

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»

ВПЛИВ ДІЇ СТУПІНЧАСТОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ
НА ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ
ЕПОКСИПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ / INFLUENCE
OF STEPPED HEAT TREATMENT ON EPOXY
POLYMER COATING FORMATION PROCESSES

спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Матеріалознавство»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПММ-21

Степанюк Ілля Юрійович

_____ (підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Боярська Інна Володимирівна

_____ (підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«04» грудня 2024р.

к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:

Мельничук Микола Дмитрович

_____ (підпис)

Луцьк – 2024 року

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

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Степанюк Тіма Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вплив дії ступінчастої термічної обробки на процеси оформлювання епоксиламінерного покриття

керівник роботи к.т.н. доц. Баєрська Ніла Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "23" 10 2024 року № 404/02

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

3. Вихідні дані до роботи смак і властивості матеріалу, методи досліджень

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ. Літературний огляд.

Методика дослідження характеристик вихідних матеріалів. Дослідження впливу ступінчастої термічної обробки на структуру та властивості епоксиламінерних покриттів. Технічний режим оформлювання епоксиламінерів. Висновки. Використана література.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. ф. А4

1. Мета роботи
2. Властивості матеріалів та методи досліджень
3. Загальні висновки зразків
4. Режим термічної обробки
5. Процес ступінчастої ТО
6. Дослідження внутрішніх напружень
7. Дослідження ступеня ефективного
8. Дослідження впливу напружень на різні режими
9. Дослідження впливу чинників різких режимів
10. Дослідження твердості. На технологічний процес.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Методичний кабінет	Матеріальна відповідальність Мельников 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.	Літературний огляд.	15.10.2024	Виконано
2.	Транслювання та виконання експерименту.	05.11.2024	Виконано
3.	Результати експерименту та написання урочесного технологічного процесу.	26.11.2024	Виконано

Здобувач вищої освіти

Керівник кваліфікаційної роботи

Степанюк У. А.
(прізвище та ініціали)

Тюхурська У. Ф.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Степанюк І.Ю. Вплив дії ступінчастої термічної обробки на процеси формування епоксиполімерного покриття. 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, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

Пояснювальна записка складається з 42 сторінок і містить такі розділи: літературний огляд, методика досліджень та характеристика вихідних матеріалів, дослідження впливу ступінчастої термічної обробки на структуру та властивості епоксиполімерних матеріалів, технологічні режими формування поксиполімерів.

Також пояснювальна записка містить 4 таблиці, 11 рисунків, 18 літературних джерела та додаток.

Графічна частина складається з 11 аркушів формату А4, які розміщені в додатку до А.

Ключові слова: епоксиполімер, структурування, внутрішні напруження, ступінчаста термічна обробка.

MP 0424.00.00.000 ПЗ

п.п.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
зробив		Степанюк		04.12
перевірив		Боярська		04.12
контр.		Мисковець		04.12
верд.		Мельничук		04.12

Вплив дії ступінчастої термічної обробки на процеси формування епоксиполімерного покриття полімерній основі

Літ.	Арк.	Аркушів
	3	42
ЛНТУ каф. матеріалознавства, гр. ПМм - 21		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	6
1.1. Поняття про епоксидні полімери.....	6
1.2. Отримання матеріалів на основі епоксидних полімерів.....	9
1.3. Висновки та постановка задач досліджень.....	12
2 МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	13
2.1. Характеристика вибраних матеріалів.....	13
2.2. Методика дослідження властивостей і структури розробленої епоксидної системи	14
2.3. Методи формування епоксиолімерів	17
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТУПІНЧАСТОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНИХ ПОЛІМЕРІВ.....	18
3.1. Дослідження фізико-механічних властивостей	18
4 ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕЖИМИ ФОРМУВАННЯ ЕПОКСИПОЛІМЕРІВ.....	31
4.1. Особливості технології формування епоксиолімерних покриттів	31
4.2. Технологічний процес формування захисних епоксиолімерних покриттів.....	37
ВИСНОВКИ	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41
ДОДАТКИ	

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Правильна схема твердіння епоксидних полімерів забезпечує матеріал з оптимальними фізико-механічними властивостями. Технічно обґрунтовані термічні впливи під час процесу або після формування продукту можуть призводити до підвищення сили процесу релаксації за рахунок зміни ступеня зшивання матеріалу, що супроводжується поліпшенням механічних властивостей полімеру.

Полімерна матриця має оптимальні структурно-механічні властивості при формуванні в режимі прогресивного зміцнення. Епоксидний полімер, отриманий схожим методом, має розвинену тривимірну сітчасту структуру і тому має підвищену стійкість до термоокислення, термостійкість і ударну в'язкість. Поступове або повільне охолодження затверділих полімерів дозволяє істотно знизити залишкові напруги за рахунок релаксації напруг і перебудови надмолекулярної структури. Зі збільшенням швидкості охолодження зростають і залишкові напруги, оскільки пригнічуються релаксаційні процеси, пов'язані з перерозподілом напруг.

Тому поліпшити властивості вихідного епоксидного полімеру можна за допомогою ступінчастої температурно-часової схеми систематичної термічної обробки.

Метою даної роботи є отримання нових захисних покриттів на основі епоксидних матеріалів з високими фізико-механічними властивостями.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Поняття про епоксидні полімери

Оскільки умови експлуатації стають дедалі складнішими та складнішими, до характеристик композиційних матеріалів висуваються надзвичайно різноманітні вимоги. У більшості випадків матеріал повинен забезпечувати такі властивості: високу міцність, жорсткість, корозійну стійкість, зносостійкість, фрикційні властивості, низьку питому вагу, довговічність, термостійкість, теплопровідність, декоративний вигляд тощо. Використовуючи традиційні матеріали, важко повністю задовольнити перераховані вище вимоги. Ви можете отримати композицію з потрібними властивостями, поєднавши найкращі характеристики різних компонентів в єдиний компонент (тобто створивши композитний компонент).

Синтетичні сполуки, що містять кілька епоксидних груп у молекулі, називаються епоксидними смолами. Епокси відноситься до групи, що складається з двох атомів вуглецю та одного атома кисню, хоча органічні сполуки часто зустрічаються замість вуглецю. Епоксидна група може бути розташована на кінці ланцюга, в середині ланцюга або в середині кільця. Тому лінійні поліоли з епоксидними групами на кінці молекули можна назвати епоксидними смолами. Різні ділянки молекул смоли легко взаємодіють із сполуками, які містять молекули активного водню. У той же час молекули олігомерів зшиваються і утворюють мережеву просторову структуру. Затвердіння молекул і переведення смоли в термореактивний стан здійснюється за допомогою затверджувачів. Епоксидіоксанова смола твердне як при нагріванні, так і при кімнатній температурі. Щоб не тверднути при нагріванні, кількість лінійного або розгалуженого аліфатичного поліаміну (поліетиленполіаміну, діетилентріаміну) становить 7...25% мас. годин на 100 вагових годин олігомеру при кімнатній температурі, після затвердіння 24...36 годин. Ароматичні діаміни тверднуть

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

епоксидні смоли при температурах 80...150 °С. Вони забезпечують більш високу теплопровідність. На додаток до здатності до зміцнення, епоксидні смоли можна змішувати з певними смолами та модифікувати ними. У результаті виходять нові продукти зі специфічними властивостями.

Для високоякісного створення композицій на основі епоксидної смоли необхідно розуміти молекулярну структуру смоли, а також фізичні та хімічні властивості смоли. В'язкість і епоксидна еквівалентна маса є важливими властивостями смол. Такі властивості, як температура розм'якшення, гідроксильна еквівалентна маса, йодне число, молекулярна маса та розподіл молекулярної маси, колір, щільність, показник заломлення, вміст хлору, а також специфічні властивості, такі як запах і час піногасіння у високому вакуумі, є другорядними.

Ефективність затверділої епоксидіоксанової смоли залежить від характеристик її сітчастої структури, які визначаються молекулярною масою олігомеру (M_c) і властивостями затверджувача. Значення M_c затверділої епоксидної бінарної смоли може бути 400...2000. З підвищенням M_c підвищується ударна в'язкість і деформаційні характеристики. Швидкість релаксації збільшується, а термостійкість зменшується. Залежно від молекулярної маси епоксидні смоли бувають рідкими і твердими. Зі збільшенням M_c в'язкість епоксидної смоли зростає, а реакційна здатність знижується, тому смоли з молекулярною масою понад 900 зазвичай твердіють при високих температурах.

Порівняно з іншими смолами епоксидна смола має багато переваг і широко використовується в різних галузях народного господарства і в побуті.

Зокрема, композиції на основі епоксидних смол мають достатню сипучість на етапі обробки, що є важливою умовою для рівномірного та швидкого заповнення опалубки, щілин, тріщин, отворів і капілярів. При вільному заливці складу можна отримати будь-яку конфігурацію. Рідка епоксидна смола поєднується з рідким затверджувачем для утворення системи, яку легко модифікувати та вводити наповнювачі.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі твердіння епоксидна композиція має незначну усадку, що знижує внутрішні напруги та забезпечує герметичність виробу. Вони з надзвичайно високою точністю відтворюють форму виробу і не потребують подальшої механічної обробки поверхні. Це скорочує час виготовлення та зменшує трудомісткість роботи.

Епоксидна смола має високі механічні властивості. Міцність правильно підбраного складу перевершує всі інші ливарні смоли. Висока міцність є результатом низької усадки, що призводить до невеликого збільшення внутрішніх напруг, які в іншому випадку різко знизили б межу міцності. Епоксидні смоли характеризуються високими електроізоляційними властивостями. Вони є чудовими діелектриками.

