

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Н. С. СОЛОМОНЮК

**Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт з курсу
"ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ"**

Рекомендовано Методичною радою НУК

Електронне видання
комбінованого використання на DVD-ROM



МИКОЛАЇВ • НУК • 2019

УДК 678(078.5)
С 60

*Автор Н. С. Соломонюк, канд. техн. наук
Рецензент С. П. Гейко, канд. техн. наук*

Соломонюк Н. С.

С60 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу
"Полімерні композиційні матеріали" / Н. С. Соломонюк. – Миколаїв : НУК,
2019. – 67 с.

Методичні вказівки допомагають у проведенні лабораторних робіт з курсу
"Полімерні композиційні матеріали". Включені методики вивчення структури і вла-
стивостей основних компонентів (заповнювачей та полімерного сполучника) і мате-
ріалів на їх основі.

Призначено для студентів спеціальності "Проектування та виробництво кон-
струкцій із композиційних матеріалів" та інших матеріалознавчих спеціальностей.
Можуть бути використані також аспірантами і магістрами матеріалознавчих, маши-
нобудівних та технологічних спеціальностей вищих навчальних закладів при вико-
нанні дослідницьких робіт.

УДК 678(078.5)

Навчальне видання

СОЛОМОНЮК Наталя Сергіївна

**Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт з курсу
"ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ"**

Комп'ютерне верстання та складання *В. В. Москаленко*
Коректор *М. О. Паненко*

© Соломонюк Н. С., 2019
© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2019

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 4,1. Об'єм даних 24108 кб.
Тираж 15 прим. Вид. № 37. Зам. № 68.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.

ВСТУП

Методичні вказівки допомагають студентам самостійно виконувати експериментальні дослідження структури, технологічних та експлуатаційних властивостей компонентів полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) і самих матеріалів.

Вказівки включають описи лабораторних робіт, що поділені на три частини:

- організація взаємодії на міжфазній границі в ПКМ;
- волокневі заповнювачі і ПКМ на їх основі;
- дисперсні заповнювачі і ПКМ на їх основі.

В кожній роботі сформульована мета, вказані устаткування та матеріали, необхідні для її виконання. Наведено описи послідовності виконання конкретних завдань.

Для якісного виконання роботи і самоконтролю студентів у кінці кожної частини запропоновані контрольні питання.

В залежності від програми, курсу, що викладається, обладнання в лабораторії та наявності необхідних матеріалів викладач може обирати відповідні теми, роботи і завдання.

В кінці методичних вказівок є посилання на необхідні справочні матеріали.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи студенти повинні ознайомитися із методикою її проведення, будовою обладнання і послідовністю роботи на ньому.

Студенти повинні оформити роботу у відповідності з вимогами ЄСКД. Звіт про роботу повинен містити тему, мету, скорочену методику експерименту, опис обладнання та технологій, що застосовуються. Результати експериментів оформлюються у вигляді таблиць, графіків. Розрахунки необхідних величин представляються із вказівкою вихідних даних і розмірностей. Виконання лабораторної роботи завершується захистом оформленої роботи.

Розділ 1. ОРГАНІЗАЦІЯ ВЗАЄМОДІЇ НА МІЖФАЗНІЙ ГРАНИЦІ В ПКМ

Лабораторна робота № 1 Визначення поверхневого натягу рідини за методом сталагмометра

Мета роботи: визначити поверхневий натяг різних рідин та порівняти результати.

Устаткування та обладнання: сталагмометр, вода, спирт, гліцерин або інші рідини, пробірки.

Теоретичні відомості

Поверхневий міжфазний шар є областю поступової зміни властивостей при переході від однієї фази до другої. Створення поверхневого шару є результатом взаємодії суміжних фаз. Зміна властивостей і структури поверхневого шару обумовлені дією поверхневої енергії.

При постійній температурі і тиску поверхнева енергія Гіббса визначається добутком поверхневого натягу (фактор інтенсивності) σ на площу поверхні (фактор ємності) s :

$$G_s = \sigma s.$$

Поверхневі явища виражаються в тому, що стан молекул, розташованих у поверхневому шарі, є іншим у порівнянні з молекулами в об'ємі тіла. Молекули поверхневого шару взаємодіють як з молекулами однієї фази, так і з молекулами другої фази. В результаті чого рівнодіюча молекулярних сил у поверхневому шарі не дорівнює нулю і направлена всередину тієї фази, з якою більше взаємодія. Тобто виникає поверхневий натяг σ , що зменшує поверхню речовини.

Поверхневий натяг можна представити як енергію переносу молекул із об'єму тіла на поверхню, або як роботу створення одиниці поверхні. Поверхневий натяг можна виразити наступним чином:

$$\sigma = \left(\frac{\partial G}{\partial s} \right)_{p,T}.$$

Звідси витікає, що для кожної речовини поверхневий натяг – це енергія Гіббса на одиницю поверхні.

На практиці найбільш часто використовують статичні і напівстатичні методи, що дозволяють вимірювати рівноважні значення поверхневого натягу рідин. До таких методів відносяться методи капілярного підйому рідини і висячої (лежачої) краплі. До напівстатичних відносяться методи максимального тиску в краплі (пухирці), відриву кільця або пластини і сталагмометричний метод.

Визначення поверхневого натягу *сталагмометричним методом* полягає у вимірюванні об'єма або ваги краплі рідини, яка повільно відривається від капіляра в нижньому кінці сталагмометричної трубки. Тобто метод передбачає, що в момент відриву сила тяжіння краплі q урівноважується силами поверхневого натягу рідини F . Сили поверхневого натягу діють вздовж окружності шийки краплі і запобігають її відриву. В момент відриву можна вважати, що

$$q = F \approx 2\pi r\sigma,$$

де r – внутрішній радіус капіляра.

Звичайно відрив краплі відбувається не по лінії внутрішнього периметра капіляру сталагмометричної трубки, а по шийці краплі, що має менший радіус. Тому для точного

визначення σ радіус r треба помножити на коефіцієнт β' , що залежить від радіуса та об'єму краплі:

$$q = F \approx 2\pi\beta r\sigma.$$

Вага краплі частіше всього вимірюється наступним чином. Сталагмометрична трубка заповнюється рідиною, що досліджується завданого об'єму V та вимірюється кількість крапель n , що витікають із завданого об'єму рідини. Вага краплі розраховується за рівнянням

$$q = \frac{V\rho g}{n},$$

де ρ – густина рідини.

У зв'язку зі складністю визначення радіуса капіляра r і коефіцієнта β поверхневий натяг знаходиться порівнянням даних по витіканню із сталагмометра рідини, що досліджується, з рідиною із відомим поверхневим натягом за формулою

$$\sigma = \sigma_0 \frac{\rho n_0}{\rho_0 n}, \quad (1.1)$$

де σ_0 , ρ_0 , n_0 – значення поверхневого натягу, густини та кількості крапель стандартної рідини.

Хід роботи

1. Вимірюється кількість крапель у сталагмометричній трубці для стандартної рідини (дистильована вода: $\sigma_0 = 72,8$ Н/м, $\rho_0 = 1000$ кг/м³) та для рідини, що досліджується декілька разів (не менше трьох).

2. Розраховується середнє значення кількості крапель для обох рідин.

3. За формулою (1.1) знаходиться значення поверхневого натягу рідини, що досліджується. Визначається похибка вимірювання.

4. Результати записуються в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Результати вимірювань

Кількість крапель стандартної рідини, n_0	Кількість крапель рідини, що досліджується, n	Об'єм рідини, що досліджується, V , см^3	Густина рідини, що досліджується, ρ , г/см^3	Значення поверхневого натягу, σ , Н/м

5. Виконуються висновки.

Лабораторна робота № 2

Визначення змочувальної можливості рідини до різних поверхонь

Мета роботи: оцінка змочування і роботи адгезії поверхні полімеру методом вимірювання граничних кутів.

Устаткування та обладнання: декілька пластинок різних полімерів, вода, спирт, гліцерин, проектор, капіляр, папір, олівець, лінійка.

Теоретичні відомості

Якщо рідина або тверде тіло мають поверхню розділу з іншою рідиною або твердим тілом, то між ними з'являється адгезія (прилипання). Робота адгезії характеризується взаємодією фаз і визначається рівнянням Дюпре:

$$W_a = \sigma_{2,1} + \sigma_{3,1} + \sigma_{2,3},$$

де $\sigma_{2,1}$ – поверхневий натяг рідини 2 на границі з газом 1, $\sigma_{3,1}$ – поверхневий натяг твердого тіла 3 на границі з газом 1,

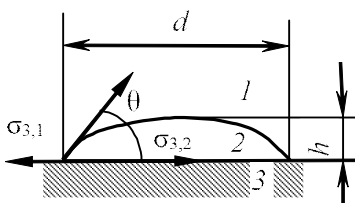


Рис. 2.1. Взаємодія між рідиною та твердою поверхнею

$\sigma_{2,3}$ – поверхневий натяг між рідиною 2 та твердим тілом 3 (рис. 2.1).

Взаємодію між рідиною та іншою конденсованою фазою можна оцінити також за допомогою граничного кута змочування, що визначається рівнянням Юнга:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{3,1} - \sigma_{2,3}}{\sigma_{2,1}}.$$

Синтез рівнянь (2.1) та (2.2) призводить до рівняння Дюпре-Юнга, яке дозволяє розрахувати роботу адгезії за $\cos \theta$, що можна визначити експериментально:

$$W_a = \sigma_{2,1}(1 + \cos \theta). \quad (2.1)$$

Граничний кут змочування визначається як кут між дотичною, проведеною до поверхні рідини, що змочується, і поверхнею твердого тіла, що змочується. При цьому кут завжди відраховується від дотичної в бік рідкої фази. Дотична проводиться через точку дотику трьох фаз.

Робота змочування $W_{зм}$ визначається як різниця роботи адгезії. Для розрахунку використовується наступне рівняння:

$$W_{зм} = \sigma_{2,1} \cos \theta. \quad (2.2)$$

Граничний кут, що входить до формул розрахунку роботи адгезії і змочування, знаходиться за основними розмірами крапель рідини, які наносяться на тверді поверхні: висотою h

та діаметром основи d . Розрахунок $\cos \theta$ проводиться за формулою

$$\cos \theta = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - h^2}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2}. \quad (2.3)$$

Хід роботи

1. Пластини різних матеріалів знежирюються і по черзі розміщуються між лампою та окуляром проектора так, щоб була видна границя матеріалу за товщиною.

2. На них капіляром наноситься крапля рідини, що досліджується.

3. Проекція краплі, що відображається на екрані, зарисовується, вимірюються її діаметр та висота і за формулою (2.3) розраховується кут змочування рідиною поверхні. Результати заносяться в таблицю 2.1.

4. За формулами (2.1) і (2.2) розраховуються робота адгезії та робота змочування відповідно.

Таблиця 2.1. Результати дослідів і розрахунків

№ дослідів	Матеріал 1			Матеріал 2			Матеріал 3		
	$d, \text{мм}$	$h, \text{мм}$	$\cos \theta$	$d, \text{мм}$	$h, \text{мм}$	$\cos \theta$	$d, \text{мм}$	$h, \text{мм}$	$\cos \theta$
1									
...									
$\cos \theta_{\text{сер}}$									
$W_a, \text{Дж}$									
$W_{\text{зм}}, \text{Дж}$									

5. За розрахунками виконуються висновки.

Лабораторна робота № 3

Вивчення впливу концентрації дисперсійної фази на в'язкість дисперсійного середовища

Мета роботи: визначити умовну в'язкість дисперсійного середовища та вивчити вплив концентрації середовища на його технологічні властивості.

Устаткування та матеріали: стакани однакової ємності (не менше 700 мл), порцеляновий шлікер, вода, ваги лабораторні, віскозиметр ВБР-1, мірна ємність.

Теоретичні відомості

Розбавлені агрегативно стійкі дисперсні системи не створюють просторової сітки із частинок дисперсійної фази, тому їх реологічні властивості залежать від концентрації дисперсійної фази і виражаються рівнянням Ейнштейна:

$$\eta = \eta_0(1 + \alpha\varphi) \quad \text{або} \quad \eta_{\text{пит}} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \alpha\varphi, \quad (3.1)$$

де η_0 – в'язкість дисперсійного середовища; φ – об'ємна частка дисперсійної фази; α – коефіцієнт форми частинок (для сферичних частинок $\alpha = 2,5$); $\eta_{\text{пит}}$ – питома в'язкість.

