

УДК: 678.7

DOI: 10.20535/iwccmm2025327326

ВПЛИВ КАРБОНАТУ КАЛЬЦІЮ НА ПРОЦЕС БАГАТОРАЗОВОЇ ПЕРЕРОБКИ ПВХ КОМПОЗИТІВ

Андрій САВЧУК,

Аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну,

Andriy.pvh@gmail.com

Надія СОВА,

Д.т.н., професор

Київський національний університет технологій та дизайну,

djanc@ukr.net

Ярослав КУРИПТА,

Аспірант,

Київський національний університет технологій та дизайну,

yarik_lg@ukr.net

Анотація. Досліджено вплив наповнювача карбонату кальцію на реологічні та фізико-механічні властивості отриманих жорстких ПВХ-композицій у процесі циклічної переробки. З метою визначення оптимальних параметрів модифікуючих добавок було проведено серію експериментів із варіацією їх концентрацій та аналізом змін показника течії розплаву (ПТР), міцності при розтягуванні, відносного видовження та ударної в'язкості впродовж п'яти циклів переробки. Результати свідчать, що введення 15-20 мас. частин карбонату кальцію підвищує термостабільність і забезпечує збереження механічних властивостей, але перевищення цього значення негативно впливає на ударну міцність та обмежує повторне використання матеріалу. Отримані результати є вагомим внеском у розвиток технологій багаторазової переробки ПВХ в умовах циклічної економіки та дозволяють удосконалити рецептури компаундів для промислового застосування.

Ключові слова: ПВХ, циклічна переробка, фізична модифікація, наповнювач, карбонат кальцію, механічні властивості, показник течії розплаву.

Полівінілхлорид (ПВХ) один із найпоширеніших термопластів у світі[1-3]. Проте початкова пластичність і термостабільність ПВХ поступаються іншим широко використовуваним термопластам, таким як поліетилен і полістирол, та ускладнює повторну багаторазову переробку[1, 4]. Для покращення властивостей та полегшення переробки ПВХ модифікують добавками, такими як пластифікатори, термостабілізатори, мастила, наповнювачі та інші полімери, а також за рахунок співполімеризації з іншими мономерами[5-7]. Добре відомо,

що термостійкість полімерних матеріалів можна покращити шляхом додавання неорганічних наповнювачів на основі кремнезему, оксиду титану, шаруватих силікатних глин, карбонату кальцію, феромагнітних наночастинок та ванадію. Як активні наповнювачі, які можуть реагувати з хлороводнем, більше уваги привертають карбонат кальцію та гідроксиди або оксиди металів[8].

Враховуючи, що карбонат кальцію значно впливає на термостабільність ПВХ композиту важливою задачею являється підбір раціональних параметрів даної добавки, що може значно покращити повторну багаторазову переробку ПВХ композиту.

Для приготування зразків ПВХ композитів у роботі використовували полівінілхлорид марки VYNOVA S6706(Vynova Group, Бельгія), стабілізатор кальцій/цинковий BAEROPAN MC 91424 FP/1 (виробник Baerlocher Kimya San. Tic. Ltd. Şti. Akhisar Şubesi, Турція), карбонат кальцію Omyacarb 2T – KA(KARABIGA, Турція), та поліетиленовий віск Licowax PE 520(Clarient, Німеччина).

Для дослідження впливу карбонату кальцію на властивості ПВХ композиту в умовах багаторазової переробки було розроблено ряд рецептур(табл. 1) де варіювали концентрацію наповнювача від 5 до 25 масових частин.

Таблиця 1 – Рецептури ПВХ композицій

Компонент	Марка	Масові частини				
		Композит №1	Композит №2	Композит №3	Композит №4	Композит №5
ПВХ	S6706	100	100	100	100	100
Карбонат кальцію	Omyacarb 2T - KA	5	10	15	20	25
Стабілізатор, кальцій/цинк	BP MC 91424 FP/1	4	4	4	4	4
Поліетиленовий віск	Licowax PE 520	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Приготування ПВХ композитів відбувалось наступним чином. Спочатку компоненти композиту змішували у високошвидкісному міксері HKN-SG400 Hurakan впродовж 5-10 хв. Отриману порошкову масу переробляли у гранулят за допомогою екструдера зі шнеком діаметром 25 мм і співвідношенням $L/D = 16$ та стренгогранулятора. Температура на зоні завантаження екструдера складала 165 °С, на зоні плавлення – 185 °С, на зоні дозування – 180 °С. Після цього з грануляту виготовляли стрічки на екструдері з плоскощілинною голівкою. У результаті отримували стрічку завтовшки 2 мм і шириною 18 мм. Після дослідження властивостей стрічки її повторно подрібнювали та переробляли на екструдері у нову стрічку впродовж 5 разів.

