

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний технічний університет

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни «Обладнання та оснастка  
виробництв порошкових і композиційних матеріалів» (частина 1) для  
студентів спеціальності

6.05040303 Композиційні та порошкові матеріали, покриття  
денної форми навчання

бібл. № 6233е

2016

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових і композиційних матеріалів» (частина 1) для студентів спеціальності 6.05040303 «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» денної форми навчання/ Укл. В.М. Плескач, Н.В.Широкобокова – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – 42 с.

Укладачі:	В.М. Плескач, доц., к.т.н. Н.В.Широкобокова, к.т.н.
Рецензент:	О.А. Мітяєв, проф., д.т.н.
Експерт:	В.О. Савченко, доц., к.т.н.
Відповідальний за випуск:	І.П. Волчок, проф., д.т.н.

Затверджено на засіданні  
НМК ІФФ, протокол № 1  
від 13.09.2016 р.

Затверджено на засіданні  
кафедри композиційних та  
порошкових матеріалів і  
технологій, протокол № 1  
від 01.09.16 р.

**ЗМІСТ**

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 1. Вивчення конструкції і принципів проектування кульових млинів.....	5
Лабораторна робота № 2. Обладнання для виготовлення металевих волокон.....	11
Лабораторна робота № 3. Обладнання для виробництва тканих наповнювачів.....	16
Лабораторна робота № 4. Виготовлення циліндричних виробів зі склопластику.....	21
Лабораторна робота № 5. Конструкція і розрахунок прес-форм для пресування виробів з композиційних матеріалів .....	26
Лабораторна робота № 6. Обладнання для виготовлення виробів з ПКМ литтям під тиском.....	33
Література.....	39
Додаток А. Властивості деяких шаруватих композиційних матеріалів на основі поліефірної смоли, армованої скловолокном.....	40
Додаток Б.Стандартні режими пресування реактопластів.....	41
Додаток В.Режими лиття під тиском деяких термопластів...	42

## ВСТУП

Лабораторні роботи з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових та композиційних матеріалів» (частина 1) для студентів спеціальності 6.05040303 «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» призначені для закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях з виробництва композиційних матеріалів. Вони сприяють їх засвоєнню та набуттю практичних навичок для проектування окремих вузлів відповідного виробничого обладнання або його підбирання з метою організації виробництва необхідної продукції. Виконуючи лабораторні роботи, студенти навчаються приймати оптимальні рішення на підставі теоретичних міркувань, аналізу технологічних залежностей та розрахунків.

При виконанні лабораторних робіт студенти знайомляться з будовою, принципами дії і правильним використанням обладнання для виробництва композиційних матеріалів; на основі заданих вихідних параметрів виконують необхідні розрахунки, ресструють результати, роблять висновки та оформляють звіт.

Лабораторні роботи (крім лабораторних робіт № 5, 6) розраховані на двогодинне заняття. Перед початком кожної лабораторної роботи проводиться інструктаж з техніки безпеки. Контроль знань рекомендується проводити шляхом тестування або співбесіди.

## Лабораторна робота № 1

### ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ПРИНЦИПІВ ПРОЕКТУВАННЯ КУЛЬОВИХ МЛИНІВ

#### 1.1 Мета роботи

Ознайомитися з видами, конструкцією і роботою кульових млинів; оцінити їхні технічні характеристики і можливості; ознайомитися з правилами їх проектування.

#### 1.2 Загальні відомості

Одним з видів композиційних матеріалів є дисперсно-зміцнені композиційні матеріали (ДКМ). Основу ДКМ становить матриця з чистого металу або сплаву, в якій рівномірно розподілені тонкодисперсні частинки зміцнювача розміром у частку мікрметра. Об'ємна частка цих включень становить 1...15%.

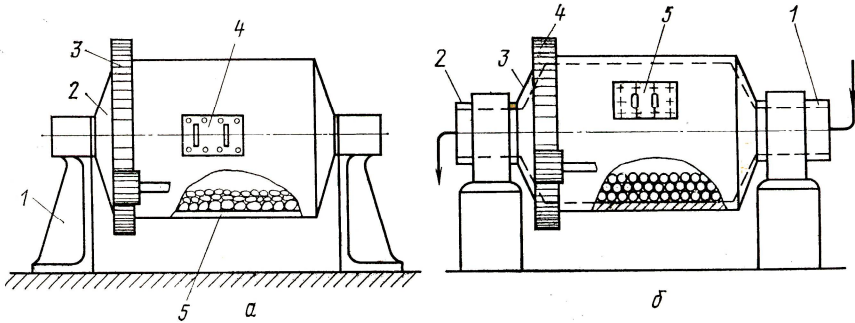
Як зміцнювачі використовуються дисперсні частинки оксидів, карбідів, нітридів, боридів та інших тугоплавких сполук, а також деякі інтерметаліди. Оскільки ці речовини і сполуки, як правило, крихкі, для виготовлення з них порошкового наповнювача найчастіше використовують кульові млини.

Конструктивно кульові млини становлять барабани, які обертаються навколо горизонтальної осі. У середині барабана знаходяться подрібнюваний матеріал і молольні тіла (кулі). При обертанні барабана кулі захоплюються тертям об його стінки у напрямку обертання до моменту, коли вони починають вільно падати або перекичуватися, подрібнюючи матеріал.

Помел може тривати від декількох годин до декількох діб.

Зсередини барабан футерований плитами зі зносостійких матеріалів, які мають східчасту або хвилясту поверхню для підняття куль на більшу висоту. Барабан обертається або безпосередньо від електродвигуна або внаслідок установалення його на валки.

За характером технологічного циклу млини поділяються на млини періодичної і безперервної дії (рис. 1.1); за видом середовища, у якому здійснюється подрібнення, – на млини сухого і мокрого подрібнення.



а – періодичної дії: 1 – опора; 2 – барабан; 3 – привід обертання барабана; 4 – люк завантажування-вивантажування; 5 – молотні тіла;  
 б – безперервної дії: 1 – порожниста цапфа живлення; 2 – порожниста цапфа вивантажування; 3 – барабан; 4 – привід; 5 – завантажувальний люк

Схему 1.1 – Схеми кульових млинів

Млини *періодичної дії* звичайно мають велику потужність, але втрачають час на операції завантажування-вивантажування. Млини *безперервної дії* продуктивніші і менше забруднюють довкілля.

Подрібнення у рідкому середовищі дозволяє зменшити чи навіть усунути окиснення подрібнюваного матеріалу, запобігає злипанню дрібнодисперсних частинок. Але у подальшому готовий продукт треба фільтрувати, сушити і т.п., що подовжує технологічний процес. При мокрому розмелюванні матеріал завантажується через одну з цапф і у міру заповнення об'єму барабана до рівня другої порожнистої цапфи готовий продукт видаляється через неї. При сухому розмелюванні подрібнений матеріал розвантажується через цапфу самопливно або відсмоктується вентилятором.

При мокрому розмелюванні часто використовуються кульові млини з діафрагмою (рис. 1.2).

Кульовий млин з діафрагмою має короткий циліндричний барабан з литими торцевими кришками, який обертається на порожнистих цапфах. Біля розвантажувальної цапфи установлена ґратчаста діафрагма з радіальними суцільними ребрами, які розділяють простір між діафрагмою і торцевими кришками на секторні камери. Матеріал, подрібнений до частинок такої величини, яка відповідає розміру отворів у діафрагмі, проходить через неї,

підіймається радіальними ребрами до рівня розвантажувальної цапфи і видаляється з млина.

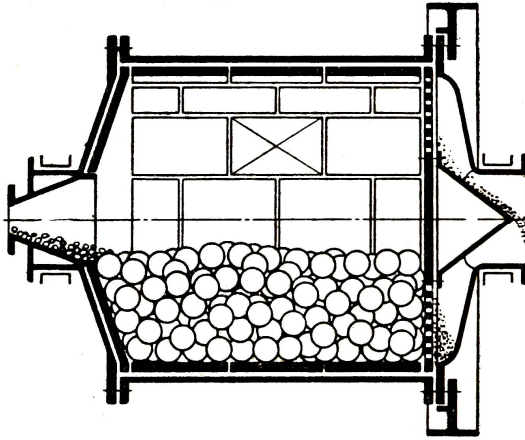
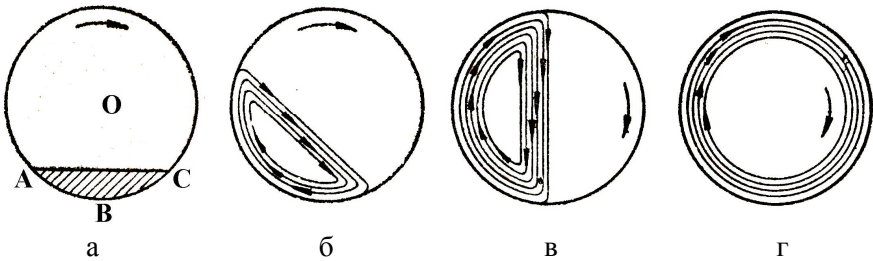


Рисунок 1.2 – Кульовий млин з діафрагмою

Залежно від швидкості обертання барабана розрізняють такі режими руху куль у млині (рис. 1.3).



