

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

В.М. ПЛЕСКАЧ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових і
композиційних матеріалів» (частина 1) для студентів
спеціальності 132 Матеріалознавство

спеціалізації «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»
усіх форм навчання

2023

Конспект лекцій з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових і композиційних матеріалів» (частина 1) для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство спеціалізації «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» усіх форм навчання / Укл.: В.М. Плескач – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка, 2023. – 92 с.

Укладач: В.М.Плескач, доц., к.т.н.

Рецензент: О.А.Мітяєв, проф., д.т.н.

Відповідальний за випуск: В.М.Плескач, доц., к.т.н.

Затверджено на засіданні кафедри композиційних матеріалів, хімії та технологій, протокол № 6 від 07.02.2023 р.

Рекомендовано до видання НМК факультету БАД, протокол № 5 від 08.02.2023 р.

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Обладнання для виробництва матриць і наповнювачів	6
1.1 Виробництво матриць	6
1.2 Обладнання для виробництва наповнювачів	6
1.3 Обладнання для перероблення волокнистих наповнювачів	10
2. Машини для подрібнювання	18
2.1 Дробарки	18
2.2 Млини	22
3 Обладнання для сепарування порошків	27
3.1 Грохоти	27
3.2 Вібраційні сита	27
3.3 Установки для повітряної сепарації	28
4 Змішувачі	31
4.1 Вальцові змішувачі	31
4.2 Барабанні змішувачі	31
4.3 Лопатеві мішалки	32
4.4 Роторні змішувачі	32
5 Пресування	34
5.1 Обладнання	34
5.2 Прес-форми	36
6 Обладнання для лиття під тиском	42
6.1 Конструкція литтєвих машин	42
6.2 Литтєві форми	45
7 Екструдери	47
7.1 Види екструдерів	47
7.2 Формувальні головки	50
8 Установки для пултрузії	52
9 Обладнання для виготовлення ПКМ намотуванням	54
9.1 Верстати для намотування	54
9.2 Способи укладання наповнювача	55
9.3 Оправки	57
10 Формування під тиском за допомогою еластичної діафрагми	58
10.1 Форми	58
10.2 Способи формування	59

11	Виготовлення виробів напилюванням	61
11.1	Установки для напилювання	61
11.2	Виготовлення заготовок напилюванням	62
12	Ротаційне (відцентрове) формування	64
13	Контактне формування	66
13.1	Форми	66
13.2	Укладання наповнювача	67
13.3	Викладальні верстати	68
14	Обладнання для виготовлення стільникових заповнювачів	69
14.1	Матеріали і види заповнювачів	69
14.2	Способи формування заповнювачів	70
14.3	Остаточне оброблення заповнювачів	73
15	Печі для полімерізації композиційних матеріалів	74
15.1	Електричні печі	74
15.2	Печі аеродинамічного нагрівання	75
15.3	Печі інфрачервоного нагрівання	76
15.4	Печі надвисокої частоти	77
16	Засоби механізації та автоматизації виробництва	78
16.1	Механізація технологічних процесів	78
16.2	Автоматизація технологічних процесів	79
16.3	Автоматичні лінії	81
17	Обладнання для виготовлення металевих композиційних матеріалів	84
17.1	Рідинофазні технології	84
17.2	Твердофазні технології	85
	Література	88
	Додаток А Сталі, рекомендовані для виготовлення формотвірних деталей прес-форм	90
	Додаток Б Стандартні режими пресування реактопластів	91
	Додаток В Механічні властивості стільникових заповнювачів на основі алюмінієвої і вуглецевої стрічок	92

ВСТУП

Конспект лекцій з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових та композиційних матеріалів» (частина 1) для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство спеціалізації «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» призначений для вивчення теоретичних знань, пов'язаних з обладнанням та оснасткою для виробництва композиційних матеріалів (КМ). Протягом вивчення дисципліни студенти знайомляться з конструкцією обладнання та оснастки, які використовуються у різних технологічних процесах виготовлення КМ, з їх основними параметрами і можливостями у тих чи інших виробничих умовах. Лекції сприятимуть набуттю практичних навичок з розрахунків виробничого обладнання та окремих вузлів оснастки з метою проектування або його підбирання при організації виробництва необхідної продукції. Вивчаючи цю дисципліну, студенти навчаються приймати оптимальні рішення на підставі теоретичних міркувань, аналізу технологічних залежностей та розрахунків.

1 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МАТРИЦЬ І НАПОВНЮВАЧІВ

1.1 Виробництво матриць

Матриця – порівняно пластичний матеріал, здатний надати виробу з КМ форму, міцність і жорсткість і зберігати їх під час експлуатації. Вид обладнання для її виготовлення залежить від типу матеріалу та його властивостей.

80% матриць – *полімери*; їх виготовляє хімічна промисловість у вигляді порошків, гранул, таблеток або смол. На вид обладнання для виготовлення полімерних КМ (ПКМ) впливає тип полімеру: він термопластичний чи терморективний, і форма вихідної продукції: порошок, гранули, таблетки чи смоли.

Металеві матриці звичайно виготовляються з легкоплавких і пластичних металів (наприклад, алюміній, магній). Для виготовлення матриць металевих композиційних матеріалів (МКМ) метали використовують у рідкому стані, у вигляді тонкого листа, труб або фольги. При їх виробництві використовують звичайні металургійні процеси і обладнання. Деякі труднощі при виготовленні металевих матриць становлять заготовки з титанових та деяких жаростійких сплавів.

Керамічні матриці виготовляються зі спеціальних глин, оксидів (наприклад, алюмінію і цирконію) та інших сполук (наприклад, карбідів кремнію). Зокрема, деякі з таких сполук виготовляються на Запорізькому абразивному комбінаті.

1.2 Обладнання для виробництва наповнювачів

При виробництві КМ використовуються дисперсні, волокнисті та шаруваті *наповнювачі*. На властивості КМ впливають: вид наповнювача, його форма, розміри і спосіб виготовлення.

1.2.1. Дисперсні наповнювачі.

Мінеральні наповнювачі: природні мінерали – тальк, крейда, вапно – подрібнюються у звичайних механічних дробарках і млинах, конструкція й робота яких розглядається у подальших розділах цього Конспекта. Звичайний розмір дисперсних частинок – від 0,4...0,5 мкм до 2...5 мкм.

У деяких випадках використовують білу сажу й лускатий базальт. Білу сажу отримують взаємодією рідкого скла та кислоти;

розмір окремих частинок – 28...38 мкм. Лускатий базальт отримують плавленням природного мінералу ($t_{\text{пл}} = 1450^{\circ}\text{C}$). Розплав пропускають через фільтри, охолоджують і подрібнюють. Можливий розмір лусок: ширина 3...5 мкм, довжина 25...30 мкм.

До органічних наповнювачів відноситься деревне борошно – відходи переробляння деревини, подрібнені у молоткових та вібраційних млинах. Подекуди використовують кісточкові порошки, які отримують розмелюванням шкарлупи горіха, вишневих кісточок, виноградного насіння тощо.

Тугоплавкі наповнювачі - це оксиди і сполуки типу SiC , Al_2O_3 , SiO_2 , BN , які отримують у печах за спеціальними технологіями. Вони дуже крихкі, легко перемелюються у різного типу подрібнювальних млинах. Як наповнювач можуть використовуватися алюмінієва пудра (ПП-1, ПП-2 та інші) – високодисперсний порошок алюмінію або карбід Al_4C_3 , який утворюється при спіканні алюмінію і графіту.

1.2.2. Волокнисті наповнювачі.

Полімерні волокна отримують у два етапи: синтез полімеру і формування волокон (рис. 1.1).

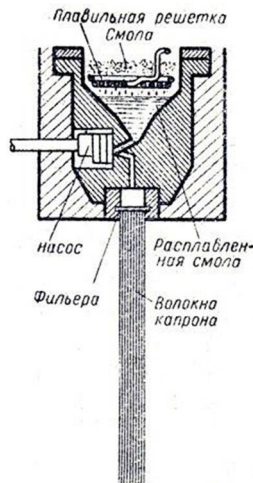


Рисунок 1.1 – Схема виробництва полімерних волокон

Суть формування: розплавлений полімер протискують через фільтри (діаметр отворів 10...12 мкм, кількість отворів у пластині – до

1000 шт.), охолоджують повітрям і витягують на барабани зі швидкістю до 60 м/с з метою поздовжньої орієнтації властивостей.

Отримане моноволокно піддають термообробленню для стабілізації розмірів і властивостей. Найпоширеніші полімери для виготовлення волокон: полібензоламідні (кевлар) і арамідні.

Вуглецеві волокна виготовляють у дві стадії: карбонізація і графітізація (рис. 1.2). Сировиною служать гідроцелюлозне (ГЦВ) і поліакрилонітрильне (ПАН) волокна. Використовують як волокна, так і нитки, джгути, стрічки з них.

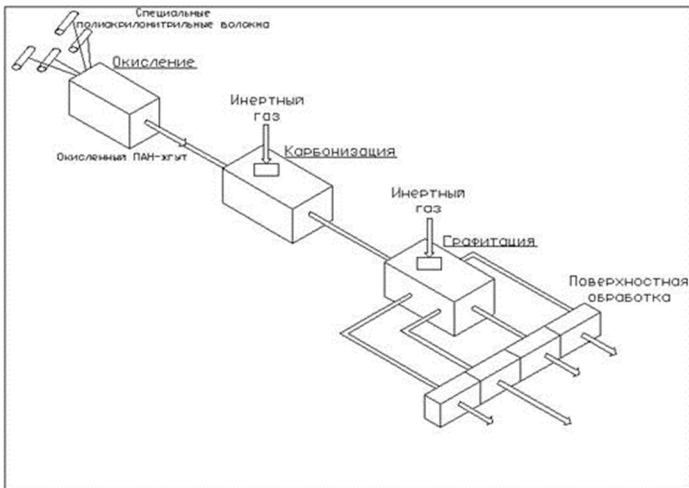


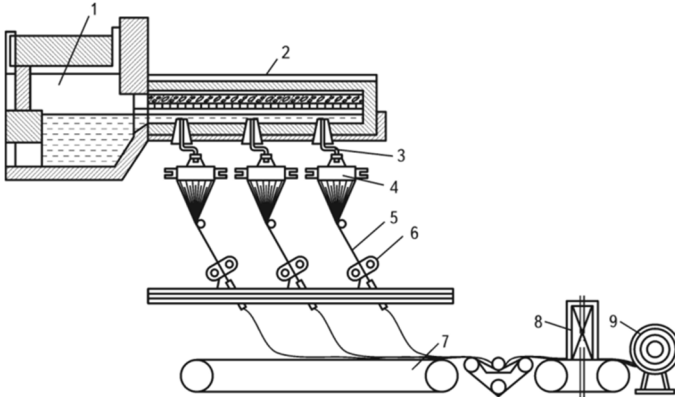
Рисунок 1.2 – Схема виробництва вуглецевих волокон

Карбонізація проводиться при температурі 900...1000⁰С в інертній атмосфері. При цьому випаровуються леткі складники, а вміст вуглецю збільшується до 94%. Під час графітізації, яка відбувається при температурі 1800... 2000 °С також в інертній атмосфері, у волокнах удосконалюється структура, збільшується вміст вуглецю.

Обладнанням служать тунельні печі опору з контрольованою атмосферою (вакуум, Н₂, СО₂, Аг, N₂). Процес неперервний, волокна витягуються з певним натягом з метою створення анізотропії структури.

Скловолокна виготовляють одно- і двостадійним методами.

Одностадійний метод. Скло вариться у великих печах при температурі 1200... 1400°C. З печі в боки відходять роздавальні фідери довжиною до 50 м. На їх кінцях знаходяться фільтрні живильники або автомати для виготовлення скляних кульок (рис. 1.3).



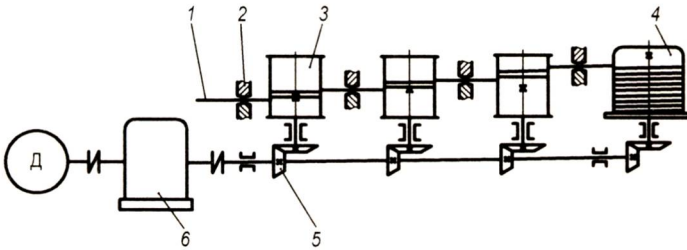
1 – склопеч; 2 – фідер; 3 – проміжний живильник; 4 – фідерний живильник;
5 – волокна; 6 – охолоджувачі; 7 – транспортер; 8 – пристрій поверхневого
оброблення; 9 – барабан

Рисунок 1.3 – Схема одностадійного виробництва скловолокон

Фільтрний живильник – це піч з жаростійкої сталі, підігрівається електричним струмом і має 200...6000 отворів залежно від діаметра волокон (9...20 мкм). Волокна можуть бути профільовані. Волокна на виході розділяються ребрами і охолоджуються повітрям.

Двостадійний метод ґрунтується на виготовленні волокон із заздалегідь виготовлених скляних кульок. Установка менша за потужністю, вимагає менше приміщення та енергетичних витрат, але складніша за конструкцією. Вона складається з двох частин (поверхів). У верхню частину (бункер) засипаються скляні кульки. Із заданою швидкістю вони подаються у нижню частину, де плавляться, і скло витискається через такий же фільтрний живильник, як і при одностадійному методі.

Металеві волокна виготовляють на волочильних станах барабанного типу в холодному стані (рис. 1.4).



1 – дріт; 2 – волокни; 3 – барабани; 4 – приймальний барабан;
5 – зубчасті передачі; 6 – редуктор; Д - електродвигун

Рисунок 1.4 – Схема барабанного стану багаторазового волочіння

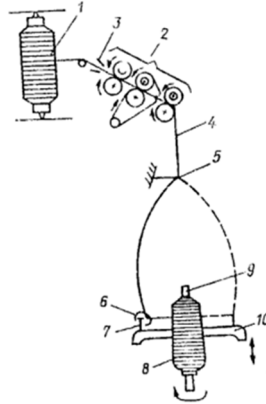
Дріт при волочінні може проходити послідовно через декілька (до 30) волок. Сумарно ступінь обтиску становить до 95%, мінімальний діаметр дроту - до 2 мкм; кінцева швидкість волочіння – 60 м/с. Оскільки волочіння найчастіше здійснюється у холодному стані, утворюється анізотропія властивостей, тому потрібне наступне відпалювання. Як наповнювачі КМ використовують дріт зі сталі, вольфраму, молібдену, титану або ніобію.

1.3 Обладнання для перероблення волокнистих наповнювачів

1.3.1. **Нитка** – безперервний тонкий виріб малого поперечного розміру необмеженої довжини зі скручених (склеєних) між собою порівняно коротких натуральних або хімічних волокон. Виготовляється прядінням.

Прядіння – процес поздовжнього складання і спірального скручування окремих волокон для одержання довгої міцної нитки. Прядіння – один з найдавніших технологічних процесів. Сьогодні найчастіше використовуються кільцеві і пневмомеханічні прядильні машини.

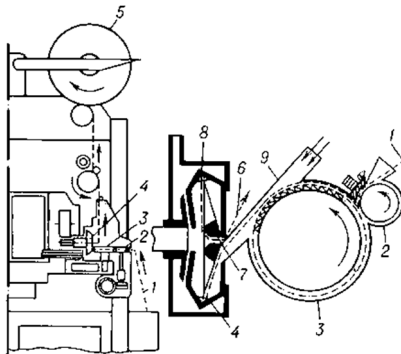
На *кільцевих прядильних машинах* (рис. 1.5) попередньо підготовлені волокна у вигляді стрічки змотуються з бобини і витяжним пристроєм з декількох пар ребристих барабанів скручуються у пряжу, яка проходить через ниткопровідник і бігунок, розміщений на кільці, і намотується на патрон, насаджений на веретено. Одна машина може мати декілька веретен одночасно.



- 1 – бобина зі стрічкою; 2 – витяжний пристрій; 3 – водилка; 4 – пряжа;
 5 – ниткопровідник; 6 – бігунок; 7 – кільце; 8 – патрон; 9 – веретено;
 10 – кільцева планка

Рисунок 1.5 – Технологічна схема кільцепрядильної машини

У пневмомеханічних прядильних машинах (рис. 1.6) волокна спочатку попадають на розчісувальний валик, потім потоком повітря подаються у камеру, що обертається з частотою до 60000 об/хв. У жолобі камери волокна стискаються і скручуються. Створена таким чином пряжа через центральний отвір напрямного диска витягується вгору і намотується на приймальний блок.



- 1 – стрічка; 2 – живільний циліндр; 3 – розчісувальний валик; 4 – прядильна камера; 5 – приймальний блок; 6 – пряжа; 7 – напрямна трубка; 8 – жолоб; 9 – канал

Рисунок 1.6 – Технологічна схема пневмомеханічної машини

Нитка, як правило, складається з волокон діаметром 9...12 мкм, з кількістю волокон у нитці 200...3000 і з приблизно 100 круток на метр.

Одна з найважливіших характеристик нитки – *лінійна щільність*. Вона визначає, яку масу має нитка певної довжини. Лінійна щільність вимірюється у тексах. *Текс* – це маса у грамах, віднесена до 1 км нитки (пряжі, г/км) або у міліграмах на 1 м (мг/м), і визначає діаметр і міцність нитки. Міцність нитки залежить від властивості волокон і кількості волокон у поперечному перерізі нитки. Чим тонше волокна і більше їх кількість, тим міцніша нитка.

1.3.2. *Ровінг* (або *рівниця*) – сукупність поздовжньо орієнтованих комплексних волокон з підкручуванням, призначених для витягування. Це проміжний продукт, який складається зі скручених волокон і використовується для виробництва деяких видів тканих і нетканих матеріалів. У склоровінгу волокна не скручуються.

Розрізняють ровінг тонкий, *нещільний* (такий, що розпадається, використовується для рубання) і *намоточний* (призначений для подальшого перероблення).

Виготовляється на *ровінгових машинах* (банкаброшах). Вихідні волокна розбиваються на окремі стрічки, витяжним приладом протягуються через ущільнювач і далі попадають у гумові *сукальні рукави* (рис. 1.7), де волокна отримують два рухи: поздовжній для виводу ровінгу і поперечний - для скручування волокон.

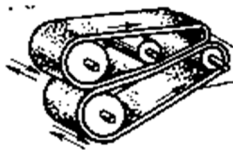


Рисунок 1.7 –Схема роботи сукальних рукавів

1.3.3. *Мати* (або *полотна*) – матеріал, який виготовляється з природних, хімічних або скляних дезорієнтованих волокон, які скріплюються клеями або механічно.

Мати з природних матеріалів найчастіше формують механічним способом з відходів чесальних машин аеродинамічним методом. Відходи-волокна знімаються з барабана чесальної машини потоком повітря і для формування полотна переносяться на сітчастий барабан

(конденсор) або на горизонтальну сітку, яка рухається зі швидкістю до 100 м/хв. За допомогою спеціальних машин утворені полотна шарами укладаються один на один і таким чином отримують мати товщиною до 150 мм.

Скломати (рис. 1.8) виготовляють з волокон діаметром 2...5 мкм. Скломаса витискається з декількох різноорієнтованих фільтр одночасно. Отримані волокна роздуваються повітрям, поступають у камеру охолодження, а потім – на аналогічну стрічку конвеєра.



Рисунок 1.8 – Приклад зовнішнього вигляду скломата

Волокна матів з'єднуються склеюванням, рідкою хімічною зв'язкою, або термопластичними нитками на голкопробивних машинах.

Характеристикою матів служить маса 1 м². Наприклад, один з видів матів – *повсть* – має щільність 200...4000 кг/м². На поверхні матів може бути підкладка – тканий або полімерний матеріал.

1.3.4. **Тканина** – полотно, виготовлене на *ткацькому верстаті* (рис. 1.9) переплетінням взаємо перпендикулярних систем ниток.

