

Римар Т. Е., Цибульник М.І.

## ВПЛИВ ВИСОКОНАПОВНЕНОГО ПОЛІПРОПІЛЕНОВОГО КОНЦЕНТРАТУ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІПРОПІЛЕНОВИХ КОМПАУНДІВ

*Поліпропілен є одним з найбільш широко використовуваних пластиків загального призначення, але його застосування в якості конструкційного пластику обмежено через погану низькотемпературну ударну в'язкість, низьку ударну в'язкість і легке старіння виробів в процесі експлуатації. Шляхом наповнення та модифікації поліпропілену можна значно покращити його комплексні властивості, у тому числі жорсткість, міцність, термостійкість тощо, завдяки чому він матиме більше переваг у конкурентній боротьбі з конструкційними пластиками. Найкращий ефект має наповнення поліпропілену карбонатом кальцію. В даній роботі проводились дослідження впливу суперконцентрату карбонату кальцію на механічні властивості композитів на основі поліпропілену. Було показано, що у міру збільшення вмісту наповнювача межа плинності композиту зменшується з 17,73 МПа до 12,95 МПа від 0 до 40% CaCO<sub>3</sub>. Модуль Юнга послідовно збільшується зі збільшенням відсоткового вмісту наповнювача, що вказує на те, що матеріали ставали жорсткішими в міру додавання більшої кількості CaCO<sub>3</sub>. Міцність на вигин спочатку збільшувалась з 25,11 Н/мм<sup>2</sup> (чистий поліпропілен) до 31,11 Н/мм<sup>2</sup> при 5% CaCO<sub>3</sub>, але потім знижувалась зі збільшенням наповнювача. Модуль пружності при вигині послідовно збільшувався при додаванні більшої кількості наповнювача. Найнижчий модуль пружності при вигині має чистий поліпропілен (865 Н/мм<sup>2</sup>), а найвищий – поліпропілен, наповнений 40% CaCO<sub>3</sub> (1298 Н/мм<sup>2</sup>). Ударна в'язкість трохі збільшилась від чистого поліпропілену (0,03 Дж/мм<sup>2</sup>) до 40% CaCO<sub>3</sub> (0,039 Дж/мм<sup>2</sup>), проте ця зміна була неспішною та непередбачуваною. Загалом було продемонстровано, що додавання CaCO<sub>3</sub> до поліпропілену матиме змінний ефект на механічні властивості залежно від відсотка доданого наповнювача. Тому необхідно визначити, наскільки низькі значення межі плинності та міцності на вигин та наскільки високі значення модуля Юнга та модуля вигину будуть прийнятні для конкретного продукту, щоб прийняти рішення про відсотковий вміст наповнювача CaCO<sub>3</sub>, який можна додати до композиту.*

**Ключові слова:** поліпропілен, карбонат кальцію, межа плинності, модуль Юнга, міцність на вигин, модуль пружності при вигині, ударна в'язкість.

**Актуальність дослідження.** Поліпропілен (ПП) є одним з найбільш широко використовуваних пластиків загального призначення, але його застосування в якості конструкційного пластику обмежено через погану низькотемпературну ударну в'язкість, низьку ударну в'язкість і легке старіння виробів в процесі експлуатації. Шляхом наповнення та модифікації поліпропілену можна значно покращити його комплексні властивості, у тому числі жорсткість, міцність, термостійкість тощо, завдяки чому він матиме більше переваг у конкурентній боротьбі з конструкційними пластиками [1].

**Теоретичний аналіз дослідження.** Карбонат кальцію є одним з перших неорганічних наповнювачів, що використовуються для наповнення ПП, серед яких нанорозмірний карбонат кальцію має найкращий ефект. Нанорозмірний карбонат кальцію: покращує удароміцність композитних матеріалів. Механічні характеристики гранул поліпропілену, заповнених CaCO<sub>3</sub>, також різняться залежно від різних форм карбонату кальцію. Карбонат кальцію (важкий кальцій, легкий кальцій): підвищує міцність і покращує придатність для друку. Нанорозмірний карбонат кальцію: покращує ударостійкість композитних матеріалів. Волокнистий нанокорбонат кальцію: покращує властивості при розтягуванні [1].