Хімічна стійкість смоли може відрізнятись залежно від затверджувача. Загалом, однак, затверділі епоксидні смоли мають відмінну стійкість до лугів і задовільну кислотостійкість.

Перераховані вище властивості можна легко регулювати шляхом вибору затверджувача і введенням модифікаторів і наповнювачів, що забезпечує універсальність епоксидного складу.

Найбільш характерні сфери застосування епоксидної смоли:

- як сполучна речовина у виробництві стільникових структурних компонентів у літакобудуванні, у виробництві кистей і бетонних покриттів;
- для склеювання окремих деталей і як герметик при ремонті пластикових і металевих човнів, автомобілів і т.д.;
- як ливарна суміш для виготовлення дрібносерійних і експериментальних виливків, відбитків, шаблонів та інструментів;
- як герметизуючий матеріал при будівництві будинків і доріг, а також там, де потрібна висока хімічна стійкість;
- як заливна та ущільнювальна суміш, а також для просочення в електротехнічній та електронній промисловості;

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

– як шаруватий пластик, використовується при виготовленні фюзеляжів літаків і літаків.

Епоксидні смоли використовуються як добавки у виробництві багатьох інших пластиків, таких як вінілові та акрилові смоли, натуральні та синтетичні каучуки.

Покриття з епоксидних смол застосовуються захисно-декоративні: для оздоблення кораблів і цегляної кладки, покриття на сталь, покриття танків, літаків, ґрунтових покриттів, інструментальної та автомобільної промисловості, облицювання банок, оздоблення меблів і як фарбувальна конструкція труб.

Епоксидні олігомери також використовуються в декоративних покриттях, виробництві друкарської фарби, реставрації зубів і реставраційної промисловості, хірургії, нафтопереробній промисловості, а також у виробництві пінопластів [1, 2].

1.2. Отримання матеріалів на основі епоксидних полімерів

При створенні композиційних матеріалів виникає багато складних завдань, які необхідно вирішити, пов'язаних з підбором видів наповнювача, ступеня наповнення та дисперсності, режиму полімеризації наповнювальної композиції тощо.

Технологічний процес виробництва полімерної продукції з використанням багатофункціональних інгредієнтів базується на наступних операціях:

- 1) сировина (зв'язуючі, модифікатори, наповнювач);
- 2) приготування формувальної суміші (дозування, змішування);
- 3) формовані вироби (пресування, ливарні форми, лиття під тиском тощо);
- 4) термообробка і механічна обробка, що здійснюються на певних стадіях.

Технологія термічної обробки епоксидних полімерів є важливим кроком для покращення їх експлуатаційних характеристик, що суттєво впливає на такі

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

властивості, як міцність, термостійкість, зносостійкість і стійкість до корозії.

Основні фактори, що впливають на ці характеристики:

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

Швидкість нагрівання регулює характеристики процесу структуроутворення на первинній стадії зшивання полімерної сітки, рівномірність розташування компонентів у системі, характер і величину напружень у процесі формування. З експериментальної точки зору, найбільш прийнятна швидкість нагрівання для епоксидних композитних матеріалів становить 5°C за хвилину. Температура полімеризації залежить від наступних факторів:

– властивості використовуваних полімерних компонентів (на 5...15% нижче температури термодеструкції). Також повинні враховувати функцію затверджувача: низька чи висока температура. Проте, як показують експериментальні дослідження, застосування низькотемпературних затверджувачів демонструє їх властивості, але не обмежує їх можливості. При підвищенні температури полімеризації в структурній сітці клею виникає додаткове зшивання і вміст гелевої фракції зменшується з 10...15 до 2...8% (фракція гелю, фрагменти непрореагованого мономеру та інші компоненти).

Неоднорідний склад, явище седиментації, інші внутрішні перетворення внаслідок недостатньої рухливості молекулярних компонентів у процесі полімеризації);

- технологія виробництва (наприклад, полімеризація у відкритому чи закритому просторі, чи можлива подальша механічна обробка тощо);
- тип і природа композитного матеріалу (з низьким або високим наповненням, пористість або мінімальний об'єм пор);
- характеристики компонування та сумісності системи [2].

Час витримки температури полімеризації залежить від наступних основних факторів:

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- товщина і геометрія заготовки та характеристики її розвитку поверхні;
- температура нагріву (з підвищенням температури нагрівання в основному зменшується час витримки);
- майбутні умови експлуатації заготовки (зі збільшенням суворості умов переважно збільшується час витримки);
- співвідношення енергетичних витрат і приросту функціональних показників [3].

Умови охолодження найбільше впливають на довговічність і міцність епоксидних полімерів. Оптимальна швидкість охолодження дозволяє знайти найкраще співвідношення між величиною залишкових напруг і когезійною міцністю матеріалу, яка в основному залежить від типу утворення хімічного зв'язку, структурних дефектів, пористості і домішок у композиті. У переважній більшості випадків для епоксидних композитів, сформованих методами лиття, це охолодження здійснюється на нерухомому повітрі, а для високонаповнених і середньонаповнених пресованих композитів найбільш характерно охолодження за допомогою печі.

Умови охолодження в основному залежать від таких факторів:

- характер обраних в'язучих і наповнювачів;
- характеристики сумісності (термодинамічні, кінетичні, механічні) інгредієнтів (чим гірша сумісність, тим м'якший стан);
- режими нагріву (полімеризації) та витримки (чим суворіший попередній режим, тим більш м'який режим охолодження необхідний для зменшення напруг, присутніх на попередніх етапах термічної обробки);
- композитна структура (низьке, середнє або високе наповнення. Зі збільшенням ступеня наповнення збільшується швидкість охолодження);
- технологія формування композиту (при застосуванні операцій пресування швидкість охолодження вибирається нижчою, ніж при, наприклад, лиття під тиском) [4].

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Висновки та постановка задач досліджень

На підставі літературного огляду та аналізу наявних наукових даних у цій галузі знань зроблено наступні висновки:

– перспективи застосування епоксидних полімерних клеїв у різних галузях техніки;

– з метою підвищення пластичності, опору деформації і міцності використовують модифікатори для зміцнення композиційних матеріалів і надання їм необхідних механічних властивостей;

– для поліпшення експлуатаційних характеристик епоксидних полімерів використовується термообробка;

– перспектива використання прогресивного нагрівання для затвердіння епоксидних полімерів.

Для отримання нових захисних покриттів на основі епоксидних матеріалів з високими фізико-механічними властивостями необхідно вирішити такі проблеми:

– вивчення впливу температури в електропечі на механічні властивості та ступінь структурованості епоксидних полімерів;

– розробити поетапну методику формування епоксидних полімерних покриттів.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2
МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ
МАТЕРІАЛІВ

2.1. Характеристика вибраних матеріалів

Як вихідний матеріал використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ДСТУ 2093-92), що представляє собою високов'язку прозору рідину. Масова частка епоксидних груп становить 20,0...22,5 %, а летких речовин – 0,2...0,8 %. Смоли цієї марки є технічними за своєю обробкою, тому на їх основі можна створювати різноманітні матеріали, придатні для виробництва покриттів, клеїв, адгезивів, компаундів, герметиків тощо [1, 5–8]. ЕД-20 твердне при кімнатній або підвищеній температурі без зовнішнього тиску, тому працює без пресів і теплового обладнання. Смола може тверднути без виділення побічних продуктів, забезпечуючи низьку пористість і високу щільність матеріалу. Основні фізико-хімічні властивості незатверділої 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 °С, с	65
Вміст загального хлору, %	1,0

Для тверднення епоксидних композицій застосовували поліетилен-поліамін – ПЕПА (ТУ 6-02-594-70). Він підходить для нанесення епоксидних смол при кімнатній температурі та в умовах низької температури та високої вологості.

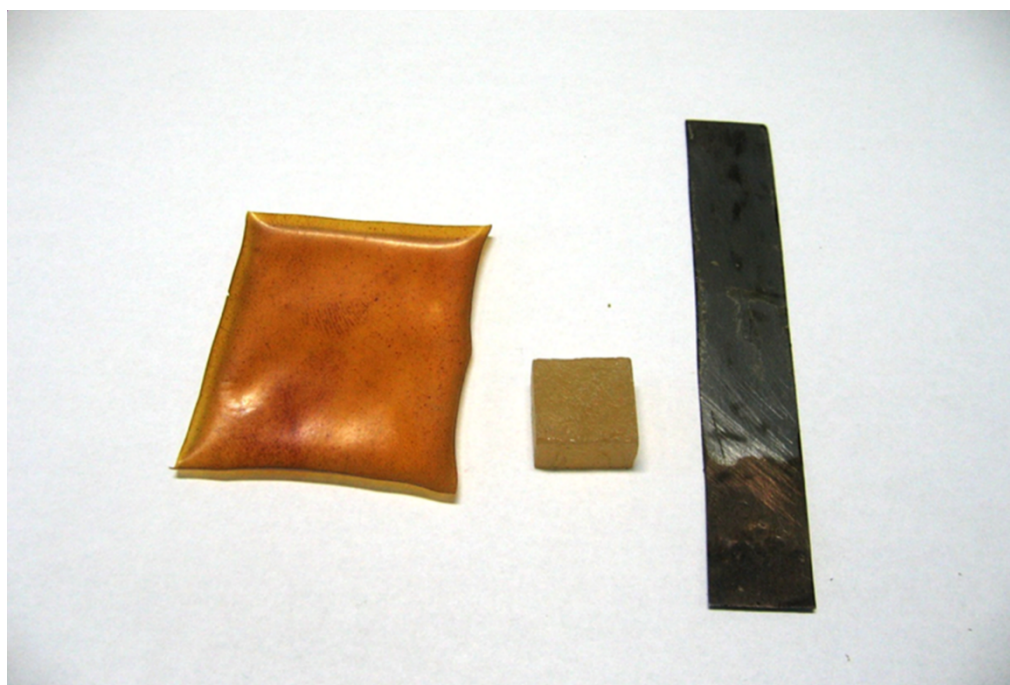
					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

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

2.2. Методика дослідження властивостей і структури розробленої епоксидної системи

Для встановлення оптимального режиму утворення епоксидного полімеру обрано метод дослідження фізико-механічних властивостей та ступеня структурованості.

