

Римар Т. Е., Ніколенко Р.С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СУПЕРКОНЦЕНТРАТІВ КАРБОНАТУ КАЛЬЦІЮ НА ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ КОМПАУНДІВ

Введення недорогих мінеральних наповнювачів у поліолефінові сполуки є ефективним способом заміни полімеру у продукті, що знижує загальні матеріальні витрати, особливо у періоди високих цін на нафтопродукти. Додавка карбонату кальцію значно покращує механічні властивості матеріалів на основі поліетилену, включаючи міцність на розрив, удароміцність і жорсткість. Це призводить до підвищення довговічності та універсальності продукту, роблячи матеріали з поліетилену придатними для різних застосувань у таких галузях, як упаковка, сільське господарство, будівництво тощо. Поліетилен, модифікований жорсткими частинками наповнювача CaCO_3 , демонструє як дуже високу міцність, так і помітно поліпшену жорсткість одночасно, переважаючи поведінку чистої полімерної матриці. Однак існують складності у введенні порошкоподібного CaCO_3 безпосередньо при формуванні виробів через не рівномірний розподіл наповнювача в полімерній матриці, що позначається на якості виробів. Тому такий наповнювач слід вводити у вигляді високонаповненого гранульованого концентрату. В даній роботі проводилось дослідження впливу добавки високонаповненого гранульованого концентрату карбонату кальцію на основі поліетилену на механічні властивості поліетиленових компаундів. Введення наповнювача надає значний вплив на жорсткість, межу плинності і граничне подовження поліетиленових компаундів. Зразки з вмістом CaCO_3 більше 10% мали підвищену жорсткість та знижене граничне подовження, але не значне збільшення межі плинності. Цей ефект проявляється за всіх температур і може бути віднесений до підвищеного ступеня кристалізації через ефект зародкоутворення. Можна відзначити, що жорсткі наповнювачі, такі як карбонат кальцію, забезпечують додаткові переваги поліетиленовим композитам, які полягають в підвищенні їх міцності та жорсткості, що дає можливість розширити спектр їх застосування та підвищити механічні властивості готових поліетиленових виробів.

Ключові слова: поліетилен, карбонат кальцію, межа плинності, модуль пружності, граничне подовження, жорсткість, наповнювач.

Актуальність дослідження. Введення недорогих мінеральних наповнювачів у поліолефінові сполуки є ефективним способом заміни полімеру у продукті, що знижує загальні матеріальні витрати, особливо у періоди високих цін на нафтопродукти. Додавка карбонату кальцію сприяє стійкості полімерної промисловості та збереженню ресурсів. Використання добавки CaCO_3 дозволяє виробникам досягти економічно ефективного виробництва, знижуючи витрати на матеріали при збереженні бажаної якості виробів.

З технічного погляду додавка карбонату кальцію пропонує широкий спектр переваг. Введення наповнювача в матрицю поліетилену (ПЕ) значно покращує механічні властивості матеріалу, включаючи міцність на розрив, удароміцність і жорсткість. Це призводить до підвищення довговічності та універсальності продукту, роблячи матеріали з ПЕ придатними для різних застосувань у таких галузях, як упаковка, сільське господарство, будівництво тощо [1].

Теоретичний аналіз дослідження. Однією з поширених цілей додавання мінеральних наповнювачів у полімери є зниження вартості. Наповнювачі також все частіше використовуються для виконання додаткових функцій, таких як підвищення жорсткості, зниження діелектричних втрат або збільшення поглинання інфрачервоного випромінювання. Однак переважна думка полягає в тому, що додавання жорстких неорганічних наповнювачів у полімери, як правило, призводить до підвищення крихкості за рахунок різкого зниження їх енергії удару. Більшість досліджень модифікації напівкристалічних полімерів жорсткими наповнювачами у вигляді частинок повідомляють про значне збільшення міцності в порівнянні з чистими полімерами. Так дослідження [2-7] демонструють підвищення міцності поліетилену, наповненого жорсткими наповнювачами у вигляді частинок. Вражаюче збільшення енергії удару було повідомлено у роботах [8-14] для поліетилену, наповненого частинками карбонату кальцію.