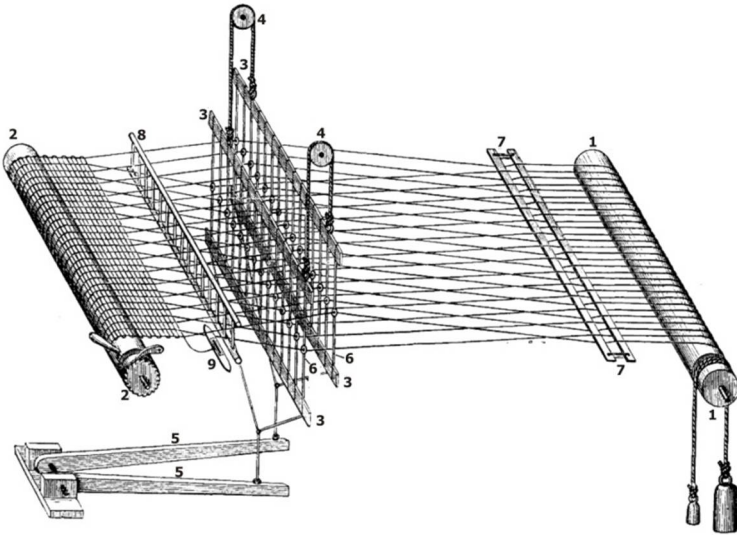
Систему ниток, які йдуть уздовж тканини, називають *основою*, а систему ниток, розташованих уперек тканини, – *уткóм*. Відповідні нитки називають *основними* і *уткóвими*.

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

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.



- 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 1.9 – Схема горизонтального ткацького верстата

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 зіву 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*.

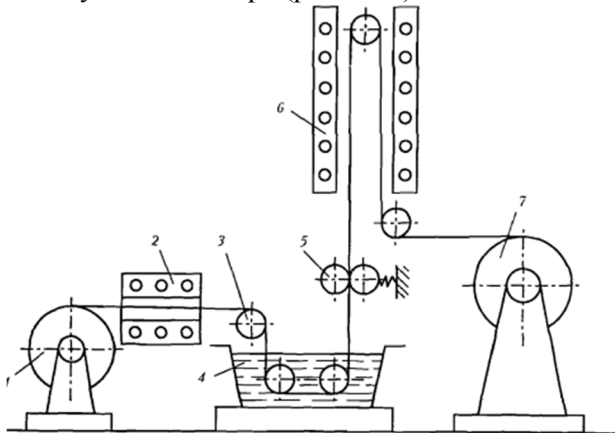
Міцність тканини залежить від властивостей ниток, кількості та взаємного розташування основних і утокових ниток, а також від щільності їх розташування. Переплетення ниток в тканині є одним з основних показників будови тканини. Вид переплетення створюється за рахунок кількості і розташування основних ниток на зубцях берда, а також розташування їх відносно утокової нитки.

Міцність композиційного матеріалу, армованого тканиною, залежить від того, у напрямку основної чи утокової нитки діє основне навантаження при експлуатації.

1.3.5. **Препрег** – «попередньо просочений» - композиційний напівфабрикат, продукт попереднього просочування тканин і нетканих матеріалів, готовий для подальшого перероблення. Склад компонентів: 25..35% смоли, 25...50% волокнистий наповнювач, 25...40% дисперсний наповнювач. Підготовлений препрег обгортається з двох боків поліетиленовою плівкою і може зберігатися до наступного перероблення 3...4 місяці.

Для просочування наповнювача смолою використовуються установки двох типів: з просочуванням занурюванням і під тиском.

Головними елементами установки першого типу становить ванна зі смолою і сушильна камера (рис. 1.10).

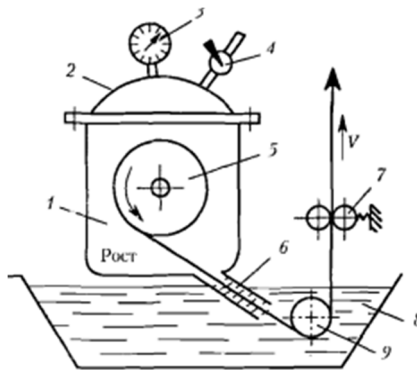


1 – рулон наповнювача; 2 – камера сушіння волокон; 3 – шляхові ролики;
4 – ванна зі смолою; 5 – відтискний пристрій; 6 – камера сушіння препрегу;
7 – рулон препрегу

Рисунок 1.10 - Схема установки для просочування наповнювача занурюванням

Наповнювач спочатку просушують від вологи при температурі дещо більше 100°C і занурюють у ванну зі смолою. Смола повинна мати задану в'язкість, яка регулюється додаванням певних компонентів. Після відтискання зайвої смоли просочений наповнювач поступає у сушильну камеру – високий термоізолюваний кожух. Температура на шляху препрегу поступово змінюється від $120\dots150^{\circ}\text{C}$ до $40\dots60^{\circ}\text{C}$ на виході. При цьому забезпечується досягнення вологості $\leq 1,5\%$. Для цього регулюють швидкість руху полотна і температурний режим.

Прикладом установки просочування під тиском є установка вакуумного просочування (рис. 1.11).



1 – вакуумна камера; 2 – кришка; 3 – вакуумметр; 4 – патрубок; 5 – ролон наповнювача; 6 – фільтр; 7 – відтискні ролики; 8 – ванна зі смолою; 9 – напрямний ролик

Рисунок 1.11 - Схема установки для вакуумного просочування наповнювача

Армувальні матеріали: волокна скляні, борні, вуглецеві, арамідні, тканини і стрічки. Ширина полотна препрегу до 500 мм.

1.3.6. **Премікс** – «попередньо змішаний» - термореактивна композиція, яка складається з різаних скловолокон або дисперсних наповнювачів і термореактивного полімеру. Вміст у преміксах волокнистих наповнювачів довжиною 10...20 мм - від 10 і до 35%, дисперсних наповнювачів діаметром 0,5...50 мкм – до 50%. Як смоли використовують низьков'язкі олігоєфіри, стирол, метилметакрилат.

Для виготовлення преміксів використовують як правило Z – подібні низькошвидкісні лопатеві мішалки (рис. 1.12). Спочатку у

мішалку завантажують смолу і отверджувальні системи, а потім – дисперсний наповнювач. Після ретельного перемішування в останню чергу завантажують волокнисті наповнювачі, щоб не руйнувати волокна.

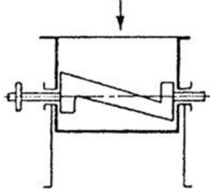


Рисунок 1.12 - Схема лопатевої мішалки

2 МАШИНИ ДЛЯ ПОДРІБНЮВАННЯ

Мета: зменшити розміри вихідних матеріалів. Кількісна характеристика подрібнення – ступінь подрібнення:

$$S = D_{\text{ср max}} / d_{\text{ср max}} \quad (2.1)$$

де $D_{\text{ср max}}$ – найбільший середній розмір матеріалу до подрібнення; $d_{\text{ср max}}$ – найбільший середній розмір матеріалу після подрібнення.

Залежно від результату подрібнення розрізняють власне *подрібнювання* (мінімальний розмір частинок 2 мм) і *розмелювання* (мінімальний розмір частинок менше 10 мкм). У зв'язку з цим розрізняють і машини для подрібнювання - дробарки та млини.

2.1 Дробарки

Подрібнювання за розміром готового продукту поділяється на крупне (80...200 мм), середнє (20...80 мм) та дрібне (2...20 мм).

Щоківі дробарки (рис. 2.1) складаються з двох міцних плит, одна з яких нерухома, встановлена вертикально, а друга – під кутом до першої. Один кінець рухомої плити (верхній або нижній) закріплений, а інший рухається механізмом дробарки.

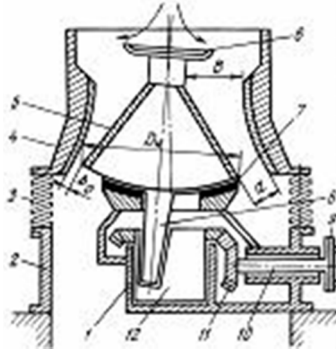


Рисунок 2.1 – Схема роботи щоківі дробарки

Подрібнювання здійснюється за рахунок коливань рухомої щокі. Розмір продукту регулюється щілиною на виході. Зверху завантажують грудки розміром 200...1300 мм, готовий продукт має

розміри 80...140 мм. Частота обертання кривошипа дробарки 275...1250 об/хв., продуктивність подрібнювання 3,5...550 м³/год.

Конусні дробарки (рис. 2.2). складаються з циліндричного стакана, в якому знаходиться внутрішній конус зі зміщеною віссю обертання.



- 1 – циліндричний стакан; 2 – станина; 3 – амортизатори; 4 – конічна чаша;
5 – конус; 6 – тарілка; 7 – підшипник; 8 – вал; 9 – муфта; 10 – привідний вал;
11 – конічні шестерні; 12 – ексцентриковий стакан

Рисунок 2.2 – Схема конічної дробарки

При подрібненні конус обертається навколо своєї осі і одночасно його вал рухається по колу всередині ексцентрикового стакана. Завдяки цьому мінімальний зазор між стаканом і конусом рухається по колу, подрібнюючи завантажений матеріал. Такий подвійний рух забезпечує рівномірне зношування робочих поверхонь дробарки. Розмір продукту визначає мінімальний зазор між поверхнею циліндра і краєм конуса.

Діаметр робочого конуса – 900...3250 мм. Ширина завантажувального отвору – 100...1200 мм, вивантажувального – 50...800 мм. Конусні дробарки забезпечують продуктивність 10...300 м³/год.

Валкові дробарки (рис. 2.3) як основу мають два паралельні вали, що обертаються назустріч один одному.

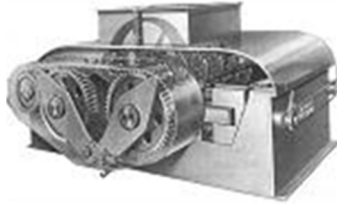


Рисунок 2.3 – Валкова дробарка

Вали можуть бути гладкі, рифлені, зубчасті, гвинтові діаметром 600...1000 мм і довжиною 100...900 мм. Частота обертання – 30...190 об/хв.

Вид подрібнювання – середній, продуктивність 10...40 м³/год.

Молоткові дробарки (рис. 2.4) мають вал, на якому закріплено декілька паралельних дисків.

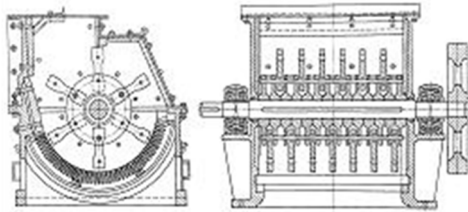


Рисунок 2.4 – Молоткова дробарка

На кожному диску може бути шарнірно закріплено 6...16 молотків масою 5...17,5 кг. При обертанні дисків молотки додатково рухаються і ударяють по завантаженому матеріалу. Ротор може мати діаметр 600...1600 мм і довжину 350...1500 мм. Частота обертання ротора 400...1250 об/хв.

Молоткові дробарки можуть бути реверсивні та неревверсивні. Внизу мають класифікаційну сітку. Вони забезпечують дрібне подрібнювання.

Роторні дробарки (рис. 2.5) мають ротор діаметром до 400 мм з лопатями, що обертається з великою швидкістю. Захоплений лопатями матеріал розбивається об відбійну стінку.

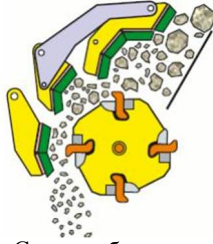


Рисунок 2.5 – Схема роботи роторної дробарки

Роторна дробарка внизу має колосникову решітку, зазор між колосниками – 2...40 мм. Дробарки мають продуктивність – 6...200 м³/год.

Дезінтегратори (рис. 2.6) служать для руйнування крихких малоабразивних матеріалів. Їх головний елемент – два співвісні диски з 2...4 рядами пальців (бил), розташованими таким чином, що кожний ряд одного ротора вільно проходить між двома рядами іншого.

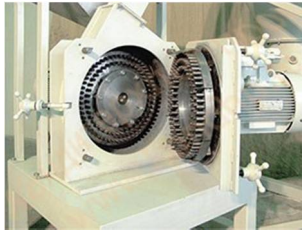
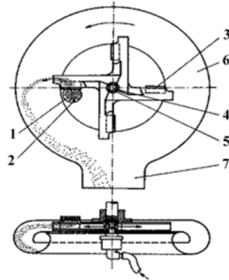


Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд дезінтегратора

Диски обертаються назустріч один одному з частотою 3000 об/хв. Захоплюються частинки розміром 60...90 мм, отримують - 0,5...1,0 мм. Ступінь подрібнювання регулюється зміною швидкості обертання та кількістю рядів бил. Продуктивність - 80...90 т/год.

Ножові дробарки (рис. 2.7) використовуються для подрібнення полімерів як отриманих при синтезі у вигляді прутків-монолітів, так і при переробленні вторинної сировини.



1 – опорна плита; 2 – фільтр; 3 – роторно-ножовий пристрій; 4 – отвір для подачі води; 5 – вал роторно-ножового пристрою; 6 – круглий корпус; 7 – отвір
Рисунок 2.7 – Схема роботи ножової дробарки

Таким способом можна отримати порошки з розміром частинок 0,5...2 мм. Їх величина залежить від швидкості обертання ножів, температури і крихкості полімеру.

2.2 Млини

За розміром частинок **розмелювання** поділяється на грубе (0,2...2,0 мм), тонке (0,01...0,20 мм) і надтонке (менше 0,01 мм).

Найчастіше використовуються *барабанні млини*. Конструктивно вони становлять циліндр (барабан), завантажений помольними тілами, що обертається зовнішнім приводом на роликах. При обертанні помольні тіла під впливом відцентрової сили, а також тертя між собою і футеровкою барабана підіймаються на певну висоту, падають, розбиваючи і стираючи матеріал, що знаходиться у барабанних млинах. Барабанні млини поділяються на кульові й стрижньові.

Кульові млини (рис. 2.8) зі сталевими, чавунними, кременевими або порцеляновими кулями діаметром 30...150 мм застосовують для тонкого подрібнення матеріалів. Вони поділяються на млини періодичної або безперервної дії, сухого або мокрого подрібнювання.

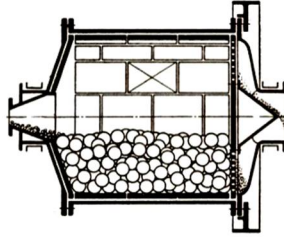


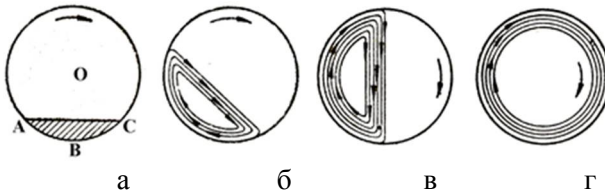
Рисунок 2.8 – Кульовий млин з діафрагмою для мокрого безперервного розмелювання

Залежно від швидкості обертання барабана розрізняють такі режими руху куль у млині (рис. 2.9).

Критична частота обертання знаходиться за формулою:

$$n_{кр} = 42,4/\sqrt{D} \text{ (об/хв.)}, \quad (2.2)$$

де D – внутрішній діаметр барабана, м.



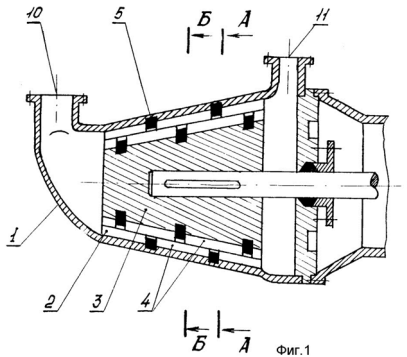
а – режим ковзання при $n < 0,2n_{кр}$; б – режим перекочування при $n = (0,4 \dots 0,6)n_{кр}$; в – режим вільного падіння при $n = (0,75 \dots 0,80)n_{кр}$; г – режим критичної швидкості обертання при $n = n_{кр}$

Рисунок 2.9 – Схеми руху куль у млині

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

Стрижневі млини як помольні тіла використовують або сталеві стрижні діаметром 40...125 мм і довжиною, сумірною з довжиною барабана, або короткі циліндри — *цільнебси* - діаметром до 25 мм і довжиною до 40 мм. Їх застосовують для грубого сухого або мокрого розмелювання сировини (до 500...1000 мкм).

Конічні млини (рис. 2.10) – апарати безперервної дії, призначені для розмелювання волокнистих матеріалів та твердих гранул.



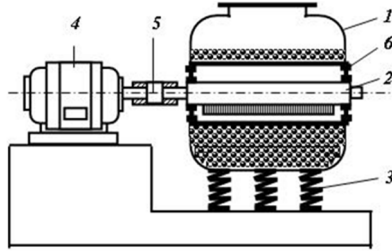
1 – корпус; 2 – статор; 3 – ротор; 4 – канавки статора і ротора; 5 – перегородки;
10 – вхідний патрубок; 11 – вихідний патрубок

Рисунок 2.10 – Схема конічного млина

Конічна млин складається з співвісно змонтованих у корпусі статора і ротора, які розділені перегородками на секції і виконані у вигляді зрізаних конусів. Ротор обертається зі швидкістю 300... 600 об/хв. Перегородки забезпечують додаткову турбулізацію потоку.

Вихідний матеріал у вигляді водної суспензії надходить по вхідному патрубку у завантажувальну порожнину млина, захоплюється ротором і проходить зигзагоподібний шлях, переміщаючись вздовж поверхонь ножів статора і ротора, потрапляючи під їх дію. При цьому матеріал подрібнюється і через вихідний патрубок виводиться з млина.

Вібраційні млини (рис. 2.11) використовують для тонкого і надтонкого подрібнення різних матеріалів при невеликій продуктивності (до 1 т/год) сухим і мокрим способами.



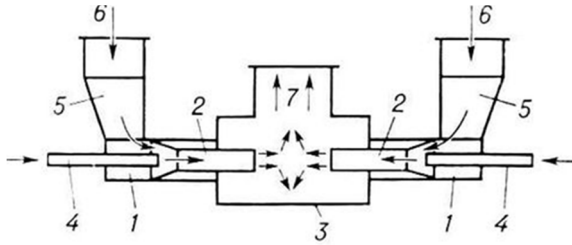
1 – барабан; 2 – дебалансний вал; 3 – пружини; 4 – електродвигун; 5 – гнучка муфта; 6 – підшипники

Рисунок 2.11 – Схема вібраційного млина

Барабан млина, заповнений кулями на 80% об'єму, встановлений на пружинах або гумових опорах і під дією механічного вібратора-дебаланса вібує разом з кулями з частотою до 3000 коливань за хвилину при амплітуді 2...5 мм. Вихідний матеріал, завантажений у барабан, подрібнюється кулями при їх частих зіткненнях у масі, що вібує. Застосовують вібраційні млини як періодичної, так і безперервної дії.

Струменеві млини подрібнюють речовину у струменях енергоносія (повітря, азот, перегріта пара, продукти спалювання горючих газів) за рахунок перетворення потенційної енергії робочого газу в кінетичну енергію частинок, що подрібнюються. Частинки подрібнюються без помольних тіл, внаслідок взаємних зіткнень одна з одною при навантаженні ударами, динамічним тертям або в комбінованому режимі. Струменеві млини не мають обмежень щодо властивостей матеріалу, що подрібнюється, і дозволяють досягнути високого рівня дисперсності (1...10 мкм) з продуктивністю 20...2000 кг/год.

Розрізняють прямоточні і протиточні струменеві млини (рис. 2.12), відмінні тим, що в одних матеріал руйнується при ударі і стиранні в плоскій або трубчастій помольній камері, а в інших – при зустрічному зіткненні потоків сумішей.



