

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій  
Кафедра хімії і хімічної технології

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ В.Л. Чумак  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР  
за спеціальністю: 161 «Хімічні технології та інженерія»,  
освітньо-професійної програми «Хімічні технології палива та вуглецевих  
матеріалів»

**Тема: «Вплив смол, отверджувачів та наповнювачів на  
властивості композитів»**

Виконавець: студент групи ХП - 205М Двигон В.О. \_\_\_\_\_  
Керівник: професор, Чумак В.Л. \_\_\_\_\_  
Консультант розділу «Охорона праці»: \_\_\_\_\_ Халмурадов Б.Д.  
Консультант розділу «Охорона навколишнього  
середовища»: \_\_\_\_\_ Дмитруха Т.І.  
Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Столярова Н.В.

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій  
Кафедра хімії і хімічної технології  
Спеціальність: 161 «Хімічні технології та інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.Л. Чумак

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи**

Двигона Василя Олександровича

1. Тема дипломної роботи: «Вплив смол, отверджувачів та наповнювачів на властивості композитів» затверджена Наказом ректора від 19.11.2019 р. №26871/ст.
2. Термін виконання роботи: 14.10.2019 р. по 07.02.2020 р.
3. Вихідні дані до роботи: епоксидні смоли Telalit Ероху 619, Elan-tech EC157, Larit LR285, отверджувачі Telalit 410, Elan-tech W152 HR, Larit LH285, Склотканина 163 г/м<sup>2</sup>
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Основна частина. Розділ 1. Літературний огляд. Розділ 2. Методи і матеріали дослідження. Розділ 3. Експериментальна частина. Розділ 4. Охорона праці. Розділ 5. Охорона навколишнього середовища. Висновки. Список використаної літератури.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:
  - отримані експериментальні і розрахункові залежності.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
--------	----------	------------------	------------------------

1.	Одержання теми дипломної роботи. Ознайомлення з літературою	02.09.19 - 20.09.19	
2.	Систематизація знайденого матеріалу. Робота над літературним оглядом	21.09.19- 27.09.19	
3.	Підготовка та налаштування приладів та обладнання для проведення досліджень.	1.10.19- 13.10.19	
4.	Проведення дослідження, одержання даних та оформлення експериментальної частини і висновків	14.10.19- 17.11.19	
5.	Оформлення розділу: «Охорона навколишнього середовища»	18.11.19- 24.01.19	
6.	Оформлення розділу: «Охорона праці»	25.11.19- 1.12.19	
7.	Остаточне оформлення дипломної роботи. Оформлення презентації	2.12.19- 19.01.19	
8	Підготовка виступу для захисту дипломної роботи	20.01.19- 07.02.19	

#### 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	доцент Халмурадов Б.Д.		
Охорона навколишнього середовища	к.т.н., доц. Дмитруха Т. І.		

Дата видачі завдання: “ 14 ” жовтня 2019 р.

Керівник дипломної роботи: \_\_\_\_\_ проф. Чумак В.Л.

Завдання прийняв до виконання: \_\_\_\_\_ Двигон В.О.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Вплив смол, отверджувачів та наповнювачів на властивості композитів»: 92 сторінки, 29 рисунків, 17 таблиць, 33 використаних джерел.

**Мета дипломної роботи** - дослідження впливу смол, отверджувачів та наповнювачів на властивості композитів з використання сучасних методів дослідження та аналізу.

**Об'єкт** – зміна властивостей та характеристик композитних матеріалів при зміні складових частин, епоксидних смол, отверджувачів та наповнювачів

**Предмет** – композитні матеріали на основі епоксидних смол Telalit Epoxy 619, Elan-tech EC157, Larit LR285, отверджувачі Telalit 410, Elan-tech W152 HR, Larit LH285 та наповнювача склотканини 163 г/м<sup>2</sup>

**Методи дослідження** – виготовлення різних композитних матеріалів та проведення дослідження отриманих зразків на розривній машині сервогідравлічного типу.

*ЕПОКСИДНІ СМОЛИ TELALIT EPOXY 619, ELAN-TECH EC157, LARIT LR285, ОТВЕРДЖУВАЧІ TELALIT 410, ELAN-TECH W152 HR, LARIT LH285, РЕАКЦІЯ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ, АВТОКАТАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ, ДОСЛІДЖЕННЯ НА РОЗРИВ, ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ, АНАЛІЗ, ПОРІВНЯННЯ*

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	
<b>ОСНОВНА ЧАСТИНА</b> .....	<b>12</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1. Класифікація композитних матеріалів</b> .....	12
<b>1.2. Види композитних матриць</b> .....	16
<b>1.3. Застосування композитних матеріалів</b> .....	32
<b>1.4. Методи одержання епоксидних смол</b> .....	35
<b>1.5. Діанові епоксидні олігомери</b> .....	39
<b>1.5.1 Технологія виробництва діанових епоксидних смол</b> .....	41
<b>1.6. Процеси отвердіння епоксидних олігомерів за допомогою         отверджувачів амінного типу</b> .....	46
<b>1.7. Автокаталітичні реакції</b> .....	48
<b>1.8. Висновки до розділу</b> .....	51
<b>РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	<b>52</b>
<b>2.1 Сутність методу</b> .....	52
<b>2.2. Прилади для вимірювання</b> .....	53
<b>2.3. Зразки</b> .....	55
<b>2.4. Підготовка до випробування</b> .....	57
<b>2.5. Проведення випробувань</b> .....	58
<b>2.6. Обробка результатів</b> .....	58
<b>2.7. Висновки до розділу</b> .....	59
<b>РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА</b> .....	<b>60</b>
<b>3.1. Одержання досліджуваних зразків композитів</b> .....	60
<b>3.2. Порівняльний аналіз композитних матеріалів</b> .....	61

3.3. Висновки до розділу.....	68
<b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....</b>	<b>69</b>
4.1. Аналіз умов праці.....	69
4.1.1. Організація робочого місця .....	69
4.1.2. Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників.....	69
4.1.3. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників .....	70
4.1.3.1. Мікроклімат приміщень .....	70
4.1.3.2. Шкідливі речовини в повітрі робочої зони .....	71
4.1.3.3. Природне та штучне освітлення .....	74
4.1.3.4. Електробезпека.....	75
4.2. Пожежна безпека.....	76
4.3. Розрахункова частина .....	77
4.4. Висновки до розділу.....	78
<b>РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....</b>	<b>80</b>
5.1. Вплив виробництва епоксидних матеріалів на навколишнє середовище.....	80
5.2. Вплив епоксидних смол на організм людини .....	84
5.3 Заходи щодо зменшення шкідливого впливу.....	85
5.4. Висновки до розділу.....	88
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>89</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>90</b>

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

Telalilt EPOXY 619 - низькомолекулярна епоксидна смола, модифікована трьохфункціональним реактивним розчинником, двокомпонентна система.

Elan-tech EC157 – двокомпонентна система низької в'язкості для використання при вакуумній інфузії..

Larit LR285 - двокомпонентна система низької в'язкості

Telalilt EPOXY 410 - модифікований аміноаддуктовий тип Т на основі аліфатичного поліаміну.

Elan-tech W152 HR – високошвидкісний отверджувач амінного типу.

Larit LH285 – отверджувач низької в'язкості на основі насиченого поліефіру.

ЕС – епоксидні сполуки

КМ – композитні матеріали

ViSS Vi-00-202V – Високоточна сервогідравлічна машина із цифровим керуванням

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Завдяки високій хімічній і механічній стійкості композитних матеріалів та збільшенню попиту в наш час отримали досить широке застосування в різних галузях промисловості.

Епоксидні полімери володіють таким комплексом властивостей, які у багатьох випадках роблять їх незамінними в якості основи клеїв, лакофарбових покриттів, компаундів та склопластиків. Епоксидні олігомери мають високу механічну стійкість, високу адгезію до різних матеріалів, високі електроізоляційні властивості, тепло- і вологостійкість. Завдяки цьому епоксидні смоли зайняли важливе місце в ряду промислових полімерних матеріалів. Так, наприклад, використання склопластикових труб при будівництві нафто-, газо-, реагенто- і пульпопроводів у нафтовій, хімічній і гірничо-переробній промисловості, систем водопостачання в комунальному господарстві дозволяє одержати значний економічний ефект і кардинально вирішити проблему корозійного захисту трубопроводів. Однак серійне виробництво склопластикових труб вимагає створення ефективного технологічного процесу їхнього виготовлення, що забезпечує одержання виробів високої якості і низької собівартості. Тому промисловий випуск, застосування та розробка нових епоксидних полімерів і композицій на їх основі є актуальними і розвиваються швидкими темпами.[4]

Домінуюче положення у різних галузях промисловості займають епоксидні смоли на основі дифенілолпропану (діанові епоксидні смоли), які утворюють після отвердіння полімери просторової будови. Технологічні властивості покриттів на їх основі мають настільки важливе значення, що роботи в області модифікації і отвердіння діанових епоксидних смол все більше приваблюють увагу багатьох дослідників [5].

Варто відзначити, що загальним недоліком діанових епоксидних смол при застосуванні їх у якості основи для зв'язуючих матеріалів є їх висока в'язкість,



яка сильно позначається на технологічності епоксидних зв'язуючих. Також суттєвим недоліком є їх повільна полімеризація, яка гальмує виробничий процес.

За допомогою високоточної сервогідравлічної розривної машини, можна дослідити властивості композитних матеріалів, проаналізувавши отримані дані можна оптимізувати та прискорити технологічні процеси виробництва композитних матеріалів.

**Мета і завдання.** Метою даної роботи є виготовлення досліджуваних зразків та подальше дослідження зміни властивостей від заміни компонентів композитного матеріалу, проведення експерименту на високоточній сервогідравлічній машині, аналіз експериментальних даних, порівняння різних видів композитних матеріалів для оптимізації технологічних процесів та самого процесу виготовлення композитних матеріалів.

Для досягнення поставленої мети було поставлені наступні завдання:

1. провести літературний огляд композитних матеріалів їх видів, властивостей та процесу перебігу реакцій полімеризації епоксидних смол;
2. проаналізувати існуючі експериментальні методи виготовлення та дослідження композитних матеріалів;
3. виготовити заготовки композитних матеріалів з різних видів смол, отверджувачів та наповнювачів.
4. виготовити з заготовок композитних матеріалів зразки для проведення досліджень;
5. вивчити методи експериментальних досліджень композитних матеріалів;
6. провести дослідження на високоточній сервогідравлічній розривній машині виготовлених зразків.
7. побудувати графіки залежності розтягу від прикладеної сили для досліджуваних зразків.
8. згідно отриманих даних провести порівняння досліджуваних зразків композитних матеріалів.

### **Об'єкт і предмет дослідження.**

*Об'єктом дослідження* є процес полімеризації композитів на основі епоксидних смол Telalit Ероху 619, Elan-tech EC157, Larit LR285, отверджувачі Telalit 410, Elan-tech W152 HR, Larit LH285 та наповнювача склотканини 163 г/м<sup>2</sup>.

*Предметом дослідження* проведення досліджень композитних матеріалів та аналіз отриманих результатів для порівняння їх властивостей.

**Методи дослідження.** Для поставленої в роботі мети використано такі методи дослідження:

- метод для визначення міцності композитних матеріалів для допомогою сервогідравлічної розривної машини високої точності.
- математична обробка отриманих даних після проведення експериментів, побудова графіків залежності та порівняння отриманих даних.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Було проведено порівняльна характеристика композитних матеріалів виготовлених з різних видів складових

Визначено властивості та порівняно результати, обрано найбільш оптимальний вид композитного матеріалу для оптимізації технологічних процесів та розширення меж при конструюванні нових виробів.

**Особистий внесок випускника.** Випускник самостійно підібрав і проаналізував наукову літературу з даної теми. Сам розробив та виготовив композитні матеріали з епоксидних смол Telalit Ероху 619, Elan-tech EC157, Larit LR285, отверджувачі Telalit 410, Elan-tech W152 HR, Larit LH285 та наповнювача склотканини 163 г/м<sup>2</sup>. З виготовлених композитних матеріалів виготовив зразки для проведення досліджень на розривній машині.

Провів дослідження в випробувальній лабораторії дослідження на сервогідравлічній розривній машині високої точності.

Проаналізував отримані дані, провів математичний аналіз та побудував графіки залежності порівняння композитних матеріалів.

Визначив найбільш якісний для використання та оптимізації технологічних процесів вид композитного матеріалу.

# ОСНОВНА ЧАСТИНА

## РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

### 1.1. Класифікація композитних матеріалів

Композитним матеріалом називають штучно створений неоднорідний суцільний матеріал, що складається з двох і більше компонентів, окремих армованих матеріалів та наповнювачів або інших складових та матриці, що їх сполучає, з розділювачем між ними. Властивості композиту за визначенням мають відрізнятися від властивостей його складових. Складові компоненти композитів не повинні розчинятися або поглинати один одного. Компоненти мають бути добре сумісні.

Для того щоб систематизувати композитний матеріал за різними ознаками, необхідно реалізувати процедуру вибору композитного матеріалу для виготовлення різних видів деталей, впорядкувати термінологію в галузі матеріалознавства композитів, необхідна обґрунтована класифікація цих матеріалів. Немає єдиної загальноприйнятої класифікації композитних матеріалів. Це пояснюється тим, що композитні матеріали представляють широкий клас матеріалів, що поєднує метали, полімери та кераміку. Найбільш часто використовується класифікація композитних матеріалів, в основу якої покладено їх поділ за матеріалом.

**Класифікація композитних матеріалів за матеріалом з якого виготовлена матриця.** Композитний матеріал з металевою матрицею називають металевими композитними матеріалами МКМ, з полімерною матрицею - полімерними композитними матеріалами ПКМ, з керамічною - керамічними композитними матеріалами ККП. Композитні матеріали, що містять два і більше різних за складом матричних матеріалів, називають поліматричним [1].

Назва ПКМ зазвичай складається з двох частин. У першій частині називається матеріал наповнювача, в другій наводиться слово «пластик», або «волокна». Наприклад, полімерні композити, армовані скловолокном,

називаються склопластиками; вуглецевими волокнами – вуглепластик, металевими волокнами - металопластик, органічними волокнами - органопластика, борними волокнами - боропластиками,.

Для характеристики МКМ частіше використовують подвійне позначення: спочатку пишуть матеріал матриці, потім - матеріал волокока. Наприклад, позначення мідь - вольфрам ( $Cu - W$ ) відповідає композитному матеріалу, в якому матрицею є мідь, а волокнами - вольфрам. Для ККМ характерно таке ж позначення, як і для МКМ. Наприклад, позначення окис алюмінію-молібдену ( $Al_2O_3 - Mo$ ) відповідає композитному матеріалу з матриці окису алюмінію і молібденовими волокнами. У деяких випадках для позначення композитного матеріалу використовується одне складне слово, наприклад бороалюміній або вуглеалюміній. У цьому випадку перша частина слова відповідає матеріалу волокна, а друга - матеріалу матриці.

**Класифікація композитних матеріалів за геометрією армуючих елементів.** Класифікація відповідно до геометрії армуючих елементів (порошки, гранули, волокна або пластини) наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація композитних матеріалів відповідно до геометрії армуючих елементів

Армуючий елемент	Композитні матеріали
Порошки	Порошкові – дисперсно-зміцнені композитні матеріали
Волокна	Волокнисті – композитні матеріали, армовані безперервними і дискретними волокнами
Пластини	Пластичні - шаруваті композитні матеріали, що складаються з безперервних і дискретних пластин які чергуються

**Класифікація композитних матеріалів за структурою і розташуванням компонентів.**

Відповідно до цієї класифікації композитні матеріали діляться на групи з матричною, шаруватою, каркасною і комбінованою структурою. Матричну структуру мають дисперсно- зміцнені і армовані композитні матеріали. До

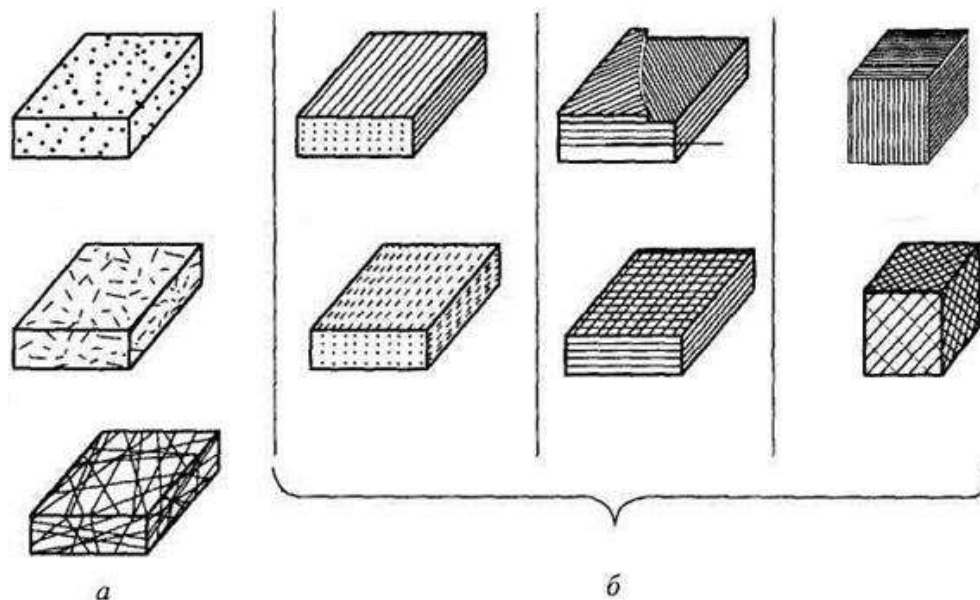
матеріалів з шаруватою структурою відносяться композити отримані з набору шарів, що чергуються, листів матеріалів різної природи і складом. До композитних матеріалів із каркасною структурою відносяться матеріали, отримані методом просочування. Комбіновану структуру мають матеріали, що містять комбінації перших трьох груп.

**Класифікація матричних композитних матеріалів по схемі армування, конструкційний принцип.** За орієнтацією і типом арматури всі композитні матеріали можна розділити на дві групи - ізотропні та анізотропні. Ізотропними називають матеріали, які мають однакові властивості в усіх напрямках. Властивості анізотропних матеріалів залежать від напрямку в досліджуваному об'єкті.

Композитні матеріали з матричною структурою діляться на хаотично-армовані і впорядковано-армовані (рис.1.1). Хаотично-армовані композитні матеріали містять армуючі елементи у вигляді дисперсних частинок, дискретних або безперервних волокон. Ці матеріали є ізотропним або квазіізотропними. Термін квазіізотропний означає, що композитний матеріал є анізотропним в мікрообсязі, але ізотропним в обсязі всього виробу [2].

**Класифікація композитних матеріалів по методам отримання (технологічний принцип).**

Відповідно до цієї класифікації композитні матеріали діляться на матеріали, отримані рідкофазними та твердофазними методами, а також методами осадження - напилення, комбінованими методами.



*а - хаотичні, б - одномірні і просторово армовані*

Рисунок.1.1. – Класифікація композитних матеріалів за конструктивною ознакою: [3]

До рідкофазних методів належить просочення (просочення арматури полімерами або розплавленими металами) і спрямована кристалізація сплавів. До твердофазних методів отримання композитних матеріалів відносяться прокатка, екструзія, кування, штампування, ущільнення вибухом, дифузійне зварювання, волочіння. Композитні матеріали, одержувані твердофазними методами, використовуються у вигляді порошку або тонких листів. При отриманні композитних матеріалів методами осадження - наплення матриці наноситься на волокна з розчинів солей або інших сполук, з парогазової фази, з плазми. Комбіновані методи полягають в послідовному або паралельному застосуванні декількох методів.

**Класифікація композитних матеріалів за призначенням.** Класифікація композитних матеріалів за призначенням досить умовна, оскільки часто композити є багатофункціональними матеріалами. Проте, серед безлічі композитних матеріалів виділяють матеріали загального конструкційного призначення (несучі конструкції суден, літаків, автомобілів), жароміцні матеріали (лопатки турбін літаків, камери згорання), термостійкі матеріали (вироби, що працюють в умовах частих тепловмін), фрикційні матеріали (гальмівні колодки), антифрикційні матеріали (підшипники ковзання), міцні матеріали (броня літаків,

танків), теплозахисні матеріали, матеріали зі спеціальними властивостями (магнітними, електричними).

Поняття матриця характеризує безперервну просторову фазу, відповідальну за збереження конфігурації виробу, передачу експлуатаційних навантажень на арматуру, опір дії інших зовнішніх факторів.

Розробка полімерних матриць для ПКМ - серйозна і важлива проблема, оскільки багато властивостей композиту визначаються структурою матриці.

Вимоги до матриць можна розділити на 3 групи:

- до першої групи можна віднести міцність, жорсткість, теплостійкість полімерної матриці,
- до другої - пластичність, тріщиностійкість, ударну в'язкість;
- до третьої - засвоюваність, технологічність.

Завдання дослідника, який конструює композитний матеріал, знайти компроміс, оптимізувати характеристики, врахувавши екологічні, технологічні, економічні та інші чинники.

Можна виділити наступні типи матриць: металеві (алюміній і сплави, магнієві сплави, титан і його сплави, мідь, сплави нікелю і кобальту); полімерні (термопласти: поліетилен, полістирол, політетрафторетилен, полівінілхлорид, поліфеніленоксид, поліфеніленсульфід, поліетилентерефталат, полікарбонат, поліаміди; реактопласти: фенолоальдегідні смоли, аміносмоли (карбамідоформальдегідні смоли, меламіноформальдегідні, аніліноформальдегідні смоли), ненасичені полієфірні смоли, епоксидні, поліуретанові смоли; еластомери: ізопренові каучуки, керамічні (звичайна кераміка: силікати; технічна кераміка: оксиди  $Al_2O_3$ , карбіди  $SiC$ , нітриди  $Si_3N_4$ , бориди  $TiB_2$ , сульфід  $BeS$ ; кермети: сполуки, що містять керамічну ( $Al_2O_3$ ) і металеву складову ( $Cr, Ni, Co, Fe$ )).

## 1.2. Види композитних матриць

**Металеві матриці.** Алюмінієві і ливарні сплави на їх основі найбільш часто застосовуються при виготовленні композитів. Алюміній використовується при отриманні композитів як рідкофазними так і твердофазними методами. При



виготовленні композитних матеріалів твердофазними методами широко застосовують алюмінієві сплави. Переваги алюмінієвих сплавів: мала щільність, високий рівень механічних властивостей, висока технологічна пластичність. Для отримання композитів рідкофазними методами (литтям, просоченням) застосовують ливарні алюмінієві сплави. Також ці сплави містять окрім алюмінію, *Mg*, *Si*, *Mn*, *Cu* в незначних кількостях і відрізняються підвищеною вологотекучістю, малою лінійною усадкою, зниженою схильністю до утворення тріщин при підвищених температурах. Композитні матеріали на основі алюмінію також можуть бути отримані методами порошкової металургії і газотермічного напилення.