Зразки для досліджень зображено на рисунку 2.1.



1 2 3

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд зразків для досліджень:

1 – вмісту гель-фракції, 2 – твердості; 3 – внутрішніх напружень

«Дослідження твердості матеріалу за методом Брінеля визначали за ДСТУ ISO 6506-1:2007 [9]. Дослідження проводили на зразках стрижневої форми з гладкою поверхнею, товщиною не менше 5 мм, шириною не менше 15 мм. Під час дослідження сталеву кульку діаметром 10 мм вдавлювали в поверхню

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

досліджуваного матеріалу навантаженням 2,5 кН протягом 60 с. Твердість матеріалу розраховується за формулою:»

$$HB = \frac{P}{\pi dh},$$

де P – зусилля, прикладене до кульки, Н;

d – діаметр кульки, мм;

h – глибина відбитку кульки, мм.

«Внутрішні напруження визначали консольним методом [10,11]. Він заснований на вимірюванні відхилення вільного кінця закріпленої на консолі пружної металевої пластини від початкового положення. Деформація пластини відбувається під дією внутрішніх напружень, що виникають у покритті (рис. 2.2)».

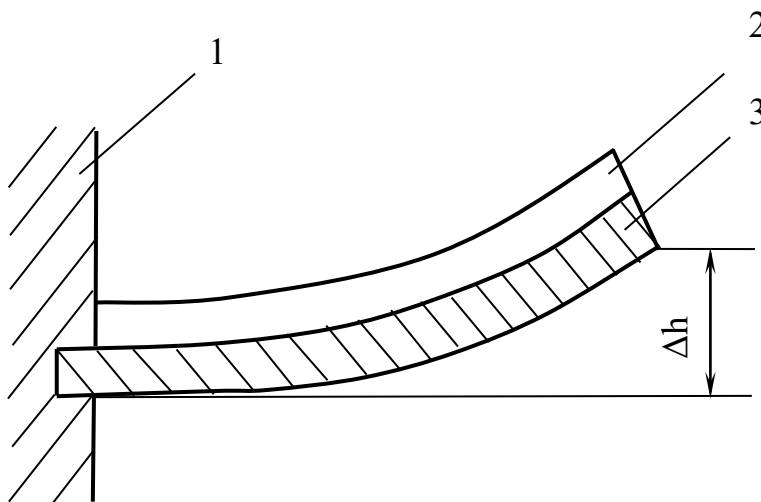


Рисунок 2.2 – Схема виникнення внутрішніх напружень:

1 – основа консолі; 2 – епоксикомпозитне покриття; 3 – пластина-основа; Δh – величина відхилення консолі

Внутрішні напруження розраховували за формулою:

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{\Delta h E t^3}{3l^2 (t + \Delta t) \Delta t},$$

де Δh – відхилення вільного кінця консолі, мм;

E – модуль пружності підложки, МПа;

t – товщина підложки, мм;

l – довжина плівки, мм;

Δt – товщина плівки, мм.

Покриття наносили на пластинку-основу з пружної сталі з відомими фізико-механічними характеристиками розміром 80x15 мм, товщиною 0,25...0,3 мм. Товщину висушеного покриття Δt визначити як середнє арифметичне з трьох замірів вздовж довжини консолі.

Методи визначення ступеня структурованості. Ступінь зміцнення матеріалів і покриттів визначається вмістом гель-зольної фракції. Метод заснований на здатності частинок матеріалу (тонких плівок), не інкорпорованих у полімерну сітку, промиватися органічними розчинниками в екстракторі Сокслета, який працює в автоматичному режимі [10, 12].

Пластинчасті зразки розмірами 20x30 мм і товщиною до 0,5 мм екстрагували в ацетоні протягом 8 годин, а потім висушували до постійної маси при 393 К. Масу проб до і після екстракції визначали на аналітичних лабораторних вагах з точністю до 0,0001 г. Вміст золь-фракції та гель-фракції в плівці наповненої дисперсними частинками визначали за формулою:

$$Z = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100\%,$$

$$G = 100 - (M_1 - M_2) \cdot 100\% / M_0,$$

де M_1, M_2 – маса патрона з наважкою плівки до і після екстракції;

M_0 – вміст плівкоутворюючої речовини в наважці плівки.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Методи формування епоксиполімерів

Формування пробного зразка полягає в отриманні однорідної композиції, що включає необхідні компоненти. Виходячи з об'єму проби, розраховують кількісний вміст інгредієнта в масових частках на 100 мас. ч. Епоксидна смола ЕД-20. На кожному етапі композиція механічно перемішується для забезпечення високого ступеня однорідності системи. При цьому використовується низька частота обертання лопаті для запобігання нагрівання суміші та її насичення повітрям. Сформований склад наноситься на підготовлену поверхню або заливається в спеціальні форми. Попередньо обробіть поверхню абразивами для досягнення необхідної шорсткості і знежирте ацетоном. Затвердіння епоксидних композитів за нормальних умов триває 24 години. Додаткова термообробка проводиться в печі, причому відхилення температури не перевищує $\pm 2\text{K}$.

Обробку проводять в електропечі з відхиленнями температури не більше $\pm 2\text{K}$.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТУПІНЧАСТОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНИХ ПОЛІМЕРІВ

3.1. Дослідження фізико-механічних властивостей

Для визначення оптимального режиму структурування епоксидних полімерів термічним нагріванням досліджено вплив часу витримки, температури та швидкості нагрівання на фізико-механічні властивості.

На початковому етапі структурування було обрано режим формування, при якому зразки нагрівали в електроді при температурах 313 К, 343 К, 373 К відповідно протягом 20 хв.

Експерименти підтвердили, що нагрівання до температури 313 К недостатньо, оскільки епоксидний полімер ще не повністю затвердів. Епоксидний полімер, утворений при температурі 343 К, є прозорим з кількома бульбашками на поверхні. Бульбашки утворюються внаслідок потрапляння повітря при механічному змішуванні компонентів композиції і залишаються всередині зразка через високу в'язкість. Під час нагрівання в'язкість складу знижується і піднімаються бульбашки. У той же час відбувається процес структурування, і система переходить у твердий стан, в результаті чого деякі бульбашки повітря закріплюються в матеріалі. При нагріванні при температурі 373 К відбувається інтенсивне виділення летких речовин, що призводить до утворення бульбашок і відповідного руху композиції з форми. Отже, інтенсивний тепловий вплив за температури 373 К призводить до кипіння та спінення композиції (рис. 3.1).

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд зразка епоксиполімеру структурованого нагріванням до температури 373 К без витримки за кімнатної температури

Епоксидні полімери, термічно оброблені після години витримки в звичайних умовах і температурі 393 К, мали схожий зовнішній вигляд порівняно зі структурними зразками, не підданими кімнатній температурі, але спінювання полімеру відбувалося менш активно. Епоксидний полімер, перед нагріванням до температури 393К поміщають на повітря на 2 години, структура є завершеною, зовнішній вигляд задовільний, і немає пухирців або деформації (рис. 3.2).

Під час нагрівання при 313 К епоксидний полімер залишався прозорим без істотних включень повітря завдяки оптимальній в'язкості системи. В епоксидних полімерах, структурованих при температурах 343 К і 373 К, не відбулося значного спінювання в епоксидних полімерах порівняно з тими, структурованими до витримки за нормальних умов, що було пов'язано з утворенням основних хімічних зв'язків ідентифіковано, і система може щільно ущільнюватися.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

утворюють у майбутньому зв'язки хімічного зв'язку.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд зразка епоксиполімеру структурованого нагріванням до температури 373 К після попередньої витримки за кімнатної температури протягом 2 годин

Оскільки температура 313 К є оптимальною на початкових стадіях структурування, доцільно дослідити вплив ступінчастого нагріванням (313 К + 343 К + 373 К) з витримкою протягом 20 хв на кожному етапі, а також без витримки та з витримкою протягом однієї години за температури 293 К.

Така схема нагрівання призводить до того, що маленькі бульбашки стають нерухомими в об'ємі зразка. Епоксидні полімерні композиції, попередньо експоновані при температурі 293 К, мали зовнішній вигляд, подібний до композицій, структурованих без витримування.

Таким чином, слід зазначити, що епоксидні полімерні матеріали мають високі механічні властивості під час їх формування в процесі прогресивного

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

твердіння. Епоксидні полімери, побудовані за цією системою, мають розвинену тривимірну сітчасту структуру, яка забезпечує більш високу стійкість до термоокислення, термостійкість і ударну в'язкість. Структурування під дією прогресивного нагріву епоксидного полімеру забезпечує релаксацію залишкових напружень у системі за рахунок перебудови надмолекулярної структури. При підвищених швидкостях охолодження залишкова напруження значно зростають за рахунок пригнічення релаксаційних процесів, пов'язаних з відповідним перерозподілом елементів конструкції. Швидкість нагрівання впливає на структурні властивості первинних етапів утворення хімічного зв'язку, рівномірність розташування компонентів у системі, характер і величину напружень у матеріалі.