Існують і інші роботи, присвячені вивченню фізико-механічних властивостей поліетилену, наповненого карбонатом кальцію. Так в роботі [15] вивчалися механічні властивості і комплексна в'язкість розплаву наповнених карбонатом кальцію композитів поліетилену високої щільності (ПЕВЩ), поліетилену низької щільності (ПЕНЩ) і лінійного поліетилену низької щільності, які показали, що розтягуюча напруга і комплексна в'язкість композицій були вищими, ніж у ненаповнених полімерів, що має на увазі підсилюючий ефект карбонату кальцію.

У роботі [16] проводилось дослідження морфологічних, термічних та в'язкопружних властивостей композитів поліетилену високої щільності з карбонатом кальцію. Виявлено, що процес кристалізації зразків композитів дещо відрізняється від процесу кристалізації чистого ПЕВЩ. В іншому присутність CaCO_3 не мала значного впливу на плавлення композитів. Термогравіметричний аналіз (TGA) показав, що композити мали кращу термічну стабільність ніж чиста смола ПЕВЩ, на що вказує більш висока температура втрати ваги на 50% для композитів порівняно з

чистою смолою. Присутність CaCO_3 збільшила модуль зсуву композитів, порівняно з чистою смолою, також збільшилася комплексна в'язкість композиту при додаванні CaCO_3 .

У роботі [17] досліджувалися властивості поліетиленових пляшок, наповнених карбонатом кальцію, одержаних методом екструзійно-видувного формування. Було встановлено, що додавання CaCO_3 збільшує в'язкість композиту. Введення наповнювачів CaCO_3 у ПЕВЩ знижує межу плинності при розтягуванні, подовження при розриві та ударну в'язкість. Модуль пружності ПЕВЩ, наповненого CaCO_3 , був більшим, ніж у ненаповненого.

У роботі [18] було досліджено технологічні та механічні властивості композитів поліетилену високої щільності, наповнених карбонатом кальцію, з різною об'ємною часткою наповнювача (до 40 %). За допомогою методу скануючої електронної мікроскопії було виявлено добре диспергування карбонату кальцію в поліетиленовій матриці. Що стосується механічних властивостей, збільшення модуля Юнга при розтягуванні з об'ємною часткою наповнювача супроводжується зниженням міцності на розтяг і деформації при розриві композитів.

У роботі [19] було вивчено механізм міцності в напівкристалічних полімерних сумішах на основі поліетилену високої щільності, зміцнених частинками наповнювача карбонату кальцію. Для усунення крихкості надрізу поліетилену високої щільності він був модифікований жорсткими зернистими наповнювачами, що складаються з трьох різних розмірів частинок CaCO_3 із середнім діаметром 3,50, 0,70 та 0,44 мкм у різних об'ємних частках. Міцність матеріалів, наповнених CaCO_3 , різко зросла, коли середня товщина зв'язки міжчасткового матричного поліетилену впала до значень нижче 0,6 мкм. Жорсткі наповнювачі, використані в цьому дослідженні, забезпечили додаткову перевагу суттєвого збільшення модуля Юнга з'єднань, а також різкого покращення їхньої енергії удару. За цих умов досягається стрибок ударної в'язкості, який при об'ємній частці наповнювача 0,22 призводить до ударної енергії по Ізод 800 Дж/м порівняно з типовими значеннями близько 50 Дж/м.

