

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

С. П. ГЕЙКО, Т. А. ЮРЕСКО

**Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни
"ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ
ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ"**

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв • НУК • 2018

УДК 678.5(076)

Г 29

Автори: С. П. Гейко, канд. техн. наук, доцент;

Т. А. Юреско, канд. техн. наук

Рецензент Л. І. Коростильов, д-р техн. наук, професор

Рекомендовано Методичною радою НУК

Гейко С. П.

Г 29 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Технологія виготовлення виробів із композиційних матеріалів" / С. П. Гейко, Т. А. Юреско. – Миколаїв : НУК, 2018. – 64 с.

Уміщено вказівки до виконання лабораторних робіт з основ технології виготовлення виробів із волокнистих полімерних композиційних матеріалів на основі реактопластів. Наведено сім типових робіт з наданням основних теоретичних відомостей, описом необхідного обладнання, порядком проведення роботи та методикою обробки результатів.

Призначено для студентів четвертого курсу технологічного факультету кафедри "Проектування та виробництво конструкцій із композиційних матеріалів".

УДК 678.5(076)

© Гейко С. П., Юреско Т. А., 2018

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2018

Лабораторна робота № 1

ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРИ І ДЕФОРМАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТКАНИХ ВОЛОКНИСТИХ НАПОВНЮВАЧІВ

Мета роботи: вивчення структури і деформаційних властивостей тканих наповнювачів.

Теоретичні відомості

Тканини, що застосовуються як наповнювачі для армування композиційних матеріалів, утворюються шляхом переплетення сімейств ниток основи й утку. Нитки основи спрямовані вздовж полотнища, нитки утку – в перпендикулярному напрямку. Залежно від схеми переплетення ниток основи й утку утворюються ткани наповнювачі різної структури.

У тканинах *полотняного переплетення* основа й уток взаємно переплітаються через одну нитку (рис. 1.1,*а*). У тканинах саржевого переплетення основа й уток переплітаються через дві нитки, зі зміщенням на одну нитку в наступному проході. На поверхні такої тканини утворюється характерний візерунок з діагональних смуг (рис. 1.1,*б*).

У тканинах саржевого переплетення (рис. 1.1,*б*) кожна з ниток основи (утку) обгинає за один період неоднакову кількість ниток утку (основи).

Сатинові тканини "неврівноважені" за малюнком переплетення, тому що на одній поверхні полотнища (лицьовій стороні), наприклад у напрямку основи, переважають прямолінійні нитки основи, на протилежній поверхні (виворотній стороні) у тому ж напрямку – поперечні уткові нитки (рис. 1.1,*в*).

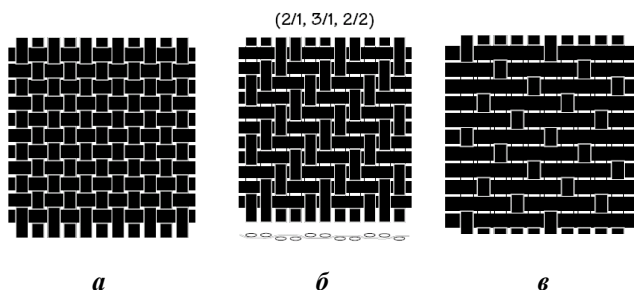


Рис. 1.1. Різновиди переплетення в армуючих матеріалах:
а – полотняне; *б* – саржеве; *в* – сатинове

Односпрямована тканина – це матеріал, у якому більшість волокон орієнтована тільки в одному напрямку (рис. 1.2). Невелика кількість волокна з того ж або іншого матеріалу може бути використана для того, щоб втримати первинні волокна в потрібному положенні, хоча вони можуть також надавати композиту конструкційні властивості. У деяких випадках тканини з орієнтацією 0–90 називають односпрямованими, якщо їхній вміст по вазі становить 75 % в одному напрямку, однак більш вживаним це визначення є тільки у відношенні тканин, що містять більше ніж 90 % волокон, спрямованих в одному напрямку. Односпрямована тканина зазвичай має волокна основи, що орієнтуються за напрямком рулону, рідко впоперек.

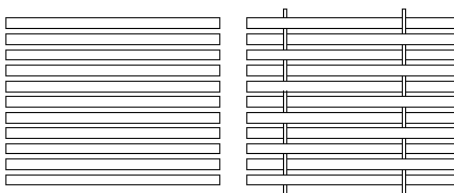


Рис. 1.2. Односпрямовані тканини

Односпрямовані волокна є прямими і не містять вигинів (хвилястості). Це дозволяє одержувати композиційні матеріали з найвищими властивостями. Для досягнення максимальних механічних характеристик односпрямовані тканини можуть бути використані тільки в препрегах, де немає вторинних волокон. У них основні волокна втримуються смолою. Такий матеріал є ідеальною односпрямованою структурою.

В останні роки все більшу популярність у виробництві композитів почали завойовувати *поліспрямовані* (або поліаксіальні, мультиаксіальні) матеріали (рис. 1.3). Ці тканини складаються з одного або більше шарів односпрямованих волокон, з'єднаних разом вторинним неконструкційним швом. Основні волокна можуть бути будь-якими з конструкційних волокон, у будь-якій комбінації. Нитка для зшивання – звичайно з поліефіру. Однак волокно поліефіру не завжди сумісне з деякими смолами.

