

УДК 666:973.6.

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/35>**Римар Т.Е.**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ЗАСТОСУВАННЯ ГРАНУЛЬОВАНОГО ЗАПОВНЮВАЧА ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІДИННОСКЛЯНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ОТРИМАНИХ ПІД ДІЄЮ НВЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ

У статті проводиться дослідження застосування пористого гранульованого заповнювача при виробництві композиційних теплоізоляційних матеріалів на основі рідинного скла. Причому пропонується використовувати не заздалегідь спучені гранули, а сирцевий неспучений напівфабрикат та проводити виготовлення теплоізоляційних виробів шляхом одночасної поризації гранул і зв'язуючого. Такий прийом дозволяє отримати об'ємно омонолічений матеріал, у якому простір між гранулами заповнено спученим зв'язуючим, обмеженим більш щільним поверхневим шаром, який утворюється при дії НВЧ випромінювання. Перевагою застосування НВЧ технології спучення рідинноскляної композиції є можливість об'ємного нагріву зсередини матеріалу, що на відміну від традиційного конвективного нагріву, дозволяє одночасно спучити і гранули, і зв'язуюче та при вірному виборі співвідношення гранул до зв'язуючого, отримати однорідноструктурний матеріал, який представляє собою не окремо склеєні гранули, а монолітний блок та відрізняється достатньо високими фізико-механічними властивостями. В роботі було встановлено, що оптимальним є співвідношення кількості гранульованого заповнювача до зв'язуючого 1 : 1. В даному випадку матеріал має рівномірну пористу структуру і низьку середню густину – 220-240 кг/м³, водопоглинання при цьому складає 30-31 %, сорбційна вологість – 4-5 %, а міцність 0,8-0,9 МПа та 0,6-0,7 МПа відповідно на згин і на стиск. Застосування зернистого заповнювача сприяє зменшенню усадкових процесів і дозволяє уникнути розтріскування матеріалу при подальшій експлуатації, підвищує міцнісні властивості теплоізоляційних матеріалів, оскільки гранули мають деяку пластичну деформацію, а також знижує його гігроскопічність, завдяки створенню під дією НВЧ випромінювання ущільненої поверхневої оболонки.

Ключові слова: НВЧ випромінювання, рідинноскляні композиції, теплоізоляційні матеріали, зернистий заповнювач, зв'язуюче, фізико-механічні властивості.

Постановка проблеми. Теплоізоляційні матеріали на основі рідинного скла включають широку гаму матеріалів, основним структуроутворюючим елементом яких є продукти спучення гідратованих розчинних стекл (гідратованих лужних силікатів). За природою спучення рідинноскляні матеріали поділяються на термоспучені і спучені в результаті хімічної взаємодії рідинного скла зі спеціальними речовинами, що вводяться в сировинну суміш. До термоспучених матеріалів відносять зернисті, а також обжигові монолітні матеріали. До спучених хімічним шляхом – заливальні композиції, в які вводять газоутворюючий компонент.

Теплоізоляційні композиційні матеріали на основі рідинного скла залежно від способу затвердіння (полімеризації) основного компоненту ділять на матеріали холодного (за температури навколишнього середовища) і гарячого (термічного) спучення [1].

Переваги та недоліки ТІМ, отриманих шляхом термічного спучення, та шляхи їх удосконалення наведені на рис. 1.

На рис. 1 зазначено, що для усунення недоліків технології термічного спучення пропонується застосовувати НВЧ випромінювання замість традиційного конвективного нагріву.

Надвисокочастотне випромінювання або мікрохвильове випромінювання – електромагнітне випромінювання, що включає в себе дециметровий, сантиметровий і міліметровий діапазон радіохвиль (довжина хвилі від 1 м – частота 300 МГц до 1 мм – 300 ГГц). Однак межі між інфрачервоним, терагерцовим, мікрохвильовим випромінюванням і ультрависокочастотними радіохвилями приблизні і можуть визначатися по-різному. Діапазон довжин хвиль мікрохвильового випромінювання лежить між довжинами хвиль інфрачервоного світла і радіохвилями. Побутові та промислові мікрохвильові печі працюють на частоті 2,45 ГГц.



