

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Митної справи, матеріалів та технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра Матеріалознавства

(повна найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»
ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО
КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА ПОЛУМЕРНІЙ
ОСНОВІ / IMPROVEMENT OF THE
TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING
HEAT-INSULATING COMPOSITE MATERIAL ON A
POLYMER BASIS

спеціальність 132 «Матеріалознавство»

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Матеріалознавство»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПМм-21

Мікуланінець Володимир
Віталійович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Боярська Ірина Володимирівна

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«04» грудня 2024 р.

к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:

Мельничук Микола Дмитрович

Луцьк – 2024 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів та технологій
Кафедра матеріалознавства
Ступінь вищої освіти: магістр
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 132 Матеріалознавство
Освітня програма: Матеріалознавство

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри



Мельничук М.Д.

«02» вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Міхрешинський Володимир Віталійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Варкопашення термопластичного процесу виготовлення термопластичного композитного матеріалу на полімерній основі
керівник роботи к.т.н., доц. Тарасюк Геннадій Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «23» 10 2024 року № 407/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «03» 12 2024р.

3. Вихідні дані до роботи смаг та в'язкості матеріалу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Технічне обґрунтування. Експериментальна частина. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) ч. 9р. А4

1. Вихідні матеріали
2. Задавальний листок виконавцю
3. Внесок ар-к на аркуші лінійності
4. Результати дослідження при стиску
5. Дослідження технологічного ви-п.
6. Макрофотографії поверхні
7. Технологічний процес.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Н.кошарь	доц. каф. матеріалознавства Мисковець С.В.	02.09.2024	04.12.2024

7. Дата видачі завдання «02» 09 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Технічне обґрунтування	15.10.2024	викон.
2.	Планувальне експериментування	05.11.2024	викон.
3.	Результати експерименту та написання тех. проєкту	26.11.2024	викон.

Здобувач вищої освіти [Redacted]

Слікерашівська
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи [Redacted]

Тарасюк С.І.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Мікуланінець В.В. Вдосконалення технологічного процесу виготовлення теплоізоляційного композиційного матеріалу на полімерній основі. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра

ОП «Матеріалознавство» спеціальності 132 матеріалознавство.

Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024.

Робота складається з текстової та графічної частин.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

Пояснювальна записка складається з 53 сторінок і містить такі розділи: технічне обґрунтування, експериментальна частина, технічна частина.

Також пояснювальна записка містить 9 таблиць, 5 рисунків, 22 літературних джерела та додаток.

Графічна частина складається з 7 аркушів формату А4, які розміщені в додатку до А.

Ключові слова: епоксиполімер, епоксикомпозит, структурування, теплоізоляційних матеріал.

MP 0924.00.00.000 ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Мікуланінець		04.12		3	53
Перевірив		Боярська		04.12	ЛНТУ		
Ч. контр.		Мисковець		04.12	каф. матеріалознавств		
атвед.		Мельничук		04.12	гр. ПМм - 21		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	6
1.1. Теоретичні основи процесу виготовлення епоксидних смол	6
1.2. Характеристика базальтоволокнистих полімерних композиційних матеріалів	13
1.3. Особливості застосування базальтопластику для підвищення теплоізоляційних властивостей матеріалів і конструкцій	15
1.4. Висновок, вибір об'єкта та постановка завдання	19
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	22
2.1. Характеристика використовуваних матеріалів	22
2.2. Характеристика методів досліджень	24
2.3. Взаємовплив компонентів базальтопластиків	27
2.4. Дослідження фізико-механічних властивостей базальтопластів	29
2.5. Дослідження експлуатаційних властивостей базальтопластів	32
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	37
3.1. Характеристика процесу формування епоксидних композиційних матеріалів.....	37
3.2. Вдосконалення технологічного процесу виготовлення базальтопластів..	41
3.3. Нормування та особливості регулювання технологічного процесу	48
ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51
ДОДАТКИ	

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

На сьогодні проблема підвищення теплоізоляційних властивостей полімерних композитів є надзвичайно актуальною. Жорсткі екологічні параметри, технологічні та експлуатаційні вимоги обмежують сферу використання традиційних матеріалів – базальтопластиків на фенольній основі. Попит на якісні та конкурентоспроможні матеріали можна задовільнити шляхом створення нових систем на базі існуючих, особливо базальтопластиків. Створення та покращення властивостей композитів на основі епоксидної смоли є однією з розвиваючих галузей цієї галузі матеріалознавства. Вони мають високу міцність і технічні характеристики, що знижують витрати і підвищують продуктивність.

Епоксидні полімери мають різноманітні властивості (адгезійні, механічні, технічні тощо), які в багатьох випадках надають їм переваги як основи для клеїв, покриттів і армованих пластмас. До перспективних матеріалів відносяться наповнені полімери. Наповнювачі можуть покращувати фізичні властивості полімеру, такі як міцність, жорсткість, термічну стійкість, або надавати нові функціональні властивості,

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

1.1. Теоретичні основи процесу виготовлення епоксидних смол

Одним із шляхів продовження терміну служби машин і механізмів є розробка і застосування нових ресурсозберігаючих матеріалів і покриттів для забезпечення необхідної продуктивності. Тому дуже сьогодні важливо захистити обладнання покриттями з високими показниками експлуатаційних характеристик для підвищення їх ресурсу роботи.

Серед матеріалів на основі епоксидних смол найбільш практичне застосування отримали композиції, що містять епоксидні ефіри. Вироби, які тверднуть на повітрі за рахунок окисної полімеризації вільнорадикальних кислотних залишків, за декоративними властивостями перевершують вироби на основі немодифікованої діанової смоли, але виявляються лугостійкістю [1].

Вибір матеріалів для покриттів проводять на основі техніко-економічного аналізу із врахуванням наступних факторів: відповідна межа температуростійкості, тип конструкції, умови експлуатації, агресивність навколишнього середовища, трудоемність робіт при нанесенні і формуванні адгезивів.

Вибір матеріалів для виготовлення покриття на основі техніко-економічного аналізу з врахуванням таких факторів: відповідні межі температурної стійкості, тип конструкції, умови експлуатації, агресивність середовища, трудомісткість нанесення та роботи при формуванні. кількість клею.

Епоксидні покриття – це реакційноздатні олігомери, які після взаємодії із твердниками внутрішньої тривимірної сітчастої структури. Амінні твердники служать реагентами і впливають на роль зшивання. Епоксидна смола містить реактивні епоксидні та гідроксильні групи, які хімічно реагують із твердником, утворюючи сітчасту структуру. Швидкість процесу твердіння залежить від температури. Деякі твердники реагують зі смолою при кімнатній температурі,

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інші тільки при нагріванні. Повне гелеутворення епоксидних олігомерів при взаємодії з поліамінами досягається в процесі зшивання матеріалу при температурі вище 100 °С.

Розвиток науки і техніки висуває високі вимоги до епоксидних захисних покриттів. Відповідно, захисні покриття повинні відповідати таким вимогам:

- стійкість і технологічність при нанесенні;
- розподіл компонентів в об'ємі матеріалу покриття;
- непроникність для навколишнього середовища;
- підвищити міцність зчеплення з основою;
- поліпшення фізико-механічних властивостей;
- додані теплофізичні показники, коефіцієнт теплового розширення (ТРК)

покриття має бути близьким до ТКЛ підкладки;

- поліпшення антикорозійних характеристик і зносостійкості [2].

Слід зазначити, що епоксидні покриття характеризуються покращеною адгезією, фізико-механічними властивостями, теплофізичними властивостями, захистом від корозії та зносостійкістю. Такий широкий спектр властивостей і добре розвинена сировинна база забезпечує конкурентоспроможність даного виду термореактивних покриттів на ринках обладнання та технологій.

Крім того, введення добавок (волокнистих і дисперсних наповнювачів) в епоксидні олігомери ще більше покращує їх експлуатаційні характеристики, що означає їх застосування у багатьох галузях промисловості.

За останні роки істотно змінився характер їх використання, але традиційним залишається використання в наступних сферах:

- Для просочення склотканини або склінітки. Яке середовище для просочення і склеювання деталей зі скловолоконної епоксидної композиції використовують в електротехніці, радіоелектроніці, автомобільній та аерокосмічній промисловості, для виробництва склопластику в будівництві, суднобудуванні та машинобудуванні, а також для ремонту цехових елементів суден, корпусів і корпусів.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Водостійке покриття, епоксидну смолу можна ефективно використовувати для гідроізоляції підлог і стін підвалів і басейнів.
- Хімічні антикорозійні покриття, фарби та матеріали для внутрішнього та зовнішнього оздоблення будівель.
- Просочення міцності та водостійкості пористих матеріалів: бетону, дерева та ін.
- Прозорий твердий матеріал, отриманий заливкою у формі з подальшою механічною обробкою, різанням і шліфуванням. Використовується для виготовлення виробів зі склопластику в будівництві, електронній промисловості, проектуванні, облаштуванні дому тощо [3-5].

Полімерна наливна підлога – одна з найперспективніших і все більш популярних послуг на ринку покриттів. Унікальність самого матеріалу і технологія його нанесення здійснюється в його здатності задовольняти найрізноманітніші, іноді взаємовиключні, вимоги до покриття при використанні інших матеріалів. Блок-полімерна підлога – це полімерний матеріал, нанесений на базовий шар з утворенням високоміцного захисного шару товщиною від 0,2 до 8 мм. Підлогове покриття є одним з основних факторів, що пропонують тепловий комфорт, гігієнічність, естетичність і надійність приміщення.

Підлогові покриття постійно піддаються механічним і хімічним навантаженням, тому їх необхідно регулярно оновлювати або виготовляти з міцних матеріалів. Для захисту бетонної підлоги промислових і цивільних об'єктів оптимальним рішенням є налаштування монолітної підлоги з полімерепоксидного матеріалу.

Для виробництва полімерних покриттів частіше використовують склади на основі поліуретану, метилметакрилатних смол або епоксидних смол. Кожен з цих складів має певні властивості і рекомендований для певних умов.

Поліуретанова підлога особливо підходить для використання в приміщеннях з сильними вібраційними навантаженнями. Вони також можуть використовувати вплив поверхневих абразивів.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Епоксидні підлоги ідеально підходять для цехів з ударними та механічними навантаженнями, високою вологістю та де використовують хімічні сполуки. Повітропроникну епоксидну підлогу можна укласти на вологу бетонну основу.

Підлога з метилметакрилату характеризується особливою швидкістю виробництва, твердіння та запуску. Вони можуть створюватися навіть при негативних значеннях температури. Водночас вони відрізняються здатністю збільшити міцність і протистояти різновидам вражаючих факторів [6].

Епоксидні суміші є найбільш широко використовуваними, оскільки епоксидні полімери мають низьку посадку, високу адгезію, не виділяють летких продуктів при твердні, мають високі механічні та діелектричні властивості та перевершують інші матеріали за всім спектром своїх характеристик.