а – режим ковзання при  $n < 0,2n_{кр}$ ; б – режим перекочування при  $n = (0,4 \dots 0,6)n_{кр}$ ; в – режим вільного падіння при  $n = (0,75 \dots 0,80)n_{кр}$ ; г – режим критичної швидкості обертання при  $n = n_{кр}$

Рисунок 1.3 – Схеми руху куль у млині

Коли швидкість обертання дуже мала, кулі фактично залишаються у найнижчому положенні і повільно пересуваються,

«ковзають» один відносно одного (рис. 1.3, а). Коли швидкість обертання збільшується, у млині утворюється похила площина, по якій скочуються кулі (рис. 1.3, б). Далі настає момент, коли за рахунок обертання млина кулі дотягуються до найвищої точки барабана і звідти падають (рис. 1.3, в). При швидкості обертання, яка називається критичною, кулі вже не можуть падати і обертаються разом з барабаном (рис. 1.3, г). Критична частота обертання знаходиться за формулою:

$$n_{кр} = 42,4/\sqrt{D} \text{ (об/хв.)}, \quad (1.1)$$

де  $D$  – внутрішній діаметр барабана, м.

Режими руху куль у млині мають важливе значення для технологічних розрахунків розмелювання і отримання необхідної якості порошку. При інших рівних умовах режим перекочування забезпечує більшу інтенсивність розмелювання, ніж режим ковзання. Режим вільного падіння використовується при подрібненні дуже крихких матеріалів.

Проектування кульових млинів починається з визначення внутрішнього об'єму барабана  $V_в$ , м<sup>3</sup>, залежно від необхідної продуктивності млина. Звичайно він знаходиться у межах від 0,5 до 9,0 м<sup>3</sup>. Габарити барабана визначають, виходячи зі співвідношення його довжини і діаметра залежно від передбачуваного характеру подрібнення. При співвідношенні  $m = L/D = 1...3$  переважає стираюча дія куль, при  $m = 3...5$  – подрібнювальна.

Фактичні розміри внутрішньої порожнини барабана визначають за формулами:

$$D = \sqrt[3]{1,25V_в / m}; \quad (1.2)$$

$$L = \sqrt[3]{1,25m^2V_в}. \quad (1.3)$$

Для кращого подрібнення робоча частота обертання барабана рекомендується  $n_{роб} = (0,6...0,8)n_{кр}$ .

Допустимий об'єм завантаження вихідного матеріалу і куль розраховують за формулою:



$$V_m + V_k = \varphi V_b, \quad (1.4)$$

де  $V_m$  і  $V_k$  – об'єми вихідного матеріалу і молольних куль відповідно, м<sup>3</sup>;  $\varphi$  – коефіцієнт заповнення (звичайно  $\varphi = 0,4 \dots 0,5$ ).

Величина завантаження матеріалу за масою визначається з відношення маси куль  $M_k$  до маси завантажуваного матеріалу  $M_m$ :

$$q = M_k / M_m. \quad (1.5)$$

За виробничими даними найчастіше  $q = 2,5 \dots 3,0$ . Практично оптимальна маса куль становить 1,7...1,9 кг/л об'єму млина. Знаючи масу куль, за формулою (1.5) можна визначити допустиму масу завантажуваного матеріалу.

Розмір куль залежить від властивостей матеріалу, що підлягає подрібненню. Занадто дрібні кулі не будуть перемелювати навіть дуже крихкий матеріал, а дуже великі кулі не зроблять стираючої дії. Тому у кожному конкретному випадку розмір куль обирають залежно від бажаного режиму подрібнення (ковзання, перекочування, вільне падіння). Крім того, для інтенсивного подрібнення рекомендується мати у млині набір куль різного розміру.

Для інтенсивного подрібнення розмір куль має бути у межах

$$d = (D/18 \dots D/24). \quad (1.6)$$

Подальший розрахунок кількості куль залежить від їх густини і загальної маси  $M_k$  та розподілу на групи за діаметром. Рекомендується обирати набір куль з відношення їх діаметрів 4:2:1.

### 1.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується кульових млинів, їх конструкції та особливостей використання.

[1] с. 19-28; [4] с. 297-298; [3] с.70-78; [9] с. 140-141.

### 1.4 Контрольні запитання

1. Опишіть конструкцію кульового млина.
2. Яке призначення кульового млина?

3. Які можливі режими руху куль у млині?
4. Чим характеризується і як визначається критична швидкість обертання млина?
5. Від чого залежить розмір куль у млині?

### 1.5 Обладнання, інструменти

1. Макет кульового млина.
2. Калькулятор.

### 1.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з правилами безпечної експлуатації кульових млинів і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

### 1.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити конструкцію кульового млина і його роботу.
2. Для заданого викладачем внутрішнього об'єму барабана  $V_0$ , м<sup>3</sup>, при обраному співвідношенні  $m$  за формулами (1.2), (1.3) визначити розміри внутрішньої порожнини барабана.
3. Розрахувати критичну  $n_{кр}$  і робочу частоту обертання  $n_{роб}$  барабана.
4. Визначити допустимий об'єм завантаження вихідного матеріалу і куль.
5. Розрахувати оптимальне (за масою) завантаження куль і подрібнюваного матеріалу.
6. Розрахувати оптимальні межі розмірів куль (формула (1.6)).

### 1.8 Зміст звіту

1. Дати загальний опис конструкції і роботи кульового млина.
2. Навести завдання і розрахунки кульового млина.
3. Навести висновок стосовно режиму роботи і призначення кульового млина, спроектованого за проведеними розрахунками.

## Лабораторна робота № 2

### ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ВОЛОКОН

#### 2.1 Мета роботи

Ознайомитися з видами металевих волокон, з конструкцією і роботою волочильних станів; оцінити вплив волочіння на властивості металевих волокон.

#### 2.2 Загальні відомості

Металеві волокна найчастіше використовуються для виготовлення композиційних матеріалів, які працюють при високих температурах. Способи їх виготовлення поділяються на фізико-хімічні та механічні.

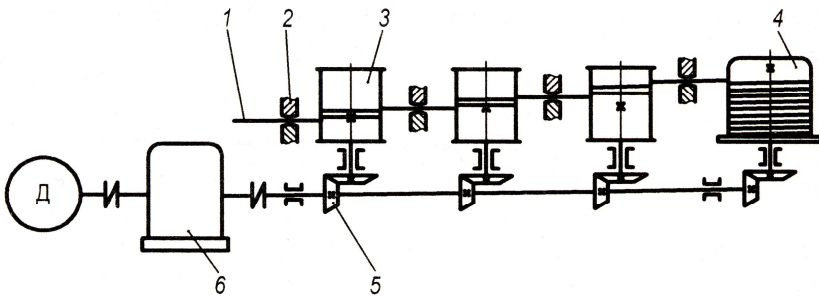
*Фізико-хімічні способи* застосовуються для виготовлення ниткоподібних кристалів високої міцності. Вони ґрунтуються головним чином на відновленні різного роду металевих сполук за тих чи інших умов. Цими способами можна отримувати ниткоподібні кристали (так звані «вуса») з міді, заліза, платини, вольфраму та інших металів діаметром від 0,05 до 20 мкм і довжиною у декілька міліметрів. Фізико-хімічні методи мають низьку продуктивність і досить коштовні.

*Механічними способами* з усіх технічно важливих металів виготовляють тонкі дротинки волочінням і металеву стружку при шабруванні і шевінгуванні або на спеціальних верстатах, які дають довгі безперервні пасма металу. Волокна діаметром до 1 мм з тугоплавких металів (титану, молібдену, вольфраму) і металоподібних сполук (боридів, оксидів, карбідів) виготовляють продавлюванням суміші вихідного матеріалу зі зв'язувальною речовиною через тонкі отвори.