1 – робоча камера; 2 – ежекторна камера; 4 – помольна камера; 4 – підведення енергоносія; 5 – бункер; 6 – завантажування вихідного матеріалу; 7 - відведення готового продукту

Рисунок 2.12 – Схема протиточного струменевого млина

3 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СЕПАРУВАННЯ ПОРОШКІВ

Сепарування – це процес поділу подрібненого сипучого матеріалу на фракції (класи) за розміром частинок. Найчастіше використовується механічна сепарація на різного роду грохотах і ситах та повітряна - за величиною швидкості осаджування частинок у повітрі.

3.1 Грохоти

Основа *грохоту* - потужний футерований короб, усередині якого на різних рівнях розміщені *колосникові ґрати* (рис. 3.1). Застосовуються головним чином для просіювання після первинного подрібнювання.

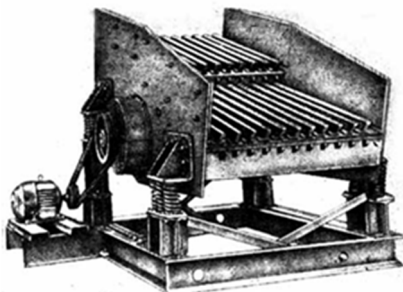


Рисунок 3.1 – Колосниковий грохот

Короб встановлений на опорні кронштейни рами за допомогою пакетів гвинтових пружин. Колосникова поверхня може розташовуватися під кутом нахилу до горизонту $0...30^\circ$. Змінні колосники можна встановлювати з просвітом $70...200$ мм. Площа просіювання – 1250 мм x 3000 мм. Вал вібратора з дебалансом обертається з частотою $700...800$ об/хв., амплітуда поливань – 3 мм.

У деяких випадках застосовуються *багаторешітчасті грохоти*, які розділяють порошок зразу на декілька фракцій. Вони можуть виділяти фракції до 2 мм і менше.

Коливальні грохоти – апарати закритого типу (тобто нема пилу у робочому приміщенні) з багатоярусними ситами отримують коливання від шатунно-кривошипного механізму. Вони можуть поділяти вихідний матеріал зразу на 5 фракцій. Частота коливань корпусу – $50...400$ за хвилину, амплітуда коливань - $5...200$ мм.

3.2 Вібраційні сита

Основою для *вібросепараторів* є механічні сита, або деки. Дека становить раму, на якій закріплена сітка з необхідним розміром отворів. Сітчаста дека отримує зворотно-поступальний рух з певною частотою, і менші частинки просипаються вниз, а необхідна фракція залишається на сітці.

Як правило, дека закріплюється (або підвішується) на металевій рамі через гумові амортизатори або пружини. Вібрація може задаватися обертанням ексцентрикового валу, ударами, гойданням або спеціальними вібраторами.

У найпростіших *однодечних сепараторах* рама сита підвішена на пружинах і рухається по замкненій еліптичній траєкторії завдяки обертанню неурівноваженого ексцентрикового валу. Рама сита може мати нахил до 30° .

Багатодечні вібросепаратори (рис. 3.2) мають закритий корпус і можуть проводити розсіювання на 9 фракцій одночасно. При цьому кожна фракція зразу відводиться у певну ємність через спеціальні патрубки.



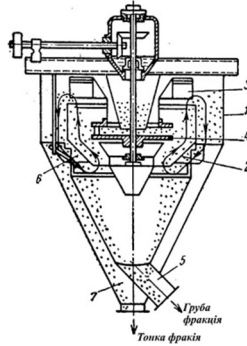
Рисунок 3.2 – Багатодечне вібросито

3.3 Установки для повітряної сепарації.

Класифікація порошків за фракціями частинок з розмірами менше 40...50 мкм здійснюється за допомогою повітряних, або *пневмосепараторів*. Пневмосепаратори поділяються на сепаратори із замкненим потоком повітря і на повітряно-прохідні.

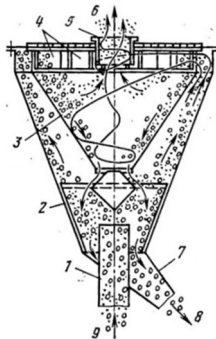
Повітряний сепаратор із *замкненим потоком повітря* (рис. 3.3) складається з корпусу і внутрішнього конуса. Над внутрішнім конусом установлений вентилятор із зовнішнім приводом, який

створює циркуляцію повітря. Порошок поступає на розподільний диск і відкидається відцентровою силою до стінок конусу. Крупні частинки падають вниз і вивантажуються через патрубок. Дрібні частинки виносяться повітряним потоком і по зовнішньому корпусу падають вниз.



1 – корпус; 2 – внутрішній конус; 3 – вентилятор; 4 - розподільний диск; 5 – труба; 6 – відцентрове лопаткове колесо; 7 – розвантажувальний патрубок
Рисунок 3.3 – Пневмосепаратор із замкненим потоком повітря

У повітряно-прохідному сепараторі (рис.3.4) стиснене повітря подає порошкову суміш знизу; вверху розмір каналу розширюється, тому швидкість потоку падає. Лопатки під кришкою закручують потік. Важкі частинки відкидаються до стінок і падають вниз, а легкі виносяться потоком повітря вгору.



1 – патрубок; 2 – зовнішній конус; 3 – внутрішній конус;
4 – лопатки; 5 – верхній патрубок; 6 – повітря з тонкими фракціями;
7 – бічний патрубок; 8 – потік важких частинок; 9 – потік вихідного матеріалу
Рисунок 3.4 – Повітряно-прохідний пневмосепаратор

Відцентрові циклони (рис. 3.5) служать для очищення повітря від завислих у ньому твердих частинок. Осаджують частинки розміром до 5...10 мкм. На середній осі циклони мають нерухому гвинтову лопать. Повітря подається тангенціально, тому частинки відкидаються до стінок і сиплються вниз, а повітря відходить вгору.

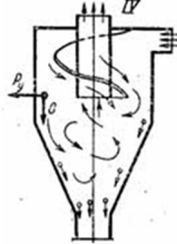


Рисунок 3.5 – Схема відцентрового циклона

4 ЗМІШУВАЧІ

Змішування – це механічний процес, метою якого є перетворення вихідних компонентів на однорідну систему з усередненими за об'ємом характеристиками. У склад КМ можуть входити полімери поряд з найрізноманітнішими добавками: дисперсними і волокнистими наповнювачами, пластифікаторами, барвниками тощо.

Залежно від агрегатного стану компонентів процес змішування може здійснюватися у системах: тверді речовини (і полімери, і наповнювачі); тверді речовини і високов'язкі рідини; низко- і високов'язкі рідини. У зв'язку з цим розрізняють механічне змішування (сипучих речовин і гранул) і змішування зі зміною форми продукту (полімерна речовина з дисперсними, волокнистими та іншими добавками).

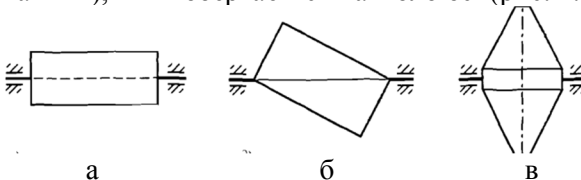
Тип обладнання залежить від того, що саме змішується. Змішувачі бувають періодичної та неперервної дії.

4.1 Вальцьові змішувачі

Для змішування сипучих матеріалів як змішувачі можуть використовуватися деякі види млинів, але зі зміною робочих режимів. Зокрема *вальцьові змішувачі* конструктивно подібні до валкової дробарки (див. рис. 2.3), але вали обертаються назустріч один одному з *різною* швидкістю, внаслідок чого виникає тертя (фрикція, прослизання) всередині суміші. Чим більше фрикція і менше зазор, тим більше циркуляція суміші і краще перемішування.

4.2 Барабанні змішувачі

Барабанні змішувачі використовуються для змішування сипучих компонентів. Вони мають барабан (циліндричний, циліндро-конічний, біконічний та інші), який обертається навколо осі (рис. 4.1).



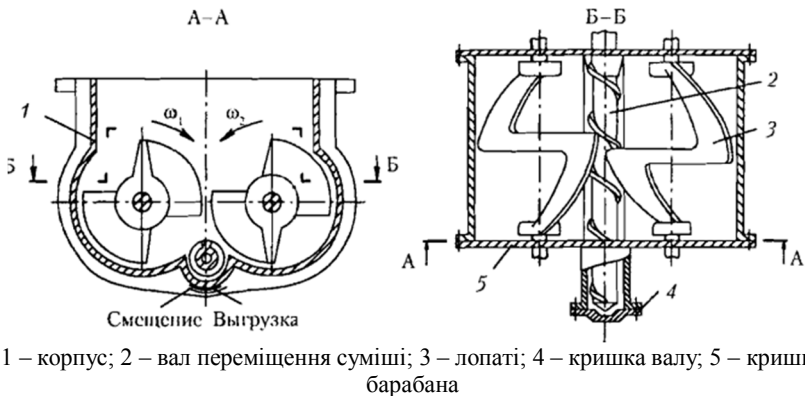
а – циліндричний; б – циліндричний зі зміщеною віссю обертання; в – біконічний

Рисунок 4.1 – Схеми роботи барабанних змішувачів

Частота обертання барабана залежить від форми змішувача, об'єму завантаження і властивостей порошку. Ступінь заповнення барабанного змішувача становить 20...70%. Найкращу якість суміші при оптимальному часі змішування отримують при заповненні об'єму барабана 30%.

4.3 Лопатеві мішалки

Для отримання дисперсно-наповнених сумішей, преміксів тощо використовують *лопатеві мішалки*. Вони складаються з корпусу (барабана) об'ємом 100...200 л, в якому обертаються спіральні або Z-подібні лопаті. Частота обертання – 30...40 об./хв. Мішалки дуже різноманітні за конструкцією і розмірами. Найпоширеніші на сьогодні – двороторні мішалки (рис. 4.2).



1 – корпус; 2 – вал переміщення суміші; 3 – лопаті; 4 – кришка валу; 5 – кришка барабана

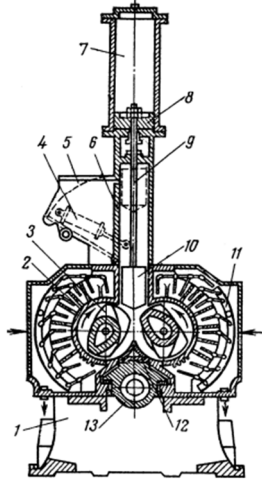
Рисунок 4.2 – Двороторна лопатева мішалка

4.4 Роторні змішувачі

Для змішування полімерів у в'язкопластичному стані використовуються роторні змішувачі з овальними роторами (рис. 4.3).

На станині 1 монтується корпус змішувача, основою якого є робоча камера 2. Усередині його назустріч один одному обертаються встановлені на підшипниках ротори 3. Робоча камера має два вікна: верхнє для завантажування вихідних компонентів (затвор 10) і нижнє для вивантажування готової суміші, (затвор 12). Затвори керуються силовими циліндрами 7 і 13. Завантажувальна лійка 5 має засувку 6, що керується циліндром 4. Ротори і робоча камера мають систему

водяного охолодження через колектор 11. Ротори через з'єднувальну муфту обертаються від індивідуального (на кожний ротор) або групового (для обох роторів) електродвигунів.



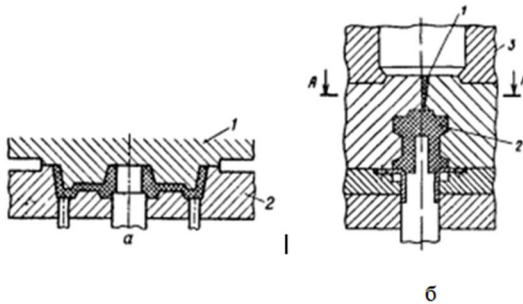
1 – станина; 2 – корпус камери; 3 – ротор; 4 – циліндр керування засувкою завантажувальної лійки; 5 – завантажувальна лійка; 6 – засувка; 7 – силовий циліндр керування верхнім затвором; 8 – поршень силового циліндра верхнього затвора; 9 – шток верхнього затвора; 10 – верхній затвор; 11 – водяний колектор; 12 – нижній затвор; 13 – циліндр нижнього затвора;

Рисунок 4.3 – Роторний змішувач

5 ПРЕСУВАННЯ

Пресування – це метод формування виробів з полімерних композиційних матеріалів, який полягає у пластичному деформуванні матеріалу за одночасної дії на нього теплоти й тиску та подальшому фіксуванні форми виробу. Пресування передбачає завантажування матеріалу в прес-форму, його переведення під час нагрівання у в'язкотекучий стан, формування виробу під дією тиску та фіксацію заданої конфігурації виробу.

Основними методами пресування є пряме (або компресійне) і литтєве пресування. При прямому пресуванні вихідні матеріали завантажуються безпосередньо у матрицю прес-форми і тут же формуються; при литтєвому - вихідні матеріали завантажуються у завантажувальну камеру і по литниковим каналам попадають у гніздо прес-форми (рис. 5.1).

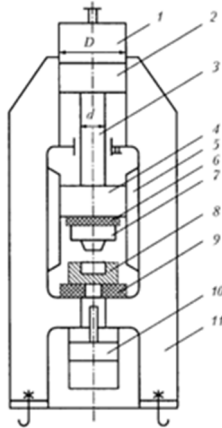


а: 1 – пуансон, 2 – матриця;
б: 1 – литниковий канал, 2 – виріб, 3 – завантажувальна камера
Рисунок 5.1 - Схеми прямого (а) і литтєвого (б) пресування

На вибір обладнання і оснастки при пресуванні впливає фізичний стан вихідного матеріалу (порошок, гранули або смола) і основна властивість – в'язкість композиту під час пресування. Тому важливий правильний температурно-часовий режим пресування.

5.1 Обладнання

Основне обладнання при пресуванні – *гідравлічні преси*. Найчастіше використовуються вертикальні гідравлічні преси з верхнім пресуванням, з простим або диференційним плунжером, з рамною або колонною конструкцією станини (рис. 5.2).



1 – гідроциліндр; 2 – плунжер; 3 – шток; 4 – повзун; 5 – напрямні; 6 – нагрівач пуансона; 7 – пуансон; 8 – матриця; 9 – нагрівач матриці; 10 – гідроциліндр виштовхувача; 11 – рама станини

Рисунок 5.2 – Схема рамного гідравлічного преса

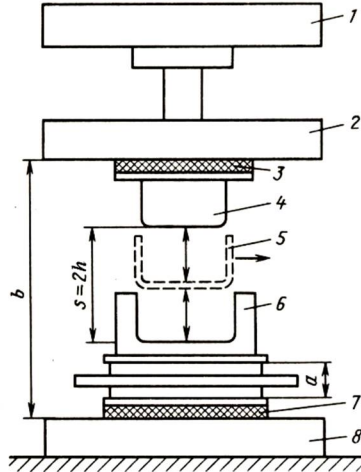
На верхній частині преса встановлений гідроциліндр, який через шток надає рух повзуну із закріпленим на ньому плунжером. На столі знаходиться матрична частина прес-форми. Після формування виріб виштовхується з прес-форми виштовхувачем за допомогою додаткового гідроциліндра. Для створення необхідного тиску прес, як правило, обслуговує спеціальна станція з гідравлічними насосами і системами.

При виготовленні листових виробів використовуються *поверхові гідравлічні преси*. Відмінність конструкції полягає у тому, що між пуансоном і опорною поверхнею преса розташовується низка *плит-повзунів*, забезпечених нагрівачами, між якими завантажують композиційний матеріал, що пресується. При наданні тиску у гідроциліндр плити стискають матеріал і витримують до кінця формування.

Робочий простір преса повинен бути узгоджений з розмірами прес-форми і виробу.

Відстань між плитами b (рис. 5.3) має бути у три рази більше глибини матриці для найбільшого виробу h і враховувати товщини виштовхувального пристрою a , матриці та деяких інших деталей

преса. Важливою характеристикою преса є хід преса S , який повинен бути принаймні удвічі більше найбільшої глибини матриці ($S \geq 2h$).



1 – деформувальна насадка; 2 – рухома плита; 3, 7 – підкладки (амортизатори);
4 – пуансон; 5 – готова деталь; 6 – матриця; 8 – нерухома плита
Рисунок 5.3 – Конструкція і робочий простір преса

Номінальне зусилля прямого пресування

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

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

Зусилля пресування при литтєвому пресуванні визначається як:

$$P = p_{\text{пит}} \cdot F_{\text{зк}} = p_{\text{пит}} \cdot (F_{\text{вир}} \cdot z + F_{\text{л}}) \cdot 1,25, \quad (5.2)$$

де $F_{\text{зк}}$ – площа завантажувальної камери у площині, перпендикулярній зусиллю пресування, м^2 ; $F_{\text{вир}}$ і $F_{\text{л}}$ – площі виробу і литникових каналів у площині розніму відповідно, м^2 ; z – кількість гнізд (форм) у прес-формі.

5.2 Прес-форми

5.2.1 Класифікація прес-форм.

Прес-форми – основний робочий інструмент при виготовленні штучних виробів. Види прес-форм класифікуються за такими

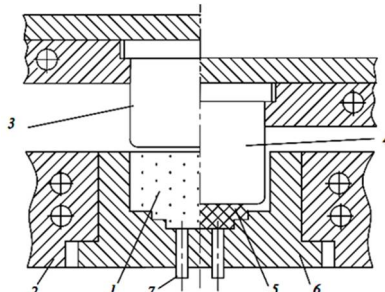
основними ознаками:

- за зв'язком з обладнанням – знімні та стаціонарні;
- за способом виготовлення виробів – для прямого і литтєвого пресування;
- за конструктивними ознаками – відкритого, закритого типу і з перетіканням;
- за кількістю формувальних гнізд – одно- і багатогніздні;
- за характером розніму – з одним горизонтальним, з двома і більше горизонтальних, з комбінованими рознімами.

5.2.2 Конструктивні елементи прес-форм

Усі деталі, з яких складаються прес-форми, поділяються на дві групи:

- технологічного призначення, які безпосередньо беруть участь у формуванні прес-матеріалу;
- конструктивного призначення, які здійснюють взаємну фіксацію деталей прес-форми, її обігрівання, зв'язок з пресом тощо (рис. 5.4).



1 – прес-матеріал; 2 – обойма; 3 – пуансон до пресування; 4 – пуансон після пресування; 5 – виріб; 6 – матриця; 7 – виштовхувачі

Рисунок 5.4 – Приклад конструкції прес-форми для прямого пресування

До технологічних деталей відносяться матриця, пуансон, формувальні знаки і вставки.

Матриця – найвідповідальніший елемент прес-форми. Її внутрішня конфігурація відповідає виробу за зовнішньою формою і

розмірами. Вона може бути суцільною і складеною. При литєвому пресуванні матриця є поєднанням двох елементів: власне матриці та завантажувальної камери. Зовнішня конфігурація матриць, як правило, циліндрична або прямокутна.

Пуансон служить для передачі тиску на прес-матеріал і оформлення внутрішніх поверхонь деталі. Пуансони також можуть бути суцільними і складеними. При правильному сполученні з матрицею між ними має бути мінімальний зазор 0,02...0,03 мм на бік.

Формувальні знаки (стрижні) утворюють у виробі гладкі отвори; вони можуть бути нерухомими і рухомими (служать виштовхувачами).

Вставки (вкладні) служать для створення різного роду заглиблень та асиметричних отворів.

До деталей конструктивного призначення відносяться кріпильні деталі, прокладки, притискні елементи, обойми, нагрівачі тощо.

Основними матеріалами для виготовлення формотвірних деталей прес-форм є сталі. Головні вимоги до них: високі зносо- та корозійна стійкість і низька адгезія до полімерів. Тому найчастіше основні деталі виготовляють з інструментальних сталей, здатних до гартування, а відповідальніші – з нержавіючих і високохромістих сталей. У деяких випадках робочі поверхні піддаються цементуванню, азотуванню або нанесенню гальванічних покриттів – хромуванню, нікелюванню тощо.