Епоксиди добре з'єднуються з іншими олігомерами і, крім того, можуть зміцнюватися винятковими видами сполук. Це дозволяє досить легко отримати доступ до широкої частини сполуки на основі епоксидних олігомерів із максимальною властивістю. Недоліком використання епоксидних компаундів є досить низькі робочі температури, що робить їх непрактичними для використання в продуктах, які працюють у важких умовах.

У промисловості епоксидні полімери підтримують трьома способами:

- взаємодія сполук (двоатомних і багатоатомних фенолів, спиртів, амінів, кислот) з епіхлоргідрином і подальшою регенерацією епоксидних груп на стадії дегідрохлорування;
- епоксидування сполук можна викликати за допомогою органічних кислот, пероксидів і гідропероксидів кисню;
- полімеризація та кополімеризація мономерів, що утворюють групу епоксидної групи [7].

Переваги полімерної підлоги:

- Цільна безшовна підлога є абсолютно герметичною і тому не створює умов для накопичення вологи, що полегшує монтаж.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Без пилу, полімерна плівка на поверхні підлоги запобігає пілоутворенню бетонної основи.

– Стійкість до стирання, здатність підлоги протистояти зносу, що спостерігається під дією абразивних складів.

– Хімічно нейтральне, полімерне покриття не виділяє шкідливих речовин і не вступає в реакцію з більшою кількістю хімічно активних компонентів.

– Антиковзаюча, спеціальна обробка поверхонь, що створює фактурне покриття.

– Пожежна безпека, склад, з якого виготовлено покриття, унікальний до категорії пірофорних або негорючих.

Компаунді – це наповнені або ненаповнені полімерні матеріали, які виготовлені для сплавлення або просочення компонентів і вузлів електро- та радіообладнання. Залежно від типу пристрою ці сполуки забезпечують різні функції – сприймають механічні навантаження, діють як діелектрики, об'єднують елементи конструкції в єдине ціле, захищають конструкцію від вологи тощо. Такий різноманітний спектр функцій призвів до розробки великої кількості марок компаундів для використання в різних сферах застосування.

Епіхлоргідрин завантажують у реактор з нержавіючої сталі з паровідвідним каналом і мішалкою і нагрівають до 40...50 °С. Під час роботи змішувача вводять дигідроксифенілпропан. Після розчинення дифенілпропану та отримання однорідного розчину дають розчин каустичної натрію з мірою чашки і завершують процес конденсації при 60...70 °С протягом 1,5...2 годин. Весь цей час міксер повинен працювати. Після цього вимкніть нагрів приладу, додайте воду і продовжуйте змішувати. Після припинення змішування отриманої смоли дають відстоятися. Швидше відокремлюються шари при 40...50 °С. Відстояну воду відокремлюють і залишки смоли промивають теплою водою 40...50°С. Кількість води додатково об'ємом (зазвичай у два-три рази).

Продовжуйте промивання (перемішування, відстоювання, а потім відділення водного шару) до повного видалення солі, що утворилися під час реакції. Промивання контролю проводять випробування на наявність хлору і лугу.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цьому ж агрегаті складається сушка смоли. Для цього смолу нагрівають до 40...50 °С, підключають до холодильника за прямим контуром (вакуум) і висушують до конденсації води в холодильнику і припинення спінювання смоли. Сушіння смоли також без вакууму – при атмосферному тиску і температурі приблизно 120 °С. Сушку смоли продовжували до отримання прозорого зразка смоли при 20..25 °С. Переливайте готову смолу в алюмінієву ємність [8].

Залежно від молярного складу вихідних компонентів кінцевий продукт може бути рідким, в'язким або твердим. Рідку (низькомолекулярну) смолу легше очистити, ніж в'язку (високомолекулярну), спочатку підтримують низькомолекулярний смол, а потім розплавляють її з розрахованою недостатньою дигідроксипропану, щоб одночасно отримати бажану високомолекулярну смолу.

Щоб успішно змішати смолу з пластифікаторами та твердником, епоксидну смолу потрібно нагріти вище кімнатної температури, щоб вона стала меншою в'язкою. Для епоксидних смол, які кристалізуються під час зберігання, необхідно переконатися, що вони прозорі і не каламутні, в іншому випадку повертають їх до прозорого стану, нагріваючи до 40...50 °С і остаточно перемішуючи [1].

Якщо перегріти, епоксидна смола може «закипіти» – смола стане матово-білою, вкрившись піною, що зробить епоксидну смолу непридатною для використання.

Спочатку в епоксидну смолу додають пластифікатор, і смолу потрібно додатково нагрівати. Співвідношення епоксидної смоли-пластифікатора може змінюватися в залежності від бажаного ефекту пластифікації, але традиційно додається 5...10 % пластифікатора.

Змішавши епоксидну смолу з пластифікатором, додайте твердник. Іноді має сенс трохи охолодити епоксидну смолу (до 30 °С), щоб зменшити ризик «закипання» смоли. Стандартне співвідношення епоксидної смоли і твердника становить 1:10.

У деяких конкретних процесах це співвідношення може істотно відрізнятись від загальноприйнятого – від 1:5 до 1:20, але в переважній ситуації використовується спільно, наближене до стандартного.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Твердник необхідно влити в епоксидну смолу, постійно і дуже вільно помішуючи. Надмірне використання твердника, навіть тимчасово в одній частині контейнера, призведе до «кипіння» епоксидної смоли (смола стане матово-білою, покриваючи піну), в цьому випадку вся епоксидна смола буде зруйнована.

Слід пам'ятати, що процес змішування епоксидної смоли із твердником є екзотермічним (виділяється тепло), і смола буде нагріватися. Іноді під час додавання твердника або відразу після змішування відбувається лавиноподібний процес – епоксидна смола дуже швидко нагрівається і майже відразу твердне. Точна причина невідома, але може бути наслідком занадто великої кількості твердника та занадто високої початкової температури смоли.

Термін служби (час до початку необоротної полімеризації) суміші епоксидної смоли і твердника зазвичай становить 0,5 ... 1 годину (багато в чому залежить від температури смоли) [9].

Після завершення роботи спочатку загартувати виріб при температурі трохи вище кімнатної. Первинна полімеризація відбувається за 2...3 години, після чого виріб можна інтенсивно нагріти, що дозволяє завершити процес твердіння за 5...6 годин. Повна полімеризація може відбуватися протягом декількох днів (до 7 днів) при кімнатній температурі. Кілька грамів смоли ідеально змішуються і тверднуть при кімнатній температурі, але при роботі з великою кількістю смоли техніка повинна бути іншою.

Якщо потрібна більша товщина (більше 2 мм), матеріал зазвичай наноситься шарами, що забезпечують початкову полімеризацію попереднього шару перед нанесенням наступного. Якщо потрібно виготовити виріб великого обсягу зі смолою (склотканини), процес дещо ускладнюється.

Епоксидну смолу можна заливати у форму, яку змащують жиром (наприклад, промисловим вазеліном), щоб забезпечити можливість відділення готового виробу від форми. Додавши в смолу порошкоподібні барвники, ви можете надати своєму виробу будь-який колір. Вироби, відлиті з епоксидної смоли, можуть піддаватися подальшій механічній обробці (різання, шліфування) [9].

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Характеристика базальтоволокнистих полімерних композиційних матеріалів

Досліджено властивості та застосування полімерних композитів на основі базальтоволокнистих матеріалів. Вони подібні до скловолокна та мають високу стійкість до корозії, жорсткість та електричну міцність. Коротковолокнисті наповнювачі, отримані з базальтових коротких волокон, покращують міцні властивості шаруватих пластичних полімерних матриць. Створення полімерних композитів є одним із досягнень сучасного матеріалознавства як у науковому, так і в практичному відношенні.

Вони являють собою безперервну гетерогенну систему, що складається з безперервної фази наповнювачів армуючих волокон і полімерної матриці.

Забезпечення заданого рівня міцності властивостей полімерних композиційних виробів при короткочасній і тривалій експлуатації в режимі температури 200...400 °С є актуальною задачею в аерокосмічній, радіоелектронній, електротехнічній та інших галузях техніки. З даних видно, що з Е-склом модуля СВ на 10...22% вища, а абсолютна міцність після впливу 400 °С вища, відповідно – 1750 МПа (81,8 % від початкової) і 910 МПа (52 % від початкової). початкового значення), його лугостійкість, особливо кислотність, краща, ніж у склі, водостійкість приблизно така ж, але щільність на 7,8 % вище, тобто властивості схожі (крім міцності) до високого модуля СВ.

Базальтові волокна мають теплостійкість, приблизно дорівнює азбестовим волокнам, і не розщеплюються на дрібнодисперсні (менше 10,4 мкм) мікроволокна з канцерогенними властивостями в умовах високої температури (типова робота виробів фрикційної технології) під впливом високих контактних напружень структури. Питома міцність базальтового дроту безперервного кручення більше ніж у 8 разів перевищує таку азбестове, що обумовлено технічними характеристиками останнього, отриманого з природних сировини.

Тому економічно доцільним є використання базальтових ниток замість кварцових, азбестових і високомодульних скляних ниток. Альтернативи

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

алюмоборосилікатним скляним волокнам є технічно придатними в полімерних композиціях, де потрібна підвищена жорсткість виробу (у багатошарових шарах і панелях, де зовнішні шари розташовані на великій висоті), стійкість до впливу зовнішнього середовища та збереження міцності та діелектричних властивостей при підвищеній температурі [10].

Безперервні базальтові волокна можна використовувати як арматуру у вигляді ровінгів, намотаних ровінгів, скручень, тканин, нетканих матеріалів або як основу для отримання пресованих матеріалів (наприклад, дозованих волокон), які згодом просочують, сушать (частково полімеризують) і розламують. Напрямок забезпечення виготовлення плоских або складних виробів цієї спеціальної форми з використанням полімерних, термореактивних або термопластичних матриць, високонаповнених базальтовими волокнами. У виготовленні з однонаправлених армованих (до 80%) базальтових профілів досягаються показники міцності: максимальне напруження при розтягуванні - 1060 МПа, модуль пружності – 62000 МПа.

Також базальтоволокнисті полімерні композити застосовують у виробках радіотехнічного призначення з підвищеною температурою експлуатації, що є наслідком їх інтенсивного енергетичного режиму роботи; натомість конструкційних композиційних матеріалів на основі азбестових волокон у виробках типу несучої високотемпературної теплоізоляції; натомість композитів триботехнічного призначення на основі азбестових волокон; в багатошарових пористих панелях і оболонках, де інтегральна жорсткість конструкції обумовлює її працездатність при зовнішніх впливах; в профільних виробках для електротехніки (пазові клини, стрижневі ізоляти) та будівництва – арматура, що замінює сталеву [9-10].