На кожному циклі переробки ПВХ композитів досліджували їх реологічні та механічні властивості. Показник течії розплаву визначали згідно стандартів ASTM D1238 та ISO R1133 за допомогою капілярного віскозиметру постійного тиску типу ИИРТ-АМ (ООО ПТП «АСМА-Прибор», Україна). Для визначення механічних властивостей при розтягуванні проводили згідно стандарту ISO 527-2:2012. на розривній машині типу ZD-10t/91M (ООО ПТП «АСМА-Прибор», Україна).

Проведене дослідження показало, що збільшення вмісту карбонату кальцію значно знижує ПТР розплаву ПВХ композиту (табл. 2), знижується рухливість макромолекул полімеру, що суттєво впливає на процес переробки.

Таблиця 2 – Показник течії розплаву ПВХ композитів в залежності від концентрації карбонату кальцію та циклу переробки

№ композиту	ПТР, г/10хв				
	1 цикл	2 цикл	3 цикл	4 цикл	5 цикл
1	32,5	35	37	38	38,5
2	29	30	32	31	31
3	21	22	22	23	22
4	17	16	18	17	16
5	8	7,5	7	5	5

Введення карбонату кальцію до 10 мас. частин не призводить до значного зниження ПТР, проте подальше збільшення наповнювача до 15 мас. частин

знижує показник приблизно у 1,5 рази. При подальшому збільшенні концентрації карбонату кальцію до 25 мас. частин ПТР зменшується не менше як у 4 рази. При багаторазовій переробці найбільш стабільним ПТР залишається для композитів з концентрацією карбонату кальцію від 10 до 20 мас. частин.

Механічні властивості також суттєво погіршуються при збільшенні концентрації карбонату кальцію (табл. 3).

Таблиця 3 – Механічні властивості ПВХ композиту в залежності від концентрації карбонату кальцію та циклу переробки

Показник	Цикл переробки	№ композиту				
		1	2	3	4	5
Міцність при розриві, МПа	1	31	25	23	20	17
	2	29	24	21	19	16
	3	27	23	21	20	14
	4	26,5	23,2	20,7	18	14
	5	27	23	20	18	13
Відносне видовження, %	1	19	15	12	10	9
	2	17	14	11	9	8
	3	16	13	10	9	7
	4	15,5	12	10	8	7
	5	15	12	9	7	6
Ударна в'язкість, кДж/м ²	1	27	20	17	13	5
	2	36	19	16	12	4
	3	39	18	14	14	3
	4	37	17	14	13	3
	5	36	18	13	12	4

Зі збільшенням вмісту карбонату кальцію до 25 мас. частин значно погіршує механічні властивості, а саме зменшується майже вдвічі міцність на розрив, відносне видовження та майже в 5 разів, знижується ударна в'язкість порівняно з ПВХ композитом №1.

Отримані результати дають змогу обґрунтувати раціональний вміст карбонату кальцію в складі ПВХ-компаундів для збереження стабільних механічних властивостей і зменшення проявів деградації під час багаторазової переробки. Введення 15–20 мас. частин наповнювача сприяє збереженню жорсткості та стійкості механічних характеристик навіть після п'яти циклів переробки. Проте при збільшенні концентрації крейди до 25 мас. частин відмічається зменшення ударної в'язкості, що обмежує застосування таких компаундів у виробках, схильних до значних динамічних навантажень.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження підтвердили, що фізико-механічні та реологічні характеристики жорсткого ПВХ суттєво залежать від вмісту карбонату кальцію в процесі багаторазової переробки. Раціональне коригування складу ПВХ-компаундів дає змогу забезпечити оптимальне співвідношення між текучістю, механічною міцністю та здатністю до багаторазового перероблення без істотної деградації властивостей.

Встановлено, що додавання карбонату кальцію в межах 15–20 мас. частин забезпечує збереження високих експлуатаційних характеристик навіть після п'яти циклів переробки. Окрім цього, використання крейди сприяє зниженню вартості матеріалу та покращує його термостійкість. Водночас перевищення концентрації наповнювача до 25 мас. частин призводить до зниження показника течії розплаву та ударної в'язкості через надмірну жорсткість і втрату еластичності, що ускладнює подальшу переробку та обмежує застосування компаунду в динамічно навантажених виробках.

Таким чином, використання карбонату кальцію у кількості 15–20 мас. частин є оптимальним для збереження стабільних властивостей ПВХ-композицій у багаторазових циклах переробки, що узгоджується з принципами циклічної економіки.