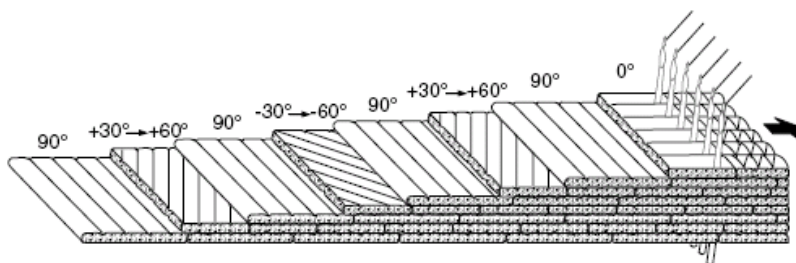


Рис. 1.3. Мультиаксіальна тканина

Процес зшивання дозволяє одержувати велику розмаїтість орієнтації волокон в одній комбінації.

В порівнянні із тканинами, отриманими плетінням, мультиаксіальні матеріали мають більш високі механічні властивості, насамперед завдяки тому, що волокна є завжди прямими і незвивистими, з щільним пакуванням, і таким чином можна отримати більше варіантів орієнтації (напрямків)

волокон. Це у свою чергу дозволяє збільшити швидкість набору товщини пакета у виробі за рахунок більшої товщини тканини.

Мат з рубаного волокна (рис. 1.4,*а*) – нетканий матеріал, що складається з неупорядковано орієнтованих рубаних скляних волокон, які скріплюються разом емульсією або порошковим зв'язуючими.

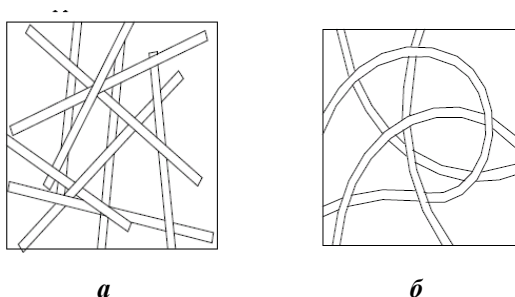


Рис. 1.4. Армуючі мати:

а – мат з рубаних волокон; *б* – мат з безперервних волокон

Емульсія при контакті зі стирольними смолами розчиняється, після чого мат розпадається на окремі короткі волокна, завдяки чому матеріал отримує необмежене драпірування. Проте залишок емульсії в склопластику знижує його хімічну стійкість, міцність, тому, наприклад, у суднобудуванні для зовнішнього шару ламінатів рекомендовані скломати з порошковим зв'язуючим, які не розчиняються водою.

Мат з рубаного волокна використовується при виробництві малонавантажених виробів через невисокі механічні характеристики.

Більш високі механічні характеристики мають *мати з безперервного волокна* (рис. 1.4,*б*), завдяки більш високій реалізації властивостей волокон. Найчастіше вони застосовуються

для створення листових прес-матеріалів, при пултрузії. Мають гіршу драпованість у порівнянні з матами з рубаних волокон.

Мати також можуть виготовлятися і в комбінації з армуванням іншої конструкції – із тканими, мультиаксіальними та іншими матеріалами.

Для тканин будь-якого переплетення, виготовлених із сильно кручених ниток, характерна "неврівноваженість" по скрутці. Крутні моменти, закладені в кожную нитку, викликають закручування тканини, коли вона перебуває у вільному стані. Це приводить до втрати площинності тонкостінних пластинок, виготовлених з матеріалів, наповнених такими тканинами.

Волокнисті наповнювачі є пружними пористими матеріалами. У процесі формування виробів із зібраних пакетів наповнювач піддається деформуванню. При цьому змінюється товщина пакета, його пористість, вміст волокон, а у самих волокнах накопичуються пружні деформації й відповідні їм напруги. Тому для одержання виробів певних розмірів, товщини і монолітного матеріалу із заданим співвідношенням сполучника й наповнювача необхідно знати про деформаційні властивості наповнювача.

Основною деформаційною характеристикою тканих наповнювачів є ефективна жорсткість C , що залежить від типу використаних для виготовлення тканин волокон і порядку їхньої організації.

Ефективну жорсткість визначають при стисканні тканого наповнювача в напрямку, перпендикулярному площині наповнювача:

$$C = dP / d\varepsilon, \quad (1.1)$$

де P – сила, що діє на одиницю площі зразка при стисканні або на одиницю ширини при розтягуванні; ε – деформація.

Величину C визначають за експериментальними графіками, побудованими у координатах $P-h$.

По деформаційній кривій $P-h$ можна розрахувати пористість матеріалу m при збільшенні тиску:

$$V_f = 1 - \frac{Mn}{\rho h_p}, \quad (1.2)$$

де M – маса одиниці площі тканого наповнювача, кг/м^2 ; ρ – густина волокна, з якого виготовлена тканина, кг/м^3 ; h_p – висота пакета при тиску p , м; n – число шарів тканини в пакеті.

Взаємозв'язок між мірою ущільнення волокнистого наповнювача з тиском P зазвичай встановлюється експериментально і виражається залежностями виду $V_f = f(P)$, де V_f – об'ємний вміст наповнювача.

Квін та Рандал запропонували залежність V_f від кореня квадратного тиску, що прикладений до пакета:

$$V_f = a + b\sqrt{P}, \quad (1.3)$$

де a і b – деякі константи, що підлягають експериментальному визначенню.