Проте найдешевшим і найпродуктивнішим способом отримання безперервних тонких металевих волокон з мінімальним діаметром до 2 мкм практично необмеженої довжини є волочіння. *Металевий дріт* – одне з найдоступніших

волокон, вигідне з економічної точки зору. Завдяки високій технологічності тонкий металевий дріт можна переробляти текстильними методами у сітки різного плетіння, а також використовувати як окремий армувальний компонент. Для армування композиційних матеріалів застосовують металевий дріт зі сталей, вольфраму, молібдену, титану, ніобію та інших металів і сплавів.

Тонкий металевий дріт виготовляють на волочильних станах барабанного типу багаторазового волочіння, коли заготовка проходить послідовно через декілька (до 30) волок (фільер) (рис. 2.1).



1 – дріт; 2 – волока; 3 – барабан; 4 – приймальний барабан;  
5 – зубчаста передача; 6 – редуктор; Д - електродвигун

Рисунок 2.1 – Схема барабанного стану багаторазового волочіння

Вихідною заготовкою служить дріт діаметром 4...6 мм, який у вигляді бунта розташовується на крутілці перед входом у стан. Волоки закріплюються у матрицях і розташовуються в ряд з послідовно зменшуваним діаметром. Волоки виготовляються з інструментальних сталей або твердих сплавів, а для виготовлення дроту діаметром менше 250 мкм – з алмазу.

За кожною волокою встановлений барабан, який є одночасно і тяговим барабаном, і крутілкою з певним запасом дроту для наступної волоки. Швидкість обертання кожного

наступного барабана зростає пропорційно видовженню дроту на даному етапі.

Кожний тяговий барабан має повідкові кільця і повідковий пристрій. Повідкові кільця створюють гальмівний ефект, запобігаючи непередбачуване розмотування дроту під дією відцентрових сил. Повідковий пристрій спрямовує дріт у наступну волоку.

Кінцева швидкість волочіння для тонкого дроту досягає 40 ...60 м/с.

На рис. 2.2 наведений приклад волочильного стану для виробництва дроту.



Рисунок 2.2 - Волочильний стан барабанного типу багаторазового волочіння

Ступінь деформування при волочінні характеризується коефіцієнтом обтискання:

$$\varepsilon = (F_0 - F) \cdot 100\% / F_0, \quad (2.1)$$

де  $F_0$ ,  $F$  – площа поперечного перерізу відповідно вихідної заготовки і готового виробу, м<sup>2</sup>.

Коефіцієнт обтискання залежить від матеріалу дроту і деяких технологічних особливостей. Оптимальна величина одиничного обтискання має бути приблизно 10...12%; сумарне обтискання звичайно становить близько 80%, а у деяких випадках може досягати 90...94%.

Волочіння, як правило, здійснюється у холодному стані. Воно дає високу точність за розмірами, чисту поверхню і супроводжується наклепом.

Наслідком наклепу є зміни структури і фізико-механічних властивостей матеріалу; зокрема, міцність збільшується, а пластичність зменшується. У деяких випадках наклеп використовують для покращення зміцнювальних властивостей металевих волокон. Якщо металевий дріт після волочіння використовується для подальшого перероблення у складніший зміцнювач (сітки, тканини), його піддають відновленню з метою збільшення у необхідному ступеню пластичності.

### 2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується волочильних станів, їх конструкції та особливостей використання.

[1] с. 226-227; [2] с.191-211; [4] с. 193-194.

### 2.4 Контрольні запитання

1. Які способи отримання металевих волокон Ви знаєте?
2. Опишіть конструкцію волочильного стану.
3. Який тип волочильних станів використовується для виробництва тонкого металевого дроту?
4. Який інструмент використовується при волочінні? З чого він виготовляється?
5. У якому фізичному стані найчастіше здійснюється волочіння? Які це має наслідки?

## 2.5 Обладнання, інструменти

1. Лабораторний волочильний стан.
2. Алюмінієвий дріт.
2. Калькулятор.

## 2.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з правилами безпечної експлуатації волочильних станів і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

## 2.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з конструкцією лабораторного волочильного стану.
2. Визначити діаметр алюмінієвого дроту  $d_0$ , мм, до волочіння.
3. Провести волочіння алюмінієвого дроту і визначити його діаметр  $d$ , мм, після волочіння.
4. За формулою (2.1) визначити коефіцієнт обтискання  $\varepsilon$ , отриманий при волочінні.
5. За графіком (рис. 2.3) залежно від отриманого коефіцієнта обтискання  $\varepsilon$  визначити границю міцності  $\sigma_{\varepsilon}^{HK}$  дроту після волочіння.

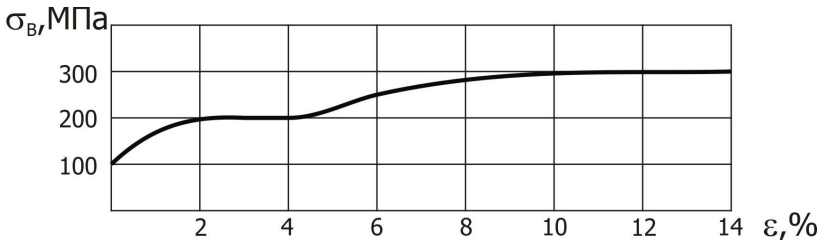


Рисунок 2.3 – Залежність границі міцності  $\sigma_{\varepsilon}$  алюмінію від коефіцієнта обтискання  $\varepsilon$

6. Визначити ступінь підвищення міцності алюмінієвого дроту після волочіння

$$K = (\sigma_{\varepsilon}^{HK} - \sigma_{\varepsilon}) \cdot 100\% / \sigma_{\varepsilon} . \quad (2.2)$$

## 2.8 Зміст звіту

1. Перерахувати можливі види металевих волокон.
2. Описати особливості конструкції волочильних станів, матеріалу волок, які використовуються для виготовлення тонкого металевого дроту.
3. Навести розрахунки згідно з п.п. 4...6 порядку виконання лабораторної роботи.
4. Оцінити ступінь підвищення міцності алюмінієвого дроту внаслідок наклепу.
5. Навести причину виникнення наклепу при волочінні і як можна від нього позбутися.

## Лабораторна робота № 3

### ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТКАНИХ НАПОВНЮВАЧІВ

#### 3.1 Мета роботи

Ознайомитися з видами тканих наповнювачів, з конструкцією і роботою ткацьких верстатів; оцінити вплив структури тканих наповнювачів на властивості композиційного матеріалу.

#### 3.2 Загальні відомості

Значна кількість композиційних матеріалів мають як наповнювачі різного роду тканини і сітки. Тканини і сітки складаються з двох систем ниток (волокон, тонких дротинок), що переплітаються взаємоперпендикулярно (рис. 3.1).

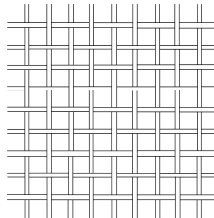
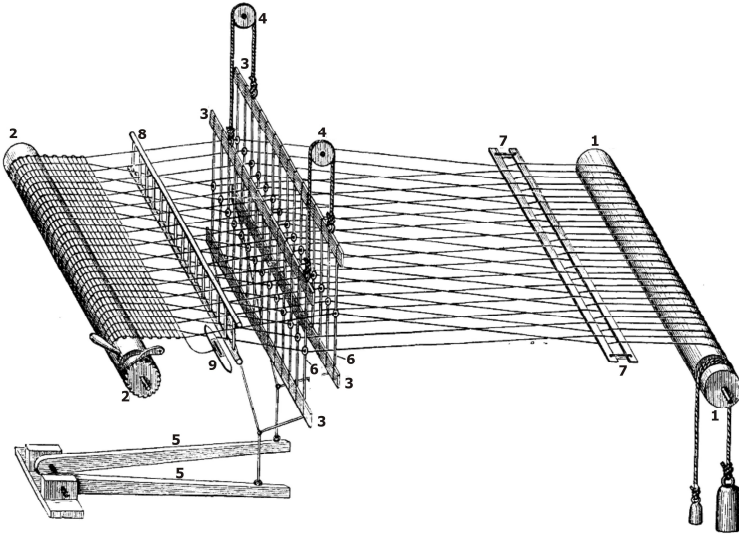


Рисунок 3.1 – Ткана сітка



Систему ниток, які йдуть уздовж тканини, називають основою, а систему ниток, розташованих упоперек тканини, – уткoм. Відповідні нитки називають оснoвними і уткoвими.

Тканини і сітки виготовляються на ткацьких верстатах (рис. 3.2).



