

## **АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ КАМЕНЕОБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Стійкість, зменшення впливу на навколишнє середовище та пошук більш екологічно чистих рішень – це нові тенденції щодо матеріалів, які зараз виробляються. Цей факт принципово зумовлений більшою екологічною свідомістю населення, більшим дефіцитом ресурсів і, отже, більш жорсткими екологічними нормами в різних країнах.

В даний час розробляється серія стійких матеріалів, які мають менший вплив на навколишнє середовище та викиди парникових газів, головним чином у будівельному секторі. Слід врахувати, що будівельний сектор є одним із найбільш забруднюючих, оскільки він споживає велику кількість сировини, використовує мало оптимізованих промислових процесів і виробляє величезну кількість продукції. Ці фактори безпосередньо впливають на майбутній дефіцит основної сировини, а також на споживання енергії.

Серед найбільш споживаних матеріалів є кераміка, а в свою чергу цегла. Цегла – це керамічні вироби з тисячолітньою історією, які зазвичай використовуються з різних причин. Серед цих причин – це хороша механічна поведінка, економічні витрати, а також довговічність. Однак для виготовлення цього продукту необхідно проводити дорогі операції з видобутку незайманих матеріалів, таких як глина, з подальшим викидом CO<sub>2</sub>. Необхідний також високотемпературний процес спікання, близько 950 °C. Отже, це продукт, якого необхідно постійно удосконалювати на більш стійкий матеріал, і на якому проводяться різні дослідження, щоб знайти більш екологічні рішення.

Для того, щоб отримати більш стійкий керамічний продукт, було внесено кілька модифікацій, що стосуються рецептури та процесу виробництва цегли. З одного боку, такі важливі країни, як Китай, обмежили своє виробництво, щоб уникнути зменшення зникнення оброблюваних площ; однак зупинка такої важливої галузі, яка приносить стільки переваг населенню, як будівельний сектор, може бути не найкращим рішенням. З іншого боку, розроблені більш стійкі матеріали, такі як геополімери, які використовують відходи у своїй конформації та менш забруднюють виробничі процеси. Однак цей напрямок досліджень ще слід розробити, і він повинен вирішити проблеми довговічності. Отже, іншими варіантами виробництва керамічної цегли є включення відходів у її матрицю, що робить процеси більш економічними та екологічно стійкими.

Для того щоб достовірно дослідити вплив додавання кам'яного шламу у виробництві керамічної цегли проводився процес сушіння для усунення води, яка в ньому містилася, і забезпечували в ході дослідження більший контроль усіх змінних, серед яких була вологість. Однак існування вологості на заводі в процесі виробництва не зашкодить кінцевому матеріалу; це просто потрібно було б взяти до уваги, щоб не додавати надлишок води, і дотримуватися оптимальних комбінацій матеріалів, передбачених цим дослідженням. Тому всі випробування, описані в роботі, проводяться із сухими матеріалами та без вологи.

Для оцінки придатності кам'яного шламу було проведено фізичні випробування для глини та кам'яного шламу - це випробування на щільність частинок відповідно до стандарту UNE-EN 1097-7 та випробування показника пластичності згідно зі стандартами UNE 103103 та UNE 103104. Щільність частинок розраховується пікнометричним методом з послідовним вимірюванням ваги та об'єму в воді зразка.

Після оцінки фізичних властивостей було проведено хімічну характеристику обох матеріалів. Для цього були проведені тести елементарного аналізу з обладнанням TruSpec Micro марки LECO (LECO, Сент-Джозеф, Мічиган, США), досліджено втрати при прожарюванні та проведено рентгенофлуоресценцію з обладнанням ADVANT'XP + Thermo Fisher бренд (Thermo Fisher Scientific, Уолтем, Массачусетс, США).

Тест на елементний аналіз виявляє відсоток вуглецю, азоту, водню та сірки, присутніх у зразку. З цією метою зразок спалюють і аналізують гази, що виникають при згорянні. У свою чергу, втрати при займанні відображають втрату ваги після піддавання зразка температурі 1000±10 °C, що відображає відсоток органічної речовини або карбонатів, присутніх у зразку. Втрата ваги також може бути пов'язана з перетворенням деяких хімічних сполук або окисленням деяких хімічних елементів. Це важливе випробування сировини, оскільки температура подібна до температури спікання відображає властивості кінцевого матеріалу. Рентгенологічний флуоресцентний тест визначає елементний склад аналізованих зразків, показуючи неорганічний склад матеріалів кількісним методом.

Завдяки визначеним випробуванням можна буде оцінити наявність шкідливих хімічних елементів, та елементів, що обумовлюють кінцевий продукт, або фізичні властивості, що визначають сумісність матеріалів. Таким чином можна оцінити придатність використання кам'яного шламу.

Після оцінки придатності вихідних матеріалів різні групи зразків відповідали відсоткам глини та кам'яного шламу. Початкову групу складають зразки лише з глиною. Ця група була створена, щоб мати можливість легко порівняти властивості виробів з кам'яного шламу в різних відсотках у порівнянні з традиційним матеріалом, оцінюючи зміни фізико-механічних властивостей. Згодом створювали різні групи зразків із прогресивним відсотком заміщення глини кам'яним шламом на 10 %, доки не було отримано останню групу зразків із 100 % вмістом кам'яного шламу. Таким чином були отримані групи зразків, які були рівномірно розподілені у всіх можливих комбінаціях глини та кам'яного шламу (табл. 1).

