

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ РІДКОСКЛЯНОГО ТЕПЛОІЗОЛЯЦІОННОГО МАТЕРІАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГРАНУЛЬОВАНОГО НАПОВНЮВАЧА

¹Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Теплоізоляційні матеріали відносяться до числа ефективних будівельних матеріалів, які дозволяють істотно знизити матеріаломісткість і вартість конструкцій. Мета теплоізоляції — обмежити кількість переданого тепла. Будь-яке огороження робить деякий опір переходу тепла. Однак для досягнення значного теплового опору необхідно або робити огороження великої товщини, що економічно недоцільно, або застосовувати теплоізоляційні матеріали, які дозволяють значно зменшити товщину огороження.

Останнім часом все більшого поширення в світі отримує тенденція заміни органічних будівельних пінопластів на неорганічні на основі рідкого скла. Теплоізоляційні матеріали на основі рідкого скла мають низьку щільність та теплопровідність, високу пористість, ефективний діапазон температур їх експлуатації складає від -20 °С до $+600$ °С, вони негорючі, стійкі до дії кислот та їх парів, не виділяють токсичних речовин, не пошкоджуються грибами та мікроорганізмами, мають необмежений термін служби, що дає переваги цим матеріалам перед горючими та токсичними органічними полімерами, які, до того ж, мають досить обмежений строк експлуатації.

Властивості піни визначаються її структурними параметрами, які в свою чергу залежать від рецептури композиції і технології процесу спінювання.

Досліджено структуру блокових теплоізоляційних матеріалів, виготовлених на основі рідкоскляного зв'язуючого і гранульованого наповнювача, виготовленого також на основі рідкого скла, отриманих шляхом холодного спінювання за допомогою різних газоутворювальних агентів. Вивчено вплив газоутворювальних агентів за різного відношення гранульованого наповнювача до зв'язуючого на поперечний діаметр пор, коефіцієнт їх форми і ступінь неоднорідності структури блоків.

Досліджуючи структуру теплоізоляційних матеріалів, встановлено, що найкращим газоутворюючим агентом є алюмінієва пудра. Зразки, отримані з її використанням, відрізняються підвищеною пористістю, що позитивним чином позначається на теплоізоляційних характеристиках матеріалу, досить високими показниками міцності, що дозволяє транспортувати отриманий матеріал без значних пошкоджень. Введення в композицію гранульованого наповнювача сприяє формуванню рівномірної і міцної структури теплоізоляційного матеріалу. Пори такого матеріалу переважно замкнуті та рівномірно розподілені по всьому об'єму.

Ключові слова: рідке скло, газоутворювальний агент, гранульований наповнювач, спінювання, затвердіння, поперечний діаметр пор, коефіцієнт форми пор, ступінь неоднорідності структури.

Вступ

В останні роки серед розробників і виробників неорганічних будівельних матеріалів зростає інтерес до лужносілікатних теплоізоляційних матеріалів (утеплювачів), для яких, в порівнянні з піноматеріалами на основі портландцементу, характерна можливість досягнення нижчих значень об'ємної маси і теплопровідності, а також підвищеної міцності за рівної об'ємної ваги. Крім того, ці матеріали характеризуються зниженою вартістю і вони абсолютно негорючі на відміну від органічнополімерних утеплювачів.

Існують два види лужносілікатних утеплювачів: утеплювачі гарячого і холодного спінювання. Процес гарячого спінювання відбувається за відносно високих температур ($350\dots550$ °С) внаслідок виділення хімічно зв'язаної води з розм'якшеного нагріванням склоподібного гідросілікату. Другі спінюються за кімнатної температури або температури, що не перевищує 100 °С, в результаті хімічної реакції рідкого скла зі спінювачем або механічного процесу (технологія пористого бетону) [1].

Властивості піни визначаються її структурними параметрами, які в свою чергу залежать від рецептури композиції і технології процесу спінювання.

Метою роботи є дослідження структури теплоізоляційних матеріалів, виготовлених на основі гранульованого наповнювача і рідкоскляного зв'язуючого, яке спінюється за допомогою газоутворювальних агентів.

Експериментальна частина

У роботі досліджено метод холодного спінювання. Однак холодним спінюванням не вдається отримати міцні і безусадкові матеріали. Такі характеристики можна підвищити шляхом введення в рідкоскляну композицію гранульованого наповнювача, виготовленого також на основі рідкого скла і мінеральний добавок.

