального наповнювача, які мають значно вищу жорсткість порівняно з полімерною матрицею, порушують безперервність полімерної фази та зменшують ефективну площу перерізу, що бере участь у перенесенні навантаження. Крім того, при високих концентраціях наповнювача зростає ймовірність утворення дефектів структури, таких як мікропори або агломерати частинок, що додатково знижує механічну міцність композиту. Саме тому при збільшенні вмісту CaCO_3 до 50% спостерігається значне зниження міцності при розриві для всіх досліджених систем.

Водночас результати показують, що застосування компаунду дозволяє значною мірою компенсувати негативний вплив високого вмісту наповнювача. Рівномірний розподіл частинок CaCO_3 сприяє більш ефективному перенесенню механічного навантаження між полімерною матрицею та дисперсною фазою. У таких композиціях частинки наповнювача можуть виконувати роль армувальних елементів, які підвищують жорсткість матеріалу та сприяють стабілізації структури при деформації.

Аналіз результатів дослідження межі текучості показує, що введення наповнювача може по-різному впливати на цей показник залежно від способу його введення. Для композицій, отриманих із використанням концентрату, спостерігається зниження межі текучості зі збільшенням концентрації наповнювача. Це свідчить про погіршення когезійної міцності матеріалу, що може бути пов'язано з нерівномірним розподілом частинок та слабкою міжфазною взаємодією між полімерною матрицею і наповнювачем. У випадку використання компаунду значення межі текучості залишаються стабільнішими або навіть демонструють тенденцію до зростання. Це підтверджує, що рівномірна дисперсія наповнювача сприяє підвищенню ефективності передачі напружень у матеріалі.

Значний інтерес становить також аналіз змін відносного видовження при розриві. Збільшення концентрації наповнювача закономірно призводить до зниження пластичності

матеріалу, що пояснюється обмеженням рухливості макромолекулярних ланцюгів полімеру. Частинки карбонату кальцію виступають своєрідними бар'єрами для переміщення полімерних ланцюгів під час деформації, що призводить до підвищення жорсткості та зниження еластичності композиції. Однак результати дослідження показують, що плівки, виготовлені з використанням компаунду, зберігають значно вищий рівень пластичності порівняно із матеріалами, отриманими із застосуванням концентрату. Це ще раз підтверджує позитивний вплив рівномірного розподілу наповнювача на структуру полімерного композиту.

Окремо слід відзначити різницю у поведінці композицій на основі LLDPE та LDPE. Лінійний поліетилен низької густини демонструє вищі значення міцності та відносного видовження при розриві. Це пов'язано з особливостями молекулярної структури LLDPE, яка характеризується більш рівномірним розподілом коротких бічних відгалужень та більшою здатністю до пластичної деформації. Завдяки цьому матеріали на основі LLDPE краще витримують деформаційні навантаження навіть при високому вмісті наповнювача.

Отримані результати узгоджуються з даними інших досліджень, у яких показано, що механічні властивості полімерних композитів значною мірою залежать від ступеня диспергування наповнювача, його розміру та характеру міжфазної взаємодії з полімерною матрицею. Підвищення однорідності структури композиту сприяє більш ефективному розподілу напружень у матеріалі та зменшує ймовірність локальних руйнувань [11, 12].

З практичної точки зору отримані результати підтверджують доцільність використання попередньо підготовлених компаундів у виробництві поліетиленових плівок з мінеральними наповнювачами. Такий підхід дозволяє не лише покращити механічні властивості матеріалу, але й забезпечити більш стабільний технологічний процес, знизити енергетичні витрати та підвищити якість кінцевої продукції.

Таким чином, проведені дослідження підтверджують, що оптимізація технології введення мінерального наповнювача є одним із ключових факторів підвищення ефективності виробництва полімерних плівкових матеріалів. Використання компаундів забезпечує більш рівномірний розподіл частинок наповнювача у полімерній матриці, що сприяє формуванню стабільної структури композиції та покращенню її механічних характеристик.

Висновки. Отримані експериментальні результати показують, що спосіб введення наповнювача суттєво впливає на механічні властивості поліетиленових плівок. Збільшення концентрації CaCO_3 до 50% призводить до зниження міцності плівок на 40–70% залежно від типу полімеру та способу введення наповнювача. Межа текучості зменшується на 35–40% для композицій з концентратом, тоді як для компаунду вона може навіть зростати на 9–14%. Відносне видовження при розриві зменшується на 20–50%, причому використання компаунду дозволяє значно зменшити втрату пластичності.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що технологія введення наповнювача через компаунд забезпечує більш високі механічні характеристики поліетиленових плівок. Це пов'язано з більш рівномірною дисперсією частинок CaCO_3 у полімерній матриці та зменшенням ймовірності утворення агломератів.