Важливим моментом під час зміцнення структурування епоксидних полімерів у драбинчастій структурі є застосування стадії охолодження на початкових стадіях формування мережі для забезпечення процесу релаксації. Як варіант у процесі ступінчастого нагрівання рекомендується схема, наведена в таблиці 3.1.

Структурування за наведеною ступінчастою схемою термообробки епоксидного полімеру (рис. 3.3) забезпечує утворення структур з високим вмістом дрібних бульбашок в об'ємі. Це пов'язано з раптовим нагріванням композиції до температури 343 К після фази охолодження, що призводить до сильного структурування полімерної матриці та закупорювання бульбашок повітря в об'ємі матеріалу.

Таблиця 3.1 – Режим ступінчастої термічної обробки

Стадія	Температура, К	Витримка, хв
1	нагрівання до 313	20
2	охолодження до 393	10
3	нагрівання до 343	20
4	нагрівання до 373	20

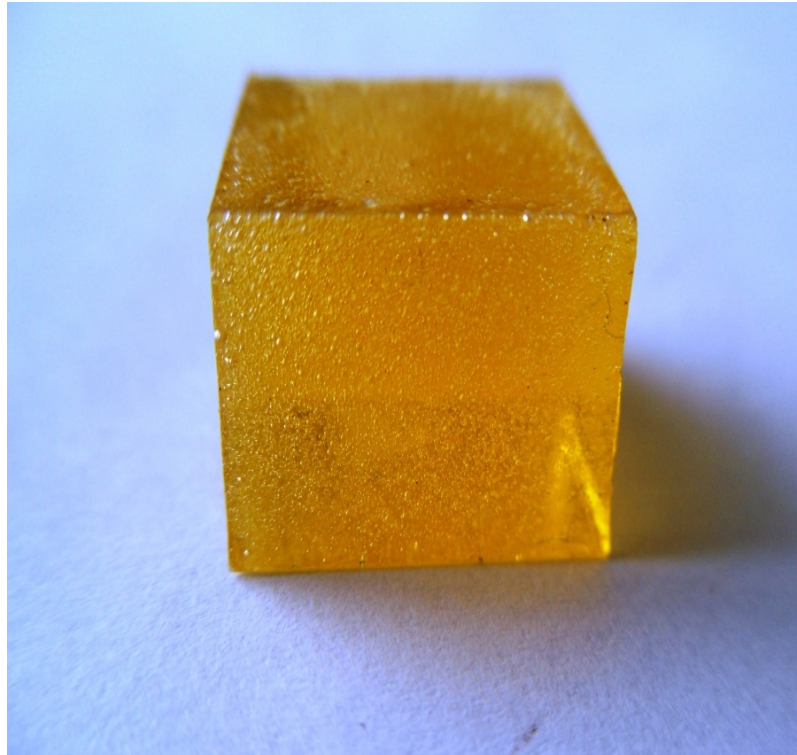


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд зразка епоксиполімеру структурованого за режимом таблиці 3.1

Ступінчаста термічна обробка з додатковим нагріванням після охолодження до температури 393 К (табл. 3.2) дозволила отримати епоксиполімери без помітних повітряних включень (рис. 3.4), що свідчить про кращий режим термічного нагріву.

Оцінено руйнування від внутрішнього напруження епоксидних полімерів, структурованих при 313 К без попереднього впливу кімнатної температури, через незавершеність процесу структурування. Нагрівання до температури 343 К забезпечує структурування системи без впливу композиції в нормальних умовах. Побудова системи при температурі 373 К без підтримки її в нормальних умовах призвела до збільшення внутрішньої напруги в 2,7 рази, що пов'язано з утворенням локальних хімічних зв'язків.

Витримка при кімнатній температурі протягом 1 год і нагрівання до температури 343 К призвели до збільшення внутрішніх напружень в порівнянні з

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

невитриманою структурою. Це пояснюється тим, що температура 313 К є достатньо низькою, щоб ініціювати процес структурування полімерної матриці. Таким чином, протягом години після встановлення зв'язку зростаю внутрішні напруження.

Таблиця 3.2 – Процес ступінчастої термічної обробки

Стадія	Температура, К	Витримка, хв
1	нагрів до 313	20
2	охолодження до 393	10
3	нагрів до 313	20
4	нагрів до 343	20
5	нагрів до 373	20

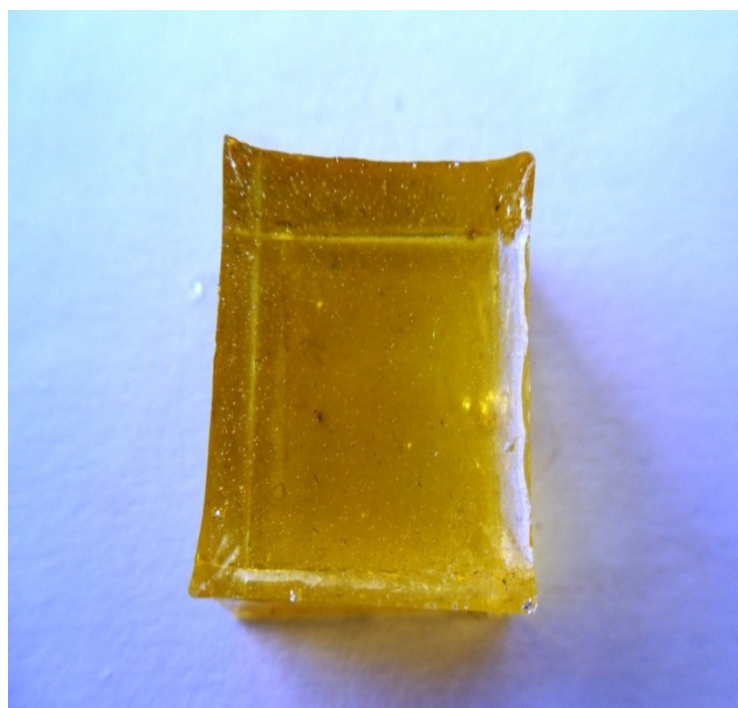


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд зразка епоксиолімеру структурованого за режимом таблиці 3.2

Незважаючи на те, що процес структурування почався за сприятливих умов, він покращився в 1,7 разу порівняно з неекспонованим структуруванням. Очевидно, це пов'язано з утворенням додаткових хімічних зв'язків у структурі полімеру внаслідок збільшення швидкості релаксації напружень після 1 год витримки при кімнатній температурі. Утворення нових зв'язків призводить до створення напруженого об'єму, оскільки зв'язки формуються всередині структури та утворюються протягом 1 години.

Епоксидний полімер структурували при 373 К, нагрівали без витримки та витримували протягом 1 години при кімнатній температурі, забезпечуючи формування матеріалів з однаковими внутрішніми напруженнями. Температура 373 К забезпечує високі швидкості реакції та утворення максимальної кількості хімічних вузлів. Це дає змогу значно перевищити кількість хімічних зв'язків у структурній сітці адгезиву, які утворюються протягом 1 години під час експозиції за нормальних умов. Низькі внутрішні напруження (рис. 3.5) властиві епоксиолімерам, що структуровані за температури 313 К з витримкою за нормальних умов протягом 1 год ($\sigma_{вн}=0,11$ МПа).

Епоксидні полімери, структуровані при різних температурах (313 К, 343 К і 373 К), мали найнижчі значення внутрішнього напруження після 2 год витримки при кімнатній температурі, оскільки процес структуроутворення починався рівномірно ще під час попередньої витримки, тобто течія при однаковій швидкості, а потім висока швидкість у різних локальних мікрооб'ємах. Тому априорі утворюється велика кількість зв'язків.

Встановлено, що зростання вмісту гель-фракції (рис. 3.6) відбувається із збільшенням часу витримки за кімнатної температури. Низькі значення вмісту гель-фракції можна пояснити повільним перебігом процесів структурування при температурі 313 К, причому ці процеси відбуваються при кімнатній температурі протягом першої та другої години зі збільшенням часу витримки.

Встановлено, що зі збільшенням часу витримки при кімнатній температурі збільшується вміст гелевої фракції (рисунок 3.6). Під час нагрівання до

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температури 343 К і попередньої витримки протягом 1 год вміст гель-фракції склав $G=70,5\%$, оскільки при цій температурі починають посилено утворюватися хімічні зв'язки.

Вміст гель-фракції епоксидних полімерів, структурованих при 343 К після попередньої витримки протягом 1 і 2 годин при кімнатній температурі становив $G=73,4\%$ і $G=86,7\%$ відповідно. Це пов'язано з тим, що є достатній час витримки при кімнатній температурі, протягом якого процес утворення первинних вузлів триває під час подальшої термічної обробки, яка є процесом термічного нагрівання при температурі 343 К.