Рис. 1. Переваги та недоліки ТІМ, отриманих шляхом термічного спучення

Ця частота була обрана, як оптимальна по швидкості нагріву води і залишається незмінною у всіх печах, щоб уникнути інтерференції з радарними та телекомунікаційними системами [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням теорії і практики розвитку виробництва теплоізоляційних матеріалів (ТІМ) і виробів, в тому числі і на основі рідинного скла (РС), приділено увагу такими вченими, як Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, К.Е. Горайнов, І.Л. Майзель, В.Г. Сандлер, М.Ф. Сухарев, М.І. Малявський, В.А. Лотов, М.Ю. Иванов, А.І. Кудяков, І.В. Гребенщиков, В.А. Китайцев, К.Д. Некрасов та ін. Ними сформульовані наукові концепції, розкриті закономірності отримання матеріалів з пористою структурою, що забезпечує високі функціональні властивості виробів, одержуваних з різного виду сировини, розроблені ефективні способи порутворення, викладені теоретичні основи формування оптимальної пористої структури, загальні принципи виробництва виробів з високопористих композицій.

Розширенню сфер застосування потужної НВЧ електроніки в технологічних процесах в останні роки сприяють завдання створення нових композиційних матеріалів з поліпшеними характерис-

тиками, питання інтенсифікації синтезу різних матеріалів, для утилізації і переробки відходів виробництва і т.ін.

Так у роботі [3] проаналізовані дані з мікрохвильового синтезу індивідуальних і багатокомпонентних оксидів. Наведені переваги і недоліки використання мікрохвильового нагріву при синтезі оксидних матеріалів.

У роботі [4] проведений аналіз методів формування під дією мікрохвильового випромінювання функціональних композиційних матеріалів в порошкоподібному виді, зокрема, ультрадисперсних наноструктурованих порошкоподібних зразків оксидів цинку, міді і оксиду ітрію, активованого іонами рідкоземельних елементів.

Великі перспективи має застосування НВЧ випромінювання для утилізації і переробки фосфогіпсів, які займають великі території і є джерелом екологічного забруднення довкілля. Результати досліджень, проведених у ВНТУ (Вінницькому Національному технічному університеті) показали, що водорозчинні фосфати і фториди переходять в нерозчинні з'єднання, що не випаровуються при термообробці. Такий метод нейтралізації не вимагає додаткових технологічних переподілів і екологічно ефективний. Взаємодія НВЧ випро-

мінювання із задалегідь нейтралізованим вапном, фосфогипсом, цементом і пуцолановими добавками забезпечує створення малоенергоємкої технології виготовлення водостійкого в'язучого. Наявність активованої НВЧ випромінюванням золи-виносу, фосфогипсу, вапна і опоковидного мергелю в умовах одного регіону (Вінницька область) створює сприятливі умови виробництва енергоефективних аналогів відомим алюмосульфатшлаковим цементам (АСШЦ), які були розроблені в минулому столітті в МГСУ (МІСІ) [5].

Відомі приклади застосування мікрохвильового випромінювання і у технології силікатних матеріалів.

Наприклад, в патенті [6] спучений вермікуліт змішують з рідинним склом, меленим доломітом і іншими добавками, ущільнюють масу з коефіцієнтом стискування 2-3. Сушку сирих плит здійснюють в два етапи, причому на завершальному етапі використовують для нагріву НВЧ випромінювання.

Також відомий спосіб [7] отримання алюмосилікатного пористого матеріалу, який включає приготування сировинної суміші, що містить природний глинистий мінерал і воду, заповнення форми сировинною сумішшю, попереднє обезводнення суміші в полі джерела струму високої частоти, сушку і випалення, при цьому попереднє обезводнення під дією НВЧ випромінювання ведуть до вологості від 22 до 24%, джерело НВЧ випромінювання розташовують так, щоб напрям поширення випромінювання співпадав із заданою орієнтацією осі витягнутих пор в матеріалі, а сушку здійснюють у потоці інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі від 5 до 10 мкм при температурі від 40 до 110 °С. Недоліком цього способу є його низька продуктивність, оскільки проведення окремо кожної операції вимагає витрати часу і забезпечення розташування джерела НВЧ випромінювання, так щоб напрям поширення випромінювання співпадав із заданою орієнтацією осі витягнутих пор, що досить проблематично.

