

¹ **В.П. Азутов**, к.т.н., доцент;

² **О.Ю. Бердник** к.т.н., доцент

^{1, 2} Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ БАЗАЛЬТОВИХ ВОЛОКОН

Анотація. В статті розглянуті результати науково-дослідної роботи, яка виконана на кафедрі ТБКВ Київського національного університету будівництва та архітектури з створення зразків теплозвукоізоляційних виробів з підвищеними експлуатаційними властивостями на основі модифікованого базальтового волокна.

Актуальність теми обумовлена прогнозованим скороченням світових запасів енергоносіїв при одночасному зростанні об'єму споживання і вартості, що визначило тенденцію з підвищення вимог до теплозахисту будівель і споруд та енергоефективності технологічних процесів. Виходячи з цього пріоритетним напрямком наукових досліджень є розробка матеріалів і технологій виробництва високоефективних теплозвукоізоляційних виробів на основі екологічно чистої мінеральної сировини. Одним з представників цих матеріалів є базальти та їх структурні аналоги (габро, сієніти) з отриманням різноманітних матеріалів при використанні їх як сировина. Для досліджень були обрані зразки вивержених гірських порід – базальти та їх структурні аналоги. Безпосередньо в дослідженнях використовувалися породи родовищ України: Янова Долина, Усачківське, Донецьке.

Для підвищення достовірності результатів експерименту та дотримання логічної послідовності поставлених задач, дослідження було розділено на три етапи: технологічний, модифікація базальтового волокна і виробництво гнучких теплозвукоізоляційних виробів [1].

Поетапно розглянуто питання:

-отримання низькотемпературного базальтового розплаву з розширеним діапазоном робочої в'язкості;

-вплив фізико-механічних і реологічних властивостей базальтового розплаву;

-процес взаємодії базальтового волокна з травильним розчином з метою коригування хімічного складу в напрямку отримання максимального вмісту кремнезему, алюмінію, титану;

-визначення структурних характеристик модифікованого базальтового волокна після термічної стабілізації;

-дослідження звукоізоляційних характеристик визначалися за зміною характеру розподілу звукової енергії при її проходженні через товщу матеріалу.

Виконані дослідження дозволили зробити перехід до технологічних параметрів отримання теплозвукоізоляційних виробів (ТЗІВ). Крім того, на основі досліджень розроблена технологія виробництва гнучких теплозвукоізоляційних виробів на основі модифікованого базальтового волокна та дослідженні їх експлуатаційні характеристики.

Ключові слова: модифіковані базальтові волокна, мінеральна сировина, теплозвукоізоляція, вивержені гірські породи, корозійне середовище, мікропорова структура, травильний розчин, робоча в'язкість, фільтерна пластина, порова структура.

Вступ

В умовах прогнозування скорочення світових запасів енергоносіїв при одночасному зростанні об'єму споживання і вартості визначається тенденція з підвищення вимог до теплозахисту будівель і споруд та енергоефективності технологічних процесів. Виходячи з цього пріоритетним напрямком наукових досліджень є розробка матеріалів і технологій виробництва високоефективних теплозвукоізоляційних виробів на основі екологічно чистої мінеральної сировини. Одним з представників цих матеріалів є базальти та їх структурні аналоги (габро, сієніти) з отриманням різноманітних матеріалів при використанні їх як сировини.

Матеріали і методи досліджень

Матеріалом для наукових досліджень, що проводились на кафедрі ТБКВ КНУБА, було природні гірські породи базальтів.

Мета досліджень

Отримання зразків виробів з підвищеними теплозвукоізоляційними експлуатаційними властивостями.

Для підвищення достовірності результатів експерименту та дотримання логічної послідовності поставлених задач, дослідження було розділено на три етапи: технологічний, модифікація базальтового волокна і виробництво гнучких теплозвукоізоляційних виробів [1].

Я сировинні матеріали використано вивержені гірські породи – базальти та їх структурні аналоги. Безпосередньо в дослідженнях використовувалися породи родовищ України: Янова Долина, Усачківське, Донецьке.

Узагальнюючи експериментальні результати досліджень попередніх робіт можна визначити встановлений факт корозії різної інтенсивності базальтового волокна в корозійному середовищі незалежно

від хімічного складу і родовищ, і виділити три групи. Перша група – базальтове волокно в результаті взаємодії з травильним розчином повністю розчиняється; друга група – частково розчиняється з утворенням фрагментів базальтового волокна без зміни його структурних характеристик; третя група – зберігає початкову форму з утворенням поверхневої мікропорової структури. Таким чином передумовою для постановки досліджень стала виявлена розбіжність в характері взаємодії базальтових волокон з травильним розчином [2,3].