Матеріали, що використовуються

1. Скляні, арамідні й вуглецеві тканини різного переплетення.

2. Прес із зусиллям не менше 5 кН.

3. Пристосування для визначення деформації (див. рис. 1.5).

4. Індикатор годинникового типу.

5. Мікрометр.

Порядок проведення роботи

Завдання 1. Визначення типу переплетення тканого наповнювача.

Від полотнища тканини відрізають зразок розміром 50×50 мм і поміщають його на предметний столик. Візуально або за допомогою лупи визначають тип переплетення тканини, порівнюючи розглянуте зображення з малюнками.

Завдання 2. Визначення деформаційних характеристик тканих наповнювачів і пакетів, зібраних з них.

З полотнища тканини, що визначена викладачем, в напрямку основи вирізають квадрати зі стороною 120 мм і складають їх у пакет, що складається з 10 шарів. Пакет для виконання робіт № 1, 2, 3 бажано мати однаковий.

На розривну машину встановлюють пристосування (рис. 1.5), що являє собою реверс, який складається з двох частин, що взаємно переміщуються. Кожна з частин включає в себе по дві паралельні пластини (1 та 2), з'єднані тягами. У затискачах розривної машини ці частини закріплюють за допомогою хвостовиків 3.

Відстань між плитами вимірюють індикатором годинникового типу 5, що закріплений на кронштейні 6 так, щоб ніжка індикатора торкалася упору.

1. Налаштовують індикатор 5 так, щоб його маленька стрілка знаходилася проти поділки, що відповідає 3 мм, а більша збігалася з нулем рухомої шкали.

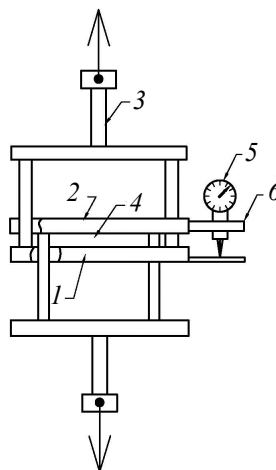


Рис. 1.5. Пристосування для визначення деформаційних характеристик заготовки наповнювача

2. Поміщають пакет з наповнювачем 4 між пластинами 1 і 2 та створюють навантаження, рівне 100 Н. При цьому навантаженні вимірюють висоту пакета H_0 .

3. Навантажують пакет зусиллями 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0 та 50,0 кН та фіксують при кожному значенні

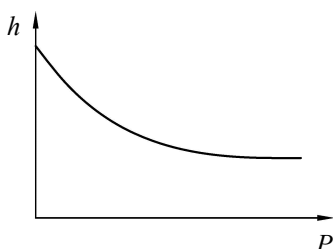


Рис. 1.6. Залежність деформації пакета від тиску

тиску рівноважну йому висоту пакета H_0 за вирахуванням показу індикатора H_p . Навантаження можна припинити, якщо пакет не ущільнюється. Виражаючи ступінь ущільнення пакета при навантаженні у відносних одиницях $h = H_p/H_0$, а навантаження в одиницях тиску P , будують криву в координатах $h - P$, подібну тій, що зображена на рис. 1.6.

Дані вимірювань та розрахунків заносяться до табл. 1. Визначають V_f для кожного тиску за формулою (1.2).

Таблиця 1.1. Результати розрахунків

Навантаження, кН	0,5	1	2	3	5	10	20	30	50
Висота пакета наповнювача, що ущільнюється, t , мм									
Об'ємний вміст наповнювача, V_f									

Аналізують, як впливає товщина пакета на зміну його жорсткості й пористості при ущільненні різних типів армування.

Визначають константи a і b для рівняння (1.3).

Зробити висновок щодо відповідності залежності Квіна–Рандаля експериментальній кривій.

Контрольні запитання

1. Чим розрізняються тканини полотняного, саржевого і сатинового переплетення?
2. Назвіть переваги мультиаксіальних волокнистих матеріалів для армування.
3. Назвіть причини, що викликають "неврівноваженість" тканих наповнювачів.
4. Як пов'язані між собою тиск ущільнення пакета, його товщина й пористість?
5. Якими рівняннями описується залежність пористості волокнистого наповнювача від тиску?
6. Назвіть деформаційні характеристики тканих наповнювачів.
7. Які тканини мають значну пористість, а які – мінімальну?

Лабораторна робота № 2

МЕТОД ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ КОНТАКТНИМ ФОРМУВАННЯМ

Мета роботи: отримання навичок нанесення антиадгезивів, гелевого покриття, викладки та формування армованих пластиків методом контактного формування.

Теоретичні відомості

Технологічний процес виготовлення виробів методом контактного формування в загальному випадку проходить в три основних етапи.

1. Нанесення антиадгезиву.
2. Нанесення гелюкуту.
3. Викладка та ущільнення просоченого армування.

1. Антиадгезиви

Під терміном "антиадгезиви" маються на увазі засоби, що створюють розділовий шар між поверхнею форми й відформованого виробу для запобігання їх взаємного прилипання (адгезії) і, відповідно, полегшення вилучення готового виробу з форми. До всіх типів застосовні кілька загальних характеристик. Кожен з типів формує хімічно інертний (нереактивний) шар з достатньою опірністю температурі, при якій він використовується. Антиадгезиви мають низьку поверхневу енергію, при цьому мають добре змочувати поверхню форми й одночасно забезпечувати відсутність адгезії до наступних смоляних покриттів.