Таблиця 1. Групи зразків з сумішшю у відсотках глини та кам'яного шламу

| Групи зразків | Глина, % | Кам'яний шлам, % |
|---------------|----------|------------------|
| 0S10C         | 100      | 0                |
| 1S9C          | 90       | 10               |
| 2S8C          | 80       | 20               |
| 3S7C          | 70       | 30               |
| 4S6C          | 60       | 40               |
| 5S5C          | 50       | 50               |
| 6S4C          | 40       | 60               |
| 7S3C          | 30       | 70               |
| 8S2C          | 20       | 80               |
| 9S1C          | 10       | 90               |
| 10S0C         | 0        | 100              |

комерційної марки Shimadzu (Shimadzu, Кіото, Японія). Цю конформацію виконували з постійною швидкістю, поки не було досягнуто максимальної напруги ущільнення,  $50 \pm 1$  МПа, ця напруга зберігалася протягом 1 хв, і, далі матриця була вилучена з випробувального преса. Зразки, відповідні цим методом, відображають значення, подібні до матеріалів, виготовлених у промисловості, а також тих, що виготовлені екструзією.

Потім зразки різних груп сушили при температурі  $105 \pm 2$  °C протягом 24 годин, щоб поступово видалити надлишки води та запобігти утворенню тріщин під час процесу спікання. Ці висушені зразки вимірювали та зважували для подальших випробувань. Спікання зразків проводили в муфельній печі після введення всіх зразків. Температуру підвищували до 4 градусів Цельсія за хвилину від кімнатної до  $950 \pm 10$  °C. Цю температуру підтримували протягом години і зразки знову охолоджували з тією ж швидкістю.

Випробування на міцність на стиск проводили за допомогою автоматичного випробувального преса, який постійно реєстрував значення напружень і деформацій зразка, виявляючи точку руйнування зразка. Для проведення випробування зразки сушили, а потім тестували у згаданому пресі при кімнатній температурі. Випробування проводили з постійною швидкістю напруги в секунду, виконуючи однаково для всіх конформованих зразків різних груп, згідно згаданого стандарту.

Міцність цегли на стиск є одним з обмежуючих факторів, який буде відображати максимальний відсоток додавання кам'яного шламу у керамічний матеріал. Результати випробувань на міцність на стиск різних груп керамічних зразків представлені на рис. 1 графічно, показуючи граничне значення міцності та значення деформації щодо відсотка кам'яного шламу у кераміці.

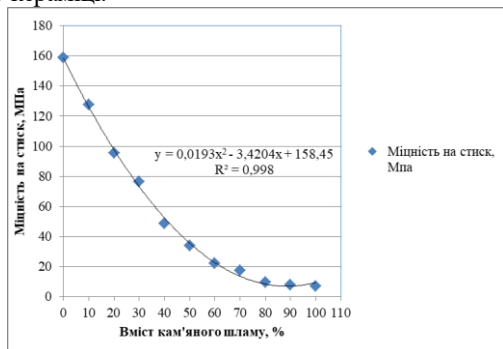


Рис. 1. Графік залежності зміни міцності на стиск керамічної цегли від вмісту кам'яного шламу

°C не викликає такого ж ефекту в гранітному шламі, як у глині, забезпечуючи внутрішню структуру з більшою пористістю і більшою кількістю з'єднаних пор, що безпосередньо впливає на міцність на стиск. Однак результати кераміки з додаванням 70 % кам'яного шламу відображають прийнятні результати згідно з цим випробуванням, і тому їх можна здійснити. Крім того, включення до 70 % кам'яного шламу створює особливі характеристики, дуже цікаві для його використання, такі як менша щільність та вища пористість. Обидва фактори мають суттєвий вплив на очікувані тепло- та звукоізоляційні властивості, які дуже бажані керамічною промисловістю. Його менша щільність дозволяє створити більш легкий матеріал, який разом з відходами досягає прийнятних властивостей і меншої ваги, щоб не перевантажувати структуру будівлі.

Тестові зразки з кожної групи створювали згідно з тією ж процедурою. По-перше, обидва елементи, глина та кам'яний шлам, були змішані у відповідних відсотках відповідно до груп. Пізніше їх гомогенізували і додали 10 % води з урахуванням масового відсотка сухої суміші і знову перемішали. Слід зазначити, що відсоток доданої води емпірично оцінено як найбільш підходящий для цього типу матеріалу та процесу ущільнення, більший відсоток викликає ексудацію води та менший відсоток, що призводить до меншої щільності і, отже, меншої міцності на стиск. Суміш вищезазначених матеріалів запресовували у сталеву матрицю із внутрішніми розмірами 60 мм у довжину та 30 мм у ширину, отримуючи зразки подібних пропорцій. Ущільнення проводили за допомогою автоматичного тестового преса моделі AG-300kNX

Європейський стандарт у цьому відношенні встановлює мінімальну міцність, нижче якої матеріал вважається неприйнятним, 10 МПа. Отже, керамічні сімейства, які виявляють опір нижчий, ніж зазначений, буде відхилено, встановлюючи межу включення кам'яного шламу в кераміку. З іншого боку, групи зразків з результатами, що перевищують межу, встановлену нормами, вважатимуться прийнятними та сприйнятливими до використання для виробництва цегли.

На рис. 1 чітко відображено, як відбувається прогресивне зниження міцності на стиск із збільшенням відсотка кам'яного шламу у кераміці. Цього слід було очікувати із відображених значень щільності та пористості, показаних вище. Зниження міцності на стиск відбувається через більш високу температуру обробки хімічних сполук, що містяться в граніті, з якого отримують кам'яний шлам. Навіть маючи розмір частинок, подібний до розміру глини, і хімічний склад, досить подібний, температура спікання 950