У роботах [2-4] було показано, що CaCO<sub>3</sub> покращує певні механічні і термічні властивості отриманого полімерного композиту, такі як підвищена термостійкість, удароміцність і пружний опір. У роботах [5-10] поліпропілен, наповнений CaCO<sub>3</sub>, досліджувався щодо його впливу на межу плинності, модуль Юнга, об'ємну деформацію, міцність на розрив і на вигин, ударну в'язкість, і реологічну поведінку [11-12]. Було виявлено, що зі збільшенням відсоткового вмісту наповнювача CaCO<sub>3</sub> у складі можуть виникнути проблеми під час обробки, а також зниження згинальної в'язкості та міцності отриманих композитів [13]. Тому визначення впливу різного вмісту наповнювача CaCO<sub>3</sub> на механічні властивості полімерних виробів є актуальним завданням.

Таким чином, **метою роботи** є дослідження впливу суперконцентрату карбонату кальцію Королітек 11 на механічні властивості композитів на основі поліпропілену.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Для даного дослідження використовувалися два комерційно доступних матеріалу: поліпропілен (ПП) і гранульований суперконцентрат карбонату кальцію Королітек 11 (вітчизняного виробника, ТОВ «Євро Полімер Компмаунд»), який має вміст карбонату кальцію 80%, а решта - поліпропілен. Даний матеріал має індекс плинності розплаву (190 °C/2,16 кгс) 2,0-3,0 г/10хв і розмір гранул 2-5 мм. Використовувався гомополімер пропілену SABIC PP 511A, який має індекс плинності розплаву (230 °C/2,16 кгс) 25,0 г/10 хв.

Суперконцентрат карбонату кальцію і поліпропілен були використані у вигляді гранул, які були введені в литтєву машину через бункер, що дозволяє розподіляти суперконцентрат карбонату кальцію всередині

поліпропілену. Виміряні вагові відсотки суперконцентрату карбонату кальцію та поліпропілену були введені до бункеру для створення різних композитів з різним відсотковим вмістом наповнювача. Суперконцентрат карбонату кальцію був доданий до поліпропілену у відсотках від 0% до 40% з кроком 5%. В результаті було створено дев'ять зразків із різним відсотковим вмістом наповнювача. Використовувалася форма для випробувального стрижня товщиною 4 мм та довжиною 170 мм відповідно до стандарту BS EN ISO 527-2:2012 [14].

#### **Методи випробувань**

У даній роботі застосовуються 3 методи оцінки механічних властивостей композитів: випробування на розтяг з формулою модуля Юнга, випробування на 3-точковий вигин, випробування на удар по Шарпі. Зразки випробовувалися за кімнатної температури (20°C). Бралось середнє значення трьох зразків кожного типу композиту.

Випробування на розтягування проводилися відповідно до стандарту ISO 527-1:2019 [15] при швидкості переміщення траверси 10 мм/хв з використанням тензодатчика 30 кН. Межа плинності розраховувалася шляхом визначення найбільшої розтягуючої напруги даних кривої розтягування-напруги, а модуль Юнга розраховувався з використанням рівняння:

$$E_t = \sigma / \varepsilon$$

де  $E_t$  – модуль Юнга,  $\sigma$  - механічне напруження,  $\varepsilon$  - деформація розтягу.

Випробування на 3-точковий вигин проводилися відповідно до стандарту ISO 178:2019 [16] при швидкості траверси 10 мм/хв. Міцність на вигин та модуль вигину розраховували з використанням наступних рівнянь:

Міцність на вигин:

$$\sigma_f = (3F_{max} \cdot L) / (2W \cdot T^2)$$

Модуль пружності при вигині:

$$E_f = (L^3 \cdot m) / (4W \cdot T^3)$$

де  $\sigma_f$  – міцність на вигин,  $F_{max}$  – прикладена навантаження,

$L$  – довжина (64 мм),  $W$  – ширина (10 мм),  $T$  – товщина (4 мм),

$m$  – градієнт початкової прямолінійної ділянки кривої прогибу навантаження.

Випробування композитів на ударну в'язкість по Шарпі проводилося відповідно до стандарту ISO 179-1:2023 [17]. Для вимірювання зразків по площі поперечного перетину 70 мм × 10 мм × 4 мм використовувався маятник з енергією удару 2 Дж. Для розрахунку ударної в'язкості по Шарпі використовувалося наступне рівняння:

$$q = \Delta U / (W \cdot T)$$

де  $q$  - ударна в'язкість,  $\Delta U$  – різниця енергій.

$W$  – ширина (10 мм),  $T$  – товщина (4 мм).

#### **Експериментальні результати та їх обговорення**

На рис. 1-2 показані криві межі плинності та модуля Юнга для композитів поліпропілен - CaCO<sub>3</sub> (0%-40%).

