

УДК: 678.067:620.9:628.4

DOI: 10.20535/iwccmm2025325780

ВИКОРИСТАННЯ ЧЕРВОНОГО ШЛАМУ ЯК ФУНКЦІОНАЛЬНОГО НАПОВНЮВАЧА У ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТАХ

Любов МЕЛЬНИК,

К.т.н., доц.,

КПІ ім. Ігоря Сікорського,

luba_xtkm@ukr.net

Влада ЛАЗАРЕНКО,

Студентка

КПІ ім. Ігоря Сікорського,

lazarenko.vlada@iit.kpi.ua

Вероніка МАКСИМЧУК,

Студентка,

КПІ ім. Ігоря Сікорського

maksymchuk.veronika@iit.kpi.ua

Анотація. У роботі досліджено вплив червоного шламу, що є відходом глиноземного виробництва, на теплофізичні властивості полімерних композитів на основі водних дисперсій бутадієн-стирольної (Latex 2012) та акрилової (Policril 590). Встановлено, що введення 65–90 мас.% червоного шламу сприяє зростанню теплопровідності композитів у низькотемпературному діапазоні та збереженню стабільних характеристик при підвищенні температури. Показано, що при зростанні пористості та густини матеріалів спостерігається формування безперервної теплопровідної структури. Вибір водних полімерних дисперсій забезпечує ефективну взаємодію з гідрофільним наповнювачем без додаткової хімічної модифікації. Отримані результати підтверджують доцільність використання червоного шламу як функціонального наповнювача та відкривають перспективи застосування таких композитів у будівництві, теплоізоляційних та екологічно орієнтованих матеріалах.

Ключові слова: червоний шлам, полімерний композит, теплопровідність, водна дисперсія, латекс, техногенні відходи.

Червоний шлам (ЧШ), або бокситовий залишок, є одним з наймасовіших і потенційно небезпечних техногенних відходів алюмінієвої промисловості. Він утворюється внаслідок лужної обробки бокситу в процесі Байєра і характеризується високим вмістом оксидів заліза, алюмінію, титану, а також кремнезему, лужних і лужноземельних металів. Його зберігання у шламосховищах створює значне екологічне навантаження, що зумовлює актуальність розробки технологій його повторного використання. Одним із

перспективних напрямків є застосування червоного шламу як мінерального наповнювача в полімерних композиційних матеріалах, що дозволяє не лише зменшити кількість відходів, а й надати композитам нові функціональні властивості [1].

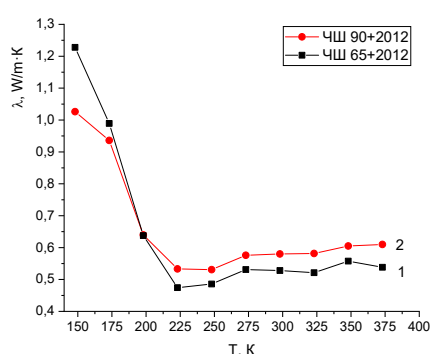
Наявні літературні дані свідчать, що використання ЧШ в полімерних композитах дозволяє покращити механічні, термічні, а в окремих випадках – функціональні властивості матеріалів. Наприклад, у дослідженні гібридних поліестерних композитів із сизалевим волокном [2] було показано, що додавання 20 мас.% червоного шламу значно покращує механічну міцність. Інше дослідження [3] доводить, що 10 мас.% ЧШ в системі епоксидної смоли з бамбуковим волокном покращує як хімічну, так і механічну стійкість

Окрім зміцнення, червоний шлам може надавати композитам спеціальні властивості. У роботі [4] наведено приклад використання композитів на основі ПВС з високим умістом червоного шламу (60–80 %) як ефективного матеріалу для екранування рентгенівського випромінювання. Інше дослідження [5] показало, що навіть невелика кількість шламу (до 10 мас.%) у структурі гідрогелю значно збільшує модуль зберігання і стабільність гідрофільної структури.

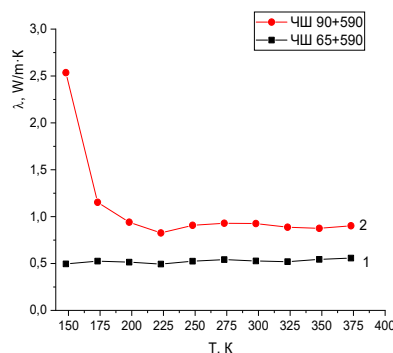
У цьому дослідженні було проаналізовано полімерні композити на основі водних дисперсій сополімерів із додаванням червоного шламу від ПАТ «Запорізький алюмінієвий комбінат» як мінерального наповнювача. Цей шлам характеризується високим вмістом Fe_2O_3 і TiO_2 , а також сукупністю лужних і лужноземельних оксидів ($\text{RO}+\text{R}_2\text{O}$) на рівні 8,62 мас.%, що надає йому потенціалу як функціонального наповнювача. Хімічний та мінералогічний склад цього матеріалу було детально описано в попередніх дослідженнях [6]. Полімерною матрицею виступали водні дисперсії бутадієн-стирольного сополімеру Latex 2012 і акрилового полімеру Policril 590. Вибір саме цих дисперсій зумовлений їх високою сумісністю з гідрофільними частинками, низькою в'язкістю, стабільністю та доброю плівкоутворювальною здатністю.