Таким чином, можна зробити висновок, що поліетилен, модифікований жорсткими частинками наповнювача CaCO_3 , демонструє як дуже високу міцність, так і помітно поліпшену жорсткість одночасно, переважаючи поведінку чистої полімерної матриці. Однак існують складності у введенні порошкоподібного CaCO_3 безпосередньо при формуванні виробів через не рівномірний розподіл наповнювача в полімерній матриці, що позначається на якості виробів. Тому такий наповнювач слід вводити у вигляді високонаповненого гранульованого концентрату.

Метою роботи є вивчення впливу добавки високонаповненого гранульованого концентрату карбонату кальцію на основі поліетилену на механічні властивості поліетиленових компаундів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Полімер, який використовувався у даній роботі - лінійний поліетилен низької щільності SABIC® LLDPE 318В. Він має щільність 0,916 - 0,920 г/см³ та індекс плинності розплаву 2,4 - 3,2 г/10хв (2,16 кгс за 190°C). Як наповнювач використовувався гранульований концентрат карбонату кальцію на основі поліетилену Королітек 21 (вітчизняного виробника, ТОВ «Євро Полімер Компаунд»), який має вміст карбонату кальцію 80%, решта - поліетилен. Даний матеріал має індекс плинності розплаву (2,16 кгс за 190°C) 3,4 г/10хв і розмір гранул 2-5 мм.

Для проведення досліджень були приготовлені партії грануляту із вмістом карбонату кальцію від 0% до 40% з інтервалами 10%.

У ході випробувань на розтягування зразків композитів були визначені відповідні механічні властивості: межа плинності, модуль пружності, граничне подовження.

Випробування на розтяг були проведені при температурах 20°C, 80°C і 100°C.

Ключові показники були розраховані відповідно до [20] та показані на рис 1-3.

Межа плинності фізична σ_T (МПа) визначається за технічною діаграмою розтягування зразків та розраховується за формулою:

$$\sigma_m = P_m / F_0$$

де P_T – навантаження, що відповідає площадці текучості, Н

F_0 – початкова площа поперечного перетину зразка, мм².

Відносне подовження δ (%) зразків та розраховується за формулою:

$$\delta = ((l_k - l_0) / l_0) \cdot 100$$

де l_k – довжина зразка після розриву, мм;

l_0 – початкова розрахункова довжина зразка, мм.

Модуль пружності при розтягуванні (модуль Юнга) E_f (МПа) розраховувався по формулі:

$$E_f = \sigma / \varepsilon$$

де σ - механічне напруження, Н;
 ϵ – відносна деформація розтягування.

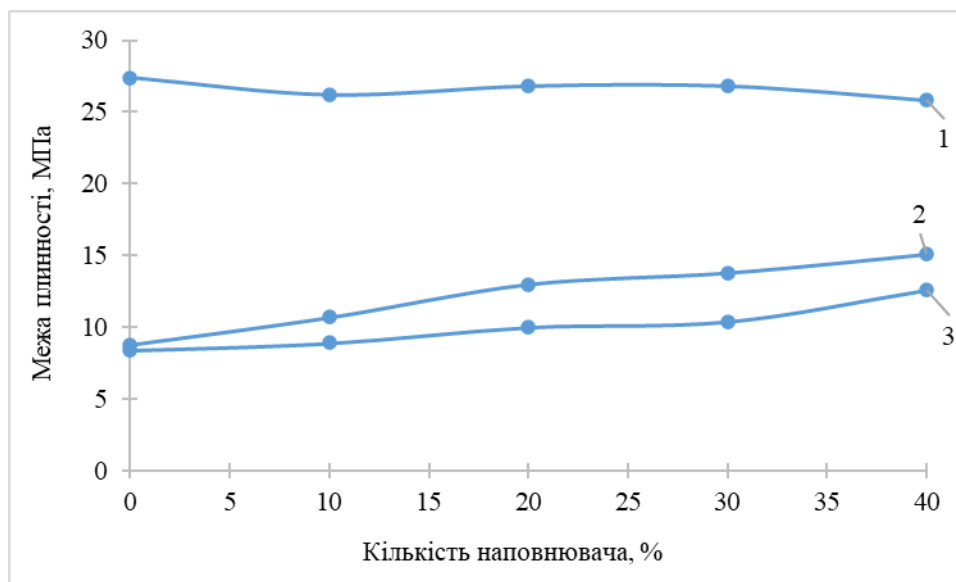


Рисунок 1 - Вплив кількості наповнювача та температури на межу плинності ПЕ компаунду (1 - T=20°C, 2 - T=80°C, 3 - T=100°C)