- 1 – вал навою; 2 – приймальний, або товарний вал;  
 3 – планки ремізних рамок; 4 – блоки ремізних рамок;  
 5 – підніжки; 6 – галеві ремізок; 7 – ламелі; 8 – бердо;  
 9 – човник

Рисунок 3.2 – Схема горизонтального ткацького верстата

Нитки основи змотуються у так званий *навій*. З навою нитки проходять через ламелі і вічка *галев ремізних рамок*, закріплюються на приймальному валі і міцно натягуються.

*Ламелі* – тонкі пластини з прорізами – «висять» на нитках основи. У випадку обриву нитки ламель падає і зупиняє верстат.

Дві ремізні рамки взаємопов'язані і рухаються за допомогою підніжок вверх або вниз перпендикулярно ниткам полотна. Вони розподіляють нитки основи на дві частини. Одна з ремізних планок підіймає певну кількість ниток, а інша – опускає, утворюючи

*ткацький зів*. Періодично положення рамок змінюється, і верхні нитки опиняються внизу, а нижні – вверху. І навпаки.

Після вічок галев ремізних рамок нитки проходять через зубці *берда*, який рівномірно розподіляє їх по ширині тканини і тим самим визначає її щільність.

Утокова нитка розташовується у *човнику*. Човник швидко прокидується через ткацький зів і протягує у поперечному напрямку утокову нитку.

Після цього бердо рухається вздовж основи і *прибиває* утокову нитку у кут ткацького зеву до краю тканини. У цей момент ремізні рамки міняються місцями, і заповнений утком ткацький зів зачинається, а одночасно утворюється новий ткацький зів. Човник прокидується у зворотному напрямку, і процес повторюється.

При кожному прокидуванні тканина рухається вперед і намотується на *приймальний вал*.

Для виготовлення армувальних тканин і сіток використовують природні, синтетичні та металеві волокна. Переплетення ниток в тканині є одним з основних показників будови тканини. Нитки основи і утка послідовно переплітаються одна з одною у певному порядку (рис. 3.3).

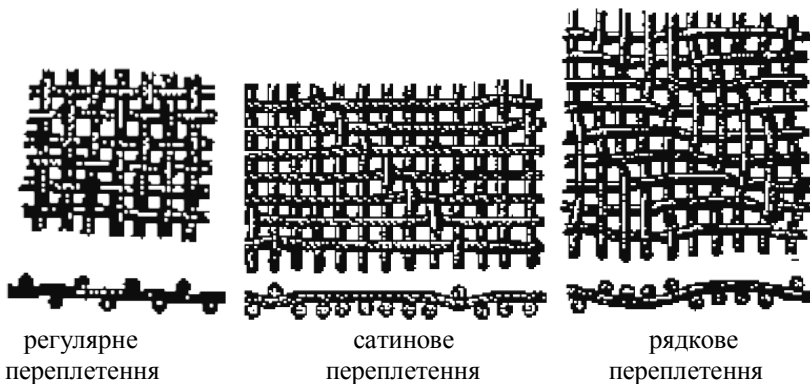


Рисунок 3.3 – Приклади видів переплетень

Вид переплетення створюється за рахунок кількості і розташування основних ниток на зубцях берда, а також розташування їх відносно утокової нитки.

Кожне переплетення утворює тканини з притаманною для цього переплетення структурою, зовнішнім виглядом і властивостями.

Основна і утокова нитки можуть бути з різних матеріалів. Характеристикою тканини (сітки) є діаметр волокон основи і утка (10...550 мкм) та розмір отвору між волокнами (від декількох мікрометрів до 3...6 мм). Крім того, міцність композиційного матеріалу, армованого тканиною або сіткою, залежить від того, у напрямку основної чи утокової нитки діє основне навантаження при експлуатації.

Виготовлений тканий матеріал перевіряють на міцність по основі та утку згідно з ГОСТ 3813-72 [8]. Різниця у цих показниках враховується при проектуванні виробів з композиційних матеріалів.

### **3.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи**

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується обладнання для виробництва тканих матеріалів, їх конструкції та особливостей використання.

[2] с.202-204; [6] с. 232-235.

### **3.4 Контрольні запитання**

1. З чого складаються армувальні тканини (сітки)?
2. Назвіть основні елементи ткацького верстата.
3. Як працює ткацький верстат?
4. Чи однакові властивості тканини по основі та утку?
5. Як перевіряють виготовлений тканий матеріал на міцність?

### **3.5 Обладнання, інструменти**

1. Розривна випробувальна машина.
2. Зразки тканини (по основі та утку).

### 3. Калькулятор.

#### 3.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з правилами безпечної експлуатації ткацьких верстатів і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

2. Встановлювати зразки у затискачі розривної машини при вимкненому механізмі розтягу.

3. Під час випробування не допускається торкатися руками рухомих частин розривної машини.

#### 3.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з конструкцією ткацького верстата і принципом його роботи.

2. Підготувати зразок тканини для випробування на розтяг, вирізаний у напрямку основи, та закріпити його кінці у затискачах розривної машини. Для запобігання прослизання допускається застосовувати у затискачах прокладки.

3. Створити попередній натяг зразка.

4. Провести розривання зразка тканини на довжині 50 мм, не доводячи його до повного розділення на дві частини. Зусиллям розриву вважається показ приладу розривної машини на момент закінчення процесу розривання.

5. Повторити випробування зразка тканини, вирізаного у напрямку утокової нитки.

6. Порівняти зусилля розриву зразків, вирізаних у двох взаємоперпендикулярних напрямках:

$$K = (P^{oc} - P^{yt}) \cdot 100\% / P^{yt}, \quad (3.1)$$

де  $P^{oc}$ ,  $P^{yt}$  – зусилля розриву зразків, вирізаних у напрямку основної і утокової ниток відповідно.

#### 3.8 Зміст звіту

1. Описати структуру тканин і види волокон, які використовуються для їх виготовлення.

2. Описати конструкцію ткацького верстата і принципи його роботи.

3. Описати зразки, підготовлені для випробування тканини на розтяг, вирізані у напрямку основи та утка.

4. Навести результати випробування двох видів зразків.

5. Порівняти зусилля розриву випробуваних зразків і зробити висновок про оптимальне розташування тканого зміцнювача стосовно основного навантаження, яке діє на виріб з відповідного композиційного матеріалу.

## **Лабораторна робота № 4**

### **ВИГОТОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ ЗІ СКЛОПЛАСТИКУ**

#### **4.1 Мета роботи**

Ознайомитися з конструкцією і роботою установок для виготовлення циліндричних виробів відцентровим формуванням; оцінити вплив структури циліндричних виробів зі склопластику на їх властивості та галузі використання.

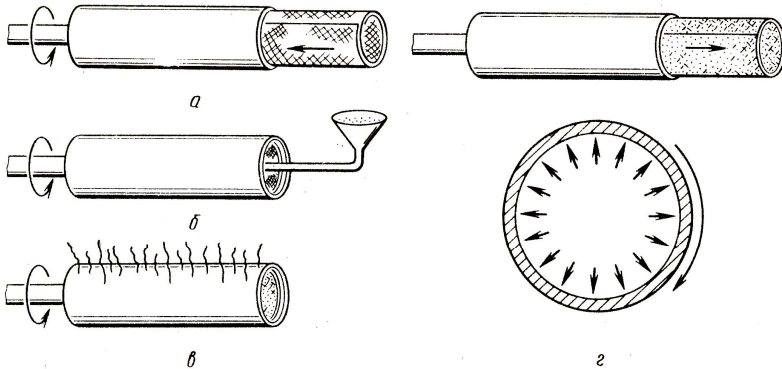
#### **4.2 Загальні відомості**

Відцентровим формуванням виготовляють осесиметричні вироби шляхом заливання смоли-зв'язувальної речовини у форму, яка обертається навколо своєї осі. Цим способом виготовляють циліндричні вироби (труби) товщиною від 2 до 20 мм діаметром до 1500 мм і довжиною до 3000 мм.

Як наповнювач при виготовленні таких виробів використовують склополотно, склотканини, а також мати і рукави, виготовлені з ровінгу, стрічки або джгута на основі скловолкна. Як зв'язка використовуються поліефірні, епоксидні, поліамідні та інші смоли.

Процес виготовлення труб складається з таких основних етапів (рис. 4.1):

- нанесення на внутрішню поверхню форми розділювального шару;
- укладання і ущільнення наповнювача у формі;
- подавання зв'язувальної речовини у форму, що обертається;
- затвердіння зв'язувальної речовини;
- видалення готової труби з форми.



а – укладання наповнювача і обертання; б - подавання зв'язувальної речовини; в – нагрівання і затвердіння;  
г – видалення виробу з форми  
Рисунок 4.1 – Схема відцентрового формування

Установка для виготовлення циліндричних виробів відцентровим формуванням складається з форми, механізму обертання і допоміжних інструментів і механізмів.