Використовуючи вилуговування порошку склабою за допомогою гідросилікату натрію при температурі 40-50°C [8] можна отримати пористі пінобетони використовуючи метод при якому виготовляють будівельні блоки, сформовані із суміші легких природних пористих заповнювачів з рідинним склом, шляхом спікання, наприклад, в НВЧ полі з питомою витратою енергії 0,7-1,5 кДж/см³.

Існує спосіб виробництва теплоізоляційних конструкційних матеріалів, що включає подрібнення силікат-брили, змішування її з модифікато-

ром, зміцнюючою добавкою – портландцементом, базальтовою мікрофіброю і водою, переміщення отриманої суміші в форму, теплову обробку струмами НВЧ протягом 15 хв при температурі 300 °С. Технічний результат – поліпшення фізико-механічних властивостей, зниження собівартості за допомогою зменшення енерговитрат і часу виготовлення теплоізоляційних виробів при прийнятних теплофізичних (міцнісних, звукоізоляційних, теплоізоляційних і ін.) характеристиках, а також при знакозмінних температурних впливах [9].

Постановка завдання. Застосування НВЧ випромінювання при виробництві розглянутих теплоізоляційних силікатних матеріалів полягає в їх спученні або сушці під впливом цього виду енергії. Більшість з них стосується отримання матеріалів в плитній формі шляхом спучення під дією НВЧ випромінювання композиції певного складу, що не містить зернистого заповнювача. Застосування ж зернистого заповнювача сприяє зменшенню усадкових процесів і дозволяє уникнути розтріскування матеріалу при подальшій експлуатації, підвищує міцнісні властивості ТІМ, оскільки гранули мають деяку пластичну деформацію, а також знижує його гігроскопічність, завдяки створенню під дією НВЧ випромінювання ущільненої поверхневої оболонки гранул. Тому застосування НВЧ випромінювання для отримання композиційних пористих силікатних матеріалів на основі рідинноскляного зернистого заповнювача і додатково поризованого зв'язуючого, так само на основі рідинного скла, є досить актуальним і новим дослідженням, яке дозволить отримувати якісні теплоізоляційні вироби з високими експлуатаційними властивостями.

Таким чином, **метою роботи** є визначення впливу зернистого заповнювача на властивості композиційних теплоізоляційних матеріалів на основі рідинного скла, отриманих під дією НВЧ випромінювання.

В роботі [10] було спробовано здійснити процес спучення таких матеріалів і при традиційному конвектовному нагріві, однак отримані матеріали відрізнялись незадовільними зовнішнім виглядом і фізико-механічними властивостями.

Виклад основного матеріалу дослідження. Рідинноскляна композиція (зв'язуюче), що використовується для виготовлення композиційних теплоізоляційних матеріалів, містить: як основний компонент – рідинне натрієве скло, як модифікатори коагуляційно-кристалізаційних процесів – оксид цинку і напівводний гіпс, як пороутворювач – пероксид водню, як піностабі-

лізатор – оксиетильований алкілфенол. Як зернистий заповнювач використовуються неспучені гранули на основі РС і оксиду цинку.

В роботі пропонується дослідити вплив різного співвідношення гранульованого заповнювача до зв'язуючого на властивості композиційних матеріалів. Дані залежності наведені на рис. 2-4.

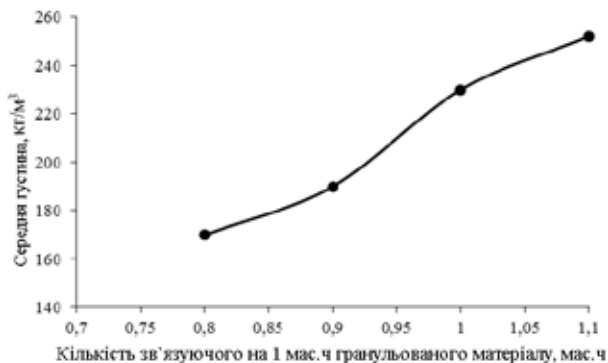


Рис. 2. Вплив співвідношення зв'язуючого до гранульованого заповнювача на середню густину композиційного матеріалу