В результаті визначення інтенсивності корозійного процесу базальтового волокна в травильних розчинах хімічної природи і різного хімічного складу виявлено певні закономірності в розподілі властивостей базальтового волокна. Згідно проведеним дослідженням найбільш характерним представником першої групи є базальти родовища Янова Долина, другої групи базальти родовищ Усачківське, третьої групи базальти Донецького родовища [4].

Базальтові породи, волокна з яких, в процесі травлення, утворюють мікропорову структуру, на території України представлені дуже в незначному об'ємі. Тому для отримання мікропорової структури базальтового волокна були проведені дослідження впливу співвідношення оксидів вихідної сировини (базальтових порід) та хімічних модифікаторів на процеси структуроутворення обробленого базальтового волокна. На першому етапі – отримання низькотемпературного базальтового розплаву з розширеним діапазоном робочої в'язкості, а також визначення закономірностей умові способів отримання модифікованих базальтових порід при використанні доступної сировини. На скляному волокні експериментального складу встановлено загальні закономірності процесу отримання модифікованого базальтового волокна, з метою здешевлення технологічного процесу був визначений склад вихідних матеріалів з базальту родовищ України (скоригований склад).

Поставлена мета досягається за рахунок введення з шихтою добавок-модифікаторів: сполуки заліза в окисній і закисній формі, для зниження температури плавлення базальтового розплаву; сполук лужних металів літію, натрію, калію з метою розширення діапазону робочої в'язкості і стабільності роботи технологічного обладнання, сполуки MnO підвищення робочої температури [5].

На другому етапі розглядався вплив фізико-механічних і реологічних властивостей базальтового розплаву, і параметрів технологічного процесу при проходженні його через фільтрну пластину в процесі утворення первинного волокна, який істотно впливає на формування структури поверхні базальтового волокна. Встановлено, що в діапазоні температур базальтового розплаву 960...1180°C і в'язкості 3,19...4,08 Па/с забезпечується регульована швидкість протягування первинного волокна через фільтрну пластину, що забезпечує отримання розрахованої міцності первинного базальтового волокна з визначеною структурною характеристикою його поверхні. У випадку використання скоригованого складу базальтового розплаву з оптимальним значенням робочої в'язкості і температури досягається через 10-15 хвилин і залишаються стабільними, що забезпечує стабілізацію протікання технологічного

процесу отримання базальтового волокна, що є ефективнішим ніж базальтові розплави іншого складу, в яких зона оптимальних значень знаходиться в межах 25-40 хвилин. Це забезпечує можливість, при швидкості протягування 36...38,5 м/хв. Базальтового волокна через фільтрну пластину і швидкості охолодження в межах 1840...1960°C/хв., фіксацію склоподібного стану матеріалу волокна з утворенням на його поверхні активних зон. Поверхня базальтового волокна, яка сформована з дотриманням визначених параметрів технологічного процесу, принципово відрізняється від поверхні базальтового волокна, сформованого по традиційній технології [6,7].

Зміна величини кривизни поверхні волокна (перша активна зона – кривизна поверхні має від'ємну величину, так звані тріщини і впадини, друга зона – кривизна поверхні має позитивну величину - піки, третя зона – характеризується продовженим характером – борозни і об'єднує властивості першої і другої зон, що забезпечує зосередження електростатичного потенціалу в цих зонах, на відміну від базальтового волокна, отриманого по традиційній технології, в якому електростатичний потенціал рівномірно розподілений по всій поверхні матеріалу). Це забезпечує зміну хімічної корозії, яка відбувається у базальтовому волокні отриманому за традиційною технологією на електрохімічну в разі використання базальтового волокна отриманого за скоригованою технологією, що забезпечує проходження корозії в межах активних зон.

На третьому етапі досліджень було вивчено процес взаємодії базальтового волокна з травильним розчином з метою коригування хімічного складу в напрямку отримання максимального вмісту кремнезему, алюмінію, титану. Вибір розчину кислоти та встановлення оптимальних значень їх характеристик базується на аналізі властивостей складових частин матеріалу базальтового волокна. Цей процес при концентрації травильного розчину 3,25 і температурі розчину 50°C, часу витримування 60-65 хв, зменшеною концентрації продуктів травлення базальтового волокна в поверхневому шарі розчину і, як наслідок, зміщенню іонообмінних процесів в глибину волокна та прискоренню швидкості їх проходження.

Також запропоновано механізм формування мікропорової структури, який базується на припущенні, що в процесі взаємодії базальтового волокна з розчином кислоти формується матеріал з переважним вмістом оксидів SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, який після термічної стабілізації, відповідно до праць академіка Гребенщикова І.В., набуває властивостей кварцового скла.