В даний час базальтові волокна мають дуже обмежене застосування в машинобудуванні. Повітряні фільтри, високотемпературні ізоляційні матеріали, вібро- і звукопоглинальні матеріали виготовляються з полімерних композиційних матеріалів на основі базальтових волокон, які також використовують як армуючі наповнювачі в бетоні [11].

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Особливості застосування базальтопластику для підвищення теплоізоляційних властивостей матеріалів і конструкцій

Високі фізико-технічні властивості гірських волокон дозволяють створювати й освоювати ефективні конструкції, технології тепло-, звукоізоляції, виробництва композиційних матеріалів і виробів для різних галузей промисловості. На основі базальтових коротких волокон виробляється цілий ряд нових ефективних базальтопластикових матеріалів для теплоізоляції теплових агрегатів і машин, які можуть істотно поліпшити їх техніко-економічні властивості. Підвищення ефективності теплоізоляції може підвищити стабільність процесу.

Крім того, зменшуються енерговитрати, що дозволяють здешевити продукцію виробництва та покращити умови праці [11-12].

Ефективне утеплення різних об'єктів дозволяє збільшити термін служби теплоізоляційних виробів. Проте техніко-економічні характеристики ізоляційних виробів залежать від щільності і товщини шару утеплювача. Крім того, ізоляційний ефект базальтового волокна залежить від кількості і розміру порту утеплювача, а також від діаметра волокна, останній діаметр волокна не визначається тільки розміром пор, але й розуміє ізоляційні характеристики ізоляційного матеріалу.

Основною характеристикою теплоізоляційних матеріалів є теплопровідність, яка проявляється як тепловіддача за наявності температурних градієнтів і зумовлена тепловим рухом частинок. Величина тепловіддачі у високодисперсних матеріалах є показником сукупності процесів тепломасообміну, що відбуваються в матеріалі, і залежить від інтенсивності протікання таких процесів.

Ефективність цих процесів залежить від теплофізичних властивостей базальтоволокнистого матеріалу від особливостей механічної структури, пористості та хімічних властивостей волокон. Особливістю механічної структури

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

базальтових коротких волокон є безладне розташування волокон. Тому між різними волокнами є шари у вигляді пірового різного розміру та розташування.

Низька теплопровідність ультратонких базальтових коротких волокон зумовлена високорозвиненою поверхнею, яка утворює велику кількість пор і перешкоджає конвекції газу та тепловому випромінюванню. Базальт сам по собі має низьку теплопровідність, що також створює передумови для підвищення теплоізоляційних показників. Міцні, легкі ізоляційні вироби різних розмірів і конфігурацій можуть бути отримані за допомогою літніх базальтових пористих виробів із закритими осередками.

Трикотажні вироби з безперервних базальтових волокон дають змогу виготовити ефективні звукоізоляційні вироби [12].

Враховуючи жаростійкість базальтового волокна, а також гладкість і високу міцність його поверхні, його можна використовувати для фільтрації високотемпературних газів, рідин і навіть розплавів [11]. З причини низької теплопрозорості розплавів базальту, вироби з цього матеріалу можуть бути застосовані і в інших областях, наприклад, у виробках космічного призначення, в ізоляції поверхні космічних пристроїв, в інших областях техніки.

На основі безкрутних рівниць зі скляних базальтових композитних ниток, на основі базальтової тканини підтримують базальтопластикову арматуру зі ступенем наповнення до 80% по масі – базальтотекстильні панелі з певним ступенем наповнення. До 70% маси, в розрахунку на базальтовий папір – базальтогетинакс [12].

Характеристики властивостей деяких виробів наведені нище (таблиці 1.1).

На основі базальтопластикових армованих матеріалів виготовляють дорожні плити, бортові плити, гідротехнічні будівельні декоративні панелі та ін. Використання 1 кг прутків з базальтопластику дозволяє зберегти 9 кг прутків.

Базальтопластик – це матеріал, який відповідає вимогам протипожежної, хімічної, біологічної та міцності.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сировина для виробництва базальтового волокна та виробів з нього не обмежена.

Контейнер виготовлений зі склобазальтового композитного матеріалу. Ємність з цього матеріалу не менш корисна, ніж 30 років, тоді як дерев'яна тара має обмежений термін зберігання (5...7 років).

Розроблено вогнестійку тару, яка не гниє і за ваговими та міцними властивостями відповідає дерев'яній тарі. Він має зручне транспортування та після збірну конструкцію.

Застосування тари з композиційних матеріалів дозволяє відмовитися від використання дефіцитної деревини, уникнути пожежі, підвищити надійність і час проведення операцій пакування боєприпасів, скоротити кількість і вартість ремонтних робіт на арсеналах з перепакування боєприпасів [12].

Таблиця 1.1 – Фізико-технічні показники базальтопластиків

Найменування показників	Арматура базальто-пластикова	Базальто-текстоліт	Базальто-гетинакс
Руйнуюча напруга, МПа: при розтягуванні	1080-1380	140-220	–
при вигині	670-780	120-200	–
Модуль пружності при розтягуванні, МПа	89000-93000	39000-40000	12000-14000
Водопоглинання за 24 години	0,01	0,02	0,02

Ізоляційні панелі для холодильної абсорбції виготовлені з базальтових мікрволокон і глиняних в'язучих [12].

Плити використовують для теплоізоляції генераторів та інших вузлів абсорбційних холодильників в діапазоні температур -260 °С...750 °С. Може

використовуватися для ізоляції гарячих і холодних поверхонь на різних машинах і забезпечені. Фізико-технічні параметри плити, наведені в таблиці 1.2.

Характеризується високою хімічною стійкістю до лужного і кислотного середовища, оскільки базальтові волокна не руйнуються за рахунок хімічних солей [13]. Крім того, у випадках пожежі глина не містить шкідливих і небезпечних речовин у закритих приміщеннях.

Таблиця 1.2 – Фізико-технічні показники плит

Найменування показників	Значення
Щільність, кг/м ³ , не більш	140
Вологість %, не більш	2,0
Теплопровідність при 25 °С,	0,043
Сорбційне зволоження (за 24 години) %, не більш	4,0
Міцність на стиснення при 10%-ній деформації, МПа (кгс/см ²), не більше	0,015 (0,15)
Горючість	Негорюче
Температура використання, °С	750
Теплопровідність, Вт/мК	0,042
Вологість, %	2,0
Щільність, кг/м ³	280

В даний час вивчається питання повної заміни азбесту у виробках фрикційного призначення. На заводі АТИ (р. Біла Церква) напрацьовані партії матеріалів для виробництва фрикційних виробів, до складу яких введено базальтове волокно (замість азбестового). З вказаних матеріалів виготовлені вироби, випробувані в заводській лабораторії в умовах, близьких до натурних випробувань [14].

Таблиця 1.3 – Фрикційні характеристики базальтокомпозитів

Показники	Тормозні колодки	Кільця зчеплення
Твердість, МПа	484	22,5
Зношування в інтервалі 100-120°C, мкг/Дж	0,86	–
Лінійне зношення, мм	–	0,04
Коефіцієнт тертя	0,5	0,57

Результати випробувань показують, що фрикційні матеріали з використанням базальтового волокна не піддаються азбестовим фрикційним матеріалам. У той же час, наявність базальтового волокна може покращити експлуатаційні характеристики продукту, особливості коефіцієнта тертя, водостійкість і маслостійкість (таблиця 1.3) [14].

Тому перспективність використання базальтових волокон як наповнювачів у композиційних матеріалах очевидно не тільки через властивості власних базальтових волокон, а й через їх суттєвий вплив на властивості полімерного зв'язку. Тому використання волокнистої бази вважається доречним не тільки в умовах, де необхідно забезпечити високу термостійкість, але і в продуктах для тривалого використання в тропічних умовах. умови та житлові приміщення.

1.4. Висновок, вибір об'єкта та постановка завдання

1. Тому полімерні композити на основі базальту представляють особливий інтерес для теплоізоляційних матеріалів як з наукової, так і з практичної точки зору. Як наповнювач для таких систем може використовуватися базальтоволокнисті рівниці, тканини, папір, дисперсні волокна діаметром 8...12 мкм. В якості полімерних зв'язуючих – епоксидні смоли, фенольні смоли, ПВХ, силіконові смоли.

2. Гірська порода, так званий базальт, є найбільш прийнятною сировиною для виготовлення нових волокон з унікальними властивостями.

Світові запаси базальтують 25...38% площі Землі, остання базальт є високостійкою породою за хімічним і мінералогічним складом.

3. Перспективність використання базальту як наповнювача композиційних матеріалів пояснюється не лише властивостями базальтових волокон, а й певною мірою їх вплив на властивості зв'язуючі (хімічні та фізико-хімічні).

Тому розробка перспективних технологій виготовлення таких виробів і використання нових поверхонь базальтопластиків тісно пов'язана з вивченням закономірностей їх формування, структурних процесів. Важливо також вивчити механічні та хімічні взаємодії базальтів на межі матриці-наповнювача, їх здатність формувати оптимальні просторові структури та багато інших факторів, які забезпечують технологічність матеріалу.

4. Враховуючи властивості поверхні базальтового волокна, полімерна матриця та армуючий компонент взаємодіють у наступних двох аспектах. По-перше, змінюється сам процес полімеризації, що призводить до затвердіння системи на великій глибині. По-друге, змінюються фізико-хімічні властивості полімерного сполучного внаслідок взаємодії з поверхнею базальтового волокна, а також змінюються фізико-хімічні взаємодії на межі розділу.

На основі базальтопластику можна виготовляти:

- дорожня плита;
- борт і корпус судна;
- фурнітура з базальтопластику;
- будівельні захисні панелі;
- труби гарячого та холодного водопостачання;
- облицювання гідротехнічних споруд та ін.

Тому в даній роботі необхідні проблеми такі теоретичні та прикладні завдання:

- аналіз технічних умов виробництва базальтопластику та відомих технологій його виробництва;

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробка технологічних процесів розробки базальтопластиків та оптимізація технологій їх формування;
- вивчення впливу наповнювачів на адгезійні та міцні властивості базальтопластиків;
- вивчити експлуатаційні характеристики базальтопластиків.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1. Характеристика використовуваних матеріалів

У якості вихідної сировини потрібно отримати смолу епоксидну ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) – високов'язку прозору рідини. Масова частка епоксидних груп становить 20,0...22,5 %, а летких речовин — 0,2...0,8 %. Смоли цієї марки при переробці на вироби мають технічний характер, що дає можливість створювати на їх основі різноманітні матеріали для виготовлення: покриття, клеї, адгезиви, компаунди, герметики тощо [6, 9]. Це смола тверде без зовнішнього тиску при кімнатній або високій температурі, тому можна працювати без пресів і теплового обладнання. Здатність смоли тверді без виділення побічних продуктів забезпечує непористий матеріал і високу щільність. Основні фізико-хімічні властивості смоли наведені в таблиці. 2.1.