Рівняння Ейнштейна виконується для дисперсних систем, які є н'ютонівськими рідинами:

$$\tau = \eta \frac{\partial \gamma}{\partial t} = \eta \dot{\gamma}, \quad (3.2)$$

де τ – напруження зсуву; γ та $\dot{\gamma}$ – відповідно деформація та швидкість деформації (течії); t – час.

Зі збільшенням концентрації дисперсійної фази росте взаємодія між частинками і з'являються більш сильні відхилення

від рівняння Ейнштейна. В'язкість концентрованих систем росте з концентрацією за експоненціальним законом. Одночасно спостерігається залежність в'язкості від напруження зсуву, і закон Н'ютона не виконується. Такі системи є нен'ютонівськими рідинами.

Описує течію нен'ютонівських рідин емпіричне рівняння Оствальда-Вейля

$$\tau = k \left(\dot{\gamma} \right)^n \quad \text{або}$$

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = k \left(\dot{\gamma} \right)^{n-1}. \quad (3.3)$$

Якщо в рівнянні (3.3) $n = 1$, то рідина є н'ютонівською і k співпадає з н'ютонівською в'язкістю η . При $n < 1$ рідина називається псевдопластичною, а при $n > 1$ – ділатантною.

Умовна в'язкість $\eta(c)$ – величина, що визначається часом витікання із стандартної воронки заданого об'єму розчину. Умовна в'язкість опосередковано характеризує гідралічний спротив течії, тобто рухомість розчину.

Для вимірювання умовної в'язкості може бути використаний віскозиметр ВБР-1 (рис. 3.1).

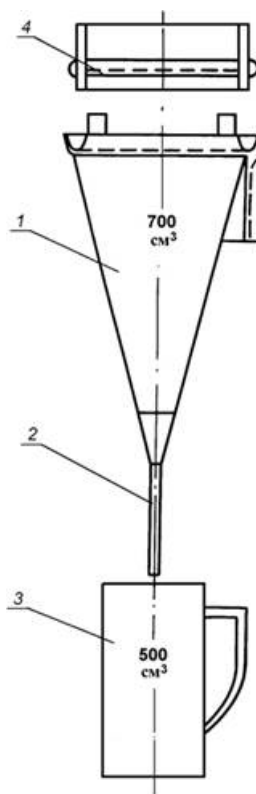


Рис. 3.1. Схема віскозиметра ВБР-1:

1 – воронка; 2 – вертикальна трубка; 3 – мірна кружка з градуванням від 0 до 500; 4 – кришка з сіткою

Віскозиметр ВБР-1 складається з мірної кружки ємністю 500 см^3 (3) і воронки (1) ємністю 700 см^3 , герметично з'єднаною з трубою діаметром прохідного перерізу $0,5 \text{ см}$ і довжиною 10 см (2). Воронка накривається кришкою з сіткою (4), через яку наливається рідина, що досліджується. Сітка потрібна для того, щоб сторонні включення не потрапляли у віскозиметр.

Перевірка водного числа віскозиметра виконується за часом витікання чистої прісної (або дистильованої) води об'ємом 500 см^3 при температурі $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Час витікання повинен дорівнювати $(15 \pm 0,5) \text{ с}$. Якщо значення є більшим $15,5 \text{ с}$, то трубка віскозиметра прочищується, якщо менше $14,5 \text{ с}$ – віскозиметр замінюється.

При визначенні умовної в'язкості в лабораторних умовах у воронку наливають 200 см^3 розчину і фіксують час витікання 100 см^3 . Отримане значення $\tau_{200/100}$ домножується на 4.

Хід роботи

За допомогою віскозиметра ВБР-1 визначається значення в'язкості дисперсійної системи при різних концентраціях дисперсійної фази (порошку порцеляни) декілька разів.

Порядок проведення досліду на приборі наступний:

1. Промивається воронка віскозиметра водою, закривається отвір трубки зовні і у воронку наливається розчин, що досліджується, об'ємом 700 см^3 .

2. Мірна кружка підставляється під трубку віскозиметра, відкривається отвір трубки з одночасним включенням секундоміра. В момент заповнення кружки розчином до 500 см^3 секундомір відключається.

3. Значення умовної в'язкості розраховується як середнє арифметичне із трьох послідовних вимірювань, різниця між якими не повинна бути більше 2 секунд.

Примітка: після кожного використання віскозиметр промивається водою.

4. Значення умовної в'язкості знаходиться за формулою (3.1) і дані записуються в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1. Результати дослідження дисперсійної системи

№ досліджу	Склад 1		Склад 2		Склад 3	
	ф	η , с	ф	η , с	ф	η , с
1						
...						
$\eta_{сер,С}$						
$\eta_{пит}$						

5. Виконуються висновки.

Лабораторна робота № 4

Вивчення впливу температури на в'язкість олігомерів

Мета роботи: вивчити вплив температури на в'язкість олігомерів на прикладі епоксидних та поліефірних смол.

Устаткування та матеріали: віскозиметр ВЗ-4, термостат, секундомір, термометр, пластикова або керамічна ємність для смоли, епоксидна та поліефірна смоли.

Теоретичні відомості

Віскозиметр ВЗ-4 (рис. 4.1) призначений для визначення умовної в'язкості лакофарбових матеріалів та продуктів, що до них відносяться (н'ютонівських та подібних рідин) за ГОСТом 8920-74.

За умовну в'язкість приймається час витікання в секундах визначеного об'єму матеріалу, що випробується, через калібровочне сопло віскозиметра.

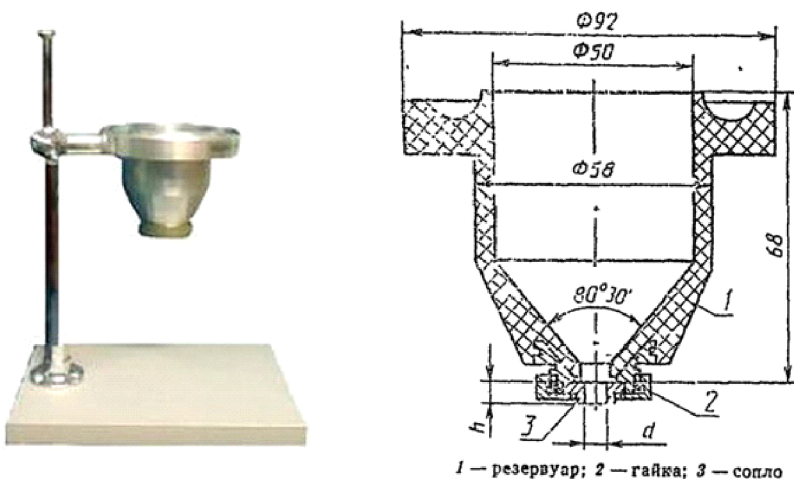


Рис. 4.1. Віскозиметр ВЗ-4

Технічні характеристики віскозиметра ВЗ-4:

- місткість резервуару – $100 \pm 1 \text{ см}^3$;
- діаметр сопла – $d = 4 \pm 0,015 \text{ мм}$;
- висота сопла – $h = 4 \pm 0,05 \text{ мм}$;
- температура повітря – $0 - 50^\circ\text{C}$;
- відносна вологість (при температурі 50°C) – $98 \pm 2 \%$;
- маса – $0,22 \text{ кг}$.

Хід роботи

За допомогою віскозиметра ВЗ-4 визначається значення в'язкості дисперсійного середовища при різних значеннях температур декілька разів (не менше трьох).

1. Вимірюється в'язкість смоли при кімнатній температурі. Температуру потрібно зафіксувати.

2. Віскозиметр зі смолою розміщується в термостаті, нагрітому до $150\text{--}200^\circ\text{C}$, на $10\text{--}15 \text{ хв}$. Після виймання віскози-

метра із печі перевіряється температура смоли та вимірюється її в'язкість.

3. Смола у віскозиметрі повторно розміщується в печі і прогрівається до температури вище попередньої на 20–30°C. Вимірюється її в'язкість.

4. Дослід при однаковій температурі виконується декілька разів (не менше трьох).

5. Знаходиться середнє арифметичне значення в'язкості.

6. Результати вимірювань записуються в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1. Результати вимірювання умовної в'язкості смоли (марка смоли або назва)

№ досліджу	$T=...^{\circ}\text{C}$	$T=...^{\circ}\text{C}$	$T=...^{\circ}\text{C}$	$T=...^{\circ}\text{C}$
1				
2				
...				
$\eta_{\text{сер}}, \text{с}$				
$\lg \eta_{\text{сер}}$				

7. За результатами вимірювань будується графік залежності $\lg \eta_{\text{сер}}(T)$.

8. Виконуються висновки.

Контрольні питання до розділу 1

1. Що таке енергія Гіббса? Як вона визначається?
2. Пояснити природу поверхневого натягу рідини.
3. Якими методами можна знайти поверхневий натяг?
4. За якою формулою розраховується вага краплі та як вона залежить від поверхневого натягу рідини?
5. Що характеризує рівняння Дюпре?
6. Яким параметром визначається змочувальна можливість рідини до різних поверхонь?
7. Як практично розраховується кут змочування?
8. Що називається в'язкістю середовища?
9. Які рідини називаються н'ютонівськими та нен'ютонівськими?
10. Що таке умовна в'язкість?
11. Як визначається умовна в'язкість за допомогою віскозиметрів ВБР-1 та ВЗ-4?
12. Як умовна в'язкість смоли залежить від температури?

Розділ 2. ВОЛОКНЕВІ ЗАПОВНЮВАЧІ ТА ПКМ НА ЇХ ОСНОВІ

Лабораторна робота № 5 Визначення структурних параметрів тканинних заповнювачей

Мета роботи: вивчити методики визначення структурних параметрів тканинних наповнювачів на основі волокон різного походження.

Устаткування та матеріали: тканини різної текстури на основі волокон різної природи, ваги, мікроскоп, лупа, лінійка, пінцет, голка, ножиці.

Теоретичні відомості

Елементарні волокна або однонапрямні наповнювачі (нитки, ровінги) використовуються для отримання листкових волокневих заповнювачей. До них відносяться ткані або неткані матеріали: тканини, стрічки, сітки, полотна, мати.

Тканина отримується на ткацькому верстаті з двох систем ниток, що розташовані взаємоперпендикулярно і переплетені у визначеній закономірності. Нитки, що розташовані паралельно одна одній і йдуть вздовж тканини, є її *основою*. Нитки, що розташовані поперек тканини, мають назву *вуток*.

В залежності від схеми переплетення ниток основи і вутка тканинні заповнювачі мають різну структуру (рис. 5.1, *а–в*).

В тканинах полотняного переплетення основа і вуток взаємно переплетені через одну нитку (рис. 5.1, *б*). В тканинах саржевої структури основа і вуток переплетені через дві нитки (рис. 5.1, *а*). Поверхня цієї тканини має візерунок із діагональних полос. В тканинах сатинового переплетення кожна з ниток основи (вутка) огинає за один період неоднакову

кількість ниток вутка (основи) – три, п'ять, сім або більше (рис. 5.1, *а*).

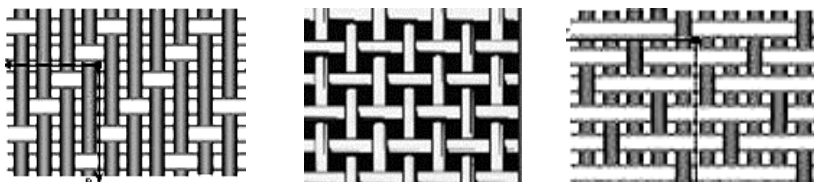


Рис. 5.1. Види переплетень тканинного заповнювача:
а – саржеве; *б* – полотняне; *в* – сатинове

Особливу форму переплетення мають об'ємні тканини, в яких нитки основи та вутка переплетені ще ниткою в перпендикулярній площині.