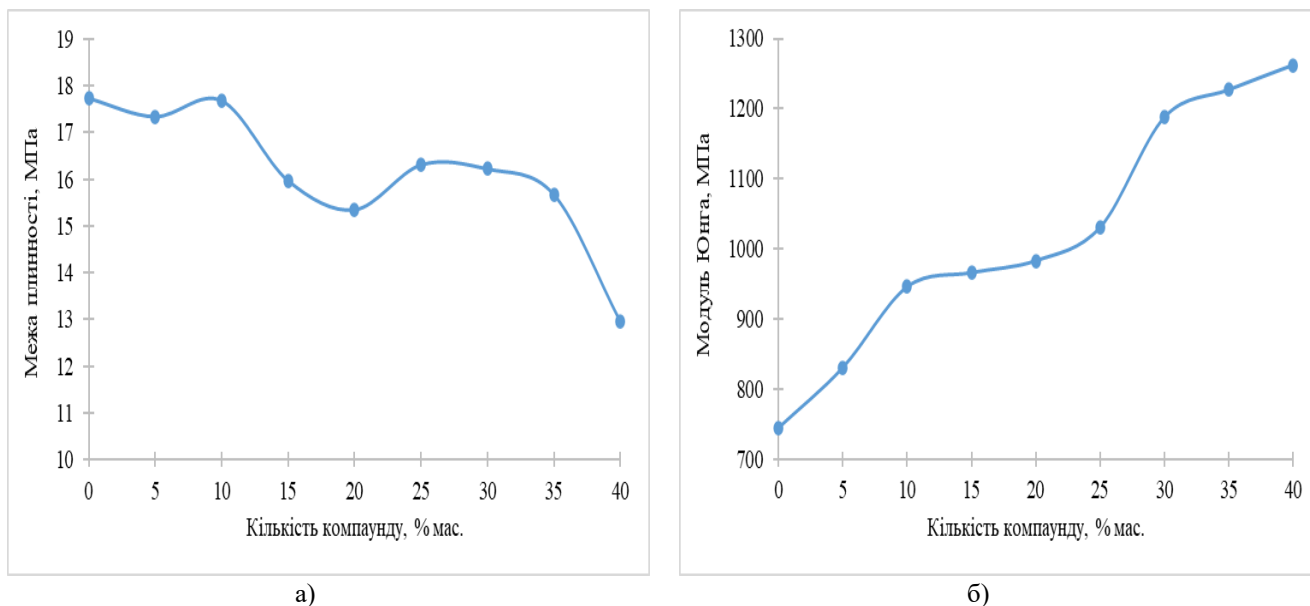


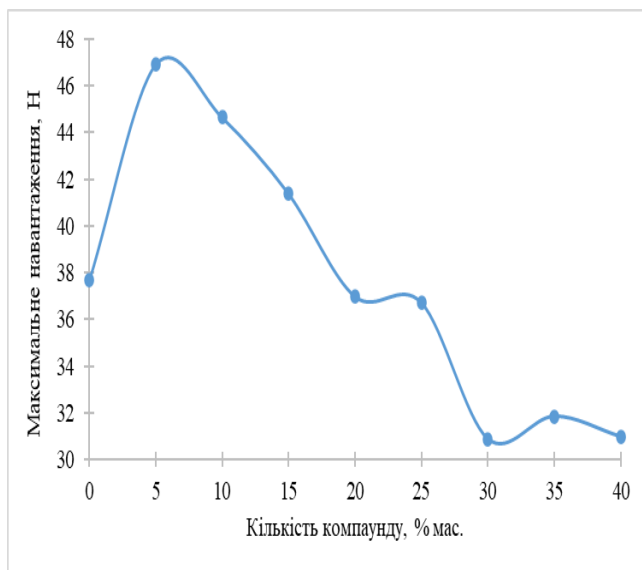
Рисунок 1 - Вплив вмісту CaCO<sub>3</sub> на: а) межу плинності, б) модуль Юнга