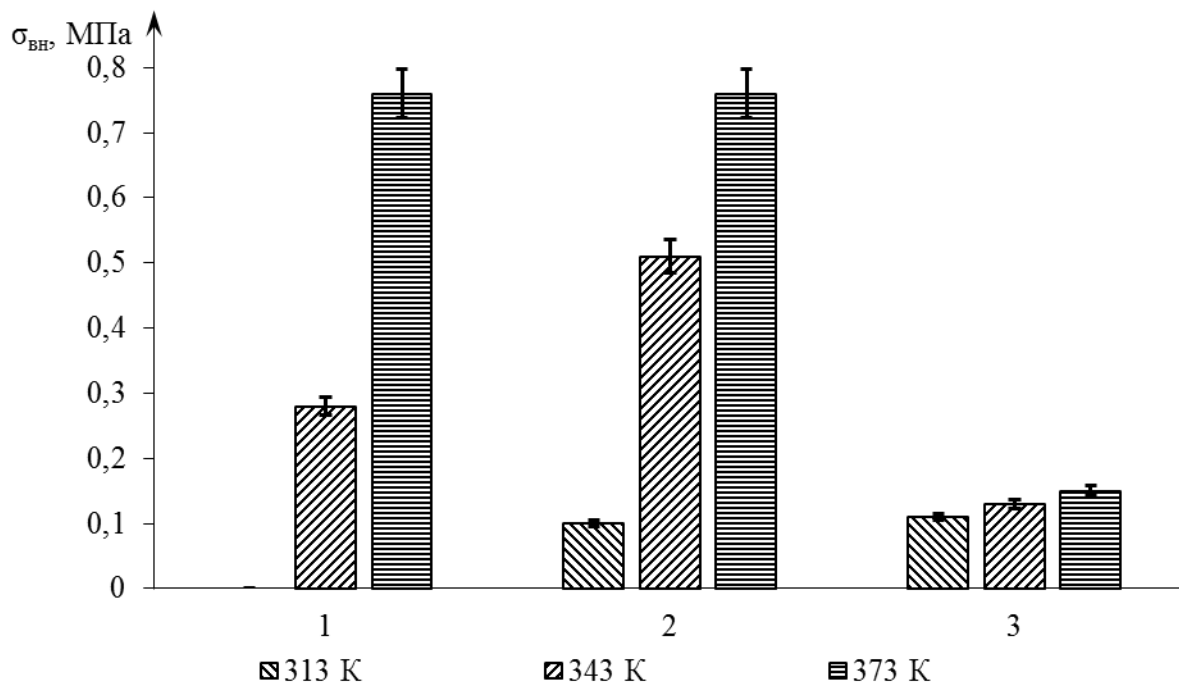


Рисунок 3.5 – Залежність внутрішніх напружень епоксиполімерів від режиму структурування з попередньою витримкою за температури 293 К: 1 – без витримки; 2 – 1 год; 3 – витримка 2 год

Структурування за температури 373 К забезпечує максимальний вміст гель-фракції у системі в діапазоні від $83,5\%$ до $86,7\%$ залежно від тривалості витримки кімнатної температури. При цьому за рахунок теплового впливу утворюються хімічні зв'язки, ініціюючи процес полімеризації. Незалежно від

витримки епоксидного полімеру при кімнатній температурі, швидкість реакції зростає і утворюється максимально можлива кількість зв'язків. Різниця в значеннях вмісту гель-фракції становить 3,6%, що знаходиться в межах похибки. Тому можна вважати, що доцільніше нагріти епоксидний полімер при температурі 373 К, не витримуючи його при кімнатній температурі, або нагріти його при температурі 343 К і витримати при кімнатній температурі протягом 2 годин.

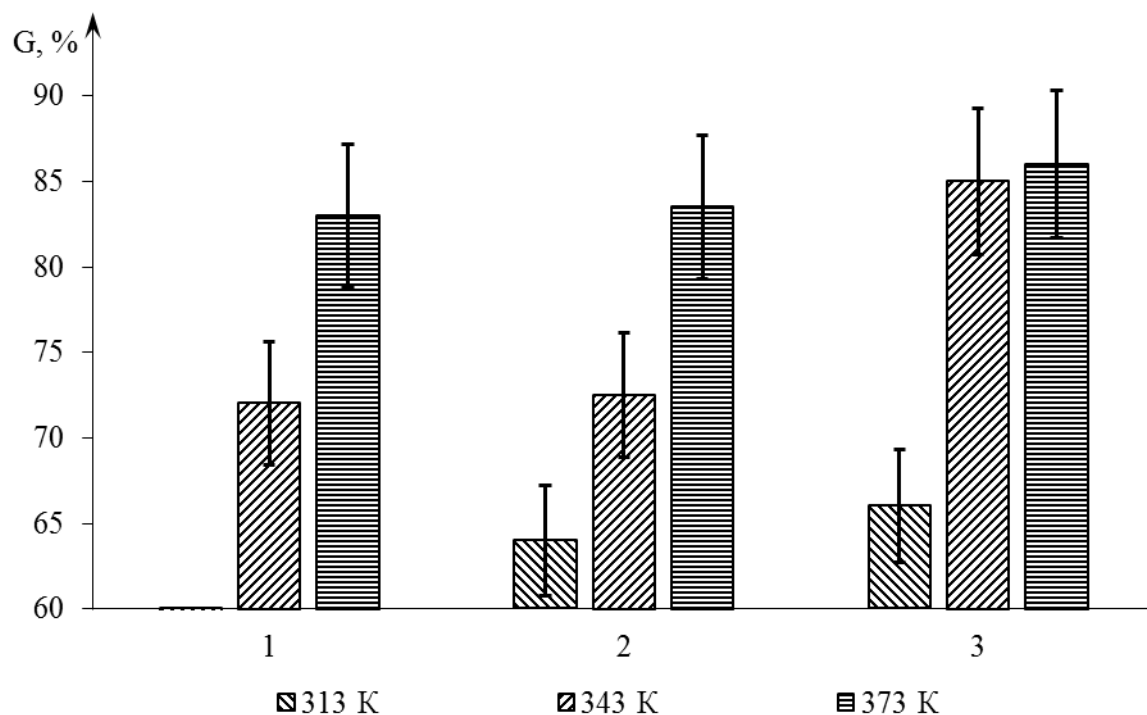


Рисунок 3.6 – Залежність вмісту гель-фракції епоксиолімерів від режиму структування з попередньою витримкою за температури 293 К: 1 – без витримки; 2 – 1 год; 3 – 2 год

Наступний етап досліджень пов'язаний із необхідністю зменшення внутрішніх напружень у системі (рис. 3.7) та збільшення вмісту гель-фракції в епоксидному полімері, структурованому при 373 К і витриманому при кімнатній температурі протягом 1 год. Для цього процес термічного нагрівання розбивають на кілька етапів, включаючи етап, на якому зразок охолоджують на повітрі після нагрівання при температурі 313 К. Зменшення часу витримки при кімнатній температурі до 1 год забезпечило б технічно більш вигідний режим

формування виробів з епоксидних полімерів.

Визначено, що після фази витримки при температурі 313 К нагрівання до кінцевої температури 373 К призвело до різкого збільшення внутрішніх напружень ($\sigma_{вн}=0,86$ МПа) епоксидного полімеру при кімнатній температурі. Якщо структурування виконується за подібною схемою з 1-годинною витримкою при кімнатній температурі, це призводить до зниження внутрішніх напружень на 9,3%, оскільки температура 373 К забезпечує високу швидкість полімеризації, а структурування збільшується разом із кількістю утворених хімічних зв'язків і при полімеризації розподіл в об'ємі практично не залежить від впливу кімнатної температури.

Експерименти показали, що величина внутрішніх напружень в епоксидному полімері, виготовленому за 2-м режимом (рис. 3.7), не відрізняється від 1-го режиму. Якщо епоксидний полімер потім помістити в камерну піч, фаза охолодження не має ефекту. При цьому відбувається інтенсивне утворення зв'язку, оскільки процес полімеризації сповільнюється при температурі 313 К.

Якщо після охолодження епоксидний полімер поступово нагріти за режимами 3 і 4 (рисунок 3.7), то внутрішні напруження можна знизити на 39...55%. Це пов'язано з тим, що при подальшому нагріванні епоксидного полімеру до температури 313 К після охолодження відбувається релаксація внутрішніх напружень за рахунок збільшення рухливості окремих сегментів ланцюга макромолекул епоксидного полімеру. При цій температурі матеріал отримує теплову енергію, достатню для формування однорідної просторової структури без необхідності формування щільних зв'язків у локальному об'ємі.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