В базальтовому волокні за рахунок сил поверхневого натягу забезпечується зменшення товщини міжпорових перегородок з 30...45 мк до 4...12 мк і збільшення діаметру пор з 18...28 мк до 44...62 мк. Формування порової структури утворюється в області локального виносу елементів базальтового волокна зі збереженням в них міжпорових перегородок і утворення капілярних і субмікрокапілярних пор. Результати процесу травлення скоригованого базальтового волокна з об'ємною мікропоровою структурою наведено на рисунку [8].

Наступним етапом роботи було визначення структурних характеристик модифікованого базаль-

тового волокна після термічної стабілізації. Де встановлено оптимальну температуру термічного навантаження 1000-1060°C і час 45-55 хвилин з підвищенням температури збільшується пористість базальтового волокна, що свідчить про структурні перетворення в середині волокна, яке призводить до зменшення міжпорових перегородок (перехід склоподібного стану в рідкий).

Згідно результатів досліджень термічних характеристик отриманого базальтового волокна виявлено, що робоча температура базальтового волокна скоригованого знаходиться в межах 1000-1120°C, а циклічна стійкість підвищується в порівнянні з іншими родовищами України. Коефіцієнт теплопровідності та стійкість модифікованого базальтового волокна при циклічному термічному навантаженні має більш стабільний характер в порівнянні зі звичайним базальтовим волокном.

Дослідження звукоізоляційних характеристик визначалися за зміною характеру розподілу звукової енергії при її проходженні через товщу матеріалу. У разі кристалічного характеру матеріалу переважна частина звукової енергії (80%) проходить через товщу матеріалу, або відзеркалюється від його поверхні, що свідчить про пропускний характер.

У разі використання модифікованого базальтового волокна характер розподілу звукової енергії знижується. Переважна частина звукової енергії розсіюється в товщі матеріалу і переходить в теплову енергію [9].

Виконані дослідження дозволяють зробити перехід до технологічних параметрів отримання ТЗІВ. Розроблена технологія виробництва гнучких теплозвукоізоляційних виробів на основі модифікованого базальтового волокна та дослідженні їх експлуатаційних характеристик. Для отримання грубих базальтових волокон використовуються базальти, розплави яких за своїми властивостями та інші реологічні характеристики забезпечують проходження технологічного процесу в сталому режимі при забезпеченні розрахункових температурних показників [10].

Технологічний процес виробництва теплозвукоізоляційних виробів на основі базальтового волокна здійснюється за наступною схемою

- визначення кількісного співвідношення оксидів в складі шихти, фізико-механічних і структурних характеристик вихідної сировини (фр. 5-10мм);
- оптимізація хімічного та мінералогічного складу шихти у відповідності розрахункових величин (введення модифікаторів).
- встановлення заданих параметрів темпера-

тури і параметрів газового середовища в плавильному агрегаті;

- отримання розрахункових реологічних характеристик базальтового розплаву;
- забезпечення умов сталого проходження процесу плавлення базальтової шихти.
- отримання розрахункових параметрів отворів філь'єрної пластини;
- забезпечення визначеного режиму проходження базальтового розплаву через філь'єрну пластину;
- створення розрахункових параметрів газового середовища і характеристик теплоносія для регульованої швидкості охолодження робочого розплаву;
- отримання первинного волокна;
- приготування кислотомішучого розчину;
- забезпечення температурного режиму і часу витримання базальтового волокна в процесі травлення (рН 3,8...4,3, T=50°C, час витримання 10...180 хв);
- нейтралізація і виведення залишків травильного розчину із структури матеріалу (промивка волокна);
- термічна стабілізація структури базальтового волокна T=1060°C).
- виробництво гнучких теплозвукоізоляційних виробів на основі модифікованого базальтового волокна.

Порівняльна характеристика текстурних і структурних характеристик звичайного базальтового волокна і модифікованого базальтового волокна свідчить про те, що спостерігається підвищення експлуатаційних властивостей, так як ми отримали вже кварцодне волокно.

При облаштуванні теплоізоляції трубопроводів теплових мереж передбачено визначення коефіцієнту вібростійкості, де показано, що при дослідженнях вібраційного впливу на джугти зафіксовано стабільність характеристик, коефіцієнту теплопровідності і залежності міцності від часу вібраційного впливу. Робоча температура для звичайних волокон становить 840°C, а для модифікованого базальтового волокна 1420°C.

Висновки

В результаті досліджень вдалося отримати модифіковане базальтове волокно, яке відповідає за властивостями усім вимогам як теплозвукоізоляційний ефективний будівельний матеріал, а також запропонувати технологію виробництва гнучких теплозвукоізоляційних виробів на основі модифікованого базальтового волокна.