Як видно з даних рис. 1 при температурі 20 °C відбувається незначне зменшення межі плинності з додаванням наповнювача, причому при меншому вмісті наповнювача 10% спостерігається дещо менше значення показника 26,2 МПа, тоді як з підвищенням вмісту наповнювача до 20% межа плинності трохи збільшилась до 26,8 МПа і далі не змінювалась. При підвищеній температурі 80°C і 100°C спостерігається збільшення показника межі плинності з підвищенням вмісту наповнювача, оскільки підвищення температури призводить до розм'ягшення зразків.

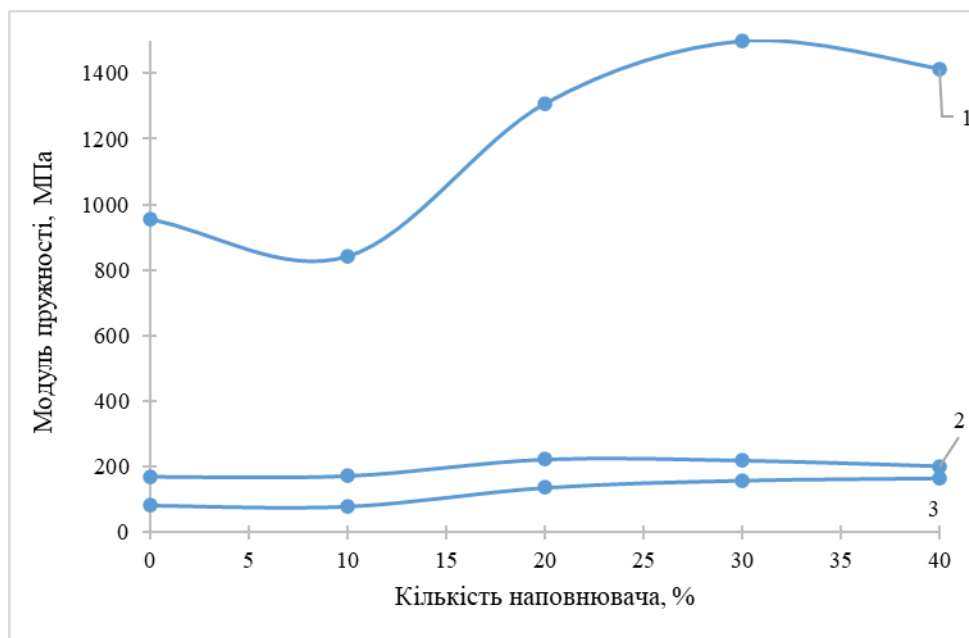


Рисунок 2 - Вплив кількості наповнювача та температури на модуль пружності ПЕ компаунду (1 - T=20°C, 2 - T=80°C, 3 - T=100°C)

Дані рис. 2 свідчать про підвищення модуля пружності композитів з підвищенням вмісту в ньому наповнювача. Виняток складає зразок з невеликим вмістом наповнювача (10%), який досліджувався при температурі 20°C. Тут спостерігається дещо менше значення модуля пружності 849,7 МПа в порівнянні з чистим поліетиленом,

де модуль пружності складав 945,5 МПа. Подальше підвищення вмісту наповнювача призводить до значного підвищення модуля пружності, який становить 1497,3 МПа при 30%-му вмісті наповнювача, але при занадто високому вмісті CaCO_3 (40%) спостерігається незначне падіння показника до 1412,9 МПа. При підвищеній температурі спостерігається незначне підвищення модуля пружності компаунду з підвищенням вмісту наповнювача, оскільки зразки знаходяться у розм'ягшеному стані.