Високою питомою міцністю та малою щільністю володіють магнієві сплави. Магній практично не реагує з багатьма матеріалами, котрі використовуються для отримання армуючих волокон. Висока питома міцність титану і його сплавів дозволяє широко використовувати їх в літакобудуванні та космічній галузях. Армуючи титан і його сплави високомодульними волокнами, можна забезпечити високу жорсткість композитних матеріалів. Низький рівень властивостей при підвищених температурах обмежує застосування міді. При виробництві композитних матеріалів можливе усунення цього недоліку за рахунок армування міді волокнами вольфраму, заліза, графіту.

Недоліком композитних матеріалів на основі технічно чистого нікелю є їх низька термостійкість. Для усунення цього недоліку застосовують термоміцні і ливарні сплави *Ni – Cr*. Високий рівень міцності, опору повзучості сплавів, що деформуються досягається додаванням титану і алюмінію, що утворюють дисперсні частинки інтерметалідів типу *Ni<sub>3</sub>Ti* і *Ni<sub>3</sub>Al*, а також легуванням тугоплавкими елементами *W*, *Mo*, *Nb*. Композитні матеріали на основі нікелевих сплавів отримують за допомогою рідкофазних і твердофазних методів, а також методами порошкової металургії.

Кобальт і його сплави застосовують у вигляді порошків, розплавів або частинок, що наносяться газофазними методами. Від нікелевих сплавів кобальтові сплави відрізняють за меншою міцністю при підвищених температурах, що

пояснюється відсутністю інтерметаллідним зміцненням. Рідкофазні методи отримання композитних матеріалів придатні як для ливарних, так і для сплавів, що деформуються.

**Полімерні матриці.** Полімерну матрицю для композитних матеріалів обирають, враховуючи умови експлуатації виробів. Від матеріалу матриці залежать властивості композиту: міцність, тепло- і вологостійкість, стійкість до агресивних середовищ, методи отримання виробу.

Полімери в якості матриці використовують або в чистому вигляді (порошки, гранули, плівки), або у вигляді сполучених матеріалів. Сполучені матеріали представляють собою дво- або багатокomпонентну систему з синтетичного полімеру і затвердувачів, ініціаторів або каталізаторів, прискорювачів полімеризації. В сполучних матеріалах з метою надання необхідних технологічних і експлуатаційних властивостей можуть бути додані розчинники, барвники, пластифікатори, стабілізатори та інші компоненти.

При виробництві армованих пластиків найбільш часто застосовують терморективні сполучення, при нагріванні яких відбуваються незворотні структурні і хімічні перетворення, безперервно розширюється використання термопластичних полімерів і еластомерів. Нижче подано коротку характеристику основних типів полімерів, що знайшли застосування при виготовленні ПКМ.

Терморективні полімери під дією тепла і хімічно активних добавок можуть набувати просторової структуру, що супроводжується втратою плинності. Терморективні полімери застосовуються в чистому вигляді, коли вони містять тільки структуровані добавки. Зазвичай в них вводять сумісні і несумісні добавки, такі, як наповнювачі, розріджувачі, загусники, стабілізатори, барвники, мастила, і завдяки цьому отримують складні багатокomпонентні матеріали - реактопласти. В якості сполучних використовуються олігомери з молекулярною масою до 1500, в молекулі яких є більше двох функціональних груп. На початковій стадії отримання матеріалів і виробів терморективні сполучення мають низьку в'язкість, що полегшує процес формування виробів.

Різниця в хімічній структурі термореактивних зв'язуючих, широкий спектр зміцнювачів, ініціаторів полімеризації, що модифікуються добавками, використанням різних наповнювачів дозволяють отримувати конструкційні матеріали з дуже великим діапазоном міцності, електротехнічних та інших експлуатаційних характеристик. Залежно від типу сполученого реактопласту розділяються на фенопласти, амінопласти, поліефірні, епоксидні, поліуретанові, кремнійорганічні та інші пластики.

Фенолоальдегідні смоли - це продукти взаємодії фенолів і альдегідів, зазвичай фенолу і формальдегіду. Залежно від умов отримання кінцеві продукти розрізняються за хімічною будовою (рис.1.2), молекулярною масою і здатністю до полімеризації. Розрізняють два види фенолоформальдегідних смол - резольні (термореактивні смоли, отримують при надлишку формальдегіду) і новолачні (термопластичні смоли, отримують при надлишку фенолу).

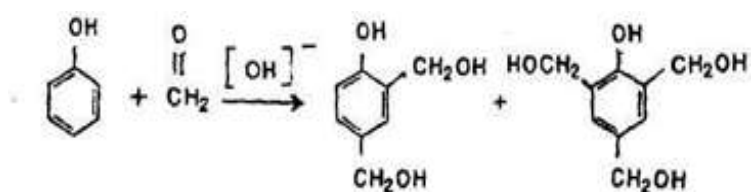


Рисунок 1.2. – Хімічна будова фенолоальдегідної смоли [3]

У не полімеризованому стані фенолформальдегідні смоли представляють собою тендітну прозору аморфну масу, яка переходить в рідкий стан при 60 – 120°C. Властивості резольних смол з часом змінюються, а новолачні смоли під час відсутності вологи при зберіганні стабільні.

Максимальна температура затвердіння смол лежить в діапазоні 140 – 200°C. Продуктами полімеризації смол є матеріали з некристалічною структурою, що володіє високими характеристиками міцності, електроізоляційними, антикорозійними властивостями. Резини стійкі до дії більшості кислот. Температура деструкції фенолформальдегідних смол вище 300 °С.

Переробка фенолформальдегідних смол при виробництві полімерних композитних матеріалів включає просочення тканих і нетканих волокнистих наповнювачів, скло-, вуглепластиків та інших матеріалів. Після полімеризації

композитні матеріали обробляються методами прямого і ливарного пресування, литтям під тиском, екструзії, вакуумного формування.

Епоксидні смоли (ЕС) - мономерні, олігомерні або полімерні розчинні сполуки, до складу молекул яких входить не менше двох епоксидних або гліциділових груп. Отримання ЕС проводиться при конденсації в лужному середовищі епіхлоргідрину або дихлоргідрину гліцерину з сполуками, що містять рухливі атоми водню (фенолами, амінами, гліколями, кислотами), а також при прямому епоксидуванню не граничних з'єднань органічними пероксикислотами або пероксидом водню [4]. Реакція між епіхлоргідрином і дифенілопропаном (рис.1.3) призводить до отримання діанової епоксидної смоли:

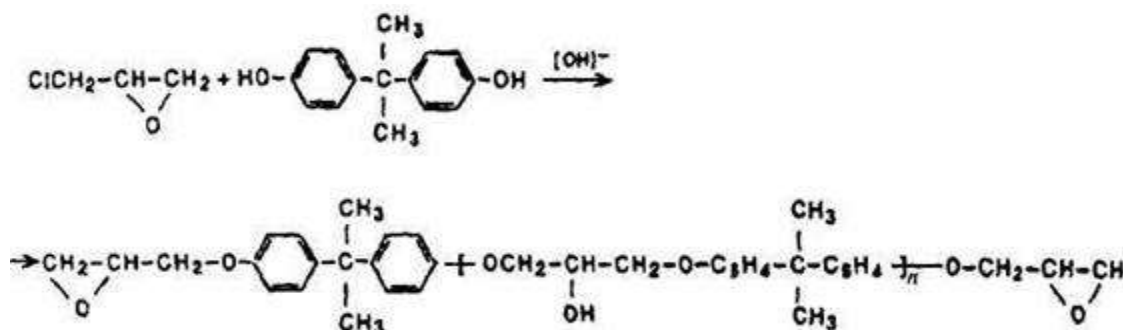


Рисунок 1.3. – Реакція між епіхлоргідрином і дифенілопропаном [3]

Не полімеризовані смоли є термопластичними рідинами або крихкими твердими речовинами. У молекулах діанових смол є функціональні групи двох типів - епоксидні і гідроксильні. Тому полімеризація цих смол можуть бути сполуки різних класів, а режими полімеризації знаходяться в широкому діапазоні: як без підведення тепла, так і при нагріванні.

Технологія отримання матеріалів на основі епоксидних смол полягає в просочуванні волокон тканин, полімеризації і обробці методами прямого пресування, контактного формування, вакуумного формування та ін. Температура обробки становить 20 – 180 °С.

Поліетилен (ПЕ) - один з найбільш широко застосовуваних полімерів. Промислово випускається поліетилен низького тиску (ПЕНТ) і поліетилен високого тиску (ПЕВТ). Міцність, теплостійкість і хімічна стійкість ПЕНТ вище, ніж ПЕВТ. Газопроникність, навпаки, вище у ПЕВТ. Деструкція поліетилену

протікає при температурі вище 290°C, а сонячна радіація веде до термостаріння. При кімнатній температурі поліетилен стійкий до дії розбавлення сірчаної та азотної кислот, концентрованої соляної, фосфорної і плавикової кислот, володіє низьким водопоглинанням. ПЕ переробляється литтям під тиском, екструзією, пресуванням, добре зварюється і механічно обробляється.

Поліпропілен (ПП) має високу зносостійкість і добре витримує згин. За відсутності повітря термодеструкція проявляється вище 300°C. Поліпропілен стійкий до дії багатьох кислот і лугів. Концентрована сірчана кислота слабо руйнує поліпропілен при кімнатній температурі та сильно при температурі менше 60°C. До дії сильних окислювачів поліпропілен нестійкий. Поліпропілен переробляється литтям під тиском, екструзією, вакуумформуванням, роздуванням, зварюванням, пресуванням, напиленням, обробляється різанням.

Полістирол (ПС) - крихкий полімер, що володіє високою радіаційною стійкістю, легко піддається старінню. Термічна деструкція починається вище температури вище 266°C. Полістирол стійкий до дії деяких мінеральних і органічних кислот, лугів, трансформаторного масла, руйнується при дії концентрованої азотної і оцтової кислот.

Технологія переробки полістиролу: литтям під тиском, екструзією, вакуумформування.

Поліаміди (ПА) в нашій країні добре відомі по маркам «нейлон-7», «нейлон-11». Отримують за допомогою іонної полімеризації капролактаму ( $NH-CO-(CH_2)$ ). Для полімерів характерна висока атомна міцність, зносостійкість, ударна в'язкість, низька гігроскопічність, стабільність властивостей при підвищених температурах, різко виражена температура плавлення. Поліаміди стійкі до дії органічних розчинників.

Основні способи отримання виробів з аліфатичних поліамідів - лиття під тиском і екструзією. Ароматичні поліаміди переробляються методом прямого пресування з попереднім підігрівом.

Полііміди (ПІ) отримуються поліконденсацією піромеллітової кислоти і діамінодифенілоксида. Фізико-механічні властивості поліімідів стабільні в

широкому температурному інтервалі (від мінус 200 до плюс 300°C). Для виробів, виготовлених з поліімідів, характерні висока стабільність розмірів, низька повзучість при високих температурах, висока термостійкість і стійкість до дії  $\gamma$  - випромінювання, швидких електронів і нейтронів. Розбавлені кислоти майже не діють на поліімід. Мають низький коефіцієнт тертя по сталі (0,05 – 0,17). Прес-порошки поліімідів переробляються методами прямого і компресійного пресування, лиття під тиском, гарячого пресування.

Таким чином, для більшості термопластів характерна більш висока продуктивність і більш інтенсивні методи переробки, формування деталей менш енергоємне, формування великої складної конфігурації деталей; вторинна переробка, знижена горючість, димовиділення при горінні і токсичність продуктів горіння, висока стійкість до випромінювання, поєднання високої міцності і теплостійкості (поліефірсульфон, поліефірімідів, поліфеніленсульфід) з високою ударною міцністю і тріщиностійкістю.

Еластомери застосовуються в промисловості для переробки пластмас, частіше як високомолекулярні пластифікатори для зниження крихкості склоподібних або кристалічних полімерів.

Застосування еластомерів в складі полімерних композитних матеріалів ускладнено зниженим опором теплового старіння і термоокислювальної деструкції. Крім того, підвищена липкість, деформованість еластомерів зазвичай не дозволяють випускати їх в гранульованому вигляді (лише деякі еластомери доступні сьогодні в вигляді гранул), що також ускладнює їх використання.

Проте, застосування еластомерів як компонентів сумішевих композитних матеріалів (в тому числі конструктивних) безперервно розширюється.

**Керамічні матриці.** В даний час розрізняють звичайну і технічну кераміку.

До складу звичайної кераміки входять силікати ( $SiO_2$ ), тому промисловість, що випускає звичайну кераміку, називають силікатною. У техніці використовується кераміка спеціального призначення (технічна кераміка), до складу якої входять різні оксиди, карбіди, нітриди, бориди, силіциди, сульфід.

Відомі приклади розробки кераміки змішаного типу. Наприклад, на основі двох типів кераміки - іонної оксидної  $AlO_3$  і ковалентного безкисневого  $Si_3N$  - створено ефективний матеріал, сіалон, загальна формула  $Si_{6-x}Al_xN_{8-x}O_x$ , з якого виготовлені дослідні зразки блоків циліндрів двигунів внутрішнього згорання, газотурбінних лопаток.

У деяких випадках до класу керамічних матеріалів умовно відносять і матеріали, котрі називають кермет - керамікометалічні матеріали типу оксид алюмінію - метал (наприклад хром). Крім оксиду алюмінію можуть бути використані оксиди магнію, берилію, титану, цирконію, хрому та інших елементів. Металевою складовою слугує нікель, кобальт, залізо, деякі металеві сплави. Іноді під керамікою розуміють тверда речовина, що характеризується неметалевою природою зв'язку і неполімерною структурою, тобто керамікою є все, що не є металом і полімером.

За функціональним призначенням розрізняють механо-, термо-, електро-, магнето-, опто-, хемо-, біо-, ядерну та надпровідну кераміку. Основними властивостями механокераміки є твердість, міцність, модуль пружності, в'язкість руйнування, зносостійкість, коефіцієнт лінійного термічного розширення, термостійкість. Забезпечують ці властивості з'єднаннями  $Si_3N_4$ ,  $ZrO_2$ ,  $SiC$ ,  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$ ,  $TiC$ ,  $TiN$ ,  $WC$ ,  $B_4C$ ,  $Al_2O_3$ ,  $BN$ , жаростійкість, вогнетривкість [5]. Як керамічну складову використовують  $SiC$ ,  $TiC$ ,  $B_4C$ ,  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$ ,  $Si_3N_4$ ,  $BeS$ ,  $CeS$ ,  $BeO$ ,  $MgO$ ,  $ZrO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO$ .

Як приклади керамічних матеріалів, які успішно застосовуються: карбід кремнію (захист графіту від окиснення, вкладиші сопел порохових і деяких рідкорективних двигунів), карбід титану (жароміцні матеріали для виготовлення деталей реактивної і атомної техніки), нітрид бору (обтічників антен і електронного обладнання літальних апаратів).

Основними перевагами керамічних матеріалів є високі температури плавлення, висока міцність в умовах дії напруг, хімічна стійкість в агресивних середовищах. До сучасних керамічних матеріалів конструктивного призначення пред'являються і інші вимоги: забезпечення високих характеристик міцності,

підвищеної ударної в'язкості і інших властивостей, характерних для металевих конструктивних матеріалів.

Основним недоліком конструктивної кераміки, стримуючим її широке поширення як конструктивного матеріалу, є низький рівень тріщиностійкості (в'язкості та руйнування). Низька тріщиностійкість кераміки обумовлена високою міцністю хімічних зв'язків, характерних для неї. Матеріали, що володіють нековалентним типом зв'язку, як правило, є міцними і крихкими.

Створені композитні матеріали з комбінованими матрицями, які складаються з двох і більше різних за хімічним складом шарів. Композитні матеріали з комбінованими матрицями називаються поліметричними. Для них характерний більш широкий перелік корисних властивостей.

У матриці рівномірно розподілені наповнювачі, які називаються ще зміцнювачами, так як вони грають головну роль в підвищенні міцності матеріалу. Наповнювачі ще називають армуючими компонентами.

Властивості композитного матеріалу залежать від форми, геометрії, розміру, кількості і характеру розподілу наповнювача. За формою наповнювачі поділяють на три основні групи (рис.1.4): нуль вимірні, одновимірні, двовимірні.

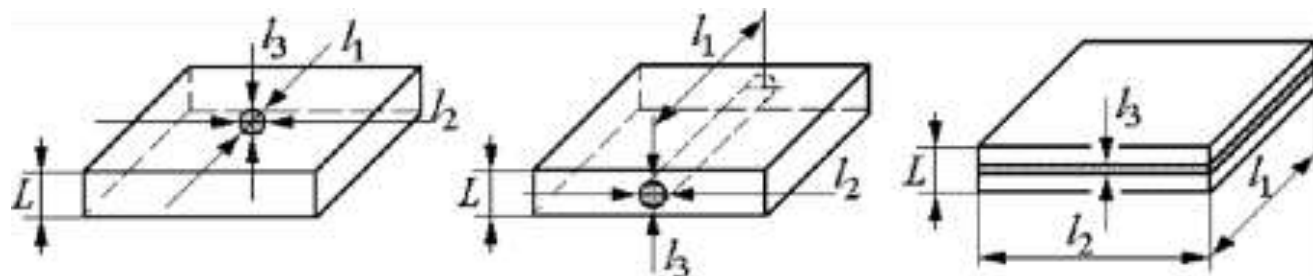


Рисунок.1.4. – Форми наповнювачів:

а – нуль вимірні; б - одновимірні; в - двовимірні;

$l_1, l_2, l_3$  – розміри наповнювача;  $L$  – товщина матриці[6]



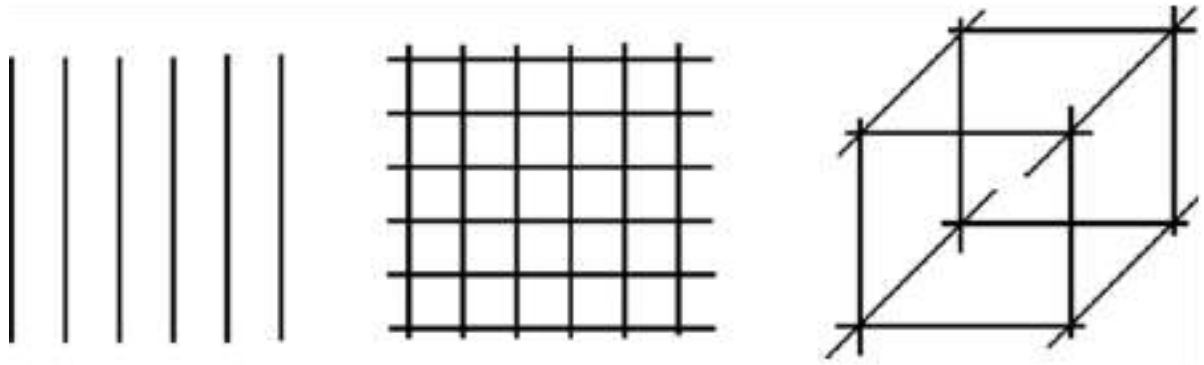


Рисунок. 1.5. – Схеми армування:  
*a* – одновісна; *б* – двовісна; *в* – трьохвісна [6]

За формою наповнювача композитні матеріали поділяють на дисперсно-зміцнені, волокнисті і шаруваті. Дисперсно-зміцненими називають композитні матеріали, зміцнені нуль вимірними наповнювачами, а волокнисті - зміцнені одновимірними, шаруваті - двовимірними наповнювачами.

За схемою армування (рис.1.5) волокнисті композитні матеріали поділяють на три групи: з одноосьовим, двохосьовим і трьохосьовим армуванням. При одноосьовому армуванні вміст наповнювача становить 1 – 5 %, при двохосьовому - 15 – 16 %, при трьохосьовому - більше 15 %. У шаруватих композитах в якості наповнювача застосовують плоскі аркуші паперу, тканини або азбесту.

Для розширення комплексу властивостей або покращення властивостей можуть бути використані одночасно наповнювачі різної форми або наповнювачі однієї форми, але різного складу. Композитні матеріали, які містять два і більше різних наповнювача, називають поліармованими.

**Шаруваті пластики.** У шаруватих пластиках наповнювач знаходиться у вигляді шарів (листів) тканин. До шаруватих композитів відносяться біметали, що мають в складі два різних види металу з дуже різними коефіцієнтами лінійного розширення  $\alpha$ -шар,  $\beta$ -шар (рис.1.6.). При зміні температури біметали деформуються, і цю деформацію можна точно визначати, тому біметали використовують для виробництва вимірювальних приладів. Наприклад, алюміній і деякі високоміцні алюмінієві сплави мають низьку корозійну стійкість, тому

високоміцний алюміній, покритий корозійно стійким алюмінієвим сплавом, володіє одночасно високою міцністю і корозійною стійкістю. Можна називати шари склотканин і ламінати на основі пластиків як шаруваті композитні матеріали.

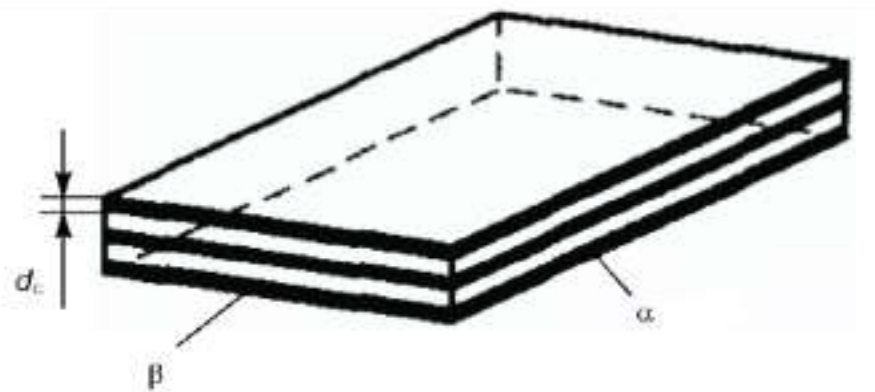


Рисунок. 1.6. – Шаруватий композит:  
 $d_c$  – товщина шару в шаруватому  $\alpha$ - $\beta$  композиті[7]

Дерево-шаруваті пластики (ДШП) складаються з деревної шпони, просоченого фенолоформальдегідною і крезолоформальдегідною смолами. ДШП мають високі фізико-механічні властивості; низьким коефіцієнтом тертя. Недоліком є чутливість до вологи. Гетинакс відноситься до шаруватих композитів і складається з паперу, просоченої смолами (фенолоформальдегідом). Гетинакс має хороші електроізоляційні властивості, високу механічну міцність, але поступається своїми характеристиками текстолітам.