Література

1. Berdnyk O Yu, Lastivka O V, Maystrenko A A and Amelina N O 2020 Processes of structure formation and neoformation of basalt fiber in an alkaline environment IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering Innovative Technology in Architecture and Design 907 012036 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/907/1/012036/pdf>
2. Gots V I, Lastivka O V, Berdnyk O Yu, Tomin O O and Shilyuk P S 2020 Corrosion resistance of polyester powder coatings using fillers of various chemical nature Key Engineering Materials 864 pp 115-121 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.864.115> <https://www.scintific.net/KEM.86.4.115>
3. Krivenko P, Petropavlovskiy O, Kovalchuk O, Rudenko I and Konstantynovskiy O 2019 Enhancement of alkali-activated slag cement concretes crack resistance for mitigation of steel reinforcement corrosion E3S Web of Conferences 166 06001 DOI: 10.1051/e3sconf/202016606001

4. Krivenko P V, Kovalchuk G Yu and Kovalhuk O Yu 2005 Heat-resistant cellular concretes based on alkaline cements *Proceedings of the International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction* pp 97-104
5. Katrijn Gijbels, Pavel Krivenko, Oleksandr Kovalchuk, Anton Pasko, Sonja Schreurs, Yiannis Pontikes and Wouter Schroeyers 2020 The influence of porosity on radon emanation in alkali-activated mortars containing high volume bauxite residue *Construction and Building Materials* 230 116982. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116982>
6. Kovalchuk O, Gelevera O and Ivanychko V 2019 Studying the influence of metakaolin on selfhealing processes in contact-zone structure of concretes based on the alkali- activated Portland cement *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 5/6 (101) pp 33-40 doi:10.15587/1729-4061.2019.160959
7. Gao S L, Möder E and Plonka R 2007 Nanostructured coatings of glass fibers *Improvement of alkali resistance and mechanical properties Acta Materialia* 55 (3) pp 1043-1052
8. Tretiakov Yu D 2007 *Neorhanycheskaia khymyia Khymyia M Yzd-vo MHU 3-kh t T 1 249*
9. Jantzen C M, Brown K G and Pickett J B 2010 Durable Glass for Thousands of Years *International Journal of Applied Glass Science* 1 (1) pp 38-62
10. Lipatov Y V, Gutnikov S I, Manylov M S, Zhukovskaya E S and Lazoryak B I 2015 High alkali-resistant basalt fiber for reinforcing concrete *Materials & Design* 73 pp 60-66

¹V.P. Azutov, Ph/D, associate professors;

²O.Yu. Berdnyk, Ph/D, associate professors.

^{1, 2} Kyiv National University, whose construction and architecture, Kyiv

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE PHYSICO-CHEMICAL AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF PRODUCTS BASED ON BASALT FIBERS

Abstract. *The article examines the results of the research work carried out at the TBKV department of the Kyiv National University of Construction and Architecture on the creation of samples of thermal and sound insulation products with increased operational properties based on modified basalt fiber.*

The topicality of the topic is due to the predicted reduction of the world reserves of energy carriers with a simultaneous increase in the volume of consumption and cost, which determined the tendency to increase the requirements for thermal protection of buildings and structures and the energy efficiency of technological processes. Based on this, the priority direction of scientific research is the development of materials and technologies for the production of highly efficient heat and sound insulation products based on environmentally friendly mineral raw materials. One of the representatives of these materials is basalts and their structural analogues (gabbro, syenites) with obtaining various materials when using them as raw materials.

Samples of erupted rocks - basalts and their structural analogues - were selected for research. The breeds of deposits of Ukraine: Yanova Dolyna, Usachkivske, Donetsk were used directly in the research. To increase the reliability of the results of the experiment and to observe the logical sequence of the tasks, the research was divided into three stages: technological, modification of basalt fiber and production of flexible heat and sound insulation products [1].

The question was considered step by step:

- production of low-temperature basalt melt with an extended range of working viscosity;
- influence of physical, mechanical and rheological properties of basalt melt;
- the process of interaction of basalt fiber with an etching solution in order to adjust the chemical composition in the direction of obtaining the maximum content of silica, aluminum, titanium;
- determination of the structural characteristics of the modified basalt fiber after thermal stabilization;
- the study of sound insulation characteristics was determined by the change in the nature of the distribution of sound energy during its passage through the thickness of the material.

The conducted studies allow us to make a transition to the technological parameters of obtaining TKIV. The technology for the production of flexible thermal and sound insulation products based on modified basalt fiber and the study of their operational characteristics was developed.

Key words: *modified basalt fibers, mineral raw materials, heat and sound insulation, erupted rocks, corrosive environment, micropore structure, pickling solution, working viscosity, spinner plate, pore structure.*