

**ТЕПЛОЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ НА ОСНОВІ
МОДИФІКОВАНОГО БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА**

**HEAT AND SOUND INSULATION MATERIALS AND PRODUCTS
BASED ON MODIFIED BASALT FIBER**

Железняк І., аспірант (0009-0008-0458-4943)

Jeleznyak I., graduate student (0009-0008-0458-4943)

Здійснено розробку і технологію виробництва теплозвукоізоляційних матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Використання модифікованого базальтового волокна здійснює визначальний вплив на підвищення вихідних характеристик.

The current level of development of the industrial production of thermal and sound insulation products based on continuous fibers implies: reduced energy and raw material costs, increased environmental safety of technological processes for the production of fibers and products based on them, increased reliability and durability of products, as well as increased chemical stability. Basalt is a natural material that is environmentally friendly, does not emit harmful substances when melted and is easy to recycle, and the combination of properties such as chemical resistance, high temperature stability and mechanical strength makes basalt fibers compete with more expensive glass fibers in the production of harnesses and products for various functional purposes based on them. Therefore, the use of basalt fibers in the production of heat and sound insulation products provides a secondary environmental effect compared to the products currently used, which reduces the risk of environmental pollution by highly toxic metals and their oxides, which are part of the charge for the production of conventional mineral and borosilicate glasses. The relevance of research in this area is highlighted in the works performed in leading research laboratories and at modern industrial enterprises. The problems of the use of basalt fibers in building materials are discussed in the works of Dzhigiris D.D., Makhova M.F., Aslanova M.S., Mohort M.A., Gotz V.I., Walz A., Mayer M., which emphasize the need to ensure the conditions and control the processes of basalt fiber structure formation to obtain heat and sound insulation products with improved performance properties. However, with increasing requirements for heat and sound insulation products, the requirements for fiber properties increase, which requires improvement of its structure. According to the data in the

literature, this can be done both by modifying the melt and by processing the fiber before its use

Ключові слова. Базальтові волокна, теплопровідність, теплозвукоізоляційні вироби.

Keywords. Basalt fibers, thermal conductivity, heat and sound insulation products.

Вступ. Сучасний рівень розвитку промислового виробництва теплозвукоізоляційних виробів на основі безперервних волокон передбачає: зниження витрат на енергоносії та сировинні матеріали, підвищену екологічну безпеку технологічних процесів виробництва волокон і виробів на їх основі, підвищення надійності і довговічності виробів, а також підвищення їх хімічної стабільності.

Базальт – природний матеріал, який є екологічно чистим, при плавленні не виділяє шкідливих речовин і легко утилізується, а комбінація таких властивостей, як хімічна стійкість, висока температурна стабільність і механічна міцність робить базальтові волокна конкурентами більш дорогим скляним волокнам при виробництві джгутів, а також виробів різного функціонального призначення на їх основі. Тому застосування базальтових волокон при виробництві теплозвукоізоляційних виробів дозволяє забезпечити вторинний екологічний ефект у порівнянні з виробами, які застосовуються в теперішній час, що знижує ризик забруднення навколишнього середовища високотоксичними металами і їх оксидами, які входять до складу шихти для виробництва звичайних мінеральних і боросилікатних стекел.

Актуальність досліджень в цьому напрямку висвітлено в роботах, виконаних в провідних науково-дослідних лабораторіях і на сучасних промислових підприємствах. Проблема використання базальтових волокон в будівельних матеріалах присвячуються роботи Джигіріса Д.Д., Махової М.Ф., Асланової М.С., Мохорта М.А., Гоца В.І., Walz A., Mayer M., де підкреслюється необхідність забезпечення умов та управління процесами структуроутворення базальтового волокна для отримання теплозвукоізоляційних виробів з підвищеними експлуатаційними властивостями. Але з підвищенням вимог до теплозвукоізоляційних виробів підвищуються вимоги до властивостей волокна, що вимагає вдосконалення його структури. Як свідчать наведені в літературі дані, це можна зробити як за рахунок модифікації розплаву, так і шляхом обробки волокна перед його застосуванням[1].

Для отримання гнучких теплозвукоізоляційних виробів на основі базальтового волокна з підвищеною ефективністю необхідно вивчення закономірностей зміни властивостей розплаву за рахунок його модифікації, визначення принципів отримання мікропористої структури базальтового

волокна шляхом обробки в розчинах кислот і поверхнево активних речовин (ПАР) та його термічної стабілізації, розробці технології їх виробництва.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження базальтових волокон проводились згідно стандартних методик, нормативної літератури та ін.