Ще одним параметром для визначення тканинних матеріалів є її щільність, що характеризує кількість ниток на одиницю ширини (за основою) або довжиною (за вутком) тканини. Щільність тканини характеризує частоту розташування ниток у тканині. Чим далі розташовані нитки одна від одної, тим щільність менше, тобто тканина більш розріджена. Чим ближче розташовані нитки одна до одної, тим щільність більше, тобто тканина щільніше.

Товщина тканини залежить від товщини ниток або номера пряжі, з якої вона виготовлена, та від її побудови. Товщина коливається від десятих долей міліметра до кількох міліметрів.

Хід роботи

Перед початком аналізу з полотна тканини вирізують зразки та відокремлюють від кромek надрізані нитки, щоб розмір неущофженого зразка складав 100×100 мм.

1. Визначення лицьового та зворотнього боку тканини.

Визначення лицьового та зворотнього боку тканини проводиться за наступними ознаками:

- у тканин, що мають основу і вуток з волокон різного виду, лицьовий бік виготовляється з більш дорогих ниток;
- у художньо-декоративних тканин лицевий бік має чіткий рисунок;
- тканини, в яких між лицевим і зворотнім боком немає великої різниці, є двобічними або дволицьовими, тому кожен з боків може бути прийнятим за лицьовий.

2. Визначення ниток основи та вутка.

Визначення ниток основи та вутка у зразку виконується за наступними ознаками:

- кромки в зразку вказують напрямок основи;
- при відсутності кромки напрямок ниток основи в більшості випадків можна визначити за характером рисунка переплетення, за родом волокон, за якістю та властивостями пряжі;
- за напрямком і ступенем крутіння основа є більш крученою, ніж вуток.

3. Визначення типу переплетення тканини.

Для визначення типу переплетення з полотнища тканини вирізується зразок розміром 100×100 мм та розміщується на предметному столику мікроскопа.

У зразках тканин, що мають нескладні та ясно видимі переплетення, як, наприклад, полотняне, саржеве і похідні цих переплетень, достатньо роздивитись тканину через лупу та визначити вид переплетення, порівнюючи із зображенням на рис. 5.1.

У тканинах, в яких за зовнішнім виглядом важко визначити тип переплетення, його треба визначати розбором зразка. Для цього у зразка на двох суміжних боках виконується

бахрома довжиною по 5 мм. Після цього на зразок встановлюється лупа і двома голками від зразка двигается до бахроми послідовно одна нитка за іншою та зарисовується переплетення кожної нитки.

4. Визначення товщини тканини.

Відрізки тканини складаються в декілька разів і мікрометром вимірюється товщина в різних місцях. Визначається середнє значення товщини тканини діленням отриманого значення за мікрометром на кількість шарів тканини.

5. Визначення щільності тканини.

Щільність тканини є важливим фактором, що впливає на її структуру та характеризує кількість ниток на одиницю ширини (за основою) або довжини (за вутком) тканини. За одиницю ширини або довжини в стандартах на тканини прийнято 1 см.

У зразку тканини обережно, не пошкоджуючи її щільність і рисунок, відмірюється 5 см за направленням основи та визначається кількість ниток на даній ділянці підрахунком. Можна застосувати лупу або мікроскоп з невеликим збільшенням. Число ниток ділиться на 5 і отримується кількість ниток на 1 см.

Експеримент повторюється три рази для різних ділянок на зразку. Визначається середнє значення щільності і порівнюється результат з відомим значенням із стандарту на дану тканину.

Аналогічно проводиться експеримент для направлення вутка.

6. Визначення поверхневої щільності тканини.

Для визначення поверхневої щільності (маса 1 м²) беруться зразки тканини розміром 100×100 мм кількістю не менш 5 штук. У зразках по краях видаляються надрізані нитки та обрізується бахрома. Замірюються розміри зразка з точністю до 0,1 мм і зважуються на лабораторних вагах з точністю

до 0,01 г. Поверхнева щільність $\rho_{\text{п}}$ (г/см²) визначається за формулою

$$\rho_{\text{п}} = \frac{m}{b \cdot l \cdot n}, \quad (5.1)$$

де m – маса пакету зі зразків, г; b , l – ширина та довжина одного зразка відповідно, см; n – кількість зразків у пакеті, шт.

Експеримент повторюється не менше трьох разів, за результат приймається середнє значення всіх вимірювань. Отримане значення порівнюється з відомим зі стандарту на матеріал і робляться висновки.

7. Всі отримані дані заносяться у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1. Таблиця результатів

№ з/п	Матеріал	Тип плетіння	Товщина, м	Щільність, нит/см		$\rho_{\text{п}}$, г/см ²
				основа	вуток	
1						
...						
Середнє значення	арифметичне					
Середнє відхилення	квадратичне					

Лабораторна робота № 6

Вивчення механічних властивостей тканинних заповнювачей

Мета роботи: визначити механічні властивості листкових волокневих заповнювачей (тканин, полотен) різної хімічної природи та текстури.

Устаткування та матеріали: відрізки склотканин та скломатів, рамки для закріплення зразків, ножиці, клей, випробувальна машина.

Теоретичні відомості

Тканина та неткані матеріали в залежності від свого призначення повинні мати необхідні фізико-механічні властивості.

Фізико-механічні властивості тканини характеризуються руйнівним напруженням та подовженням. Руйнівне навантаження, межа міцності визначаються як за основою, так і за вугком.

Подовження – збільшення довжини зразка при дії на нього розтягуючого навантаження. Відносне подовження вимірюється у відсотках від початкової довжини зразка та знаходиться за формулою

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} 100 \%, \quad (6.1)$$

де l – довжина зразка при дії визначеного навантаження;
 l_0 – початкова довжина зразка.

Хід роботи

Визначення механічних характеристик волокневих заповнювачей (ниток, джгутів, тканин) проводяться за ГОСТ 6943.10–79. Для випробувань застосовуються зразки у вигляді відрізків, що закріплені в рамках.

Зразок навантажується до руйнування на випробувальній машині при швидкості переміщення захватів 60–100 мм/хв. Значення зусиль, що прикладені, замірюються шкалою сило-вимірювача, а для реєстрування подовження будується діаграма деформування.

1. Визначення міцності листових заповнювачей.

Виготовлення зразків та проведення випробувань виконуються у відповідності із ГОСТ 6943.10–79. Застосовуються зразки у вигляді відрізків тканин, зміцнених в одному напрямі, стрічок та нетканих матеріалів довжиною не менше 180 мм.

а) Для тканин вирізаються полоски в напрямку основи і вутка. Ширина полоски повинна бути не менше $25 \pm 0,5$ мм після висмикування крайніх ниток, а нитки, що залишились, не повинні мати обривів;

б) з нетканого матеріалу вирізуються полоски у двох взаємоперпендикулярних напрямках. Ширина полоски повинна бути не менше $25 \pm 0,5$ мм при розривному навантаженні більше 500 Н і не менше $50 \pm 0,5$ мм при розмірі розривного навантаження менше 500 Н;

в) отримані відрізки закріплюються в рамках з довжиною прорізів 100 мм. Наклеєні полоски тканини розділюються на зразки, розрізуються паперові накладки і закріплюються в лещатових затискачах випробувальної машини, щоб проклеєна частина виступала на 8–10 мм, а відстань між затиском складала 100 ± 1 мм. Для запобігання прослизання зразків в затискачах використовуються прокладки із наждачного паперу, шкіри, резини;

г) навантажуються зразки включенням нижнього ходу захвату випробувальної машини зі швидкістю 60–100 мм/хв. У момент руйнування фіксується сила P_p . Руйнівне напруження σ_p (МПа) розраховується за співвідношенням

$$\sigma_p = \frac{P_p \cdot \rho}{T}, \quad (6.2)$$

де T – лінійна щільність волокон заповнювача за основою або вутком, визначається експериментально або береться з довідника, текс; ρ – густина матеріалу заповнювача, кг/м^3 .

За результат приймається середнє арифметичне значення не менше трьох експериментів.

2. Визначення подовження тканинних заповнювачей та модуля пружності.

а) Подовження тканинних заповнювачей визначається за отриманою діаграмою на випробувальній машині $P(\Delta l)$ за формулою

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%, \quad (6.3)$$

де Δl – подовження зразка за діаграмою при розриві зразка, мм;

б) щоб знайти модуль пружності на діаграмі $P(\Delta l)$ за допомогою лінійки викреслюється прямолінійна ділянка та вираховується модуль за формулою

$$E = \text{arctg} \left(\frac{Pl_0}{F\Delta l} \right). \quad (6.4)$$

3. Дані експерименту заносяться в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1. Результати експерименту

№ з/п	Матеріал	P , Н	l_0 , мм	l , мм	F , мм ²	σ_p , МПа	ε , %	E , ГПа
1								
...								
Середнє арифметичне значення								
Середнє квадратичне відхилення								

Лабораторна робота № 7

Вивчення невірноваженості тканинних заповнювачей

Мета роботи: визначити вид невірноваженості структури тканини.

Устаткування і матеріали: смужки тканини з різною текстурою та типом волокон, сполучник на основі поліефірної або епоксидної смоли, ножиці, лінійка, жорсткі металеві пластини, термошафа.

Теоретичні відомості

Тканини саржевого та сатинового переплетення невірноважені за рисунком переплетення, оскільки на одній поверхні полотна (лицьовому боці), наприклад, у напрямку основи, переважають прямолінійні нитки основи, на протилежній поверхні (виворотному боці) в тому ж напрямі – поперечні вуткові нитки. Якщо тканину з такою структурою просочити сполучником і відпресувати з неї одношарову пластину, то вона після охолодження та виймання із під плит пресу вигнеться, тому що лицьовий та виворотний боки пластини мають різні термopужні властивості.

Для тканин будь-якого переплетення, виготовлених із сильно кручених ниток, є характерною невірноваженість за круткою. Крутячі моменти, що є в кожній нитці, викликають закручування тканини і призводять до втрати площинності тонкостінних пластинок, що виготовлені з матеріалів, наповнених такими тканинами.

Хід роботи

1. Від полотен тканини відрізаються полоси з розмірами 100×100 мм, відзначаючи напрями основи і вутка.
2. Готується сполучник на основі поліефірної або епоксидної смоли за рецептурою, що наведена в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1. Рецептури сполучників для експерименту

№ з/п	Смола (ваг.ч)	Затверджувач (ваг. ч.)	Прискорювач (ваг. ч.)	Пластифікатор (ваг. ч.)	Затвердження
1	Епоксидна ЕД-20 – 100	ПЕПА – 10–20	–	ДБФ – 0 – 5	24 год
4	Поліефірна ПН-1 – 100	–	НК – 8 – 10	Гіперіз – 3 – 5	1 год при 60°C
5	ПН-1 – 100	–	НК – 0,4 – 0,5	ПМЭК – 1	2–2,5 год при 20°C

3. Тканина просочується сполучником (не менше 30 % за масою) і затверджується між плитами при тиску не більше 0,5 МПа і температурі 60 °С впродовж 20–30 хв. Для запобігання прилипання композиційного матеріалу до плит останні покриваються антиадгезивним шаром.

4. Після зняття тиску затверджені полоси вилучаються й охолоджуються до кімнатної температури між металевими пластинами.

5. Охолоджені тонкі пластинки аналізуються і визначається характер втрати площинності та її залежність від типу переплетення.

Лабораторна робота № 8

Вивчення деформаційних характеристик тканинних заповнювачей

Мета роботи: вивчити деформаційні характеристики тканинних заповнювачей, визначити зміни поруватості в пакеті при зусиллі формування.

Устаткування і матеріали: смужки тканини з різною текстурою і типом волокон, ножиці, металева лінійка, випробувальна машина, індикатор годинникового типу з ціною ділення 0,01 мм, жорсткі металеві пластинки.

Теоретичні відомості

Тканинні заповнювачі є пружними поруватими матеріалами. При формуванні заповнювач піддається деформуванню, при цьому змінюється товщина пакету, його поруватість, а у волокнах накопичуються пружні деформації і відповідні їм напруження. Тому для отримання виробів визначених розмірів і монолітного матеріалу із завданням

співвідношенням компонентів необхідно знати про деформаційні властивості заповнювача.