Як видно з рис. 1(а), зі збільшенням процентного вмісту CaCO<sub>3</sub> межа плинності знижується. Ця тенденція не є ідеально лінійною, але демонструє стійке загальне зниження. Чистий поліпропілен має найбільшу межу плинності 17,73 МПа, але він лише трохи більше, ніж при 10%-му вмісті CaCO<sub>3</sub> (17,68 МПа). При більшому вмісті наповнювача межа плинності демонструє більше зниження. При вмісті 20% межа плинності знижується до 15,35 МПа, що менше, ніж у чистого поліпропілену. При 30% межа плинності трохи збільшується до 16,22 МПа. Це нижче більше ніж на 1,5 МПа, ніж у чистого поліпропілену, але вище, ніж у композитів, що містять меншу кількість наповнювача (20% CaCO<sub>3</sub>). Коли відсоток наповнювача CaCO<sub>3</sub> становить 25%, межа плинності ближче до чистого поліпропілену, ніж у зразків, що містять нижчі відсотки наповнювача CaCO<sub>3</sub> (20%). Межа плинності значно знижується і є найнижчою (12,95 МПа) для зразка, що містить 40% CaCO<sub>3</sub>. Це раптове падіння межі плинності вказує на те, що при цьому відсотку наповнювача і вище матеріал буде мати помітно різні властивості розтягування в порівнянні з чистим поліпропіленом і може не бути підходящою альтернативою матеріалу.

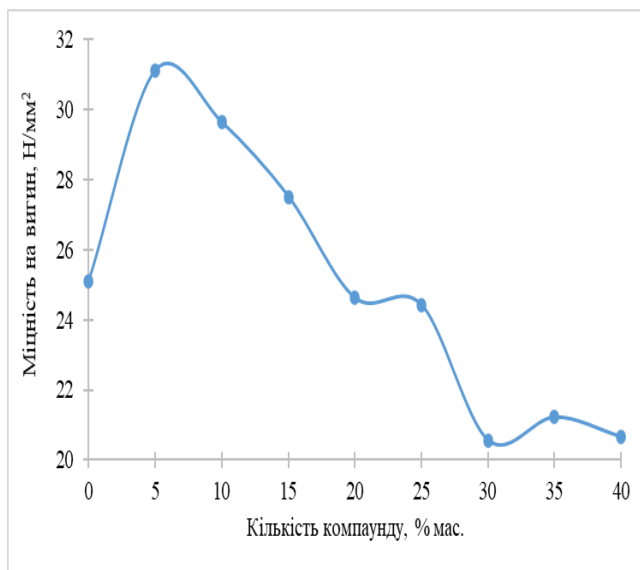
Рис. 1(б) показує, що зі збільшенням відсоткового вмісту наповнювача CaCO<sub>3</sub> модуль Юнга збільшується. Зразок чистого поліпропілену має найнижчий модуль Юнга - 745 МПа, тоді як поліпропілен, наповнений 40% CaCO<sub>3</sub>, має найвищий - 1262 МПа. Можна побачити, що модуль Юнга послідовно збільшується з кожним додаванням CaCO<sub>3</sub>. Оскільки модуль Юнга вимірює жорсткість матеріалу, ці результати показують, що зі збільшенням відсоткового вмісту CaCO<sub>3</sub> жорсткість матеріалу також збільшується.

Важливо, що незважаючи на збільшення середнього модуля Юнга, деякі зразки з більш високим вмістом CaCO<sub>3</sub> мали нижчі модулі, ніж попередні зразки. Наприклад, різниця в модулі Юнга між зразками, що містять 15% і 20% наповнювача, варіюється лише на 17 МПа. Це вказує на те, що навіть незважаючи на те, що загальна середня тенденція модуля Юнга рухається вгору, точні вимірювання між кожним зразком можуть відрізнитися настільки, що один зразок з більш високим відсотком наповнювача має нижчий модуль Юнга, ніж зразок з меншою кількістю наповнювача. У дослідженні [18] зазначалось, що причина цього явища пов'язана з сталістю дисперсії частинок наповнювача та розподілу всередині зразків. Незважаючи на те, що зразок має більшу кількість наповнювача, якщо агломерація частинок не є постійною, це може вплинути на загальний модуль Юнга. Це призводить до того, що деякі зразки мають більш високі або нижчі значення в порівнянні з зразками з іншим вмістом наповнювача.

На рис. 2 наведені дані випробування зразків на вигин та максимальні випробувані навантаження (F max).