Текстоліти мають тканину в якості наповнювача, а просочення здійснюється фенолоформальдегідною, кремнійорганічним або епоксидною смолою в залежності від необхідного рівня властивостей матеріалу.

Конструкційно текстоліти (наповнювач - хлопчато-паперова або синтетична тканина, просочена фенолоформальдегідною смолою); вони мають низький коефіцієнт тертя, високу стійкість, працюють в трансформаторному маслі при температурах від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ .

**Волокнисті композитні матеріали.** Волокнисті композити (рис.1.7) найчастіше мають пластичну матрицю, армовану високоміцними волокнами,

дротом або кристалами у формі ниток. У цих композитах основна напруга направлена на волокна уздовж композиту. Волокна забезпечують міцність і жорсткість композиту у напрямку розташування волокон. Механічні властивості і механізм руйнування композиту визначаються співвідношенням трьох параметрів:

- 1) міцністю волокон;
- 2) міцністю і жорсткості матриці;
- 3) міцністю зв'язку волокно-матриця.

Волокнисті композити можна класифікуються за природою компонентів і по типу наповнювача, а також їх розташуванню в матриці. Таким чином, за своєю природою матриці композиту можна виділяти композитні матеріали на основі полімерів або так званих пластиків; металів і їх сплавів; кераміки; вуглецю. За природою арматури композитів можна виділити наступну класифікацію: склопластики, вуглепластики, боропластики, органопластики, полімери наповнені порошками.

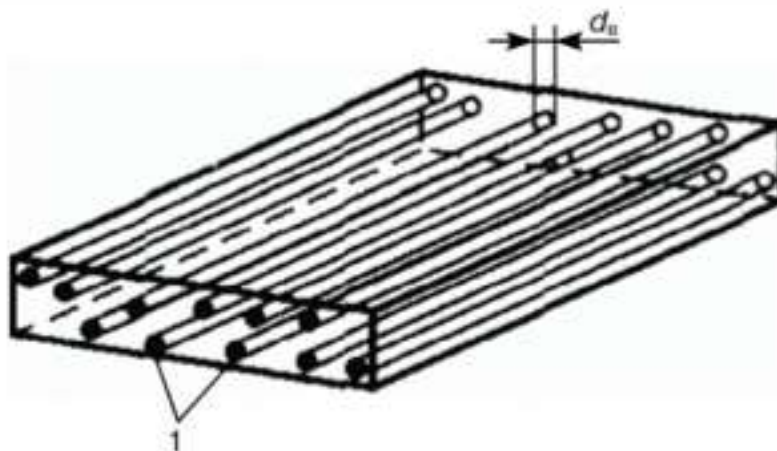


Рисунок. 1.7. – Волокнистий композитний матеріал:  
 $d_c$  – товщина шару в шаруватому  $\alpha$ - $\beta$  композиті[7]

Волокна довжиною 0,2 – 14 мм (короткі волокна) використовують для отримання конструкційних ливарних і екструзійних термопластичних матеріалів, довжиною не більше 1 – 2 мм. Довжиною від 15 до 70 мм (довгі волокна) - для

отримання прес-матеріалів (волокнітах і преміксів на основі фенолформальдегідних і поліефірних смол.

Основні види волокон (вуглецеві, скляні) випускаються круглого перетину діаметром 8 – 20 мкм, а також трикутного, ромбічного та інших форм. Оптимальне значення діаметра волокна  $d_{opt}$  залежить від його природи і полімерної матриці, а також від методу формування і розмірів виробу.

**Органічні волокна.** Органічні арамідні і поліетиленові волокна в основному використовуються для виробництва полімерних композитних матеріалів. Арамідні волокна відносяться до класу ароматичних поліамідних матеріалів (рис.1.8):

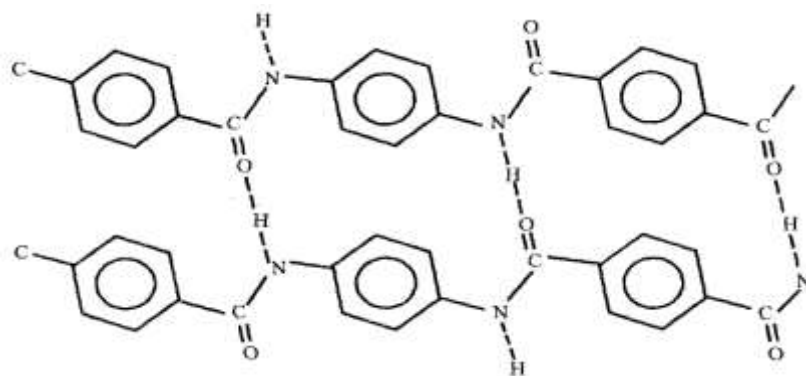


Рисунок. 1.8. – Хімічна будова арамідних волокон [45]

Вперше вони з'явилися в 1971р. під торговою маркою «Кевлар». Волокна «Кевлар-29» випускаються у вигляді технічних ниток різного призначення і використовуються переважно при виробництві кабелів і канатів, для виготовлення автомобільних шин. Волокна «Кевлар-49» виробляють у вигляді пряжі, ровінгу, тканин та використовують для виготовлення, перегородок літаків і вертольотів та ін. Ці матеріали знаходять застосування при виготовленні корпусів ракетних двигунів, захисних касок, куленепробивних жилетів, човнів, хокейних ключок і іншого спортивного спорядження. При виробництві полімерних композитних матеріалів в якості матричного матеріалу частіше використовуються епоксидні або поліефірні сполучення.

Перевагами цих волокон є їх високі механічні властивості в широкому діапазоні температур і хороша хімічна стійкість. У поперечному напрямку

взаємодія здійснюється за допомогою водневих зв'язків, а в поздовжньому напрямку реалізуються ковалентні зв'язку макромолекули. Таким чином, волокна мають високу анізотропію механічних властивостей: високу поздовжню і низьку поперечну міцність.

Хімічний склад і структура арамідних волокон визначають їх унікальні властивості. Вони володіють найвищими серед органічних волокон значеннями міцності і модуля пружності: при щільності волокон приблизно  $1440 \text{ кг/м}^3$  межа міцності при розтягуванні складає  $2700 - 3300 \text{ МПа}$ , максимальний модуль пружності  $96,5 \text{ ГПа}$  і приблизно  $128 \text{ ГПа}$ .

У порівнянні зі скляними і вуглецевими волокнами арамідні волокна є більш пластичними. Їх подовження при розтягуванні складає приблизно  $2 - 4 \%$ . Недоліком арамідних волокон є сорбування вологи, в результаті чого властивості знижуються на  $15 - 20 \%$ .

Іншими органічними волокнами, використовуваними у виробництві ПКМ, є поліетиленові, перевагою яких є низький рівень щільності ( $970 \text{ кг/м}^3$ ). При цьому волокна типу «Спектра» (США), «Дайнема» (Нідерланди), «Текмілон» (Японія) мають пружні властивості на рівні арамідних волокон.

Співвідношення між властивостями різних типів армуючих волокон, що застосовуються для виробництва композитних матеріалів, показані на рис. 1.9 і в порівнянні з металевими волокнами - в табл. 1.3.

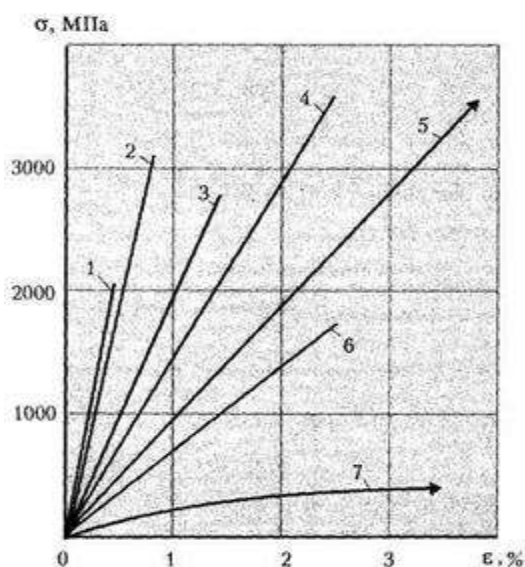


Рисунок. 1.9. – Залежність напруги від деформації для різних армуючих волокон:[45]

- високомодульна пряжа з вуглецевих волокон (Е, 414 ГПа),
- бороволокно (Е, 379 ГПа),
- високоміцна пряжа з вуглецевих волокон (Е, 262 ГПа),
- ровинг з волокна «Кевлар-49» (Е, 131 ГПа),
- ровинг з S-скловолокна (Е, 82,7 ГПа),
- ровинг із скловолокна (Е, 68,9 ГПа),
- волокно «Номекс»

Міцність волокон «Кевлар-49» в поздовжньому напрямку унікальна навіть у порівнянні з неорганічними армуючими волокнами.

Таблиця 1.3. – Властивості різних армуючих волокон

<b>Марка волокна</b>	<b>Міцність, ГПа</b>	<b>Модуль пружності, ГПа</b>	<b>Щільність, г/см<sup>3</sup></b>	<b>Діаметр волокна, м</b>
Метал	2-3	200	7,8	3-25
Скло	3,5-4,6	72-110	2,5-2,9	80
Ароматичний поліамід	3,8-5,5	120-185	1,43-1,47	10-12
Полібензіазол	3,0-3,3	335	1,5	-
Поліетилен	2-5	50-125	<1	30-35
Високоміцний вуглець	3,6-7,2	300	1,8	5-10
Високомодульний вуглець	2,5-3,25	500-800	1,8-2,2	5-10
Оксид алюмінію	2,2-2,4	385-420	3,95	10-25
Карбід кремнію	3,1-4,0	410-450	2,7-3,4	100-140
Бор	3,45	400	2,6	100-200

Таким чином, властивості високоміцних і високомодульних вуглецевих і деяких полімерних волокон перевершують характеристики сталевих. Для

вуглецевих і органічних полімерних волокон характерні низька щільність, висока питома міцність при розтягуванні і високий опір динамічному навантаженню.

**Об'єднання зміцнюючих елементів.** Моноволокна, отримані різними методами, можуть бути безпосередньо використані для зміцнення композитних матеріалів. Однак часто волокна об'єднуються в пряжу.

Пряжею називається нитка з волокон, з'єднаних за допомогою крутіння. Пряжа буває однорідною, тобто отриманою з однакових волокон, і змішана (з суміші різних волокон). Для оцінки лінійної щільності волокон або ниток часто використовують позаштатну одиницю - текс ( $мг/м$ ) - відношення маси нитки (волокна) до довжини.

Пряжа може бути використана для армування композитних матеріалів у вигляді ниток, а також у вигляді тканин.

Тканини, отримані при переробці ниток і волокон, є результатом закономірного переплетення поздовжньо розташованих елементів і елементів поперечного розташування. За конструктивною ознакою розрізняють матеріали з полотняним, ситцевим, сатиновим, саржевим і трикотажним типом переплетення (рис.1.10).

Основними технічними характеристиками тканин є склад волокна, вид переплетіння, спосіб обробки, ширина, товщина, маса квадратного метра, щільність тканини, розрив навантаження, подовження при розриві.

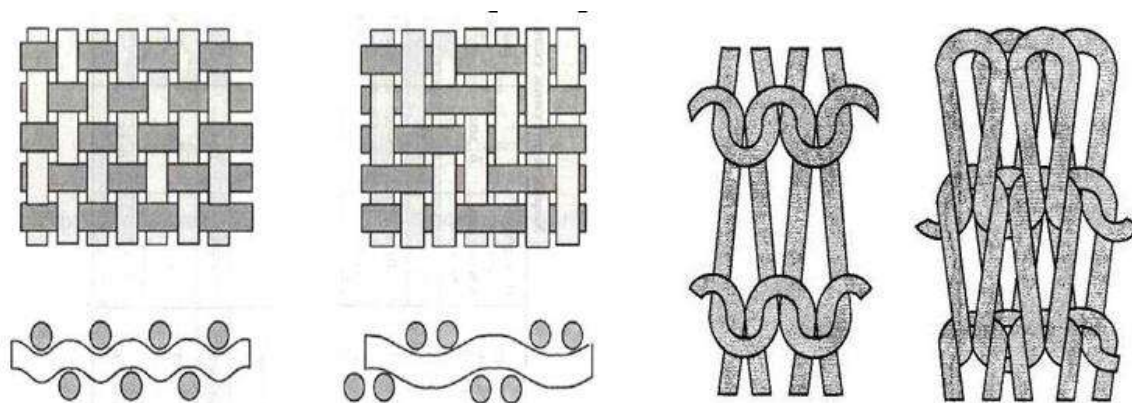


Рисунок. 1.10. – Схеми плетіння: полотняне (а), саржеве (б), трикотажне (в) [45]

Недоліком матеріалів (тканин і сіток), одержуваних способом переробки, є необхідність застосування тільки досить пластичних волокон і пряжі. У місцях

контакту елементів основи і качки відбувається деформація матеріалу, утворюються дефекти, що знижують механічні властивості композитних матеріалів. Ширші можливості використання волокон і пряжі реалізуються при отриманні виїзних, трикотажних сіток.

### **1.3. Застосування композитних матеріалів**

Область застосування композитних матеріалів на полімерній основі постійно розширюється. Конструкції із полімерних композитів використовуються в якості несучих елементів і деталей машин, літальних апаратів, водних і наземних транспортних засобів, протезів, триває впровадження полімерних матеріалів в будівництво. Важливе місце займають вони серед конструкційних матеріалів нових видів техніки. Поступове витіснення полімерними композитами класичних конструкційних матеріалів (деревини, сталей, металевих сплавів і звичайних видів кераміки) обумовлено поєднанням в них цілого ряду практично важливих якостей. По-перше, це високі питомі значення деформативних і міцності, реалізовані в таких широко відомих сучасних композитних матеріалах на полімерній основі, як скло, вугле-, боро- і органопластів. По-друге, хімічна і корозійна стійкість, а також широкий спектр електрофізичних і теплових властивостей полімерних композитів. По-третє, їх висока економічна ефективність як матеріалів, вироблених з дешевих видів сировини. Нарешті, висока технологічність полімерних композитів при застосуванні їх в габаритних виробках різних геометричних форм. За сукупністю всіх цих показників композитні матеріали на полімерній основі успішно конкурують з класичними конструкційними матеріалами.

Композитні матеріали зі свинцевою матрицею, армовані вуглецевими волокнами, застосовують в хімічній промисловості при виготовленні батареї і акумуляторів, в будівництві, в виробках, що працюють на тертя. Ці матеріали мають особливе значення, так як вони набувають конструкційних властивостей. Використання композитного матеріалу дозволяє значно знизити масу конструкції, що вкрай необхідно для аерокосмічної галузі. В даний час ведуться дослідження



зі створення з композитних матеріалів деталей компресора, наприклад лопаток, турбін.

Одним з ефективних способів використання фторопласту для підшипників є застосування фторопластових композитів з наповнювачами. У цьому випадку збільшується зносостійкість підшипника і знижується коефіцієнт тертя, збільшується теплопровідність, зменшується лінійне розширення.

Композитні матеріали з титановою матрицею є перспективними жароміцними матеріалами для авіакосмічної техніки і знайдуть застосування в нових конструкціях реактивних двигунів, де виникає необхідність в матеріалах, жароміцними до температури 800 °С.

Використання композитних матеріалів для захисту від корозії в різних технологічних процесах в умовах промислового виробництва стимулювало розвиток методів випробувань цих матеріалів на вплив корозійних середовищ.

Собівартість типового волокнистого полімерного композиту в середньому в 3 рази більше собівартості сталевих листа, але при цьому ефективність застосування композитного матеріалу вище завдяки його міцності. При виготовленні деталей, до яких пред'являються підвищені вимоги по механічним властивостям, економія досягається за рахунок зниження товщини і маси деталі в порівнянні з металевим виробом. В ході виготовлення деталей складної форми витрати на обробку і забарвлення можуть бути значно нижче в порівнянні з виробництвом аналогічних комплектуючих із сталевих листа.

Вартість виробництва волокнистого полімерного композиту в значній мірі визначається витратами на необхідне технологічне обладнання, яке в свою чергу залежить від кількості виготовлених виробів. На формування деталей зазвичай витрачається більше часу, ніж на штампування сталевих листа. Однак сумарна вартість обробки металу включає в себе ряд додаткових операцій. Так, внаслідок виключення в ряді випадків робіт зі складання та фарбування композитний матеріал може мати цінову перевагу. Крім того, при виготовленні конструкцій з металу застосовуються дорогі і трудомікі операції зі зварювання і зачистки, нехарактерні для неметалічних матеріалів.

Вартість оснащення для формування волокнистого полімерного композиту становить близько 10 % вартості обладнання для обробки сталевих листів. При випуску партії виробів загальна економія може бути тим більш суттєвою, чим вище вартість одиничного виробу. У зв'язку з цим помірні витрати на обладнання в разі застосування волокнистого полімерного композиту дозволяють розглядати композитний матеріал як найбільш економічний для виготовлення деталей кузовів в авіаційних та автомобільних сферах.

Впровадження композитних матеріалів на залізничному транспорті можливо тільки при поетапному вирішенні комплексу наступних завдань:

- розробка техніко-економічного обґрунтування застосування нового матеріалу в конструкції вагона;
- визначення нового матеріалу і його характеристик, вибір технології виготовлення;
- розробка конструкції вузлів вагона із застосуванням нового матеріалу.

В якості матриці композитного матеріалу, вперше застосованого в автомобілебудуванні, була використана поліефірна смола. Вибір цього матеріалу відзначався відносно простим методом конструювання деталей, низькою вартістю, а також досвідом, який був набутий при виробництві автомобільних та авіаційних деталей для них, виготовлених ручним методом. Розроблена згодом технологія виготовлення аналогічних деталей шляхом формування на сталевих модельних плитах дозволила випускати серійні деталі та вироби. Використання поліефірних смол з різними зміцнювачами триває і зараз, причому вдосконалення технології безперервно розширює можливості матеріалу.

З композитних матеріалів виготовляють: шестерні, які добре працюють в парі з металевими підшипниками, які не утворюють задири на валу; шківи, втулки, корпуси насосів, деталі авіаційної сфери, автомобілів і залізничних вагонів; деталі човнів.

З текстоліту виготовляють безшумні зубчасті і черв'ячні колеса, підшипники ковзання, друковані плати для електротехніки, корпусів човнів і катерів, кузова автомобілів, реакційні апарати, насоси, труби.

Композити - це основа багатьох сучасних розробок в області розвитку пристроїв з мінімальними затратами. Одним з них є безпілотні літальні апарати. Композитні матеріали вельми активно використовувалися в їх конструкції, результатом чого стала можливість їх виявлення тільки з близької відстані.

Композитні матеріали широко використовуються в будівництві. Термін матеріали для звичайного нашого розуміння наводить на думку тільки про традиційні матеріали, але в таких областях, як будівництво мостів, залізниць, шляхопроводів полімерні композитні матеріали мають переваги над звичайними матеріалами. Будівництво має розглядати такі проблеми, як різні механічні навантаження, починаючи з захисту обладнання або звуконепроникних стін, і закінчуючи надвисоким тиском, який витримують опори для мостів. Для пошуку рішень, які можна застосувати в цих несхожих ситуаціях, в цивільному будівництві застосовуються очищені пластмаси або композити: зазвичай застосовуються в легких будівельних конструкціях, періодично використовувані в спеціалізованих конструкціях, призначені виключно для великих будівельних конструкцій, наприклад, мостів. Матеріали на основі карбамідних композитів знайшли застосування в будівництві для виготовлення хімічно стійких перегородок, панелей в якості теплоізоляції: підлоги, панелей, у водогосподарському будівництві: колекторні і дренажні труби, водоводи, трубофільтри. Карбамідні композити мають високу хімічну стійкість в органохімічних агресивних середовищах і повністю відповідають вимогам санітарно-ветеринарних нормам. Широке застосування знайшли прес-матеріали (амінопласти) на основі карбамідних смол. Вони застосовуються для виготовлення світлих і забарвлених виробів. При відсутності пігментів пропускають більше 65 % видимого світла.

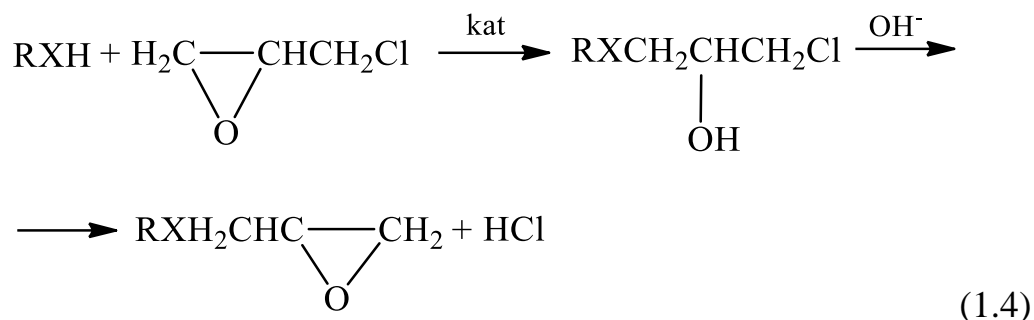
#### **1.4. Методи одержання епоксидних смол**

Для отримання плівкоутворюючих речовин, що містять епоксидні групи, існують три основні методи, які мають промислове значення. В їх основі лежать такі хімічні реакції:

- 1) реакція протонодонорних сполук з епіхлоргідрином;

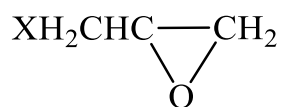
- 2) епоксидування ненасичених сполук;
- 3) полі- і кополімеризація ненасичених мономерів, що мають функціональну епоксидну групу [6].

1. Спільним методом одержання епоксидних похідних на основі протонодонорних сполук є взаємодія останніх з епіхлоргідрином з наступною регенерацією епоксидної групи на стадії дегідрохлорування. Схему процесу в загальному вигляді можна представити таким чином:



Вихідними протонодонорними сполуками можуть слугувати дво- і багатоатомні феноли, спирти, карбонові кислоти, аміни, як, наприклад, 4,4'-дигідроксидифенілпропан (діан), 4,4' - дигідроксидифенілметан, резорцин та його алкілзаміщені, новолачні фенолоформальдегідні олігомери, етилен-, диетиленгліколь, гліцерин та інші поліатомні спирти, фталева кислота, анілін, 4,4'-діамінодифенілметан.