Таблиця 2.1 – Фізико-хімічні властивості смоли марки ЕД-20

Показник	Значення показника
Густина, г/см ³	1,16...1,2
Молекулярна маса	390...430
Вміст епоксидних груп, %	19,9...22,0
Вміст летких речовин, %	1,0
Умовна в'язкість за кульковим віскозиметром при температурі 25°C, с	65
Вміст загального хлору, %	1,0
Температура розм'якшення, °C	0

Як затверджувач використовували поліетиленполіамін – ПЕПА (ТУ 6-02-594-70). Він підходить для затвердіння епоксидної смоли при кімнатній температурі та в умовах низької температури та високої вологості. Зовнішній

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вигляд: рідина від світло-жовтого до темно-коричневого кольору, без механічного включення. Масова частка загального азоту становить не менше 30%.

В якості модифікатора використовується лак КО-08К, який представляє собою толуольний розчин поліметилфенілсилоксанової смоли та продукт часткової конденсації силіконової смоли КО-08К (ТКОС).

Як наповнювач збирає базальтове тонке і ультратонке волокно, лусковий графіт (ЛГ), дисперсний фторопласт (УФ). При введенні в епоксидний композит пластівчастий графіт сприяє його розміру, хімічній стійкості, властивостям зменшення тертя та теплопровідності. УФ-світло розраховує коефіцієнт тертя [6].

Базальтове тонке волокно (БТВ) представляє собою шар переплетених коротких волокон, вовни (рисунок 2.1). БТВ має високі тепло- і звукоізоляційні властивості, низьку гігроскопічність (у 8 разів нижче скловолокна), характеризується високою хімічною стійкістю до лужного і кислотного середовища, широкою температурою.



Рисунок 2.1 – Базальтове тонке волокно

Переваги:

- екологічно чистий матеріал, з природною формулою каменю – базальт;
- висока термостійкість, температура застосування – 700...900 °С;

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– утеплювач БТВ вимагає в 1,5 рази меншої товщини з мінеральною ватою;

– висока міцність, термін придатності (60 років);

– висока хімічна стійкість до лужних і кислих середовищ і води;

– високий коефіцієнт звукопоглинання. Базальтові короткі волокна менш якісні, ніж мікрОВОлокна. Головною їх перевагою є низька собівартість, яка в 3...4 рази нижча за собівартість БСТВ.

МікрОВОлокно базальтове (БСТВ РСТ УРСР 5013-81) являє собою шар коротких волокон діаметром 1-3 мкм, переплєтених і з'єднаних між собою в мережу (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Супертонке базальтове волокно

2.2. Характеристика методів досліджень

Методи дослідження властивостей. Вибрано методику та методику дослідження властивостей базальтонаповнених пластиків з урахуванням можливих умов експлуатації виробу. Для забезпечення високої міцності конструкції, зносостійкості та оцінки дії високої температури використовуються фізико-механічні, теплофізичні та експлуатаційні методи дослідження матеріалів. Зразки фізико-механічних і теплофізичних досліджень наведені на рисунку 2.3.

					МП 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

«Границю адгезійної міцності при нормальному відриві визначали за ГОСТ 14759-69 [15]. Досліджуваний матеріал наносили на торцеву поверхню стержнів (грибків) з конічним виступом для самоцентрування, а при визначенні границі міцності на зсув (ГОСТ 14760-69) використовували пластини із сталі 45 розміром $80 \pm 1 \times 10 \times 2$ мм. Площа торцевої поверхні склеювання грибків (пластин) складала 2 см^2 . Дослідження проводили на розривній машині марки УММ-5 при швидкості переміщення нижньої траверси 2 мм/хв . Дослідження здійснювали через добу після склеювання зразків.» Межу адгезійної міцності визначали за формулою:

$$\sigma_{ад} = \frac{F}{S}, \quad (2.1)$$

де F – сила, при якій відбулось руйнування клейового з'єднання, Н;
 S – площа клейового з'єднання, см^2 .



Рисунок 2.3 – Вигляд зразків для досліджень:
 1 – адгезійної міцності; 2 – міцності на стиск;
 3 – теплостійкості; 4 – зносостійкості

«Границю міцності на стиск визначали за ГОСТ 4651-82 [15]. Зразок піддавали стиску при рівномірному зростаючому зусиллі з швидкістю

					МП 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наближення площадок 2 мм/хв до повного його руйнування. Зразки виготовляли у вигляді циліндриків діаметром $10 \pm 0,5$ і висотою 15 мм.»

Межу міцності при стиску розраховували за формулою:

$$\sigma = \frac{q}{S}, \quad (2.2)$$

де q – навантаження, при якому зразок зруйнувався, кг;

S – площа поперечного перерізу зразка, см^2 .

Теплофізичні випробування. «Теплостійкість за Мартенсом визначали за ГОСТ [16]. Метод полягав в тому, що стандартний брусок із досліджуваного матеріалу розміром $120 \times 15 \times 10$ мм піддавали дії згинаючого зусилля 4,9 МПа при поступовому нагріванні. Температура, при якій досліджуваний зразок зігнеться на $6 \pm 0,1$ мм за шкалою приладу або зламається, фіксується як теплостійкість даного матеріалу.»

Термостат, в якому встановлений прилад Мартенса, нагрівався рівномірно з швидкістю 50 ± 5 град/год від початкової температури 25 °С.

Термостійкість композитів оцінювали методом диференціально-термічного аналізу на дериватографі Паулік-Паулік-Ердей.

Дослідження зносостійкості проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою “вал-сегмент втулки” в умовах сухого тертя. Зразки розміщували на циліндричну поверхню металевого партнера, який обертається із заданою швидкістю. Корпус сполучений зі сталі 45 (ГОСТ 1050-74) у вигляді диска діаметром 50 мм. При навантаженні 1 МПа і 1,5 МПа шлях тертя становить 2000 м відповідно. Швидкість ковзання знаходиться в діапазоні від 0,5 до 4,0 м/с. Масу проби зважували на аналітичних лабораторних вагах моделі ВЛА-200 з точністю до 0,0001 г. Макро- і мікроструктуру матеріалів вивчають на оптичному мікроскопі МБС-9 при збільшенні ($\times 30$) і металографічному мікроскопі МІМ-10 ($\times 100 \dots 600$).

Морфологію та профіль руйнування контактних поверхонь тертя вивчали за допомогою аналізу зображення після напилення золота на скануючому електронному мікроскопі SUPERPROBE 733 (JEOL, Японія) прискорювального напруги 25 кВ.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Взаємовплив компонентів базальтопластиків

Експлуатаційні властивості волокнистих композитів значною мірою залежать від властивостей, складу та взаємного розташування компонентів, характеристик їх взаємодії на міжфазних границях, а в деяких випадках і від дифузії компонентів матриці у волокна. Тому між волокном і матрицею має підтримуватися певний показник продуктивності, і їх вибір не може бути вільним [17]. Вибір основних компонентів базальтопластику залежить від усіх функціональних вимог до композиту, експлуатаційної надійності, сумісності компонентів, технології обробки, доступності та вартості.

Ці вимоги передбачають перш за все певне співвідношення між механічними і термічними властивостями армуючих волокон і матриці: модуль пружності при розтягуванні і зсуві повинен бути більш ніж матриці або $E_v > E_m$, $G_v > G_m$; міцність волокон повинна бути також більшою ніж матриці (в'язучого) $\sigma_v^* > \sigma_m^*$; подовження при розриві волокон повинне бути дещо менше ніж матриці і в'язучого $\epsilon_v^* < \epsilon_m^*$; коефіцієнти Пуассона волокон і матриці бажано бути більш близькими, щоб, коли композит деформується, не було натягу на межі волокон і матриці, що призвело до зниження адгезії волокон (температура плавлення або розкладання) повинна бути вищою за температуру обробки термопластів і температуру затвердіння реактивних пластиків [16].

Взаємодія між волокном і матрицею повинна забезпечити ефективну реалізацію механічних властивостей і цілісності волокна в армованих матеріалах.

Взаємодія волокон з матрицею повинна забезпечувати ефективну реалізацію механічних властивостей волокон в армованому матеріалі і його монолітність. Це вимагає: хорошої змочуваності волокон до матриці та високої адгезії між волокнами та матрицею, що характеризується міцністю на зсув на межі частини волокон і матриці в композитних матеріалах при активних зовнішніх впливах, особливо під час впливу на них, повинна зберігатися висока адгезія; тривалий час в умовах експлуатації у вологому середовищі; властивості

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

волокна залишаються незмінними або мають мінімальні зміни під впливом складу матриці [17].

У роботі [16] експериментально визначено вплив наповнювачів базальтового волокна на зміну молекулярної рухливості фенольних клеїв. Крім того, процес обмеження молекулярної рухливості призводить до суттєвих змін температури, що є непрямим підтвердженням того, що відбуваються більш глибокі процеси зшивання полімерів [16].

Відомо [17], що основний каркас скловолокна складається із силосанових або алюмінієво-силосанових скла ланцюжків, в яких атоми кремнію або алюмінію міцно з'єднані з атомами кисню поляризованими ковалентними зв'язками, а на поверхні знаходяться іони металів. клітковина. Приєднання одновалентних, двовалентних і деяких полівалентних металів до основного каркасу має іонний характер і легко іонізується в полярних середовищах, наприклад у воді. Висока полярність силосанових і силосанових груп алюмінію утворює щільний шар води на поверхні мінералу, що сприяє розриву іонних зв'язків і накопиченню іонів металів.

Експерименти з вивчення втрати маси базальтових волокон при тривалому впливі 0,1% розчину соляної кислоти показали наявність на поверхні групи базальтових волокон, здатних брати участь в іонному обміні [30]. Коли до кислого розчину, що зберігає базальтові волокна, дає тіоціанат калію, розчин забарвлюється в насичений червоний колір, що володіє про наявність іонів заліза.

Подібні висновки можна зробити, аналізуючи результати спектральних досліджень в інфрачервоній області поверхні базальтового волокна. Тому на поверхні базальтових волокон присутні вільні або водневі зв'язки силани і гідроксильні групи домішкових металів. Ця та інша група є активними центрами адсорбції, здатними взаємодіяти з компонентами системи, і є специфічними характеристиками базальтових волокон. Дослідження показали, що присутність іонів металу в структурі мінерального наповнювача має значний вплив на процес виробництва клейової полімерної сітки. На прикладі фенолоформальдегідних

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

клеїв показано наявність малих доз металу розчину для підвищення жорсткості, міцності, термостійкості та термостійкості полімерного клею.

При дослідженні впливу базальтових волокон на температуру релаксаційного переходу встановлено, що температура скликання фенольних в'язучих істотно змінюється, внаслідок чого розширюється температура використання базальтопластиків.