Форма становить трубу, торці якої закриваються знімними фланцями. Форма встановлюється на роликіві опори, яким задає рух механізм обертання. Розділювальний шар, який запобігає прилипанню виробу до стінки форми, наноситься за допомогою форсунки на штанзі певної довжини.

Укладання наповнювача виконується або вручну, або спеціальними штангами. Якщо існує необхідність підвищити жорсткість труби, вздовж форми встановлюються ребра жорсткості з додаткового матеріалу. Після укладання проводиться ущільнення наповнювача за допомогою ролика на пересувній штанзі. При цьому формі задається обертання з невеликою швидкістю.

Коли формі задається основна швидкість обертання, у форму з одного або з двох боків одночасно подається рідка зв'язувальна речовина. Для її подавання використовуються рухомі жолоби-лотки на невеликих каретках. За рахунок відцентрових сил зв'язувальна речовина розтікається по наповнювачу і просочує його.

Частота обертання форми залежить від властивостей наповнювача і повинна перевищувати певну критичну величину  $n_{кр}$ , оскільки при менших значеннях рідка зв'язка буде стікати з поверхні наповнювача. Для більшості полімерів, у яких густина близька до  $1000 \text{ кг/м}^3$ ,  $n_{кр}$  визначається із залежності:

$$n_{кр} = \frac{200}{\sqrt{R-t}} \text{ (с}^{-1}\text{)}, \quad (4.1)$$

де  $R$  – зовнішній радіус виробу, см;  $t$  – товщина стінки виробу, см.

У більшості випадків частота обертання знаходиться у межах  $30 \dots 70 \text{ с}^{-1}$  ( $1800 \dots 4200 \text{ об/хв.}$ ). Тривалість обертання для просочування наповнювача пов'язана з в'язкістю смоли, температурою форми і товщиною стінки виробу. Залежно від габаритних розмірів труби тривалість цього етапу становить  $15 \dots 20$  хвилин. При виготовленні труб малої товщини (від 1 до декількох міліметрів) тривалість обертання і затвердіння зв'язувальної речовини становить декілька хвилин.

Нагрівання з метою полімеризації проводиться під час обертання за допомогою зовнішніх нагрівачів. Температура нагрівання залежить від типу сировини і впливає на продуктивність процесу. При виготовленні труб на основі епоксидних смол температура форми, що обертається, становить близько  $140^{\circ}\text{C}$ , а на основі поліефірних смол – до  $170^{\circ}\text{C}$ .

Після закінчення полімеризації форму зупиняють і вводять штангу, зв'язану з механізмом видалення виробу.

При проектуванні виробу, що виготовляється відцентровим формуванням, необхідно так обрати види, кількість і порядок укладення наповнювачів, а також зв'язувальну речовину, щоб забезпечити достатню міцність виробу під час експлуатації. Для циліндричних виробів найнебезпечнішим є колове напруження  $\sigma_{кол}$  (рис. 4.2). Воно залежить від тиску на виріб  $p$ , МПа, його зовнішнього діаметра  $d$ , м, і товщини стінки  $t$ , м:

$$\sigma_{кол} = p \cdot d / 2t. \quad (4.2)$$

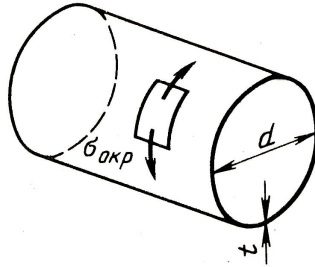


Рисунок 4.2 – Схема дії колового напруження

Для забезпечення тривалої експлуатації виробу треба обрати матеріал, границя міцності якого  $\sigma_{\text{в}}$  перевищує певне максимальне колове напруження  $\sigma_{\text{кол}}^{\text{макс}}$ , яке може виникнути з часом. Останнє визначається коефіцієнтом запасу міцності  $n$ :

$$\sigma_{\text{кол}}^{\text{макс}} = n \sigma_{\text{кол}}. \quad (4.3)$$

Коефіцієнт запасу міцності залежить від призначення виробу, середовища, в якому він буде експлуатуватися, робочої температури, передбачуваного терміну служби та ін. і обирається у межах  $n = 3 \dots 5$ .

#### 4.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується обладнання для відцентрового формування, його конструкції та особливостей використання.

[2] с. 481-482, 488; [4] с. 490-492; [5] с. 34-38, 78; [6] с. 84-86.

#### 4.4 Контрольні запитання

1. У чому полягає суть відцентрового формування?
2. Які наповнювачі (зв'язувальні речовини) використовуються при виготовленні виробів відцентровим формуванням?
3. Опишіть порядок виконання операцій при відцентровому формуванні.
4. Опишіть конструкцію установки для відцентрового формування.



5. Як перевіряється міцність виробів, виготовлених відцентровим формуванням?

#### 4.5 Обладнання, інструменти

1. Лабораторна машина для відцентрового лиття.
2. Калькулятор.

#### 4.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з правилами безпечної експлуатації установок для відцентрового формування і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

#### 4.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з матеріалами, які використовуються для виготовлення виробів відцентровим формуванням.

2. Ознайомитися з конструкцією установки для відцентрового формування і принципом її роботи.

3. За одним з варіантів завдання (таблиця 4.1) провести розрахунок максимально можливого колового напруження  $\sigma_{кол}^{макс}$ .

Таблиця 4.1 – Завдання для розрахунків

Робочий тиск p, МПа	Зовнішній діаметр d, м	Товщина стінки t, м	Коефіцієнт запасу міцності n	Призначення виробу
0,6	0,35	0,006	3	Труба водогону
1,5	0,25	0,008	4	Газовий балон
3,0	0,50	0,020	5	Глибоководний апарат
0,18	1,5	0,008	3	Бак для нейтральної рідини

4. Порівнюючи отримане максимально можливе колове напруження  $\sigma_{кол}^{макс}$  з границею міцності композиційних матеріалів  $\sigma_v$ ,

наведених у додатку А, за умови  $\sigma_v > \sigma_{кол}^{макс}$  обрати матеріал для виготовлення циліндричного виробу.

5. Проаналізувати склад обраного матеріалу.

#### 4.8 Зміст звіту

1. Описати принцип і етапи виготовлення виробів відцентровим формуванням.

2. Описати конструкцію установки для виготовлення виробів відцентровим формуванням.

3. Перерахувати наповнювачі та зв'язувальні речовини, які використовуються для виготовлення виробів відцентровим формуванням.

4. Навести розрахунки максимально можливого колового напруження  $\sigma_{кол}^{макс}$ .

5. Обґрунтувати вибір композиційного матеріалу згідно з його границею міцності  $\sigma_v$  і отриманим напруженням  $\sigma_{кол}^{макс}$ .

6. Навести аналіз складу обраного матеріалу.

### Лабораторна робота № 5

## КОНСТРУКЦІЯ І РОЗРАХУНОК ПРЕС-ФОРМ ДЛЯ ПРЕСУВАННЯ ВИРОБІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 5.1 Мета роботи

Ознайомитися з обладнанням, конструкцією і роботою прес-форм для виготовлення композиційних виробів пресуванням та з методами їх розрахунку.

### 5.2 Загальні відомості

Пресування застосовується для виготовлення різноманітних за формою і розмірами виробів з композиційних матеріалів як в одиничному, так і у масовому виробництвах. Суть полягає у тому, що вихідні матеріали завантажуються у прес-форму (завантажувальну камеру), пресуються, і після певної витримки виріб виштовхується з прес-форми.

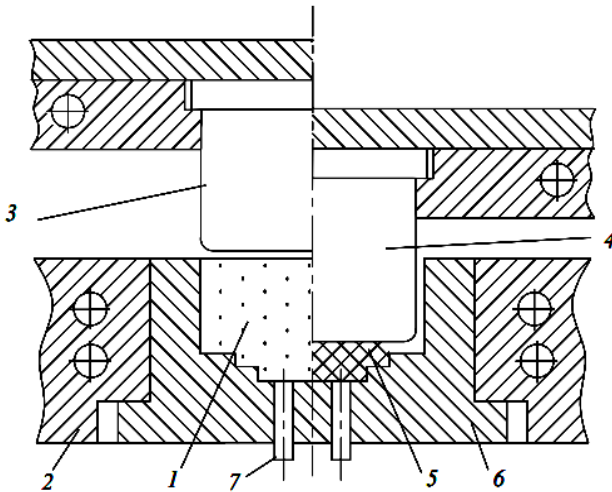
Вироби виготовляють на основі різноманітних полімерів і наповнювачів. Як полімери використовують головним чином реактопласти: фено- і амінопласти, епоксидні смоли, кремнійорганічні сполуки та ін. Наповнювачі поділяються на прес-порошки, волокниті і шаруваті прес-матеріали.