Основною деформаційною характеристикою тканинних заповнювачей є ефективна жорсткість, що залежить від типу використаних для виготовлення тканин волокон та типу їх організації. Ефективна жорсткість визначається при розтягненні заповнювачей у напрямку основи або вутка, а також при стисканні перпендикулярно площині заповнювача. Частіше всього величина жорсткості визначається за експериментальним графіком залежності тиску від товщини пакету, що складається з кількох шарів заповнювача. Ефективна жорсткість пакету заповнювача розраховується зі співвідношення

$$C = \frac{p}{1 - h / h_0}, \quad (8.1)$$

де p – тиск при стисканні пакету заповнювача, Па; h, h_0 – товщина пакету при тиску та у вихідному стані відповідно, мм.

Заданою деформаційною кривою можна визначити зміну поруватості матеріалу при збільшенні тиску за формулою

$$\Pi = 1 - \frac{mn}{\rho h}, \quad (8.2)$$

де Π – відносна об'ємна поруватість пакету; m – маса одиниці площі тканинного заповнювача, кг/м²; n – кількість шарів тканини в пакеті; ρ – густина волокна, з якого виготовлена тканина, кг/м³; h – товщина пакету при тиску p , м.

Хід роботи

1. З полотнища тканини вирізуються однакові смужки в напрямку основи і викладаються в пакети, що складаються з 5, 10, 15, 20 шарів.

2. Перед проведенням експерименту проводиться вимірювання жорсткості машини, з фіксуванням його деформацій ступенево при навантаженнях до 10 кН.

3. На випробувальну машину викладаються пакети із заповнювача між жорсткими металевими пластинами і створюється початкове навантаження в 100 Н, при якому вимірюють товщину пакету h_0 .

4. Ступенево підвищують навантаження і фіксують відповідну висоту пакету $h(P)$.

5. Результати експерименту виражаються графічно в координатах залежності товщини пакету від зусилля $h(P)$ з урахуванням графічної різниці кривої деформації машини.

6. Ступінь ущільнення пакету виражається у відносних одиницях h/h_0 , а навантаження – в одиницях тиску p та будується крива у відповідних координатах згідно співвідношенню (8.1).

7. За кривою навантаження $h(P)$ визначається зміна поруватості пакету за формулою (8.2).

8. Аналізується вплив товщини пакету на жорсткість і поруватість при ущільненні, та виконуються висновки.

Лабораторна робота № 9

Вивчення поведінки тканинного матеріалу при просочуванні

Мета роботи: вивчити властивість листових волокнистих заповнювачей (тканин, холстів) різної хімічної природи і текстури до змочування та просочування.

Устаткування та матеріали: смужки тканини з різною текстурою і типом волокон, ножиці, лінійка, кювета для визначення здатності просочуватися рідкими композиціями заповнювачей, ваги, катетометр, сполучник на основі поліефірної смоли.

Теоретичні відомості

Найважливішою особливістю листкових та об'ємних заповнювачей, особливо тканин, є різко виражена залежність їх здатності до просочування та змочування рідкими композиціями від текстури та напрямку в площині (по вутку або основі).

Для проведення експерименту застосовується спеціальна кювета (рис. 9.1). Властивість до змочування характеризується граничною висотою підняття рідини по заповнювачу та часом досягнення граничної висоти.

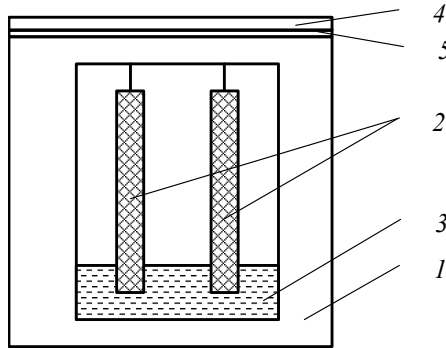


Рис. 9.1. Кювета для визначення змочуваності заповнювача:

1 – кювета; 2 – полоси заповнювача; 3 – сполучник;
4 – кришка кювети; 5 – ущільнювальна прокладка

Хід роботи

1. Готується 100 г сполучника на основі поліефірної смоли і підфарбовується декількома краплями чорнил.

2. Із полотен тканин різної текстури і типу волокон вирізується по одній смужці розміром 100×25 мм вздовж основи і вутка.

3. В кювету (рис. 9.1) наливається сполучник в такій кількості, щоб забезпечити занурення кінця смужок на 10–15 мм.

Зразки підвішуються на гачки з внутрішнього боку кришки кювети. Для випрямлення зразків до їх кінців перед зануренням підвішуються вантажі з вагою 1–2 % від розривного навантаження. Занурюються зразки у сполучник так, щоб вони не торкались стінок кювети та один одного, і кришка щільно закривається.

4. Катетометр наводиться на різкість і відразу після занурення з інтервалом 2–15 хв замірюється підйом границі змочування (в залежності від швидкості змочування). Заміри закінчуються після устанавлення граничної висоти підйому розчину.

5. Отримані експериментальні дані вносяться в табл. 9.1. Будуються кінетичні криві змочування – залежність висоти підйому границі змочування (від рівня розчину) h від часу, визначається гранична висота підйому розчину h_{∞} і час досягнення граничної висоти t_{∞} .

Таблиця 9.1. Результати експерименту

№ з/п	Матеріал	Напрям	h_{∞} , мм	t_{∞} , с
1				
–				

6. Аналізується вплив текстури тканини та її напрямку на здатність до змочування. Виконуються висновки.

Лабораторна робота № 10

Вплив ступеню наповнення односпрямованих СП на механічні властивості

Мета роботи: ознайомлення зі способом отримання полімерного матеріалу, наповненого волокном, методом ручного викладання та оцінювання механічних властивостей склопластику.

Устаткування та матеріали: епоксидна смола, затверджувач, пластифікатор, однонапрямна склострічка, або склотканина різних марок, поліетиленова плівка (розділовий шар), ваги лабораторні, ножиці, валік для прокатування шарів КМ, металеві пластини, товщиномір або штангенциркуль, шпатель, ножівка по металу, тиски слюсарні, машина для механічних випробувань.

Теоретичні відомості

Волокно – це форма матеріалу, що має високе відношення повздовжніх розмірів до поперечних (не менш 10–100) при невеликих значеннях площі поперечного перерізу.

Для більшості волокон є характерними висока міцність та високий модуль пружності при розтягненні. Вочевидь, що дані показники є тими, що визначають високі механічні властивості КМ. Типи волокон представлені в таблиці 10.1

Таблиця 10.1. Типи волокон, що використовуються для ПКМ

Тип волокна	d , мкм	ρ , кг/м ³	σ_p , МПа	E_p , ГПа
Скляне	6–20	2480–2580	2400–4500	66–85
Вуглецеве високоміцне	7–10	1700–800	2500–3500	200–350
Вуглецеве високомодульне	7,5–8	1900–2000	2000–3500	400–700
Борне	75–200	2500–2600	2500–3800	380–450
Органічне (кевлар)	5–20	1400–1450	3000–3300	60–130

Зі збільшенням ступеню наповнення волокнами склопластику густина склопластику збільшується згідно правила адитивності

$$\rho_{СП} = \rho_v \varphi_v + \rho_m (1 - \varphi_v), \quad (10.1)$$

де ρ_v – густина волокна, кг/м³; φ_v – коефіцієнт заповнення ПКМ волокном; ρ_m – густина полімерної матриці, кг/м³.

Практично розрахувати кількість заповнювача в ПКМ можна при відомих масі заповнювача $m_{\text{в}}$, що витрачається на зразок, та масі самого зразка $m_{\text{СП}}$:

$$\varphi_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{СП}}} 100 \%. \quad (10.2)$$

Для механічних характеристик правило адитивності виконується частково. Наприклад міцність однонапрямних склопластиків збільшується до $\varphi_{\text{в}} \approx 60\text{--}70 \%$. Зі збільшенням ступеню наповнення вище 80% міцність і жорсткість знижуються внаслідок нестачі сполучника між волокнами.

Хід роботи

Етап 1

1. Зі склотканини вирізуються квадрати (на один зразок 5–10 штук), або прямокутники розміром на 5–10 мм менше за розмір металевої пластини. Визначається маса склотканини, що йде на один зразок.

2. В ємності готується епоксидний сполучник наступного складу:

- епоксидна смола ЕД-20–85 % за масою,
- затверджувач ПЕПА – 15–10 %,
- пластифікатор ДБФ – 0–5 %.

3. Формується ПКМ. На металевий лист викладається лист розділової плівки та шпателем накладається тонкий шар епоксидної композиції. Викладається склотканина та прокатується валиком так, щоб смола проходила крізь отвори між волокнами. Після цього наноситься ще один шар сполучника та викладається шар склотканини і т. п.

Примітка: повне просочування склотканини та повне видалення пухирів повітря між шарами є необхідною умовою для отримання якісного склопластику.

4. Коли потрібна кількість шарів викладена, останній шар склотканини покривається розділовою плівкою та прокатується валиком для видавлювання надлишків сполучника.

5. Підготовлений зразок залишається для затвердження сполучника не менше ніж на 24 години.

6. Після затвердження сполучника плівка відділяється. Зайва смола видаляється.

7. Вимірюються розміри зразка: ширина a , довжина b , товщина h . Заміри виконуються не менше трьох разів та дані осереднюються.

8. Визначається вага, об'єм отриманого зразка та його густина.

9. Знаючи густину скла і сполучника, визначається відсотковий вміст наповнювача.

10. Отримані дані заносяться в таблицю 10.2.

Етап 2

1. Отримана пластина розпиляється на однакові зразки. Нерівні краї шліфуються зашліфником.

2. Зразки нумеруються, вимірюється товщина та ширина кожного декілька разів (не менше трьох) та знаходиться середнє значення кожного параметру для всіх зразків.

3. За допомогою пресувальної машини визначається міцність при розтягуванні (σ_p) та модуль пружності матеріалу (E).

4. Отримані дані записуються в таблицю 10.2.

Таблиця 10.2. Результати експерименту

№ з/п	Параметри зразка, мм			$m_{сп}, \text{ Г}$	$m_b, \text{ Г}$	$\rho_{сп}, \text{ Г/см}^3$	$\phi_b, \%$	$\sigma_p, \text{ МПа}$	$E, \text{ ГПа}$
	a	b	h						

5. Виконуються висновки за роботою.

Лабораторна робота № 11

Вплив типу сполучника на механічні властивості композиційного матеріалу

Мета роботи: порівняти ПКМ, отримані методом ручного викладання з однаковим наповнювачем та різними матрицями, та оцінити їх механічні властивості.

Устаткування та матеріали: епоксидна, поліефірна смоли різних марок, затверджувач, пластифікатори, склотканина, поліетиленова плівка (розділовий шар), ваги лабораторні, ножиці, валик для прокатування шарів КМ, металеві пластини, товщиномір або штангенциркуль, шпатель, ножівка по металу, тиски слюсарні, машина пресувальна для визначення механічних характеристик зразків.

Теоретичні відомості

При отриманні композиційних матеріалів термореактивні полімери (реактопласти) використовують у вигляді сполучника.

Термореактивні полімерні сполучники є дво- або багатокомпонентними системами, що складаються з синтетичної смоли (полімерної або олігомерної складової) та затверджувачів або ініціаторів, каталізаторів, прискорювачей. Часто термореактивні полімерні сполучники включають в себе також пасивні або активні розчинники, пігменти та фарбники, пластифікатори, стабілізатори та інші компоненти для придання сполучнику та ПКМ необхідних технологічних та експлуатаційних властивостей.

Склад сполучного залежить від механізму проходження реакції затвердження і від необхідних механічних властивостей затвердженого продукту.

Для виготовлення композиційного матеріалу найбільш часто застосовують поліефірні, епоксидні або фенолформаль-

дегідні сполучники, як найбільш ефективні, з відносно високими показниками міцності в затвердженому стані та які не виділяють великої кількості шкідливих речовин.

Ненасичені поліефірні смоли в залежності від складу, хімічної будови і молекулярної маси є в'язкими рідинами або твердими речовинами. Температура та швидкість затвердження визначається вибором типу ініціатора та прискорювача. Для низькотемпературного затвердження частіше всього використовується перекис бензоїлу або гідроперекис ізопропілбензолу (гіперіз), а для високотемпературного – трет-бутилпербензоат.