Таким чином, особливі властивості поверхні базального волокна призводять до взаємодії між полімерною матрицею та армуючим компонентом у двох частинах. По-перше, змінюється хімічний склад процесу зміцнення, що забезпечує велику глибину процесу зміцнення системи. По-друге, внаслідок взаємодії з поверхнею базального волокна змінюються фізико-хімічні взаємодії на межі розділу, відповідно змінюються фізико-хімічні властивості полімерного зв'язку [17].

2.4. Дослідження фізико-механічних властивостей базальтопластів

Між частинами наповнювача та полімерною матрицею має бути висока сила зв'язку, що є початковою умовою для забезпечення високої міцності зв'язку [6].

В даній роботі використовувалися два типи базальтових наповнювачів, впершу чергу дослідили їх вплив на міцнісні зв'язки.

Готували базальтопластик наступним чином: в епоксидну смолу додавали твердник ПЕПА (12 мас.ч.), а потім наповнювали, механічно змішуючи інгредієнти на кожному етапі. Вміст БСТВ і БТВ становить 10-70 мас.ч. на 100 вагових годин епоксидного клею. Підготовлений склад розливають у спеціальній формі або наносять на попередньо механічно оброблену абразивами та знежирену ацетоном металеву основу. Після загартування при 20°C протягом 24 годин відформовані зразки піддавали термообробці:

– 60°C протягом 1 року + 120°C протягом 1 року + 160°C протягом 2 годин;

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– 60 °С протягом 1 години + 120 °С протягом 1 години + 180 °С протягом 2 годин.

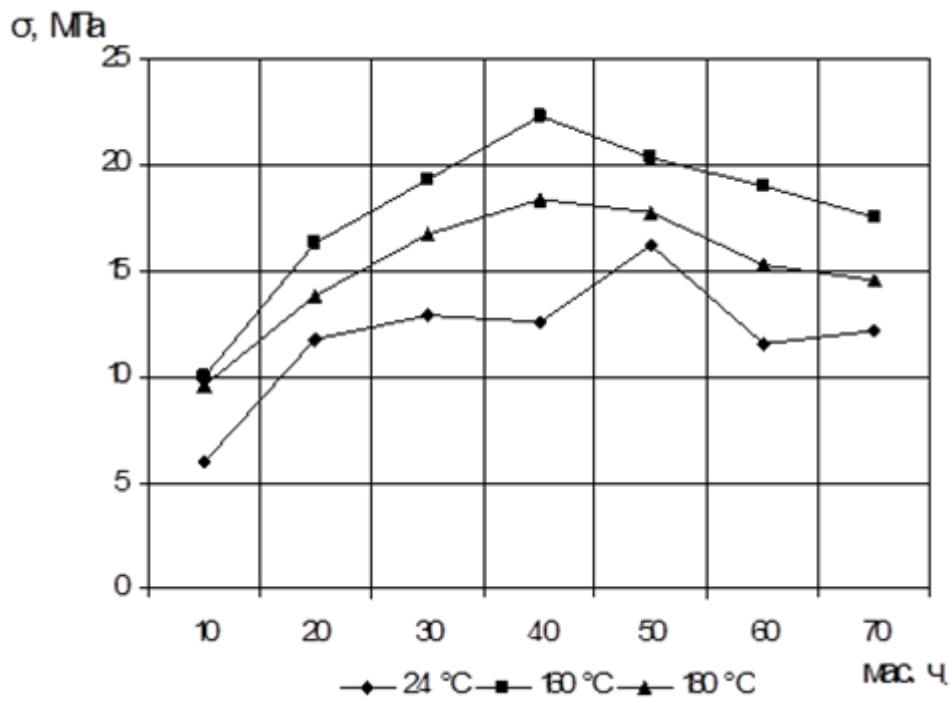
З результатів вимірювань міцності зчеплення базальтопластику видно, що оптимальний вміст БСТВ і БТВ становить 40-50 мас.ч. (рис. 2.5). Збільшення міцності зв'язку можна пояснити тим, що при даній кількості наповнювача, завдяки появі нових хімічних зв'язків між матрицею та наповнювачем, вони виступають додатковими центрами полімеризації епоксидного клею. Полімерна сітка сильно зшита, що забезпечує міцне зчеплення. Подальше поступове зниження міцності зумовлених структурними дефектами через високий вміст наповнювача, в цьому випадку наповнювач виступає як додатковий концентратор напруження.

Адгезійні та міцні властивості базальтопластику відкриваються поверхневою енергією частинок наповнювача. Частини з розвиненою поверхнею мають високу поверхневу енергію і забезпечують міцне зчеплення.

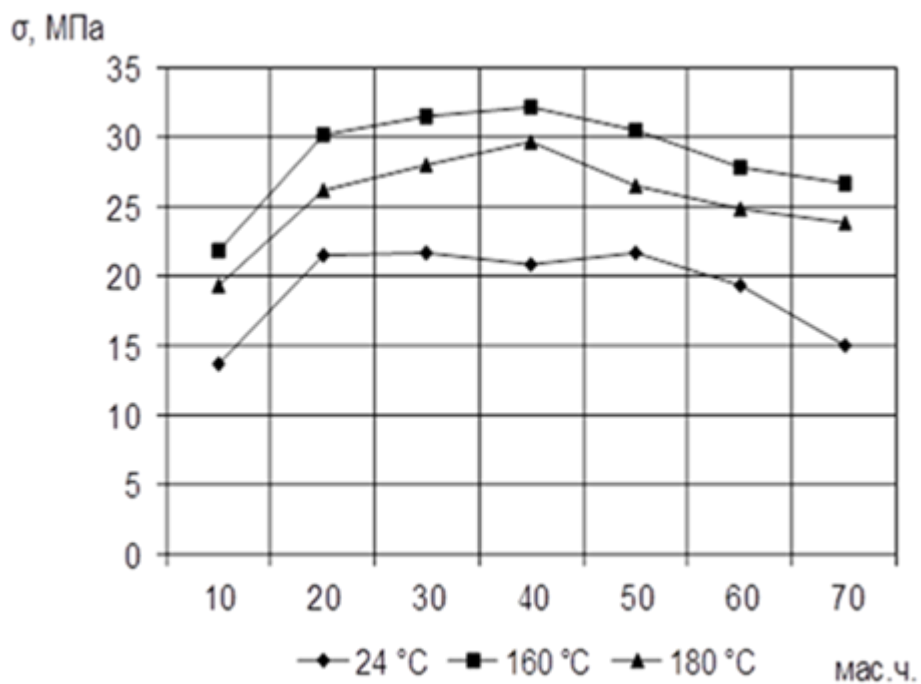
Як видно з рисунку 2.4, для базальтової пластики оптимальною є температура 160 °С, крім цього методу термічної обробки отримати текучість агрегатів макромолекул епоксидного сполучення, що дозволяє повністю протікати реакцію поліконденсації структурованого матеріалу в порівнянні з іншими термічними обробками. Найвище значення адгезійної міцності ($\sigma_{ад} = 31,75$ МПа при $t = 160$ °С) отримано при введенні БСТВ в кількості 40 мас. ч.

Збільшення міцності зчеплення здійснюється за рахунок утворення достатньої кількості додаткових зшивання між реакційноздатними групами на поверхні наповнювача і вільними радикалами епоксидного компонента. Зниження адгезійних і міцних властивостей при 180°С зумовлено домінуванням процесів термодеструкції, зростанням додаткових внутрішніх напружень і руйнуванням макромолекулярних ланцюгів.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а)



б)

Рисунок 2.4 – Вплив температури обробки, природи і кількості наповнювача на адгезійну міцність базальтопластиків:

а – БСТВ; б – БТВ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Результати досліджень міцнісних характеристик під час випробування на стиск наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати досліджень міцнісних характеристик при стиску

Базальтопластик	Вміст БВ, мас.ч.	Міцність при стиску	
		каталітично	160 °С
ЕД-20	–	79,38	145,18
БСТВ +ЕД-20 (100 мас.ч.)	10	101,24	159,59
	20	118,3	174,06
	30	122,51	175,57
	40	134,92	168,24
	50	122,25	172,38
	60	119,66	169,29
	70	119,05	168,45
БТВ +ЕД-20 (100 мас.ч.)	10	86,15	148,84
	20	99,91	158,35
	30	101,47	163,37
	40	103,62	162,43
	50	101,06	163,98
	60	96,5	158,48
	70	94,37	155,78

2.5. Дослідження експлуатаційних властивостей базальтопластів

При дослідженні впливу властивостей модифікатора на пружність і коефіцієнт тертя базальтопластиків (незмінний безперервний шлях тертя ковзання довжиною 2000 м) встановлено, що, незважаючи на суттєві відмінності в структурних формулах запропонованих сполук, значення коефіцієнтів тертя такої системи практично не змінюються і знаходяться в межах 0,39...0,40 при $P = 1$ МПа і в межах 0,40...0,41 при $P = 1,5$ МПа. При цьому розділі змінюється

значення інтенсивності активації досліджуваного зразка незначний і коливається від 0,9...1,3 мг/км при $P = 1$ МПа до 1,2...1,7 мг/км при $P = 1,5$ МПа.

Для систем, модифікованих ТКОС, фрикційні технічні параметри змінилися більше і пішли в бік підвищення зносостійкості композиту ($f = 0,25$; $I_g = 0,5$, $P = 1,5$ МПа). Термограми базальтопластиків показують, що значення теплостійкості цих систем корелюють з результатами триботехнічних досліджень.

ТКОС характеризується наявною додатковою екзотермічними піками, які також зміщені в бік вищих температур на 16...19 °С від 320 до 360 °С і зниженням втрати маси на 10%.

Результати демонструють ефективність попередньої термічної модифікації компонентів при формуванні системи.

Також була проведена комплексна оцінка фрикційних технічних параметрів двох основних компонентів. Результати оцінки наведені в таблиці 2.4.

Експериментально доведено, що базальтопластик зберігає свої експлуатаційні якості при швидкості ковзання $v = 3,0$ м/с і вище, і при цьому має найменшу інтенсивність зношування ($I_g=0,55$ мг/км, $I_h=4,5$ мкм/км).

Збільшення швидкості ковзання пошкодження до зменшення інтенсивності зношування зразка та контртіла.

Завдяки більшому високому рівню наповнення системи (80...100 масових частин) підвищення зносостійкості можна пояснити зменшенням впливу клейової композиції на коефіцієнти третини за рахунок зміцнення матеріалу. Вплив БСТВ (межа міцності на стиск 119,45 МПа, ударна в'язкість 9,15 кДж/м²), а також посилення ефектів зниження ЛГ та УФ тертя за рахунок підвищення зареєстрованої температури зони контакту тертя та примусової дифузії фторопласту в зоні контакту, виконує дискретні функції граничного змащення. Це завдяки відновленню базальтопластику і забезпечує необхідну стабільність властивостей. Цей коефіцієнт ефективний для досягнення швидкості ковзання $v = 4,0$ м/с. Надалі інтенсивність зниження і температури зразка і контртіла швидко зростають, а підвищення значущості параметрів за цією межею негативно позначається на системі тертя.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлено, що БСТВ в комплексі з ТКОС забезпечують вищу термо- і зносостійкість, що дозволяє знизити інтенсивність зношування матеріалу і підвищити верхню температурну межу працездатності пари тертя на 16...20%. Так температура контр-тіла при 1 МПа і швидкості ковзання 3 м/с досягала 150 °С (теплостійкість за Мартенсом 155 °С).