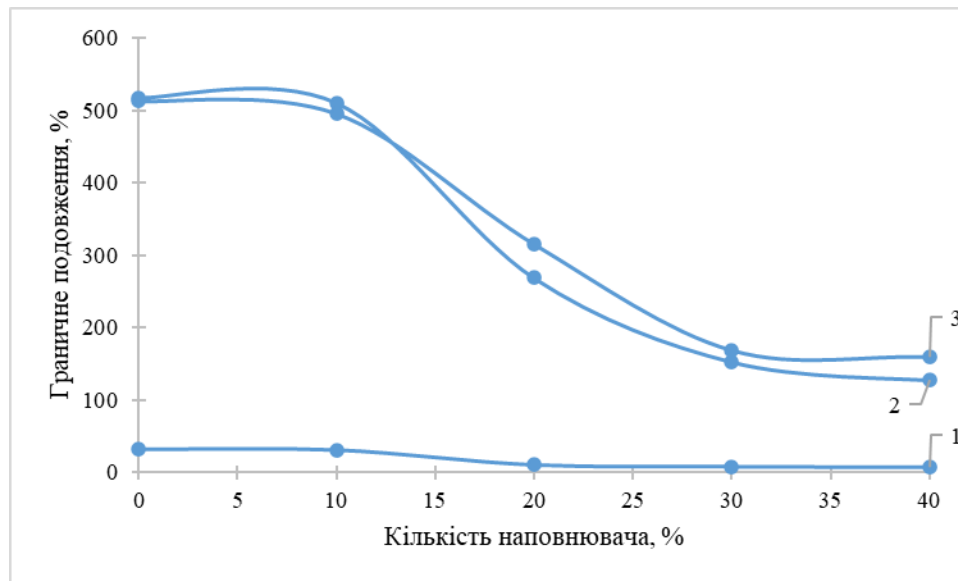


Рисунок 3 - Вплив кількості наповнювача та температури на граничне подовження ПЕ компаунду (1 - $T=20^{\circ}\text{C}$, 2 - $T=80^{\circ}\text{C}$, 3 - $T=100^{\circ}\text{C}$)

З рис. 3 видно, що граничне подовження компаунду з підвищенням вмісту наповнювача знижується за всіх температур. Але при температурі 20°C це зниження настає повільно та поступово з 31,3 % при 10% добавки до 7,5 % при 40% CaCO_3 . За підвищених же температур спостерігається різке зниження показника, які складають 510,8% і 496% при 10%-му вмісті наповнювача і 127,1 % і 159,9% при вмісті CaCO_3 40% при температурах 80°C і 100°C відповідно.

Висновок. З проведених досліджень видно, що як температура так вміст наповнювача надають значний вплив на жорсткість, межу плинності і граничне подовження поліетиленових компаундів. Розглядаючи дані випробувань при кімнатній температурі, можна побачити граничний вміст частинок з точки зору граничного подовження та жорсткості. Зразки з вмістом CaCO_3 більше 10% мали підвищену жорсткість та знижене граничне подовження, але не значне збільшення межі плинності. Цей ефект проявляється за всіх температур і може бути віднесений до підвищеного ступеня кристалізації. Підвищення температури до 80°C не змінює граничну поведінку, а просто розм'якшує всі зразки. Подальше підвищення температури до 100°C не виявляє ефекти, що значно спостерігаються. Крім того, було виявлено, що частинки CaCO_3 збільшують ступінь кристалізації при концентрації 10% через ефект зародкоутворення. Підвищена жорсткість та знижене граничне подовження спостерігалися при збільшеному вмісті CaCO_3 для всіх температур 20°C , 80°C та 100°C .