Продукти реакції характеризуються наявністю кінцевих гліцидилових груп виду:

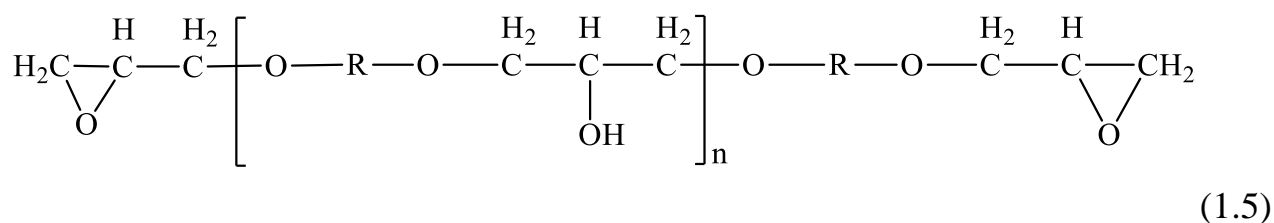


Умови протікання процесу визначаються реакційною здатністю протонодонорного агенту RXH. Реагенти з високою нуклеофільністю типу аліфатичних і ароматичних амінів реагують з епіхлоргідрином в м'яких умовах за відсутності каталізаторів. При реакції епіхлоргідрину з фенолами і карбоновими кислотами застосовують основні каталізатори, що збільшують їх нуклеофільність. Внаслідок відносно високої кислотності фенолу і карбонових кислот реакція протікає специфічно, і хлоргідринові ефіри утворюються кількісно. Реакція епіхлоргідрину зі спиртами при основному каталізі ускладнюється

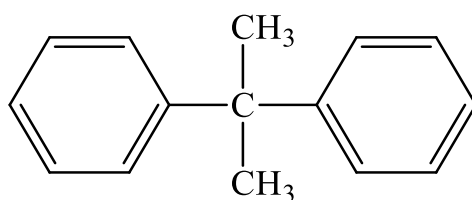
поліприєднанням з вторинною гідроксильною групою, уникнути якого вдається тільки при значному надлишку спирту. Тому реакцію епіхлоргідрину зі спиртами часто проводять в присутності кислих каталізаторів, а утворені хлоргідринові ефіри дегідрохлорують лугом.

Залежно від умов проведення процесу і характеру вихідного протонодонора за цим методом отримують моно- і дигліциділові похідні спиртів, фенолів, карбонових кислот і амінів, епоксидні олігомери і полімери різної структури з молекулярною масою до 60000 (наприклад, так звані *фенокси-смоли*).

Найбільше поширення в промисловості одержали епоксидні олігомери на основі 4,4'-дигідроксидифенілпропану – діанові епоксидні олігомери:

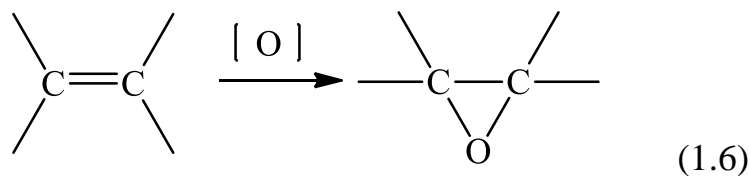


де R:



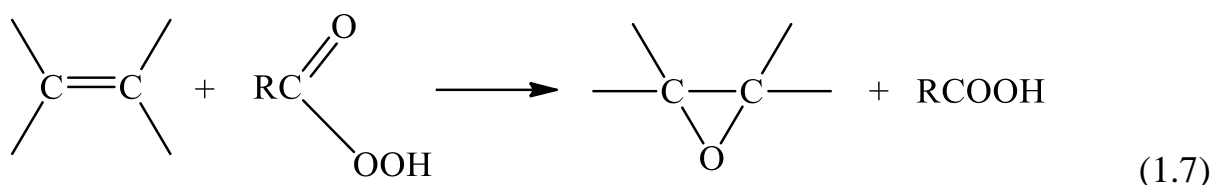
$n$  – в залежності від умов проведення процесу змінюється в межах від 0 до 200 [6, 7].

2. Епоксидні плівкоутворювачі можна отримувати окисненням ненасичених сполук:

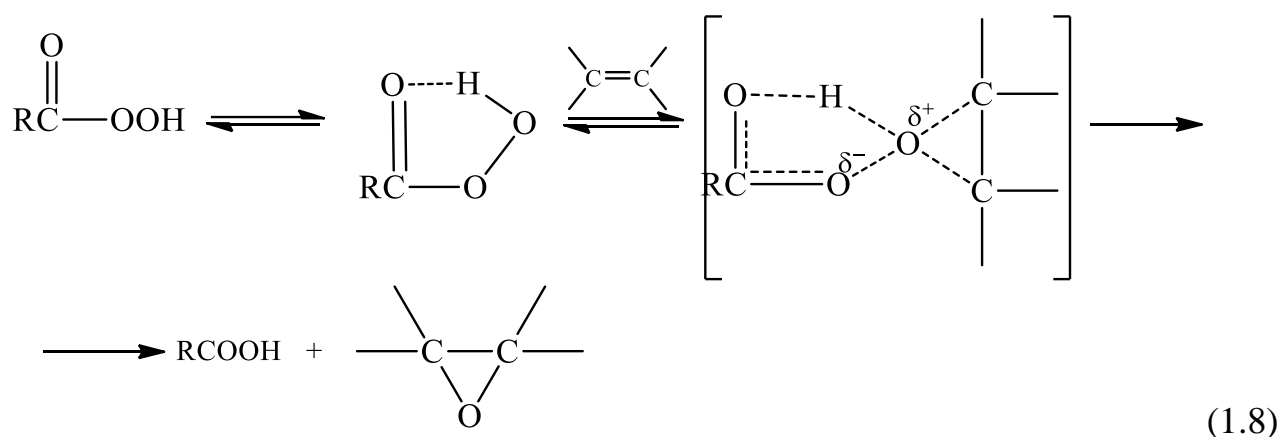


Цей метод широко застосовується для отримання епоксидних похідних, циклоаліфатичних сполук і епоксидних каучуків. Епоксидування можна проводити за допомогою таких епоксидуючих агентів, як органічні надкислоти,

пероксиди та гідропероксиди, кисень. Однак найбільше промислове застосування отримав метод епоксидування органічних надкислот (реакція Прилежаєва):



Реакція Прилежаєва суворо стереоспецифічна: окиснення ненасичених сполук надкислотами практично завжди призводить до *цис*-приєднання по подвійному зв'язку. Вважають, що реакція протікає за наступним механізмом. Надкислоти в малополярних середовищах знаходяться в циклічному стані з внутрішньомолекулярним водневим зв'язком, що забезпечує появу часткового позитивного заряду на одному з кисневих атомів і можливість електрофільного приєднання до ненасиченої сполуки:



В наш час найбільш типовим представником органічних надкислот, що використовуються в промисловості, є надоцтова кислота. Іноді знаходить застосування надмурашина кислота.

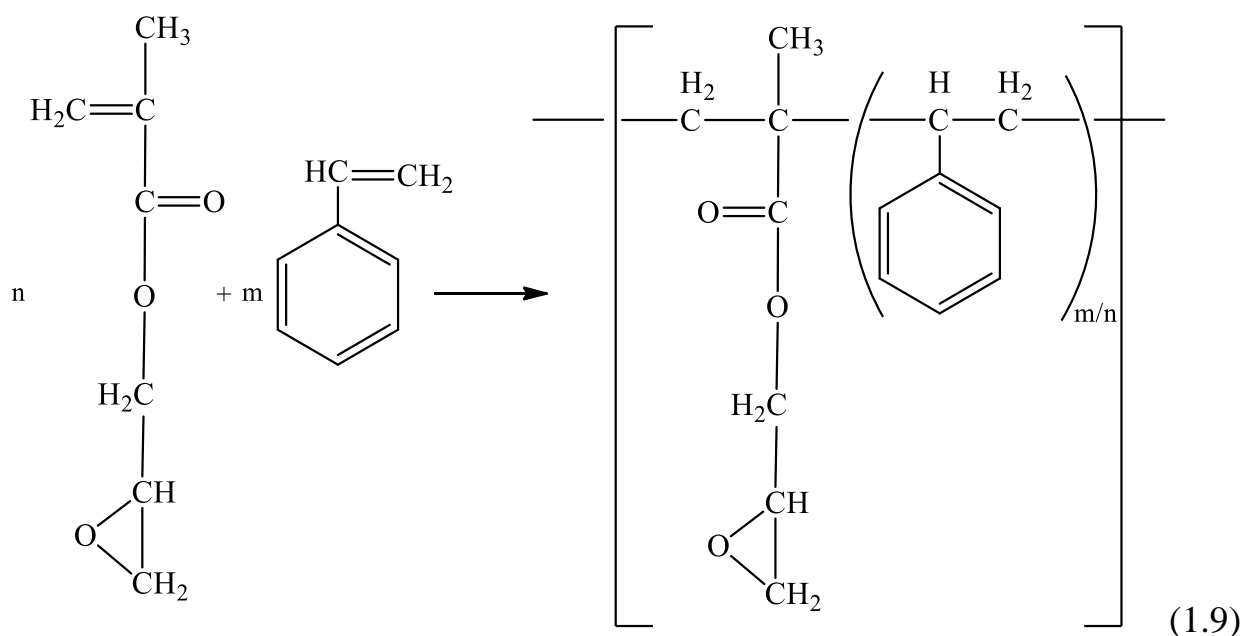
Таблиця 1.4.

Склад і характеристика епоксидних олігомерів

Метод синтезу	Молекулярна маса	Вміст, %			В'язкість при 40 °С, ·10 <sup>3</sup> Па·с
		Епоксидних груп	Загального хлора	Гідроксильних груп	
двостадійний	170 – 200	30 – 33	7 – 10	5 – 6	10 – 15
	300 – 320	21 – 24	0,5 – 1,5	3 – 4	10 – 15
	–	25 – 26	5 – 7	–	150 – 300
одностадійний	280 – 300	24 – 26	0,5 – 1,5	3 – 4	50 – 100
	240 – 260	26 – 29	0,5 – 1,5	4 – 5	15 – 30
	440 – 460	24 – 26	0,5 – 1,5	6 – 7	300 – 600

Одержання епоксидних плівкоутворюючих речовин кополімеризацією ненасичених мономерів, що містять епоксидну групу.

По цьому методу шляхом радикальної полімеризації (кополімеризації) ненасичених мономерів, що містять епоксидну групу, одержують високомолекулярні полімери з епоксидними групами в бічних ланцюгах. Для введення епоксидних груп зазвичай використовують такі мономери, як гліцидилові ефіри акрилової і метакрилової кислот (гліцидилакрилат, гліцидилметакрилат). Молекулярну масу і структуру (чергування ланок) полімерів регулюють звичайними способами, що використовуються при проведенні радикальної кополімеризації [10].



### 1.5. Діанові епоксидні олігомери

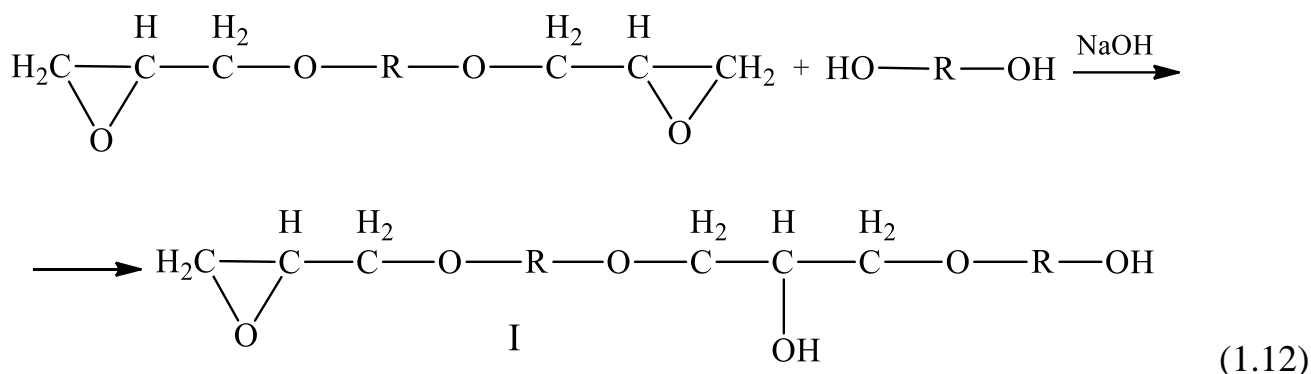
Ідеальну структуру діанових епоксидних олігомерів можна представити формулою (1.5).

Вихідною сировиною для одержання діанових епоксидних олігомерів слугують діан – кристалічний продукт з температурою плавлення 155°C і епіхлоргідрин (1-хлор-2,3-епоксипропан) – рідина, що не змішується з водою (температура кипіння 115 – 116°C).

В основі промислового способу одержання діанових епоксидних олігомерів покладена реакція епіхлоргідрину з діаном з наступним дегідрохлоруванням







Принципова схема синтезу діанових епоксидних олігомерів являє собою послідовне чергування реакцій приєднання епоксидної групи до фенольного компонента та регенерування епоксидної групи при дегідрохлоруванні.

Механізм реакції епоксидної групи з фенольним компонентом в умовах основного каталізу був розглянутий раніше. Ця реакція екзотермічна, її тепловий ефект  $\Delta H = -71,5$  кДж/моль.

Слід зазначити, що наведена схема синтезу епоксидних олігомерів є ідеалізованою і не містить у собі реакцій, що призводять до обмеження росту ланцюга і дефектності по функціональності. Молекулярна маса олігомерів завжди менше теоретично розрахованої з урахуванням мольного співвідношення епіхлоргідрин: діан, що видно з наведених нижче даних:

Таблиця 1.5

Величини епоксидних еквівалентів в залежності від мольного співвідношення епіхлоргідрин : діан

Мольне співвідношення епіхлоргідрин : діан	Епоксидний еквівалент
2,0	170/249
1,5	312/516
1,33	454/730
1,25	596/862
1,2	738/1180

### 1.5.1 Технологія виробництва діанових епоксидних смол

Діанові епоксидні смоли прийнято ділити на три групи: низько- ( $M_n=350-500$ ), середньо- ( $M_n=500-1500$ ) і високомолекулярні ( $M_n=1500-5000$ ). Особливу групу продуктів конденсації епіхлоргідрину з діаном становлять *фенокси*-смоли. Склад й характеристика діанових епоксидних олігомерів і полімерів наведена в табл. 1.3.

Умови проведення технологічного процесу одержання епоксидних діанових олігомерів визначаються їхньою молекулярною масою.

Синтез низькомолекулярних епоксидних смол проводять у великому надлишку епіхлоргідрину, необхідному для подавлення реакції росту полімерної молекули. Ця обставина визначає специфічні особливості процесу. При введенні у реакційну масу в значній кількості (у порівнянні з іншими компонентами) епіхлоргідрину, він одночасно виконує функції і реагенту, і розчинника. Синтез олігомеру до порівняно високих ступенів завершення процесу протікає в однофазній системі.

Молекулярна маса отриманого олігомеру залежить у першу чергу від співвідношення вихідних реагентів (епіхлоргідрину, діану, лугу) і складу органічної фази.

Таблиця 1.6

Склад та характеристика діанових епоксидних олігомерів і полімерів

Молекулярна маса	Вміст епоксидних груп, % (мас.)	Вміст гідроксильних груп, % (мас.)	Вміст полімергомологів різного ступеня полімеризації ( $n$ ), % (мас.)				Темп. розм'якшення, °C	В'язкість при 40°C, $\cdot 10^3$ Па·с
			0	1	2	3		
350 – 400	24,8 – 21,5	0,1 – 0,8	92–85	8–15	2–3	0	–	800–2000
400 – 600	21,5 – 14,5	0,8 – 2,5	85–50	15–20	8–10	5–10	–	20000–60000
600 – 800	14,5 – 10,0	2,5 – 4,6	50–20	12–16	8–11	45–50	–	2000 (100°C)
800 – 1000	10,0 – 8,0	4,6 – 5,1	20–13	12–14	9–12	55–60	50 – 55	–
1000 – 1400	8,0 – 6,0	5,1 – 6,0	13–8	7–9	8–10	70–75	55 – 70	–
1400 – 1800	6,0 – 4,0	6,0 – 6,5	6–4	6–8	8–10	80–85	70 – 85	–
1800 – 3500	4,0 – 2,0	6,5 – 6,8	4,2	3–5	5–8	83–90	85 – 100	–
30000 – 60000	0,9	6,8	–	–	–	$\approx 100\%$	–	–

Синтез низькомолекулярних епоксидних смол (з молекулярною масою 350 – 500), які одержують при великому надлишку епіхлоргідрину, проводять у наступний спосіб. У реактор завантажують епіхлоргідрин і 4,4'-дигідроксидифенілпропан і при працюючій мішалці порціями завантажують гідроксид натрію у вигляді 40%-вого водного розчину. Температура реакційної маси поступово підвищується до 65 – 75°C. По закінченню процесу (через 8 – 16 год) непрореагований епіхлоргідрин відганяють під вакуумом, а олігомер розчиняють у толуолі і цей розчин промивають водою для видалення хлориду натрію. Потім толуол відганяють під вакуумом при 140 – 150°C.

Отриманий низькомолекулярний епоксидний олігомер являє собою (табл. 1.3) низьков'язку рідину з високим вмістом епоксидних груп, який використовується в лакофарбовій промисловості в основному для одержання епоксидних матеріалів з високим вмістом основної речовини або без розчинників.

Синтез середньо- і високомолекулярних олігомерів методом гетерофазної конденсації епіхлоргідрину і діану в наш час здійснюється періодичним і безперервним способами, причому перший є більш розповсюдженим. Періодична технологічна схема виробництва середньомолекулярного епоксидного діанового олігомеру гетерофазною конденсацією наведена на рис. 1.1.

У реактор 9, оснащений пароводяною сорочкою, завантажують дигідроксидифенілпропан і епіхлоргідрин. Реакційну масу нагрівають до 50°C і поступово, слідкуючи за тим, щоб температура не підіймалася вище зазначеної, завантажують гідроксид натрію у вигляді 15%-го водного розчину. Реактор при цьому охолоджують водою через можливий перегрів реакційної маси (реакція екзотермічна).

По закінченню завантаження NaOH температуру поступово підвищують до 70 – 80°C і ведуть процес протягом заданого часу. Потім у реактор 9 додають толуол, перемішують при температурі 30 – 55°C (до повного розчинення олігомеру) і дають відстоятися реакційній масі, у результаті чого вона розшаровується: верхній шар – розчин олігомеру в толуолі, і нижній – водно-

сольовий шар. Нижній шар відокремлюють, а розчин олігомеру, що залишився, нейтралізують оксидом вуглецю (IV).

Далі проводять осушення розчину олігомеру відгонкою від нього води, що залишилася, у роздільній ємності 10 азеотропною сумішшю з толуолом. Осушений олігомер зливають з реактора в ємність 15 і звідти насосом 17 передають на фільтрацію (схема передбачає можливість багаторазової фільтрації до відсутності іонів хлору). Для виділення олігомеру з толуольного розчину, останній відганяють у тонкоплівковому роторному випарнику 7, що працює в безперервному режимі під вакуумом при 120°C. У випарник розчин олігомеру подають зі збірників 20 і 21 за допомогою дозувального насоса 22 через підігрівник 6. Відігнаний толуол збирають у приймачі 13 і 14, а олігомер – у збірники 11 і 12, з яких він направляється на фасовку [6].

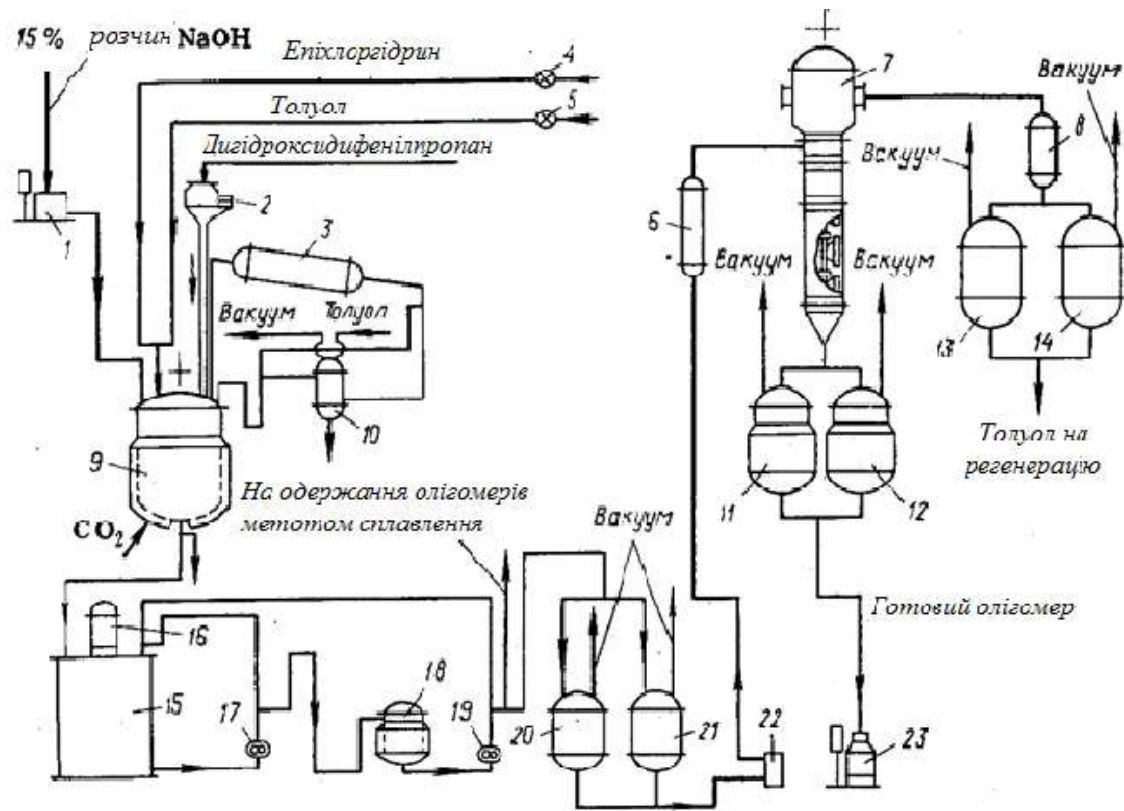
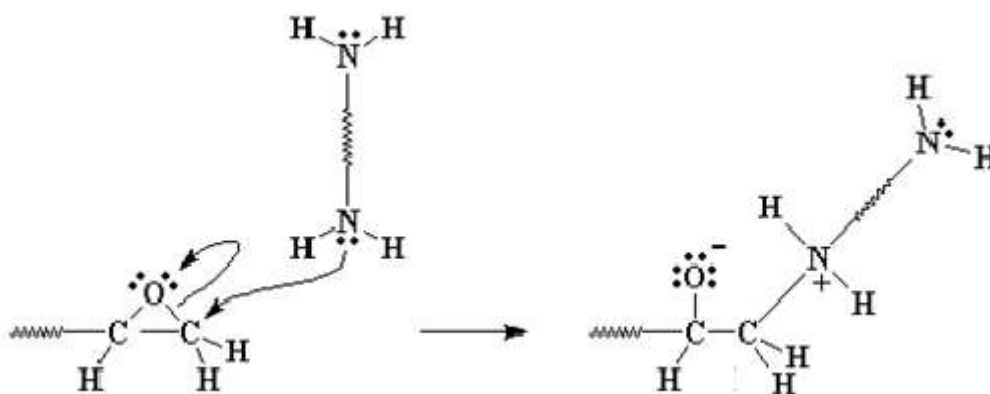


Рис. 1.1. Технологічна схема виробництва діанових епоксидних олігомерів методом конденсації епіхлоргідрину і 4,4'-дигідроксидифенілпропану періодичним способом:

- 1 – ваговий мірник; 2 – автоматичні порційні ваги; 3, 8, 16 – конденсатори; 4, 5 – рідинні лічильники; 6 – підігрівник; 7 – тонкоплівковий роторний випарник; 9 – реактор з пароводяною сорочкою; 10 – роздільна ємність; 11, 12 – збірники; 13, 14 – вакуум-приймачі; 15 – проміжна ємність; 17, 19 – шестерні насоси; 18 – тарілчастий фільтр; 20, 21 – збірники фільтрованого розчину олігомеру; 22 – насос-дозатор; 23 – тара.