Для отримання гранул використовується метод рідинної грануляції, який полягає у коагуляції натрієвого рідкого скла у середовищі розчину хлориду кальцію. У разі додавання рідкоскляної композиції розпилюванням за допомогою стисненого повітря у концентрований розчин хлориду кальцію утворюються гранули з поверхневою оболонкою, яка містить частково кальцинований шар. Потім, попередньо відформовані гранули спучують під час термообробки, що супроводжується утворенням високопористої внутрішньої структури з переважанням замкнених пор [2]. Такі гранули можуть бути використані, як насипна теплоізоляція, або для виготовлення конструктивно-теплоізоляційних матеріалів у вигляді плит, стінових блоків, тощо.

Конструктивно-теплоізоляційні матеріали отримують шляхом змішування гранульованого наповнювача з компонентами зв'язуючого, яке складається з рідкого скла, наповнювача, затверджувача, поверхнево-активної речовини і газоутворювального агента, і заливання його в певні форми, в яких відбувається спінення, затвердіння і сушка теплоізоляційного матеріалу за температури навколишнього середовища. У якості газоутворювальних агентів вибрані перекис водню і алюмінієва пудра. Для дослідження структури теплоізоляційного матеріалу визначені такі параметри: поперечний діаметр пор, коефіцієнт форми пор і ступінь неоднорідності структури матеріалу, відповідно до методики «Визначення середніх розмірів пор в пінопласті» [3]. Для проведення випробування використана масштабна сітка і мікроскоп із загальним збільшенням до 15...20 разів. Для визначення поперечного діаметра пор зріз зроблено в напрямку, перпендикулярному напрямку спінювання. Вимірювання проводили в 3—5 різних місцях зрізу. Поперечний діаметр пор розраховується за формулою

$$D = 2 \sqrt{\frac{S}{n\pi} \left(1 - \frac{\rho}{d}\right)}, \quad (1)$$

де D — поперечний діаметр пор, см; S — площа зрізу, на якій проводиться підрахунок пор, см²; n — число пор на площі S ; ρ — щільність теплоізоляційного матеріалу, г/см³; d — щільність полімеру, г/см³.

Коефіцієнт форми пор визначається після додаткового підрахунку кількості пор на деякій площі зрізу, паралельного напрямку спінювання. Розрахунок здійснюється за формулою

$$\alpha = \frac{S_1 \cdot n}{n_1 \cdot S}, \quad (2)$$

де α — коефіцієнт форми пор; S_1 — площа зрізу, паралельного спінюванню, на якій проводиться підрахунок пор, см²; n_1 — кількість пор на площі S_1 ; S і n — відповідно, площа і кількість пор для зрізу, перпендикулярного спінюванню.

Оцінка ступеня неоднорідності структури пінопласту проводиться за відносною зміною діаметра пор в різних місцях блока і розраховується за формулою

$$K = \frac{\Delta D_{\text{ср}}}{D_i} \cdot 100, \quad (3)$$

де $\Delta D_i = D_i - D_{\text{ср}}$; $\Delta D_{\text{ср}}$ — усереднене значення ΔD_i ; D_i — індивідуальне значення D в різних місцях блока.

Результати дослідження

Нижче наведені графіки, які дозволяють дослідити вплив масового відношення між гранульованим наповнювачем і зв'язуючим з різними видами газоутворювального агента на показники структури теплоізоляційного матеріалу.

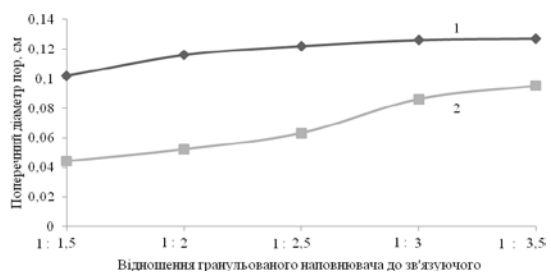
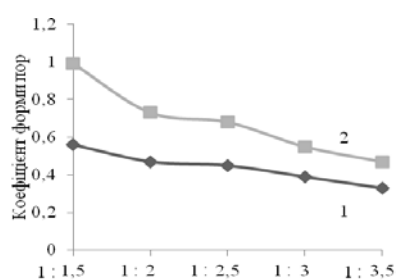
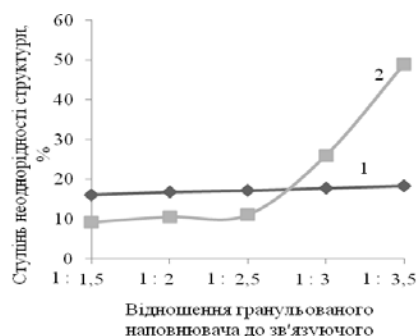