Ефективними прискорювачами, що застосовуються разом з перекисем бензоїла, є третинні аміни. Наприклад: діметил-, діетил та діетаноламін і т. п. З гідроперекисами застосовують кобальтові солі нафтових і декількох інших кислот, наприклад, нафтенат кобальту, що випускається у вигляді стирольного розчину під назвою "прискорювач НК".

Дані про властивості незатверджених поліефірних смол представлені у таблиці 11.1.

Таблиця 11.1. Фізико-хімічні та технологічні характеристики ненасичених поліефірних смол

Марка смоли	Густина смоли, г/см ³	В'язкість за Хеплером при 20 °С, Па·с	Час гелеутворення при 20 °С, хв	Тип виробу
ПН-1	1,12–1,16	0,5–0,8	60–120	Загального призначення
ПН-3	1,12–1,16	0,5–1,0	60–120	Загального призначення, підвищеної теплостійкості
ПН-6	1,31–1,32	1,2–2,0	120–300	Хімічностійкі
ПН-62	1,26–1,29	1,2–2,0	300	Зниженої горючості

Незатверджені епоксидні смоли – це розчинні та плавкі в'язкі рідини, або крихкі тверді речовини, що характеризуються високою адгезією до багатьох матеріалів та невеликим усадженням при затвердженні. Дані про деякі марки незатверджених епоксидних смол представлені нижче (таблиця 11.2).

Таблиця 11.2. Фізичні характеристики деяких епоксидних смол

Тип смоли	Густина, г/см ³	$T_{пл}$, °C	В'язкість за Хеплером при 20°C, Па·с	Час гелювання з різними затверджувачами*, год	Тип виробу*
ЕД-22	1,16	–10	8,0–13,6	6,0 (МА)	К, ЕІ
ЕД-20	1,16	0	13,0–28,0	4,0 (МА)	К, ЕІ
ЕД-16	1,16	10	–	3,0 (МА)	К, ЕІ
ЕД-10	1,16	50	–	2,0 (МА)	К, ЕІ
ЕД-8	1,16	70	–	2,0 (МА)	К, ПЕЛ
К-168	1,17	–	500	0,25 (ПЕПА)	ЕІ
УП-238	1,20	–	360 (за ВЗ-1)	–	К, ТС
ЕХД	1,10	–	$25 \cdot 10^{-4}$ (при 50°C)	3 (з діаметром X)	К, ЗГ

* МА – малеїновий ангідрид, ПЕПА – поліетиленполіамін.

** К – конструкційні, ЕІ – електроізоляційні, ПЕЛ – підвищеної еластичності, ТС – теплостійкі, ЗГ – зниженої горючості.

Затверджувачами епоксидних смол можуть бути аміни (поліетиленполіамін, гексаметилендіамін, пірідін), амінополіаміди (очищені конопляне або лляне масла), ангідридні кислоти (малеїновий і фталевий ангідриди), третинні аміни або основа Л'юїса (етілметілімідазол (ЕМІ)), кислоти Л'юїса (трифтористийбор + моноетіламін (УП-605)). Затверджувачі можуть бути холодного ($T_{затв} < 50\text{ °C}$) та гарячого ($T_{затв} > 50\text{ °C}$) затвердження.

Незатверджені смоли на основі формальдегіду є в'язкими рідинами або твердою крихкою прозорою аморфною масою, що легко переходить у рідину в інтервалі температур 60–120 °С. В залежності від другого компоненту, що приймає участь в синтезі, смоли можуть бути фенолформальдегідні (найбільш розповсюджені), мочевиноформальдегідні, аніліноформальдегідні та меламіноформальдегідні.

У процесі затвердження проходять наступні стадії:

- стадія А – при $T < 120$ °С утворюється розчинна термопластична смола (резол);
- стадія В – при $T = 120 - 140$ °С смола стає частково розчинною і знаходиться у високо еластичному стані (резістол);
- стадія С – при $T > 170$ °С утворюється тверда неплавка нерозчинна речовина (резіт).

Приблизні властивості затверджених смол представлені в таблиці 11.3.

Таблиця 11.3. Властивості затверджених термореактивних сполучників

Властивість	Поліефірні сполучники	Епоксидні сполучники	Фенольні сполучники
Густина, кг/м ³	1100–1450	1200–1400	1200–1360
Міцність на розтяг, МПа	24–70	27–130	23–78
Міцність на вигин, МПа	До 200	125	50–100
Модуль пружності, ГПа	1,5–4,4	9,8–5,0	1,4–6,5
Відносне подовження при розриві, %	0,5–0,6	1,2–10,0	0,3–0,4
Питома ударна в'язкість (за Ізодом), кДж/м ²	2,0–10,7	2,9–24,5	2,0–11,3
Коефіцієнт термічного розширення $\times 10^5$, К ⁻¹	6–9	5–8	5–6
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К	0,15–0,22	0,17–0,21	0,23–0,27
Усадження при затвердженні, %	4–15	0,5–3,6	0,5–7,0
Водопоглинання за 24 год, %	0,15–0,6	0,03–0,3	0,15–0,6
Теплостійкість за Мартенсом, °С	60–80	140–150	140–180

Приготування термореактивного сполучника в лабораторних умовах та розрахунок маси компонентів.

Полімерний сполучник складається зі смоли, затверджувача, каталізатора, пластифікатора та ін.

Для приготування визначеної кількості сполучника необхідно з достатньою точністю визначати маси відповідних компонентів. Точна відповідність кількості компонентів рецептури є обов'язковою, оскільки від цього залежить якість композиційного матеріалу. Склад компонентів визначається емпірично або розрахунково.

Необхідна маса, з урахуванням втрат ($\approx 10\%$), приймається рівною сумі масових частин всіх компонентів. Розрахунок компонентів виконується складанням відповідних пропорцій.

Деякі склади сполучників наведені у таблиці 11.3

Таблиця 11.3. Склад та режими затвердіння полімерних сполучників

№ з/п	Смола (ваг.ч.)	Прискорювач (ваг.ч.)	Пластифікатор (ваг.ч.)	Затверджувач (ваг.ч.)	Час затвердіння
1	ЕД-20-100	—	ПН-1-20	ПЕПА-10-20	24 год
2	КЕ-100	ДБФ-20	—	ПЕПА-10	1 год
3	ЕД-20 (КЕ)-100	—	ПН-1-20	ТЭТА-10	1,5-2 год при 100 °С
4	КЕ-100	—	ПН-1-20	МА-20	5 год
5	ПН-1-100	НК-8-10	Гіперіз-3-5	—	1 год при 60 °С
6	ПН-1-100	НК-0,4-0,5	ПМЕК-1	—	2-2,5 год при 20 °С
7	ПН-1-100	НК-1-1-8	ПМЕК-3	—	2-2,5 год при 20 °С
8	ФФС-100	—	—	МА-3	Ступеневе: 1 год при 50-95°С; 90-110°С; 105-98°С

Компоненти сполучника вмішуються в смолу поступово. Все ретельно перемішується для рівномірного розподілу за об'ємом. Перемішування проводиться обережно, щоб запобігти утворюванню пухирців повітря в маси сполучника. Затверджувач вводиться у композицію останнім.

Високов'язка смола перед використанням підігрівається до 80 °С і потім в теплу вводиться пластифікатор або розчинник.

При використанні сполучника необхідно бути обережним, оскільки при затвердженні композиції можлива екзотермічна реакція до 200 °С.

Хід роботи

1. Розраховується маса компонентів для приготування ≈ 100 г сполучника на основі епоксидної смоли за рецептурою № 1 (таблиця 7.3): ЕД-20 – 100 ваг. ч, ПН-1 – 20 ваг. ч., ПЕПА – 10 ваг. ч. Визначаються маси компонентів, шляхом складання пропорцій. Маса сполучника з урахуванням втрат дорівнює 110 г, що відповідає 130 ваг. ч. сполучного (100 + 20 + 10). Тобто X_1 (ЕД-20) – 100 ваг. ч., X_2 (ПН-1) – 10 ваг. ч., X_3 (ПЕПА) – 20 ваг. ч. У результаті рішення пропорцій отримано, що для приготування завданої кількості сполучника необхідно взяти 84,6 г – ЕД-20; 8,4 г – ПН-1; 16,9 г – ПЕПА.

2. Аналогічно проводиться розрахунок компонентів сполучника за рецептурами № 2–8 із табл. 11.3.

3. Для приготування сполучника ємність зважується на лабораторних вагах з точністю до 0,1 г. Вливається розрахована кількість смоли, після – поступово вводиться необхідна кількість компонентів, і композиція ретельно перемішується.

4. Зі склотканини вирізуються квадрати (на один зразок 5–10 штук), або прямокутники за розміром на 5–10 мм менше

за розмір металевої пластини. Визначається маса склотканини, що йде на один зразок.

5. Формується ПКМ:

- на металевий лист викладають лист розділової плівки та шпателем накладають тонкий шар сполучника;
- викладається склотканина та прокатується валиком так, щоб смола проходила крізь отвори між волокнами;
- після цього наноситься ще один шар сполучника та викладається шар склотканини і т. д.

Примітка: повне просочування склотканини та повне видалення пухирів повітря між шарами є необхідною умовою для отримання якісного склопластику.

6. Коли потрібна кількість шарів викладена, останній шар склотканини покривається розділовою плівкою та прокатується валиком для видавлювання надлишків сполучника.

7. Підготовлений зразок залишається для затвердження сполучника не менше ніж на 24 год.

8. Після затвердження сполучника плівка відділяється. Зайва смола зрізається. Визначається вага отриманого виробу, та, знаючи вагу склотканини, визначається відсотковий вміст наповнювача.

9. Отримана пластина розпиляється на однакові зразки. Нерівні краї шліфуються зашліфником.

10. Зразки нумеруються, вимірюється їх товщина h і ширина b кожного декілька разів (не менше трьох). Знаходиться середнє значення за кожним параметром та розраховується площа поперечного перерізу зразка.

11. За допомогою випробувальної машини визначається руйнівна сила (P_p) при розтягуванні зразка та міцність (σ_p).

12. Отримані дані записуються у таблиці 11.4 та 11.5 для кожного ПКМ з іншою матрицею.

Таблиця 11.4. Розрахунок вмісту заповнювача у зразку

№ з/п	Маса склотканини, г	Маса отриманої пластини, г	Вміст заповнювача, %

Таблиця 11.5. Результати експерименту

№ з/п	l_0 , мм	Розміри зразків, мм		S_0 , мм ²	P_p , Н	σ_p , МПа
		h	b			
1						
—						
Середнє арифметичне значення, МПа						
Середнєквадратичне відхилення						

13. Результати розрахунків порівнюються та виконуються висновки.

Лабораторна робота № 12

Вплив типу волокнистих армуючих матеріалів на механічні властивості СП

Мета роботи: порівняти полімерні композиційні матеріали, отримані методом ручного викладання з різними типами заповнювачей та однаковою матрицею, та оцінити їх механічні властивості.

Устаткування та матеріали: смола будь-якої марки, затверджувач та пластифікатор (за необхідності) для неї, склотканина (полотняного, саржевого або сатинового переплетіння), однонапрямні пучки скловолокон або кордна склотканина, скляне полотно або мат, поліетиленова плівка (розділовий шар), ваги лабораторні, ножиці, валик для прокатування шарів КМ, металеві пластини, товщиномір, або штангенциркуль, шпатель, ножівка по металу, тиски слюсарні,

машина пресувальна для визначення механічних характеристик зразків.

Теоретичні відомості

Елементарні волокна або однонапрямні наповнювачі (нитки, ровінги) можуть бути використані самостійно у вигляді пасм (некручених (ровінг) та кручених (джгут) – більше чотирьох круток на метр) або для отримання листових волокневих заповнювачей. До них відносяться ткани або неткані матеріали: тканини, стрічки, сітки, полотна, мати.

Вага нитки визначається в текстах (кількість грам нитки в одному кілометрі) або номером (кількість метрів нитки, що важить 1 кілограм).

Тканина отримується на ткацькому верстаті з двох систем ниток, що розташовані взаємоперпендикулярно и переплетені у визначеній закономірності. Нитки, що розташовані паралельно одна одній і йдуть вздовж тканини, є її основою. Нитки, що розташовані поперек тканини, мають назву вуток.

У залежності від схеми переплетення ниток основи і вутка тканинні заповнювачі мають різну структуру (рис. 12.1).