Детальну характеристику їх властивостей наведено в роботах [7], а технологію приготування зразків описано у [8].

Оскільки структура композитів істотно впливає на їхні теплофізичні характеристики, особливу увагу в цій роботі приділено вивченню теплопровідності композитів із різним вмістом червоного шламу. Зразки готували з концентраціями 65 мас.% і 90 мас.% ЧШ. Вимірювання проводили в діапазоні температур від 150 до 375 К. Установлено, що при низьких температурах теплопровідність композитів з високим вмістом шламу (90 мас.%) є вищою і може сягати 1,52 Вт/(м·К), тоді як для зразків із 65 мас.% значення становить близько 0,93 Вт/(м·К). Із підвищенням температури (до 350–375 К) теплопровідність обох систем знижується й досягає рівня 0,56–0,84 Вт/(м·К), що зумовлено збільшенням теплових коливань полімерної матриці та розривом теплопровідних каналів.



а



б

Рис. 1. Залежності коефіцієнта теплопровідності від температури для систем з ЧШ на основі Latex 2012 (а) та Policril 590 (б) при концентрації наповнювача: 1 – 65 мас.%, 2 – 90 мас.%

Результати також свідчать про те, що при підвищенні вмісту шламу з 65 до 90 мас.% густина композитів зростає з 1,52 до 2,06 г/см³, а теплопровідність підвищується відповідно з 0,56 до 0,82 Вт/(м·К), що підтверджує наявність кореляції між структурною щільністю та ефективністю теплопереносу.

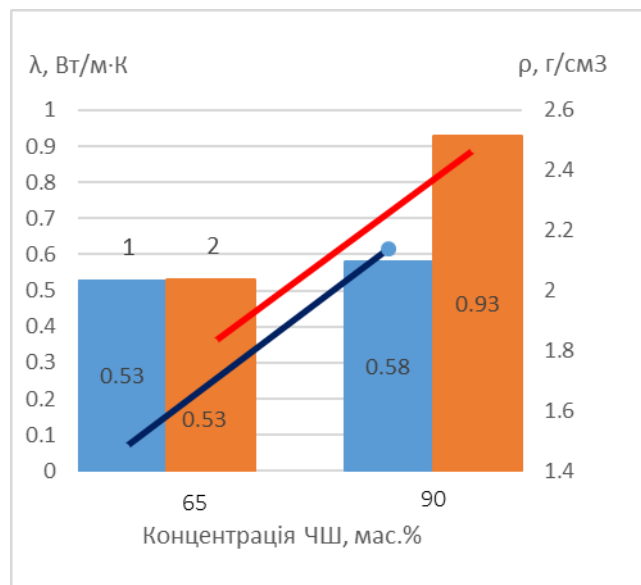


Рис. 2 Залежності коефіцієнта теплопровідності та густини композитів із ЧШ для систем на основі: 1 – Latex 2012, 2 – Policril 590

Окремо досліджено вплив пористості на теплопровідність. Зі зростанням вмісту ЧШ зростає і пористість – для Latex 2012 з 18,56% до 42,23%, а для Policril 590 – з 9,89% до 43,51%. Незважаючи на загальне правило, що зростання пористості призводить до зниження теплопровідності, у досліджуваних зразках зафіксовано зворотну тенденцію: у системах з високим вмістом червоного шламу спостерігається зростання теплопровідності. Це свідчить про формування в композитах безперервної теплопровідної структури з частинок червоного шламу, яка компенсує вплив порового середовища.

ВИСНОВКИ

Досліджено вплив ЧШ на теплофізичні властивості полімерних композиційних матеріалів на основі водних дисперсій Latex 2012 та Policril 590. Встановлено, що введення 65–90 мас.% шламу сприяє підвищенню теплопровідності композитів, особливо в низькотемпературному діапазоні, за рахунок формування безперервної теплопровідної структури. Незважаючи на зростання пористості, підвищення густини та вмісту твердої фази забезпечує ефективну передачу тепла. Вибрані водні полімерні дисперсії демонструють високу сумісність із гідрофільним наповнювачем без потреби в хімічній

модифікації. Отримані результати підтверджують доцільність використання червоного шламу як функціонального наповнювача в екологічно безпечних композиційних матеріалах, що можуть знайти застосування в теплоізоляції, будівництві та системах керованого теплопереносу.