Таким чином, можна відзначити, що жорсткі наповнювачі, такі як карбонат кальцію, забезпечують додаткові переваги поліетиленовим композитам, які полягають в підвищенні їх міцності та жорсткості, що дає можливість розширити спектр їх застосування та підвищити механічні властивості готових поліетиленових виробів.

Література

1. PE CaCO_3 Additive. URL: <https://www.hakadatradng.com/pe-calcium-carbonate-additive>.
2. Maiti S.N., Jeyakumar R. Mechanical and Melt Rheology Properties of CaCO_3 -filled Polyethylene, Journal of Polymer Materials, 1990. 7. P. 29-34.
3. Schreiber H.P., Viau J.M., Fetoui A., and Zhuo D. Some Properties of Polyethylene Compounds with Surface-Modified Fillers, Polymer Engineering and Science, 1990. 30(5). P. 263-269.
4. Jumpa S. Elongational Rheometry and Processing of Filled Polyethylene Melts, Ph.D. Thesis, Institute of Polymer Technology and Material Engineering, Loughborough University, Loughborough, UK. 1998.
5. Premphet K., Horanont P. Improving Performance of Polypropylene Through Combined Use of Calcium Carbonate and Metalocene-Produced Impact Modifier, Polymer Plastics Technology and Engineering, 2001. 40(3). P. 235-247.

6. Zuiderduim W.C.J., Westzaan C., Hue'tink J. and Gaymans R.J. Toughening of Polypropylene with Calcium Carbonate Particle, *Polymer*, 2003. 44. P. 261-275.
7. Papirer E., Schultz J., and Turchi C. Surface Properties of Calcium Carbonate Filler Treated with Stearic Acid, *European Polymer Journal*, 1984. 20(12). P. 1155-1158.
8. Wang Q., Chen H., and Liu Y. LDPE-g-MAH Prepared Through Solid-Phase Mechanochemistry and Its Compatibilizing Effects on HDPE/CaCO₃, *Polymer Plastics Technology and Engineering*, 2002. 41(2). P. 215-228.
9. Premphet-Sirisinha K. and Preechachon I. Changes in Morphology and Properties by Grafting Reaction in PP/EOR/CaCO₃ Ternary Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 2003. 89. P. 3557-3562.
10. Sahnoune F., Lopez J.m., and Crespy A. Improvement of the Mechanical Properties of an HDPE/PS blend by Compatibilization and Incorporation CaCO₃, *Polymer Engineering and Science*, 2003. 43. P. 647-660.
11. Han C.D. Rheological Properties of Calcium Carbonate-Filled Polypropylene Melts, *Journal of Applied Polymer Science*, 1974. 18. P. 821-829.
12. Suetsugu Y. and White J.L. The Influence of Particle Size and Surface Coating of Calcium Carbonate on the Rheological Properties of Its Suspensions in Molten Polystyrene, *Journal of Applied Polymer Science*, 1983. 28. P. 1481-1501.
13. Santelices A. Melt Rheology Properties of CaCO₃-filled Polyethylene and Its Processing, *ANTEC Proceedings*, 1994. P. 3591-3595.
14. Haworth, B. and Jumpa, S. Extensional Flow Characterization and Extrusion Blow Molding of high Density Polyethylene Modified by Calcium Carbonate, *Plastics Rubber and Composites*, 1999. 28(8). P. 363-378.
15. Sangmin Kwon, Kwang J Kim, Hyun Kim, Patit P Kundu, Tae J Kim, Young K Lee, Byung H Lee, Soonja Choe. Tensile property and interfacial dewetting in the calcite filled HDPE, LDPE, and LLDPE composites. *Polymer*. 2002. V. 43. Issue 25. P. 6901-6909. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(02\)00399-3/](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(02)00399-3/)
16. Rabeh H. Elleithy, Ilias Ali, Muhammad Alhaj Ali, S. M. Al-Zahrani. High density polyethylene/micro calcium carbonate composites: A study of the morphological, thermal, and viscoelastic properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2010. V. 117. Issue. P. 2413-2421. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.32142>.
17. Rukchonlatee S., Amornskakchai T., Lsmpong P. Properties of Calcium Carbonate-Filled Polyethylene Bottles Produced from Extrusion Blow Molding Process. *Kmstl Scence journal*. 2006. V. 6 No. 2b. P. 582-589.
18. Sutida Teimpratee, Khemchai Hemachandra, Jintamai Suwanpratee. Characterization of highly loaded calcium carbonate filled high density polyethylene composites. Thesis Published by Office of Academic Resources, Chulalongkorn University, 25 March 2025. DOI: <https://doi.org/10.58837/chula.the.1997.1150>.
19. Z Bartczak, A.S Argon, R.E Cohen, M Weinberg. Toughness mechanism in semi-crystalline polymer blends: II. High-density polyethylene toughened with calcium carbonate filler particles. *Polymer*. 1999. V. 40, Issue 9, P. 2347-2365. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(98\)00444-3](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(98)00444-3).
20. ISO 527-1:2019, «Plastics — Determination of tensile properties. Part 1: General principles», Published. Edition 3, 2019.