Прес-порошки можуть бути різної дисперсності й походження: деревне і слюдяне борошно, тальк, крейда, маршаліт та ін. Волокниті – це, як правило, рублені органічні, синтетичні та мінеральні волокна різного походження. Як шаруваті прес-матеріали використовують різноманітні тканини, папір, плівки, сітки і мати.

Пресування здійснюється на звичайних гідравлічних пресах, прес-автоматах, багатопверхових пресах, роторних лініях.

Пресування поділяється на пряме і литве.

**Пряме (або компресійне) пресування** полягає у тому, що той чи інший прес-матеріал поміщають у *матрицю*, нагріту до температури формування, і пресують пуансоном (рис. 5.1).



- 1 – прес-матеріал; 2 – обойма матриці з нагрівачем;  
 3 – пуансон до пресування; 4 – пуансон при пресуванні;  
 5 – пресований виріб; 6 – матриця; 7 – виштовхувачі

Рисунок 5.1 – Схема прямого пресування

Процес формування передбачає попереднє нагрівання прес-форми, піднімання пуансона, завантажування дозованої наважки або таблетки порошку, установлення арматури (у випадку необхідності), змикання прес-форми і витримка під тиском, піднімання пуансона і виштовхування виробу.

Прес-порошки дозуються за масою або за об'ємом. При крупносерійному і масовому виробництві порошки заздалегідь таблетуються. Волокнисті матеріали укладаються у матрицю просоченими відповідною смолою або просочуються безпосередньо перед укладанням. У деяких випадках, якщо виріб має складну конфігурацію, після укладання робиться попереднє підпресовування заготовки.

Нагрівання прес-форми здійснюється електричними нагрівачами опору, вмонтованими у тіло прес-форми, або індукторами. Температура нагрівання залежить від виду полімера і температури його полімеризації, як правило, у межах 140...220°C.

Питомий тиск пресування залежить також від виду полімера і наповнювача та їх співвідношення у композиті. Звичайно питомий тиск під час формування становить 15...120 МПа.

При низькому тиску формування прес-форми виготовляються з чавуну або середньовуглецевих сталей; при високому – з інструментальних сталей. У деяких випадках робочі поверхні матриці і пуансона піддаються поверхневому гартуванню.

Елементи прес-форми кріпляться до плит преса (рухомої і нерухомої).

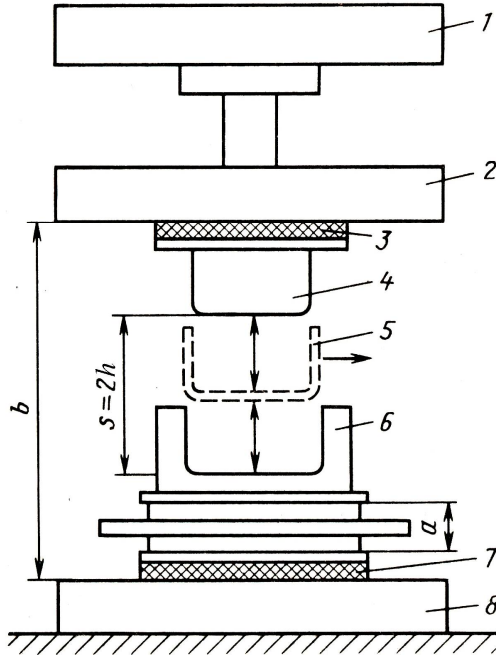
Відстань між ними  $b$  (рис. 5.2) має бути у три рази більше глибини найбільшого виробу  $h$  і враховувати товщини виштовхувального пристрою  $a$ , матриці та деяких інших деталей преса. Важливою характеристикою преса є хід преса  $S$ , який повинен принаймні удвічі більше глибини найбільшого виробу ( $S \geq 2h$ ).

Якщо треба перейти до виробництва дрібніших деталей, відстань між елементами прес-форми регулюється за рахунок підкладок (амортизаторів).

Номінальне зусилля прямого пресування

$$P = z \cdot F_{\text{пл}} \cdot p_{\text{пит}}, \quad (5.1)$$

де  $z$  – кількість одночасно працюючих прес-форм;  $F_{пл}$  – площа внутрішньої порожнини матриці (виробу),  $m^2$ ;  $p_{пит}$  – питомий тиск пресування, МПа.



- 1 – деформувальна насадка; 2 – рухома плита; 3, 7 – підкладки (амортизатори); 4 – пуансон; 5 – готова деталь; 6 – матриця; 8 – нерухома плита

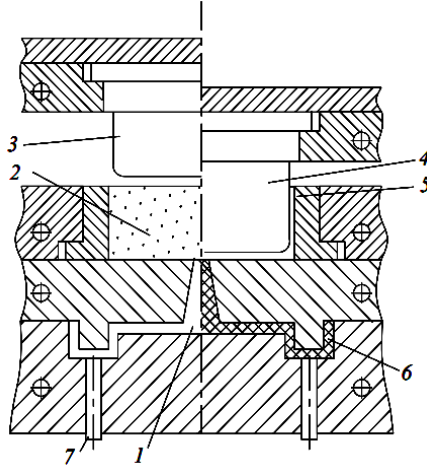
Рисунок 5.2 – Робочий простір преса

Обмеження прямого пресування: важко отримати тонкостінні вироби складної конфігурації або насичені арматурою.

**Литтєве пресування** полягає у тому, що вихідний матеріал завантажується у завантажувальну камеру прес-форми, де він переходить у в'язко-плинний стан, а потім під дією тиску через литникову систему поступає у формувальну камеру (рис. 5.3).

У завантажувальній камері вихідний прес-матеріал плавиться, стає однорідним за температурою і складом. Через литникові канали

розплав подається у попередньо замкнену формувальну камеру, нагріту до температури пресування. Таких камер може бути декілька, якщо використовується так звана «багатогніздова» прес-форма.



- 1 – литникові канали; 2 – прес-матеріал; 3 - пуансон до пресування;  
4 – пуансон при пресуванні; 5 – завантажувальна камера; 6 - готова деталь; 7 – виштовхувачі

Рисунок 5.3 – Схема литтєвого пресування

Температура пресування при литтєвому пресуванні встановлюється приблизно на  $30^{\circ}\text{C}$  вищою, ніж при прямому пресуванні. Температура у завантажувальній камері має бути такою, щоб забезпечити високу швидкість плинущ розплаву по литниковим каналам. Під час цього руху розплав дещо додатково розігрівається, і цей додатковий розігрів треба враховувати, оскільки він може призвести до завчасного затвердіння прес-матеріалу у литникових каналах.

Питомий тиск пресування (тиск формування безпосередньо у порожнині форми), як правило, вищий питомого тиску при прямому пресуванні і також залежить від природи матеріалу та конструкції виробу. При литтєвому пресуванні він перебуває в межах 25...60 МПа. Тиск пресування, який створюється у завантажувальній камері, досягає 60...120 МПа і служить для забезпечення ефективного плинущ

розплаву у литникових каналах та створення необхідного тиску пресування у порожнині форми.

Зусилля пресування при литтєвому пресуванні визначається як:

$$P = p_{\text{лит}} \cdot F_{\text{зк}}, \quad (5.2)$$

де  $F_{\text{зк}}$  – площа завантажувальної камери у площині, перпендикулярній зусиллю пресування.

Площа завантажувальної камери має бути принаймні на 10% більшою від площі виробів і литникових каналів. У загальному вигляді для розрахунку  $F_{\text{зк}}$  використовують формулу:

$$F_{\text{зк}} = (F_{\text{вир}} \cdot n + F_{\text{л}}) \cdot 1,25, \quad (5.3)$$

де  $F_{\text{вир}}$  і  $F_{\text{л}}$  – площі виробу і литникових каналів у площині розніму відповідно ;  $n$  – кількість гнізд (форм) у прес-формі.

Перевагами литтєвого пресування є вища продуктивність процесу, вища точність і якість виробу, можливість формування тонкостінних виробів з великою висотою стінки.

Обмеження литтєвого пресування: складна конструкція прес-форми, значно вищий тиск пресування, більші витрати прес-матеріалу.

### 5.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується обладнання для пресування, його видів та особливостей використання.

[4] с. 468-471; [5] с. 174-180; [6] с. 171-200; [9] с. 51-55; [10] с. 10-24.