Список літератури:

1. Ding, C., Zhang, Y., Zhang, N., Di, X., Li, Y., & Zhang, Y. (2022). A new insight into utilization of red mud in poly(vinyl chloride) composites via surface modification and toughening modulation to attain performance optimization. *Construction and Building Materials*, 333, 127340. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127340>.
2. Vigneshwaran, S., Uthayakumar, M., & Arumugaprabu, V. (2019). Development and sustainability of industrial waste-based red mud hybrid composites. *Journal of Cleaner Production*, 230, 862–868. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.131>.
3. Panda, S., & Behera, D. (2017). Effect of red mud on mechanical and chemical properties of unsaturated polyester-epoxy-bamboo fiber composites. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 3325–3333. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.219>.
4. Shivani, Vishwakarma, J., Dhand, C., M, M. S., Salammal, S. T., Gupta, G. K., Mishra, A., & Dwivedi, N. (2023). Red-Mud, A Golden Waste for Radiation Shielding”: Red-Mud Polymer Composites for High-Performance Radiation-Shielding Components. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 100394. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100394>.
5. Ramírez, A., Gómez, L., Müller, A. J., & Rojas de Gáscue, B. (2022). Characterization and Modification of Red Mud and Ferrosilicomanganese Fines and Their Application in the Synthesis of Hybrid Hydrogels. *Polymers*, 14(20), 4330. <https://doi.org/10.3390/polym14204330>.
6. Melnyk, L.I. (2023). Composite based on copolymer systems - red mud. *Modern science: challenges of today: Collective monograph*. Bratislava, Slovakia. 6-38. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67229>.
7. Melnyk, L.I., Cherniak, L.P., & Yevpak, V.V. (2024). Composites based on fly ash with different polymer matrixes. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 2(1), 106-112. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.1.2/18>.
8. Melnyk L. (2024). Formation of composite with variation of dispersity of filler and type of binder. *Technical sciences and technologies*. 1(35), 198-203. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-198-203](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-198-203).

References:

1. Ding, C., Zhang, Y., Zhang, N., Di, X., Li, Y., & Zhang, Y. (2022). A new insight into utilization of red mud in poly(vinyl chloride) composites via surface modification and toughening modulation to attain performance optimization. *Construction and Building Materials*, 333, 127340. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127340>.
2. Vigneshwaran, S., Uthayakumar, M., & Arumugaprabu, V. (2019). Development and sustainability of industrial waste-based red mud hybrid composites. *Journal of Cleaner Production*, 230, 862–868. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.131>.
3. Panda, S., & Behera, D. (2017). Effect of red mud on mechanical and chemical properties of unsaturated polyester-epoxy-bamboo fiber composites. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 3325–3333. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.219>.

4. Shivani, Vishwakarma, J., Dhand, C., M, M. S., Salammal, S. T., Gupta, G. K., Mishra, A., & Dwivedi, N. (2023). Red-Mud, A Golden Waste for Radiation Shielding”: Red-Mud Polymer Composites for High-Performance Radiation-Shielding Components. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 100394. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100394>.
5. Ramírez, A., Gómez, L., Müller, A. J., & Rojas de Gáscue, B. (2022). Characterization and Modification of Red Mud and Ferrosilicomanganese Fines and Their Application in the Synthesis of Hybrid Hydrogels. *Polymers*, 14(20), 4330. <https://doi.org/10.3390/polym14204330>.
6. Melnyk, L.I. (2023). Composite based on copolymer systems - red mud. *Modern science: challenges of today: Collective monograph*. Bratislava, Slovakia. 6-38. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67229>.
7. Melnyk, L.I., Cherniak, L.P., & Yevpak, V.V. (2024). Composites based on fly ash with different polymer matrixes. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 2(1), 106-112. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.1.2/18>.
8. Melnyk L. (2024). Formation of composite with variation of dispersity of filler and type of binder. *Technical sciences and technologies*. 1(35), 198-203. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-198-203](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-198-203).

USE OF RED SLUDGE AS A FUNCTIONAL FILLER IN POLYMER COMPOSITES

Veronika MAKSYMCHUK

Vlada LAZARENKO

Student,

Lyubov MELNYK

Candidatae of Technical Sciences, Associate professor,

Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute

Abstract. This study investigates the effect of red mud, a waste product of alumina production, on the thermophysical properties of polymer composites based on aqueous dispersions of butadiene-styrene (Latex 2012) and acrylic (Policril 590) polymers. It was found that the introduction of 65–90 wt.% red mud enhances the thermal conductivity of the composites in the low-temperature range and maintains stable performance at elevated temperatures. It is shown that increasing the porosity and density of the materials leads to the formation of a continuous thermally conductive structure. The use of aqueous polymer dispersions ensures effective interaction with the hydrophilic filler without the need for additional chemical modification. The obtained results confirm the feasibility of using red mud as a functional filler and highlight its potential in construction, thermal insulation, and environmentally oriented composite materials.

Key words: red mud, polymer composite, thermal conductivity, aqueous dispersion, latex, industrial waste.