Referens

1. PE CaCO₃ Additive. URL: <https://www.hakadatradng.com/pe-calcium-carbonate-additive>.
2. Maiti S.N., Jeyakumar R. Mechanical and Melt Rheology Properties of CaCO₃-filled Polyethylene, *Journal of Polymer Materials*, 1990. 7. P. 29-34.
3. Schreiber H.P., Viau J.M., Fetoui A., and Zhuo D. Some Properties of Polyethylene Compounds with Surface-Modified Fillers, *Polymer Engineering and Science*, 1990. 30(5). P. 263-269.
4. Jumpa S. Elongational Rheometry and Processing of Filled Polyethylene Melts, Ph.D. Thesis, Institute of Polymer Technology and Materials Engineering, Loughborough University, Loughborough, UK. 1998.
5. Premphet K., Horanont P. Improving Performance of Polypropylene Through Combined Use of Calcium Carbonate and Metalocene-Produced Impact Modifier, *Polymer Plastics Technology and Engineering*, 2001. 40(3). P. 235-247.
6. Zuiderduim W.C.J., Westzaan C., Hue'tink J. and Gaymans R.J. Toughening of Polypropylene with Calcium Carbonate Particle, *Polymer*, 2003. 44. P. 261-275.
7. Papirer E., Schultz J., and Turchi C. Surface Properties of Calcium Carbonate Filler Treated with Stearic Acid, *European Polymer Journal*, 1984. 20(12). P. 1155-1158.
8. Wang Q., Chen H., and Liu Y. LDPE-g-MAH Prepared Through Solid-Phase Mechanochemistry and Its Compatibilizing Effects on HDPE/CaCO₃, *Polymer Plastics Technology and Engineering*, 2002. 41(2). P. 215-228.
9. Premphet-Sirisinha K. and Preechachon I. Changes in Morphology and Properties by Grafting Reaction in PP/EOR/CaCO₃ Ternary Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 2003. 89. P. 3557-3562.
10. Sahnoune F., Lopez J.m., and Crespy A. Improvement of the Mechanical Properties of an HDPE/PS blend by Compatibilization and Incorporation CaCO₃, *Polymer Engineering and Science*, 2003. 43. P. 647-660.
11. Han C.D. Rheological Properties of Calcium Carbonate-Filled Polypropylene Melts, *Journal of Applied Polymer Science*, 1974. 18. P. 821-829.