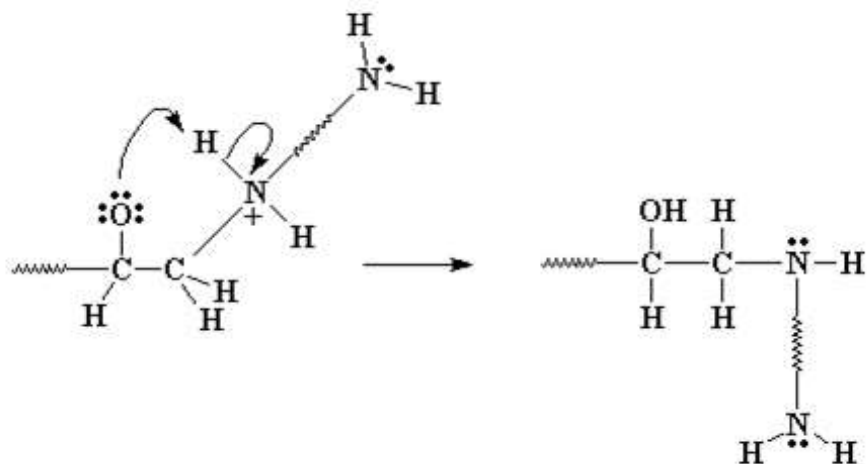
## 1.6. Процеси отвердіння епоксидних олігомерів за допомогою отверджувачів амінного типу.

Розглянемо цей процес на прикладі зв'язування діепоксидних форполімерів за допомогою діаміну [7]. Пари електронів у групі аміну легко віддають свої електрони атому вуглецю на кінці молекули, оскільки епоксидний атом кисню, будучи електронегативним, стягує на себе всі електрони в сусіднього з ним атома вуглецю.

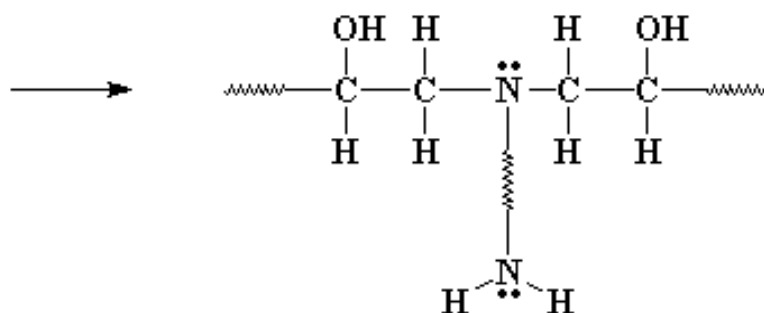


Після цього вуглець віддає ті дві пари, які він нерівноправно ділив з киснем. Зв'язок між атомами вуглецю і кисню розривається і утворюється новий зв'язок між атомом вуглецю та азотом в амінній групі. У нас залишається негативний заряд на атомі кисню та позитивний заряд на атомі азоту.

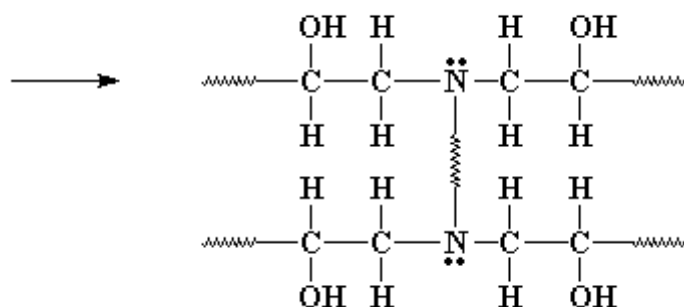
Далі електрони атому кисню атакують атом водню, приєднаний до позитивного атома азоту, утворюючи зв'язок з атомом водню. Атом водню відділяється від атома азоту, залишаючи при цьому за собою електрони. Це нейтралізує позитивний заряд, залишаючи азот нейтральним. І звичайно ж, атом кисню тепер теж нейтральний, оскільки він приєднав протон, і тепер він утворив спиртову групу.



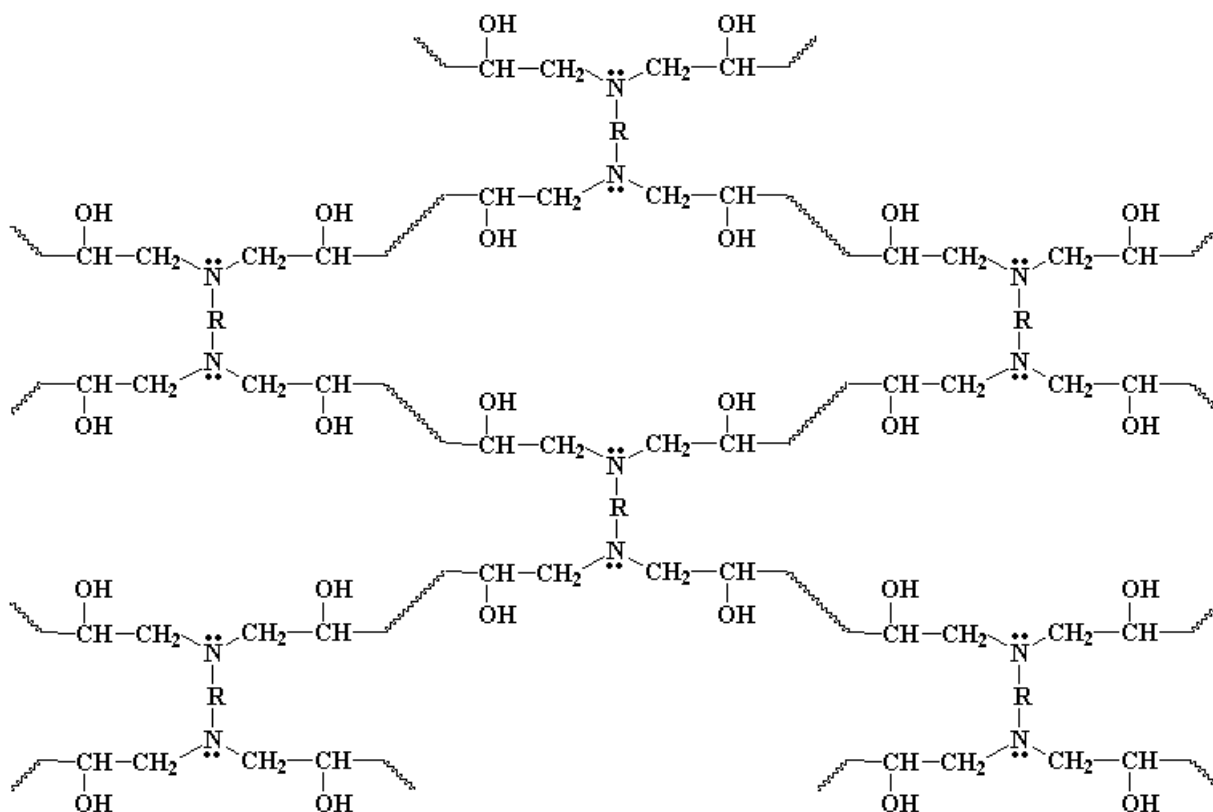
На амінній групі ще залишився один атом водню і він може провзаємодіяти із ще однією епоксидною групою точно в такий же спосіб. Скільки атомів водню є в амінній групі, з такою кількістю епоксидних груп вона може прореагувати.



Так як ми використовуємо діамін, тому амінна група на іншому кінці молекули діаміну також може провзаємодіяти ще із двома епоксидними групами. Тому, в кінцевому результаті ми одержуємо чотири епоксидних форполімера, пов'язаних з одною молекулою діаміну.



Інші кінці дієпоксидних форполімерів приєднані до інших молекул діаміну. Таким чином, всі молекули діаміну і всі дієпоксидні молекули зв'язуються між собою в одну велику молекулу із сітчастою структурою. Ця структура виглядає приблизно так:



### 1.7. Автокаталітичні реакції

Своєрідні кінетичні закономірності виходять, якщо каталітичну дію на реакцію робить який-небудь із її продуктів. Таке явище одержало назву автокаталізу. Для автокаталітичної реакції характерно, що процес іде при змінній зростаючій концентрації каталізатора. Тому швидкість автокаталітичної реакції на початку реакції зростає і лише на більш глибоких стадіях у результаті зменшення концентрації вихідних речовин починає падати. Початкова ділянка кінетичної кривої продукту реакції звернена опуклістю донизу (рис. 1.2).



Кінетична крива продукту автокаталітичної реакції має S-подібний вигляд, подібно кінетичній кривій продукту двох послідовних реакцій.

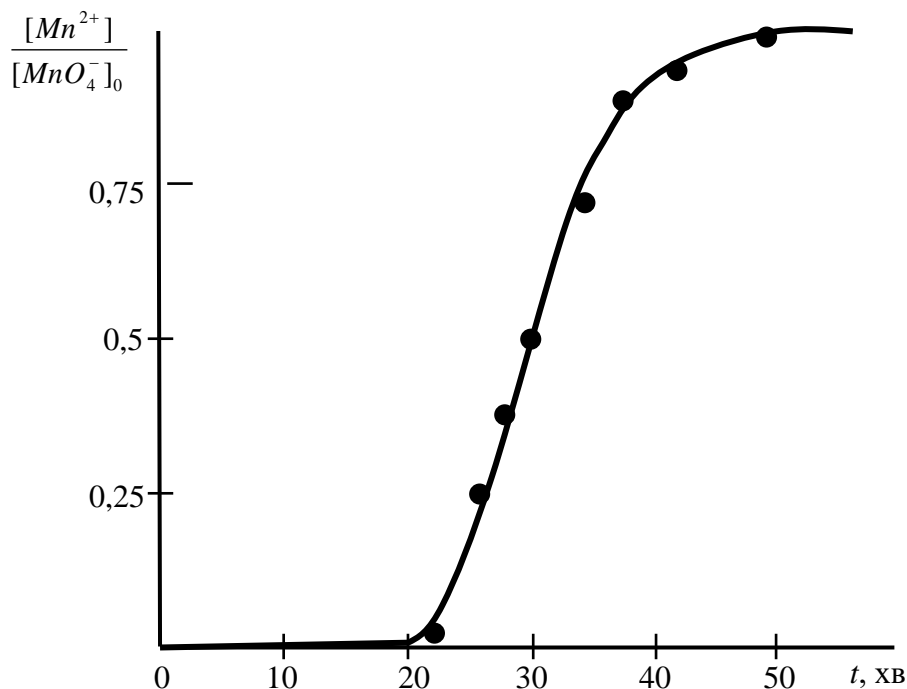


Рис. 1.2. Кінетична крива автокаталітичної реакції окиснення щавлевої кислоти перманганатом калію у водному розчині при 25 °С (за даними А. Г. Шафигудліна)

Автокаталітична реакція може розвинути або якщо поряд з автокаталітичним перетворенням вихідної речовини А в продукт реакції В можливо некаталітичне перетворення А в В, або якщо в початковий момент часу в системі присутня деяка незначна кількість продукту реакції [2].

У найпростішому випадку автокаталітичної реакції першого порядку по А і В швидкість утворення продукту перетворення дорівнює

$$\frac{d[B]}{dt} = k[A][B]$$

Позначаючи через  $x$  приріст  $[B]$  у результаті реакції, тобто припускаючи, що  $x = [B] - [B]_0$  і з огляду на те, що приріст  $[B]$  дорівнює зменшенню  $[A]$ , неважко одержати наступне рівняння:

$$\frac{dx}{dt} = k([A]_0 - x)([B]_0 + x) \quad (1.13.)$$

Рівняння такого ж виду виходить, якщо ніякого затравлення в систему не вноситься, то паралельно з автокаталітичним перетворенням іде за реакцією першого порядку некаталітичне перетворення А в В. У цьому випадку

$$\frac{d[B]}{dt} = k[A][B] + k_b[A]_0$$

звідки

$$\frac{dx}{dt} = k([A]_0 - x) \left( x + \frac{k_0}{k} \right)$$

Це рівняння формально збігається з (1.14), тільки замість  $[B]_0$  у ньому стоїть  $k_0/k$ . Інтегрування рівняння (1.13) дає

$$k([A]_0 + [B]_0)t = \ln \left( \frac{[B]_0 + x [A]_0}{[A]_0 - x [B]_0} \right) \quad (1.14)$$

або у вигляді, дозволеному відносно  $x$ ,

$$x = \frac{[B]_0 \{ \exp[ k[A]_0 + [B]_0 t ] - 1 \}}{1 + \frac{[B]_0}{[A]_0} \exp[ k([A]_0 + [B]_0)t ]} \quad (1.15)$$

Якщо ввести безрозмірні змінні і параметри

$$x/[A]_0 = \xi ; \quad k[A]_0 t = \tau ; \quad [B]_0/[A]_0 = \xi_0$$

То вихідне рівняння (1.13) приймає вигляд

$$\frac{d\xi}{d\tau} = (1 - \xi)(\xi_0 + \xi) \quad (1.16)$$

а рівняння (1.15)

$$\xi = \frac{\xi_0 [e^{(1+\xi_0)\tau} - 1]}{1 + \xi_0 e^{(1+\xi_0)\tau}} \quad (1.17)$$

На рис. 1.3. наведені розраховані за формулою (1.17) кінетичні криві автокаталітичної реакції в безрозмірних змінних для різних значень параметра  $\xi_0$ . При малих значеннях  $\xi_0$  протягом значного часу величина  $\xi$  (вихід продукту реакції) залишається зникаюче малою, а потім починає різко зростати.

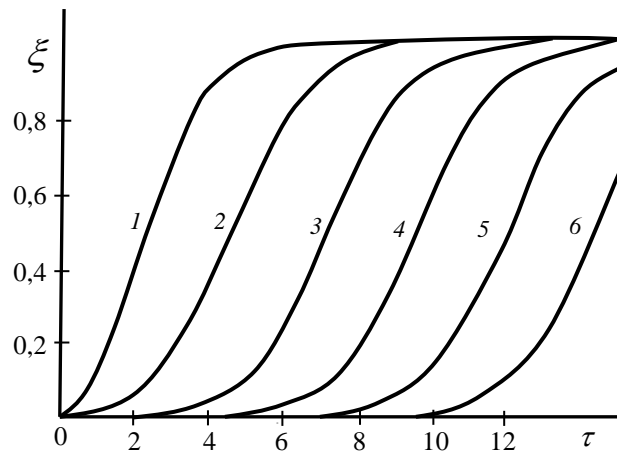


Рис. 1.3. Кінетичні криві автокаталітичної реакції в безрозмірних координатах при різних значеннях  $\xi_0$  :

1– $10^{-1}$ ;      2– $10^{-2}$ ;      3– $10^{-3}$ ;      4– $10^{-4}$ ;      5– $10^{-5}$ ;      6– $10^{-6}$

Якщо відсутні високочутливі методи вимірювання концентрації продукту реакції, протягом значного відрізка часу в системі взагалі не реєструється ніякої реакції.

### 1.8. Висновки до розділу

У ході виконання розділу «літературний огляд» було виконано загальний аналіз літературних джерел. Визначено основні поняття про композитні матеріали, армуючі матеріали та епоксидні смоли, будову та хімічні реакції епоксидної групи. Досліджена класифікація композитних матеріалів. Було досліджено методи виготовлення композитних матеріалів, одержання епоксидних смол та діанових епоксидних олігомерів.

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Пластмаси є матеріалами, що складаються з одного полімеру (поліетилен, органічне скло та ін.) або з полімеру, наповнювача та інших добавок (склотекстоліт, текстоліт та ін.). Полімер у другому випадку є зв'язуючою складовою.

Наповнювач може бути органічного або неорганічного походження у вигляді порошку (деревинна або кварцова мука, тальк та ін.) або шаруватого матеріалу (скловолокно, бавовняна або скляна тканина та ін.).

Широке застосування разом із металами для виготовлення деталей машин знаходять такі пластмаси як волокніт, текстоліт, склотекстоліт, вінілпласт, органічне скло, капрон та інші. З пластмас виготовляють шестерні, підшипники, акумуляторні банки, рукоятки, панелі, щитки, кнопки, наконечники розпилюючих пристроїв, бункери і т. д.

За своєю питомою міцністю на розтягування, тобто міцністю на одиницю щільності

$$\frac{\sigma_a}{\gamma}, \frac{\text{кгс/мм}^2}{\text{г/см}^3}$$

деякі пластмаси (наприклад, склотекстоліт) перевершують сталі і чавуни. Проте слід враховувати, що більшість пластмас поки що мають порівняно низьку твердість і недостатню жорсткість.

Основними показниками механічних властивостей пластмас є твердість, межі міцності за розтягування, стиснення, згину і питома ударна в'язкість. У даній роботі визначаються тільки твердість і міцність за розтягування.

Для визначення механічних властивостей пластмас застосовують устаткування, яке за будовою і дією подібне до устаткування для випробування металів, але це устаткування має меншу потужність і велику чутливість.

### 2.1 Сутність методу

Метод полягає в короткочасному випробуванні зразків з композитного матеріалу на розтяг з постійною швидкістю деформації, при якому визначають: межу міцності при розтягуванні  $\sigma_B$  – відношення максимального навантаження  $F_{max}$ , перед руйнуванням зразка, до початкової площі його поперечного перерізу, МПа; межу пропорційності  $\sigma_{пц}$  – відносно навантаження, при якій відбувається відхилення від лінійної залежності між навантаженням та деформацією до площі початкового поперечного перерізу зразка, МПа; Відносне видовження  $\sigma$  при руйнуванні – відношення збільшення довжини мірної бази в момент руйнування до початкової довжини мірної бази, %; Модуль пружності  $E$  – відношення напруження до відповідної відносної деформації при навантаженні матеріалу в межах початкової лінійної ділянки діаграми деформації МПа. Коефіцієнт Пуассона  $\nu$  - відношення поперечного відносного скорочення до поздовжнього відносного видовження зразка при розтягу в межах лінійної ділянки діаграми деформування.

## 2.2. Прилади для вимірювання

Випробування проводять на розривних машинах та універсальних випробувальних машинах, які забезпечують розтяг зразка з заданою постійною швидкістю переміщення активного захвату та вимірювання навантаження з погрішністю не більше 1% від вимірюваної величини.

Захвати випробувальної машини мають забезпечувати надійне кріплення і точне центрування зразка (поздовжня вісь зразка має співпадати з направленням дії розтягу). Для надійного кріплення зразка при випробуванні міцних композитних рекомендується застосовувати захвати з насічками на робочих поверхнях під кутом  $\pm 45^\circ$ , з кроком 1-2 мм на довжині 100-105 мм.

Для перевірки співвісності прикладеного навантаження необхідно встановити і дослідити один спеціальний зразок, як мінімум, з трьома приклеєними тензорезисторами рис.2.1 1 та 2 паралельно осі зразка на одній його стороні, 3 - по осі зразка з протилежної сторони. Різницю показань

тензорезисторів на лінійній ділянці діаграми розтягу не має перевищувати

$$\frac{\varepsilon_3 - \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}}{\varepsilon_3} \leq 0,02 ;$$

$$\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1} \leq 0,02$$

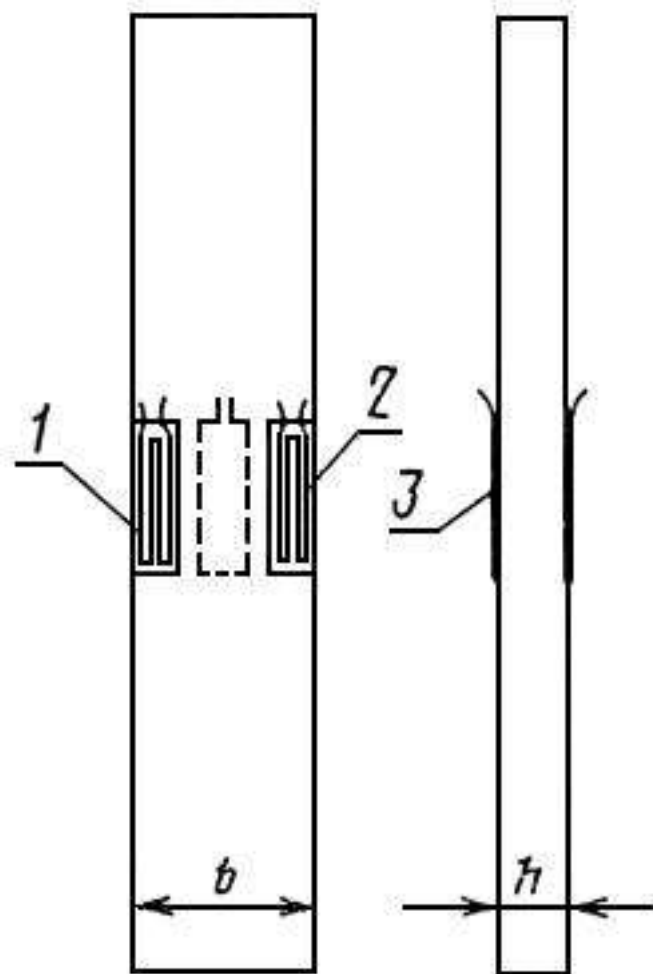


Рис.2.1 Схема кріплення тензорезисторів

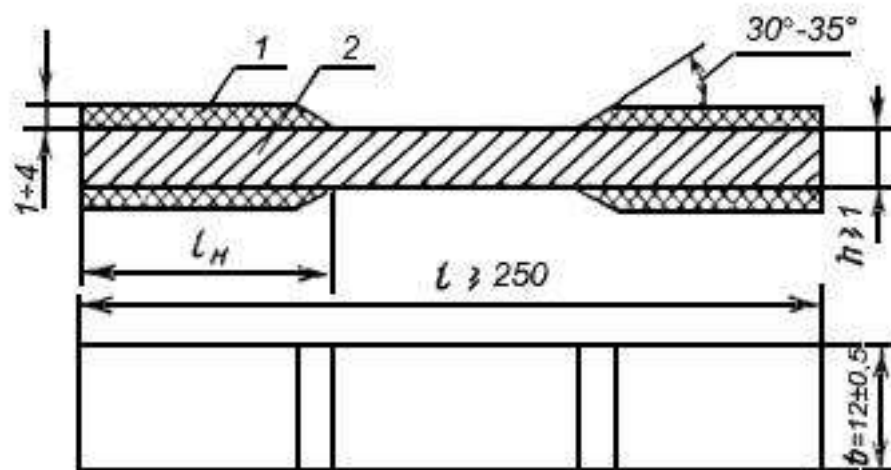
Для реєстрації деформування мають використовуватися прилади, які забезпечують вимірювання деформування з похибкою 1% граничного значення вимірюваної величини. Можуть бути використані механічні

тензоперетворювачі супротиву або інші прилади, кріплення котрих не створює додаткових навантажень або деформацій та не завдає впливу на характеристики які визначаються.