Постановка мети і задач досліджень. Метою роботи є отримання гнучких теплозвукоізоляційних виробів з підвищеними властивостями на основі модифікованого базальтового волокна і розробка технології їх виробництва.

Методика досліджень. Експериментальні результати отримано із застосуванням комплексу сучасних методів фізико-хімічного аналізу: рентгенофазового (РФА), диференціально-термічного (ДТА) та растрової електронної мікроскопії (РЕМ). Визначення реологічних, фізичних (пористість), фізико-механічних та спеціальних (корозійна стійкість) властивостей досліджуваних базальтових волокон здійснювалось за стандартними методиками згідно з чинними нормативами. Розрахунки та оптимізацію хімічного складу базальтових волокон проведено із застосуванням експериментально-статистичних методів планування експерименту.

Створення нових енергоефективних та екологічно чистих теплозвукоізоляційних матеріалів в значній мірі пов'язано з розробкою і застосуванням скляних, неорганічних, мінеральних і базальтових волокон, використання яких вносить суттєвий вклад у формування технологічних та експлуатаційних властивостей [2].

Аналіз відомих властивостей основних типів волокон, які застосовуються при виробництві теплозвукоізоляційних виробів, показав ряд недоліків-обмежена область застосування, висока звуко- і теплопровідність, низька термостійкість, атмосферо стійкість, знижена температура експлуатації.

На сьогоднішній день найбільш ефективними є теплозвукоізоляційні вироби на основі базальтових волокон, які відрізняються від аналогічних виробів на основі волокон з інших матеріалів стабільністю фізико-механічних характеристик в процесі експлуатації, екологічною чистотою і відносною дешевизною виробництва, не створюють умов для розвитку мікроорганізмів. Базальтові волокна є хімічно нейтральними і не мають негативного впливу на здоров'я людини. Однак недоліками волокнистих утеплювачів є не відповідність властивостей виробів до підвищених експлуатаційних факторів, таких як низька термостійкість до 450°C, висока вартість.

Для вирішення проблем отримання гнучких теплозвукоізоляційних виробів на основі базальтового волокна з підвищеними експлуатаційними властивостями актуальними стають дослідження, які направлені на вдосконалення технології його виробництва.

Аналіз відомих досліджень у напрямку вивчення процесів і умов структурних перетворень в системі $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ дозволяє припустити

можливість отримання гнучких теплозвукоізоляційних виробів з підвищеними експлуатаційними властивостями на основі модифікованого базальтового волокна за рахунок направленої зміни хімічного складу в напрямку утворення системи $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ шляхом модифікації розплаву для отримання волокна, травлення в розчинах кислот і наступною термічною стабілізацією матеріалу з отриманням об'ємної мікропористої структури [3].

У якості сировинних матеріалів розглядалися вивержені гірські породи – базальтові породи України, родовищ Янова Долина, Донецьке, Усачківське (табл.1).

Таблиця 1.

Хімічний склад досліджуваних базальтових родовищ

Назва родовища	Хімічний склад, %							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	TiO_2	R_2O
Янова Долина	50,6	16,0	14,8	8,1	5,1	9,8	0,9	3,2
Усачківське	48,7	15,9	13,5	7,3	5,4	12,9	0,8	3,5
Донецьке	47,6	17,5	16,6	7,8	5,1	9,5	1,5	4,7

Визначення фізико-механічних характеристик базальтів і базальтових волокон (середня густина, діаметр волокна, довжина волокна, його міцність на розтяг та ін.), проводилися за стандартними методиками у відповідності з вимогами ДСТУ Б.В. 2.7.-94-2000.

У якості добавок-модифікаторів були використані сполуки 3-х груп: 1 група – сполуки заліза Fe_2O_3 , FeO , 2 група – сполуки рідкоземельних La, Cs і лужних металів Li, Na, K, 3 група – сполуки Al_2O_3 , TiO_2 .

Дослідження процесу травлення базальтового волокна проводились в розчині HCl , що забезпечує рН 3,8...4,3 в температурному діапазоні 20...80°C, час витримування знаходився в межах 10...180 хв. Стабілізація структури базальту досягалася за допомогою термічної обробки при температурі 1060°C. Інтервал зміни температури становила 50...1060°C з кроком - 50°C. Тривалість витримування при заданій температурі знаходилась в межах 0,5...6,0 год.).

Теплопровідність джгутів на основі модифікованого базальтового волокна була досліджена згідно вимог ДСТУ Б.В. 2.7.-105-2000 «Метод визначення теплопровідності і термічного опору».