Всі антиадгезиви повинні відповідати наступним вимогам:

- не впливати на процес твердіння;
- не зафарбовувати сполучник;

- не впливати на фізичні властивості сполучника;
- не впливати на наступну адгезію до поверхні виробу.

Повністю універсального антиадгезиву не існує. Обмеження накладаються способом формування, температурою технологічних процесів, вимогами до поверхні виробу.

Існують два основних різновиди антиадгезивних змащень – внутрішні й зовнішні. Зовнішні антиадгезиви наносяться на поверхню форм. До внутрішніх антиадгезивів відносяться ті, які вводяться безпосередньо в сполучне і є його складовою. Це високорозчинний у смолі продукт, зазвичай у розчиненому стані (стиролі), що випадає з розчину й мігрує на поверхню (адсорбується) внаслідок усадки, підвищення температури або тиску.

При контактному формуванні потрібно застосувати зовнішні антиадгезиви.

За тривалістю використання розрізняють одноразові (жертвні) – для виготовлення одного виробу, багаторазові – для багаторазового застосування і постійні роздільники, термін служби яких порівнянний з терміном служби форми. Останнім часом з'явився термін "напівпостійні", що об'єднує антиадгезиви, які займають проміжне місце між багаторазовими й постійними.

2. Гелькоути

Як правило, більшість виробів із шаруватих пластиків має по зовнішній поверхні пігментований неармований шар смоли – гелькоут. Цей шар у загальному випадку виконує наступні функції:

- захисну функцію – створення бар'єра для проникнення вологи, хімічно активних речовин, ультрафіолетового випромінювання; захист від емісії летких речовин, які є в смолі;
- декоративну – надання виробу необхідних кольорів, блиску і текстури.

Шар гелькоуту наноситься на матрицю до викладення. Гелеві властивості покриттю необхідні для запобігання його стіканню і збиранню на поверхні матриці, що оброблена антиадгезивом. Ця властивість дозволяє нанесеній на поверхню рідині структуруватися, нарощуючи в'язкість, запобігаючи в такий спосіб стіканню під дією сил ваги й поверхневих сил відштовхування гідрофобного антиадгезиву. Це явище є проявом тиксотропних властивостей рідини.

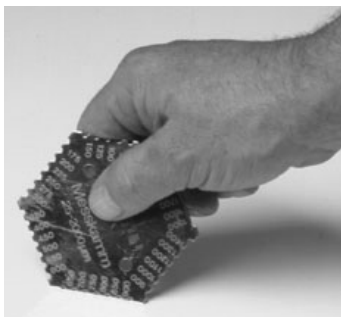


Рис. 2.1 Прилад для вимірювання товщини рідкого покриття

Гелькоут може наноситися як напилюванням, так і щіткою. Гелькоут повинен мати товщину мокрої плівки в інтервалі 0,6...0,8 мм. Для контролю товщини використовується спеціальна гребінка з точністю визначення 10...1000 мкм (рис. 2.1).

Занадто тонкий шар гелькоуту (менше як 0,3 мм мокрої плівки) не буде повністю твердіти, тому що при цьому висока частка стиrolу випаровується і його може виявитися недостатньо для повноцінної реакції зшивки. У наступних операціях формування, при контакті з поліефірною смолою може відбуватися набрякання недостатньо затверділого покриття під впливом стиrolу. У підсумку виникає зморшкуватість на поверхні, що одержала назву "крокодиляча шкіра". Цей дефект виникає також при передчасному (твердіння пройшло не до кінця) початку формування. Таким чином, необхідно створювати умови для повноцінного твердіння покриття. Перешкодами для цього можуть бути також повітряні потоки (протяги), що збільшують швидкість випаровування, низька температура матеріалу або матриці, надмірне розпилення, довготривале гелеутворення наступного шару ламінату

на базі поліефірної смоли. Варто звертати увагу на глибокі, погано вентильовані ділянки, де нанесена плівка піддається розчинюючому впливу парів, що накопичуються над поверхнею. Потрібно уникати прямого потрапляння сонячних променів, що прискорює процес твердіння й випаровування стиролу.

Занадто товста плівка гелкоуту може викликати тріщини, надмірну усадку й передчасне відділення від матриці. Рівномірну товщину одержати нанесенням щіткою досить складно, крім того, від щетини утворюються смуги товстого й тонкого гелкоуту. Набагато легше одержати рівнотовщинний шар гелкоуту відповідної товщини напилюванням. Щоб зменшити випаровування стиролу й бути впевненим у завершеному твердінні, необхідно використовувати покриття з якомога коротшим часом гелеутворення. Тріщини на ділянках з надлишковим поверхневим шаром утворюються якщо не відразу, то при незначних деформаціях армованого пластику.

Дефекти гелкоуту дорого обходяться виробникові, їхнє усунення досить трудомістке, у більшості випадків дефект не може бути виявлений до вилучення з форми. Більшість дефектів гелкоуту викликається некоректним дозуванням каталізатора й/або поганим змішуванням.