а)



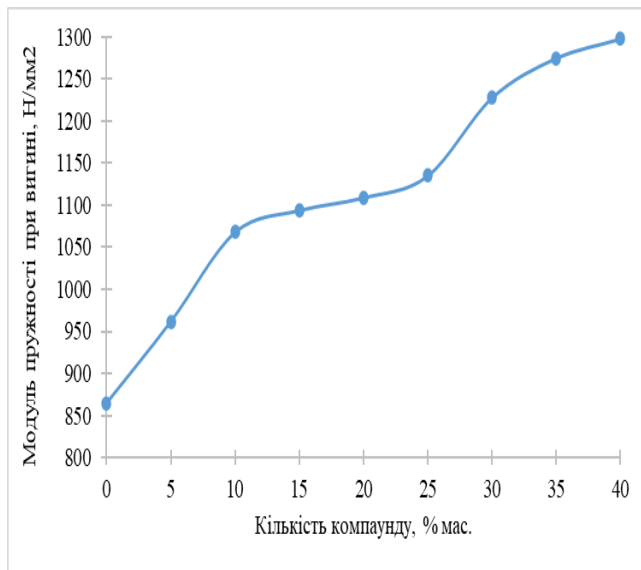
б)

Рисунок 2 - Вплив вмісту  $\text{CaCO}_3$  на: а) максимальне навантаження, б) міцність на вигин

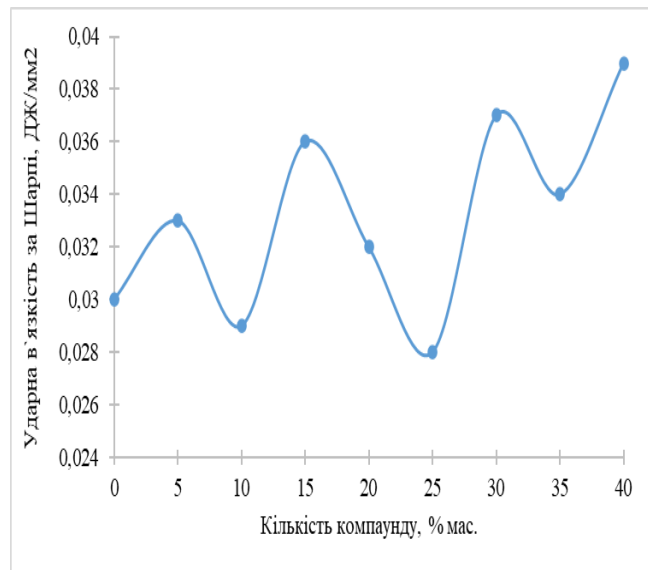
Як бачимо на рис. 2, зразок чистого поліпропілену мав міцність на вигин та максимальну силу, які знаходилися в середній точці всіх зразків. Після додавання 5%  $\text{CaCO}_3$  ці властивості різко зросли. Зразком з найбільшою міцністю на вигин (31,11 Н/мм<sup>2</sup>) та максимальним навантаженням (46,93 Н) був поліпропілен, наповнений 5%  $\text{CaCO}_3$ . Це показує, що включення невеликої кількості  $\text{CaCO}_3$  може позитивно впливати на здатність матеріалу протистояти деформації. При додаванні вищих відсотків  $\text{CaCO}_3$  міцність на вигин та  $F_{\text{max}}$  знижувалися. Найнижча міцність на вигин спостерігається у зразків поліпропілену, наповненого 30%  $\text{CaCO}_3$ , з міцністю на вигин 20,56 Н/мм<sup>2</sup> та максимальним навантаженням 30,88 Н. Обидва ці значення значно нижчі, ніж у зразка з 5%  $\text{CaCO}_3$ , але не значно нижчі, ніж у чистого поліпропілену. Таким чином, слід зауважити, що початкове додавання невеликих кількостей  $\text{CaCO}_3$  збільшує міцність поліпропіленового компаунду, яка потім поступово знижується у міру додавання більшої кількості наповнювача, що обумовлено зміцнюючим ефектом, який карбонат кальцію надає на полімери, коли наповнювач присутній у невеликій кількості, оскільки  $\text{CaCO}_3$  сприяє зародкуутворенню всередині поліпропілену, що призводить до посилення кристалізації та утворення дрібних сферокристалів. Ці поліпшені кристалічні властивості роблять поліпропілен більш міцним [19-21]. Однак, коли відсоток наповнювача  $\text{CaCO}_3$  перевищує 15%, підвищена щільність частинок наповнювача призводить до агломерації, яка перешкоджає рівномірному розподілу наповнювача у полімерній матриці. Це призводить до зниження стабільності композиту та зниження міцності на вигин [20].