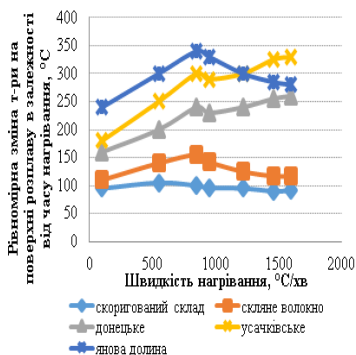
Згідно результатів дослідження впливу співвідношення оксидів вихідної сировини (базальтових порід) та хімічних модифікаторів на процеси структуроутворення обробленого базальтового волокна з мікропористою структурою, що забезпечується за допомогою травлення в розчині кислоти та наступною його термічною стабілізацією.

Для підвищення достовірності результатів експерименту та дотримання логічної послідовності поставлених задач, дослідження було розділено на три частини: отримання базальтового розплаву, отримання базальтового волокна та його травлення в кислотному і термічна стабілізація отриманого матеріалу.

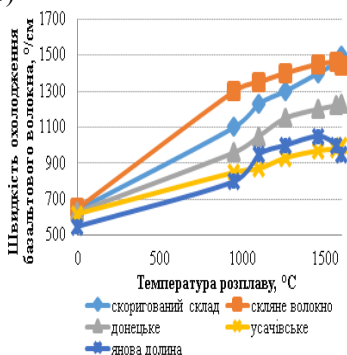
Для дослідження в якості модельних систем було обрано сировину на основі базальтів Донецького родовища, на основі яких отримували досліджувані розплави в інтервалі коливань основних оксидів і модифікаторів (0,4...0,6) $\text{NaO} + (0,1...0,4) \text{K}_2\text{O} + (0,1...0,2) \text{Li}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$ (7...11 SiO_2) + (0,7...1,1) Fe_2O_3 . Температура початкового плавлення вихідної базальтової сировини становила відповідно 1540°C, 1400°C, 1200°C, 980°C, що дозволило визначити оптимальні параметри структуроутворення базальтового розплаву з розрахунковими реологічними характеристиками з метою формування його фазового складу та експлуатаційних властивостей. Оптимізацію складу і реологічних характеристик базальтового розплаву шляхом введення модифікаторів виконували з метою забезпечення фізико-механічних характеристик обробленого базальтового волокна та формування у його складі максимальної кількості фаз кварцового скла при максимально низькій температурі. Результати виконаних досліджень представлені на рис. 1, рис. 2.

З аналізу результатів дослідження впливу складу вихідної сировини на реологічні характеристики (рис. 1) та час досягнення робочої в'язкості розплаву (рис. 2) можна зазначити, що при співвідношенні оксидів $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ в межах 6...9 та $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ в межах 0,8...1,6 в хімічному складі досліджуваних систем досягається зниження температури плавлення базальтової шихти на 150...210°C. При співвідношенні $\text{R}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ 0,12...0,9 та $\text{R}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 0,01...0,4 досягається найбільший інтервал робочої в'язкості базальтового розплаву при мінімальній допустимій температурі плавлення. При підвищенні співвідношення $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ більше 7,5 і $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ більше 11,6 для забезпечення розрахункового діапазону робочої в'язкості базальтового розплаву існує необхідність збільшення тривалості витримки розплаву з метою унеможливлення утворення температурних градієнтів.

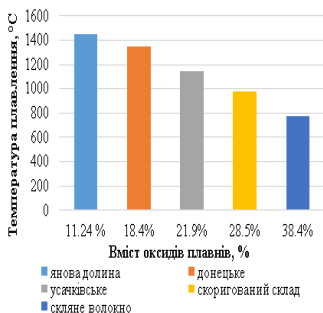
а)



б)



в)



г)

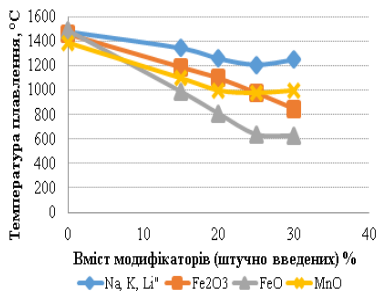
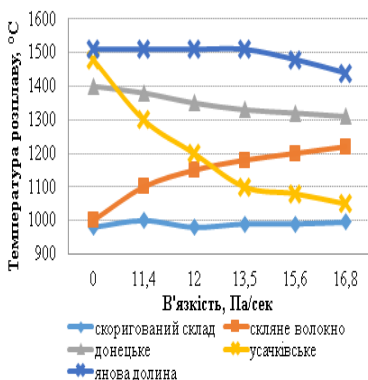


Рис. 1. Технологічні характеристики базальтового розплаву: а) вплив швидкості нагрівання базальтового розплаву на рівномірну зміну температури по поверхні базальтового розплаву в залежності від температури нагрівання; б) вплив швидкості охолодження базальтового розплаву на температуру розплаву; в) вплив оксидів плавнів, що входять до складу природної сировини на температуру плавлення базальтової шихти; г) вплив модифікаторів на температуру плавлення базальтової шихти.