Як видно з наведених даних, найнижча середня густина композиційного матеріалу, а саме $\sim 170 \text{ кг/м}^3$, спостерігається при співвідношенні гранульованого заповнювача до зв'язуючого 1 : 0,8. Проте така кількість зв'язуючого недостатня для отримання якісного блоку, оскільки не весь об'єм гранул покритий зв'язуючим і після закінчення спучення утворюється «хвиляста» поверхня зразка. При подальшому збільшенні співвідношення гранульованого заповнювача до зв'язуючого від 1 : 0,9 до 1 : 1,1 середня густина матеріалу збіль-

шується від 190 кг/м^3 до 250 кг/м^3 . При кількості зв'язуючого 1,1 мас.ч відносно 1 мас.ч гранульованого заповнювача не спостерігається склеювання гранул між собою в процесі спучення, оскільки зв'язуючого надто багато, і в міжгранульному просторі мають великі порожнечі. Оптимальним співвідношенням зв'язуючого до гранул є 1 : 1, оскільки в цьому випадку матеріал має прийнятний зовнішній вигляд і низьку середню густину $\sim 230 \text{ кг/м}^3$.

Як видно з рис. 3, збільшення показників водопоглинання і сорбційної вологості мають майже прямопропорційну залежність від співвідношення кількості гранульованого заповнювача до зв'язуючого. При збільшенні зв'язуючого на 1 мас.ч гранульованого матеріалу збільшується і водопоглинання, і гігроскопічність, оскільки зростає пористість матеріалу у міжгранульному просторі.

Оптимальним є співвідношення кількості гранульованого заповнювача до зв'язуючого 1 : 1, в даному випадку водопоглинання складає 30-31 %, а сорбційна вологість – 4-5 %.

Як видно з даних рис. 4, при співвідношенні кількості гранульованого заповнювача до зв'язуючого 1 : 0,8 міцність на згин і стиск композиційного матеріалу складає 0,9-0,95 МПа і 0,65-0,7 МПа відповідно. Низька кількість зв'язуючого по відношенню до кількості гранульованого заповнювача дозволила досягти щільної упаковки гранул і їх склеювання між собою впродовж процесу спучення. Звідси і отримані результати міцнісних характеристик. Проте зовнішній вигляд такого матеріалу не

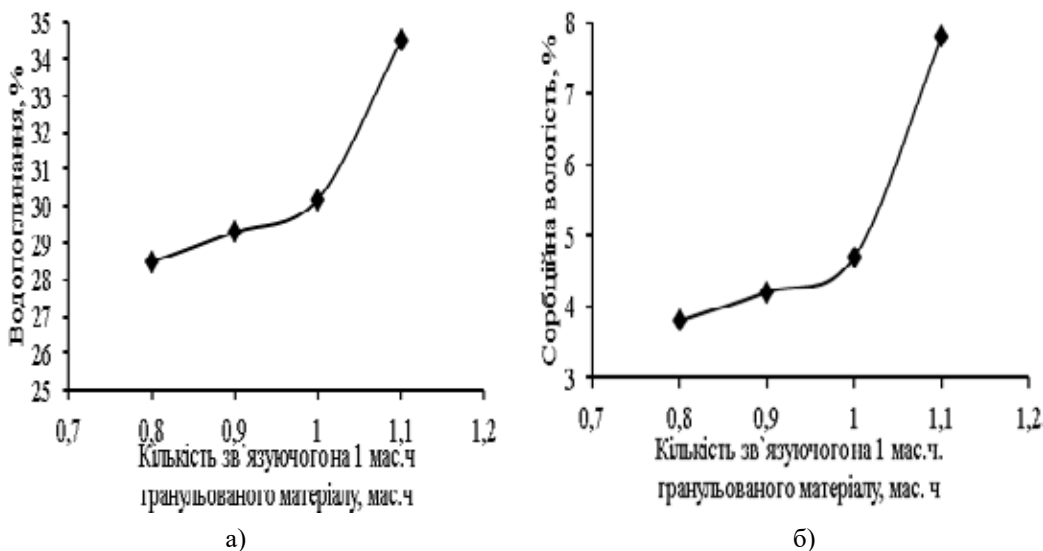


Рис. 3. Вплив співвідношення зв'язуючого до гранульованого заповнювача на водопоглинання (а) і сорбційну вологість (б) композиційного матеріалу