References

Література

- | | |
|--|---|
| <p>1. Tanniru, M., & Misra, R. D. K. (2005). On enhanced impact strength of calcium carbonate-reinforced high-density polyethylene composites. <i>Materials Science and Engineering: A</i>, 405(1–2), 178–193. DOI: https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.05.072.</p> <p>2. Osman, M. A., Ploetze, M., & Suter, U. W. (2003). Surface treatment of clay minerals—thermal stability,</p> | <p>1. Tanniru M., Misra R. D. K. On enhanced impact strength of calcium carbonate-reinforced high-density polyethylene composites. <i>Materials Science and Engineering: A</i>. 2005. No. 405(1–2). P. 178–193. DOI: https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.05.072.</p> <p>2. Osman M. A., Ploetze M., Suter U. W. Surface treatment of clay minerals—thermal stability, basal-</p> |
|--|---|

- basal-plane spacing and surface coverage. *Journal of Materials Chemistry*, 13(9), 2359–2365. DOI: <https://doi.org/10.1039/B302331A>.
3. Kun Yang, Qi Yang, Guangxian Li, Yajie Sun, Decai Feng (2006). Mechanical properties and morphologies of polypropylene with different sizes of calcium carbonate particles. *Polymer Composites*, 27(4), 443–450. DOI: <https://doi.org/10.1002/pc.20211>.
4. Wu, D., & Zeng, Y. (2014). Modification of calcium carbonate for use in thermoplastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 58, 120–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2013.12.016>.
5. Thenepalli, T., Ahn, Y. J., Han, C., Ramakrishna, C., & Ahn, J. W. (2015). A strategy of precipitated calcium carbonate (CaCO₃) fillers for enhancing the mechanical properties of polypropylene polymers. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 32, 1009–1022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11814-015-0249-1>.
6. Kuo, C. H., & Hsieh, S. H. (2013). Evaluation of mechanical properties of calcium carbonate-filled polyethylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 26(6), 689–702. DOI: <https://doi.org/10.1177/0892705713476175>.
7. Shi, X., & Xu, Y. (2016). Comparative study on the properties of calcium carbonate and other fillers in polyethylene composites. *Composites Part B: Engineering*, 89, 66–75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.11.001>.
8. Lee, J., Kim, K. H., & Kim, J. H. (2010). Effects of particle size and surface modification of calcium carbonate on mechanical properties of polypropylene composites. *Composites Science and Technology*, 70(10), 1560–1566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.04.010>.
9. Zheng, Y., & Zhang, X. (2017). High-performance polyethylene composites with enhanced properties via the incorporation of calcium carbonate. *Composites Science and Technology*, 145, 85–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.06.008>.
10. Lindström, T., Aulin, C., & Gällstedt, M. (2019). Oxygen and water vapor barrier properties of pressed cellulose nanofiber films, renewable and biodegradable packaging solutions. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11(17), 15122–15131. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.9b00932>.
11. Saitarly, S. V., Plavan, V. P., Dziubenko, L. S., Korenivskyi, O. S., & Yevdokymenko, D. M. (2019). Rozrobka napovnenykh poliiolefinovykh kompozytsii dlia lyttievyykh vyrobiv [Development of filled
- plane spacing and surface coverage. *Journal of Materials Chemistry*. 2003. No. 13(9). P. 2359–2365. DOI: <https://doi.org/10.1039/B302331A>.
3. Kun Yang, Qi Yang, Guangxian Li, Yajie Sun, Decai Feng. Mechanical properties and morphologies of polypropylene with different sizes of calcium carbonate particles. *Polymer Composites*. 2006. No. 27(4). P. 443–450. DOI: <https://doi.org/10.1002/pc.20211>.
4. Wu D., Zeng Y. Modification of calcium carbonate for use in thermoplastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2014. No. 58. P. 120–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2013.12.016>.
5. Thenepalli T., Ahn Y. J., Han C., Ramakrishna C., Ahn J. W. A strategy of precipitated calcium carbonate (CaCO₃) fillers for enhancing the mechanical properties of polypropylene polymers. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2015. No. 32. P. 1009–1022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11814-015-0249-1>.
6. Kuo C. H., Hsieh S. H. Evaluation of mechanical properties of calcium carbonate-filled polyethylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2013. No. 26(6). P. 689–702. DOI: <https://doi.org/10.1177/0892705713476175>.
7. Shi X., Xu Y. Comparative study on the properties of calcium carbonate and other fillers in polyethylene composites. *Composites Part B: Engineering*. 2016. No. 89. P. 66–75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.11.001>.
8. Lee J., Kim K. H., Kim J. H. Effects of particle size and surface modification of calcium carbonate on mechanical properties of polypropylene composites. *Composites Science and Technology*. 2010. No. 70(10). P. 1560–1566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.04.010>.
9. Zheng Y., Zhang X. High-performance polyethylene composites with enhanced properties via the incorporation of calcium carbonate. *Composites Science and Technology*. 2017. No. 145. P. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.06.008>.
10. Lindström T., Aulin C., Gällstedt M. Oxygen and water vapor barrier properties of pressed cellulose nanofiber films, renewable and biodegradable packaging solutions. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2019. No. 11(17). P. 15122–15131. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.9b00932>.
11. Сайтарли С. В., Плаван В. П., Дзюбенко Л. С., Коренівський О. С., Євдокименко Д. М. Розробка наповнених поліолефінових композицій для литевих виробів. *Вісник Київського*