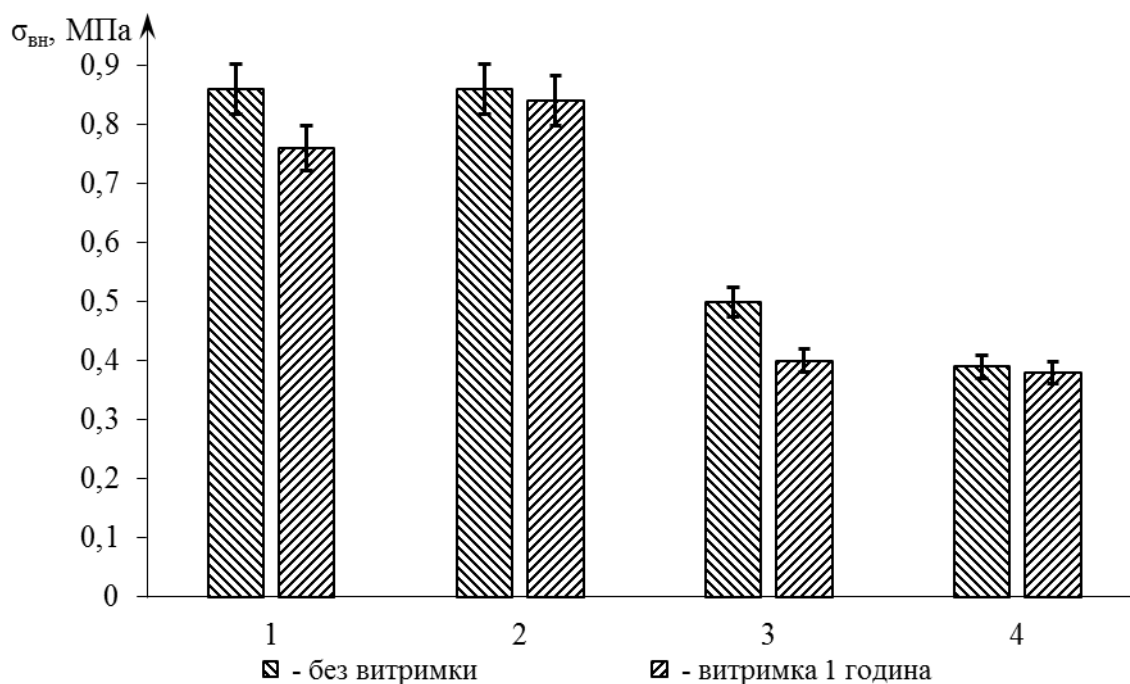


Рисунок 3.7 – Залежність внутрішніх напружень епоксиполімерів від режиму структурування з нагрівом до кінцевої температури 373 К: 1 – нагрівання до 313 К; 2 – нагрівання до 313 К + охолодження; 3 – нагрівання до 313 К + охолодження + нагрів до 313 К; 4 – нагрівання до 303 К + охолодження + нагрів до 313 К

Епоксиполімери структуровані за режимом 1 без попередньої витримки (рис. 3.8) перед термічним нагріванням мають мінімальний вміст гель-фракції 69,37 %, оскільки протягом даного часу не утворилась достатня кількість зв'язків. Для режиму структурування 2 цей показник зростає за рахунок сприятливих умов, оскільки процес відбувається більш рівномірно. Збільшення вмісту гель-фракції в епоксидних полімерах, структурованих за режимами 3 і 4, пов'язане зі здатністю системи більш рівномірно формувати зв'язки при більш тривалому впливі під час нагрівання. В епоксидних полімерах при попередній витримці протягом 1 години на повітрі перед нагріванням збільшується вміст гелеподібної фракції, що пов'язано з утворенням на цій стадії первинних зв'язків.

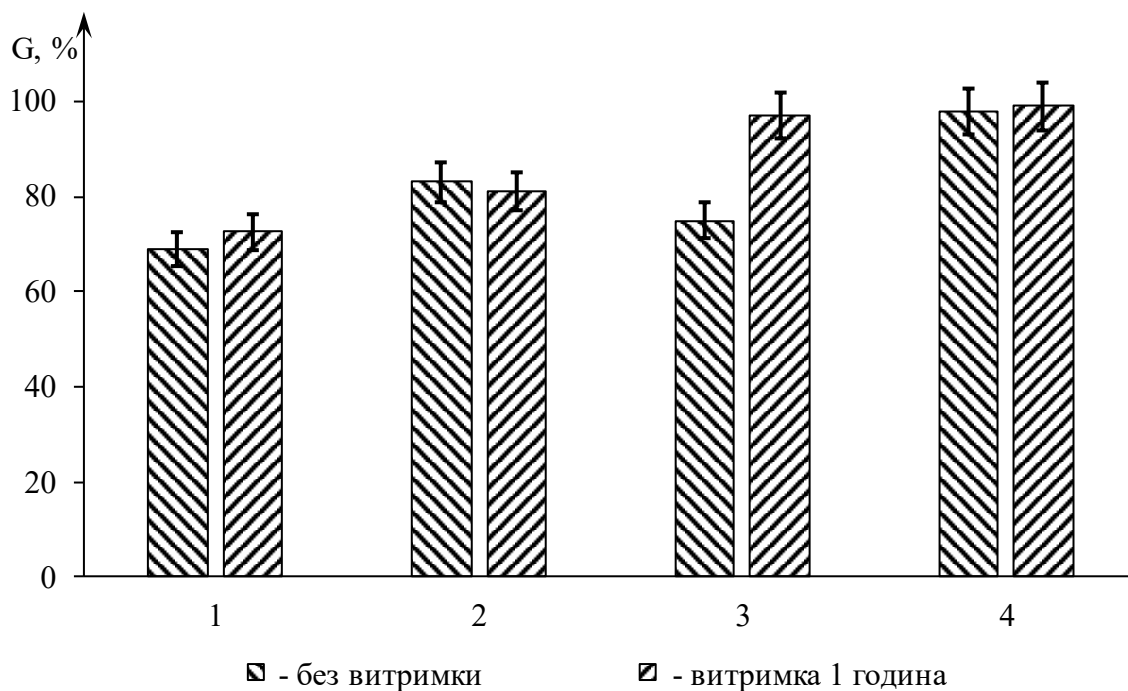


Рисунок 3.8 – Залежність вмісту гель-фракції епоксиполімерів від режиму структурування, під час нагрівання до кінцевої температури 373 К: 1 – нагрівання до 313 К; 2 – нагрівання до 313 К + охолодження; 3 – нагрівання до 313 К + охолодження + нагрів до 313 К; 4 – нагрівання до 303 К + охолодження + нагрів до 313 К

Епоксидні полімери, побудовані за режимом 1 (рис. 3.9), мають найнижчі значення твердості, що пов'язано з високими значеннями внутрішніх напружень і недостатнім ступенем структурованості системи. Конструювання за режимами 2 і 3 призвело до значного збільшення твердості (у 2,3 рази), оскільки в епоксидно-полімерній системі також збільшився вміст гель-фракції. Для епоксидних полімерів, сконструйованих за режимом 2, при поступовому нагріванні після охолодження суттєвого підвищення твердості не спостерігалось, оскільки вміст гелеподібної фракції підвищувався незначно, а при визначенні динамічних властивостей епоксидної смоли значення внутрішніх напружень зниження більш очевидне.

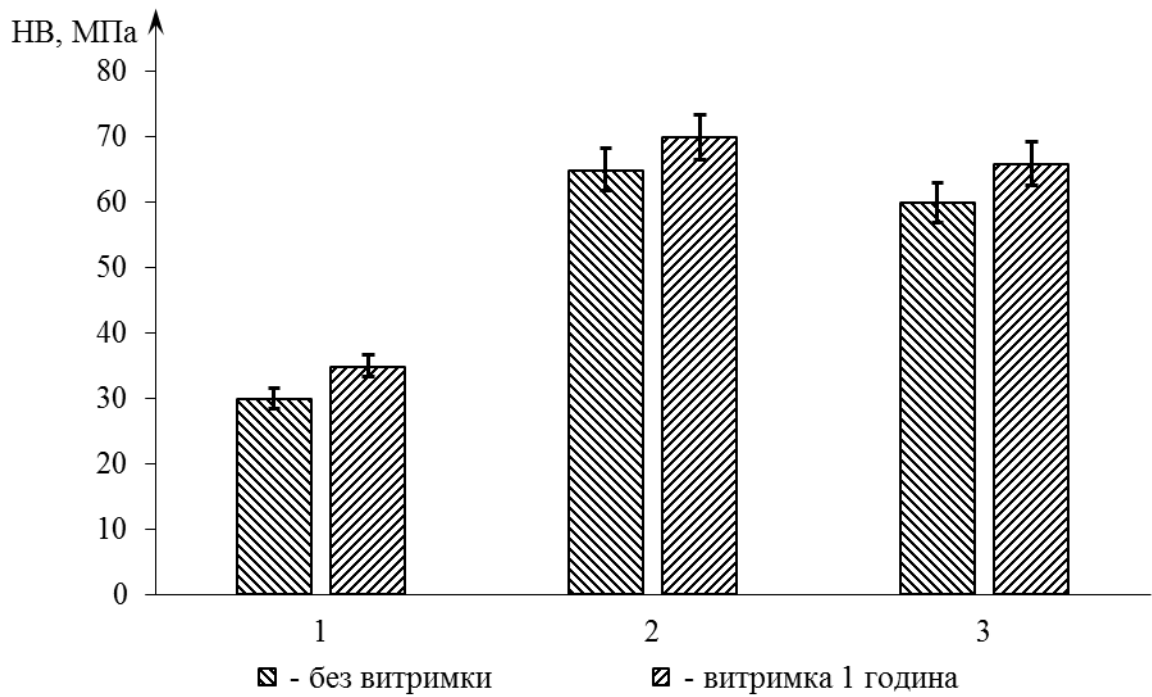


Рисунок 3.9 – Залежність твердості епоксиполімерів від режиму формування за кінцевої температури нагрівання 373 К: 1 – нагрівання до 313 К; 2 – нагрівання до 313 К + охолодження; 3 – нагрівання до 313 К + охолодження + нагрів до 313 К

РОЗДІЛ 4

ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕЖИМИ ФОРМУВАННЯ ЕПОКСИПОЛІМЕРІВ

4.1. Особливості технології формування епоксиполімерних покриттів

Процес отримання епоксидного полімерного покриття складається з основного процесу та допоміжного процесу. До першої належать процеси, що визначають якість кінцевого покриття: підготовка поверхні виробу перед нанесенням покриття; затвердіння (висихання) матеріалу. До допоміжних належать процеси, які покращують якість покриттів, а саме приготування та техніка змішування компонентів.

У багатьох випадках обробка поверхні виробу визначає термін служби покриття.