Сталі, рекомендовані для виготовлення формотвірних деталей прес-форм, наведені у додатку А.

5.2.3. Розрахунки прес-форм.

При проєктуванні прес-форми для виготовлення нового виробу необхідно зробити низку розрахунків. Вихідними даними для розрахунків є: форма і розміри виробу із всіма необхідними розмірами та граничними відхиленнями на них (або заданими полями допусків), фізичні й технологічні властивості матеріалу виробу (наприклад, температура і тиск пресування) тощо. Стандартні режими пресування деяких реактопластів наведені у додатку Б.

Геометричний розрахунок проводиться з метою визначення фактичних розмірів формотвірних поверхонь прес-форми.

При розрахунку розмірів матриці і напрямної частини пуансона треба виходити з того, що вони утворюють пару з гарантованим

зазором, виконану системі отвору. Виходячи з умов експлуатації прес-форми це може бути пара типу H7/g6, H7/f7.

Середній зовнішній розмір виробу

$$d_{\text{зов сеп}} = d_{\text{зов}} - \delta_{\text{зов}}/2, \quad (5.3)$$

де $d_{\text{зов}}$ – зовнішній поперечний розмір (діаметр) виробу, мм; $\delta_{\text{зов}}$ – поле допуску на зовнішній розмір виробу, мм.

Тоді *номінальний діаметр матриці*

$$D_M = d_{\text{зов сеп}} (1 + n_d/100) - \Delta_M/2, \quad (5.4)$$

де n_d – усадка (у %); Δ_M – поле допуску матриці згідно з обраним типом посадки (наприклад, H7) за ГОСТ 25347-82 [1].

Глибина матриці

$$H = h + h_n + h_b, \quad (5.5)$$

де h – висота виробу, мм; h_n – довжина напрямної частини матриці, мм; h_b – довжина вхідної частини матриці, мм.

Довжина напрямної ділянки, де матриця контактує з пуансоном, звичайно становить 8...12 мм. Вихідна частина матриці робиться конічною з нахилом до 15° для полегшення виштовхування виробу. Звичайно її довжина становить 3...4 мм.

Максимальний діаметр напрямної частини пуансона

$$d_{n \max} = D_{M \min} - 2S_{\min}, \quad (5.6)$$

де S_{\min} – прийнятий при розрахунку мінімальний зазор між матрицею і пуансоном на бік, мм.

Згідно з обраною раніше посадкою (наприклад, f7) і отриманим діаметром виробу $d_{n \max}$ за ГОСТ 25347-82 визначаються номінальний розмір і граничні відхилення напрямної частини пуансона.

Робоча частина пуансона контактує (при необхідності) безпосередньо з прес-матеріалом, тому її розмір залежить від розміру внутрішньої поверхні (наприклад, отвору) виробу, а поле допуску Δ_n обирають у системі валу (наприклад, h7).

Середній внутрішній розмір виробу

$$d_{\text{вн сер}} = d_{\text{вн}} + \delta_{\text{вн}}/2, \quad (5.7)$$

де $d_{\text{вн}}$ – внутрішній поперечний розмір (діаметр) виробу, мм; $\delta_{\text{вн}}$ – поле допуску на внутрішній розмір виробу, мм.

Номінальний діаметр *робочої частини пуансона*

$$d_{\text{п}} = d_{\text{вн сер}} (1 - n_{\text{д}}/100) + \Delta_{\text{п}}/2. \quad (5.8)$$

Розрахунок на міцність і жорсткість проводиться лише для відповідальних формотвірних деталей прес-форми, які піддаються дії значного тиску при пресуванні виробу. При розрахунках треба виявити місця дії найбільших зосереджених чи розподілених навантажень та їх максимальні значення в процесі пресування, скласти оптимальну розрахункову схему, виявити допустимі напруження й деформації за умов експлуатації та вибрати відповідні для цих умов матеріали деталей. Детальніші методики розрахунків наведені у [2, 3].

У практиці проектування прес-форм досить часто внутрішній та зовнішній діаметри обойм, завантажувальних камер, матриць та інших деталей визначаються конструктивно.

Тепловий розрахунок прес-форм проводиться з метою забезпечення рівномірного температурного поля у їх формотвірних деталях. Він служить основою для визначення необхідної потужності, типів, кількості і конструктивних розмірів нагрівачів.

Сумарна необхідна потужність $Q_{\text{н}}$ визначається за формулою

$$Q_{\text{н}} = Q_{\text{к}} + Q_{\text{ен}} + Q_{\text{ос}} + Q_{\text{бс}} + Q_{\text{і}}, \quad (5.9)$$

де $Q_{\text{к}}$ – корисна теплота, що витрачається на нагрівання прес-матеріалу; $Q_{\text{ен}}$ – втрати теплоти у стіл преса; $Q_{\text{ос}}$ – втрати теплоти у навколишнє середовище; $Q_{\text{бс}}$ – втрати тепла крізь болтові з'єднання; $Q_{\text{і}}$ – інші втрати.

Конкретний розрахунок теплових втрат залежить від багатьох факторів, починаючи від форми і розмірів прес-форми, теплофізичних властивостей її матеріалу і прес-матеріалу, умов пресування тощо. У

літературі наводяться методики для розрахунків окремих втрат тепла [2 – 4].

У деяких випадках для ефективнішого використання наявного обладнання виникає необхідність розрахувати *гніздність* прес-форми. При відомій номінальній потужності преса P_n (Н) допустима кількість гнізд n у прес-формі:

- для прямого пресування

$$n = P_n / P_{пр} = P_n / (k r_{пит} \cdot F_{вир}), \quad (5.10)$$

де - $P_{пр}$ – зусилля пресування одного виробу, Н; $k \approx 1,2$ – втрати зусилля на тертя; $r_{пит}$ – питомий тиск пресування, Па; $F_{вир}$ – площа одного виробу в плані, m^2 ;

- для литтєвого пресування

$$n \leq (F_{зк} - F_{л-1}) / F_{вир}, \quad (5.11)$$

де - $F_{зк}$ - площа завантажувальної камери в плані, m^2 ; $F_{л-1}$ – площа литникової системи одного виробу, m^2 .

6 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

Лиття під тиском – один з найважливіших методів виготовлення поштучних виробів з КМ. Основні переваги методу: висока продуктивність, можливість виготовлення виробів складної конфігурації масою від часток грама до декількох десятків кілограмів, висока точність розмірів, відсутність необхідності у додатковому обробленні, економічність, високий рівень автоматизації. Методом лиття під тиском можна переробляти вироби з КМ на основі практично всіх термопластів і деяких реактопластів.

Суть процесу виготовлення виробів литтям під тиском полягає у тому, що полімер у матеріальному циліндрі литтєвої машини плавиться, нагрівається до необхідної температури й за допомогою шнека або плунжера (залежно від типу машини) упорскується у попередньо замкнену литтєву форму. Після охолодження виріб набуває необхідні форми і розміри та видаляється з форми (рис. 6.1).

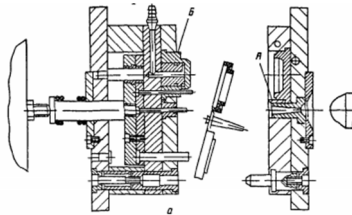


Рисунок 6.1 – Литтєва форма по закінченні циклу виготовлення виробу

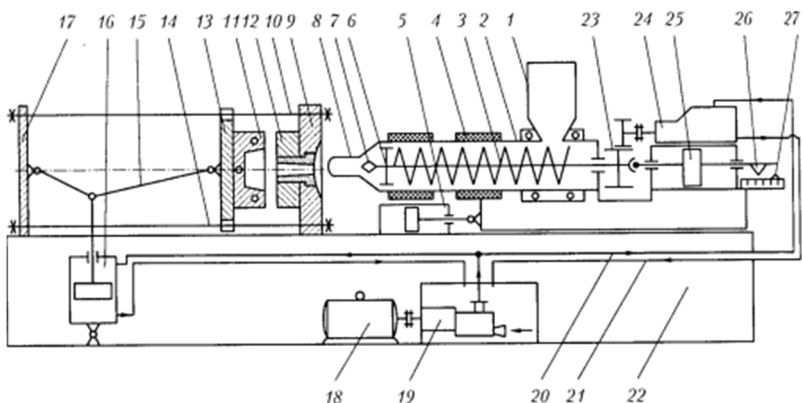
Основне обладнання для лиття під тиском – *литтєві машини*, які поділяються на шнекові і поршневі (або плунжерні). Понад 80% (мас.) виробів виготовляються на шнекових литтєвих машинах.

6.1 Конструкція литтєвих машин

Шнекова одночерв'ячна литтєва машина (рис. 6.2) складається з таких вузлів: вузол пластифікування, литтєва форма (прес-форма), вузол замикаання, станина, системи керування і автоматизації та інші.

Вузол пластифікування призначений для підтримування полімеру у необхідному в'язко-плинному стані. Складається з матеріального циліндра, черв'яка і мундштука. Матеріальний циліндр – товстостінна оболонка (труба), всередині якої рухається шнек. Зонні

нагрівачі, розташовані на поверхні циліндра, забезпечують розподіл температур



1 – бункер; 2 – матеріальний циліндр; 3 – шнек; 4 – зонні нагрівачі; 5 – допоміжний гідравлічний циліндр; 6 – зворотній клапан; 7 – наконечник; 8 – мундштук; 9 – нерухома плита; 10, 14 – напрямні колонки; 12 – матриця; 13 – рухома плита;

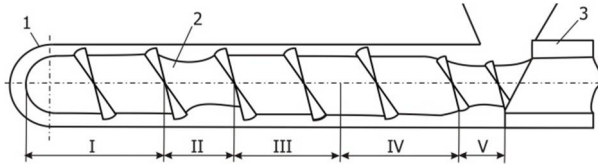
15, 16 – важільний механізм; 17 – задня стінка; 18 – електродвигун; 19 – насосний блок; 20, 21 – гідравлічні трубопроводи; 22 – станина; 23 – зубчаста передача; 24 – гідродвигун; 25 – поршень; 26, 27 – кінцеві вимикачі

Рисунок 6.2 – Схема шнекової литтєвої машини

по його довжині, необхідний для досягнення оптимальних однорідності та в'язкості композиційного матеріалу перед впорскуванням.

Важливим елементом литтєвої машини є черв'як (рис. 6.3). На ефективність лиття під тиском впливає частота обертання черв'яка, його діаметр, крок і глибина різі. На практиці всі черв'яки мають різь з постійним кроком і змінною по довжині глибиною.

Співвідношення довжини і діаметра черв'яка узгоджується з властивостями полімеру і наявного наповнювача, і довжина може досягати до 25 діаметрів. Частота обертання черв'яка – 40 об/хв., осьове переміщення при пресування – до чотирьох діаметрів.

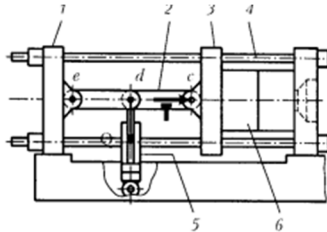


1 – циліндр машини; 2 – черв'як;

Зони: I – вирівнювання температури; II – повторного стиснення; III – гомогенізації;
IV – стиснення; V – завантаження

Рисунок 6.3 – Вузол пластифікування шнекової литтєвої машини

Вузол замикання служить для утримання прес-форми у закритому стані під час впорскування суміші. По суті це горизонтальний прес, який рухає по колонках пуансон, а матриця закріплена нерухомо на стінці литтєвої машини (рис. 6.4). Привідні механізми – важільний, гідравлічно-важільний, гвинтовий або електромеханічний.



1 – задня стінка; 2 – важільний механізм; 3 – рухома плита; 4 – напрямні колонки; 5 – гідропривід; 6 – литтєва форма

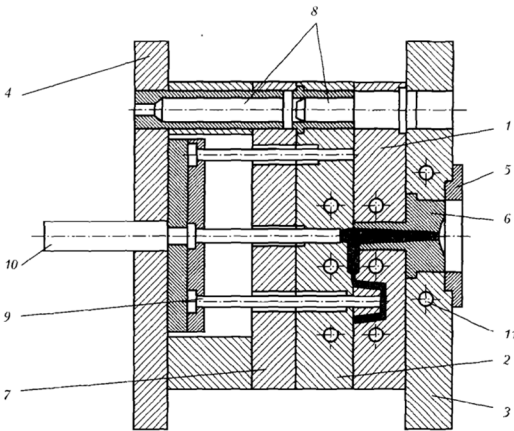
Рисунок 6.4 – Схема гідравлічно-важільного вузла замикання

Для виготовлення крупних деталей з підвищеними вимогами до міцністних характеристик використовуються *поршневі машини*. Вони дозволяють використовувати у більшій кількості волокнисті наповнювачі. При роботі на поршневих машинах підготовка матеріалу до впорскування здійснюється поза машиною. На матеріальному циліндрі також є зонні нагрівачі, які забезпечують необхідну температуру розплаву. Поршень розвиває зусилля до декількох десятків кілоньютонів.

6.2 Литеві форми

6.2.1 Конструкція литевих форм.

Основна оснастка при литті під тиском – *литтєва форма* – подібна до прес-форм для литтєвого пресування. Вона складається з двох частин – рухомої і нерухомої. Основними *формотвірними* деталями форми (рис. 6.5) є матриця, пуансон, литникова втулка і виштовхувачі. До *конструктивних* елементів відносяться плити, кріпильні деталі, напрямні колонки, центрвальна шайба тощо. Крім того деталі поділяються на нормалізовані і спеціальні.



1 – матриця; 2 – пуансон; 3 – нерухома плита; 4 – рухома плита;
5 – центрвальна шайба; 6 – литникова втулка; 7 – плита; 8 – напрямні колонки; 9, 10 – виштовхувачі; 11 – канали для охолоджувальної рідини
Рисунок 6.5 – Схема будови холодноканальної литтєвої форми

Залежно від полімеру матриці КМ литтєві форми поділяються на холодно- і гарячekanальні. *Холодноканальні* форми (90% мас.) використовуються для виготовлення виробів на основі термопластів. Вони мають внутрішні канали для охолоджувальної рідини, яка забезпечує швидке затвердіння всього об'єму матеріалу, що поступив у форму. *Гарячekanальні* форми служать для виготовлення виробів з реактопластів і мають у своєму складі нагрівачі, які надають матриці температуру, необхідну для полімерізації виробу (160...200⁰С).

За кількістю формувальних гнізд поділяються на одно- і багатогніздні.

6.2.2 Литникова система.

Литникова система – це система каналів, які доставляють

матеріал від вузла пластифікації до формувальних гнізд. Вона складається (див. рис. 6.5) з *центрального каналу*, який забезпечує швидке надходження матеріалу в форму; *розвідних каналів*, що підводять матеріал від центрального каналу до гнізд, вони повинні забезпечити мінімальний шлях до гнізд і виконуються по площині розніму форми; *впускних каналів*, що безпосередньо примикають до виробу, дуже коротких, діаметром 0,5...1,2 мм, але їх переріз повинен забезпечити швидке заповнення формувальних гнізд.

7 ЕКСТРУДЕРИ

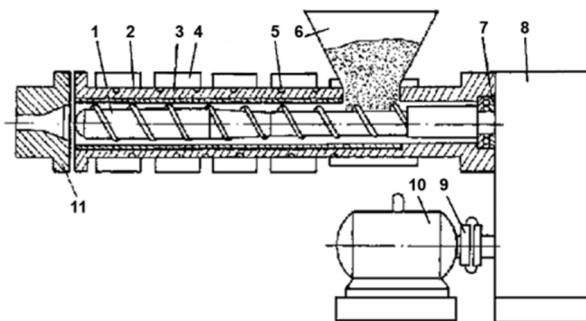
Екструзія – це безперервний метод формування видовжених (погонажних) виробів, який полягає у протисканні полімерного композиційного матеріалу через профільний отвір відповідної конфігурації з наступною фіксацією форми виробу.

7.1 Види екструдерів

Основне обладнання для екструзії – черв'ячні, дискові та поршневі екструдери.

7.1.1 Черв'ячні екструдери.

Черв'ячні (одно- і двочерв'ячні) *екструдери* складаються із завантажувальної частини (бункера), циліндра, черв'яка, формувальної головки і привода (рис. 7.1)



- 1 – черв'як; 2 – гільза; 3 – циліндр; 4 – електронагрівачі; 5 – система охолодження;
6 – завантажувальна частина; 7 – вузол опорного підшипника; 8 – редуктор; 9 – муфта;
10 – електродвигун; 11 – формувальна головка (філь'єра)

Рисунок 7.1 - Одночерв'ячний екструдер з горизонтальним розташуванням циліндра

Завантажувальна частина служить для подавання в екструдер вихідного композиту. Для забезпечення рівномірного подавання суміші в циліндр у бункері можуть бути встановлені «ворушители» або спеціальні живільники. Завантажувальна частина циліндра має охолоджувальну сорочку для збереження працездатності опорного підшипника черв'яка.

Циліндр – це суцільна або складена з декількох секцій труба з

високоякісних сталей. Для зменшення його вартості іноді у циліндрах з дешевої сталі використовують запресовані високоякісні гільзи. Ззовні на циліндрі знаходяться зонні нагрівачі, температура і потужність яких регулюється автономно для забезпечення необхідного температурного режиму екструзії.

В екструдерах використовуються циліндричні черв'яки з постійним кроком і змінною глибиною гвинтової канавки. За глибиною канавок черв'яки поділяються у напрямку руху матеріального потоку на три зони: завантаження, плавлення і стискання і дозування (рис. 7.2).

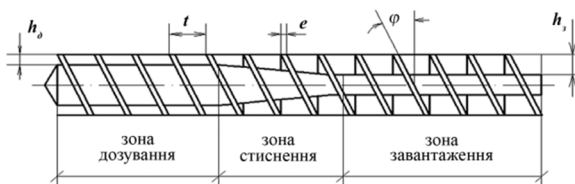


Рисунок 7.2 – Черв'як загального призначення

Використовуються стандартні черв'яки діаметром від 20 до 630 мм, їх довжина може становити від 8 до 35 діаметрів.

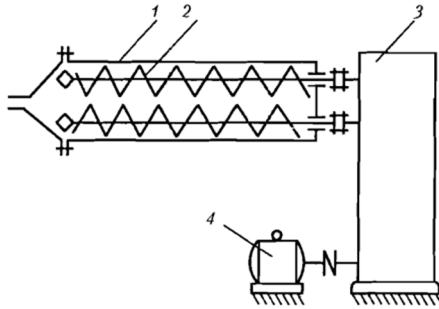
Привід складається з електродвигуна і редуктора. Його призначенні – забезпечити можливість регулювання і стабільність обертання черв'яка на визначеному режиму екструзії.

7.1.2 Двочерв'ячні екструдери.

Двочерв'ячні екструдери застосовуються для перероблення композиційних матеріалів з дисперсними і волокнистими наповнювачами. Конструктивно вони складаються з циліндра, двох черв'яків, розташованих паралельно, і привода (рис. 7.3).

Черв'яки можуть бути як зачіплюваними, так і незачіплюваними; обертатися в одному або зустрічному напрямках; мати ліву або праву різь. Зачеплення може бути щільним і нещільним.