Прилади для вимірювання геометричних розмірів зразка мають забезпечувати вимірювання з похибкою не більше  $\pm 0,05$  мм, якщо вимірювані розміри менше 10 мм, та  $\pm 0,1$  мм, якщо вимірювані розміри не менше 10 мм.

### 2.3. Зразки

Для випробувань однонаправлених композитних матеріалів застосовують зразки виду полоси прямокутного перерізу з закріпленими на кінцях накладками (рис.2.2). При визначенні модуля пружності та коефіцієнта Пуассона цих матеріалів можна застосовувати зразки-полоски без накладок (рис.2.3)



1 - накладка; 2 - зразок

Рис.2.2 Схема для однонаправленого зразка

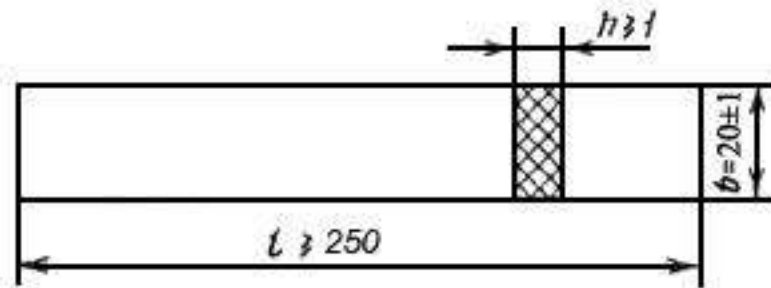


Рис.2.3 Схематичний вид зразка полоски

Для випробування композитних матеріалів з неорієнтованою арматурою застосовують зразки виду лопатки, форма та розміри яких наведені на рис.2.4. Дозволяється використання зразків, вказаних на рис.2.3

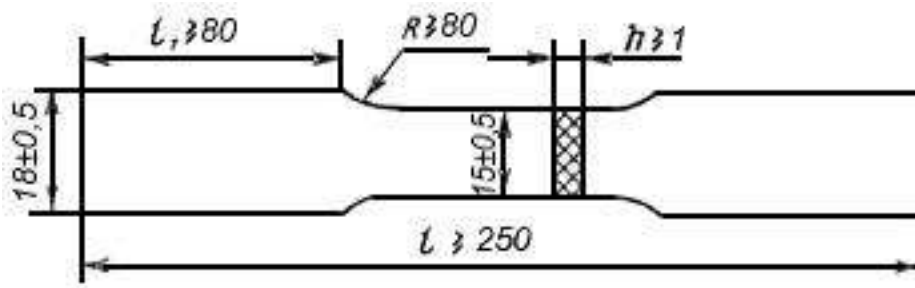


Рис.2.4 Схема для неорієнтованого зразка

Відхилення зразків від заданих розмірів по ширині та товщині робочої зони не має перевищувати 0,05 мм.

Розташування арматури має бути симетричного відносно середньої площини зразка, що проходить через його вісь і паралельно площині розташування арматури.

Умови виготовлення зразків, механічна обробка, місце на направлення вирізаня з плити передбачаються в нормативно-технічній документації на композитні матеріали.

Зразки мають мати гладку рівну поверхню без пухирців, сколів, нерівностей, надрізів, царапин, тріщин або інших видимих дефектів.

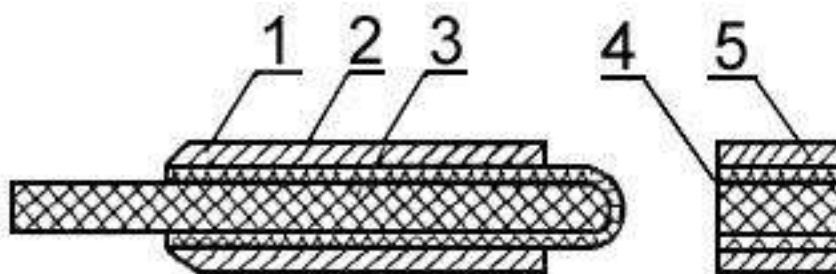
Накладки для зразків виготовляються з ортогонального армованого склопластику або інших матеріалів, модуль пружності яких в напрямках, перпендикулярних осі зразка, не перевищує модуль пружності в цих же напрямках матеріалу зразка, а відносне видовження при руйнуванні накладок не має бути менше відносного видовження досліджуваного матеріалу.



Направлення розташування волокон на прилеглий до зразка поверхні накладок має співпадати з направлення розташуванням волокон зразка.

Рекомендована довжина накладок 1н для однонаправлених міцних композитів складає 90-100 мм.

Накладки при багаторазовому використанні кріпляться до зразка за допомогою шліфувальної тканини згідно ГОСТ 5009-82, на поверхню тканини приклеєні накладки, так як вказано на рис.2.5. Рекомендовано використовувати клей БФ-2 згідно ГОСТ 12172-84 або інші аналогічні по механічним властивостям. Встановлення накладок вказано на рис.3.5



1 - накладка; 2 – шліфувальна тканина; 3 - зразок; 4 – абразивний шар; 5 - шар клею

Рис.2.5 Схема фіксації зразка

У випадку разового використання накладок їх приклеюють безпосередньо до зразка, так як показано на рис.2.2. Для приклеювання накладок використовують клей. Зсувна міцність якого має складати не менше 40 МПа. Технологія приклеювання накладок має бути вказана в нормативно-технічній документації на матеріал зразка.

Кількість зразків, необхідна для визначення одної з характеристик в заданому напрямку композитного матеріалу однієї партії, має бути не менше п'яти. Якщо руйнування зразка при випробуванні проходить не від нормального навантаження або не в робочій зоні, то отримані результати в розрахунок не приймаються і зразок замінюється.

#### **2.4. Підготовка до випробування**

При відсутності в нормативно-технічній документації на матеріал спеціальних вказівок, час від закінчення виробництва композитного матеріалу до випробування маж складати не менше 16 годин.

Перед випробування виміряють товщину та ширину робочої частини зразка в трьох місцях: по краям та всередині. Середнє значення товщини та ширини зразка записуються в протокол випробування, з точністю до трьох значень, визначають площу поперечного перерізу зразка.

## 2.5. Проведення випробувань

Випробування при нормальній температурі проводять в приміщенні або в закритому об'ємі при температурі і відносній вологості повітря або іншого середовища, вказаних в технічних вимогах на досліджуваний матеріал. Якщо вказівки відсутні, то випробування проводять за стандартних умовах згідно ГОСТ 12423-66

Випробування при підвищених та понижених температурах проводять в термокамерах для випробувальних машин.

Зразок в захватах випробувальної машини встановлюються так, щоб їх поздовжні осі співпадали з прямою, що з'єднує точки кріплення захватів в випробувальній машині. Для вимірювання деформації встановлюють механічні екстензометри або інші.

Задають швидкість переміщення активного захвату машини (рекомендована швидкість переміщення рухомого захвату 5-20 мм/хв. Для визначення межі міцності при розтягу, відносного видовження при руйнуванні межі пропорційності зразок рівномірно навантажують з заданою швидкістю аж до його руйнування.

Для визначення модуля пружності та коефіцієнту Пуассона зразок рівномірно з заданою швидкістю навантажують в межах початкової лінійної ділянки діаграми деформування. Для визначення межі міцності при розтягу зразок навантажують та записують найбільше навантаження  $F_{max}$ , яке витримав зразок

## 2.6. Обробка результатів

Межу міцності при розтягу, ( $\sigma$ ) МПа, визначають за формулою

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{F_{\text{max}}}{b \cdot h},$$

де  $F_{\text{max}}$  – максимальне навантаження, під час руйнації зразка, Н;

$b$  - ширина зразка, мм;

$h$  - товщина зразка, мм;

## 2.7. Висновки до розділу

У ході виконання розділу «методи і матеріали дослідження» було розглянуто метод визначення міцності досліджуваних композитних матеріалів. Досліджені сервогідравлічні розривні машини.

## РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1. Одержання досліджуваних зразків композитів

Епоксидні смоли та отверджувачі які були використані для виготовлення експериментальних зразків наведені у табл. 3.1

Таблиця 3.1

№	Епоксидна смола	Затверджувач	Пропорція замішування (по масі)	Вид армуючої тканини
1.	Telalit Ероху 619	Telalit 410	10:2	Склотканина 163 г/м/0°
2.	Elan-tech EC157	Elan-tech W152 HR	10:3	Склотканина 163 г/м/0°
3.	Larit LR285	Larit LH285	10:4	Склотканина 163 г/м/0°

Зразки для проведення дослідження по порівнянню властивостей композитів були виготовлені за допомогою епоксидних смол, отверджувачів та армуючого матеріалу, що наведені у таблиці 3.1 при вакуумній інфузії, схема укладки шарів вказано на рис.3.1.

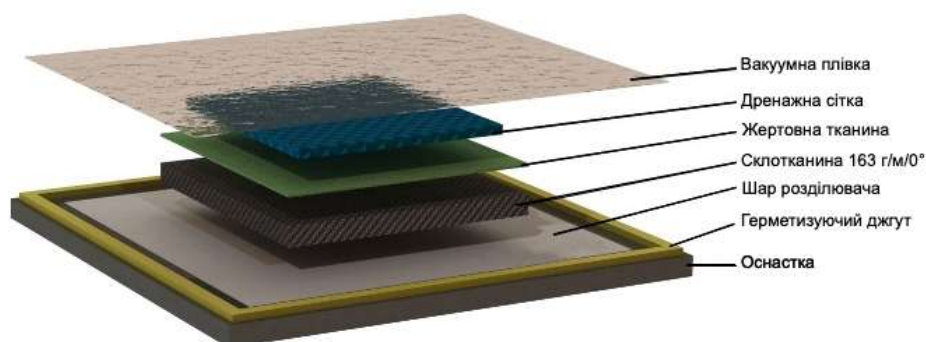


Рис.3.1 Схема укладки шарів при виготовленні композитних матеріалів.

Послідовність операцій при формуванні композитного матеріалу при вакуумній інфузії:

1. Підготувати необхідні матеріали та захисні засоби.

2. Розкроїти 13 шарів склотканини 163 г/м<sup>2</sup>
3. Розкроїти шар жертвної тканини
4. Розкроїти дренажну сітку
5. Розкроїти вакуумну плівку
6. Очистити та знежирити оснастку
7. Нанести шар розділювача на оснастку та дати підсохнути
8. Ретельно просочити епоксидною смолою по одному шару склотканину 163 г/м<sup>2</sup> та викласти на послідовно викласти на оснастку.
9. Ретельно прокатати валиком для видалення пухирців повітря.
10. Викласти поверх склотканини жертвну тканину
11. Викласти поверх жертвної тканини дренажну сітку
12. Ретельно прокатати валиком для видалення пухирців повітря
13. Помістити оснастку з просоченими шарами в вакуумний мішок.
14. Підключити вакуумну систему та залишити для полімеризації на 24 години ви кімнатній температурі 25°C

Дослідження зразків проведено шляхом розриву матеріалу згідно ГОСТ 25.601-80.

### **3.2. Порівняльний аналіз композитних матеріалів**

Для порівняння характеристик епоксидної смоли та отверджувачів, проведемо дослідження виготовлених зразків на розрив (зразки виготовлені при однакових умовах, згідно однієї технології та одного виду армуючого матеріалу).

Для проведення досліджень було використано сервогідравлічну машину із цифровим керуванням ViSS Vi-00-202V (рис.3.2)



Рис.3.2 Сервогідролічна машина із цифровим керуванням BiSS Vi-00-202V

Для факсації досліджуваного зразка вистовувалися спеціальні позиціонери для точного виставлення перпендикулярів між зажимами та зразками (рис.3.3).

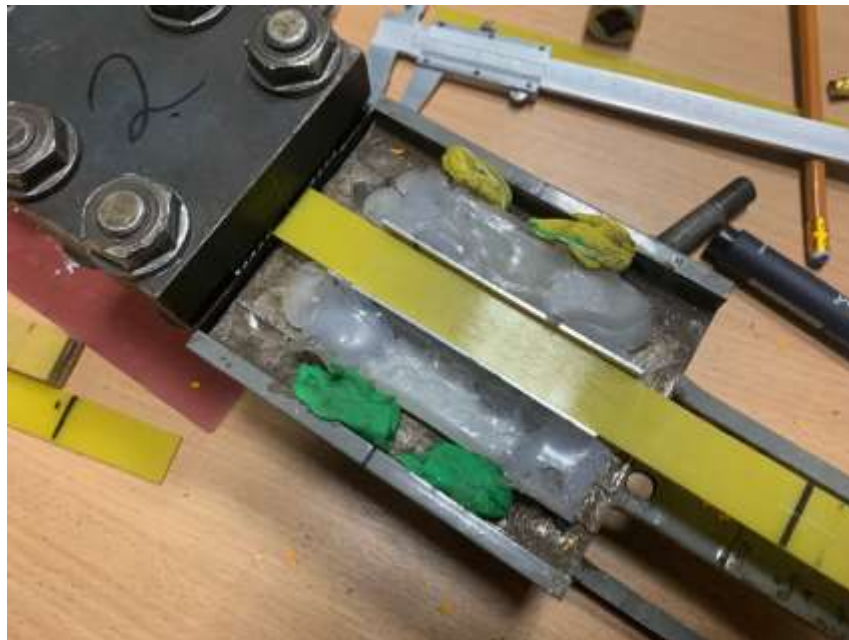


Рис.3.3 Схема позиціонування зразка відносно зажимів

Після встановлення зафіксованого в зажимах зразка в сервогідролічну машину, встановлюється тензорезистор (рис.3.4) для виведення даних при розтягуванні зразка на монітор обчислювальної машини.



Рис.3.4 Схема закріплення зразка в сервогідролічній машині

Згідно ГОСТ 25.601-80, для забезпечення мінімальної похибки в отриманих значеннях, кількість досліджуваних зразків на розрив рекомендовано використовувати не менше п'яти.

Для трьох видів епоксидної смоли загалом було проведено 15 експериментів на розрив.

Отримані середні значення розриву під час дослідів для зразків виготовлених з суміші Telalit Ероху 619 та Telalit 410 наведено у табл. 3.2.

Результати досліджень на розрив для зразків виготовлених з суміші Telalit Ероху 619 та Telalit 410.

Таблиця 3.2

Максимальний розтяг, мм	Максимальна сила, кН
0,197	9,639

На основі одержаних даних було розраховано середні значення з п'яти дослідів та побудовано графік залежності прикладеної сили кН від розтягу, мм для зразків виготовлених з суміші Telalite Epoxy 619 та Telalite 410 (рис. 3.2)

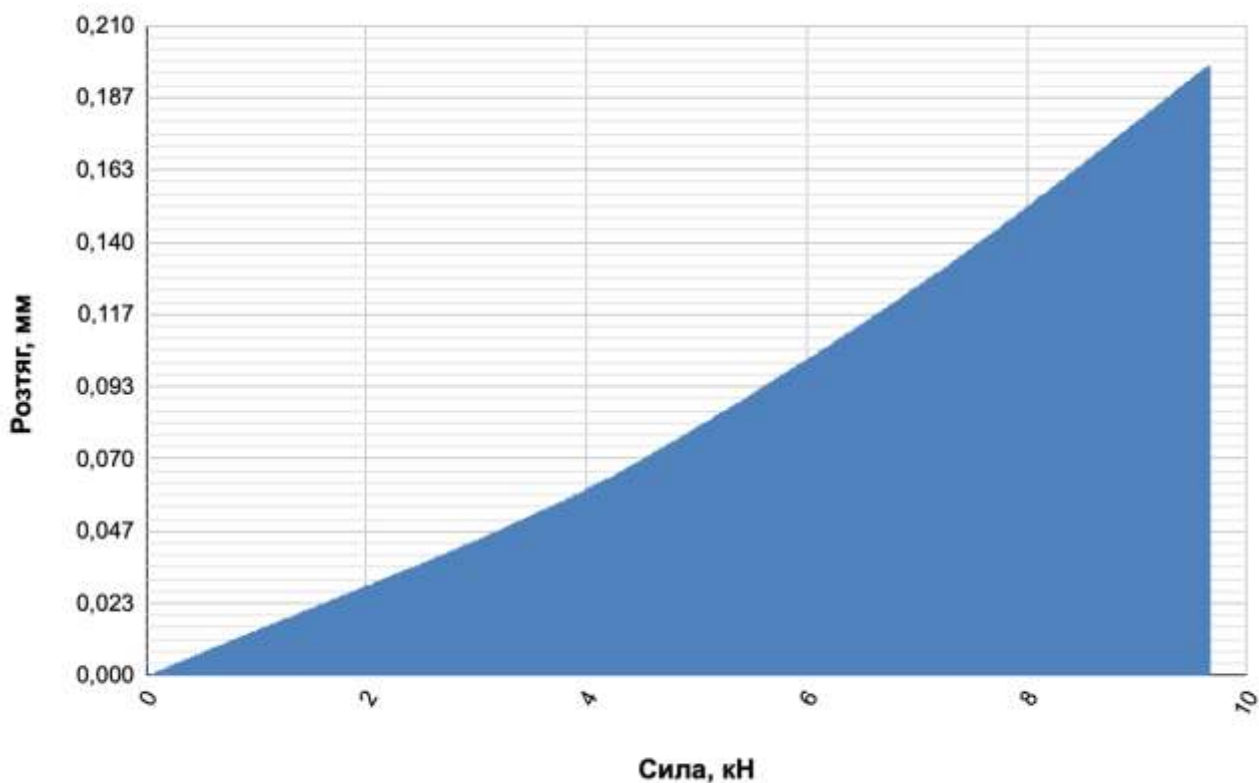


Рис 3.2. Графік залежності прикладеної сили кН від розтягу, мм

Отримані середні значення розриву під час дослідів для зразків виготовлених з суміші Elan-tech EC157 та Elan-tech W152 HR наведено у табл. 3.3.

Результати досліджень на розрив для зразків виготовлених з суміші Elan-tech EC157 та Elan-tech W152 HR.

Таблиця 3.3

Максимальний розтяг, мм	Максимальна сила, кН
0,3299	14,629

На основі одержаних даних було розраховано середні значення з п'яти дослідів та побудовано графік залежності прикладеної сили кН від розтягу, мм



для зразків виготовлених з суміші Elan-tech EC157 та Elan-tech W152 HR (рис. 3.3)

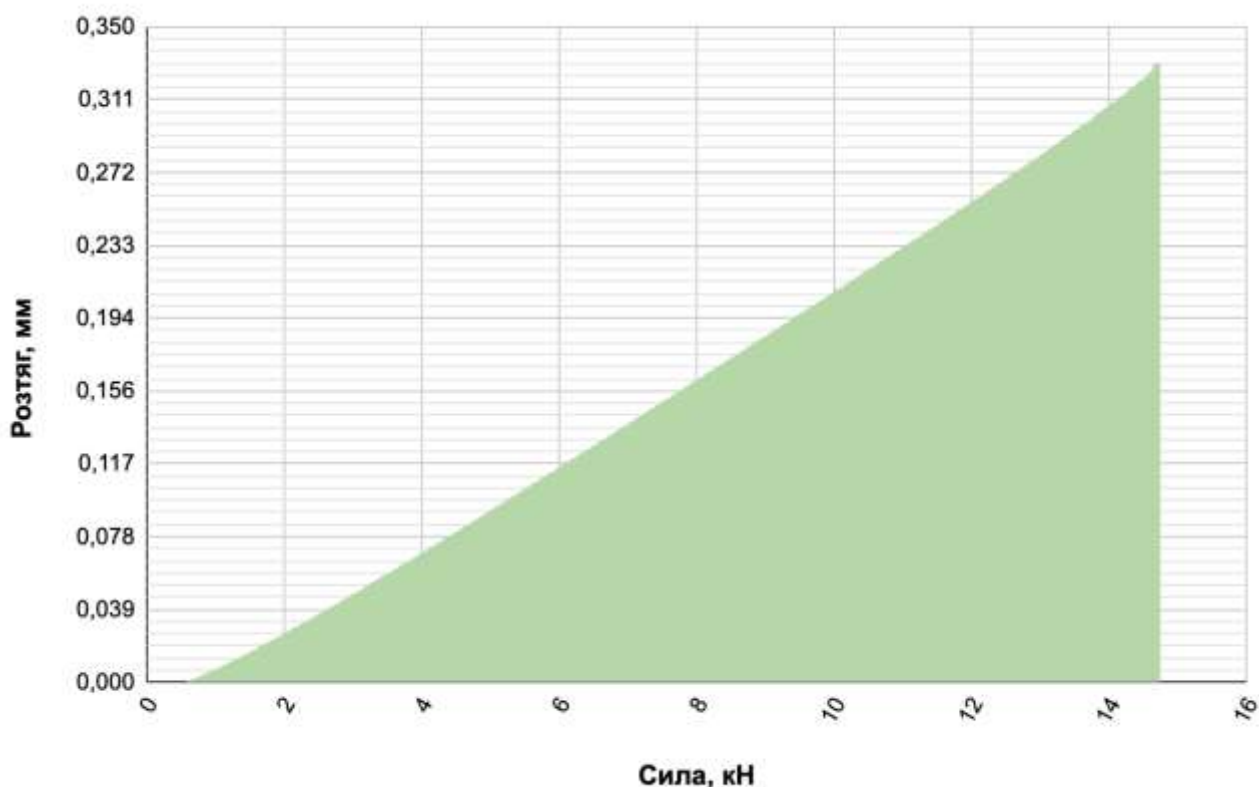


Рис 3.3. Графік залежності прикладеної сили кН від розтягу, мм

Отримані середні значення розриву під час дослідів для зразків виготовлених з суміші Larit LR285 та Larit LH285 наведено у табл. 3.4.