Важливою ланкою технології покриття є процес нанесення матеріалу. Тільки використовуючи прогресивний, автоматизований метод нанесення, ви зможете повністю реалізувати всі потенційні можливості, закладені в самому матеріалі, і запобігти марнотратству матеріалу.

Основні властивості покриття визначаються в процесі його формування. Отже, зміцнення покриття є операцією, яка визначає якість покриття та його довговічність у процесі експлуатації виробу [13, 14].

Підготовчі операції включають сушіння, просіювання і дозування. Послідовність перерахованих операцій визначається характером компонентів суміші та особливостями процесу змішування [6].

У виробництві епоксидних полімерних матеріалів сушка проміжної сировини і кінцевої продукції є однією з найважливіших виробничих операцій. Видалення вологи з твердих компонентів епоксидного полімерного матеріалу дозволяє додати йому необхідні властивості. Воду повністю видаляють шляхом термічної сушки матеріалу для її випаровування.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для сушіння порошкоподібних наповнювачів використовують конвекційне сушіння, коли матеріал контактує з гарячим повітрям у сушильній шафі [15].

Операція просіювання наповнювачів також є однією з важливих операцій при підготовці сумішевої сировини. Її метою є видалення сторонніх включень у матеріалах. Для видалення шкідливих домішок перед приготуванням складу сухі інгредієнти просівають через сито з відповідним розміром пор.

Процес приготування сипучих матеріалів починається з відмірювання компонентів (інгредієнтів) за масою або об'ємом за розробленою або обраною рецептурою. Зважування (дозування) проводили на аналітичних вагах [16].

Неправильне дозування, тобто введення в композицію надлишку наповнювача, може призвести до погіршення фізико-механічних властивостей і зносостійкості, а надлишок в'язучого призведе до збільшення коефіцієнта тертя і температури, безумовно погіршуючи якість епоксидного полімерного покриття.

У технології одержання полімерних матеріалів змішування відіграє важливу роль і в багатьох випадках є основною стадією процесу в залежності від виду обробки, якості кінцевого продукту, продуктивності процесу, умов охорони праці та техніка безпеки.

Кожен компонент окремо вводиться в змішувач із заданою постійною швидкістю. За рахунок механічної дії на матеріал у змішувачі забезпечується рівномірний розподіл компонентів у суміші.

Однорідність системи є необхідною умовою для отримання покриттів з необхідними фізико-механічними властивостями. Для цього використовують роторний змішувач, в який послідовно і поетапно вводять наповнювачі і в'язучі.

У багатьох випадках експлуатаційні характеристики покриття залежать від методу підготовки та чистоти обробки поверхні. Чим суворіше середовище, в якому використовується продукт, тим ретельніше необхідно підготувати поверхню до фарбування.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Покриття, отримані з лакофарбових матеріалів найвищої якості, нанесені на необроблені поверхні, матимуть неприпустимі дефекти та нижчі фізико-механічні та захисні властивості.

Довговічність лакофарбового покриття залежить від технології його виготовлення, яка пов'язана з корозійною стійкістю металу, складом продуктів корозії, що утворюються на поверхні металу, технологією виготовлення виробу (його формою, конструкцією, розмірами) і підготовка поверхні виробу перед фарбуванням [14].

Обробка поверхні включає видалення з поверхні виробу продуктів корозії, окалини, жирових і антикорозійних мастильних забруднень.

Вибір способу обробки поверхні залежить від матеріалу, з якого виготовлено виріб, розмірів і конструктивних особливостей виробу, вихідного стану поверхні, вимог до категорії покриття, умов експлуатації виробу.

Піскоструминна обробка використовується для очищення поверхонь днища транспортних засобів.

Піскоструминна обробка є одним з основних етапів підготовки поверхні перед нанесенням різних антикорозійних і декоративно-захисних покриттів. Піскоструминне обладнання використовується для очищення внутрішніх і зовнішніх поверхонь від фарби, окалини і корозії, різного роду забруднень, а також знежирення за допомогою абразивно-повітряної суміші. Оброблена поверхня може бути як плоскою, так і рельєфною у важкодоступних місцях.

Методи очищення включають подачу піску (можливо води) під тиском. У роботі використовуються різні пропорції піску. Це дає можливість очистити сильно забруднені ділянки.

Продуктивність піскоструминної обробки до 40 м²/год (в залежності від вихідного стану поверхні). Використовуйте піскоструминний апарат для очищення великих металевих конструкцій або кованих виробів на високій швидкості і швидко покрийте їх фарбою або лаком, поки вони навіть не заіржавіли.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Термін служби поверхні, обробленої абразивно-струминним обладнанням (піскоструминною обробкою), можна збільшити в кілька разів шляхом нанесення покриття.

Хімічні методи очищення поверхонь виробів включають знежирення, травлення, видалення старого покриття, а також видалення іржі та фосфатування.

Знежирення – видалення слідів жиру, солей та інших речовин, які залишаються на поверхні виробу після нанесення полірувальних сумішей, лосьйонів, мастил (використовуються під час виготовлення та оперативного зберігання виробу).

Як знежирюючі речовини використовують лужні розчини, органічні розчинники та емульсії (емульсії розчинників у воді).

Вибір способу знежирення залежить від типу матеріалу виробу, ступеня забруднення поверхні виробу, необхідної чистоти покриття та економічних факторів.

Щоб підвищити ефективність знежирення, поверхнево-активні речовини (поверхнево-активні речовини) вводяться в лужний водний розчин.

В якості солі використовують їдкий натр, карбонат натрію, рідке скло (силікат натрію Na_2SiO_3), тринатрійфосфат Na_3PO_4 , пірофосфат натрію $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, гексаметафосфат натрію $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$.

У цій роботі очистіть поверхню днища автомобіля, використовуючи засіб для знежирення.

У міру покращення якості матеріалу та розширення асортименту існуючі матеріали вдосконалюються та створюються нові методи застосування. Промисловість відійшла від ручних методів, таких як щітка та валики, до сучасних методів: пневматичного, електростатичного та безповітряного розпилення, електроосадження. При цьому основна увага приділяється механізації та автоматизації процесу нанесення з метою покращення якості покриття, зменшення втрат матеріалу та підвищення ефективності [17].

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Способи нанесення рідких матеріалів включають попереднє диспергування - переведення їх в аерозольний стан, подальше осадження в тонкі шари і адсорбцію лакофарбових матеріалів на поверхню порошку. Здатність рідкої речовини перетворюватися на аерозоль залежить від молекулярної маси плівкоутворювача (олігомеру, полімеру), в'язкості системи, леткості розчинника та поверхневого натягу рідини. Якість покриття залежить від природи аерозолу і цілісності його осадження і застигання.

Аерозолі отримують дисперсійними методами і складаються з частинок, що утворюються на повітрі після подрібнення твердої або рідкої системи. На цьому принципі засноване нанесення розпиленням лакофарбових матеріалів, отриманих з розчинів або порошоків.

Важливими властивостями аерозолів є концентрація, розмір часток, полідисперсність і стабільність. Оптимальним розміром частинок аерозолу є 30...60 мкм. Розмір частинок залежить від молекулярної маси

Плівкоутворювач, поверхневий натяг системи та умови розпилення. У міру просування аерозолу від краю розпилювача до поверхні нанесеного матеріалу властивості аерозолу істотно змінюються: полідисперсність зменшується, а концентрація аерозолу вздовж поперечного перерізу розпилювача прагне до вирівнювання. факел. Під час руху аерозолів рідких матеріалів відбуваються два процеси: випаровування розчинника, що призводить до зменшення розміру частинок, і конденсація частинок, що призводить до потовщення частинок.

Спосіб нанесення фарби розпиленням під високим тиском заснований на високошвидкісному подрібненні рідини через сопло в повітряне середовище і осадженні частинок спрею на поверхню.

Метод напилення під високим тиском сприяє економії матеріалу в порівнянні з пневматичним способом нанесення, оскільки значно зменшуються втрати в навколишнє середовище і використовуються склади з меншим вмістом розчинника. Завдяки високій швидкості нанесення покриття можна зменшити трудові ресурси, а за рахунок збільшення товщини можна зменшити кількість

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

шарів покриття. Цей метод зменшує забруднення та випаровування на поверхні покриття та покращує умови роботи.

Вузька гратоподібна форма не підходить для методів розпилення під високим тиском.

Апарат високого тиску можна використовувати з більшістю будівельних матеріалів. Непридатні матеріали, що містять матеріали з дуже високим вмістом цементу, кам'яного пилу, піску та наповнювачів.

Нанесення фарби під високим тиском висуває чіткіші вимоги до культури виробництва та організації праці: якості, чистоти та фільтрації матеріалів, кваліфікації працівників.

Високовольтна установка покриття живиться від електромережі, що робить обслуговування простим і безпечним, надійним в роботі, практично безшумним і знімним при транспортуванні.

Одним із етапів процесу придбання матеріалу, що визначає його якість, є затвердіння нанесеного на виріб епоксидного полімерного матеріалу.

При виборі типу, методу та способу зміцнення покриття в основному враховуються такі фактори, як тип епоксидного полімерного матеріалу, розмір і структура виробу, продуктивність, економічність та енергоспоживання.