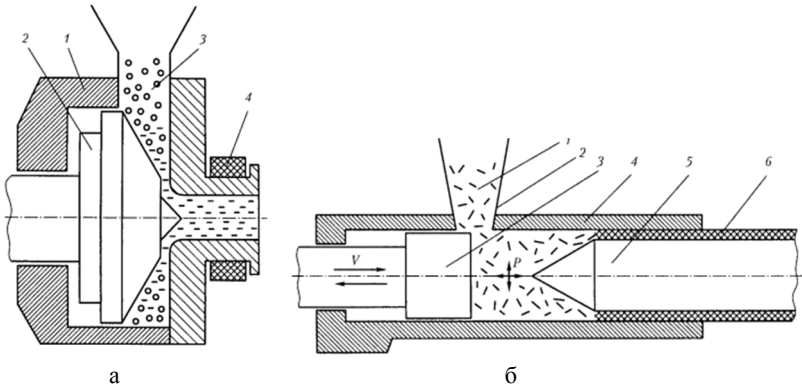
Зазори між черв'яками, черв'яками і циліндром сприяють перетіканню композиту між витковими секціями.



1 – циліндр; 2 – черв'яки; 3 – редуктор; 4 - електродвигун
Рисунок 7.3 – Схема двочерв'ячного екструдера

7.1.3 Дисківі і поршневі екструдери.

Загальна риса дисківих і поршневих екструдерів (рис.7.4) – простота конструкції і мала поширеність.



а: 1 – корпус; 2 – диск; 3 – композит; 4 – нагрівач
б: 1 – композит; 2 – бункер; 3 – плунжер; 4 – циліндр; 5 – дорн;
6 – виріб

Рисунок 7.4 – Схеми дисківого (а) і поршневого (б) екструдерів

У *дисківому екструдері* (рис. 7.4, а) диск обертається з частотою 45 об/с і втягує у конічний зазор вихідний композит. За рахунок тертя останній частково нагрівається, плавиться і витискається через формувальний отвір. Перевагою дисківих екструдерів є високий коефіцієнт корисної дії, а недоліком – низький тиск формування (до 1 МПа).

У поршневному екструдері (рис. 7.4, б) плунжер при русі праворуч перекриває завантажувальний отвір, у камері створює певний тиск, і композит витискається через формувальний отвір. При зворотному русі плунжера завантажувальний отвір відкривається, в робочу камеру поступає нова порція композиту, і цикл повторюється. Поршневі екструдери застосовуються для виготовлення виробів з деяких марок фено- і фторопластів.

7.2 Формувальні головки

7.2.1 Класифікація формувальних головок

Формувальні головки класифікуються за такими ознаками:

-за напрямком виходу виробу: прямоточні, в яких напрямок виходу виробу збігається з віссю черв'яка, і кутові, в яких виріб виходить під кутом до осі екструдера (найчастіше 90^0);

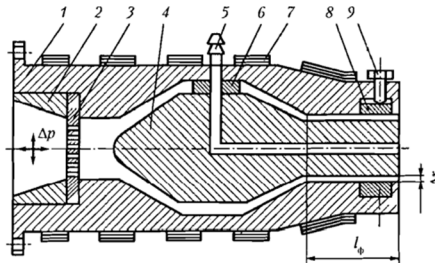
-за конфігурацією формувальної щілини: плоскощілинні, кільцеві, профільні;

-за формою профілю: відкритого типу (листи, стрижні, швелери і т.п.), закритого типу (труби, шланги і т.п.), змішані;

-за величиною тиску: головки низького (до 4МПа), середнього (до 10 МПа) і високого (понад 10 МПа) тиску.

7.2.2 Конструкція формувальних головок.

Конструкція типової прямоточної формувальної головки наведена на рис. 7.5.



1 – корпус; 2 – адаптер; 3 – фільтр-решітка; 4 – дорн; 5 – штуцер стисненого повітря; 6 – дорнотримач; 7 – зонні нагрівачі; 8 – кільце; 9 – гвинти

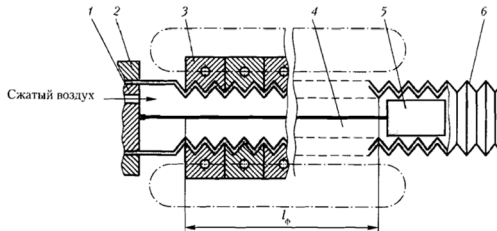
Рисунок 7.5 – Схема типової прямоточної формувальної головки

Металевий корпус виготовляється литим, лито-зварним або складеним. Адаптер служить для узгодження геометричних

характеристик отворів головки і екструдера. Фільтр-решітка служить для затримування у потоці нерозплавлених частинок. Дорн використовується при виготовленні виробів закритого типу. Його зовнішня конфігурація відповідає профілю отвору виробу. Дорн утримується на стійках – дорнотримачах.

Дорнотримачі, розтинаючи потік матеріалу, створюють проблему зварювання потоків перед виходом з головки. Тому у перерізі їм надають овальний профіль, а у деяких випадках встановлюють їх не перпендикулярно стінці труби, а по спіралі, що сприяє гомогенізації матеріалу за товщиною стінки.

У деяких випадках виробу додатково обробляються після виходу з головки. Наприклад, для труб може проводитися *калібрування* по зовнішньому або внутрішньому діаметрам за допомогою додаткових пристроїв. Для виготовлення гофрованих виробів безпосередньо за головкою встановлюють *гофратор* (рис. 7.6), до холодних форм якого стисненим повітрям притискається щойно виготовлена стінка труби. Для контролю внутрішнього діаметра труби використовується корка, прикріплена тросом до дорна.



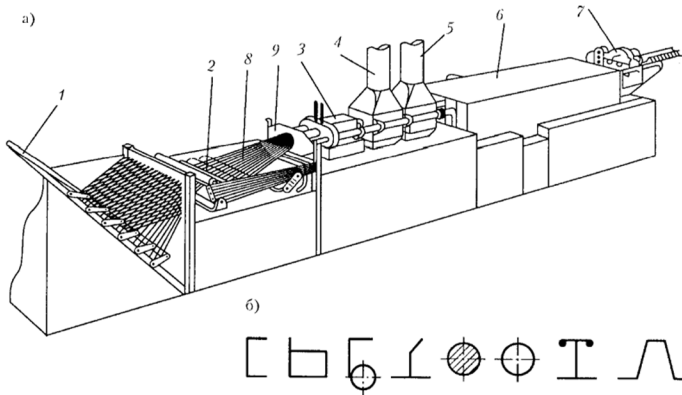
1 – дорн; 2 – мунштук; 3 – півформи; 4 – трос; 5 – корка; 6 – виріб

Рисунок 7.6 Схема гофратора

8 УСТАНОВКИ ДЛЯ ПУЛТРУЗІЇ

Пултрузія (від pull through – протягнути через...) – технологія виготовлення композиційних виробів з використанням як наповнювач односпрямованих неперервних волокон (ниток, стрічок, ровінгу і т.п.). При цьому може використовуватися як «мокра» технологія (нанесення зв'язки здійснюється на початку виготовлення виробу), так і «суха» (з використанням препрегів).

Установка для пултрузії складається з шпулярні, просочувальної ванни, формувальної матриці, камер термооброблення і охолодження, транспортувального блока і різального пристрою (рис. 8.1).



1 – шпулярні; 2 – просочувальна ванна; 3 – формувальна матриця; 4 – камера термооброблення; 5 – камера охолодження; 6 – транспортувальний блок; 7 – різальний пристрій; 8 – просочені волокна; 9 – напрямне кільце
Рисунок 8.1 – Схема установки для пултрузії (а) і приклади перерізів виробів (б)

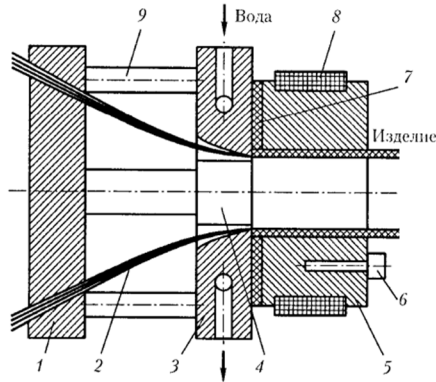
Вихідний матеріал змотується з котушок шпулярні і просочується зв'язкою у ванні. Зайва кількість зв'язки відтискається, після чого виріб у формувальній матриці надається необхідний поперечний переріз. Далі виріб проходить камеру термооброблення довжиною 6...8 м, де відбувається полімеризація при температурі, залежній від властивостей зв'язки. Використовується індукційне або мікрохвильове нагрівання. У наступній камері виріб охолоджується і набуває остаточну форму.

Процес виготовлення йде безперервно. Протягування

здійснюється за допомогою обгумованих роликів або транспортерів зі швидкістю 1...7 м/хв.

Неперервний виріб ріжеться на деталі заданої довжини. До деталей з двох боків можуть прокладатися розділювальні плівки.

Основна оснастка при пултрузії – *формувальна матриця* (рис. 8.2).



- 1 – розподільча плита; 2 – просочені волокна; 3 – охолоджувальна плита;
 4 – дорн (за необхідності); 5 – гаряча зона матриці; 6 – термопара;
 7 – термоізоляційна прокладка; 8 – нагрівач; 9 – колонки

Рисунок 8.2 – Формувальна матриця

Розподільча плита розташовує просочені волокна у заданому порядку по поперечному перерізу виробу. Одночасно відтискається зайва кількість зв'язки. У гарячій зоні створюється необхідна температура, яка контролюється за допомогою термопари. Колонки забезпечують матриці жорсткість. Дорн використовується у випадках виготовлення закритих профілей.

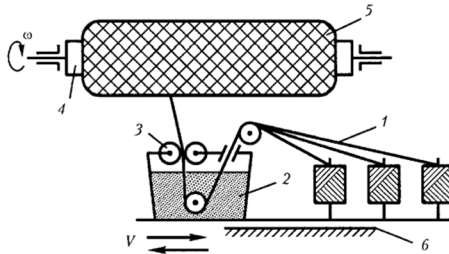
Пултрузія допускає повну автоматизацію процесу і забезпечує високу продуктивність.

9 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПКМ НАМОТУВАННЯМ

Суть *намотування* полягає у тому, що неперервний волокнистий наповнювач (нитка, ровінг, стрічка, препрег) намотується на *оправку*, яка обертається навколо своєї осі, формуючи таким чином необхідні товщину і структуру стінки виробу. Форма виробу визначається конфігурацією оправки (коло, трикутник, еліпс).

Розрізняють «мокре» і «сухе» намотування.

При *мокрому намотуванні* одночасно проходить просочування наповнювача і формування виробу (рис. 9.1). Ванна зі зв'язкою і бобини



1 – волокнистий наповнювач; 2- ванна зі зв'язкою; 3 – відгисні валики; 4 – оправка; 5 – виріб; 6 – напрямна каретки

Рисунок 9.1 – Схема мокрого намотування

з волокнистим наповнювачем знаходяться на одній каретці і рухаються зворотньо-поступально. Співвідношення швидкостей руху каретки V і обертання оправки ω визначають крок намотування і кут волокон відносно осі оправки.

При *сухому намотуванні* на оправку з бобин наноситься препрег, який попередньо нагрівають.

9.1. Верстати для намотування

Типовий верстат для намотування (рис. 9.2) складається зі станини; механізма обертання оправки; механізмів переміщення і обертання ниткорозкладачів; каретки для шпулярні і ванни зі зв'язкою. Вісь оправки може бути горизонтальною і вертикальною.

Обов'язковим є створення натягіння ниток (1...5Н). Температура зв'язки залежить від її властивостей і звичайно становить 60...70°C.

Швидкості обертання оправки і руху волокон залежать від виду волокон, способу укладання наповнювача і точності виробу. Звичайно оправка обертається зі швидкістю 1...3 об/хв., а стрічка рухається зі швидкістю 30...130 м/хв.



Рисунок 9.2 - Верстат для намотування

За кількістю незалежних приводів, що використовуються для укладання наповнювача, верстати для намотування можуть бути чотирьох- і п'ятикоординатними. Кожна координата (к.) має свої призначення і привід:

- к. x – каретка переміщення ниткорозкладача вздовж осі деталі;
- к. y - каретка переміщення ниткорозкладача перпендикулярно осі деталі;
- к. z – обертання оправки;
- к. φ – обертання ниткорозкладача навколо горизонтальної осі;
- к. θ - обертання ниткорозкладача навколо вертикальної осі.

Керування процесом намотування здійснюється за допомогою числового програмного керування (ЧПК).

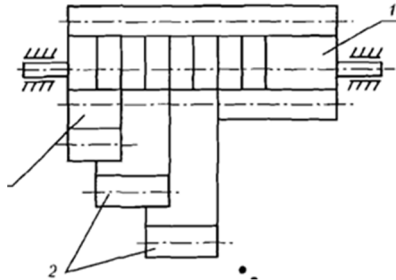
9.2 Способи укладання наповнювача

Спосіб укладання наповнювача при намотуванні суттєво впливає на структуру композиту і визначає опір виробу навантаженням при експлуатації. Найпоширенішими є наступні способи укладання наповнювача.

Кільцеве, або *окружне* укладання (рис. 9.3). Ровінг (нитки, стрічка, препрег) намотуються під кутом до 90° до осі оправки. За

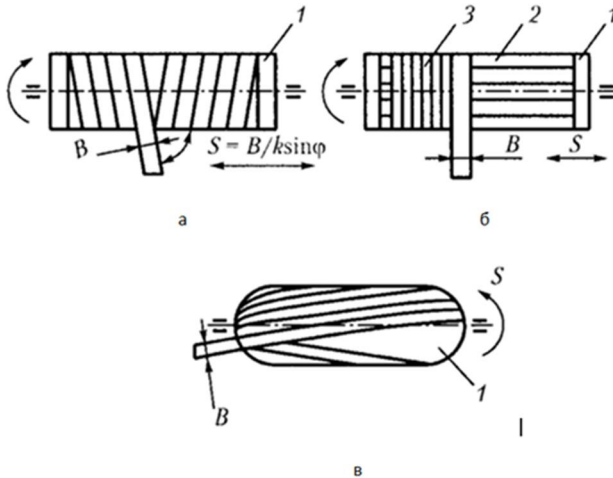
один оберт ниткорозкладач переміщується на ширину стрічки з певним перекриттям.

Спиральне укладання (рис.9.4, а). Оправка обертається безперервно, а ниткорозкладач рухається зворотньо-поступально вздовж її осі. Співвідношення швидкостей руху оправки і ниткорозкладача підбирають так, щоб забезпечити заданий кут намотування β у межах $10 \dots 80^\circ$.



1 – оправка; 2 – рулоні препрегу
Рисунок 9.3 – Схема кільцевого укладання

Поздовжньо-поперечне (комбіноване) укладання (рис. 9.4, б).



1 – оправка; 2 – шар поздовжньої укладки; 3 – шар поперечної укладки
Рисунок 9.4 – Схеми спірального (а), поздовжньо-поперечного (б) і площинного укладання (в)

Рухаються два ниткорозкладача одночасно. Один, обертаючись синхронно з наповнювач оправкою, укладає вздовж осі оправки, а другий, рухаючись вздовж оправки, укладає наповнювач у поперечному напрямку, фіксуючи поздовжню укладку.

Площинне (поздовжнє, орбітальне, полюсне) укладання (рис. 9.4, в). Оправка нерухома, а ниткорозкладач рухається вздовж осі оправки під невеликим кутом; після кожного проходу розкладача оправка обертається на кут, який відповідає ширині стрічки.

9.3 Оправки

Форма і розміри оправки повинні з достатньою точністю відповідати внутрішній поверхні виробу, витримувати силові та температурні навантаження під час намотування і твердіння виробу. Крім того, вони повинні бути технологічними при виготовленні і видаленні з готового виробу.

За конструкцією поділяються на невилучані та вилучані.

Невилучані оправки залишаються у виробі як його конструктивний елемент. Вони виготовляються як тонкі оболонки з металів, термопластів, гуми і т. п.

Вилучані поділяються на нерозкладні, розкладні та руйновані.

Вилучані *нерозкладні* оправки становлять металеву конструкцію з вмонтованою трубчастою віссю; використовуються для виготовлення виробів циліндричної або конічної форми середніх розмірів. *Розкладні* вилучані оправки виготовляються з декількох окремих секцій, які спрощують їх складання і демонтаж після виготовлення виробу. Іноді як розкладні вилучані оправки можуть використовуватися гумові пневмооправки.

Руйновані оправки виготовляються з разових матеріалів, які видаляються шляхом розчинення, вимивання, витоплення і т. п. Для цього використовуються такі матеріали:

- легкоплавкі матеріали – сплав Вуда (вісмут 50%, свинець 25%, олово і кадмій – по 12,5%), суміші на основі воску та стеарину;
- вимивні матеріали – суміші на основі піску з алебастром, полівініловим спиртом або клеями; можуть зміцнюватися металевим каркасом;
- розчинні оправки виготовляються з солей та розчинного гіпсу.

10 ФОРМУВАННЯ ПІД ТИСКОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛАСТИЧНОЇ ДІАФРАГМИ

Суть методу: на жорстку форму, яка відповідає конфігурації виробу, наносять шари композиту, накривають еластичною діафрагмою, герметизують і створюють тиск (вакуумом, пневматичний або в автоклаві) та при необхідності нагрівають для полімеризації.

10.1 Форми

Основне обладнання цього процесу – жорстка *форма*, яка може бути негативною (увігнута – відповідає зовнішньому контуру деталі) і позитивною (опукла –внутрішньому контуру).

Матеріал форми, як правило, залежить від величини партії виробів, що передбачається виготовляти. Для невеликих партій (5...10 шт.) використовується деревина, гіпс, шаруваті пластики. У зв'язку з низькою твердістю цих матеріалів робочу поверхню форм покривають спеціальними композиціями і лаками.

Оскільки більшість виробів проходить полімеризацію при підвищених температурах, важливо, щоб коефіцієнти температурного розширення матеріалу композиту і форми були близькі. З цієї точки зору найближча до всіх композитів є сталь. Щоб наблизити до неї пластики до сталей за коефіцієнтом розширення, у склад полімерів при виготовленні форм додають мідні, залізні або алюмінієві порошки.

Форми з бетону і кераміки використовуються для виготовлення крупногабаритних виробів. Для великих партій форми виготовляють зі сталі, чавуну, алюмінієвих сплавів або гальванопластики на основі нікелю. Вони також забезпечують вищу якість виробів.

Перед укладанням композиту на поверхню форми наносять роздільчий шар (наприклад, парафін або гелькоут) або прокладають полімерну плівку. На поверхню викладеного композиту накладають виготовлені за формою виробу перфоровані *обкладні листи* з алюмінію або склопластику 1...2 мм завтовшки, а на них – один або декілька шарів *дренажної тканини*, завданням якої є відсмоктати зайву кількість зв'язки, яка виділяється з композиту при стисканні.

Зверху накладається *діафрагма*. Діафрагма повинна бути гнучкою, герметичною, міцною, тепло- і хімічно стійкою до

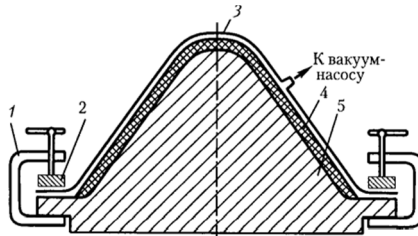
композиту. Кращий матеріал для неї – силіканова гума, але її термін служби невисокий; вона витримує до 1600 формувань.

Діафрагма по контуру виробу ущільнюється за допомогою притискних планок або клеїв.

10.2 Способи формування.

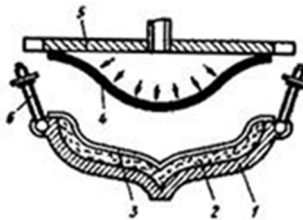
Підготовлений для виготовлення виробу комплект стискають. Величина тиску залежить від розмірів виробу і типу використовуваної полімерної системи. Звичайно використовують вакуумне, пневматичне або автоклавне формування.

При *вакуумному формуванні* вакуумні насоси відсмоктують повітря з-під діафрагми (рис. 10.1). Його особливість полягає у тому, що не можна створити тиск більше 0,1 МПа. Проте воно не обмежує розміри виробу, що виготовляється.