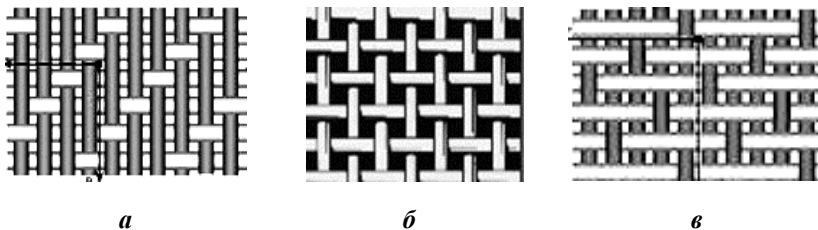


Рис. 12.1 Види переплетень тканинного заповнювача:

a – саржеве; *б* – полотняне; *в* – сатинове

У тканинах полотняного переплетення основа і вуток взаємно переплетені через одну нитку (рис. 12.1, *б*). В ткани-

нах саржевої структури основа і вуток переплетені через дві нитки (рис. 12.1,*а*). Поверхня цієї тканини має візерунок із діагональних полос. В тканинах сатинового переплетення кожна з ниток основи (вутка) огинає за один період неоднакову кількість ниток вутка (основи) – три, п'ять, сім або більше (рис. 12.1,*в*).

Особу форму переплетення мають об'ємні тканини, в яких нитки основи та вутка переплетені ще ниткою в перпендикулярній площині.

Ще одним параметром для визначення тканинних матеріалів є її щільність, що характеризує кількість ниток на одиницю ширини (за основою) або довжиною (за вутком) тканини. Щільність тканини характеризує частоту розташування ниток в тканині. Чим даліше розташовані нитки одна от одної, тим щільність менше, тобто тканина більш розріджена. Чим ближче розташовані нитки одна до одної, тим щільність більше, тобто. тканина щільніше.

Товщина тканини залежить від товщини ниток або номера ниток, з якої вона виконана, та від її побудови. Товщина коливається от десятих долей міліметра до кількох міліметрів.

Неткані рулонні матеріали бувають неорієнтовані та орієнтовані.

Неорієнтовані – це мати та полотна різного типу. Мати – матеріал із хаотично розташованих відрізків комплексних ниток довжиною приблизно 50 мм, що склеєні між собою зв'язкою або матеріалом підкладу. Є також мати із неперервних комплексних ниток. В якості зв'язки використовується полівінілацетат або латекс поліметілметакрілату.

Композиційні матеріали, що армовані матами, є квазіізотропними в площині армування, але мають низький коефіцієнт заповнення об'єму та, відповідно, низькі механічні характеристики.

Хід роботи

1. Розраховується маса компонентів для приготування приблизно 300 г будь-якого сполучника на основі епоксидної або поліефірної смоли за рецептурою в табл. 11.3. Визначаються маси компонентів, шляхом складання пропорцій.

2. Для приготування сполучника ємність зважується на лабораторних вагах з точністю до 0,1 г. Вливається розрахована кількість смоли, після поступово вводиться необхідна кількість компонентів, і композиція ретельно перемішується.

3. Зі склотканини, скломата та кордної тканини вирізуються квадрати (на один зразок 5–10 штук, але однакова кількість для всіх зразків), або прямокутники за розміром на 5–10 мм менше за розмір металевої пластини. Визначається маса склонаповнювача, що йде на один зразок.

4. Формується ПКМ:

- на металевий лист викладають лист розділової плівки та шпателем накладають тонкий шар сполучника;
- викладається склонаповнювач та прокатується валиком так, щоб смола проходила крізь отвори між волокнами;
- після цього наноситься ще один шар сполучника та викладається шар наповнювача і т. д.

Примітка: повне просочування наповнювача та повне видалення пухирів повітря між шарами є необхідною умовою для отримання якісного склопластику.

5. Коли потрібна кількість шарів викладена, останній шар склонаповнювача покривається розділовою плівкою та прокатується валиком для видавлювання надлишків сполучника.

6. Підготовлений зразок залишається для затвердження сполучника не менше ніж на 24 год.

7. Після затвердження сполучника плівка відділяється. Зайва смола зрізається. Визначається вага отриманого виробу, та, знаючи вагу склонаповнювача, визначається відсотковий вміст заповнювача.

8. Отримані пластини розпиляються на однакові зразки. Нерівні краї шліфуються зашліфником.

9. Зразки нумеруються, вимірюється їх товщина h і ширина b кожного декілька разів (не менше трьох), знаходиться середнє значення за кожним параметром та розраховується площа поперечного перерізу зразка.

10. За допомогою випробувальної машини визначається руйнівна сила (P_p) при розтягуванні зразка та його міцність (σ_p).

11. Отримані дані записуються в таблицях 12.1 та 12.2 для кожного ПКМ з іншим заповнювачем.

Таблиця 12.1. Розрахунок вмісту наповнювача в зразку

№ з/п	Маса склонаповнювача, г	Маса отриманої пластини, г	Вміст наповнювача, %

Таблиця 12.2. Результати експерименту

№ з/п	l_0 , мм	Розміри зразків, мм		S_0 , мм ²	P_p , Н	σ_p , МПа
		h	b			
1						
...						
Середнє арифметичне значення, МПа						
Середнє квадратичне відхилення						

12. Результати розрахунків порівнюються та виконуються висновки.

Лабораторна робота № 13

Визначення складу склопластику термічним методом

Мета роботи: навчитися визначати коефіцієнт заповнення об'єму сполучником в ПКМ термічним методом.

Устаткування та матеріали: готові зразки склопластику із наповнювачем різної текстури і типом волокон, керамічна кювета для розміщення зразків при випалюванні сполучника, ваги лабораторні, піч муфельна з робочою $T_{max} \geq 800$ °C.

Теоретичні відомості

Кількість сполучника, або коефіцієнт заповнення об'єму ПКМ волокнами виконується шляхом виділення із матеріалу органічної складової (летючі, вода, мономер). Сполучник можна екстрагувати із зразка спиртом або толуолом, або частіше випалювати в муфельній печі при підвищеній температурі. Різниця мас зразка до та після випалювання і є масове складова сполучника з абсолютною похибкою 0,7 %.

Процедура лабораторного контролю є достатньо трудомістким, тому процедура може бути автоматизована. Структурна схема автоматизованої установки для експрес-контролю вмісту сполучника представлена на рис. 13.1, але вона підходить тільки для склопластиків.

Для визначення вмісту органічного наповнювача застосовується термогравіметричний метод. За цим методом зразок зважується передначалом експерименту (m_0), нагрівається з постійною швидкістю 6 °C/хв до заданої температури T_1 і після термостатується впродовж часу $\Delta\tau = \tau_0 - \tau_1$. В момент часу τ_1 зразок повторно зважується (m_1) та вираховується

відносна втрата маси $\gamma = \frac{m_0 - m_1}{m_0}$. За отриманим γ розра-

ховується складова органічного наповнювача $y = a_1\gamma + a_2$, де коефіцієнти a_1 та a_2 знаходяться методом найменших квадратів або інтерполяцією за результатами калібрувальних опитів. Значення T_1 і $\Delta\tau$ підбирається для кожного типу КМ із умови лінійності y та γ . Наприклад, для органічного волокна ВНПВЛОН та епоксидних смол ЕДТ-10Т і ЕДТ-16 температура $T_1 = 380\text{--}420$ °С, а $\Delta\tau = 20\text{--}30$ хв. Похибка при визначенні складу органопластику складає не більше 2 %.

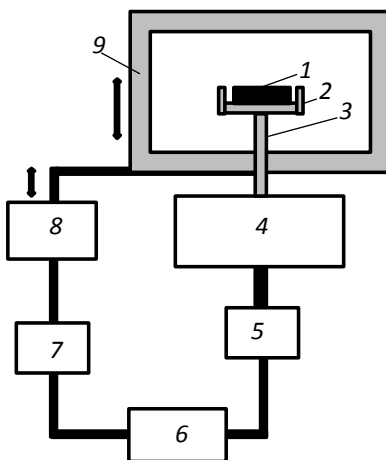


Рис. 13.1. Структурна схема
автоматизованого лабораторного обладнання
для експрес-методу контролю вмісту сполучника:
1 – зразок скломатеріалу; 2 – кювета; 3 – штук; 4 – електронні ваги;
5 – перетворювач; 6 – електронно-обчислювальний прилад;
7 – блок керування; 8 – підйомний механізм;
9 – муфельна піч

Хід роботи

1. Підготовлені зразки склопластику зважуються на лабораторних вагах.

2. Зважуються кювети, в яких зразки будуть знаходитися в печі при випалюванні.

3. Зразки вкладаються в керамічні кювети та розміщуються в муфельній печі, що нагріта до температури не менше 700 °С.

4. Витримуються при температурі 700 ± 20 °С впродовж 6 хв.

5. Залишки зразків з кюветами виймаються з печі та після короткотривалої витримки на повітрі (впродовж приблизно 5 хвилин для встановлення волого-температурного балансу) зважуються на лабораторних вагах.

6. За різницею в масі зразків до випалювання та після нього визначають кількість сполучного в склопластику за формулою

$$\varphi = \frac{m_2 - m_1}{m_0} 100\%, \quad (13.1)$$

де m_0 – первинна маса зразка; m_1 – сумарна маса зразка і кювети m_k ; m_2 – маса кювети із залишками зразка після спалювання.

7. Отримані дані записуються в таблицю 13.1.

Таблиця 13.1. Результати експерименту

№ з/п	m_0 , г	m_k , г	m_1 , г	m_2 , г	φ , %
1					
...					
Середнє значення коефіцієнта заповнення волокнами, %					
Середнє квадратичне відхилення, %					

8. Зробити висновки

Контрольні запитання до розділу 2

1. Що таке основа і вуток тканини?
2. Чим різняться тканини полотняного, саржевого та сатинового переплетення?
3. Як визначається щільність тканини?
4. В якій послідовності та які параметри визначаються при структурному аналізі тканих матеріалів?
5. Назвіть особливості визначення міцності тканих і нетканних заповнювачей.
6. Як визначається подовження тканини при її руйнуванні?
7. За яким стандартом проводяться визначення механічних характеристик тканини і нетканого матеріалу?
8. Які механічні характеристики тканин визначаються?
9. Що означає термін "неврівноваженість тканини"?
10. Чому тонкостінна композиційна пластина на основі тканини втрачає площинність?
11. Описати технологію приготування тонкостінної пластини для визначення неуврівноваженості тканини.
12. Назвіть деформаційні характеристики тканих заповнювачей.
13. Що таке ефективна жорсткість тканинних заповнювачей і як вона визначається?
14. Як визначається загальна площа навантажених волокон при випробуванні тканих матеріалів на міцність при розтязі?
15. Як зв'язані між собою тиск ущільнення пакету, його товщина і поруватість?
16. Назвіть основні технологічні характеристики сполучника і заповнювача, що визначають швидкість і якість просочування.
17. Чим характеризується властивість до змочування тканин?

Розділ 3. ДИСПЕРСНІ ЗАПОВНЮВАЧІ ТА КМ ІЗ НИМИ

Лабораторна робота № 14 Визначення об'ємних характеристик дисперсних заповнювачів

Мета роботи: ознайомитися з методикою визначення об'ємних характеристик дисперсних заповнювачів.

Устаткування та матеріали: мірний циліндр, ваги лабораторні, заповнювач різного типу.

Теоретичні відомості

Об'ємні характеристики матеріалів характеризуються насипною щільністю, питомим об'ємом, коефіцієнтом ущільнення і залежать від густини та форми окремих частинок, граулометричного складу і вологості.

В процесі переробки матеріалів із малою насипною щільністю та більшим коефіцієнтом ущільнення виникає необхідність у більшому об'ємі камери, що завантажується, та збільшенні часу формування, що призводить до зниження виробничості та збільшенню питомих енергозатрат пресового обладнання, литевих, екструзійних і валкових машин. У сировині з малою насипною щільністю міститься більша кількість повітря, що знижує теплопровідність матеріалу. При переробці таких матеріалів застосовується ущільнення матеріалу перед переробкою (при пресуванні) або застосовується переробне обладнання з відводом газоподібних речовин із розплаву (лиття, екструзія).