### 5.4 Контрольні запитання

1. У чому полягає суть пресування виробів?
2. Які наповнювачі (зв'язувальні речовини) використовуються при виготовленні виробів пресуванням?
3. Які види пресування Ви знаєте?
4. Чим відрізняється конструкція прес-форм при прямому і литтєвому пресуванні?

5. При якому пресуванні потрібне більше зусилля пресування?

### 5.5 Обладнання, інструменти

1. Гідравличний прес.
2. Прес-форма прямого пресування.
3. Калькулятор.

### 5.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з правилами безпечної експлуатації гідравличних пресів і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

### 5.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з конструкцією гідравлічного преса і прес-форм для прямого і литтєвого пресування.

2. Ознайомитися з матеріалами, які використовуються для виготовлення виробів пресуванням.

3. За заданими викладачем розмірами і матеріалом виробів провести розрахунок зусилля пресування при виготовленні виробів прямим і литтєвим пресуванням (формули (5.1) і (5.2)). При цьому кількість одночасно працюючих прес-форм  $z$  і гнізд (форм)  $n$  у прес-формі литтєвого пресування взяти однаковим.

Стандартні режими пресування реактопластів наведені у додатку Б.

4. Порівняти розраховані зусилля пресування і встановити ступінь перевищення одного з них над іншим.

### 5.8 Зміст звіту

1. Описати принцип і способи пресування виробів.

2. Описати конструкцію прес-форм для виготовлення виробів прямим і литтєвим пресуванням.

3. Перерахувати наповнювачі та зв'язувальні речовини, які використовуються для виготовлення виробів пресуванням.

4. Навести розрахунки зусиль пресування при виготовленні виробів прямим і литтєвим пресуванням.

5. Зробити висновок, який спосіб вимагає більшого зусилля пресування і чому.



## Лабораторна робота № 6

### ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ З ПКМ ЛИТТЯМ ПІД ТИСКОМ

#### 6.1 Мета роботи

Ознайомитися з конструкцією і роботою литтєвих машин і прес-форм для виготовлення виробів з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) литтям під тиском.

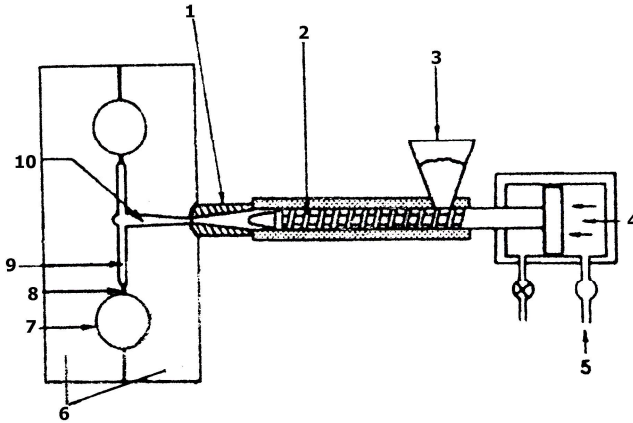
#### 6.2 Загальні відомості

*Лиття під тиском* – метод виготовлення виробів з полімерних композиційних матеріалів, який полягає у тому, що розплавлений полімер з наповнювачем під тиском заповнює формувальну камеру прес-форми і витримується у ній до затвердіння виробу за рахунок або охолодження, або реакцій полімеризації.

Лиття під тиском використовується для виготовлення виробів складної конфігурації масою від декількох грамів до декількох кілограмів з товщиною стінки 6...20 мм. Як зв'язка найчастіше використовуються термопласти, іноді – реактопласти або їх сополімери. Наповнювачем можуть бути як волокнисті, так і дисперсні матеріали.

Полімерні композиційні матеріали (ПКМ) виготовляються литтям під тиском на шнекових і поршневих (плунжерних) литтєвих машинах. На *шнекових машинах* при обертанні черв'яка відбувається перемішування, нагрівання, пластифікування вихідного матеріала та переміщення його у камеру впорскування. При роботі на *поршневих машинах* підготовка матеріалу до впорскування здійснюється поза машиною. На шнекових машинах є небезпека руйнування видовжених волокон, чого нема на поршневих машинах. При невеликому вмісті у полімерній композиції дисперсного наповнювача не має значення, який тип машин використовувати. При великому вмісті у композиції наповнювача спостерігається різниця у міцністних характеристиках виробів, виготовлених на плунжерних або шнекових машинах. Для виготовлення крупних деталей з підвищеними вимогами до міцністних характеристик доцільніше використовувати поршневі машини. Проте у більшості випадків при масовому виготовленні

виробів, особливо зі склонаповнених термопластів, використовуються шнекові литтєві машини (рис. 6.1).



1 – камера впорскування; 2 – черв’як; 3 – живильник;  
4 – гідроциліндр упорскування; 5 – рідина від насоса; 6 – прес-форма;  
7 – виріб; 8 – розподільчий литник; 9, 10 – литникова система  
Рисунок 6.1 – Схема шнекової литтєвої машини

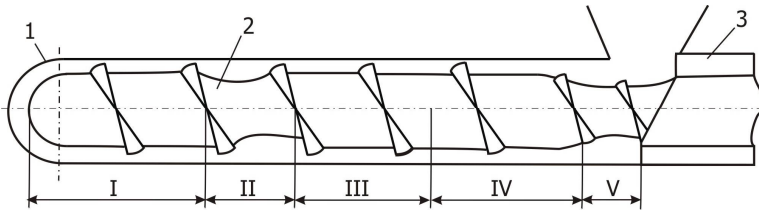
Вихідний матеріал завантажується у живильник. При обертанні черв’яка полімер переміщується у камеру впорскування. Коли вихідний матеріал досяг необхідних властивостей і заповнив камеру, обертання черв’яка зупиняється, і він починає рухатися як поршень, впорскуючи розплав у форму. Під час *циклу формування* контролюються тиск впорскування, температура форми, циліндра і сопла, а також тривалість впорскування і охолодження.

При перероблянні литтям під тиском композиції з дисперсним наповнювачем (до 30% за масою), як правило, не виникає проблем. При наявності у матеріалі волокнистих наповнювачів можуть виникнути проблеми у випадку співмірності діаметра сопла і розміру волокна. У такому випадку волокна поступово накопичуються перед соплом і перекривають плин композиційного матеріалу.

Важливим елементом литтєвої машини є черв’як. На ефективність лиття під тиском впливає частота обертання черв’яка, його діаметр, крок і глибина різи. Черв’як з глибоким каналом дає більшу продуктивність. Мілкіші канали дають краще перемішування

компонентів композиції. На практиці всі черв'яки мають змінну різь по довжині. Співвідношення довжини і діаметра черв'яка узгоджується з властивостями полімера і наявного наповнювача і може досягати 15:1.

Черв'як разом з циліндром становлять *вузол пластифікування* (рис. 6.2).



1 – циліндр машини; 2 – черв'як;

Зони: I – вирівнювання температури; II – повторного стискування;

III – гомогенізації; IV – стискування; V – завантажування

Рисунок 6.2 – Вузол пластифікування шнекової литтєвої машини

У зоні завантажування черв'як має найменший діаметр. У подальших зонах стискування і гомогенізації діаметр черв'яка спочатку збільшується, а потім зменшується у напрямку зони повторного стискування. Тут діаметр черв'яка залишається постійним, що дозволяє розвинути підвищений тиск при температурі лиття. І, нарешті, в останній зоні в об'ємі композиції відбувається вирівнювання складу, температури і попереднього тиску.

Важливою характеристикою лиття під тиском є продуктивність литтєвого обладнання. Продуктивність литтєвої машини  $G$ , кг/год., залежить від часу циклу і визначається за формулою:

$$G = (3,6V_{впр} \cdot \rho) / t_{ц}, \quad (6.1)$$

де  $V_{впр}$  – об'єм впорскування (виробу),  $\text{см}^3$ ;  $\rho$  – густина перероблюваного матеріалу,  $\text{г/см}^3$ ;  $t_{ц}$  – час циклу лиття, с.

Час циклу лиття визначається за формулою:

$$t_{ц} = t_3 + t_{п} + t_{впр} + t_{в} + t_{охл} + t_{р}, \quad (6.2)$$

де  $t_z$  і  $t_p$  – час змикання і розмикання прес-форми відповідно;  $t_n$  – час підведення та відведення вузла пластифікування і впорскування;  $t_{впр}$  – час впорскування;  $t_e$  і  $t_{охл}$  – час витримки під тиском та охолодження (затвердіння) відповідно, с.