Неповне твердіння може викликати утруднене відділення виробу від матриці, втрату глянцею, прояв текстури армуючого матеріалу на поверхні гелкоуту.

При нанесенні на поверхню слід першим шаром ледь змочити поверхню матриці тонким шаром, товщиною до 150 мкм. Далі варто зробити ще два або три проходи з інтервалом біля 1 хв до набору товщини мокрої плівки 0,5...0,8 мм. Ці проходи повинні бути виконані безперервними паралельними смугами, що частково покриваються на 25 %, при постійній швидкості, плавно. Довжина проходу повинна бути зручною для оператора, у межах 60...90 см.

При нанесенні щіткою операція виконується двома працівниками, що наносять покриття послідовно у двох взаємоперпендикулярних напрямках.

Якість покриття може страждати від попадання в суміш разом з повітрям масел та води. З цієї причини системи стисненого повітря забезпечуються фільтрами й уловлювачами вологи.

3. Технологія контактного формування

На формотворне оснащення (рис. 2.2), оброблене антиадгезивом і покрите гелевим шаром, приблизно через годину-дві, укладається попередньо просочений армуючий матеріал (або сухий, що просочується на матриці за допомогою щіток, шпательів або спеціальних валиків), після чого здійснюється ущільнення його й видалення затриманого повітря за допомогою тих же шпательів або спеціальних валиків. Операції повторюються до досягнення необхідної товщини пакета. Після твердіння, що відбувається, як правило, при цеховій температурі, напильють внутрішній смоляний шар (топкоут), що захищає виріб від проникнення води й затримує випаровування залишкового стиролу зі сполучника.

Першим шаром армування рекомендується застосовувати тонкі мати, або вуалі, для запобігання виявлення текстури на поверхні гелевого покриття.

Матеріал на матрицю укладається як у сухому, так і в попередньо просоченому вигляді. Операція просочення може бути прискорена застосуванням зрошуваних валиків, що дозволяє також поліпшити умови праці.

В абсолютній більшості випадків спосіб припускає застосування поліефірних смол, хоча не виключаються епоксидні. У якості армуючого наповнювача використовують скломати на всю товщину виробу або скломати, що чергуються із тканими скломатеріалами. Іноді практикується ви-

кладення тканин без прошарків мата, однак у цьому випадку потрібна особлива старанність і досвід, тому що ймовірність утворення повітряних порожнин і розшарувань стає надзвичайно високою. Усунуті в ході формування відшарування можуть виникати заново, через незафіксованість ламіна-ту, прагнення скломатеріалу вирівнюватись. Тому спостереження за відформованим пакетом необхідно вести аж до моменту гелеутворення. Для виготовлення відповідальних конструкцій цей метод не рекомендується.

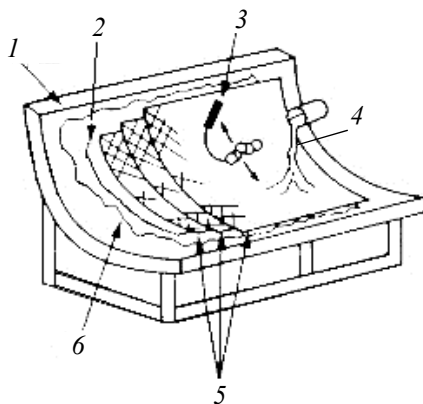


Рис. 2.2. Типова схема викладки при контактному формуванні:

1 – форма; 2 – гелькоут; 3 – валик; 4 – сполучник; 5 – армування

Варто уникати надмірного екзотермічного виділення тепла, що виникає при занадто товстому шарі ламіна-ту. Товщина викладеного за один прийом матеріалу визначається індивідуально реактивністю смоли, і знаходиться у межах 5...10 мм. Зрідка виникає потреба в поетапному наборі товщини.

Сполучники при даному методі повинні мати тиксотропні властивості, що не дозволяють смолі стікати із наповнювача на вертикальних стінках.

Після закінчення викладення виріб залишається у формі на час, потрібний для твердіння. Ступінь затвердіння виробу визначається твердістю Баркола або іншим, сертифікованим еквівалентним методом. Вилучення з форми не слід робити до досягнення твердості по Барколу значення 30–35 одиниць.

Виріб після формування має припуск по контуру, що має обрізатися після твердіння.

Вилучення самого виробу з матриці виконується поступовим його відшаровуванням за допомогою дерев'яних або пластмасових клинів.

Метод контактного формування застосовується для виготовлення виробів складної форми, особливо габаритних, невідповідальних конструкцій, при малосерійному виробництві. До його *переваг* належать:

1. Універсальність методу.
2. Можливість одержання виробів складної форми й великого розміру.
3. Мінімальні капіталовкладення в устаткування (низька вартість оснащення).
4. Короткий підготовчий період.
5. Можливість введення додаткових закладних деталей і арматури.
6. Простота навчання, не потрібний кваліфікований персонал.
7. Мінімальна вартість виробів.

Недоліки способу:

1. Низька продуктивність.
2. Залучення одночасно великої кількості робітників при великих габаритах виробу. Значні витрати ручної праці.
3. Однобічна гладка поверхня.
4. Залежність якості виробу від кваліфікації, сумлінності й акуратності робітника.

5. Неоднорідність і низька якість пластику, мінливість товщини.