- polyolefin compositions for molded products]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Serii Tekhnichni nauky – Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design. Technical Sciences Series*, 6 (140), 95–103. DOI: <https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2019.6.9> [in Ukrainian].
12. Saitarly, S., Dzubenko, L., Plavan, V., Pushkarev, Y., Sapyanenko, A., Gorbyk, P. (2022). Influence of Filler on the Structure, Thermal Stability, and Mechanical Properties of Compositions Based on a Modified Polypropylene. *Mechanics of Composite Materials*, 58 (2), 227–236. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11029-022-10023-4>.
- національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. 2019. № 6 (140). С. 95–103. DOI: <https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2019.6.9>.
12. Saitarly S., Dzubenko L., Plavan V., Pushkarev Y., Sapyanenko A., Gorbyk P. Influence of Filler on the Structure, Thermal Stability, and Mechanical Properties of Compositions Based on a Modified Polypropylene. *Mechanics of Composite Materials*. 2022. No. 58 (2). P. 227–236. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11029-022-10023-4>.

ROZVORA LIUBOMYR

Postgraduate Student,
Department of Chemical Technologies and Resource Saving, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
E-mail: lew.9.by@gmail.com

SLIEPTSOV OLEKSANDR

PhD, Assistant,
Department of Chemical Technologies and Resource Saving, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0608-1855>
Scopus Author ID: 57189215952
E-mail: slyepcov.oo@knuud.edu.ua

SAVCHENKO BOHDAN

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Chemical Technologies and Resource Saving, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
Scopus Author ID: 56685269800
<https://orcid.org/0000-0002-8636-5734>
E-mail: 1079@ukr.net

SOVA NADIIA

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Chemical Technologies and Resource Saving, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
Scopus Author ID: 56685569600
<https://orcid.org/0000-0003-3550-6135>
E-mail: djanc@ukr.net

SAVCHUK BOHDAN

Postgraduate Student,
Department of Chemical Technologies and Resource Saving of the Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0008-9319-8867>
E-mail: bohdan.sav95@gmail.com

**Liubomyr ROZVORA, Oleksandr SLIEPTSOV, Bohdan SAVCHENKO,
Nadiia SOVA, Bohdan SAVCHUK**

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF THE FILLER INTRODUCTION METHOD
ON THE PROPERTIES OF POLYETHYLENE FILMS**

Purpose. Determine the effect of the method of introducing a mineral filler based on calcium carbonate on the mechanical properties of polyethylene films and to determine the most effective technological approach to their manufacture.

Methodology. The methods of literature and systematic analysis of scientific publications on the subject of the study were used to summarize the existing data and choose the direction of research. The mechanical properties of the studied film samples were determined according to DSTU EN ISO 527-3:2017.

Findings. The article is devoted to the study of the influence of the filler introduction method on the properties of polyethylene films based on linear polyethylene and low-density polyethylene. In the course of

the research, prototypes of polyethylene films containing a filler based on natural calcium carbonate in the amount of 10–50% by weight were obtained. Two technologies were used to introduce the filler: introduction through the compound and concentrate. The analysis of the results of the study of the mechanical properties of the obtained films showed that the technology of filler introduction through the compound allows to obtain films with higher mechanical properties for both types of polymers. This is probably due to a more uniform distribution of the filler in the volume of the polymer matrix

Originality. *It has been established that the mechanical properties of polyethylene films depend on the method of introducing the filler into their structure. The introduction of the filler by the compound method in the amount of 50% by weight allows for a 1.5-fold increase in the value of relative elongation at break and a 1.9-fold increase in tensile strength compared to the method of introduction by using a concentrate.*

Practical value. *A technology for introducing filler into polyethylene films by the compound method is proposed, which provides a higher level of mechanical properties compared to the method of introducing concentrate.*

Keywords: *polyethylene film; concentrate; compounds; calcium carbonate; extrusion; polymer composites; physical and mechanical properties.*