Час змикання і розмикання прес-форми знаходиться у межах 1 с кожний. Час підведення та відведення вузла пластифікування і впорскування, фактично час холостого ходу литтєвих машин, залежить від об'єму виробу. Орієнтовно при об'ємі виробу  $16 \text{ см}^3$  час холостого циклу  $t_n$  становить 4 с, при об'ємі  $125 \text{ см}^3$  – 7 с, при об'ємі  $1000 \text{ см}^3$  і більше – 18...20 с. Час впорскування  $t_{впр}$  для більшості машин обирається у межах 0,5...3,0 с залежно від об'єму виробу. Аналогічно для наступних операцій їх час витримується у межах:  $t_e$  – 5...12 с,  $t_{охл}$  – 10...90 с.

Режими лиття під тиском для композиційних матеріалів на основі деяких термопластів наведені у додатку В.

### 6.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується обладнання для лиття під тиском композиційних матеріалів, його видів та особливостей використання.

[2] с. 487-488; [4] с. 344-372; [6] с. 34-60.

### 6.4 Контрольні запитання

1. У чому полягає суть лиття під тиском композиційних полімерних матеріалів?
2. Які наповнювачі (зв'язувальні речовини) використовуються при виготовленні виробів литтям під тиском?
3. Які типи машин використовуються для лиття під тиском?
4. Яку роль у шнекових литтєвих машинах відіграє черв'як?
5. З яких елементів складається цикл лиття під тиском?
6. Як можна визначити продуктивність литтєвої машини?

### 6.5 Обладнання, інструменти

1. Макет литтєвої машини.
2. Калькулятор.

### 6.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з правилами безпечної експлуатації машин для лиття під тиском і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

### 6.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з конструкцією машин і прес-форм для лиття під тиском.

2. Ознайомитися з матеріалами, які використовуються для виготовлення виробів пресуванням.

3. За завданням викладача вибрати об'єм виробу  $V_{впр}$ , см<sup>3</sup>, і його полімер-основу.

4. Визначити внутрішній діаметр циліндра литтєвої машини  $D$ , см, за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4V_{впр}}{\pi \cdot u \cdot t_{впр}}}, \quad (6.3)$$

де  $u$  – середня швидкість впорскування, см/с (0,3...0,5 см/с залежно від об'єму виробу).

5. Визначити зусилля впорскування  $P_{впр}$ , Н, за формулою:

$$P_{впр} = (\pi \cdot D_n^2 \cdot p_{лит})/4, \quad (6.4)$$

де  $D_n$  – діаметр плунжера машини, м; (практично співпадає з діаметром циліндра  $D$ ).

Питомий тиск обрати з таблиці додатка В.

6. На підставі рекомендацій п. 6.2 для заданого виробу визначити тривалість елементів циклу лиття і за формулою (6.2) розрахувати час циклу лиття  $t_{ц}$ .

7. Розрахувати продуктивність литтєвої машини  $G$ , кг/год. за формулою (6.1).

### 6.8 Зміст звіту

1. Описати суть і способи лиття виробів під тиском.
2. Описати конструкцію шнекової литтєвої машини.

3. Перерахувати наповнювачі та зв'язувальні речовини, які використовуються для виготовлення виробів литтям під тиском.
4. Навести вихідні дані заданого виробу.
5. Навести розрахунки технологічних параметрів лиття під тиском згідно з п.п. 4...7 порядку виконання лабораторної роботи.

## Література

### Основна

1. Кипарисов С.С. Порошковая металлургия: Учебник/ С.С.Кипарисов, Г.А.Либенсон – М.: Металлургия, 1991. – 432 с.
2. Композиционные материалы. Справочник./[Вишняков Л.Р., Грудина Т.В., Кадыров В.Х. и др.]; под ред. Д.М.Карпиноса. – К.: Наук. думка, 1985. – 592 с.
3. Либенсон Г.А. Оборудование цехов порошковой металлургии: Учеб. пособие/ Г.А.Либенсон, В.С.Панов – М.: Металлургия, 1983. – 264 с.
4. Пахаренко В.А. Переработка полимерных композиционных материалов./Пахаренко В.А., Яковлева Р.А., Пахаренко А.В. – К.: изд. компания «Воля», 2006. – 552 с.
5. Справочник по композиционным материалам: в 2-х кн. [под ред. Дж.Любина; перевод с англ. Б.Э.Геллера]. М.: Машиностроение, 1988. – кн. 2 – 1988. – 584 с.
6. Суберляк О.В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів: Підручник. [для студ. вищ. навч. закл.] /О.В.Суберляк, П.І.Баштанник. – Львів: Растр-7, 2006. – 270 с.

### Додаткова

7. Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении: ГОСТ 3813-72 – [Дата введения 01.01.1973] - М.: изд. стандартов, 1975. – 20 с.
8. Поздняк Н.З. Проектирование и оборудование цехов порошковой металлургии/ Н.З.Поздняк, А.Н.Крушинский – М.: Машиностроение, 1965. – 299 с.
9. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці./[Є.О.Джур, Л.Д.Кучма, Т.А.Манько та ін.] - К.: Вища освіта, 2003. – 399 с.
10. Сокольський О.Л. Проектування формуючих пристроїв обладнання для переробки пластмас: Навч. посібник./ О.Л.Сокольський, В.І.Сівецький, І.О.Мікульонок. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 130 с.

## Додаток А.

Властивості деяких шаруватих композиційних матеріалів на основі поліефірної смоли, армованої скловолокном [5]

№ №	Конструкція		Питома маса, г/м <sup>2</sup>	Границя міцності $\sigma_{в}$ , МПа	Частка у КМ, %%	
	кіль- кість шарів	склома- теріал			скло- волокна	смоли
1	1	тканина	339	72,3	27	73
	1	мата	610			
2	2	мата	610	96,8	28	72
3	1	тканина	339	95,4	31	69
	2	мата	458			
4	1	тканина	839	62,9	24	76
	1	мата	458			
	1	тканина	339			
5	1	мата	458	199,8	52	48
	1	тканина	814			
	1	мата	610			
6	1	тканина	339	103,0	29	71
	2	мата	610			
7	2	мата	458	72,3	23	77
	1	тканина	339			



Додаток Б  
Стандартні режими пресування реактопластів [6]

Матеріал	Температура пресування $t, ^\circ\text{C}$		Питомий тиск при пресуванні $p_{\text{пит}}, \text{МПа}$			Час витримки у формі (на 1 мм товщини стінки) при пресуванні $\tau, \text{хв./мм}$		
	без попереднього підігрівання	з попереднім підігріванням	прямому		литтєвому	прямому		литтєвому
			без попереднього підігрівання	з попереднім підігріванням		без попереднього підігрівання	з попереднім підігріванням	
<i>Фенопласти:</i>								
02-010-02	-	-	30±5		40...60	0,6...1,0	0,4...0,8	0,4..0,6
СпЗ-342-2	180±10	180±10	30±5	30±5		0,3...0,8	0,3...0,8	-
Е2-330-02	180±10	180±10	35±5	35±5	60...120	0,6...1,0	0,4...0,8	-
Ж1-010-40	180±10	-	30±5	-	-	0,4...0,5	-	-
<i>Амінопласти:</i>								
КФА1	140±5	-	30±5	-	-	1,0...1,5	-	-
МФВ1	160±5	(170±5)	45±5	-	60...100	1,5...2,0	-	1,5
<i>Прес-матеріали на основі кремнійорганічних смол:</i>								
КФ-9	-	160±10	-	30±5	70...80	-	1,0..1,5	1,0
ВПМ-3	-	(195±5)	-	40±5	75...85	-	1,5...2,5	1,7
<i>Матеріали на основі скловолокнитів:</i>								
АГ-4ЛС	155±5	-	25±5	-	-	1,5...2,5	-	-
АГ-4В-10	155±5	-	35±5	-	-	2,0...3,0	-	-
СНК-2-27	155±5	(150±5)	30±5	-	70...120	1,0...2,0	-	1,0..1,5

Примітка. У дужках указана температура при литтєвому пресуванні

Додаток В  
Режими лиття під тиском деяких термопластів

Матеріал	Густина $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Температура, °С		Питомий тиск лит- тя $p_{\text{лит}}$ , МПа
		розплаву	форми	
поліетилен високого тиску	0,95	190...220	30...60	40...100
поліетилен низького тиску	0,92	240...270	40...70	50...140
поліпропілен	0,90	260...280	30...90	80...140
полістирол удароміцний	1,04	180...230	40...70	100...120
АБС-пластики	1,05	200...240	70...80	120...140
поліакрилати	1,06	200...235	60...80	80...100
полікарбонати	1,20	245...290	90...120	100...160