Рис. 1. Вплив відношення гранульованого наповнювача до зв'язуючого на поперечний діаметр пор теплоізоляційного матеріалу: 1 — перекис водню; 2 — алюмінієва пудра

З рис. 1 випливає, що зі збільшенням кількості рідкоскляного зв'язуючого в композиції зростає поперечний діаметр пор. Менша кількість гранульованого наповнювача розподілена в полімерній матриці блока більш рівномірно, утворюючи дрібнопористу структуру, що приводить до зростання механічних показників. Найменший діаметр пор спостерігається при відношенні гранульованого наповнювача до зв'язуючого 1: 1,5 і становить 0,102 см для перекису водню і 0,044 см для алюмінієвої пудри. За відношення гранульованого наповнювача до зв'язуючого 1: 3,5 структура матеріалу стає більш крупнопористою. З рис. 1 видно, що блоки з використанням алюмінієвої пудри, як газотворювального агента, мають більш дрібнопористу структуру.



а)



б)

Рис. 2. Вплив відношення гранульованого наповнювача до зв'язуючого на: а — коефіцієнт форми пор; б — ступінь неоднорідності структури теплоізоляційного матеріалу; 1 — перекис водню; 2 — алюмінієва пудра

З рис. 2 випливає, що зі збільшенням кількості рідкоскляного зв'язуючого в композиції збільшуються і показники ступеня неоднорідності структури. Це пов'язано з тим, що можливість рівномірного розміщення гранульованого наповнювача в стрижнях пористої структури зменшується, що і приводить до нерівномірного розподілу пор в структурі. Найменші показники ступеня неоднорідності структури спостерігаються у разі використання відношення гранульованого наповнювача до зв'язуючого 1: 1,5 і складають: 16,1 % — для перекису водню і 9,2 % — для алюмінієвої пудри. Коли відношення гранульованого наповнювача до зв'язуючого 1: 3,5, то структура матеріалу стає менш однорідною. Як видно з рис. 2а, всі значення коефіцієнта форми пор менше одиниці, це говорить про те, що пори витягнуті в напрямку, паралельному процесу спінування та мають форму еліпса.

З рис. 1 і 2 видно, що для виготовлення теплоізоляційних матеріалів як газотворювальний агент доцільніше вибрати алюмінієву пудру для отримання одноріднішої дрібнопористої структури. Далі, на рис. 3 показана залежність структури матеріалу від відношення кількості гранульованого наповнювача до зв'язуючого, який містить в якості газотворювального агента алюмінієву пудру.

На підставі рис. 3 можна зробити висновок, що оптимальним відношенням гранульованого наповнювача до зв'язуючого є 1: 2,5. Такі матеріали мають низьку щільність, яка становить 244 кг/м^3 і відрізняються досить впорядкованою дрібнопористою структурою, що позитивним чином позначається на теплозахисних характеристиках теплоізоляційного матеріалу. Поперечний діаметр пор таких матеріалів становить 0,063 см, а ступінь неоднорідності структури — всього 11,05 %. Відношення гранульованого наповнювача до зв'язуючого 1: 1,5 є недостатнім, так як в матеріалі пори практично відсутні і, як наслідок, матеріал характеризується високою щільністю, яка становить 380 кг/м^3 .

За відношення гранульованого наповнювача до зв'язуючого 1: 3...1: 3,5 в зразках значно збільшується розмір пор до 0,086...0,095 см, проявляється ефект різнотовщинності елементів пористої структури через нерівномірний розподіл гранульованого наповнювача в елементах пористої структури. Такі матеріали будуть характеризуватися низькими показниками міцності.

Введення в рідкоскляну композицію гранульованого наповнювача з відношенням його до зв'язуючого 1: 2,5 дозволяє отримати безусадкові теплоізоляційні матеріали з однорідною дрібнопористою структурою з досить високими показниками міцності.