Оскільки міцність на вигин відноситься до здатності матеріалу протистояти деформації, ці результати показують, що додавання невеликих відсотків  $\text{CaCO}_3$  зробить поліпропілен менш схильним до деформації. Тільки після додавання близько 20%  $\text{CaCO}_3$  міцність на вигин та максимальна сила композиту стануть нижчими, ніж у чистого поліпропілену. У міру того, як процентний вміст наповнювача досягає більш високих рівнів (30% і вище), міцність на вигин та  $F_{\text{max}}$ , або залишаються постійними, або навіть збільшуються, як у випадку 35%  $\text{CaCO}_3$  порівняно з 30%  $\text{CaCO}_3$ .

На рис. 3 показані середні дані щодо ударної міцності по Шарпі та модуль пружності при вигині.



а)



б)

Рисунок 3- Вплив вмісту  $\text{CaCO}_3$  на: а) модуль пружності при вигині, б) ударна міцність по Шарпі

Рис. 3(а) показує, що зразок чистого поліпропілену має найнижчий модуль вигину ( $865 \text{ Н/мм}^2$ ) з усіх зразків. У міру того, як відсоток наповнювача  $\text{CaCO}_3$  збільшується у композитах, модуль вигину також збільшується. Зразок поліпропілену, наповнений 40%  $\text{CaCO}_3$ , має найвищий модуль вигину  $1298 \text{ Н/мм}^2$ ; що майже у 1,5 рази вище, ніж чистий поліпропілен. Модуль вигину вимірює жорсткість матеріалу під час вигину, тобто ці результати показують, що чистий поліпропілен, з найнижчим балом, має найбільшу гнучкість з усіх зразків. У міру додавання більшої кількості наповнювача  $\text{CaCO}_3$  до поліпропілену можна побачити, що отриманий композит збільшує модуль пружності при вигині і, отже, жорсткість матеріалу, зразок з 40%  $\text{CaCO}_3$  має найбільшу жорсткість. Можна ясно побачити, що при додаванні більшої кількості наповнювача  $\text{CaCO}_3$  до поліпропілену отримані композитні матеріали стають жорсткішими і при вмісті наповнювача більше 15% мають нижчу стійкість до деформації, ніж чистий поліпропілен.

З даних рис. 3(б) видно, що ударна в'язкість по Шарпі трохи збільшується зі збільшенням відсоткового вмісту наповнювача  $\text{CaCO}_3$ , при цьому зразок, що містить 40% наповнювача  $\text{CaCO}_3$ , має найвищу ударну в'язкість по Шарпі  $0,039 \text{ Дж/мм}^2$ ; що значно більше, ніж чистий поліпропілен. Однак ця тенденція до збільшення не є лінійною, і коливання ударної в'язкості можна спостерігати за різних відсоткових вмістах наповнювача. Зокрема, зразки, наповнені 10% та 25%  $\text{CaCO}_3$ , мають нижчу ударну в'язкість, ніж чистий поліпропілен. Ці дані свідчать про те, що включення  $\text{CaCO}_3$  не впливає на ударну в'язкість. Оскільки відомо, що ударна в'язкість залежить від різних властивостей наповнювача (наприклад, розміру частинок, розподілу частинок, добавок сполучних матриці і наповнювача і т.ін.).

**Висновки.** У міру збільшення вмісту наповнювача межа плинності композиту зменшується з  $17,73 \text{ МПа}$  до  $12,95 \text{ МПа}$  від 0 до 40%  $\text{CaCO}_3$ . Модуль Юнга послідовно збільшується зі збільшенням відсоткового вмісту наповнювача, що вказує на те, що матеріали ставали жорсткішими в міру додавання більшої кількості  $\text{CaCO}_3$ . Міцність на вигин спочатку збільшувалась з  $25,11 \text{ Н/мм}^2$  (чистий поліпропілен) до  $31,11 \text{ Н/мм}^2$  при 5%  $\text{CaCO}_3$ , але потім знижувалась зі збільшенням наповнювача. Модуль пружності при вигині послідовно збільшувався при додаванні більшої кількості наповнювача. Найнижчий модуль пружності при вигині має чистий поліпропілен ( $865 \text{ Н/мм}^2$ ), а найвищий – поліпропілен, наповнений 40%  $\text{CaCO}_3$  ( $1298 \text{ Н/мм}^2$ ). Ударна в'язкість трохи збільшилась від чистого поліпропілену ( $0,03 \text{ Дж/мм}^2$ ) до 40%  $\text{CaCO}_3$  ( $0,039 \text{ Дж/мм}^2$ ), проте ця зміна була неспішною та непередбачуваною.