6. Виробництво шкідливе для здоров'я; потрібні спеціальні засоби захисту (вентиляція, індивідуальний захист).

7. Утворюється багато відходів (при обрізці припусків).

Слід зазначити, що незважаючи на суттєві недоліки, цим способом у світі виробляється більше половини армованих склопластиків. Однак зростаючі вимоги щодо забруднення навколишнього середовища примушують виробників переходити на закриті методи формування.

Матеріали, що використовуються

1. Антиадгезив восковий – 10 г.
2. Гелькоут поліефірний – 200 г.
3. Смола поліефірна – 0,5 кг.
4. Пероксид метилетилкетону – 7,5 г.
5. Склотканина ровінгова – 450г/м², 200×400 мм, 5 шарів.
6. Скломат – 450г/м², 200×400 мм, 5 шарів.

Устаткування, оснащення, прилади

1. Форма у вигляді скляної пластини розміром 300×300мм.
2. Ємність пластикова.
3. Прилад для вимірювання товщини рідкого покриття.
4. Щітка шириною 50 мм.
5. Валик для прикочування скломатеріалу.
6. Штангенциркуль.
7. Розривна машина.
8. Аналітичні ваги, пристосовані для гідростатичного зважування.
9. Муфельна піч.
10. Корундові тиглі.
11. Скляні стаканчики й палички для готування сполучника.

Робота виконується під витяжною вентиляцією.

Порядок проведення роботи

Завдання 1. Нанесення антиадгезиву

1. Тонким шаром нанести пасту на маленьку область ($0,2 \text{ м}^2$), використовуючи м'яку чисту тканину типу бязі.
2. Після висихання (режими нанесення уточнюються за інструкцією виробника), м'яко розтерти шар сухою чистою тканиною до блиску.
3. Дозволити висохнути покриттю мінімум 15 хвилин перед нанесенням наступного шару.
4. Нанести наступний шар тим же самим способом (пункти 1–3).
5. Для склопластикової форми необхідно нанести 4–5 шарів.
6. Після заключного шару до нанесення гелькоуту почекати 30 хвилин.

Завдання 2. Нанесення гелькоуту

Гелькоут наносити на половину форми $200 \times 200 \text{ мм}$. Іншу половину залишити непокритою.

1. Приготувати суміш, змішавши 200 г гелькоуту та 4 г пероксиду метилетилкетону. Ретельно перемішати.
2. Нанести щіткою два шари гелькоуту, виконуючи мазки спочатку в одному напрямку, а потім у поперечному напрямку. Загальна товщина покриття не має перевищувати 0,6 мм та не бути менше 0,4 мм. Для замірів використовувати товщиномір (див. рис. 2.1).
3. Дати покриттю затвердіти впродовж 2 год.

Завдання 3. Формування виробу

1. Приготувати сполучник, змішавши 500 г поліефірної смоли та 7 пероксиду метилетилкетону. Ретельно перемішати.
2. Нанести тонкий шар сполучника на поверхню гелькоуту.

3. Викласти на форму шар скломату вагою 450 г/м^2 та просочити його сполучником за допомогою щітки. Поверх скломату викласти тканину з ровінгу вагою 450 г/м^2 . Ретельно ущільнити шари за допомогою спеціальних валиків.

4. Повторити пункт 3 ще три рази.

5. Дочекатися твердіння сполучника. Вилучити пластину з форми.

Завдання 4. Оцінка якості виробу

1. Порізати зразок (з непокритої гелкоутом половини) на 6 смужок довжиною 100 мм та шириною 10 мм.

2. Для однієї із смужок зробити не менше 5 замірів товщини по довжині.

Занести дані в таблицю 2.1

Таблиця 2.1. Результати вимірювань

№ заміру	1	2	3	4	5
Товщина, мм					
Щільність					

Виявити статистичні характеристики розкиду товщини за формулами:

$$X_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; \quad (2.1)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_n - X_i)^2}; \quad (2.2)$$

$$V = \frac{S}{S_n}. \quad (2.3)$$

3. Щільність матеріалу ρ визначають гідростатичним зважуванням зразків. Результати вносять у табл. 2.1.

4. Масову частку волокна m_f у пластинах визначають методом випалювання на залишках або на випробуваних зразках як відношення залишкової ваги зразка після випалювання до його первісної ваги.

5. Об'ємну частку сполучника визначають за формулою (1.2) і шляхом перерахунку масової частки, що визначена в п. 4.4, за формулою:

$$v_f = \frac{\rho}{\rho_f} m_f. \quad (2.4)$$

6. Руйнівні напруження й модуль пружності при розтягуванні і згинанні визначають згідно зі стандартами (ДСТУ 2308–93). Дані занести в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Результати розрахунків

№ зразка	1	2	3	4	5
Руйнівні напруження при розтягуванні, σ_p , МПа					
Модуль пружності при розтягуванні, E_p , ГПа					
Руйнівні напруження при згинанні, σ_z , МПа					
Модуль пружності при згинанні, E_z , ГПа					
Щільність, ρ , кг/м ³					
Масова частка сполучника, m_f					
Об'ємна частка сполучника, v_f					

7. Виявити статистичні характеристики розкиду фізичних характеристик за формулами (2.1)–(2.3).

8. Зробити висновки відносно якості склопластику. Звернути увагу на якість поверхні з гелкоутом та без нього.