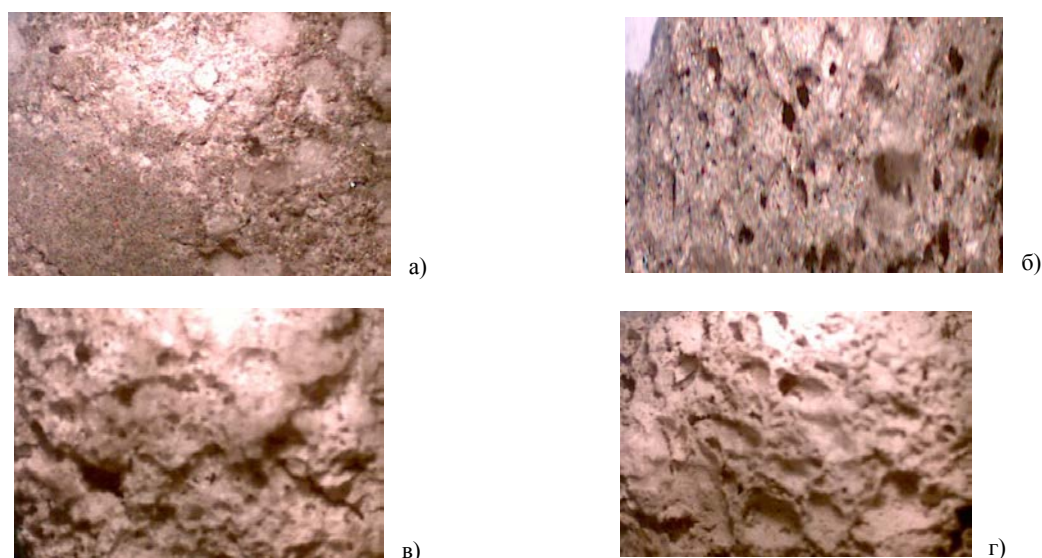


Рис. 3. Структура матеріалу з різним відношенням гранульованого наповнювача до зв'язуючого ($\times 60$):
а — 1: 1,5; б — 1: 2,5; в — 1: 3; г — 1: 3,5

Крім того собівартість такого теплоізоляційного матеріалу складає близько 45 дол./м³, що значно нижче у порівнянні з піносілікатом, який на сьогоднішній день є найближчим за властивостями до розробленого матеріалу, собівартість якого складає близько 75 дол./м³.

Висновки

В результаті дослідження структури теплоізоляційних матеріалів, встановлено, що найкращим газотворювальним агентом є алюмінієва пудра. Зразки, отримані з її використанням, відрізняються підвищеною пористістю, що позитивним чином позначається на теплоізоляційних характеристиках матеріалу, і досить високими показниками міцності, що дозволяє транспортувати отриманий матеріал без значних пошкоджень. Введення в композицію гранульованого наповнювача сприяє формуванню рівномірнішої і міцнішої структури теплоізоляційного матеріалу. Пори такого матеріалу переважно замкнуті, рівномірно розподілені по всьому об'єму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Н. И. Малявский, и В. В. Зверева, «Кальций-силикатные отвердители жидкого стекла для получения водостойких щелочносиликатных утеплителей.» *Интернет-вестник ВолгГАСУ*, вып. 2 (38), с. 5, 2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://vestnik.vgasu.ru/attachments/5MalyavskiiZvereva-2015_2_38_.pdf.
- [2] Е. Ю. Крючкова, и Т. Э. Рымар, «Исследование свойств гранулированного теплоизоляционного материала на основе жидкого стекла и различных наполнителей.» *Вісник Національного Технічного Університету «ХП»*, № 30, с. 59-65, 2015.
- [3] «Пенопласты жесткие полиуретановые и полиизоциануратные.» *Технические условия: СТБ 1338, 2002.*

Рекомендована кафедрою будівництва, міського господарства і архітектури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 06.11.2018

Римар Тетяна Ернстівна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри хімічної інженерії та екології, e-mail: rymartanyana1975@gmail.com.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Северодонецьк

T. E. Rymar¹

Investigation of the Structure of Liquid Glass Thermal Insulation Material Using a Granular Filler

¹Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

Thermal insulation materials are among the most effective building materials, which can significantly reduce the consumption of materials and the cost of constructions. The purpose of thermal insulation is to limit the amount of heat transferred. Any fencing offers some resistance to heat transfer. However, to achieve significant thermal resistance, it is neces-

sary either to make fencing of a large thickness, which is not economically feasible, or to use heat-insulating materials that can significantly reduce the thickness of the fencing.