Таблиця 2.4 – Дослідження триботехнічних характеристик базальтопластів при навантаженні $P = 1$ МПа

Швид- кість ковзан -ня, v , (м/с)	Зміна коефіцієнта тертя на шляху ковзання, L , (м)				Лінійний знос пари тертя, I_h (мкм/км)	Ваговий знос, I_g (мг/км)	
	500	1000	1500	2000		зразок	контр- тіло
0,5	<u>0,42</u>	<u>0,38</u>	<u>0,48</u>	<u>0,47</u>	<u>9,8</u>	<u>0,48</u>	<u>0,28</u>
	0,42	0,37	0,47	0,45	9,0	0,46	0,25
1,0	<u>0,30</u>	<u>0,28</u>	<u>0,37</u>	<u>0,37</u>	<u>9,9</u>	<u>0,48</u>	<u>0,38</u>
	0,30	0,27	0,37	0,06	10,0	0,43	0,35
1,5	<u>0,38</u>	<u>0,30</u>	<u>0,42</u>	<u>0,32</u>	<u>15,2</u>	<u>0,60</u>	<u>0,62</u>
	0,37	0,28	0,42	0,31	14,5	0,45	0,55
2,0	<u>0,28</u>	<u>0,29</u>	<u>0,30</u>	<u>0,42</u>	<u>8,3</u>	<u>0,58</u>	<u>0,31</u>
	0,26	0,28	0,29	0,40	7,5	0,49	0,35
3,0	<u>0,25</u>	<u>0,28</u>	<u>0,39</u>	<u>0,40</u>	<u>5,5</u>	<u>0,44</u>	<u>0,29</u>
	0,25	0,27	0,38	0,40	5,5	0,45	0,16
4,0	<u>0,30</u>	<u>0,32</u>	<u>0,32</u>	<u>0,45</u>	<u>7,9</u>	<u>0,49</u>	<u>0,39</u>
	0,29	0,31	0,32	0,43	7,8	0,40	0,29

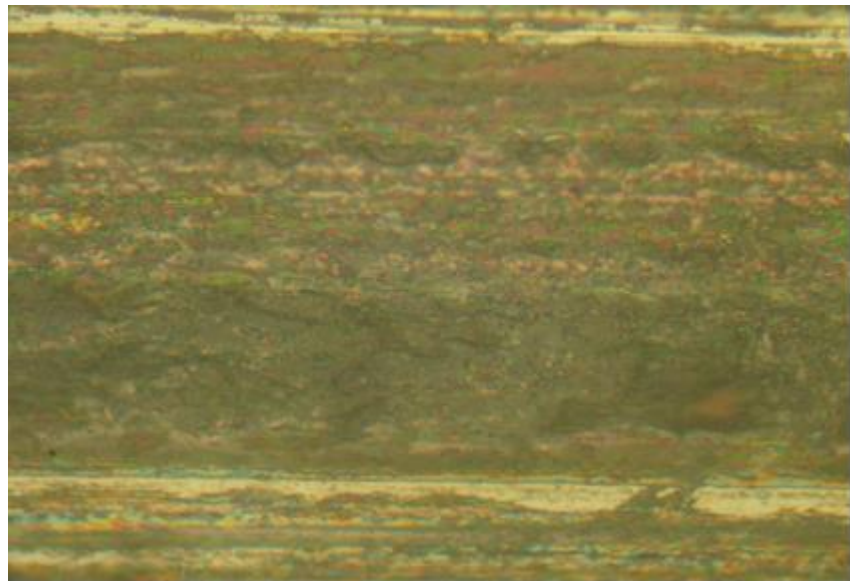
Примітка: чисельник – композиція модифікована КО-08К, знаменник – композиція модифікована ТКОС.

Слід зазначити, що коефіцієнт тертя базальтопластики зменшується зі збільшенням швидкості ковзання і становить 0,25...0,40. Зі швидкістю ковзання

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 м/с має найменший коефіцієнт тертя і характеризується стабільністю на всьому шляху тертя. Крім того, в процесі тертя на поверхні протилежного тіла з'являється темно самоорганізована плівка переносу, яка стабілізує процес фрикційної взаємодії (рис. 2.5, а). За своєю структурою це самостійна група, зв'язана між собою в стійкі групи з чітким напрямком у напрямку третини. Найбільш вірогідно він утворюється за рахунок таких факторів: дифузії ДГ в поверхню металу і прояв УФ-функції граничного мастила, що значно стабілізує процес тертя за рахунок фрикційних властивостей; пластик, який уповнює процес термічної деструкції при високих температурах.

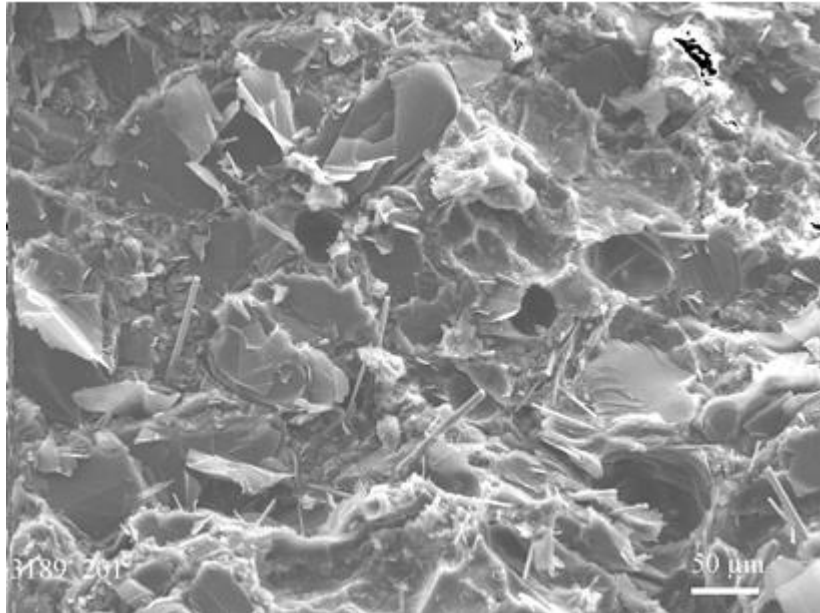
Спостереження за мікроструктурою базальтопластику на електронному мікроскопі (рис. 2.5, б) показує, що компоненти наявні в епоксидній матриці хаотично під швидкими кутами. Це забезпечує однорідність системи, ізотропність властивостей і здатність про надійність формування обраної технології.



а

Рисунок 2.5, лист 1 – Макротопографія поверхні фрикційного контакту (а)

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



б

Рисунок 2.5, лист 2:
фрактограма зламу (б) базальтопластів

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Характеристика процесу формування епоксидних композиційних матеріалів

Технологічний процес виготовлення виробів на полімерній основі з використанням багатофункціональних наповнювачів базується на наступних основних операціях [18]:

- відбір і підготовка сировини (зв'язуючі, модифікатори, наповнювачі);
- приготування формувальних сумішей (дозування, змішування);
- формовані вироби (пресовані, літі під тиском тощо);
- технічне обслуговування та механічна обробка.

Приготування формувальної маси відбувається в підборі деяких матеріалів і виконується над ними наступних операцій:

- відсів наповнювачів;
- сушка наповнювачів;
- видалити забруднення;
- вакуумна обробка клеїв або їх технічна обробка;
- зменшити в'язкість клею (шляхом легкого підігріву тощо).

Процес приготування композиту починається з вимірювання маси або об'єму складових частин (інгредієнтів) за розробленою або обраною рецептурою.

Процес приготування композиту починається із дозування складових частин (компонентів) за масою або об'ємом згідно із розробленою або вибраною рецептурою. Більш раціонально, наприклад, волокнисті та порошкові наповнювачі дозувати ваговим методом, а в'язуче, модифікатори, пластифікатори, твердники, що є переважно рідинами, – дозувати за об'ємом, застосовуючи скляний посуд та інше обладнання.

Неправильне дозування, тобто введення в полімерний композит надлишку наповнювачів і пластифікаторів, призводить до погіршення фізико-механічних, реологічних та термічних властивостей, а надлишок в'язучого – до погіршення

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк. 37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатаційних властивостей композитів. Змішування формувальної маси – це операція, від якої залежить конструкційна міцність матеріалу.

Неправильне дозування, тобто введення в полімерні композити надлишку наповнювачів і пластифікаторів, може призвести до зниження фізико-механічних, реологічних і термічних властивостей, а надлишок сполучного може призвести до погіршення експлуатаційних властивостей композиту. Робота змішаних формовочних мас залежить від структурної міцності матеріалу.

Однорідність системи є важливим показником, від якого залежить її якість. На нього істотно впливають такі фактори:

- властивості вибраних компонентів, зокрема гранулометричний склад наповнювачів та їх форма;
- відсотковий вміст компонентів, зокрема, ускладнює високонаповнені системи, які рівномірно та повністю змочуються сполучною речовиною, останній полімер діє як граничне мастило;
- тип використовуваного змішувача (обертний змішувач, центрифуга, ультразвукова та інша обробка силовим полем).

Наступний етап – завантаження формувального матеріалу у форму. Оскільки на якість матеріалу забезпечується рівномірність розподілу формованого матеріалу, на цьому етапі використання обладнання, вибростоли та ін., для ручного або машинного вирівнювання матеріалу в прес-формі. При цьому при формуванні підзалівних композицій необхідно отримати таке явище, як осідання (осідання частинок з великою і різною питомою вагою), тиксотропія (здатність клею рівномірно розподілятися по поверхні).

Після формування матеріал піддається термічній обробці, враховуючи, що під впливом температури компоненти повинні знати об'ємне розширення, що призводить до самотиснення (еластичний ефект), зміни форми та розміру тощо. Тому на цьому етапі для їх фіксації можна використовувати спеціальні форми або обмежувачі.

Після термічної обробки при необхідності готового виробу надають механічну або декоративну обробку та маркують.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологія термічної обробки ЕСМ є числом кроків для підвищення його продуктивності та має значний вплив на такі властивості, як міцність, термостійкість, зносостійкість і стійкість до корозії. Основні фактори, що впливають на ці характеристики:

- швидкість нагрівання композиції у процесі формування;
- час витримки при температурі нагріву;
- температура нагріву.