1 – зажим; 2 – притискна планка; 3 – еластична діафрагма; 4 – виріб; 5 – форма
Рисунок 10.1 – Схема вакуумного формування

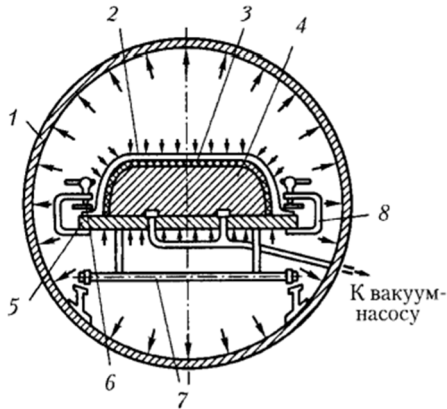
При *пневматичному формуванні* форма становить лише частину обладнання. На робочу поверхню форми поміщають виріб, закривають кришкою з діафрагмою і створюють стисненим газом (або повітрям) необхідний тиск у межах 0,5...2,0 МПа (рис. 10.2).



1 – форма; 2 – виріб; 3 – дренажна тканина; 4 – еластична діафрагма; 5 – кришка; 6 – відкидні болти

Рисунок 10.2 – Схема пневматичного формування

Автоклавне формування здійснюється в автоклавах (рис. 10.3).



1 – корпус автоклава; 2 – еластична діафрагма; 3 – виріб; 4 – форма; 5 – плита;
6 – притискне кільце; 7 – візок; 8 – затискні струбцини
Рисунок 10.3 – Схема автоклавного формування

Автоклав – герметична камера великого об'єму діаметром 0,8...4,5 м і довжиною 1...26 м. У ньому можна створити одночасно необхідні тиск, температуру і газове середовище. Звичайно тиск становить 1...3 МПа, температура 150...380⁰С. Газовим середовищем може бути повітря, інертний газ або азот.

Автоклавне формування – найуніверсальніший метод. Він дозволяє виготовляти крупногабаритні вироби з високою якістю поверхні і низькою пористістю. Головні недоліки – висока вартість обладнання, вимагає велику кількість ручної праці і тому мало придатний у масовому виробництві.

Бар - позасистемна одиниця тиску, що дорівнює 10^5 Па (0,1 МПа, приблизно 750,062 мм рт. ст. або 0,986923 атм. Дрібніша одиниця - мілібар - використовується в метеорології і для вимірювання тиску у вакуумі.

11 ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ НАПИЛЮВАННЯМ

Суть процесу полягає у тому, що рублене скловолокно зі смолою наносять на форму, ущільнюють і при необхідності нагрівають для забезпечення твердіння. Найчастіше для напилювання використовують два види обладнання: установки для напилювання і машини для виготовлення заготовок.

11.1 Установки для напилювання

Установки для напилювання монтуються на рухомій платформі (шасі, рис. 11.1). На ній встановлюють насоси для смоли і каталізатора,

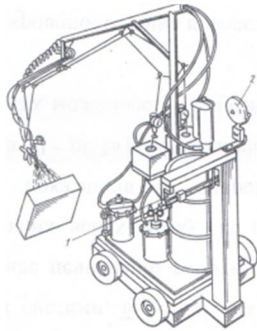


Рисунок 11.1 – Установка для напилювання

напірні баки для смоли, каталізатора і розчинників (ацетон), а також регульовальну апаратуру. На стріловому крані підвішені шланги для подавання матеріалів, які закінчуються пістолетом-розпилювачем.

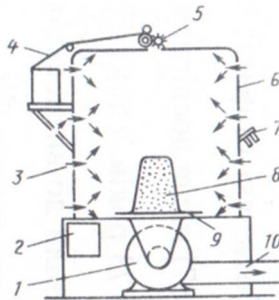
Поршневі *насоси* для подавання смоли і каталізатора працюють на осі спільного привода, що забезпечує точність дозування. *Напірні баки* працюють від надлишкового тиску, який подається через газовий редуктор. *Рубальний пристрій* має два вали: один, гумовий, змотує скловолокно з бобини, а другий має різальну головку. Обидва працюють від пневматичного привода. Скловолокно, попадаючи у зазор між валами, розрізається на відрізки довжиною 12...50 мм. Швидкість обертання, а отже й довжину різання, можна регулювати. *Розпилювальні пристрої* можуть бути з внутрішнім і зовнішнім змішуванням смоли і каталізатора; смолу і рублене скловолокно

змішують зовні до попадання на форму. Рубальний пристрій розташовується на розпилювальному, щоб забезпечити збіжність потоків при попаданні на оброблювану поверхню.

11.2 Виготовлення заготовок напилюванням

Суть методу: на форму заданої конфігурації напилюють суміш склороволна і смоли, просушують, знімають і передають на подальше оброблення. Використовуються машини двох типів: з припливною камерою і з безпосередньою подачею суміші волокон і смоли.

Машини першого типу - закрита камера, усереднені якої знаходиться форма на поворотному столі (рис. 11.2).



- 1 – вентилятор; 2 – пульт керування; 3 – регульовані отвори; 4 – волокно;
5 – різальний пристрій; 6 – припливна камера; 7 – розпилювач зв'язки;
8 – форма; 9 – поворотний стіл; 10 – вихід повітря

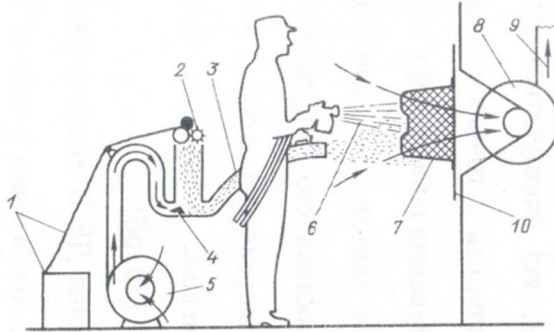
Рисунок 11.2 – Машина для виготовлення заготовок з припливною камерою

Форму виготовляють з сітки з металевого дроту або з металевого перфорованого листа (отвори діаметром 3 мм, загальна площа перфорації – 40%). Рублене волокно і смола всмоктуються зверху і осідають на формі. Для забезпечення рівномірності форма обертається навколо своєї осі з невеликою швидкістю.

На машинах другого типу (рис. 11.3) працює оператор, який спрямовує суміш смоли і різаних волокон на форму заготовки.

Оператор керує потоком суміші відповідно до конфігурації заготовки. Процес може бути перерваний для укладання додаткових шарів тканини, матів у місцях стовщення заготовки, а після цього знову відновлений.

По закінченні процесу наплення заготовку з формою передають на сушіння і подальше оброблення.



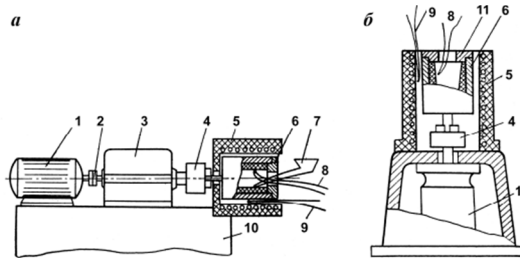
1 – волокно; 2 – різальний пристрій; 3 – гнучкий шланг; 4 – турбулізатор повітря; 5 – вентилятор; 6 – потік суміші; 7 – форма; 8 – витяжний вентилятор; 9 – вихід повітря; 10 – поворотний стіл

Рисунок 11.3 – Машина для виготовлення заготовок безпосередньою подачею суміші волокон і смоли на форму

12 РОТАЦІЙНЕ (ВІДЦЕНТРОВЕ) ФОРМУВАННЯ

Метод *ротаційного формування* ґрунтується на тому, що при обертанні форми сировина рівномірно розподіляється по її поверхні, а внутрішня поверхня, не зовсім гладка, формується лише за рахунок відцентрових сил. Для виготовлення осесиметричних виробів різної форми і величини використовуються установки двох типів.

Для виготовлення порівняно *невеликих виробів* використовуються установки з горизонтальною і вертикальною віссю обертання (рис. 12.1).



- 1 – електродвигун; 2 – муфта; 3 – вузол підшипників; 4 – патрон;
5 – термокамера; 6 – форма; 7 – жолоб для заливання композиту;
8, 9 – термопари; 10 – станина; 11 – кришка форми

Рисунок 12.1 – Конструкція установки з горизонтальною (а) і вертикальною (б) осями обертання

Відкрита або герметична форма знаходиться у термокамері, яка нагрівається спіралями опору, гарячим повітрям, полум'ям або інфрачервоним випромінюванням. Температура у термокамері залежно від типу полімеру – 80...270°C. Частота обертання залежить від виду сировини і габаритів виробу і орієнтовно становить: навколо горизонтальної осі 10...15 об/с, навколо вертикальної – 2...5 об/с. При обертанні навколо вертикальної осі внутрішня поверхня має різну товщину стінки у верхній і нижній частинах виробу. Різнововщинність залежить від частоти обертання і висоти виробу. Частота обертання, яка забезпечує задану різнововщинність дорівнює:

$$n = 600 \cdot \sqrt{\frac{H}{d_n^2 - d_b^2}} \text{ об/хв}, \quad (12.1)$$

де H – висота виробу, мм; d_n , d_b – нижній і верхній діаметри виробу, мм.

Для виготовлення *видовжених виробів* використовуються установки іншого типу. Вони складаються з форми – товстостінної труби, механізму обертання, який обертає її на роликах, і допоміжних інструментів.

Наповнювач з тканини, матів, ровінгу викладається у формі вручну і ущільнюється за допомогою роликів на пересувних штангах. При цьому формі надається обертання з невеликою швидкістю (рис. 12.2, а).

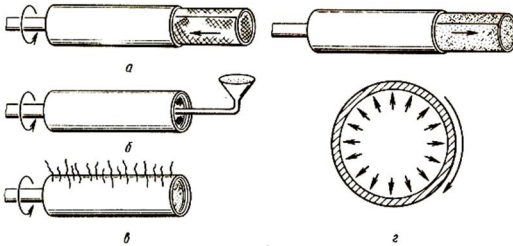


Рисунок 12.2 Схема ротаційного формування

Коли формі задається основна швидкість обертання, через торцеві отвори заливається рідка зв'язувальна речовина (рис. 12.2, б). Робоча частота обертання не повинна перевищувати певну критичну величину:

$$n_{кр} = \frac{200}{\sqrt{R - t}} \text{ (с}^{-1}\text{)}, \quad (12.2)$$

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

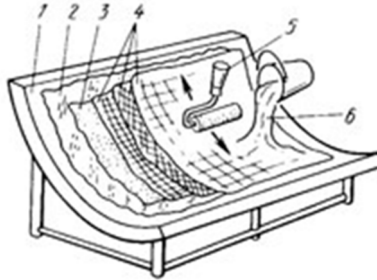
Звичайно виготовляють вироби діаметром до 1500 мм, довжиною до 3000 мм, з товщиною стінки 2...20 мм.

Нагрівання з метою полімеризації (рис. 12.2, в) проводиться під час обертання (близько 15...20 хв.) за допомогою зовнішніх нагрівачів. Температура нагрівання залежить від виду сировини і впливає на продуктивність процесу.

Після закінчення полімеризації форму зупиняють, охолоджують і видаляють виріб (рис. 12.2, г).

13 КОНТАКТНЕ ФОРМУВАННЯ

Контактне формування у відкритих формах здійснюється головним чином ручною викладкою (рис. 13.1) і застосовується для виготовлення великогабаритних малонавантажених деталей складної конфігурації: коробчастих кожухів механізмів, баків, корпусів та інших елементів човнів, катерів і т.п..



1 – форма; 2 – роздільний шар; 3 – зовнішній шар виробу; 4 – наповнювач;
5 - ручний валик; 6 – смола з каталізатором

Рисунок 13.1 – Приклад контактного формування

13.1 Форми

Головне обладнання контактного формування – *форми*. Вони задають виробу конфігурацію, повинні витримувати силові й температурні навантаження.

Форми поділяються:

- за формою робочої поверхні – позитивні та негативні;
- за конструктивним оформленням – тонкостінні та монолітні.

Позитивна, опукла форма робочої поверхні створює гладкою внутрішню поверхню виробу, а *негативна*, увігнута – зовнішню.

Тонкостінні форми – це форми разового використання (5...10 виробів, рис. 13.2, а). Матеріал робочої поверхні – фанера, алюміній, сталь, композиційні матеріали. З окремих вузлів виготовлявся каркас, на який нашивали листовий матеріал.

Монолітні (постійні) *форми* – зберігаються для повторного використання, експлуатуються декілька років. Вони виготовляються з алюмінію, сталі, кераміки, гіпсу, цементних або піскоклеєвих

сумішей за допомогою моделей і вставок. Бажано, щоб матеріал форми і виробу мали близькі коефіцієнти теплового розширення

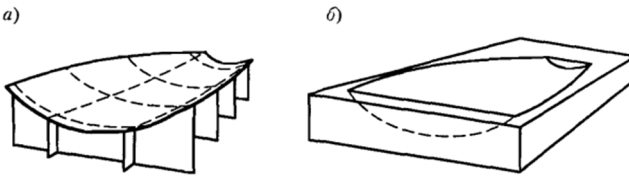


Рисунок 13.2 – Тонкостінна (а) і монолітна (б) форми

Модель – тимчасовий виріб, по якому виготовляють форму. Вона повинна точно відповідати майбутній деталі (форма, розміри, шорсткість поверхні тощо). Матеріал моделі повинен зберігати форму тривалий час. Вона виготовляється за кресленням деталі, але має відбуртовочні фланці, які створюють порожнини для витискання зайвого матеріалу при формуванні. Модель виготовляють методами лиття (гіпс, метали). По моделі формують *робочу поверхню* монолітної форми, обов'язково багат шарову. *Задню поверхню* форми зміцнюється металом або деревиною.

Вставки служать для виготовлення порожнин і отворів і виготовляються з деревини, гіпсу, комбінацій гіпсу з металами та іншими матеріалами.

13.2 Укладання наповнювача

Вихідний наповнювач – препреги, мати, стрічки, полотно – поступає у рулонах. З них вирізають окремі листи необхідної форми і розмірів. Їх викладають встик або з перекриттям не більше 5 мм. Окремі листи зшиваються вручну або як у швейній промисловості.

Укладання ведеться вручну без зморшок і складок (рис. 13.3) і ущільнюється ручними валиками.

З метою скорочення часу укладання використовують шаблони.

Шаблони виготовляються з цупкої тканини, фанери, полімерних листів. При вирізанні враховують припуски. За шаблонами вирізають листи наповнювача; іноді їх вирізають пакетом. Для точності викладання вирізаних листів на формі виставляють *штирі*, а на шаблоні роблять відповідні отвори. Допускається робити розкрій безпосередньо на формі.

Викладка може вестися у декілька шарів. Кількість шарів залежить від заданої товщини і товщини вихідного матеріалу. Стики у послідовних шарах не повинні співпадати.



Рисунок 13.3 – Ручне викладання

13.3 Викладальні верстати

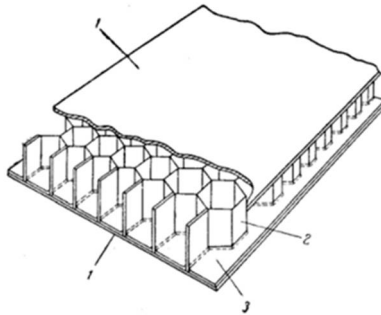
Викладальні верстати (рис. 13.4) служать для виготовлення заготовок плоских деталей. Викладальні головки накладають один шар наповнювача на інший на столі верстата. Використовують стрічки шириною 75...600 мм, точність орієнтації при розкрої – $\pm 1^\circ$. Листи, вирізані на столі верстата, переносять на форму. Деякі верстати можуть переносити заготовки безпосередньо на форму.



Рисунок 13.4 - Викладальний верстат

14 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТІЛЬНИКОВИХ ЗАПОВНЮВАЧІВ

Заповнювачі служать для виготовлення стільникових конструкцій. *Стільникова конструкція* складається з двох тонких зовнішніх тримких пластин (обшивки) і заповнювача між ними (рис. 14.1).



1 – тримкі пластини (обшивка); 2 – заповнювач; 3 – клейовий шар
Рисунок 14.1 - Панель стільникової конструкції

14.1 Матеріал і види заповнювачів

Заповнювач виготовляється з легких і міцних матеріалів, сформованих у вигляді стільників. Стільникова форма заповнювача служить для створення об'єму конструкції виробу, який має малу густину і високу міцність на стискання. Для створення чарунок заповнювача, як правило, використовується матеріал у вигляді тонких стрічок.

Матеріал стрічок може бути металевим і неметалевим.

Металева фольга для стрічок виготовляється з алюмінієвих сплавів АМг2-Н, А5Т, титанових сплавів ОТ4, ВТ1-10, ВТ15, ВТ6-4, сталей СН-3, ЭП35, ЭИ654, 12Х18Н10Т та інше. Звичайно металева фольга має товщину 20...80 мкм.

Металеві стрічки можуть бути з дренажними отворами і без них. Дренажні отвори призначені для вирівнювання тиску між порожнинами стільникових чарунок і довкіллям, а також для видалення газів, які утворюються при твердінні деяких клеїв. Діаметр дренажних отворів - не більше 0,5 мм.

Неметалеві стрічки виготовляють з бавовняних (бязь) та скляних тканин (марок Т, Т-13, Э, ЭСТБ), синтетичних полімерних матеріалів (ПСП, НРН, НРР), технічного паперу (крафт-папір, кабельний папір) тощо. Всі неметалеві матеріали просочуються різними сполучниками для надання необхідної міцності і жорсткості. Заповнювачі на основі полімерів і паперу у 1,5...2,0 рази легше заповнювачів на основі склотканин.

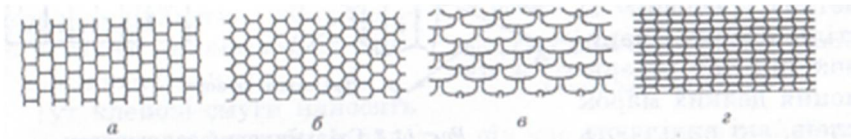
Механічні властивості стільникових заповнювачів на основі алюмінієвої і вуглецевої стрічок наведені у додатку В [16].

Як заповнювачі у деяких випадках можуть використовуватися пінопласти ПВ-1, ПХВ-1, ПУ-101 та інші. Суть їх використання полягає у тому, що піноутвірний матеріал є одночасно і заповнювачем, і адгезивом.

14.2 Способи формування заповнювачів

Заповнювач виготовляється шляхом адгезійного з'єднання тонких стрічок з того чи іншого матеріалу і подальшого створення чарунок.

Форма чарунок може бути досить різноманітною - шестигранною, квадратною, овальною та іншою (рис. 14.2), але найчастіше – це правильна (ізотропна) шестигранна форма. Заповнювач такої форми має найбільшу площу склеювання з обшивкою. Форма чарунок залежить від матеріалу заповнювача, технології виготовлення та очікуваного напрямку дії основних сил в експлуатації.



а – прямокутна; б – шестигранна; в – флексор; г – шестигранна підсилена
Рисунок 14.2 - Форми чарунок стільникових заповнювачів

Розмір чарунок суттєво впливає на основні фізико-механічні властивості конструкції в цілому. При інших однакових характеристиках збільшення розмірів чарунок призводить до зменшення міцності заповнювача, але й до зменшення його густини. Розміри чарунок з металевих матеріалів, як правило, знаходяться у

межах 2,5...8,0 мм, з «м'яких» матеріалів (наприклад, з крафт-паперу) – у межах 6...20 мм.

Формування чарунок заповнювачів здійснюється ріфленням і розтягуванням склеєних стрічок.

При *ріфленні* металева стрічка знежирюється і пропускається між спеціальними валками (рис. 14.3). Іноді гофри створюють прямим пресуванням з використанням закладних стрижнів заданої конфігурації. На гребні гофрованих листів вручну або за допомогою валика наносять клей, листи складають у стопку і витримують під невеликим тиском до затвердіння клею.