12. Suetsugu Y. and White J.L. The Influence of Particle Size and Surface Coating of Calcium Carbonate on the Rheological Properties of Its Suspensions in Molten Polystyrene, *Journal of Applied Polymer Science*, 1983. 28. P. 1481-1501.
13. Santelices A. Melt Rheology Properties of CaCO₃-filled Polyethylene and Its Processing, *ANTEC Proceedings*, 1994. P. 3591-3595.
14. Haworth, B. and Jumpa, S. Extensional Flow Characterization and Extrusion Blow Molding of High Density Polyethylene Modified by Calcium Carbonate, *Plastics Rubber and Composites*, 1999. 28(8). P. 363-378.
15. Sangmin Kwon, Kwang J Kim, Hyun Kim, Patit P Kundu, Tae J Kim, Young K Lee, Byung H Lee, Soonja Choe. Tensile property and interfacial dewetting in the calcite filled HDPE, LDPE, and LLDPE composites. *Polymer*. 2002. V. 43. Issue 25. P. 6901-6909. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(02\)00399-3/](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(02)00399-3/)
16. Rabeh H. Elleithy, Ilias Ali, Muhammad Alhaj Ali, S. M. Al-Zahrani. High density polyethylene/micro calcium carbonate composites: A study of the morphological, thermal, and viscoelastic properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2010. V. 117. Issue. P. 2413-2421. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.32142>.
17. Rukchonlatee S., Amornskakchai T., Lsmpong P. Properties of Calcium Carbonate-Filled Polyethylene Bottles Produced from Extrusion Blow Molding Process. *Kmstl Scsence journal*. 2006. V. 6 No. 2b. P. 582-589.
18. Sutida Teimpratee, Khemchai Hemachandra, Jintamai Suwanpratee. Characterization of highly loaded calcium carbonate filled high density polyethylene composites. Thesis Published by Office of Academic Resources, Chulalongkorn University, 25 March 2025. DOI: <https://doi.org/10.58837/chula.the.1997.1150>.
19. Z Bartczak, AS Argon, RE Cohen, M Weinberg. Toughness mechanism in semi-crystalline polymer blends: II. High-density polyethylene toughened with calcium carbonate filler particles. *Polymer*. 1999. V. 40, Issue 9, P. 2347-2365. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(98\)00444-3](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(98)00444-3).
20. ISO 527-1:2019, "Plastics — Determination of tensile properties. Part 1: General principles", Published. Edition 3, 2019.

The introduction of inexpensive mineral fillers into polyolefin compounds is an effective way to replace the polymer in the product, which reduces overall material costs, especially during periods of high prices for petroleum products. The addition of calcium carbonate significantly improves the mechanical properties of polyethylene-based materials, including tensile strength, impact resistance and rigidity. This leads to increased durability and versatility of the product, making polyethylene materials suitable for various applications in industries such as packaging, agriculture, construction, etc. Polyethylene modified with rigid CaCO₃ filler particles demonstrates both very high strength and significantly improved rigidity at the same time, surpassing the behavior of a pure polymer matrix. However, there are difficulties in introducing powdered CaCO₃ directly during the formation of products due to the uneven distribution of the filler in the polymer matrix, which affects the quality of the products. Therefore, such a filler should be introduced in the form of a highly filled granular concentrate. In this work, the effect of adding highly filled granular calcium carbonate concentrate based on polyethylene on the mechanical properties of polyethylene compounds was studied. The introduction of the filler has a significant effect on the rigidity, yield strength and ultimate elongation of polyethylene compounds. Samples with a CaCO₃ content of more than 10% had increased rigidity and reduced ultimate elongation, but did not significantly increase the yield strength. This effect occurs at all temperatures and can be attributed to an increased degree of crystallization due to the nucleation effect. It can be noted that rigid fillers such as calcium carbonate provide additional benefits to polyethylene composites, which consist in increasing their strength and rigidity, which allows expanding the range of their application and improving the mechanical properties of finished polyethylene products.

Keywords: polyethylene, calcium carbonate, yield strength, elastic modulus, ultimate elongation, rigidity, filler.

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

Ніколенко Р. С. - 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.