Recently, the tendency of replacing organic construction foams with inorganic ones - based on liquid glass - has become increasingly common in the world. Heat insulating materials based on liquid glass have low density and thermal conductivity, high porosity, the effective temperature range of their operation is from $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$, they are non-combustible, resistant to acids and their vapors, do not emit toxic substances, are not affected fungi and microorganisms, have an unlimited lifetime, which gives these materials advantages over combustible and toxic organic polymers, which, moreover, have a very limited lifetime.

The foam properties are determined by its structural parameters, which, in turn, depend on the composition of the composition and the technology of the foaming process.

In this paper there has been investigated the structure of block thermal insulation materials made on the basis liquid glass binding and granular filler, also made on the basis of liquid glass obtained by cold foaming using various blowing agents. There has been studied the effect of blowing agents and different ratio of granular filler to the binder to cross pore diameter, coefficient of shape and degree of heterogeneity structure of the blocks.

When investigating the structure of insulation materials, it was found that the best gas-forming agent is aluminum powder. The samples obtained with its use are characterized by high porosity, which positively affects the thermal insulation characteristics of the material, and rather high strength indicators, which allows the material to be transported without significant damage. The introduction of granular filler into the composition contributes to the formation of a more even and durable structure of the heat-insulating material. Pores of this material are mostly closed, evenly distributed throughout the volume.

Keywords: liquid glass, blowing agent, granular filler, foaming, curing, cross pore diameter, pore shape coefficient, degree of structural heterogeneity.

Rymar Tetiana E. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Chemical Engineering and Ecology, e-mail: rymartanyana1975@gmail.com

Т. Э. Рымар¹

Исследование структуры жидкостекольного теплоизоляционного материала с использованием гранулированного наполнителя

¹Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

Теплоизоляционные материалы относятся к числу эффективных строительных материалов, которые позволяют существенно снизить материалоемкость и стоимость конструкций. Цель теплоизоляции — ограничить количество переданного тепла. Любое ограждение оказывает некоторое сопротивление переходу тепла. Однако для достижения значительного теплосопротивления необходимо или делать ограждения большой толщины, что экономически нецелесообразно, или применять теплоизоляционные материалы, которые позволяют значительно уменьшить толщину ограждения.

В последнее время все большее распространение в мире получает тенденция замены органических строительных пенопластов на неорганические на основе жидкого стекла. Теплоизоляционные материалы на основе жидкого стекла имеют низкую плотность и теплопроводность, высокую пористость, эффективный диапазон температур их эксплуатации составляет от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$, они негорючие, устойчивые к действию кислот и их паров, не выделяют токсичных веществ, не поражаются грибами и микроорганизмами, имеют неограниченный срок службы, что дает преимущества этим материалам перед горючими и токсичными органическими полимерами, которые, к тому же, имеют весьма ограниченный срок эксплуатации.

Свойства пены определяются ее структурными параметрами, которые, в свою очередь, зависят от состава композиции и технологии вспенивания.

Исследована структура блочных теплоизоляционных материалов, изготовленных на основе жидкостекольного связующего и гранулированного наполнителя, изготовленного также на основе жидкого стекла, полученных путем холодного вспенивания с помощью различных газообразующих агентов. Изучено влияние газообразующих агентов при различных соотношениях гранулированного наполнителя к связующему на поперечный диаметр пор, коэффициент их формы и степень неоднородности структуры блоков.

При исследовании структуры теплоизоляционных материалов установлено, что лучшим газообразующим агентом является алюминиевая пудра. Образцы, полученные с ее использованием, характеризуются высокой пористостью, что положительно влияет на теплоизоляционные характеристики материала и довольно высокими показателями прочности, что позволяет транспортировать материал без значительных повреждений. Введение гранулированного наполнителя в композицию способствует формированию более равномерной и долговечной структуры теплоизоляционного материала. Поры этого материала в основном закрыты, равномерно распределены по всему объему.

Ключевые слова: жидкое стекло, газообразующий агент, гранулированный наполнитель, вспенивание, отверждение, поперечный диаметр пор, коэффициент формы пор, степень неоднородности структуры.

Рымар Татьяна Эрнстовна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры химической инженерии и экологии, e-mail: rymartanyana1975@gmail.com