Розрізняють два види зміцнення покриття: природне зміцнення і штучне зміцнення. Для природного твердіння сушку покриття проводять на відкритому повітрі або в приміщенні з температурою навколишнього середовища (12...25 °С) і відносною вологістю повітря не вище 65%. Перевага затвердіння покриттів у природних умовах полягає в тому, що покриття можна отримати на виробках великого розміру. Переваги цього методу включають просте обладнання та низькі витрати на електроенергію, але природне висихання зазвичай займає тривалий час і не може бути використане в промисловості епоксидних плівкоутворювачів. Крім того, природна сушка повністю виключає автоматизацію процесу отримання покриття.

Штучне висихання фарби – це енергетична взаємодія тепла, світла і

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випромінювання на речовини, що забезпечує перехід рідких речовин у твердий стан до утворення плівки.

Для сушіння поверхні використовується штучне старіння за допомогою повітряної печі та інфрачервоних ламп. Процес твердіння в пневматичній печі полягає в нагріванні складу за допомогою ТЕНів і повітря, яке переміщується за допомогою вентилятора.

Суть нагріву епоксидних складів інфрачервоними променями полягає в передачі тепла поверхневому шару матеріалу, що наноситься на виріб, утворюючи таким чином тонку плівку. Завдяки теплопровідності тепло рівномірно поширюється всередині плівки і твердне далі, поки покриття не буде повністю сформовано.

З точки зору оцінки кінцевих характеристик, пневматична піч створює найсприятливіші умови для контрольованого екзотермічного нагрівання, так що покриття майже не має залишкової напруги. Інфрачервоний нагрів полегшує процес холодного затвердіння і забезпечує отримання високоякісних покриттів з високими фізико-механічними та експлуатаційними властивостями.

4.2. Технологічний процес формування захисних епоксиполімерних покриттів

Покриття, які захищають метали від корозії, є складними і складаються з кількох шарів і матеріалів з різними складами, структурами та властивостями. Етапи процесу одержання комплексних покриттів залежать від технічних вимог до зовнішнього вигляду покриття, умов експлуатації та економічної доцільності.

Формування епоксидного полімерного покриття відбувається таким чином: на знежирену, механічно оброблену поверхню металу наносять склад товщиною 250...350 мкм. Твердження покриття проводять в аеродинамічній печі при 100 °С з увімкненим вентилятором з подальшим охолодженням на нерухомому повітрі.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Покриття, розроблені на основі епоксидних полімерних матеріалів, можна використовувати в діапазоні температур 80...100°C.

Процесу формування епоксиполімерного захисного покриття наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технологічний процес формування захисних епоксиполімерних покриттів

Номер операції	Назва операції	Структура операції	Обладнання, матеріали
005	Заготівельна	1 Провести дозування компонентів 2 Змішати епоксидно-діанову смолу з твердником	Ваги, ГОСТ 19491-74 Шнековий змішувач
010	Формувальна	1 Підготувати поверхню заготовки для нанесення покриття 2 Знежирити поверхню в місцях нанесення покриття 3 Провести формування шару покриття	Шліфувальний папір Ацетон Фарбувальний апарат високого тиску “Фініш – 211”
015	Термічна	1 Ввімкнути піч та вентилятор всередині печі 2 Завантажити деталі в піч і провести термообробку за наступним режимом: 20 хв при 313 К + охолодження на повітрі + 20 хв при 313 К 3 Вийняти деталі та охолоджувати їх на спокійному повітрі	Електрична піч
020	Контрольна	1 Перевірити покриття на відповідність розмірам згідно креслення та на відсутність дефектів	Мікрометричний нутромір, штангенциркуль, лупа
025	Шліфувальна	1 Прощліфувати до відповідного розміру 2 Проконтролювати розміри	Шліфувальний верстат Штангенциркуль
030	Маркування	1 Нанести відповідне клеймо	Фарба, трафарет

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Підготовка формувальних матеріалів включає підготовку компонентів системи. Введення твердника ПЕПА в смолу ЕД-20 у відповідних пропорціях. Перемішування системи на найменшій швидкості протягом 6...10 хв, щоб не допустити інтенсивного нагрівання складу. Далі епоксидне полімерне покриття завантажують в електропіч і піддають термічній обробці за таким режимом: охолодження на повітрі при 313 К протягом 20 хв з наступним нагріванням при 313 К протягом 20 хв.

На наступному етапі виріб проходить контроль якості (без дефектів, відповідає стандартним розмірам тощо).

Під час контролю продукція маркується та транспортується до місць зберігання. Отримані деталі та контрольні зразки підлягають візуальному огляду. Допускається невелика шорсткість покриття, яка усувається при подальшій механічній обробці.

Фарбування, склеювання або інший ремонт дефектних виробів не дозволяється.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

ВИСНОВКИ

На основі аналізу літературних джерел проаналізовано сучасні методи формування епоксидних полімерів. Правильна схема твердіння визначеного складу забезпечує матеріал з оптимальними фізико-механічними властивостями. Технічно обґрунтовані термічні впливи під час процесу або після формування продукту можуть призводити до підвищення сили процесу релаксації за рахунок зміни ступеня зшивання матеріалу, що супроводжується поліпшенням механічних властивостей полімеру.

Отримані результати показують, що найкращі структурно-механічні властивості досягаються при формуванні епоксидного полімеру в режимі 3 (нагрівання до 313 К + охолодження + нагрівання до 313 К), оскільки цей режим забезпечує найбільш повне структурування ($G=97,8\%$) і високу твердість ($HV=69,52\text{МПа}$) створює умови для зниження внутрішніх напружень ($\sigma_{\text{вн}} = 0,42\text{ МПа}$), оскільки утворення тривимірної сітки відбувається рівномірно, забезпечуючи достатній час для конформаційних переходів.

У роботі показано, що зручність ступінчастого нагрівання в електропечі створює сприятливі умови для структурування матеріалу при формуванні епоксидних полімерних покриттів, що призводить до покращення фізико-механічних властивостей.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Букетов А.В. Адгезійна міцність та внутрішні напруження полімер-епоксидних композицій // Вісник ТДТУ. Тернопіль. – 1997. – Т. 2, 4 – 2. – С. 107 – 110.
2. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник / Є.О. Джур, Л.Д. Кучма, Т.А. Манько та ін. – К.: Вища освіта, 2003. – 399.: іл.
3. 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).
4. Copson D. A. Microwave heating.— Avi, Westport, CT, 1975.
5. Jassie L. B., Kingston H. M. Microwave dissolution in closed vessels under elevated temperature and pressure.— Pittsburgh, 1985, Paper № 108A.
6. В.Попович, А.Кондир, Е. Плешаков та ін. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Практикум: Навч. посібник. – Львів: Світ, 2009. – 552 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Стухляк П.Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П.Д.Стухляк, А.В.Букетов, І.Г.Добротвор. – Тернопіль, Збруч, 2008. – 210с.

11. Савчук П.П., Кашицький В.П. Технологічні основи формування термостійких епоксикомпозитних покриттів триботехнічного призначення // Матеріали 24-ї міжнародної конференції і виставки. – Київ: УІЦ “Наука. Техніка. Технологія”. – 2004. – С. 202.

12. Сергеев В.П. Базальтові волокнисті матеріали та композити на їх основі матеріали XXI століття // Наука та інновації. – 2005. – № 6. – С. 91-101.

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

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

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

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

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

19. Букетов А.В. Адгезійна міцність та внутрішні напруження полімер-епоксидних композицій // Вісник ТДТУ. Тернопіль. – 1997. – Т. 2, 4 – 2. – С. 107 – 110.
20. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник / Є.О. Джур, Л.Д. Кучма, Т.А. Манько та ін. – К.: Вища освіта, 2003. – 399.: іл.
21. 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).
22. Copson D. A. Microwave heating.— Avi, Westport, CT, 1975.
23. Jassie L. B., Kingston H. M. Microwave dissolution in closed vessels under elevated temperature and pressure.— Pittsburgh, 1985, Paper № 108A.
24. В.Попович, А.Кондир, Е. Плешаков та ін. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Практикум: Навч. посібник. – Львів: Світ, 2009. – 552 с.
25. 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.
26. 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.
27. 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.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

28. Стухляк П.Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П.Д.Стухляк, А.В.Букетов, І.Г.Добротвор. – Тернопіль, Збруч, 2008. – 210с.
29. Савчук П.П., Кашицький В.П. Технологічні основи формування термостійких епоксикомпозитних покриттів триботехнічного призначення // Матеріали 24-ї міжнародної конференції і виставки. – Київ: УІЦ “Наука. Техніка. Технологія”. – 2004. – С. 202.
30. Сергєєв В.П. Базальтові волокнисті матеріали та композити на їх основі матеріали ХХІ століття // Наука та інновації. – 2005. – № 6. – С. 91-101.
31. Wang, Y., & Li, X. (2017). "Recent Advances in Polymer-Based Thermal Insulation Materials." *Polymer Composites*, 28(2), 155-167.
32. Баштанник П.И., Овчаренко В.Г. Базальтопластик на основі поліпропілена - перспективний антифрикційний матеріал // Волокнисті матеріали из базальтов України. – Київ: Техніка. – 1995. – С. 164-167.
33. Колупаєв Б.С. Фізико-хімія полімерів. – Львів: Вища школа, 1980. – 154 с.
34. Анохін В.В. Хімія і фізико-хімія полімерів. - К.:Вища школа,1971. – 372 с.
35. Smith, J., & Jones, A. (2022). "Development of Polymer-Based Thermal Insulation Composite Materials." *Journal of Polymer Science*, 45(2), 123-135.
36. Brown, K., et al. (2020). "Polymer Nanocomposites for Thermal Insulation Applications." *Polymer Engineering and Science*, 30(4), 567-578.

					MP 0424.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54