Загалом було показано, що додавання  $\text{CaCO}_3$  до поліпропілену матиме змінний ефект на механічні властивості залежно від відсотка доданого наповнювача. Тому необхідно визначити, наскільки низькі значення межі плинності та міцності на вигин та наскільки високі значення модуля Юнга та модуля вигину будуть прийнятні для конкретного продукту, щоб прийняти рішення про відсотковий вміст наповнювача  $\text{CaCO}_3$ , який можна додати до композиту.

#### Література

1. Julier (Xiamen) Technology Co. Ltd. URL: <http://ru.custom-plastic-molding.com/plastic-raw-material/polypropylene/pp-granules-filled-caco3.html/>

2. K.P. Schlickmann, J.L. Leite Howarth, D.A. Kasper Silva, A.P. Testa Pezzin. Effect of the incorporation of micro and nanoparticles of calcium carbonate in poly (vinyl chloride) matrix for industrial application. *Mater. Res.*, 22 (2019), Article e20180870, DOI: 10.1590/1980-5373-MR-2018-0870.
3. D. Eirasa, L.A. Pessan. Mechanical properties of polypropylene/calcium carbonate nanocomposites. *Mater. Res.*, 12 (4) (2009), pp. 517-522, DOI: 10.1590/S1516-14392009000400023.
4. T. Thenepalli, A.Y. Jun, C. Han, C. Ramakrishna, J.W. Ahn. A strategy of precipitated calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) fillers for enhancing the mechanical properties of polypropylene polymers. *Kor. J. Chem. Eng.*, 32 (6) (2015), pp. 1009-1022, DOI: 10.1007/S11814-015-0057-3/METRICS.
5. K. Yang, Q. Yang, G. Li, Y. Sun, D. Feng. Morphology and mechanical properties of polypropylene/calcium carbonate nanocomposites. *Mater. Lett.*, 60 (6) (2006), pp. 805-809, DOI: 10.1016/J.MATLET.2005.10.020/
6. T.D. Lam, T.V. Hoang, D.T. Quang, J.S. Kim. Effect of nanosized and surface-modified precipitated calcium carbonate on properties of CaCO<sub>3</sub>/polypropylene nanocomposites. *Mater. Sci. Eng., A*, 501 (1–2) (2009), pp. 87-93, DOI: 10.1016/J.MSEA.2008.09.060.
7. A. Lazzeri, Y.S. Thio, R.E. Cohen. Volume strain measurements on CaCO<sub>3</sub>/polypropylene particulate composites: the effect of particle size. *J. Appl. Polym. Sci.*, 91 (2) (2004), pp. 925-935, DOI: 10.1002/APP.13268.
8. Z. Demjén, B. Pukánszky, J. Nagy. Evaluation of interfacial interaction in polypropylene/surface treated CaCO<sub>3</sub> composites. *Compos. Appl. Sci. Manuf.*, 29 (3) (1998), pp. 323-329, DOI: 10.1016/S1359-835X(97)00032-8.
9. K. Mitsuishi, S. Kodama, H. Kawasaki. Mechanical properties of polypropylene filled with calcium carbonate. *Polym. Eng. Sci.*, 25 (17) (1985), pp. 1069-1073, DOI: 10.1002/PEN.760251704.
10. S.M. Zabarjad, M. Tahani, S.A. Sajjadi. Influence of filler particles on deformation and fracture mechanism of isotactic polypropylene. *J. Mater. Process. Technol.*, 155 (1–3) (2004), pp. 1459-1464, DOI: 10.1016/J.JMATPROTEC.2004.04.187–156.
11. S. Karamipour, H. Ebadi-Dehaghani, D. Ashouri, S. Mousavian. Effect of nano-CaCO<sub>3</sub> on rheological and dynamic mechanical properties of polypropylene: experiments and models. *Polym. Test.*, 30 (1) (2011), pp. 110-117, DOI: 10.1016/J.POLYMERTESTING.2010.10.009.
12. C.D. Han. Rheological properties of calcium carbonate-filled polypropylene melts. *J. Appl. Polym. Sci.*, 18 (3) (1974), pp. 821-829, DOI: 10.1002/APP.1974.070180317.
13. Y.W. Leong, M.B. Abu Bakar, Z.A.M. Ishak, A. Ariffin, B. Pukanszky. Comparison of the mechanical properties and interfacial interactions between talc, kaolin, and calcium carbonate filled polypropylene composites. *J. Appl. Polym. Sci.*, 91 (5) (2004), pp. 3315-3326, DOI: 10.1002/APP.13542.
14. ISO 527-2:2012. *Plastics — Determination of Tensile Properties — Part 2: Test Conditions for Moulding and Extrusion Plastics* (2012). Retrieved February 19, 2024, from <https://www.iso.org/standard/56046.html>.
15. ISO 527-1:2019. *Plastics — Determination of Tensile Properties — Part 1: General Principles* (2019). Retrieved February 19, 2024, from <https://www.iso.org/standard/75824.html>.
16. ISO 178:2019 – *Plastics. Determination of Flexural Properties* (2019). Retrieved February 19, 2024, from <https://www.iso.org/standard/70513.html>.
17. ISO 179-1:2023. *Plastics — Determination of Charpy Impact Properties — Part 1: Non-instrumented Impact Test* (2023). Retrieved February 19, 2024, from <https://www.iso.org/standard/84393.html>.
18. H. Zhang, K. Wang, G. Fan, J. Lin, L. Huang, R. Xiang, al, B. Le Thi, R. Shi, B. Duc Long, C. Budiyanoro, H. Sosiati, B.P. Kamiel, M.L. S Fikri. The Effect of CaCO<sub>3</sub> Filler Component on Mechanical Properties of Polypropylene. (2018), DOI: 10.1088/1757-899X/432/1/012043.
19. Y. Jing, X. Nai, L. Dang, D. Zhu, Y. Wang, Y. Dong, W. Li. Reinforcing polypropylene with calcium carbonate of different morphologies and polymorphs. *Sci. Eng. Compos. Mater.*, 25 (4) (2018), pp. 745-751, DOI: 10.1515/SECM-2015-0307/MACHINEREADABLECITATION/RIS.
20. C. Hongzhen, Y. Keyan, Y. Weiming. Effects of calcium carbonate on preparation and mechanical properties of wood/plastic composite. *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, 10 (1) (2017), pp. 184-190, DOI: 10.3965/J.IJABE.20171001.2707.
21. Y.W. Leong, Z.A.M. Ishak, A. Ariffin. Mechanical and thermal properties of talc and calcium carbonate filled polypropylene hybrid composites. *J. Appl. Polym. Sci.*, 91 (5) (2004), pp. 3327-3336, DOI: 10.1002/APP.13543.