а)



б)

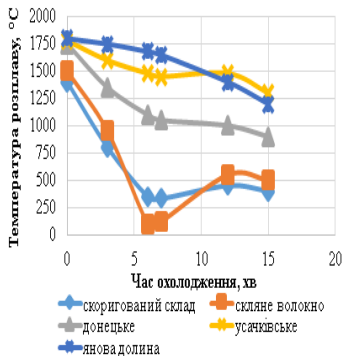
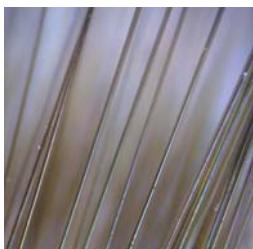


Рис. 2. Реологічні характеристики базальтового розплаву: а) - вплив хімічного складу шихти на роботу в'язкість розплаву; б) - вплив хімічного складу шихти на швидкість охолодження базальтового волокна

Потрібно зазначити, що визначальним фактором впливу на реологічні характеристики базальтового розплаву є співвідношення $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. З його збільшенням зменшується ширина діапазону робочої в'язкості розплаву, що приводить до нестабільності технологічного процесу отримання базальтового волокна. 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, які відіграють визначальну роль 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. Це забезпечує можливість, при швидкості протягування 35...38,5 м/хв, базальтового волокна через фільтрну пластину і швидкістю охолодження в межах 1840...1960 °C/хв, фіксацію склоподібного стану матеріалу волокна з утворенням на його поверхні активних зон [4]. Ці зони в процесі обробки волокна в травильних розчинах з pH 3,8...4,3 забезпечують утворення мікропорової структури матеріалу. Поверхня базальтового волокна, яка сформована з дотриманням визначених параметрів технологічного процесу, принципово відрізняється від поверхні базальтового волокна, сформованого по стандартній технології. Як видно на рис. 3, поверхня базальтового волокна, сформованого по стандартній технології, має гладку рівномірну поверхню зі сталою кривизною (рис. 3 а). Зміна величини кривизни поверхні волокна (перша активна зона – кривизна поверхні має від'ємну величину (тріщини і заглиблення), друга зона – кривизна поверхні має позитивну величину (піки), третя зона – характеризується продовженням 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 сприяє перетворенню хімічної корозії, яка відбувається у звичайному базальтовому волокні, на електрохімічну в разі використання волокна, отриманого по скоригованій технології, що прискорює проходження процесу обробки волокна в травильному розчині з pH 3.8...4,3 і забезпечує утворення в усьому об'ємі волокна мікропористої структури.

а)



б)

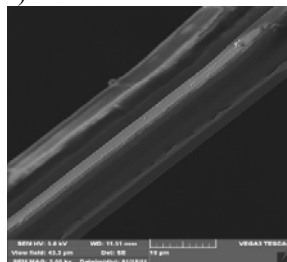


Рис. 3. мікрофотографії базальтового волокна виготовленого за:
а) - стандартною технологією; б) – скоригованою технологією

1. P.Chindaprasrt, T.Cao Setting, segregation and bleeding of alkali-activated cement, mortar and concrete binders / Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes, WP, 2015, p.p.113-131.
2. Макаренко В.Д., Гоц В.І., Савенко В.І., Владимиров О.В., Макаренко Ю.В. Експериментальні дослідження кінетики росту тріщин та несучої здатності трубних сталей підземних систем водовідведення//Опір матеріалів і теорія споруд: Вип. №110.- 2023, С.469-482.
3. ДСТУБВ.2.7-185:2009 "Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму".DSTU В V.2.7-185:2009 "Tsementy. Metody vyznachennia normalnoi hustoty, strokiv tuzhavlennia ta rivnomirnosti zminy obiemu.
4. Berdnyk O Yu, Lastivka O V, Maystrenko A A, Amelina N O. 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 (ITAD 020). – Vol. 907. – 012036. (Scopus) <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/907/1/012036/pdf>.