Контрольні запитання

1. Навести класифікацію антиадгезивів.
2. Які різновиди антиадгезивів використовуються при контактному формуванні?
3. Призначення та фізичні основи застосування антиадгезивів.
4. Призначення гелкоуту.
5. Дати визначення формуванню.
6. Назвати типові причини дефектів гелкоуту.
7. До яких дефектів призводить занадто тонкий шар гелкоуту?
8. Назвати можливі методи нанесення гелкоуту, дати їм порівняльну характеристику.
9. Чим обмежена товщина виробу, що формується за один прийом?
10. Як визначається період часу перебування виробу у формі до вилучення?
11. Які властивості смоли найбільш бажані для контактного формування?
12. Навести переваги контактного формування.
13. Навести недоліки контактного формування.

Лабораторна робота № 3

МЕТОД ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ВАКУУМНИМ ФОРМУВАННЯМ

Мета роботи: оволодіння основами технологічного процесу вакуумного формування для отримання монолітних виробів із шаруватих пластиків. Визначення механічних характеристик склопластику, порівняння їх з характеристиками зразків, отриманих методом контактного формування.

Теоретичні відомості

При виготовленні виробів еластичним пуансоном тиск формування, створюваний робочим середовищем (газом, рідиною), через еластичну мембрану (пуансон) передається на пакет, що заздалегідь викладений та просочений полімерним сполучником, та ущільнює його. Такий спосіб формування забезпечує рівномірний розподіл тиску по всій площі пакета, незалежно від його розмірів і конфігурації.

Відомо кілька способів пружного формування виробів із КМ еластичним пуансоном, які відрізняються один від іншого апаратурним оформленням і типом застосованого робочого тіла. Найпоширенішими з них є вакуумне, пневматичне (прес-камерне), автоклавне й гідроклавне формування, здійснюване на оснащенні позитивного або негативного типу. Всі ці методи базуються на віджиманні лишків сполучника з пакета, що формується в спеціально передбачені сухі шари (перпендикулярно поверхні), або в боки (в площині пакета на його периферію).

Загальна схема викладання технологічного пакета наведена на рис. 3.1.

Авто- і гідроклавне формування під тиском від 0,3 до 10 мПа стисненого газу або рідини виконують у ємностях високого

тиску – автоклавах, в які поміщають технологічне оснащення з зазначеним пакетом, герметично закритим еластичним пуансоном. Порожнина, обмежена еластичним пуансоном, з'єднується з вакуумною магістраллю. Пневматичне (прес-камерне) формування здійснюється в прес-камерах під тиском 0,1...1 мПа стисненого газу.

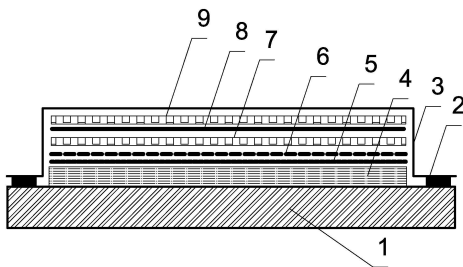


Рис. 3.1. Схема пакета для пружного формування:

1 – форма; 2 – ущільнювач; 3 – вакуумна діафрагма (мішок);
4 – пакет, що формується; 5 – жертвний шар; 6 – перфорована плівка;
7 – вбирний шар; 8 – роздільна плівка; 9 – вентиляційний шар

У процесі вакуумного формування ущільнення матеріалу здійснюється атмосферним тиском внаслідок створення в замкненому об'ємі розрідження (рис. 3.2).

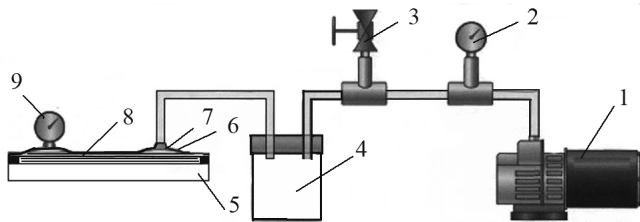


Рис. 3.2. Оснащення для вакуумного формування:

1 – вакуумний насос; 2 – вакуумний манометр; 3 – кран; 4 – пастка для сполучника; 5 – форма; 6 – еластичний пуансон; 7 – штуцер вакуумної магістралі; 8 – ламінат, що формується; 9 – вакуумний манометр

Матеріали, що використовуються

1. Склотканина ровінгова – 450 г/м^2 , $200 \times 200 \text{ мм}$, 5 шарів.
2. Скломат – 450 г/м^2 , $200 \times 200 \text{ мм}$, 5 шарів.
3. Поліефірні або епоксидні сполучники – 0,25 кг.
4. Поліамідна плівка – $250 \times 250 \text{ мм}$.
5. Антиадгезив восковий – 10 г.
6. Жертовна тканина – $210 \times 210 \text{ мм}$.
7. Перфорована плівка – $200 \times 200 \text{ мм}$.
8. Вентиляційний шар – $200 \times 200 \text{ мм}$.
9. Вбирний матеріал – $200 \times 200 \text{ мм}$.
10. Липка стрічка, що герметизує – 1 м.

Устаткування, оснащення, прилади

1. Розривна машина.
2. Лабораторна установка для вакуумного формування (див. рис. 3.2).
3. Аналітичні ваги, пристосовані для гідростатичного зважування.
4. Муфельна піч.
5. Корундові тиглі.
6. Скляні стаканчики і палички для готування сполучника.
7. Щітка для просочення наповнювача.