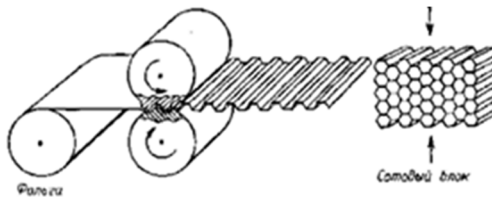
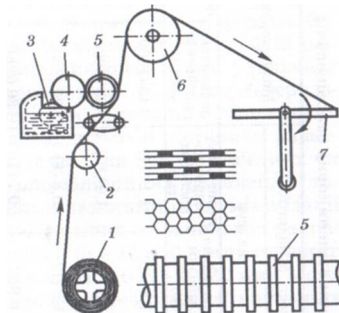


Рисунок 14.3 – Ріфлення металевої стрічки

Розтягуванням склеєних стрічок виготовляють заповнювач зі склотканини, паперу і тому подібних матеріалів. Для нанесення клейових смужок залежно від ширини тканини (стрічки) використовують два види роликів – з поздовжнім і поперечним розташуванням ребер на роликах (рис. 14.4).



1 – рулон тканини; 2 – натяжний ролик; 3 – змащувальний ролик; 4 – проміжний ролик; 5 – наносний ролик; 6 – сушильний пристрій; 7 – приймальна рамка

Рисунок 14.4 – Схема автомата для нанесення клейових стрічок

Тканина після нанесення клею розрізається на полоси необхідного розміру, які складаються у пакет таким чином, щоб смужки клею розташовувалися у шахматному порядку. Пакет стискається у спеціальному пристрої, при необхідності нагрівається і витримується до затвердіння клею.

Після склеювання пакети піддаються розтягуванню. Залежно від ширини склеєної полоси *установки для розтягування* поділяються на два типи: з горизонтальним розтягуванням (експандери, рис. 14.5) – для вузьких пакетів, і з вертикальним розтягуванням – для широких.



Рисунок 14.5 - Експандер ЕДОК 120/100

Клеї (найчастіше синтетичні), які використовуються для склеювання між собою сформованих стрічок, поділяються на плівкові і рідкі, для холодного і гарячого склеювання. Плівкові клеї забезпечують можливість отримання рівномірного шару по всій поверхні, а також дають можливість механізації розкрою і нанесення плівок.

Найпоширеніші рідкі *фенолформальдегідні клеї* БФ-2, БФ-4 і МПФ-1 призначені для склеювання металів і неметалів, а також їх між собою. Робоча температура від - 60 до +80°C. При випробуванні на розшарування ці клеї показують міцність, яка наближається до міцності алюмінієвої фольги.

Плівкові *епоксидні клеї* мають чимало переваг перед фенольними. Внаслідок їх здатності до термоусадки утворюється якісне з'єднання стінки чарунки з обшивкою при невеликих витратах клею. Клеї типу ВК-31, ВК-36...ВК-41, ВК-46 (ТУ 1-596-380-96) – це плівкові епоксидні клеї гарячого твердіння ($t = 120...180^{\circ}\text{C}$). Клеї ВК-31 і ВК-36 використовуються для склеювання стільникових

конструкцій з температурою експлуатації від -60 до $+80^{\circ}\text{C}$ і від -60 до $+150^{\circ}\text{C}$ відповідно.

Фенолкаучукові клеї використовують тільки для конструкцій з перфорованими металевими заповнювачами, оскільки в процесі їх твердіння виділяються газоподібні продукти. Клеї типу ВК-3, ВК-32-200 – плівкові клеї з підшаром з рідкого клею - мають одночасно високі міцність, теплостійкість та еластичність. Інтервал робочих температур - від -60 до $+150^{\circ}\text{C}$.

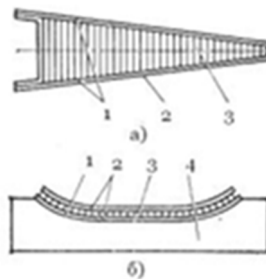
14.3 Остаточне оброблення заповнювачів

Отриманий заповнювач має форму, близьку до паралелепіпеда. З нього механічним оброблюванням вирізають заготовки, які за конфігурацією наближаються до конфігурації відповідного виробу.

Для різання використовують: стрічкові пилки, дискові фрези, плоскі дискові ножі без зубців з частотою обертання $12\ldots 18$ тис. об/хв. У деяких випадках використовується різання за плазовими шаблонами.

Для збереження форми чарунок перед обробленням різанням їх можуть заливати ксилітом (температура плавлення $140\ldots 150^{\circ}\text{C}$), а після механічного оброблення ксиліт виплавляють.

У деяких випадках для надання необхідної конфігурації використовують формотвірну оснастку (рис.14.6). Іноді заповнювач попередньо згинають.



1 – базові поверхні; 2 – обшивка; 3 – заповнювач; 4 – матриця

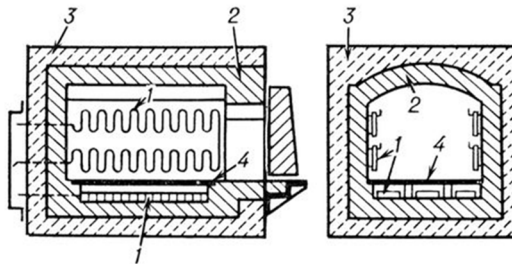
Рисунок 14.6 – Базування вузлів при складанні по обробленому заповнювачу (а) і по матриці (б)

15 ПЕЧІ ДЛЯ ПОЛІМЕРІЗАЦІЇ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Особливість печей для полімеризації композиційних матеріалів полягає у тому, що для більшості полімерів необхідна температура 150...320°C (лише для вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів більша) і контрольована атмосфера. Крім того, вибираючи піч для полімеризації, необхідно враховувати, як відбувається нагрівання: з поверхні чи по об'єму виробу.

15.1 Електричні печі

Найпоширеніший тип електричних печей – це *електричні печі опору*. Їхня конструкція (рис. 15.1) складається з металевого каркаса,



1 – нагрівачі; 2 – теплоізоляція; 3 – каркас; 4 – піддон
Рисунок 15.1 – Схема електричної печі опору

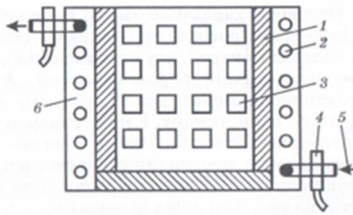
всередині якого знаходиться товстий шар теплоізоляції (вогнетривка цегла). На стінах теплоізоляції закріплені нагрівальні елементи – дріт, спіралі, стрічки, стрижні з ніхрому, хромелю, а у деяких випадках – з графіту, силіту, вольфраму або молібдені. При використанні останніх в печі необхідна захисна атмосфера.

У печах низької температури можуть застосовуватися вентилятори для створення рівномірної температури по об'єму печі. Форма і розміри печей, їх основні характеристики залежать від типу виробів.

Основним елементом *печей індукційного нагрівання* є індуктор - спіраль з мідної трубки $\varnothing 10 \dots 20$ мм, яка охолоджується водою. При подачі у нього струму високої частоти у металевих конструкціях, що знаходяться всередині індуктора, наводяться вихрові струми, які й

нагрівають їх. Частота струму залежить від розмірів металевої конструкції та питомого електричного опору її матеріалу.

Оскільки полімерні матеріали неелектропровідні, вихрові струми наводяться у прес-формах або у спеціальних товстостінних циліндрах- нагрівачах (рис. 15.2), а від них тепло передається виробам.



1 – циліндр-нагрівач; 2 – індуктор; 3 – вироби; 4 – електричні контакти; 5 – підведенні охолоджувальної води; 6 – теплоізоляція

Рисунок 15.2 – Схема індукційного нагрівання

Для нагрівання матеріалу прес-формах часто використовують для нагрівання *термоелектричні нагрівачі* (ТЕНи). Вони складаються зі спіралі з ніхрому або іншого матеріалу з великим опором, яка оточена термоізоляцією і знаходиться у металевому футлярі. ТЕНи можуть мати різноманітні форми, розмірів і потужності (рис. 15.3).

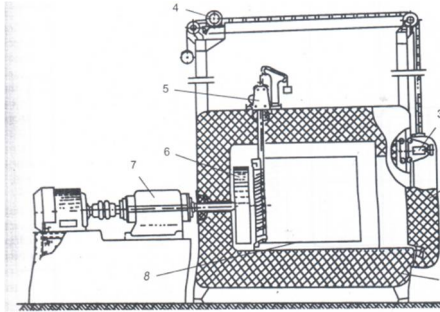


Рисунок 15.3 – Термонагрівачі промислові (а) і патронні (б)

15.2 Печі аеродинамічного нагрівання

Робота *аеродинамічних печей* ґрунтується на тому, що при русі газу у замкненому просторі його кінетична енергія за рахунок тертя перетворюється на теплову. При чому зі збільшенням температури пришвидчується рух молекул газу, а отже й коефіцієнт внутрішнього тертя, що у свою чергу сприяє підвищенню температури.

У аеродинамічних печах не використовується окремий нагрівач. Джерелом енергії служить вентилятор (рис. 15.4). Максимальна температура у печі обмежується теплостійкістю матеріалу лопатей вентилятора та ефективністю теплоізоляції печі і може досягати 600...700⁰С.



- 1 – камера печі; 2 – заслінка; 3 – механізм притискання заслінки; 4 – механізм піднімання заслінки; 5 – терморегулятор; 6 – відцентровий вентилятор;
7 – електродвигун; 8 – решітка

Рисунок 15.4 – Схема аеродинамічної печі

15.3 Печі з інфрачервоним нагріванням

Інфрачервоне випромінювання - це потік теплової енергії, який вільно проходить через прозоре середовище (наприклад, атмосферу), а при попаданні на непрозорий матеріал нагріває його верхні шари. Подальше поширення теплоти відбувається шляхом теплопровідності. Тим самим виникає можливість нагрівати товсті шари матеріалу.

Для низькотемпературного нагрівання як джерело інфрачервоного випромінювання використовують дзеркальні лампи розжарювання, галогенні лампи розжарювання (рис. 15.5) та герметичні трубчасті електронагрівачі.

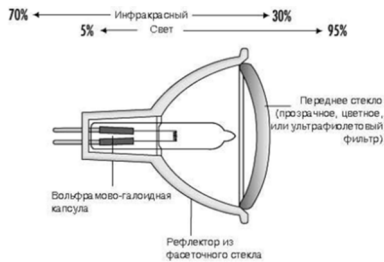


Рисунок 15.5 – Галогенна лампа розжарювання

Для підвищення ефективності інфрачервоного нагрівання лампи збираються у панелі, які дозволяють нагрівати великі площі одночасно. Вони здебільшого прості і доступні, мають відносно невисоку вартість, можуть використовуватися на різних стадіях виготовлення виробу, що сприяє підвищенню його якості.

15.4 Печі надвисокої частоти

Їх дія ґрунтується на можливості неелектропровідних матеріалів поглинати *електромагнітні хвилі надвисокої частоти* (НВЧ, частота до 100ГГц). При цьому матеріал нагрівається зразу по всій масі.

Піч (рис. 15.6) складається з теплоізольованої камери, трансформатора високовольтного живлення, магнетрона – генератора електромагнітних коливань НВЧ, хвильовода, механізму обертання виробу та інших.

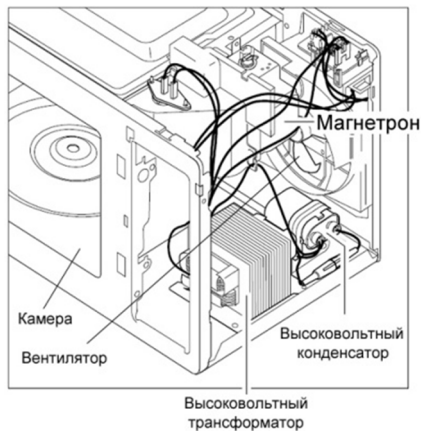


Рисунок 15.6 - Схема печі надвисокої частоти

Частота випромінювання повинна дорівнювати резонансній частоті матеріалу. Практично печі працюють на частоті 2...3 ГГц, мають потужність від 10 Вт до 5 МВт і коефіцієнт корисної дії до 80%.

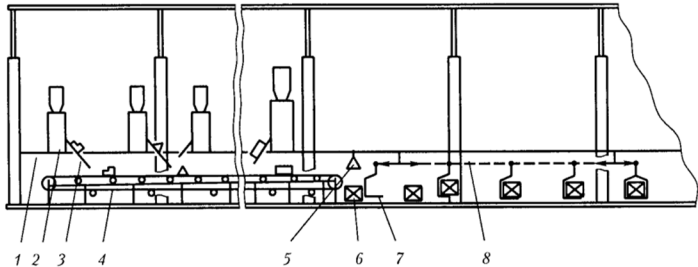
16 ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА

16.1 Механізація технологічних процесів

Механізація при виробництві композиційних матеріалів використовується головним чином для переміщення виробів по стадіях технологічного процесу. Вона дозволяє зменшити навантаження на робітників, сприяє прискоренню допоміжних операцій, підвищенню якості продукції.

Найчастіше використовуються наступні засоби механізації.

Конвеєр – транспортний засіб, носійний і тяговий елемент якого утворює нескінченний замкнений контур. За конструкцією вони поділяються на стрічкові й ланцюгові (рис. 16.1), підлогові та підвісні, можуть працювати циклічно або безперервно.



1 – робоча ділянка; 2 – робочий механізм; 3 – лоток; 4 – стрічковий конвеєр; 5 – ділянка контролю; 6 – заповнений виріб; 7 – підвіс; 8 – підвісний ланцюговий конвеєр

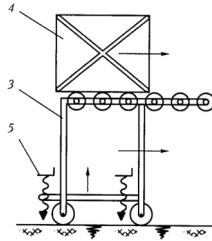
Рисунок 16.1 – Схема роботи стрічкового і ланцюгового конвеєрів

Основа стрічкового конвеєра – стрічка з прогумованої тканини, призначена для переміщення порівняно неважких виробів. Ланцюговий конвеєр складається з металевих ланок, на яких або зверху закріплені опорні пластини, або знизу підвішені підвіси з площадками для закріплення вантажів. Вони можуть переміщати більші вантажі та гарячі вироби.

Підлогові конвеєри тяговим ланцюгом переміщують на візках важкі вироби, прес-форми, елементи обладнання тощо.

Рольганги (роликіві конвеєри) мають робочу поверхню з роликів (сталевих циліндрів), закріплених на невеликій відстані у напрямних. По них порівняно легко можна переміщати вантажі.

Рольганги можуть бути стаціонарними і пересувними (рис. 16.2). Висота робочої площадки регулюється домкратами.



3 – рольганг; 4 – вантаж; 5- домкрати

Рисунок 16.2 – Схема пересувного рольганга

Промисловий робот – стаціонарний або пересувний механізм, який складається з виконавчого органу – маніпулятора, механізмів руху маніпулятора, пристрою програмного керування для виконання у виробничому процесі рухових функцій. Маніпулятор складається з ланок, які забезпечують його поступальний і кутовий (обертовий) рух (рис. 16.3).

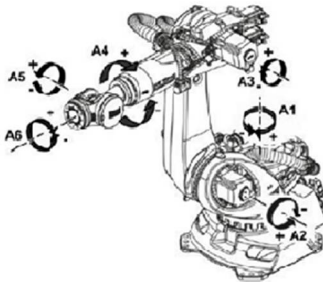


Рисунок 16.3 – Кінематична схема промислового робота

«Рука» маніпулятора може оснащатися різними інструментами. Основними характеристиками промислових роботів є вантажопідйомність, точність позиціонування, кількість ступенів свободи і швидкість рухів маніпулятора.

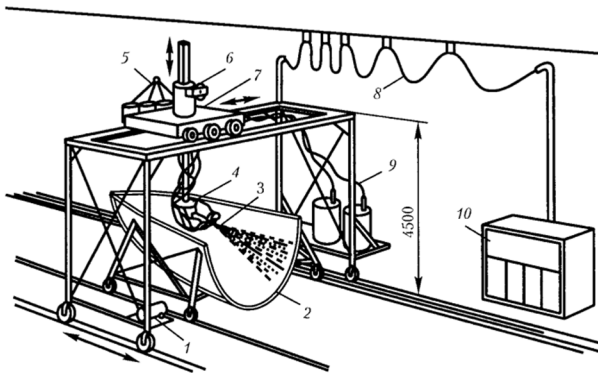
16.2 Автоматизація технологічних процесів

Автоматизація полягає у тому, що всі операції технологічного процесу здійснюються без участі робітника, а його роль зводиться до

контролю за процесом, зміни оснастки та забезпечення автомата сировиною. Це сприяє підвищенню якості продукції на всіх етапах її виготовлення.

Прикладом використання систем автоматизації є виготовлення композиційних матеріалів намотуванням (розділ 9, с. 52). Всі рухи верстата для намотування виконуються завдяки програмному забезпеченню, що використовується. Завдяки зміні програм керування можна легко і швидко перейти від одного способу намотування до іншого.

При масовому формуванні великих виробів методом напилювання застосовують автомати для напилювання (рис. 16.4).



1 – привід поперечного переміщення; 2 – форма; 3 – розпилювальний пристрій; 4 – поворотна головка; 5 – шпулярня скловолокна; 6 – привід вертикального переміщення; 7 – привід поперечного переміщення; 8 – кабель; 9 – підведення смоли і каталізатора; 10 – блок керування

Рисунок 16.4 – Схема роботи автомата для напилювання

Автомат застосовується для виготовлення виробів напилюванням у відкритих формах. Основний візок здійснює поперечний рух, а на ньому – візок поперечного руху. На останньому розташована штанга вертикального переміщення з розпилювачем. Блок керування провадить узгоджені рухи у всіх трьох напрямках, завдяки чому забезпечується точне розташування розпилювача відносно форми у кожний момент напилювання.

При виготовленні контактним формуванням достатньо великої виробів для підготовки пакета наповнювача використовуються автоматичні верстати для викладання. Верстат (рис. 13.4, с. 69) має

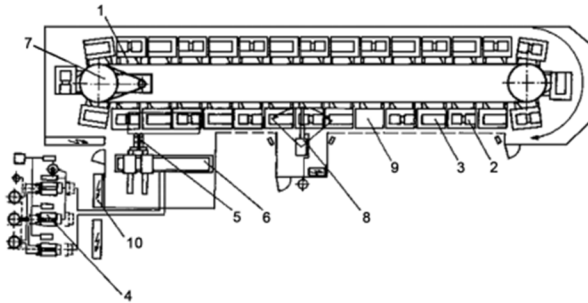
п'ять керованих координат, велику робочу площу вакуумного стола (9220ммх3000 мм); На верстаті може оброблятися матеріал у вигляді як широкого полотна препрегу, так і достатньо вузьких стрічок. При необхідності нагрівання використовується прикочувальний ролик з температурою 40...60⁰С.

При виготовленні заповнювачів з «м'яких» матеріалів використовуються автомати для нанесення смужок клею; їх робота описана у розділі 14 (рис. 14.4, с. 69).

16.3 Автоматичні лінії

Автоматичні технологічні лінії служать для безперервного виготовлення типових виробів у масовому виробництві, починаючи від завантажування вихідних матеріалів і закінчуючи контролем якості продукції. Їх використання забезпечує високі якість продукції та продуктивність, але у той же час обмежується особливостями того чи іншого технологічного процесу.

Приклад автоматичної лінії з циклічним виготовленням штучних виробів наведений на рис. 16.4.