Швидкість нагрівання регулює характеристики процесу структуроутворення на первинних стадіях зшивання полімерної сітки, рівномірність розташування компонентів у системі, характер і величину напруження, що впливає під час зшивання. процес. процес формування. Найбільш прийнятною швидкістю нагрівання базальтового пломбувального матеріалу при дослідженні була 10 °С/хв. Максимальна полімеризація залежить від наступних факторів:

- природа використовуваних полімерних компонентів (на 5...15% нижче температури термодеструкції). Ви також повинні виконувати функцію затверджувача: низька чи висока температура. Проте використання низькотемпературних затверджувачів демонструє його властивості, але не обмежує його можливості, як показали експериментальні дослідження: при підвищенні температури полімеризація в структурній ситці клею посилюється додаткове зшивання, а частка гелю зменшується з 10...15 до 2...8 % (фракція);

- технологія виробництва (наприклад, полімеризація у відкритому чи закритому просторі, чи можлива подальша механічна обробка, допустимі рівні залишкових внутрішніх напружень тощо);

- тип і природа композитного матеріалу (з низьким або високим наповненням, пористість або мінімальний об'єм пор); Характеристики з'єднання та сумісності системи полімер-наповнювач. Час впливу температури полімеризації залежить від наступних основних факторів:

- товщина і геометрія заготовки та характеристики її розвитку поверхні;

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- температура нагріву (з підвищенням температури нагріву в основному зменшується час витримки);
- майбутні умови експлуатації заготовки (зі збільшенням умов жорсткості здебільшого також збільшується час витримки);
- співвідношення енерговитрат і приросту функціональних показників.

Найбільш істотний вплив на довговічність і міцність базальтонаповнених полімерних композитів мають умови охолодження. Оптимальна швидкість охолодження дозволяє знайти найкраще співвідношення між величиною залишкових напруг і когезійною міцністю матеріалу, яка залежить, перш за все, від типу хімічних зв'язків, що містяться в композиції, структурних дефектів, пористості і домішок.

У переважній перспективі зустріч для епоксидних композитів, сформованих ліварним способом, це охолодження на нерухомому повітрі, а для високо- та середньонаповнених пресованих композитів найбільш характерне охолодження в печі.

Умови охолодження в основному залежать від таких факторів:

- характер обраних в'язучих і наповнювачів;
- характеристики сумісності (термодинамічні, кінетичні, механічні) компонентів (чим гірша сумісність, тим м'який стан);
- режими нагріву (полімеризації) та витримки (чим жорсткіший попередній режим, тим м'якший режим охолодження потрібен для зменшення напруги, наявної на попередній фазі обслуговування).

Водночас слід зазначити, що такий підхід забезпечує формування композиційних структур з низьким, середнім або високим рівнем наповнення. Це дає можливість апробувати технологію виготовлення базальтонаповнених композитів, особливо у випадку максимального наповнення компаундами, коли в'язуче знаходиться в стані тонкого прикордонного шару, та адаптувати її до технології виготовлення базальтовинних композитів.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Вдосконалення технологічного процесу виготовлення базальтопластів

За базовий технологічний процес в даному проекті вибрано технологію виготовлення базальтових композиційних матеріалів.

Цей проект вибирає технологію виробництва базальтового композитного матеріалу в якості основного технологічного процесу. Як правило, для виробництва використовується базальт, але якщо необхідно змінити фізичні властивості виготовлених волокон, додайте інші (допоміжні) матеріали. Хімічний склад вибраних матеріалів наведено в таблиці 3.1. Розміри деталей: Базальт: 30...60 мм; Вапно: 15...30 мм; Доломіт: 30...60 мм.

Базальт – це велика порода магнію ($\text{SiO}_2 < 52\%$) незрозумілого кольору, який може досягати чорного, іноді набуваючи коричневих і червоних відтінків у розплавлених частинах. Під час виверження вулканів він окислюється.

Використовують базальт розміром 30...60 мм, щільністю

Близько до $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$. У базальтовій структурі не повинно бути пор, що містить цеоліти або карбонати. Багато властивостей базальту притаманні іншим уламкам гірських порід і залишкам глибинних порід, які утворили базальт шляхом диференціального плавлення. Важливо, щоб базальтова порода була непористою, щоб уникнути втрати компенсації в лотковій печі; якщо базальт пористий і плаває в лаві, якість готового продукту втратиться. Температура плавлення базальту становить від $1250 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1450 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад вибраних компонентів

Хімічний склад	Базальт, %	Вапно, %	Доломіт, %
SiO_2	42...48	1...3	–
Al_2O_3	14...16	1...3	–
Fe_2O_3	6...8	–	–
Ca	8...12	50...56	28...33
Co2	–	39...44	46...50
MgO	6...10	–	20...24
Na_2O	3...4	–	–
K_2O	1...2	–	–

Процес виготовлення базальтопластику складається з наступних етапів.

Етап 1. Помістіть базальт у бункер, помістіть допоміжні матеріали в бункер і перемішайте матеріали.

Базальт і супутні матеріали укладаються в межах асфальтового майданчика заводу. Це важливо, тому що сировина повинна бути максимально чистою і без пилу або бруду, ці речовини можуть негативно впливати на якість волокна.

Базальт видаляється механічним ковшем і переміщується у власний бункер, а додаткові матеріали також вивозяться в один із трьох бункерів для конкретного матеріалу. Стрічка конвеєра забезпечує зв'язок з бункером суміші. Ємність базальтового бункера і бункерної суміші становить 5 кубічних метрів, що еквівалентно 8500 кілограмів, а час виробництва з використанням тільки базальту становить приблизно 8 годин. Тривалість виробництва при роботі з базальтом і сумішевими матеріалами багато в чому залежить від допоміжних матеріалів, які використовують у процесі виробництва.

Ємність трьох бункерів становить допоміжного матеріалу приблизно 3,5 куб. Дозування допоміжних матеріалів виробляється шляхом регулювання їх подачі шнеками.

Для базису розміри повинні становити 30...60 мм, для вапна – 15...30 мм, а для інших матеріалів розміри виготовляються індивідуально.

Етап 2. Завантаження сервісного відсіку. Оператор печі керує цим, активуючи циліндр у вхідній частині розвантажувальної горловини бункера. Базальт або змішані матеріали потрапляють в контейнер, і коли контейнер заповнений, оператор закриває отвір контейнера та запускає елеватор, який збільшується до обслуговування бункера, випускаючи матеріал. Після закінчення дії контейнер автоматично відпускається і готовий до нового циклу. Ємність сервісного відсіку 4м. При цьому важливо не залишати бункер без матеріалів.

Етап 3. Подача сировини в піч.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У задній частині печі ми маємо систему подачі базальту та змішаного матеріалу. Базальт і суміш робляться в піч самопливом і виштовхуються через два живильники.

Живильник базальту: пристрій подачі сили штовхає приблизно 8 дм³ (10 кг) базальту в піч за цикл відповідно до удару;

При кожному обертанні живильник допоміжних матеріалів штовхає приблизно 6 дм³ допоміжних матеріалів у піч.

При плавленні базальту і суміші в печі утворюється газ, який всмоктується відцентровим вентилятором (потужність 18,5 кВт, продуктивність – 10,8 м³/год) і направляється в розливну вежу.

Етап 4. Плавлення матеріалу.

Матеріал плавиться.

Для нагрівання матеріалу до температури плавлення потрібні дві газові пальники. Пальник отримує повітря для горіння через вентилятор (потужність 30 кВт, продуктивність – 5328 м³/год).

Полум'я направляється по потік у напрямку руху матеріалу. Полум'я викидається через три вихідні отвори: перший вихід слідує за потоком лави до пластини центрифуги; другий випуск розташований у верхній частині топки, третій вихід розташований у передній частині корпусу печі.

Об'єм камери згоряння печі становить 6194 для виробництва 700 кг ворсу на рік необхідно 2000000 ккал/год.

Коли лава досягає рівня розвантаження блоку, вона падає в черевик. Далі починається процес перетворення лави в волокна.

Зовні піч обшита сталлю. Зовнішня стінка топки виконана з вогнетривкої цегли. Внутрішня стінка топки виконана з електроплавкового матеріалу. Дно печі виготовлено з вогнетривкої цегли, а стінки лавового резервуару – з електроплавленого матеріалу. Канали, по яких плаває лава, також виготовлені з електроплавленого матеріалу. На кінці каналу є сталева горловина з сорочкою охолодження, яка об'єднана з трубою для води з бака. Піч має 6 зон охолодження:

– накидки навколо з'єднані, де стікає базальт;

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- накидка навколо роз'єму, через який подається допоміжний матеріал;
- циліндр для розблокування запобіжника;
- потік потоку розплаву;
- область навколо роз'єму, де перетинаються запобіжники;
- верхня частина надувного пристрою.

Вода скидається з резервуара самопливом у спеціальні конвеєри для кожного пристрою, який потрібно охолодити. Після охолодження вода пропускається в каналізаційний резервуар, звідки подається в підпільні резервуари для води, встановлені зовнішні будівлі. Насос знову подає воду з цього резервуара в основний резервуар.

Етап 5. Виробництво волокна

Розплав витікає з горловини і направляється на диск центрифуги. Центрифуга ковзає по напрямках, що дозволяє правильно розташувати її біля вентилятора. Вентилятор виконаний з металевої частини, а всередині неї розташований центрифужний диск. Верхня частина центрифуги охолоджується водою, схема контуру подібна до схеми різних частин печі. Коли лава торкається диска, гарячі краплі, що відчуваються, зустрічаються з повітряними потоками, протягуючи їх і перетворюючи на волокна.

Диск має виріз, через який транспортується повітря від вентилятора (потужність 55 кВт, продуктивність 6,0 м³/год) [18].

Параметри швидкості обертання дисків центрифуги представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри швидкості обертання дисків центрифуги:

Диск №	Діаметр дисків, мм	Максимальні оберти	Максимальна швидкість, м/с
1	360	4.900	92,36
2	360	5.200	104,46

При максимальній швидкості діаметр волокна повинен бути від 6 до 10 мм.

Швидкість обертання дисків регулюється шляхом використання трьох частот варіаторів (для кожного диска), щоб отримувати відмінний тип волокна, залежно від сировини, яка використовується. Диски виготовлені із сталі наступного хімічного складу: С – 0,08%; Si – 1,3%; Mn – 1,2%; Сг – 25,3%; Ni – 20%.

Навколо диска розміщується розпилювач, через який подається полімерна суміш, у міру проходження крізь цю ділянку сформоване волокно пропускається в хмару розпиленого полімеру. Полімерна емульсія подається з накопичувальної ємності в розпилювач центрифуги за допомогою насоса.

У процесі плавлення волокна певна кількість матеріалів не перетворюється на волокно і пропускається в канал утилізації відходів. Пристрій для очищення відходів виявляється собою канал із зануреними у воду лопатями, які переміщуються ланцюгами.