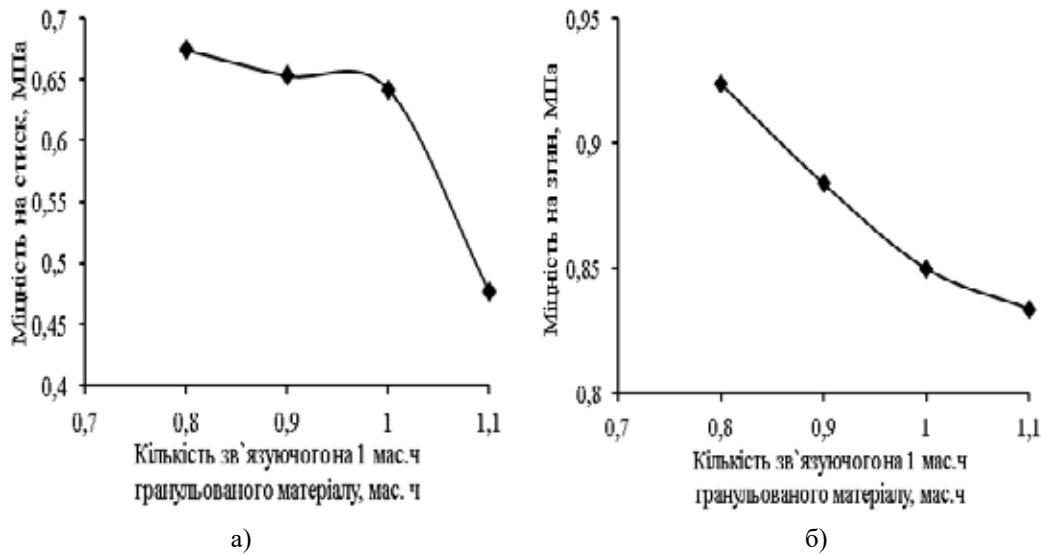


Рис. 4. Вплив співвідношення зв'язуючого до гранульованого заповнювача на міцність композиційного матеріалу: на стиск (а) і на згин (б)

є задовільним, оскільки, спучуючись, гранули створюють горбисту поверхню, виступаючи над шаром зв'язуючого. Зі збільшенням кількості зв'язуючого по відношенню до гранул 1,1 : 1, міцність на згин поступово зменшується до 0,8-0,85 МПа, оскільки росте пористість зразків, і основна частина зернистого заповнювача не склеюється між собою, а омонолічується за допомогою зв'язуючого. Такий же ефект спостерігається і для показника міцності на стиск – зі збільшенням вмісту зв'язуючого даний показник зменшується до 0,45-0,5 МПа. Оптимального значення міцнісних характеристик, що поєднуються із задовільним зовнішнім виглядом і дрібнопористою структурою матеріалу вдається досягти при співвідношенні зв'язуючого до гранульованого заповнювача 1:1. Так, міцність на згин для такого співвідношення складає 0,8-0,9 МПа, а на стиск – 0,6-0,7 МПа, що є задовільним для даної середньої густини матеріалу 220-240 кг/м³.

Висновки. На даний момент не налагоджено великомасштабного промислового виробництва композиційних матеріалів на основі рідинного скла шляхом термічного спучення. Обумовлено це нерівномірною тепловою обробкою зовнішніх і внутрішніх шарів РСК при застосуванні традиційного конвективного нагріву, а отримані таким чином ТІМ мають незадовільні експлуатаційні властивості. Дану проблему пропонується вирішити застосувавши НВЧ технологію спучення РСК, перевагою якої є можливість об'ємного нагріву зсередини матеріалу. Завдяки швидкому і інтенсивному об'ємному розігріву можна застосувати технологію одночасного спучення гранульованого напівфабрикату та зв'язуючого, що дозволяє отримати однорідно-структурний та об'ємно омонолічений матеріал, який представляє собою не окремо склеєні гранули, а монолітний блок та відрізняється достатньо високими фізико-механічними властивостями.