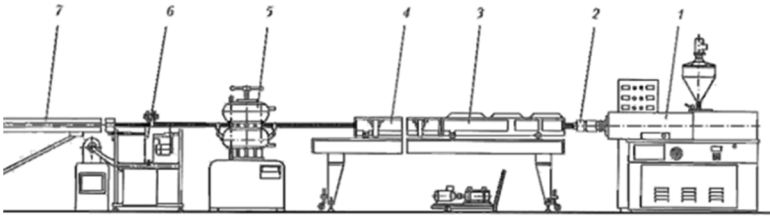


1 – ланцюговий транспортер; 2 – форми; 3 – обертовий транспортер; 4 – дозатор; 5 – головка живлення форм; 6 – привід головки; 7 – привід транспортера; 8 – пристрій підготовки форм; 9 – візок форм; 10 – вузол керування

Рисунок 16.4 – Схема лінійно-обертової технологічної лінії циклічного формування

На конвеєрі знаходяться 30 форм, закріплені на держачах. Вони періодично через головку заповнюються вихідним композитом, формуються і при подальшому русі охолоджуються. На позиції підготовки форма звільнюється від виробу, обертуючись навколо поздовжньої осі держача. Цикл процесу триває 7,5 с.

Прикладом автоматичної лінії неперервного виробництва може служити лінія з виробництва труб (рис. 16.5).

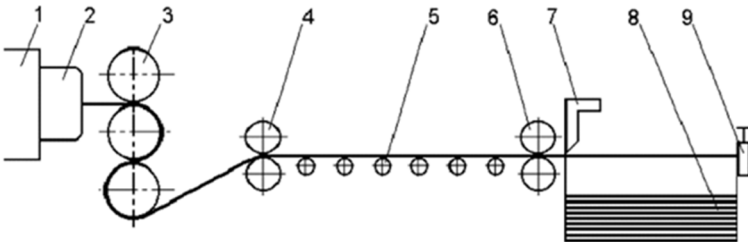


1 – екструдер; 2 – формувальна головка; 3 – калібрувальний пристрій; 4 – зона охолодження; 5 – транспортувальний блок; 6 – різальний пристрій; 7 – коливальний жолоб

Рисунок 16.5 – Схема автоматичної лінії для виробництва труб.

Основа лінії – одночерв'ячний екструдер. Лінія може виготовляти труби діаметром до 1 м з товщиною стінки 0,2...5 мм. Зовнішній діаметр труб задається калібрувальними втулками, внутрішній – за рахунок пневматичного тиску.

Аналогічно працює автоматична лінія для виробництва листів та іншої профільної продукції (рис. 16.6).



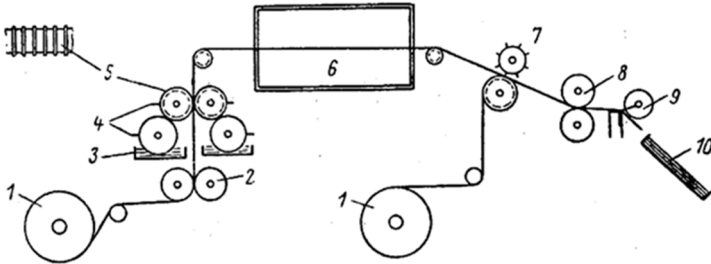
1 – екструдер; 2 – плоскощільна формувальна головка; 3 – полірувальні каландри; 4 – дискові ножі поздовжнього різання; 5 – рольганг; 6 – транспортувальні валки; 7 – різальний пристрій; 8 – укладальник листів; 9 – регулятор довжини листів

Рисунок 16.6 – Схема автоматичної лінії для виробництва листів

Екструдер витискає плоский виріб, який проходить двічі через зазори каландра для калібрування товщини і покращення стану поверхні. За час руху по рольгангу лист охолоджується. Дискові ножі визначають ширину готового листа. У деяких випадках на останній

стадії передбачається нанесення на лист декоративного або захисного шару.

При виготовленні стільникових заповнювачів автоматичні лінії використовуються на різних етапах технологічного процесу: для нанесення клейових смужок, знежирювання металеві фольги, розтягування спресованих полос з клейовими смужками тощо. На рис. 16.7 наведена схема лінії для виготовлення ріфлених полос з металеві стрічки.



1 – котушки з фольгою; 2 – напрямні ролики; 3- ванна з клеєм; 4 – відтискні ролики; 5 – валики для нанесення клею; 6 – сушильна камера; 7 – перфратор;
8 – притискні ролики; 9 – ножиці; 10 – ящик для листів

Рисунок 16.7 – Схема автоматичної лінії для виготовлення ріфлених полос з металеві стрічки

Гофровані полоси фольги попередньо знежирюються. Клейові смужки наносяться на полюсу ребристими валиками. Дренажні отвори пробиваються на поверхнях, не покритих клеєм. Лінія може виготовляти пакети розміром 900ммх400мм товщиною у 150...200 листів.

17 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

У металевих композиційних матеріалах (МКМ) матриці виготовляються переважно з легких деформівних і ливарних сплавів алюмінію і магнію, а також зі сплавів міді, нікелю, кобальту, цинку, олова, свинцю, срібла, жароміцних нікель-хромистих, титанових, цирконієвих та інших сплавів. Як наповнювачі використовуються високоміцні волокна, тонкодисперсні тугоплавкі частинки, які не розчиняються в основному металі.

За обладнанням, що використовується, технологічні процеси виготовлення МКМ поділяються на рідинофазні та твердофазні.

17.1 Рідинофазні технології

Для виготовлення виробів складної конфігурації використовуються технології ливарного виробництва. Установка складається з двох частин: нижньої - герметичної камери, де власне здійснюється лиття, і верхньої – плавильного агрегату.

У плавильному агрегаті відбувається плавлення матеріалу матриці. Температурний режим і умови плавлення залежать від його температури плавлення та інших властивостей.

У камері безпосередньо під плавильним агрегатом міститься оснастка - ливарна форма. Її матеріал (піщана суміш, метал, графіт) залежить від металу матриці і конфігурації виробу. У ливарній формі заздалегідь у необхідному порядку встановлюються волокна наповнювача. Перед заливанням ливарна форма підігривається до температури 600...700°C. Залежно від властивостей металу матриці і волокон плавлення і заливання металу у форму здійснюється у вакуумі, захисній атмосфері або на повітрі.

У деяких випадках для виготовлення МКМ використовується *примусове просочування*. Просочування може проводитися двома способами.

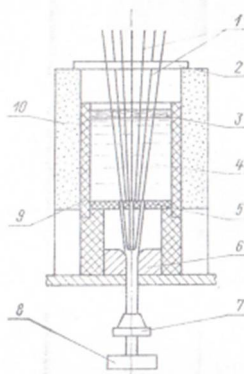
За першим після нагрівання трубки з матеріалу матриці і волокон до заданої температури кінець трубки з плавкою пробкою занурюють у метал матриці, і метал всмоктується вакуумним насосом (рис. 17.1, а). За другим способом процес проводиться у вакуумному стакані. Після заповнення тигля розплавленим матеріалом матриці кінець трубки з волокнами занурюють у метал і у стакан впускають

повітря. Під атмосферним тиском метал заповнює трубку з волокнами (рис. 17.1, б). Іноді замість вакуумного стакана використовують всмоктування металу вакуумним насосом.



Рисунок 17.1 – Схема виробництва МКМ примусовим просочуванням

Спосіб неперервного лиття полягає у тому, що очищені волокна протягуються через шар розплавленого матричного металу, спільно деформуються у волоці і утворюють цілісний композитний виріб (рис. 17.2). Процес йде неперервно.



1 – волокна; 2 – розподільник; 3 – розплавлений флюс; 4 – розплавлений матричний метал; 5 – розподільник-кристалізатор; 6 – волока; 7, 8 – тягучий пристрій

Рисунок 17.2 - Схема виробництва МКМ способом неперервного лиття

17.2 Твердофазні технології

Всі твердофазні технології ґрунтуються на пластичному деформуванні композиту. Особливості роботи відповідного обладнання полягає у наступному:

- сумарний обтиск повинен забезпечити якісне ущільнення;

- як наповнювач використовуються, як правило, крихкі волокна (борні, базальтові, вуглецеві та ін.), тому деформування повинно бути обережним;

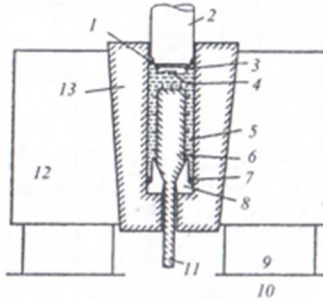
- найбільший тиск доводиться на волокна, близькі до поверхні, тому загальний тиск повинен не перевищувати їх міцність;

- матеріал матриці має бути достатньо пластичним.

Найчастіше використовують наступні технології та обладнання.

Гаряче стискання. Проводиться на гідравлічних пресах. Складені пошарово листи матриці й наповнювача нагріваються до $t = 400 \dots 540^\circ\text{C}$ і пресуються нагрітими плитами. Час витримки – $20 \dots 40$ хв. При цьому може використовуватися контрольована атмосфера.

Одним з варіантів цього процесу є метод гідроекструзії (рис. 17.3).



1, 7 – кільця-ущільнювачі; 2 – поршень; 3 – вимірювач тиску; 4, 5 – робоча рідина; 6 – заготовка виробу; 8 – матриця; 9 – плита; 10 – стіл преси; 11 – виріб; 12 – обойма; 13 – контейнер

Рисунок 17.3 – Схема екструзії виробу з МКМ

Композиційний матеріал на базі металевої матриці і металевих волокон в оболонці міститься у контейнері. У ньому створюється великий тиск на рідину, яка витискає заготовку через отвір матриці. Метод забезпечує отримання високоякісних безпористих виробів.

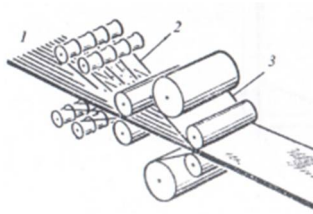
Гарячим пресуванням на вертикальних гідравлічних пресах виготовляють циліндричні вироби (прутки) з волокнами з титану, вольфраму та інших жароміцних матеріалів. Заготовка становить набір кілець з нержавіючої сталі, у зазорах між якими вздовж твірної розташовуються волокна наповнювача. Заготовку випресовують через матрицю. Температура пресування залежить від матеріалу матриці і

може бути у межах 1000...1200⁰С. Змащуванням служить скляний порошок.

Діаметр виробу звичайно становить 25...35 мм, а його довжина збільшується після пресування приблизно у чотири рази.

Прокатуванням виготовляють вироби з пошарового набору матричних листів і наповнювачів. Наповнювачами можуть бути волокна, суміші порошкових матеріалів або металеві листи. Основне обладнання – сортові прокатні стани.

На рис. 17.4 показано прокатування композиційної штаби з



1, 3 – матричний лист (фольга); 2 – волокна наповнювача
Рисунок 17.4 – Схема прокатування МКМ

волокнистим наповнювачем. Прокатування може бути упродовж або поперек напрямку волокон. При поперечному прокатуванні волокна менше руйнуються, але згинаються у напрямку прокатування. Тому прокатування проводять у двох напрямках поперемінно.

При прокатуванні виробів з порошковим наповнювачем матричний матеріал або заздалегідь підготовлений пакет порошків поміщають у сталеву герметичну оболонку. При необхідності нагрівають до температури 590...610⁰С і прокатують.

Ще один спосіб виготовлення металоматричних виробів: сталеві або бронзові листи перемешуються з шарами волокон тугоплавких металів. Волокна у різних шарах можуть розташовуватися у різних напрямках. Прокатування ведеться у герметичних оболонках або у вакуумі. Температура прокатування залежить від температури плавлення основного металу матриці.

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. ДСТУ ISO 286-1-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок [Чинний від 2003-10-1]. Київ: Держспоживстандарт України 2003. 41 с.
2. ДСТУ ISO 286-2-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів [Чинний від 2004-10-1]. Київ: РВВ ДП «УкрНДНЦ», 2004. 43 с.
3. Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Сахаров О.С., Щербина В.Ю. Моделювання оснастки для формування полімерних виробів. К.: НТУУ «КПІ», 2006. 131 с.
4. Буря О.І. Полімерні композити: одержання, властивості, застосування. — Дніпропетровськ: Федорченко А. А., 2010. — 383 с.
5. Сокольський О.Л., Сівецький В.І., Мікульонок І.О. Проектування формуючих пристроїв обладнання для переробки пластмас: навч. посібник. К.: НТУУ «КПІ», 2014. 130 с.
6. Копань В.С. Композиційні матеріали. К.: унів. вид. «Пульсари», 2004. 198 с.
7. Спорягін Е. О., Варлан К. Є. Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів: навч. посібник. — Донецьк: .-Вид-во ДНУ, 2012. -188 с.
8. Мікульонок І.О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів. К.: КПІ ім. І.Сікорського, 2020, 293 с.
9. Савчук П.П., Кашицький В.П., Мельничук М.Д., Садова О.Л. Композиційні та порошкові матеріали. Луцьк: ФОП Теліцин О.В., 2017. – 368 с.
10. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник / Є.О.Джур, Л.Д.Кучма, Т.А.Манько та ін. К.: Вища освіта, 2003. 399 с.
11. Суберляк О.В., Баштанник П.І. Технологія переробки переробки полімерних та композиційних матеріалів К.: Вища освіта, 2006. 260 с.

Додаткова

12. Мікульонок І. О., Сокольський О. Л. Полімерні матеріали і вироби з них (одержання, перероблення, властивості) : термінол. слов.

Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 208 с

13. Мікульонок І.О. Моделювання обладнання технологічних ліній для перероблення пластмас і гумових сумішей на базі валкових машин : монографія. К.: НТУУ «КПІ», 2013. 243 с.

14. ДСТУ 2242-93. Склопластики. Конструкційні типи, технологія, властивості. Терміни та визначення: Склопластики. Конструкционные типы, технология, свойства. Типы и определения: [Чинний від 1994-01-07]. К.: Держстандарт України, 1993. 64с.

15. ДСТУ 2656-94. Скловолокно та вироби з нього. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. К.: Держстандарт України, 1995. 20с.

Додаток А
Сталі, рекомендовані для виготовлення формотвірних деталей
прес-форм

Найменування деталей	Марки сталі	Твердість HRC
Матриці, пуансони простої конфігурації	У8А, У10А	50...58
Матриці, пуансони складного профілю без ослаблених перерізів	40Х, 40Х13 ХВГ, 9ХС	50...55 58...61
Матриці, пуансони складного профілю з ослабленими перерізами	20Х, 12ХН3А, 30Х13	53...57
Знаки гладкі та різеві, виштовхувачі	40Х, ХВГ, 65Г, Х12М	50...61
Тонкі знаки і тонкі плоскі вкладні	65Г, У8А, У10А	35...42

Додаток Б

Стандартні режими пресування реактопластів

Матеріал	Температура пресування, °С		Тиск при пресуванні, МПа			Витримка (на 1 мм товщини виробу) при пресуванні		
	без попереднього підігріву	з попереднім підігрівом	компресійному		литтєвому	компресійному		литтєвому
			без попереднього підігріву	з попереднім підігрівом		без попереднього підігріву	з попереднім підігрівом	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Фенопласти:</i>								
02 -010 -02	–	–	30 ± 5		40 ÷ 60	0,6 ÷ 1,0	0,4 ÷ 0,8	0,4 ÷ 0,6
Сп3-342-02	180 ± 10	180 ± 10	30 ± 5	30 ± 5		0,3 ÷ 0,8	0,3 ÷ 0,7	–
Сп3-342-02	180 ± 10	180 ± 10	170 ± 10		60 ÷ 120	0,3 ÷ 0,8	0,3 ÷ 0,7	–
Е2 -330-02	170 ± 10	180 ± 10	35 ± 5	35 ± 5	60 ÷ 120	0,6 ÷ 1,0	0,4 ÷ 0,8	–
ВхІ-090 -34	160 ± 10	–	25 ÷ 40	–	50 ÷ 80	–	–	–
ЖІ-010-40	180 ± 10	–	30 ± 5	–	–	0,4 ÷ 0,5	–	–
<i>Амінопласти:</i>								
КФА1	140 ± 5	–	30 ± 5	–	–	1,0 ÷ 1,5	–	–
КФА2	140 ± 5	–	30 ± 5	–	–	1,0 ÷ 1,5	–	–
МФВ1	160 ± 5	(170 ± 5)	45 ± 5	–	60...100	1,5 ÷ 2,0	–	1,5
МФД1	160 ± 10	–	35 ± 5	–	–	1,0 ÷ 1,5	–	–
<i>Прес-матеріали на основі кремнійорганічних смол:</i>								
ПК - 9	150 ± 5	(160 ± 10)	40 ± 5	–	56 ± 5	2,0 ÷ 3,0	–	1,5 ÷ 2,0
КФ - 9	–	160 ± 10	–	30 ± 5	70 ± 80	–	1,0 ÷ 1,5	1,0
ВПМ - 3	–	(195 ± 5)	–	40 ± 5	80 ± 5	–	1,5 ÷ 2,5	1,7
<i>Матеріали пресувальні (скловолокніти):</i>								
АГ - 4С	160 ± 5	–	–	40 ± 5	–	1,5 ÷ 2,5	1,5 ÷ 2,5	–
АГ - 4ЛС	155 ± 5	–	25 ± 5	–	–	1,5 ÷ 2,5	–	–
АГ - 4В - 10	155 ± 5	–	35 ± 5	–	–	2,0 ÷ 3,0	–	–
СНК -2-27	145 ± 5	(150 ± 5)	30 ± 5	–	70 ± 120	1,0 ÷ 2,0	–	1,0 ÷ 1,5
ДСВ -2-Р-2М	145 ± 5	(135 ÷ 170)	25 ÷ 40	–	60 ± 130	1,5	–	1,0

* – В дужках вказана температура при литтєвому пресуванні.

Додаток В

Механічні властивості стільникових заповнювачів на основі алюмінієвої і вуглецевої стрічок

Марка фольги – розмір чарунки, мм – товщина фольги, мкм	Питома маса, кг/м ³	Границя міцності, МПа, не менше			Модуль пружності ГПа, не менше	
		При стисканні	При зсуві		Паралельно-клеювим смугам	Перпендикулярно-клеювим смугам
			Паралельно-клеювим смугам	Перпендикулярно-клеювим смугам		
Алюмінієва фольга АМг-2Н, 5052						
АМг-2Н-2,5-20	32...37	0,99	0,60	0,45	0,1541	0,0866
АМг-2Н-3,0-20	29...31	0,71	0,52	0,36	0,1208	0,0788
АМг-2Н-3,5-20	24...27	0,62	0,44	0,30	0,1010	0,0569
(5052)-3,5-30	35...40	1,07	0,79	0,51	0,1548	0,0927
(5052)-5,0-30	24...27	0,88	0,45	0,28	0,0883	0,0510
АМг-2Н-5,0-40	31...36	0,95	0,70	0,45	0,1460	0,0877
АМг-2Н-6,0-50	32...34	1,07	0,75	0,51	0,1525	0,0806
Алюмінієва фольга 5056						
5056-2,5-23	35...40	1,40	1,06	0,65	0,1663	0,0894
5056-3,0-23	32...37	1,11	0,80	0,54	0,1400	0,0902
5056-3,5-23	27...31	0,91	0,68	0,46	0,1227	0,0842
5056-5,0-23	20...21	0,45	0,37	0,28	0,0914	0,0421
5056-6,0-23	16...17	0,30	0,27	0,20	0,0583	0,0293
Алюмінієва фольга А5Т, 3003						
0,447	33	0,822	6,586	0,313	0,6504	0,3662
Вуглецева стрічка						
УСП-5-17 ЭЛУР+ЭНФБ 2x0,13	11,7·10 ⁻⁵	10,1	6,586	4,076	0,6504	0,3662
УСП-5-40 IMS65+ЭНФБ 4x0,02	4,0·10 ⁻⁵	2,3	2,40	1,34	0,2704	0,1736