Список літератури:

1. Havaei, M., Akin, O., Locaspi, A., Varghese, R. J., Minette, F., Romers, E., De Meester, S., & Van Geem, K. M. (2024). Beyond the Landfill: A critical review of techniques for End-of-Life Polyvinyl chloride (PVC) valorization. *Waste Management*, 193, 105–134. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.11.023>
2. Ait-Touchente, Z., Khellaf, M., Raffin, G., Lebaz, N., & Elaissari, A. (2023). Recent advances in polyvinyl chloride (PVC) recycling. *Polymers for Advanced Technologies*, 35(1). <https://doi.org/10.1002/pat.6228>
3. Mathews, G. (2024c). *PVC: Production, Properties and Uses*. CRC Press.
4. Lee, J. E., Lee, D., Lee, J., & Park, Y. (2024). Current methods for plastic waste recycling: Challenges and opportunities. *Chemosphere*, 370, 143978. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143978>
5. Elgharbawy, A. (2022). Poly Vinyl Chloride Additives and Applications-A Review. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 12(3). <https://doi.org/10.54560/jracr.v12i3.335>

6. Zhang, H., & Zhang, J. (2022). Rheological behaviors of plasticized polyvinyl chloride thermally conductive composites with oriented flaky fillers: A case study on graphite and mica. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(21). <https://doi.org/10.1002/app.52186>
7. Xia, X., Sun, M., Zhou, M., Chang, Z., & Li, L. (2020). Polyvinyl chloride microplastics induce growth inhibition and oxidative stress in *Cyprinus carpio* var. larvae. *The Science of the Total Environment*, 716, 136479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136479>
8. Deng, X., Zhang, C., Chen, Y., Yan, Y., Liu, Y., & Chen, X. (2018). Crush behaviors of polyvinyl chloride cellular structures with liquid filler. *Composite Structures*, 189, 428–434. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.01.103>

References:

1. Havaei, M., Akin, O., Locaspi, A., Varghese, R. J., Minette, F., Romers, E., De Meester, S., & Van Geem, K. M. (2024). Beyond the Landfill: A critical review of techniques for End-of-Life Polyvinyl chloride (PVC) valorization. *Waste Management*, 193, 105–134. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.11.023>
2. Ait-Touchente, Z., Khellaf, M., Raffin, G., Lebaz, N., & Elaissari, A. (2023). Recent advances in polyvinyl chloride (PVC) recycling. *Polymers for Advanced Technologies*, 35(1). <https://doi.org/10.1002/pat.6228>
3. Mathews, G. (2024c). *PVC: Production, Properties and Uses*. CRC Press.
4. Lee, J. E., Lee, D., Lee, J., & Park, Y. (2024). Current methods for plastic waste recycling: Challenges and opportunities. *Chemosphere*, 370, 143978. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143978>
5. Elgharbawy, A. (2022). Poly Vinyl Chloride Additives and Applications-A Review. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 12(3). <https://doi.org/10.54560/jracr.v12i3.335>
6. Zhang, H., & Zhang, J. (2022). Rheological behaviors of plasticized polyvinyl chloride thermally conductive composites with oriented flaky fillers: A case study on graphite and mica. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(21). <https://doi.org/10.1002/app.52186>
7. Xia, X., Sun, M., Zhou, M., Chang, Z., & Li, L. (2020). Polyvinyl chloride microplastics induce growth inhibition and oxidative stress in *Cyprinus carpio* var. larvae. *The Science of the Total Environment*, 716, 136479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136479>
8. Deng, X., Zhang, C., Chen, Y., Yan, Y., Liu, Y., & Chen, X. (2018). Crush behaviors of polyvinyl chloride cellular structures with liquid filler. *Composite Structures*, 189, 428–434. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.01.103>

INFLUENCE OF CALCIUM CARBONATE ON THE PROCESS OF MULTIPLE RECYCLING OF PVC COMPOSITES

Andriy SAVCHUK
Yaroslav KURYPTYA
PhD student,
Nadiya SOVA

Doctor of Technologies Science, professor
Kyiv National University of Design and Technologies

Abstract *The influence of calcium carbonate filler on the rheological and physicomachanical properties of the obtained rigid PVC compositions during the cyclic processing process was investigated. In order to determine the optimal parameters of modifying additives, a series of experiments was conducted with the variation of their concentrations and the analysis of changes in the melt flow index (MFR), tensile strength, relative elongation and impact toughness during five processing cycles. The results show that the introduction of 15-20 wt. parts of calcium carbonate increases thermal stability and ensures the preservation of mechanical properties, but exceeding this value negatively affects the impact strength and limits the reuse of the material. The results obtained are a significant contribution to the development of technologies for multiple PVC recycling in the conditions of a cyclical economy and allow improving the formulations of compounds for industrial use.*

Key words: *PVC, cyclic processing, physical modification, filler, calcium carbonate, mechanical properties, melt flow index.*