Виготовлені волокна, проходять через приймальну камеру та охолоджуються за допомогою двох потужних вентиляторів (потужність 90 кВт кожний, продуктивність 35,0 м³/год), в якій створюють вакуум під дротяною сіткою на якій воно розташовано. Вентилятор встановлений за панельним фільтром; цей фільтр виконує функцію збереження волокон, оскільки вентилятор подає повітря в градильню.

Пристрій для розподілу волокна має різні повітряні затвори по ширині стрічки з потоками повітря. Збільшуючи або зменшуючи відхід відповідного повітряного шлюзу в певному просторі камери, всмоктування в цьому конкретному секторі збільшується або зменшується. Сектори поділені в шаховому порядку, щоб варіювати розподіл волокон по ширині камери.

Конвеєрна стрічка приймального приміщення може переміщуватися електричним редуктором, керованим частотним перетворювачем.

На виході з приймальних мобільних каналів можна передавати обіг панелей або матраців. Рух рухомої смуги забезпечується коробкою передач.

Є три основних позиційних переміщення:

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- оптоволокну передається в приймальну кімнату через пристрій двигуна, встановленого з правого боку приймальної кімнати до рухомого каналу;
- виріб доставляється до зони швейної лінії через передачу Motto, встановлену під швейною машиною;
- лінія передачі до кінця камери полімеризації через перетворювач пристрою, встановленого з лівого боку пристрою полімеризації.

Крім цього, базальтова пластмаса може бути полімеризована для отримання багатьох функціональних виробів. Згідно технологічного процесу після полімеризації базальтопласту передбачено виготовлення різнофункціональної продукції.

Технологічний процес виготовлення базальтопластів представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технологічний процес виготовлення базальтопластів

Номер операції	Назва операції	Структура операції	Обладнання, матеріали
1	2	3	4
005	Заготівельна	1. Промити базальт. 2. Подрібнити базальт до фракції 30...60 мм; вапно – 15...30 мм; доломіт – 30...60 мм 3. Завантажити наповнювачі в окремі бункера. 4. Змішати епоксидно-діанову смолу почергово з пластифікатором і твердником.	Технічна вода Кульовий млин Ваги, ГОСТ 19491-74 Змішувач роторного типу
010	Транспортна	1. Дозувати наповнювачі у регламентованій пропорції. 2. Транспорувати суміш до плавильної печі.	Шнековий транспортер

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
015	Плавильна	1. Нагріти піч до 1350 ± 10 °С. 2. Завантажити суміш і плавити до отримання гомогенного розплаву. 3. Подати розплав до струменевого живильника.	Піч плавильна
020	Формувальна	1. Подати розплав до фільтрального живильника. 2. Подати полімерну суміш в зону розпилення. 3. Змішати інгредієнти.	400-фільтрний живильник
025	Сушильна	1. Подати композицію до системи валків для первинного ущільнення 2. Нагріти камеру до 180 ± 10 °С. 3. Полімеризувати композицію в процесі переміщення рулону	Камера сушильна
030	Різальна	1. Розрізати панелі до розміру $50-100 \times 1000 \times 500 \pm 0,5$ мм. 2. Проконтролювати розміри.	Гільйотинна дискова пила. Штангенциркуль
035	Контрольна	1. Перевірити вироби на відповідність розмірам згідно креслення та на відсутність дефектів.	Штангенциркуль, лупа
040	Пакування	1. Упакувати вироби в секції.	Плівка клейова, плівка поліетиленова
045	Маркування	1. Нанести відповідне клеймо.	Фарба, трафарет
050	Транспортна	1. Транспортувати секції на склад.	Електрокар, вагонетка

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

3.3. Нормування та особливості регулювання технологічного процесу

Утримання розплаву породи, придатного для переробки на волокна, вимагає трьох основних етапів: плавлення (віттрифікації), дегазації та гомогенізації та охолодження. Процес плавлення гірських порід слід розглядати як перетворення неоднорідної системи, що містить кілька фізично однорідних, але різних об'єктів (кристалів, скла). Тому плавлення відбувається в інтервалі температур, де встановлюється рівновага між твердою і слабкою фазами. При цьому газоподібні речовини випаровуються і основні хімічні реакції завершуються процесом утворення магмі. В результаті отримання тепла складові мінерали плавляться і рідку фазу. Водночас під час нагрівання породи залізо пізнає бурхливе окислення: Fe^{2+} перетворюється на Fe^{3+} . При нагріванні породи Fe^{2+} окислюється до Fe^{3+} , що позитивно позначається не тільки на технічних властивостях розплаву, а й при взаємодії базальтового розплаву з платинородієвим сплавом, з якого виготовлений стояк.

Тому стадію склоутворення слід розглядати як результат плавлення. Процес відбувається в інтервалі температур 1200...1500 °С і закінчується при 1350...1450 °С.

Дегація і гомогенізація включають видалення газових включень і неоднорідності розплаву шляхом оптимізації температурного режиму (особливо підвищення температури).

Процес охолодження характеризується зниженням температури розплаву, що надходить на обробку волокна, до 100...120 °С для отримання необхідної робочої в'язкості.

Процес отримання розплаву починається із завантаження сировини в піч.

Подрібнений гравій піддається магнітній сепарації для виділення випадкових металевих включень. Відокремлений базальт подається в бункер механічного завантажувача, а сировина – в піч. Датчик рівня розплаву, встановлений у зарядному пристрої печі, контролює швидкість відкриття завантажувача для підтримки необхідного рівня.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При проектуванні печі для плавлення породи необхідно отримати такі властивості розплаву: високу кристалічну здатність, дуже низьку поглинальну здатність через високий вміст оксиду заліза та низьку в'язкість. Тому досягаються великі градієнти температури і в'язкості по глибині розплаву (при зниженні температури від 1400°C до 1250°C в'язкість зростає в 5...8 разів) [20-22].

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. За допомогою літератури проаналізовано відомі технології формування базальтових композиційних матеріалів. Продемонстровано зручність використання епоксидних силіконових клеїв у дипломному проекті з базальтопластику.

2. Вивчено фізико-механічні властивості та характеристики використання епоксидних композитів з базальтового тонкого волокна та ультратонкого волокна. Показано зручність з'єднання цих компонентів, оскільки це дозволяє отримувати композити з достатньою міцністю та високими теплофізичними і триботехнічними властивостями. Це зумовлена наявністю позитивних взаємодій на межі розділу полімер-волокно, а також правильно підібраними техніками формування високонаповнених систем.

3. Проаналізовано, як на характеристики базальтопластику впливає спосіб формування виробу. Експериментально визначено та підібрано оптимальні температурно-часові параметри обробки полімерних композитів.

4. Пояснено типи дефектів, які можуть виникнути при виробництві базальтопластику, та пропонується ідеальний процес виробництва.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Полімерні композиційні матеріали в ракетнокосмічній техніці: Підручник / Джур Є.О., Кучма Л.Д., Манько Т.А., Ситало В.І. – К.: “ Вища освіта ”, 2003. – 399 с.
2. Демченко В.Л., Віленський В.О. Вплив постійних електричного і магнітного полів на структуру і термомеханічні властивості композитів на основі епоксидного полімеру і оксиду Fe(III) або Al(III).
3. Copson D. A. Microwave heating.— Avi, Westport, CT, 1975.
4. Jassie L. B., Kingston H. M. Microwave dissolution in closed vessels under elevated temperature and pressure.— Pittsburgh, 1985, Paper № 108A.
5. В.Попович, А.Кондир, Е. Плешаков та ін. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Практикум: Навч. посібник. – Львів: Світ, 2009. – 552 с.
6. Chandrabhan Verma, Lukman O. Olasunkanmi, Ekemini D. Akpan, M.A. Quraishi, O. Dagdag, M. El Gouri, El-Sayed M. Sherif & Eno E. Ebenso 2020, Epoxy resins as anticorrosive polymeric materials: A review, Reactive and Functional Polymers, vol. 156, 104741.
7. Yan Hao, Xiying Zhou, Jiajia Shao, Yukun Zhu. 2019, The influence of multiple fillers on friction and wear behavior of epoxy composite coatings, Surface and Coatings Technology, vol. 362, p. 213–219.
8. Balázs Jakab, Ileana Panaitescu & Norbert Gamsjäger 2021, The action of fillers in the enhancement of the tribological performance of epoxy composite coatings, Polymer Testing, vol. 100, 107243.
9. Стухляк П.Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П.Д.Стухляк, А.В.Букетов, І.Г.Добротвор. – Тернопіль, Збруч, 2008. – 210с.
10. Савчук П.П., Кашицький В.П. Технологічні основи формування термостійких епоксикомпозитних покриттів триботехнічного призначення //

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Матеріали 24-ї міжнародної конференції і виставки. – Київ: УІЦ “Наука. Техніка. Технологія”. – 2004. – С. 202.

11. Сергєєв В.П. Базальтові волокнисті матеріали та композити на їх основі матеріали ХХІ століття // Наука та інновації. – 2005. – № 6. – С. 91-101.

12. Wang, Y., & Li, X. (2017). "Recent Advances in Polymer-Based Thermal Insulation Materials." *Polymer Composites*, 28(2), 155-167.

13. Баштанник П.И., Овчаренко В.Г. Базальтопластик на основе полипропилена - перспективный антифрикционный материал // Волокнистые материалы из базальтов Украины. – Киев: Техніка. – 1995. – С. 164-167.

14. Колупаев Б.С. Физико-химия полимеров. – Львів: Вища школа, 1980. – 154 с.

15. Анохін В.В. Хімія і фізико-хімія полімерів. - К.:Вища школа, 1971. – 372 с.

16. Савчук П.П. Розробка композиційних антифрикційних матеріалів на основі епоксидних смол, неорганічних наповнювачів для динамічно навантажених вузлів тертя: Автореф. дис. к-та техн. наук: 05.02.01 – Тернопіль: ТДПУ, 1999. – 18 с.

17. Smith, J., & Jones, A. (2022). "Development of Polymer-Based Thermal Insulation Composite Materials." *Journal of Polymer Science*, 45(2), 123-135.

18. Brown, K., et al. (2020). "Polymer Nanocomposites for Thermal Insulation Applications." *Polymer Engineering and Science*, 30(4), 567-578.

19. Garcia, M., & Martinez, L. (2018). "Enhancing Thermal Insulation Properties of Polymers with Nanofillers." *Journal of Composite Materials*, 25(3), 201-215.

20. Patel, R., et al. (2019). "Polymer-Based Composite Materials for Thermal Barrier Coatings." *Journal of Materials Science*, 35(1), 89-102.

21. Wang, Y., & Li, X. (2017). "Recent Advances in Polymer-Based Thermal Insulation Materials." *Polymer Composites*, 28(2), 155-167.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Джигирис Д.Д., Махова М.Ф., Кондратьева В.Г., Медведский А.А.
Базальтопластик новый конструкционный материал // Будівельні матеріали і
конструкції. – 1973. – №6. – С. 4-5.

					MP 0924.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		