Насипна щільність і питомий об'єм виражаються відповідно масою одиниці об'єму ($\text{кг}/\text{м}^3$) і об'ємом одиниці маси ($\text{м}^3/\text{кг}$) вільно насипаного матеріалу, вони зв'язані між собою зворотньопропорційною залежністю.

Хід роботи

1. Для визначення насипної щільності зважується порошковий матеріал.

2. Засипається навіска у мірний циліндр ємністю 100 мл і ущільнюється легким постукуванням по столу.

3. Вимірюється об'єм, що займає навіска матеріалу в циліндрі.

4. Розраховується насипна щільність матеріалу $\rho_{\text{нас}}$ та питомий об'єм $V_{\text{пит}}$ за формулами:

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m}{V}, \quad V_{\text{пит}} = \frac{1}{\rho_{\text{нас}}},$$

де m – маса порошку; V – загальний об'єм порошку.

Примітка: за кінцевий результат приймається середнеарифметичне значення декількох (мінімум трьох) вимірювань.

5. Максимальна об'ємна доля частинок заповнювача φ , що характеризує максимально можливу ступінь заповнення порошком, розраховується за формулою

$$\varphi = \frac{\rho_{\text{нас}}}{\rho} 100 \%,$$

де ρ – істинна густина матеріалу (береться з довідника).

Примітка: за кінцевий результат приймається середнеарифметичне значення декількох (мінімум трьох) вимірювань.

6. Все отримані дані заносяться в табл. 14.1.

Таблиця 14.1. Результати експерименту

№ зразка	Матеріал	m , г	V , см ³	$\rho_{\text{нас}}$, г/см ³	$V_{\text{пит}}$, см ³ /г	φ , %
1						
...						
Середнє арифметичне значення						
Середнє квадратичне відхилення						

7. Виконуються висновки

Лабораторна робота № 15

Визначення геометричних розмірів і форми частинок коротковолокневих заповнювачів

Мета роботи: визначити основні геометричні характеристики заповнювачей.

Устаткування та матеріали: деревна тирса, волокна льна, скляні волокна, порошкові заповнювачі різних типів, мікроскоп, штангенциркуль, мікрометр, предметне скло.

Теоретичні відомості

У більшості випадків дисперсні або порошкові заповнювачі розглядаються як дешеві добавки або заповнювачі об'єму.

Для отримання ПКМ звичайно застосовуються тверді заповнювачі: тонкодисперсні з частинками зернистої форми (сажа, діоксид кремнію, деревне борошно, крейда, каолін і т. п.) або пластинчастої форми (тальк, слюда, графіт і т. п.), порожні сфери, а також різні волокневі матеріали (лляне волокно, деревна тирса, короткі скляні волокна і т. п.).

Вибір заповнювача в першу чергу обумовлюється розмірами його частинок і розподілом за розмірами (полідисперсністю), а також формою частинок і характером їх упакування.

Дисперсні матеріали класифікуються за формою в залежності від співвідношення характерних розмірів (рис. 15.1).

Форма частинок більшості заповнювачей є дуже різною і не може бути строго охарактеризованою. Тому тільки розміри частинок і площа їх поверхні можуть бути основою для класифікації заповнювачей і оцінки їх впливу на властивості систем заповнювач-сполучник.

У відповідності з цим вводиться характеристика розміру частинки – діаметр еквівалентної сфери (ДЕС), тобто діаметр цієї сфери – це об'єм, що дорівнює об'єму частинки.

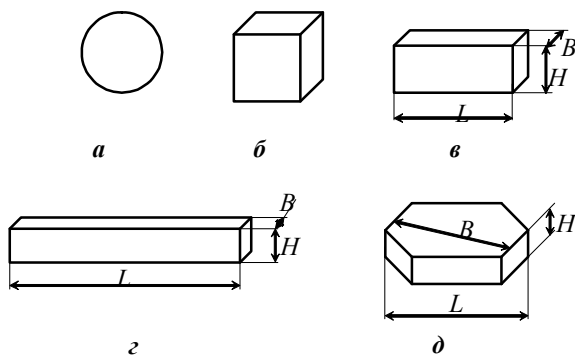


Рис. 15.1. Вигляд та основні розміри частинокзаповнювача:
а – сфера; **б** – куб; **в** – паралелепипед; **г** – волокно; **д** – чешуйка;
 L – довжина; H – висота; B – ширина

Хід роботи

Етап 1. Визначення геометричних розмірів та форми частинок коротковолокнистих заповнювачів

1. Невелика кількість заповнювача розподіляється рівномірно на плоскій поверхні. Для вимірювання застосовується штангенциркуль або мікрометр, а для дуже маленьких частинок ($< 0,1$ мм) вимірювання проводиться за допомогою мікроскопу.

2. Визначаються характерні розміри частинок (довжина, ширина, товщина) і відношення максимального розміру до мінімального.

3. Визначається форма частинок різних заповнювачів і вони замальовуються. Результати випробувань записуються в таблицю 15.1.

Таблиця 15.1. Результати експерименту

№ з/п	Матеріал	Розміри частинок, мм			Форма частинок	ДЕС, мм
		Довжина	Ширина	Товщина		
1						
...						

Етап 2. Визначення форми і розмірів частинок порошкових заповнювачів

1. Для визначення форми і розмірів частинок невелика кількість заповнювача розміщується на предметному склі, попередньо змоченому водою, і накривається другим предметним склом. Заповнювач розподілюється так, щоб частинки були відділені одна від одної.

2. Зразок встановлюється на предметний столик мікроскопу. Підбирається відповідне збільшення та різкість. Визначається та замальовується форма частинок.

3. Визначаються основні розміри частинок і розраховується ДЕС. Результати досліджень записуються в таблицю 15.1.

Лабораторна робота № 16

Вивчення гранулометричного складу дисперсних заповнювачів

Мета роботи: навчитися методом ситового аналізу визначати гранулометричний склад порошку.

Устаткування та матеріали: набір сит, ваги лабораторні, заповнювачі різного складу і типу.

Теоретичні відомості

Вибір заповнювача у першу чергу визначається розмірами його частинок та їх розподілом за розмірами (полідисперсністю).

Гранулометричний склад порошкових матеріалів дозволяє визначити кількісне співвідношення у порошку частинок різних розмірів і характеризується розміром частинок і співвідношенням між складом частинок різних розмірів.

Для визначення розмірів частинок і фракційного складу матеріалів використовується велика кількість експериментальних

методів: ситовий (при розмірах частинок від 0,06 до 10 мм), мікрометричний (від 0,001 до 0,06 мм), седиментаційний (від 0,0001 до 0,06 мм).

Ситовий метод полягає в розділенні проби матеріалу за фракціями шляхом розсіву через набір стандартних сит із різними комірками та визначення залишку на кожному ситі. У діючому ГОСТ 35-84-83 приводяться характеристики шкали сит (табл. 16.1).

Таблиця 16.1. Характеристики шкали сит

Номер сітки	Номінальний розмір сторони комірки, мм	Діаметр проволочки сітки, мм	Число комірок на 1 см ²	Живий перетин, %
2,5	2,5	0,5	11,2	70
2	2,0	0,5	16	64
1	1,0	0,35	54,9	55
05	0,5	0,13	193	48,2
025	0,25	0,07	694	43,3
01	0,1	0,035	3460	34,6
005	0,05	0,015	13900	31

Ситовий аналіз є основним методом дисперсного аналізу матеріалу. Але цей метод не дає представлення про істинні розміри частинок, тобто через отвори сітки можуть пройти частинки, довжиною більше, а шириною менше, за розмір комірки. Тобто результати ситового аналізу характеризують не середній, а мінімальний розмір частинок.

Результати, що отримані при ситовому аналізі, повинні бути приведені у відповідність з результатами, що отримані за іншими методами, що показують розміри у вигляді ДЕС, якщо частинки несферичної форми.

При визначенні гранулометричного складу будується залежність розподілу ступені розділу D (рис. 16.1,*а*) і залежність відносного складу фракції dD (рис. 16.1,*б*) від розміру

частинок δ . Функція D визначається як відношення маси частинок, розмір яких менше δ до загальної маси матеріалу, і виражається у відсотках або долях одиниці. Функція dD визначається як відношення маси частинок кожної фракції до загальної маси матеріалу і виражається у відсотках або долях одиниці.

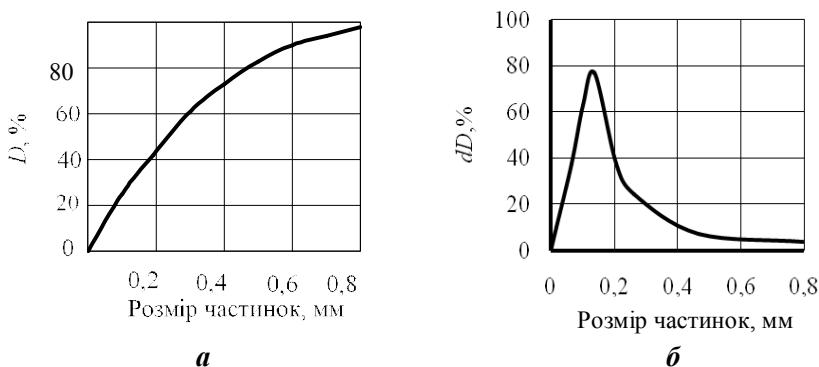


Рис. 16.1. Вигляд функцій розподілу ступені розділу (*а*) і відносного вмісту фракцій (*б*) від розміру частинок матеріалу

Для мілкодисперсного матеріалу основним методом визначення полідисперсності частинок є седиментаційний метод.

Мікроскопічний метод оцінки лінійних розмірів дисперсних частинок заповнювача є найбільш точним, але й більш трудомістким і тривалим.

Хід роботи

1. На верхнє сито (із самим великим розміром комірки) насилається зважений на технічних вагах матеріал, що досліджується, (не менше 100 г) і закривається кришкою. Шляхом струшування, вібрації або іншими способами матеріал розділяється на фракції. При ручному методі просів

проводиться впродовж 20 хв. Просів можна завершувати, якщо залишок на ситі зменшується не більше, як на 0,2 % впродовж 2 хв.

2. Після закінчення просіву зважуванням визначається маса матеріалу на кожному ситі (фракції) і на піддоні Δm . Сумарна маса всіх фракцій не повинна відрізнятись від маси вихідної навіски m більше, ніж на 2 %. Втрати при розсіві необхідно рознести по всіх фракціях, що аналізуються, пропорційно їх масам.

3. Маса частинок матеріалу виражається у відсотках до вихідної кількості порошку – ΔR . За розміром отворів сит визначається середній розмір частинок кожної фракції.

4. За результатами експерименту будується залежність розподілу ступені розділу D від розміру частинок δ і залежність відносного складу фракції dD від розміру частинок δ . За залежністю $dD(\delta)$ визначається найбільш ймовірний розмір частинок матеріалу.

5. Проміжні та кінцеві результати дослідження заносяться до таблиці 16.2.

Таблиця 16.2. Результати досліджень

Розмір комірок сита, мкм	Граничні розміри частинок фракцій, мкм	Величина фракції без втрат при розсіві		Величина фракції з урахуванням втрат при розсіві	
		Δm , г	ΔR , %	Δm^* , г	ΔR^* , %
...					
Втрата при розсіві					
Навіска m , г					

6. Зробити висновки.

Лабораторна робота № 17

Визначення вологи в дисперсних заповнювачах

Мета роботи: ознайомитися з методикою визначення вмісту вологи у волокнистих заповнювачах.

Устаткування та матеріали: керамічна або металева ємність, ваги лабораторні, заповнювачі різного типу, термошафа, ексікатор.

Теоретичні відомості

Технологічні властивості вихідних дисперсних матеріалів оцінюють за кількістю вологості, сипкістю, гранулометричним складом, питомим об'ємом та насипною щільністю.

При підвищеному вмісті вологи у волокневих матеріалах значно погіршується їх сипкість, у результаті чого в бункері переробного обладнання відбувається зависання матеріалу, що призводить до зниження точності дозування та порушенню рівномірності живлення машини. Знижується якість виробів: на зовнішній поверхні утворюються хвилястість, здуття, неоднорідність профарблення виробу, пухирці, тріщини, є брак у розмірах, короблення та розшарування виробів.