Список літератури:

1. Морозов А.П. Пенобетоны и другие теплоизоляционные материалы. Магнитогорск, 2008. 103 с.
2. Особенности и возможности микроволновой химии. URL: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=513806>.
3. Ванецев А.С. Спекание оксидных порошков с использованием микроволнового воздействия. М.: МГУ, 2011. 32 с.
4. Павленок А.В., Подденежный Е.Н., Бойко А.А. Особенности получения наноструктурированных оксидных порошков с использованием микроволнового излучения. Вестник Гомельского государственного технологического университета им. П.О. Сухого, 2011. № 3. С. 45-53.
5. Шахин И.Х., Шапоров В.П. Обработка природного карбоната кальция в СВЧ печи при воздействии поля бегущей электромагнитной волны. *Интегрированные технологии и энергосбережение*. Харьков: НТУ "ХПИ", 2004. №2. С. 96-107.
6. Сырьевая смесь для огнезащитных теплоизоляционных плит и способ их изготовления: пат. 2126776 Россия: МПК С04В28/26. № 98112982/03; заявл. 16.07.1998, опубл. 27.02.1999. Бюл. № 6.
7. Способ получения алюмосиликатного пористого материала: пат. 2197423 Россия: МПК С01В33/26, С04В38/00. № 2002104052/12; заявл. 19.02.2002, опубл. 27.01.2003. Бюл. № 5.

8. Руменцев Б.М, Зайцева Е.И. Получение теплоизоляционных материалов из стеклобоя. *Известия вузов. Строительство*. 2002. № 8. С. 24-26.
9. Способ изготовления конструкционно-теплоизоляционного материала: пат. 2524364 Россия: МПК С04В28/26, С04В111/20, С04В111/40. № 2011145253/03; заявл. 11.08.2011; опубл. 27.07.2014. Бюл. № 21.
10. Римар Т.Е. Дослідження впливу НВЧ випромінювання на властивості композиційних теплоізоляційних матеріалів на основі рідинного скла. *Науковий вісник будівництва*. Харків. 2021. Т. 104. № 2. С. 284-291.

Rimar T.E. APPLICATION OF GRANULAR AGGREGATE TO IMPROVE THE PROPERTIES OF LIQUID GLASS THERMAL INSULATION MATERIALS OBTAINED UNDER THE ACTION MICROWAVE RADIATION

The article investigates the use of porous granular aggregate in the production of composite thermal insulating materials based on liquid glass. Moreover, it is suggested to use not pre-swollen granules, but a raw unswollen semi-finished product and to manufacture heat-insulating products by simultaneous poring of granules and binder. This technique allows you to obtain a volumetrically homogenized material in which the space between the granules is filled with a swollen binder, limited by a denser surface layer, which is formed under the action of microwave radiation. The advantage of using microwave technology for swelling liquid-glass composition is the possibility of volumetric heating from the inside of the material, which, unlike traditional convective heating, allows you to simultaneously swell both the granules and the binder, and with the correct selection of the ratio of granules to the binder, obtain a homogeneously structured material, which is not individually glued granules, but a monolithic block and has sufficiently high physical and mechanical properties. In the work, it was established that the optimal ratio of the amount of granular aggregate to the binder is 1:1. In this case, the material has an acceptable appearance and a low average density – 220-240 kg/m³, water absorption is 30-31%, hygroscopicity – 4-5%, and strength 0.8-0.9 MPa and 0.6-0.7 MPa, respectively, for bending and compression. The use of granular aggregate helps reduce shrinkage processes and avoids cracking of the material during further operation, increases the strength properties of thermal insulating materials, since the granules have some plastic deformation, and also reduces its hygroscopicity, thanks to the creation of a compacted surface shell under the influence of microwave radiation.

Key words: *microwave radiation, liquid glass compositions, thermal insulation materials, granular aggregate, binder, physical and mechanical power.*