Результати досліджень на розрив для зразків виготовлених з суміші Larit LR285 та Larit LH285.

Таблиця 3.4

Максимальний розтяг, мм	Максимальна сила, кН
0,2784	9,568

На основі одержаних даних було розраховано середнє значення з п'яти дослідів та побудовано графік залежності прикладеної сили кН від розтягу, мм для зразків виготовлених з суміші Larit LR285 та Larit LH285 (рис. 3.4)

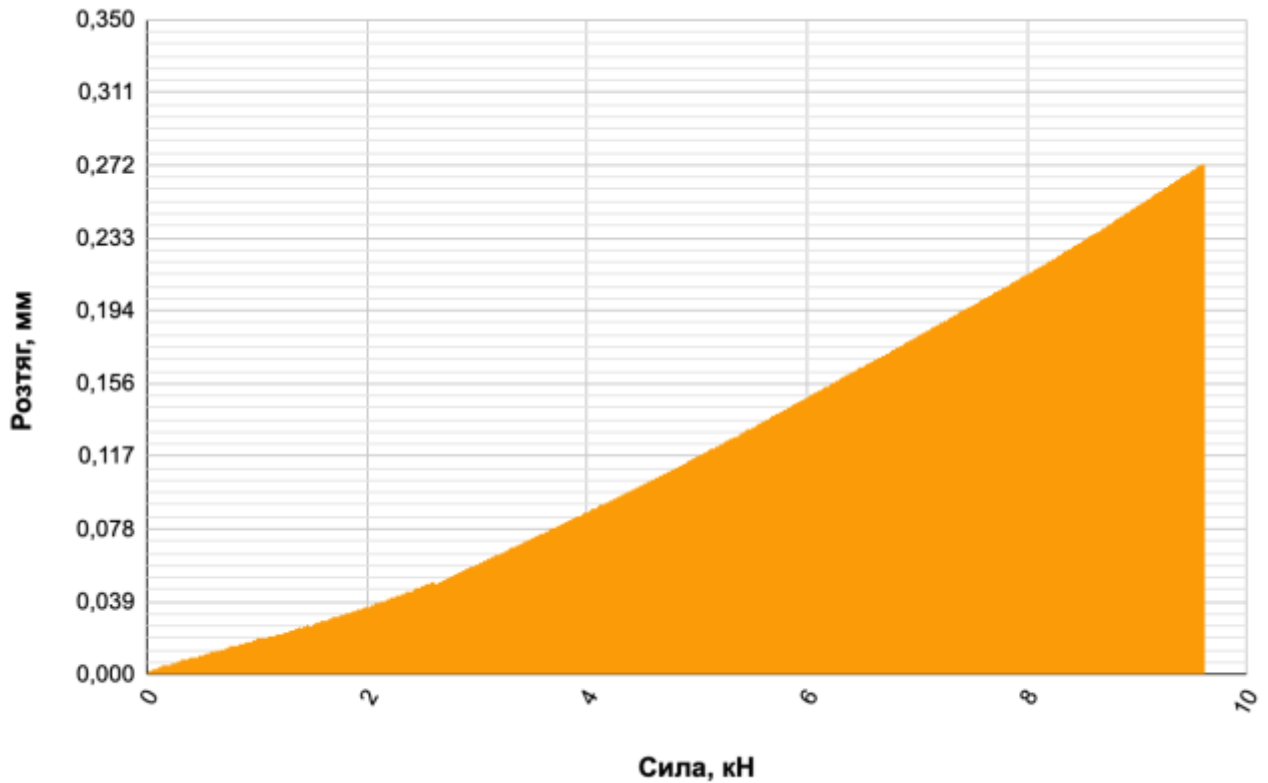


Рис 3.4. Графік залежності прикладеної сили кН від переміщення, мм  
 Межа міцності при розтягу, ( $\sigma_B$ ) МПа, визначається за формулою

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{b \cdot h}$$

де  $F_{\max}$  – максимальне навантаження, перед руйнуванням зразка, Н;

$b$ - ширина зразка, мм;

$h$ - товщина зразка, мм;

Розрахунок межі міцності для зразків виготовлених з суміші Telalit Ероху 619 та Telalit 410

$$b=18, \text{ мм};$$

$$h=2, \text{ мм};$$

$$F_{\max}=9639 \text{ Н}$$

$$\sigma_B = \frac{9639}{18 \cdot 2} = 267,75 \text{ МПа}$$

Розрахунок межі міцності для зразків виготовлених з суміші Elan-tech EC157 та Elan-tech W152 HR

$$b=18, \text{ мм};$$

$$h=2, \text{ мм};$$

$$F_{\max}=14629 \text{ Н}$$

$$\sigma_B = \frac{14629}{18 \cdot 2} = 406,36 \text{ МПа}$$

Розрахунок межі міцності для зразків виготовлених з суміші Larit LR285 та Larit LH285

$$b=18, \text{ мм};$$

$$h=2, \text{ мм};$$

$$F_{\max}=9568 \text{ Н}$$

$$\sigma_B = \frac{9568}{18 \cdot 2} = 265,77 \text{ МПа}$$

Порівняння межі міцності досліджуваних зразків наведено у табл. 3.5

*Таблиця 3.5*

№	Суміш, Смола+Затверджувач	Межа міцності, МПа
1	Telalit Ероху 619 + Telalit 410	267,75
2	Elan-tech EC157 + Elan-tech W152 HR	406,36
3	Larit LR285 + Larit LH285	265,77

На основі отриманих даних побудовано порівняльний графік досліджуваних сумішей (рис. 3.5) та встановлено, що суміш Elan-tech EC157 + Elan-tech W152 HR на 51,77% краще від суміші Telalit Ероху 619 + Telalit 410 та Larit LR285 + Larit LH285 на 0,74% гірше від суміші Telalit Ероху 619 + Telalit 410.

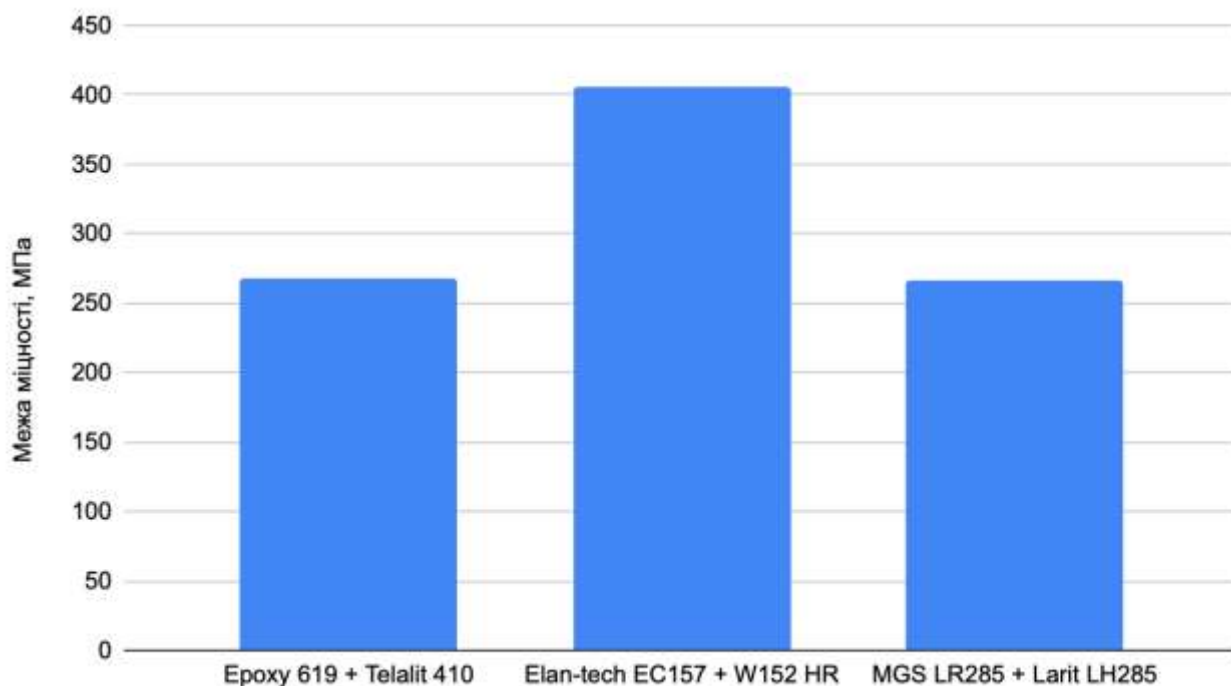


Рис.3.5. Порівняльний графік досліджуваних сумішей.

### 3.3. Висновки до розділу

У ході виконання розділу «експериментальна частина» було виготовлені композитні матеріали з епоксидних смол Telalit Epoxy 619, Elan-tech EC157, Larit LR285, отверджувачі Telalit 410, Elan-tech W152 HR, Larit LH285 та наповнювача склотканини 163 г/м<sup>2</sup>. З заготовок КМ були виготовлені зразки згідно ГОСТ 25.601-80.

Проведено експеримент для дослідження міцності композитних матеріалів на сервогідравлічній розривній машині із цифровим керуванням ViSS Vi-00-202V. Проведено обробку та аналіз експериментальних даних. Побудовано графіки залежності розтягу від прикладеної сили для різних видів композитних матеріалів, отримані дані проаналізовані та оброблені, виконано порівняння досліджуваних матеріалів.

## **РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ**

Метою даного розділу є визначення токсичності та небезпечних виробничих факторів на робочому місці під час роботи з епоксидними смолами, а також розробка заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці, що відповідають вимогам норм і стандартів з техніки безпеки та охорони праці.

Для аналізу умов праці та безпеки при проведенні досліджень було обрано лабораторії Національного авіаційного університету, в яких умови праці та безпеки відповідає закону України про охорону праці.

### **4.1. Аналіз умов праці**

#### **4.1.1. Організація робочого місця**

Робоче місце – місце постійного або тимчасового перебування працівника або групи працівників в процесі трудової діяльності, оснащене всім необхідним для успішного здійснення роботи. Нормативними документами встановлені площа ( $S \geq 4,5 \text{ м}^2$ ) і об'єм ( $V \geq 15 \text{ м}^3$ ) робочої зони для однієї людини.

Під час виконання дипломного експерименту робочою зоною була хімічна лабораторія площею 28 м<sup>2</sup> та об'ємом 98 м<sup>3</sup>, що відповідає стандартам.

Під час виконання експерименту небезпечними факторами були: вплив освітлення, небезпека враження електричним струмом.

#### **4.1.2. Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників**

Шкідливі речовини класифікуються за такими ознаками: • ступінь дії на організм людини;

- шлях проникнення в організм;
- характер дії на організм людини;
- ступінь токсичності;

- хімічний клас сполук.

За ступенем дії на організм людини (ГОСТ 12.1.007-88 ССБТ) шкідливі речовини поділяються на чотири класи небезпеки:

I – речовини надзвичайно небезпечні;

II – речовини високонебезпечні;

III – речовини помірно небезпечні;

IV – речовини малонебезпечні.

### **4.1.3. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників**

#### **4.1.3.1. Мікроклімат приміщень**

На підприємствах на самопочуття, стан здоров'я людини впливає мікроклімат виробничих приміщень, який визначається дією на організм людини температури, вологості, рухомості повітря, теплового випромінювання та токсичність речовин.

Відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005-88 і ДСН 3.3.6.042-99 роботи, що виконуються у приміщенні лабораторії відносяться до фізичних робіт середньої важкості (категорія II) охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює 176-232 Вт (151-200 ккал/год.) – категорія IIa. До категорії IIa належать роботи, пов'язані з ходінням, переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів або предметів у положенні стоячи або сидячи і потребують певного фізичного напруження.

Складемо таблицю (4.1.) порівняння санітарних норм параметрів мікроклімату для категорії фізичних робіт, що виконуються у даній лабораторії та існуючих мікрокліматичних параметрів.

## Вимоги до параметрів мікроклімату

Період року	Температура повітря			Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	оптимальна	допустима		оптимальна	допустима	оптимальна	допустима
		верхня межа	нижня межа				
Холодний	18-20	23-24	17-15	60-40	75	0,2	не більше 0,3
Теплий	21-23	29-27	18-17	60-40	65 (при 26°C)	0,3	0,2-0,4
Існуючі умови на робочому місці	22-24			55-60		0,2-0,3	

**4.1.3.2. Шкідливі речовини в повітрі робочої зони**

Шкідлива речовина — це речовина, яка у випадку порушення вимог безпеки може при контакті з організмом людини зумовити виробничі травми, професійні захворювання або відхилення в стані здоров'я, що негативно позначається в цілому на здоров'ї нації.

Згідно з ГОСТ 12.1.007-76 "ССБТ Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки" шкідливі речовини поділяються за ступенем впливу на організм людини на чотири класи небезпеки: 1 - надзвичайно небезпечні; 2 - високо небезпечні; 3 - помірно небезпечні; 4 - мало небезпечні.

Шкідливими речовинами під час полімеризації епоксидної смоли може бути речовина, що входить до складу отверджувача поліетиленполіаміну — етилендіамін. Ця речовина є легкою і при надлишку в повітрі робочої зони подразнює шкіру та викликає подразнюючу дію на верхні дихальні шляхи.

Пари етилендіаміну викликають гострі запалення верхніх дихальних шляхів, бронхіти, бронхіальну астму, екзему і роздратування шкіри, уражають печінку

Відповідно ГОСТ 12.1.007-76 "ССБТ Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки" гранично допустима концентрація етилендіаміну в повітрі виробничих приміщень 2 мг/м<sup>3</sup>.

За характером виникнення і тривалості перебігу розрізняють гострі і хронічні отруєння. Гострі отруєння виникають у разі дії на організм токсичних речовин великої концентрації протягом невеликого проміжку часу; хронічні – характеризуються більш або менш стійкими захворюваннями, які виникають після тривалої дії малих доз отрути, яка поступово накопичується в організмі, або підсумовуються зміни, викликані отрутою. Потерпілим надають першу допомогу і проводять стаціонарне лікування.

Таблиця 4.2.

Перелік шкідливих речовин, які можуть виділятися у повітря робочої зони з епоксидних смол і композитних матеріалів на різних етапах синтезу і переробки

№ п/п	Найменування шкідливої речовини	Величина ГДК в повітрі робочої зони, мг/м <sup>3</sup>	Переважаючий агрегатний стан в умовах виробництва	Клас небезпеки	Особливості дії на організм людини
1.	Епіхлоргідрин+	1,0	п	2	А
2.	Толуол	50,0	п	3	
3.	Дифенілолпропан	5,0	а	3	
4.	Фенол+	0,3	п	2	
5.	Анілін+	0,1	п	2	
6.	Формальдегід+	0,5	п	2	О, А
7.	Спирт бутиловий	10,0	п	3	
8.	Етилендіамін	2,0	п	2	
9.	Малеїновий ангідрид	1,0	п+а	2	А
10.	Спирт ізопропіловий	10,0	п	3	



11.	Ацетон	200,0	п	4	
12.	Луги+ (розчини в перерахунку на NaOH)	0,5	а	2	

Умовні позначення: п – пари або газу; а – аерозоль; п+а – суміш парів і аерозолу; + – потрібно спеціальний захист шкіри і очей; О – речовини з гостронаправленим механізмом дії, які потребують автоматичного контролю за їх вмістом у повітрі; А – речовини, які здатні викликати алергічні захворювання у виробничих умовах.

Таблиця 4.3.

Офіційно затверджені гранично допустимі концентрації летких продуктів найбільш поширених епоксидних смол і композитів

№ п/п	Марка смоли або композиту	Величина ГДК в повітрі робочої зони, мг/м <sup>3</sup>	Переважаючий агрегатний стан в умовах виробництва	Клас небезпеки	Особливості дії на організм
1	2	3	4	5	6
1.	Епоксидіанові смоли ЕД-20 (ЕД-5), Е-40 епокситрифенольна (за епіхлоргідрином)	1,0	п	II	А
2.	Епоксидні смоли УП-666-1, УП-666-2, УП-666-3, УП-671, УП-671-Д, УП-677, УП-680, УП-682 (за епіхлоргідрином)	0,5	п	II	А
3.	Епоксидні смоли УП-650, УП-650-Т (за епіхлоргідрином)	0,3	п+а	II	А

4.	Епоксидні смоли УП-2124, Е-181, ДЕГ-1 (за епіхлоргідрином)	0,2	п	II	А
5.	Епоксидні смоли ЕА (за епіхлоргідрином)	0,1	п	II	А
6.	Поліоксипропіденепоксиди ТЕ-1500, ТЕ-750 (за ацетоном)	100,0	п	IV	
7.	Поліоксипропіленепоксиди ДЕ-1000, ДЕ-500 (за ацетоном)	100,0	п	IV	
8.	Епоксидні клеї УП-5-207, УП-5-207-III, УП-5-240 (за епіхлоргідрином)	1,0	п	II	А
9.	Епоксидний клей УП-5-253 (за епіхлоргідрином)	0,5	п	II	А

Умовні позначення: п - пари і/або газу; п+а - суміш парів і аерозолі;

А – речовини, які здатні викликати алергічні захворювання у виробничих умовах

#### 4.1.3.3. Природне та штучне освітлення

У приміщенні лабораторії використовується природне бічне освітлення та штучне.

Для робіт середньої точності з об'єктами розрізнення 0,5-1,0 мм КПО при верхньому чи комбінованому освітленні 4,0% при бічному – 1,5%. Для штучного освітлення при системі комбінованого освітлення 600-400 лк, при системі загального освітлення 500 лк. В приміщенні лабораторії використовується природне освітлення. Штучним джерелом світла є люмінесцентні лампи ЛБ-40 у кількості 6 штук, розміщені у 3 світильниках ЛПО 02-2×40.

#### 4.1.3.4. Електробезпека

Приміщення, в яких знаходиться устаткування і персонал, щодо техніки електробезпеки поділяються на приміщення з підвищеною небезпекою, особливо небезпечні приміщення та приміщення без підвищеної небезпеки. Приміщення з підвищеною небезпекою характеризуються наявністю одного із небезпечних факторів: вологість (більше 75%); висока температура (вище +35°C); наявність струмопровідного пилу; струмопровідна підлога; можливість одночасного дотикання до металоконструкцій, що мають з'єднання із землею, технологічним апаратом, з одного боку, і до заземленого електричного устаткування – з іншого; наявність хімічно активного середовища (пари кислот, лугів і т. д.).

Особливо небезпечні приміщення характеризуються наявністю 2-х і більше ознак підвищеної небезпеки. Приміщення без підвищеної небезпеки характеризуються відсутністю умов, що створюють "підвищену небезпеку" і "особливу небезпеку".

Лабораторія, в якій проводились дослідження для даної роботи відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є такі:

- застосування малих напруг і електричний поділ мереж;
- контроль ізоляції. При порушенні ізоляції мереж і устаткування корпусу, конструкції, на яких вони змонтовані, труби, в яких прокладені проводи, можуть виявитися під небезпечною напругою. В установках до 1000 В опір ізоляції повинен бути не нижче 0,5 МОм;
- захисне заземлення – це навмисне з'єднання із заземленим пристроєм металевих частин електроустаткування, що зазвичай не знаходяться під напругою, але можуть виявитися такими у випадку ушкодження ізоляції. Зміст заземлення полягає в тому, щоб знизити напругу доторкання при ушкодженні ізоляції до безпечної для людини величини;

– захисне відключення – це система захисту, що забезпечує безпеку шляхом автоматичного відключення (протягом не більш 0,2 сек.) електроустановки у випадках замикання струмоведучої частини на землю, зниження опору ізоляції, несправності заземлення і т. д.;

– захист від випадкового дотику до струмоведучих частин досягається шляхом використання огорожень і відповідних конструкцій електроустановок; блокувань; розташування струмопровідних частин на недоступній висоті (наприклад лінії електропередач); застосування подвійної ізоляції;

– вирівнювання потенціалів.

## **4.2. Пожежна безпека**

При виконанні дослідницької роботи застосовувалися такі горючі гази: природний газ і коксовий газ. Вони відносяться до групи Г1 за вибухонебезпечністю суміші ( згідно ГОСТ 51330.5-99) і до категорії ПА ( згідно ГОСТ 51330.11-99).

Хоча при дослідницькій роботі в лабораторії використовуються горючі гази, але застосовуються вони в малих кількостях, і робота з ними проводилася у при працюючій вентиляції, тому приміщення лабораторії відносять до категорії пожежонебезпечної зони П-1.

Згідно з класифікацією приміщень і споруд по пожежо-, вибухонебезпеці приміщення лабораторії відносять до пожежонебезпечної категорії В.



У приміщенні дослідницької лабораторії знаходяться: вогнегасник ОУ-5 (ДСТУ 3675-98) – 1шт.

У робочому приміщенні виконуються усі вимоги по пожежонебезпеці відповідно до вимог НАПБ.А.01.001 95 “Правила пожежної безпеки в Україні”.

### 4.3. Розрахункова частина

У виробничих умовах важливим чинником негативного впливу на працівників є продукти виділення із синтетичних матеріалів (СМ) та виробів із них. Асортимент СМ досить широкий: поліаміди, поліуретани, поліакрилати, фенолформальдегідні, епоксидні, поліефірні смоли тощо. Вони застосовуються при будівництві виробничих та інших приміщень, у технологічних процесах, виготовленні одягу і взуття, засобів індивідуального захисту робітників, також широко застосовуються в авіаційних сферах.

Небезпечність СМ зумовлюється токсичністю речовин, що потрапляють з них у навколишнє середовище і можуть негативно впливати на здоров'я людини. Деякі речовини, що виділяються зі СМ, мають неприємний запах, який створює дискомфорт у працівників. При використанні СМ для виготовлення засобів

індивідуального захисту вони можуть чинити не тільки токсичну, а й специфічну дію: алергенну, гонадотропну, мутагенну.

Токсикологічна оцінка ґрунтується на принципах послідовності експерименту, внаслідок якого отримується інформація про кількісний і якісний склад мігруючих зі СМ хімічних речовин, про кінетику їх виділення залежно від часу, температури та інших факторів виробничого середовища.

*Ступінь* небезпеки хімічних речовин, що мігрують зі СМ, визначають за формулою:

$$Q = \frac{C}{\text{ДР (або ДКМ)}}$$

де  $Q$  – кількісний показник небезпеки;  $C$  – реальний рівень міграції хімічної речовини зі СМ (мг/д м<sup>3</sup> або мг/ м<sup>3</sup>); ДР (ДКМ) – допустимий рівень концентрації міграції (мг/д м<sup>3</sup> або мг/ м<sup>3</sup>).