*Polypropylene is one of the most widely used general-purpose plastics, but its application as an engineering plastic is limited due to poor low-temperature impact strength, low impact strength and easy aging of products during operation. By filling and modifying polypropylene, its complex properties can be significantly improved, including rigidity, strength, heat resistance, etc., due to which it will have more advantages in the competitive struggle with engineering plastics. The best effect is achieved by filling polypropylene with calcium carbonate. In this paper, the effect of calcium carbonate superconcentrate on the mechanical properties of polypropylene-based composites was studied. It was shown that as the filler content increases, the yield strength of the composite decreases from 17.73 to 12.95 MPa from 0 to 40% CaCO<sub>3</sub>. Young's modulus increased consistently with increasing filler percentage, indicating that the materials became stiffer as more CaCO<sub>3</sub> was added. Flexural strength initially increased from 25.11 N/mm<sup>2</sup> (neat polypropylene) to 31.11 N/mm<sup>2</sup> with 5% CaCO<sub>3</sub>, but then decreased as filler increased. Flexural modulus increased consistently with increasing filler addition. Neat*

polypropylene had the lowest flexural modulus (865 N/mm<sup>2</sup>) and 40% CaCO<sub>3</sub> filled polypropylene had the highest (1298 N/mm<sup>2</sup>). Impact strength increased slightly from neat polypropylene (0.03 J/mm<sup>2</sup>) to 40% CaCO<sub>3</sub> (0.039 J/mm<sup>2</sup>), however, this change was inconsistent and unpredictable. Overall, it was demonstrated that the addition of CaCO<sub>3</sub> to polypropylene will have a varying effect on the mechanical properties depending on the percentage of filler added. Therefore, it is necessary to determine how low the yield strength and flexural strength values and how high the Young's modulus and flexural modulus values will be acceptable for a particular product in order to decide on the content of CaCO<sub>3</sub> filler that can be added to the composite.

**Keywords:** polypropylene, calcium carbonate, yield strength, Young's modulus, flexural strength, flexural modulus, impact strength.

**Римар Т. Е.** – професор кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля;

**Цибульник М. І.** - аспірант кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Стаття надійшла до редакції: 03.07.2025 р.

Стаття прийнята до друку: 02.10.2025 р.

Стаття опублікована: 09.12.2025 р.