Вміст вологи в заповнювачах рослинного походження може бути визначено за зміною ваги заповнювача до і після висушування його у термошафі при заданих температурах і часу.

Хід роботи

1. У чисту ємність, що завчасно зважена на лабораторних вагах, всипається приблизно 5 г матеріалу, що випробовується, і зважується на лабораторних вагах з точністю до 0,01 г.

2. Відкрита ємність поміщається в термошафу і витримується впродовж 30 хвилин при температурі 80 ± 2 °С.

3. Після цього відкрита ємність з матеріалом охолоджується в ексикаторі до кімнатної температури. Ємність закривається і знову зважується разом з матеріалом.

4. Відносний вміст води та інших летючих речовин X (%) розраховується за формулою

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} 100 \%,$$

де m_1 , m_2 – вага ємності з матеріалом до і після видалення летючих відповідно, г; m – вага ємності, г.

5. Результати випробувань записуються в таблицю 17.1

Таблиця 17.1. Результати випробувань

№ з/п	Матеріал	m , г	m_1 , г	m_2 , г	X , %
1					
...					
Середнє арифметичне значення					
Середнє квадратичне відхилення					

6. Зробити висновки.

Лабораторна робота № 18

Визначення залежності механічних характеристик ПКМ від розміру порошкового заповнювача

Мета роботи: визначити вплив розміру фракції порошкового заповнювача на механічні характеристики матеріалу (міцність при стисканні).

Устаткування і матеріали: розсіяний на фракції порошок-заповнювач (пісок, крейда, тальк, мікросфери, молоте скло і т.п.), ємності для формування циліндричних зразків, вакуум-насос, компоненти для поліефірного сполучника, ємність-ловушка для сполучника, випробувальна машина, ваги лабораторні, лінійка, штангенциркуль.

Теоретичні відомості

Метод вакуумного формування припускає ущільнення пакета або просочування дисперсного наповнювача сполучником тиском, що чинить ізостатичний зовнішній вплив атмосфери при відкачуванні повітря з герметичної порожнини, в якій знаходиться заповнювач. При цьому не застосовується додатковий зовнішній тиск. Спосіб простий у реалізації; не вимагає міцного й жорсткого оснащення через незначні навантаження.

Хід роботи

1. Підготовка дисперсного заповнювача за допомогою розсіву на фракції (послідовність див. у лабораторній роботі № 15, п. 1 і 2) та обираються потрібні фракції для подальшого випробування.

2. Форма 6 (рис. 18.1) та кришки 5 і 7 покриваються антиадгезивом.

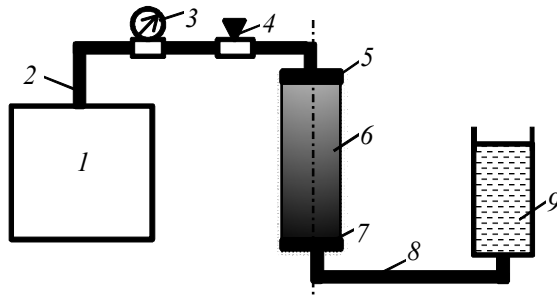


Рис. 18.1. Установка для вакуумпросочування дисперснонаповненого композиційного матеріалу:
1 – вакуумнасос; 2, 8 – скляні або пластикові прозорі трубки;
3 – манометр; 4 – кран; 5 – верхня кришка; 6 – циліндр з дисперсним заповнювачем; 7 – нижня кришка;
9 – ємність зі сполучником

3. Обрана фракція засипається у форму 6, з однієї сторони закритою кришкою 7. Матеріал утрушується та закривається другою кришкою 5.

Примітка: форма повинна бути заповнена наповнювачем повністю без повітряних включень для отримання якісного зразка.

4. Готується поліефірний сполучник за рецептом 6 або 7 з табл. 7.3. Сполучник термостатується в печі впродовж 30 хв при 30 °С для виходу пухирців повітря, які з'являються при перемішуванні сполучника.

5. Форма з заповнювачем кріпиться знизу до ємності з поліефірним сполучником трубкою 8 (див. рис. 18.1), а зверху до трубки 2.

6. Підключається вакуумнасос, який прокачує через ємність із заповнювачем сполучник. Кран 4 повинен бути відкритим. За допомогою манометра контролюється наявність вакууму в ємності.

7. Вакуумнасос відключається як тільки сполучник з'являється у верхній трубці 2.

8. Ємність відділяється від установки та витримується в печі при заданій температурі для конкретного сполучника до затвердіння. Після охолодження форма зі зразком витримуються при кімнатній температурі ще 24 год, або якщо температура в приміщенні становить нижче 20 °С, витримується в печі при температурі близько 25°С впродовж того ж часу.

9. Готові зразки виймаються з форми, проводиться їх механічна обробка для вирівнювання торців та зняття залишкового сполучника.

10. Вимірюються розміри зразків: висота H та діаметр D .

11. Зразки зважуються та визначається їх густина ρ на ступінь заповнення об'єму φ за формулами

$$\rho = \frac{4m}{\pi D^2 H}; \quad \varphi = \frac{\rho - \rho_{\text{СП}}}{\rho_3 - \rho_{\text{СП}}} 100\%,$$

де m – маса зразка; ρ – густина композиційного матеріалу; ρ_3 – густина заповнювача; $\rho_{\text{СП}}$ – густина сполучника.

12. Зразки випробуються на стискання на випробувальній машині. Визначається їх міцність на стискання за формулою

$$\sigma_{\text{СП}} = \frac{4P}{\pi D^2}.$$

13. Результати заносяться в таблицю 18.1.

Таблиця 18.1. Результати експерименту

№ з/п	Матеріал з розміром фракції d , мм	Розміри зразка, мм		m , г	ρ , г/см ³	φ , %	P , кН	$\sigma_{\text{ст}}$, МПа
		H	D					
1								
...								

14. За результатами таблиці 18.1 будується залежність $\sigma_{\text{ст}}(d)$.

15. Виконуються висновки.

Контрольні питання до розділу 3

1. Назвати характеристики дисперсних заповнювачів.
2. Як розраховується насипна щільність матеріалу?
3. Класифікація дисперсних матеріалів за формою.
4. Що таке діаметр еквівалентної сфери?
5. Методи визначення фракційного складу порошкового матеріалу.
6. В чому полягає сітовий метод аналізу порошкового матеріалу?
7. Як вміст вологи в порошковому матеріалі впливає на якість виробу?
8. Як вимірюється вміст вологи в порошковому матеріалі?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Басов, Н. И.** Контроль качества полимерных материалов [Текст] / Н. И. Басов, В. А. Любартович, С. А. Любартович. – Л. : Химия, 1977. – С. 36–44.
2. Технические условия: СТБ 1195–99. Волокно льняное трепаное длинное. [Текст] – Взамен ГОСТ 10.30 – 70 ; введ. 01.07.2000. – Минск : Госстандарт: БелГИИС, 2000. – 24с.
3. ГОСТ 6943.10–79. Материалы текстильные стеклянные. Метод определения разрушающей нагрузки и удлинения при разрыве [Текст] – Взамен ГОСТ 6943.10–71 ; введ. 01.07.1980. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.
4. Наполнители для полимерных композиционных материалов [Текст]: справ. пособие; перевод с англ. / под ред. П. Г. Бабаевского, М. : Химия, 1981. – 736 с.
5. ГОСТ 11035.1–93. Пластмассы. Определение насыпной плотности формовочного материала, который просыпается через специальную воронку: [Текст] – Взамен ГОСТ 11035–64 в части метода А ; введ. 01.01.1996. – Минск : ИПК Изд-востандартов, 1995. – 7 с.
6. ГОСТ 11035.1–93. Пластмассы. Определение насыпной плотности формовочного материала, который не просыпается через специальную воронку [Текст] – Взамен ГОСТ 11035–64 в части метода Б ; введ. 01.01.1996. – Минск : ИПК Изд-востандартов, 1995. – 6 с.
7. Практикум по полимерному материаловедению [Текст] / под ред. П. Г. Бабаевского. – М. : Химия, 1980. – 255 с.
8. Практикум по технологии переработки пластических масс [Текст] / под ред. В. М. Виноградова, Г. С. Головкина. – М. : Химия, 1980. – 240 с.
9. СТБ ИСО 2591–1–2000. Ситовый анализ. Часть 1. Методы с использованием контрольных сит из проволоочной

ткани и перфорированных металлических листов – Введен 01.01.2001; принят в качестве международного стандарта ГОСТ ИСО 2591–1–2002. – Минск : Госстандарт: БелГИИС, 2000. – 24с.

10. **Ставров, В. П.** Технологические испытания реактопластов /В. П. Ставров, В. Г. Дедюхин, А. Д. Соколов. – М. : Химия, 1981. –С. 22–28.

11. ГОСТ 19170–2001. Стекловолокно. Ткань конструкционного назначения. Технические условия [Текст] – Взамен ГОСТ 19170–73; введ. 01.03.2003. – Минск : ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 15 с.

12. ГОСТ 6943.15–94 (ИСО 4602-78). Стекловолокно. Ткани. Нетканые материалы. Метод определения количества нитей на единицу длины основы и утка [Текст] – Взамен ГОСТ 6943.6–79. в части определения плотности; введ. 01.01.1997. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белстандарт, 1997. – 8 с.

13. ГОСТ 6943.16–94 (ИСО 4605-78). Стекловолокно. Ткани. Нетканые материалы. Метод определения массы на единицу площади [Текст] – Взамен ГОСТ 6943.7–94. в части определения линейной плотности; введ. 01.01.1997. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белстандарт, 1997. – 8 с.

14. ГОСТ 6943.18–94 (ИСО 4603–78). Стекловолокно. Ткани. Нетканые материалы. Метод определения толщины [Текст] – Взамен ГОСТ 6943.7–79. в части определения линейных размеров; введ. 01.01.1997. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белстандарт, 1996. – 4 с.

15. ГОСТ 5244–79. Стружка древесная Технические условия – Взамен ГОСТ 5244–73; введ. 01.01.1981. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1998. – 6с.

ЗМІСТ

Вступ	3
<i>Розділ 1. Організація взаємодії на міжфазній границі в ПКМ</i>	4
Лабораторна робота № 1. Визначення поверхневого натягу рідини за методом сталагмометра	4
Лабораторна робота № 2. Визначення змочувальної можли- вості рідини до різних поверхонь	7
Лабораторна робота № 3. Вивчення впливу концентрації дисперсійної фази на в'язкість дисперсійного середовища	10
Лабораторна робота № 4. Вивчення впливу температури на в'язкість олігомерів	13
Контрольні питання до розділу 1	16
<i>Розділ 2. Волокневі заповнювачі та ПКМ на їх основі</i>	17
Лабораторна робота № 5. Визначення структурних параметрів тканинних заповнювачей	17
Лабораторна робота № 6. Вивчення механічних властиво- стей тканинних заповнювачей	21
Лабораторна робота № 7. Вивчення неврівноваженості тканинних заповнювачей	24
Лабораторна робота № 8. Вивчення деформаційних характеристик тканинних заповнювачей	26
Лабораторна робота № 9. Вивчення поведінки тканинного матеріалу при просочуванні	28
Лабораторна робота № 10. Вплив ступені наповнення односпрямованих СП на механічні властивості	30
Лабораторна робота № 11. Вплив типу сполучника на механічні властивості композиційного матеріалу	34
Лабораторна робота № 12. Вплив типу волокнистих армуючих матеріалів на механічні властивості СП.	41
Лабораторна робота № 13. Визначення складу склопластика термічним методом	46
Контрольні питання до розділу 2	49

<i>Розділ 3. Дисперсні заповнювачі та ПКМ на їх основі</i>	<i>50</i>
Лабораторна робота № 14. Визначення об'ємних характеристик дисперсних заповнювачів	50
Лабораторна робота № 15. Визначення геометричних розмірів і форми частинок коротковолокневих заповнювачів	52
Лабораторна робота № 16. Вивчення гранулометричного складу дисперсних заповнювачів	54
Лабораторна робота № 17. Визначення вологи в дисперсних заповнювачах	58
Лабораторна робота № 18. Визначення залежності механічних характеристик ПКМ від розміру порошкового заповнювача	59
Контрольні питання до розділу 3	63
Список використаної літератури	64