Якщо  $Q > 1$ , тоді СМ, з якого мігрують речовини, забороняється використовувати або слід вжити заходи зі зменшення рівня реальної міграції (шляхом внесення змін у рецептуру або технологію). При  $Q \leq 1$  міграція речовини зі СМ не становить загрози здоров'ю.

Під час виконання лабораторних дослідів використовувалися аналоги епоксидної смоли ЕД-20, технічні вимоги по ГОСТ Р 56211-2014 де ДКМ дорівнює 0,005 мг/ м<sup>3</sup> реальний рівень міграції хімічної речовини 0,001-0,007 мг/ м<sup>3</sup> для висанчення кількісного показника небезпеки візьмемо середнє значення 0,004 мг/ м<sup>3</sup>.

$$Q = \frac{0,004}{0,005} = 0,8$$

Кількісний показник небезпеки  $Q \leq 1$ , отже міграція речовини зі СМ не становить загрози здоров'ю

#### 4.4. Висновки до розділу

У ході виконання розділу «Охорона праці та безпека життєдіяльності» було виконано загальний аналіз робочого приміщення хімічної лабораторії. Визначено основні шкідливі і небезпечні фактори, що впливають на дослідника в хімічній лабораторії та описано методи усунення даних факторів. Проведено кількісного показника безпеки. Та виявлено, що досліджувана епоксидна смода ЕД-20 не становить загрози здоров'ю.

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5.1. Вплив виробництва епоксидних матеріалів на навколишнє середовище

Епоксидні сполуки (ЕС) належать до технічно важливих типів реакційноздатних синтетичних речовин і широко використовуються в традиційних та перспективних галузях промисловості – хімічній, аерокосмічній, машинобудівній, ядерній енергетиці, промислового та громадського будівництві тощо

На світовому ринку попит на епоксидні смоли складає близько одного мільйона тонн на рік, для країн СНД – 100 000 тонн; з кожним роком ці показники зростають. При такому поширеному використанні і розповсюдженні ЕС зростає можливість контакту людини з ними як в умовах виробництва, так і в інших об'єктах навколишнього середовища. Відомо, що ЕС характеризуються високим ступенем хімічної активності і широким спектром біологічної дії. ЕС досить токсичні, можуть спричиняти алергенну, фіброгенну, мутагенну, нейротоксичну, канцерогенну та інші види дій. Такий широкий спектр біологічної дії зазначених виробничих отрут пояснюється перш за все особливостями хімічної будови їх молекул.

ЕС, які випускає вітчизняна промисловість, містять від 1 до 10 % летких домішок, які інтенсивно виділяються при нагріванні (до 80 - 100 °С) смол і композитів на їх основі в процесі одержання і переробки. При нагріванні смол до 200 °С і вище може відбуватися їх термоокисна деструкція. Хімічний склад суміші летких речовин, що виділяються з епоксидних сполук, визначається складом вихідних, проміжних, допоміжних і побічних продуктів їхнього синтезу. Тому особливу увагу приділяють будівництву нових підприємств по синтезу і переробці епоксидних смол в районах, які мають значні фонові забруднення атмосфери шкідливими речовинами, однойменними з забруднюючими підприємствами або однонаправленої з ними дії, оскільки під час виробництва



епоксидних смол до атмосфери надходять такі шкідливі речовини, як епіхлоргідрин, хлористий аліл, формальдегід та ін.

Перелік всіх шкідливих речовин, які можуть виділятися у атмосферне повітря під час виробництва ЕС наведено у табл. 5.1.:

*Таблиця 5.1.*

Перелік основних шкідливих речовин, які можуть надходити в атмосферне повітря

№ п/п	Найменування шкідливої речовини	Величина ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпеки
		максимально разова	середньодобова	
1.	Епіхлоргідрин	0,2	0,2	П
2.	Толуол	0,6	0,6	Ш
3.	Фенол	0,01	0,003	П
4.	Анілін	0,05"	0,03	П
5.	Формальдегід	0,035	0,03	П
6.	Спирт бутиловий	0,1	0,1	Ш
7.	Етилендіамін	2,0	2,0	П
8.	Малеїновий ангідрид	0,2	0,05	П
9.	Спирт ізопропіловий	0,6	0,6	Ш
10.	Ацетон	0,35	0,35	IV
11.	Луги (розчини в перерахунку на NaOH)	-	-	П

*Таблиця 5.2.*

Перелік шкідливих речовин, які можуть виділятися у повітря робочої зони з епоксидних смол і композитних матеріалів на різних етапах синтезу і переробки

№ п/п	Найменування шкідливої	Величина ГДК в	Переважаючий агрегатний	Клас небезпеки	Особливості дії на
----------	---------------------------	-------------------	----------------------------	-------------------	-----------------------

	речовини	повітрі робочої зони, мг/м <sup>3</sup>	стан в умовах виробництва		організм людини
1.	Епіхлоргідрин+	1,0	п	2	А
2.	Толуол	50,0	п	3	
3.	Дифенілолпропан	5,0	а	3	
4.	Фенол+	0,3	п	2	
5.	Анілін+	0,1	п	2	
6.	Формальдегід+	0,5	п	2	О, А
7.	Спирт бутиловий	10,0	п	3	
8.	Етилендіамін	2,0	п	2	
9.	Малеїновий ангідрид	1,0	п+а	2	А
10.	Спирт ізопропіловий	10,0	п	3	
11.	Ацетон	200,0	п	4	
12.	Луги+ (розчини в перерахунку на NaOH)	0,5	а	2	

Умовні позначення: п – пари або гази; а – аерозоль; п+а – суміш парів і аерозолі; + – потрібно спеціальний захист шкіри і очей; О – речовини з гостронаправленим механізмом дії, які потребують автоматичного контролю за їх вмістом у повітрі; А – речовини, які здатні викликати алергічні захворювання у виробничих умовах.

*Таблиця 5.3.*

Офіційно затверджені гранично допустимі концентрації летких продуктів  
найбільш поширених епоксидних смол і композитів

№ п/п	Марка смоли або композитів	Величина ГДК в повітрі робочої	Переважаючий агрегатний стан в умовах виробництва	Клас небезпеки	Особливості дії на організм

1	2	зони, мг/м <sup>3</sup>	3	4	5	6
1.	Епоксидіанові смоли ЕД-20 (ЕД-5), Е-40 епокситрифенольна (за епіхлоргідрином)	1,0	п	II	А	
2.	Епоксидні смоли УП-666-1, УП-666-2, УП-666-3, УП-671, УП-671-Д, УП-677, УП-680, УП-682 (за епіхлоргідрином)	0,5	п	II	А	
3.	Епоксидні смоли УП-650, УП-650-Т (за епіхлоргідрином)	0,3	п+а	II	А	
4.	Епоксидні смоли УП-2124, Е-181, ДЕГ-1 (за епіхлоргідрином)	0,2	п	II	А	
5.	Епоксидні смоли ЕА (за епіхлоргідрином)	0,1	п	II	А	
6.	Поліоксипропіденепоксиди ТЕ-1500, ТЕ-750 (за ацетоном)	100,0	п	IV		
7.	Поліоксипропіленепоксиди ДЕ-1000, ДЕ-500 (за ацетоном)	100,0	п	IV		
8.	Епоксидні клеї УП-5-207, УП-5-207-III, УП-5-240 (за епіхлоргідрином)	1,0	п	II	А	
9.	Епоксидний клей УП-5-253 (за епіхлоргідрином)	0,5	п	II	А	

Умовні позначення: п - пари і/або газ; п+а - суміш парів і аерозолі; А – речовини, які здатні викликати алергічні захворювання у виробничих умовах.

Різноманітність областей застосування ЕС вимагає створення нових речовин з наперед запрограмованими хімічними та експлуатаційними властивостями, що потребує значних витрат часу і коштів як на синтез, так і на наступну токсикологічну експертизу і гігієнічне нормування зазначених хімічних речовин.

## **5.2. Вплив епоксидних смол на організм людини**

За звичайних умов епоксидні смоли є не шкідливими для організму людини, але при нагріванні епоксидних смол до 60° С і вище можуть виділятися леткі речовини, серед яких виділяються:

- епіхлоргідрин;
- толуол;
- ацетон;
- етилендіамін.

Леткі речовини, що виділяються з епоксидних смол володіють токсичною дією на нервову систему та печінку.

Епоксидні смоли мають здатність викликати захворювання шкіри (дерматит, екземи) алергічного характеру не тільки при безпосередньому контакті зі смолою чи її отверджувачем, але і при дії низьких концентрацій пари.

Епіхлоргідрин, надходячи в організм через органи дихання легко всмоктується через непошкоджену шкіру, викликає подразнення шкіри і слизових оболонок очей, тяжкі зміни в бронхах, легенях і нирках, негативно впливає на судинну систему, що викликає підвищення кров'яного тиску.

Пари толуолу діють наркотично. При тривалій дії на організм пригнічує кровотворення, подразнює шкіру і слизові оболонки.

Ацетон, проникаючи в організм людини головним чином крізь дихальні шляхи діє як наркотик. Гостре отруєння зустрічається тільки у разі потрапляння великих концентрацій пари ацетону в повітрі. Має здатність нагромаджуватись в організмі.

Етилендіамін при надлишку в повітрі робочої зони подразнює шкіру та викликає подразнюючу дію на верхні дихальні шляхи. Пари етилендіаміну викликають гострі запалення верхніх дихальних шляхів, бронхіти, бронхіальну астму, екзему і роздратування шкіри, уражають печінку.

Поліетиленполіамін при потраплянні в організм в великих концентраціях і дозах порушує дихання, пригнічує діяльність центральної нервової системи. При тривалій дії на шкіру викликає тяжкі ураження типу виразкового дерматиту. Потрапляння поліетиленполіаміну в очі викликає тривалий гнійний кон'юнктивіт. Після одужання роговиця залишається прозорою.

### **5.3 Заходи щодо зменшення шкідливого впливу**

Основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які діють на робітника при роботі з епоксидними смолами:

- дія шкідливої пари на органи дихання; слизові оболонки очей;
- підвищена запиленість при механічній обробці епоксидної смоли;
- наркотична дія пари різних розчинів і наповнювачів.

Тому робітники, які працюють з епоксидними смолами та клеями, забезпечується спецодягом, спецвзуттям та засобами індивідуального захисту.

Для попередження контакту шкіри рук з епоксидними смолами та отверджувачами всі працівники повинні бути забезпечені поліетиленовими рукавичками на бязевій підкладці. Для захисту шкіри рук від дії смол і отверджувачів рекомендується застосовувати захисні пасти (мазі) типу мазі Селиського, ХИОТ-6, пасти Миколан, ИЕД-1 та інші.

Основними методами захисту від дії шкідливих речовин є нормування викидів шкідливих речовин і контроль за станом повітря робочої зони відповідно до міждержавного стандарту ГОСТ 12.1.007-76 ССБП «Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки». Контроль повітря робочої зони необхідно проводити регулярно санітарною лабораторією (сектором, групою)

підприємства за графіком, погодженим з місцевими органами державного санітарного нагляду і затвердженому керівником підприємства, а також у плановому порядку санепідемстанцією. При виділенні в повітря робочої зони шкідливих речовин 1 класу небезпеки контроль необхідно здійснювати не рідше 1 разу в 10 днів; II класу - не рідше 1 разу на місяць; III і IV класів - не рідше 1 разу у квартал. Перелік основних шкідливих речовин, які можуть надходити в повітря робочої зони при синтезі епоксидних смол, приготуванні і застосуванні композитів на їх основі, наведений у табл. 6.2.

При промисловому синтезі епоксидних смол на етапі дозування і завантаження сировини в реактор санітарний контроль повітря робочої зони варто здійснювати відповідно до рецептури конкретної марки смоли по окремих речовинах; на наступних етапах синтезу смол, а також при приготуванні і застосуванні композитних матеріалів на промислових об'єктах - по встановленому провідному компоненту (табл. 6.3).

При створенні нових епоксидних смол і композитних матеріалів у лабораторних умовах, а також проведенні їх технологічних випробувань на дослідно-виробничих установках санітарний контроль повітря робочої зони варто здійснювати за окремими речовинами, що виділяються в повітряне середовище.

Всі шкідливі речовини під час виробництва епоксидних сполук можна просто видаляти з робочої зони і виробничих приміщень за допомогою витяжної вентиляції і викидати в атмосферу. Проектування і експлуатація систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях повинні здійснюватися відповідно до вимог ДСП "Опалення, вентиляція і кондиціонування", "Санітарних норм проектування промислових підприємств", методичних вказівок "Санітарно-гігієнічний контроль систем вентиляції виробничих приміщень", ГОСТ "Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони".

В основних виробничих приміщеннях (цехи і ділянки по синтезу смол, приготуванню і застосуванню композитних матеріалів на їх основі) необхідно

передбачити загальнообмінну припливно-витяжну та місцеву витяжну (від джерел зосереджених виділень) механічну вентиляцію; у допоміжні приміщення (склади сировини, готових неполімеризованій смол і композитів) - загальнообмінну припливно-витяжну механічну вентиляцію.

Системи місцевої витяжної вентиляції, що видаляють шкідливі речовини від працюючого технологічного устаткування (реакторів, змішувачів, просочувальних, лакувальних машин, пресів, різальних і шліфувальних верстатів та ін.), повинні бути заблоковані з його пусковими пристроями таким чином, щоб включення місцевої вентиляції відбувалося одночасно із включенням устаткування, а вимикання - не раніше ніж через 3 хв після припинення роботи.

При виконанні дрібних ручних операцій з неполімеризованими епоксидними смолами або компаундами робочі столи повинні бути обладнані відсосами місцевої витяжної вентиляції.

При неможливості виконання робіт з неполімеризованими епоксидними смолами або композитів у вентильованому укритті (виготовлення великогабаритних виробів) необхідно організувати доступ повітря до робочого місця, передбачивши при цьому заходи щодо запобігання поширення шкідливих речовин на інші робочі місця.

У виробничих приміщеннях, де проводяться роботи з одержання і застосування епоксидних смол і матеріалів на їхній основі, рециркуляція повітря в системах припливної вентиляції і повітряного опалення не допускається.

Отже, всі виробничі приміщення по виробництву або приготуванню епоксидних смол повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією, а робочі місця місцевою витяжною вентиляцією.

При цьому виникає дві проблеми:

- необхідність подавати і, відповідно, підігрівати проточне повітря в приміщення;
- обмеження державних органів щодо викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Ці питання вирішуються за рахунок встановлення новітніх систем очищення повітря виробничих приміщень. На даний момент існує декілька технологій очищення повітря виробничого приміщення від парів органічних речовин:

- поглинання (активоване вугілля),
- скрубери (поглинання в рідину),
- біоочищення,
- каталітичне очищення;
- фотокаталітичне очищення;
- газорозрядно-каталітичне очищення.

#### **5.4. Висновки до розділу**

Виробництво епоксидних смол спричиняє негативний вплив на навколишнє середовище, оскільки епоксидні сполуки, які випускає вітчизняна промисловість, містять від 1 до 10 % летких домішок, які інтенсивно виділяються при нагріванні (до 80 — 100 °С) смол і композитів на їх основі в процесі одержання і переробки. Серед основних небезпечних речовин необхідно відмітити епіхлоргідрин, толуол, фенол, анілін, формальдегід, етилендіамін та ін.. Питання захисту робітників у межах приміщень робочої зони досягається за рахунок використання витяжних вентиляції та забезпечення робітників спецодягом, спецвзуттям та засобами індивідуального захисту. Захист навколишнього середовища від токсичних забруднень виробництва епоксидних сполук безпосередньо в місцях виробництва досягається шляхом використання новітніх систем очищення повітря від парів органічних речовин, серед яких найбільш поширеними є поглинання (активоване вугілля), скрубери (поглинання в рідину), біоочищення, каталітичне, фотокаталітичне, газорозрядно-каталітичне очищення та шляхом нормування державними органами викидів шкідливих речовин в атмосферу.



## ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі було досліджено вплив епоксидних смол, затверджувачів та наповнювачів на властивості композитів, що виготовлені з епоксидних смол Telalit Ероху 619, Elan-tech EC157, Larit LR285, отверджувачі Telalit 410, Elan-tech W152 HR, Larit LH285 та наповнювача склотканини 163 г/м<sup>2</sup>.

Були виготовлені зразки композитних матеріалів за технологією формування композитних матеріалів при вакуумній інфузії.

Процеси полімеризації композитів на основі діанових епоксидних смол Telalit Ероху 619, Elan-tech EC157, Larit LR285 проводили при температурах 25, 40 та 60°C.

Експеримент проводили згідно ГОСТ 25.601-80, зразки для неорієнтованих волокон композитних матеріалів.

Проведено експеримент на розривній машині та визначено прикладену силу кН для досліджуваних зразків, для мінімізації похибки кількість повторів дослідів складала п'ять разів для кожного виду композиту та розраховано середнє значення.

Сервогідролічна розривна машина BiSS Bi-00-202V відповідає всім стандартам якості похибка вимірювань якого складає менше 1%. Після розриву дані залежності розтягу від прикладеної сили з точністю до 0,0001 мм вносяться до файлу MS Office Excel.

Після розшифрування даних було побудовано графіки залежності розтягу від прикладеної сили, кН. Розраховано межу міцності для кожного виду композиту та проведено порівняння результатів.

Встановлено, що з трьох видів композитних матеріалів найбільш вдалий для використання та оптимізації технологічних процесів для виготовлення нових деталей та виробів є суміш Elan-tech EC157 + Elan-tech W152 HR зі склотканиною 163 г/м<sup>2</sup>.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Композитні та порошкові матеріали: навч. посібник / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, М.Д. Мельничук, О.Л. Садова; за заг. ред. П.П. Савчука. – Луцьк : Видавець: ФОП Теліцин О.В., 2017. – 368 с. ISBN 978-617-7070-88-6 (7,8 др. арк.)
2. Композиционные материалы в технике / Д.М.Карпинос, Л.И. Тучинский, А.Б. Сапожникова и др.- К.: Техника, 1985.- 152 с.
3. Копань В. С. Композиційні матеріали [Текст] : навч. посіб. / Василь Копань. — К. : Пульсарі, 2004. — 196 с. — ISBN 966-7671-81-X.
4. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. М.: Техносфера, 2004. — 408 с. ISBN 5-94836-032-6.
5. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Кальба Є.М. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів. – Тернопіль: Збруч, 2005. – 182 с.
6. А.В. Фоминых, А.Н. Аношкин, С.Н. Лысенко. Экспериментальное исследование кинетики полимеризации эпоксидной смолы.// Математическое моделирование систем и процессов, 2000. – с. 94-98
7. Эммануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики: Учебник для хим. Фак. Ун-тов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1984. – 463 с., ил.
8. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ениколопан Н.С. Кинетика полимеризационных процессов. – М.: Химия, 1978. – 320 с.
9. Берлин Ал. Ал., Вольфсон С. А. Кинетический метод в синтезе полимеров. М. «Химия», 1973, 344 с.
10. Фізична хімія: Підручник / Чумак В.Л., Іванов С.В. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2007. – 648 с.
11. Суберляк. О.В. Атлас технологічних схем виробництва полімерів та пластичних мас на їх основі: «Львівська політехніка» 2002. 485 с.

12. L. Moshinsky. "Epoxy Resins and Hardeners. Structure, Properties, Chemistry and Topology of Curing" Arcadia Press Ltd., Tel-Aviv 1995. – 370 p.
13. Гуисов А.Г., Белоусов А.М. Модификация эпоксидного связующего для стеклопластиков активным разбавителем Э181 // Ползуновский вестник. – 2007. – № 4. – С. 183-185.
14. Гулиев К.Г., Ищенко Н.Я., Нагиева А.А., Агаева С.А. Модификация ЭД–20 эпокси- и циклопропансодержащими соединениями // Пластические массы. – 2007. – №7. – С. 22-27.
15. Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жерде Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М.: Химия, 1982. – 232 с.
16. Брайт Э.Р., Блур Д. Электрические свойства полимеров. Пер с англ. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 376 с.
17. Лущейкин, Г.А. Методы исследования электрических свойств полимеров / Г.А. Лущейкин. – М.: Химия, 1988. – 160 с.
18. Горский В.Г., Зейналов М.З. Физико-химические и математические основы феноменологической кинетики сложных реакций, Махачкала, ИПЦ ДГУ, 1997.
19. Померанцев А.Л., Родионова О.Е. Надстройка FITTER (FITTER). Свидетельство об официальной регистрации №2002611562 от 11.09.02
20. Fitter Add-Inn. [On line], <http://polycert.chph.ras.ru/fitter.htm> [1 января 2002]
21. Брин Э.Ф., Померанцев А.Л. Классификация обратных задач кинетики гомогенных химических реакций. Хим. физика, 5, 12, 1674-1682 (1986)
22. Померанцев А.Л., Кротов А.С., Родионова О.Е. Компьютерная система FITTER для регрессионного анализа экспериментальных данных, Учебное пособие, Барнаул, Из-во АГУ, 2001
23. Bystritskaya E.V., Pomerantsev A.L., Rodionova O.Ye.. Prediction the behavior of polymer materials at different conditions. Chemometrics and Intell. Lab. Syst., 47 (1999),
24. Бард И. Нелинейное оценивание параметров. М.: Статистика, 1979.

- 25.Максимова Г.А., Померанцев А.Л., Последовательное байесовское оценивание параметров регрессии, Зав. Лаб., 61 ,432-435 , (1995)
- 26.Анисимов Ю.Н., Савин С.Н. Армированные углеродной тканью композиты на основе модифицированных эпоксидных смол и прогнозирование прочностных свойств // Журн. прикл. химии. 2002. Т.75. №6. С.1015-1018.
- 27.Анисимов Ю.А., Анисимов Ю.Н. Влияние наполнителей на кинетику формирования и свойства полимерных композитов на основе модифицированных эпоксидных смол. // Пластические массы. - 2007, №2, С.47-50.
- 28.Энциклопедия полимеров т.1./ под ред. В.А. Каргина.-М.: Советская энциклопедия, 1972. 1224 с.
- 29.Химическая энциклопедия в 5 т. / под ред. И. Л. Кнунянца. – М.: Советская энциклопедия, 1990.
- 30.Сутягин В.М., Бондалетова Л.И. Химия и физика полимеров: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 208 с.
- 31.Маньков, В. Д. Защитное заземление и зануление электроустановок: Справочник / В. Д. Маньков, С. Ф. Заграничный. – СПб. : Политехника, 2005. – 400 с.
- 32.Юсіна Г.Л. Організація роботи студентів з виконання розділу «Охорона праці» дипломних проектів / Г.Л. Юсіна, Л.В. Дементій. – Краматорськ: ДДМА, 2009. – 92 с.
- 33.Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в дипломних проектах і роботах. Для студентів всіх спеціальностей освітньо-кваліфікаційних рівнів «спеціаліст» та «магістр»./ Укладачі: О.І. Запорожець, А. В. Русаловський. -К.,2011. – 30 с.