Завдання 1. Формування пластин із шаруватого пластику

1. Нанести на форму антиадгезив.
2. Викласти жертовну тканину. Просочений сполучником пакет, що складається з п'яти шарів наповнювача склотканини з ровінгу та 5 шарів скломату, що чергуються, викладають на форму.
3. На пакет викладається жертовний шар, перфорована плівка, шар, вбирний шар, роздільна плівка, вентиляційний

шар. Зібрану послідовність накривають еластичним пуансоном і герметизують з'єднання по периметру герметизуючою липкою стрічкою, притискаючи її краями плівки до форми. В просторі між еластичним пуансоном і плитою створюють розрідження, підключаючи штуцер 7 до вакуумної магістралі.

Пакет можна ущільнити до заданої величини тільки в тому випадку, якщо сполучник у процесі ущільнення перебуває у в'язко-текучому стані.

4. Ущільнений пакет під тиском при необхідності нагрівають до температури твердіння сполучника, витримують певний час, відключають нагрівальні елементи оснащення й охолоджують його разом з виробом до 30...40 °С. З відформованого виробу знімають всі технологічні шари, до жертвовного.

Завдання 2. Визначення якості відформованих пластин

Аналогічно до завдання 4 роботи № 2 визначають товщину пластин, вміст у них сполучного, щільність, а також міцність і модуль пружності при розтягуванні і згинанні.

Руйнівні напруження і модуль пружності при розтягуванні і згинанні визначають згідно зі стандартами (ДСТУ 2308–93). Занести дані в табл. 3.1–3.2.

Таблиця 3.1. Результати вимірювань

№ заміру	1	2	3	4	5
Товщина					

Виявити статистичні характеристики розкиду фізичних характеристик за формулами (2.1)–(2.3). Отримані результати вносять у табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Результати розрахунків

№ зразка	1	2	3	4	5
Руйнівні напруження при розтягуванні, σ_p , МПа					
Модуль пружності при розтягуванні, E_p , ГПа					
Руйнівні напруження при згинанні, σ_z , МПа					
Модуль пружності при згинанні, E_z , ГПа					
Щільність, ρ , кг/м ³					
Масова частка сполучника, m_f					
Об'ємна частка сполучника, v_f					

Аналізують отримані дані і дані, отримані в роботі № 2 для зразків, виготовлених методом контактного формування, і роблять висновок щодо впливу методу формування й величини тиску на геометричні розміри і фізико-механічні властивості пластин. Заповнити порівняльну табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Порівняльна таблиця властивостей склопластику, виготовленого методом вакуумного та контактного формування

Метод формування	Товщина пластини, мм	Щільність матеріалу, кг/м ³	Вміст сполучника, % (мас.)	Пористість, %	Руйнівне напруження при розтягуванні, МПа	Модуль пружності при розтягуванні, МПа	Руйнівне напруження при згинанні, МПа	Модуль пружності при згинанні, МПа
Контактне формування								
Вакуумне формування								

Контрольні питання

1. Перелічіть основні методи формування виробів із КМ еластичним пуансоном, що в них спільного і чим вони розрізняються.
2. Пояснити взаємозв'язок тиску формування й вмісту в пластику сполучника.
3. Поясніть призначення кожного технологічного шару в пакеті, що викладався.
4. Назвіть основні причини, що спричиняють розходження у властивостях виробів, одержаних вакуумним і контактним формуванням.

Лабораторна робота № 4

МЕТОД ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ВАКУУМНОЮ ІНЖЕКЦІЄЮ

Мета роботи: вивчення технологічних основ виготовлення виробів методом вакуумної інжекції, вивчення впливу в'язкості сполучника на швидкість просочення.

Теоретичні відомості

Цей спосіб виготовлення виробів із КМ є різновидом методів виготовлення виробів просоченням, у яких сполучник просочує заздалегідь викладене на форму сухе армування за рахунок перепаду тиску в пакеті армуючого матеріалу, що поміщений в порожнині між жорсткою матрицею та герметичною плівкою при його вакуумуванні (рис. 4.1); у світовій практиці відомий як VI – Vacuum infusion, VIP – Vacuum infusion process, RIFT – Resin Infusion under Flexible Tooling та ін.). Компанія Seemann Composites запатентувала різновид способу за назвою **SCRIMPSM** (Seemann Composites Resin Infusion Molding Process).

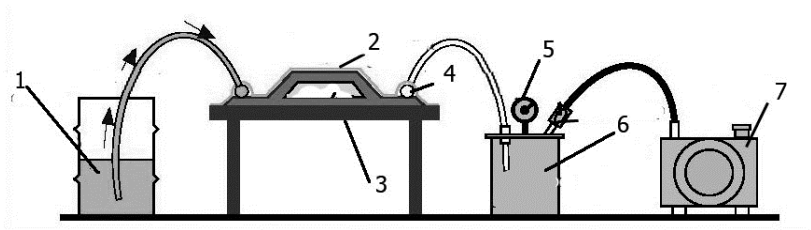


Рис. 4.1. Схема вакуумної інжекції
1 – сполучник; 2 – вакуумна плівка; 3 – форма;
4 – спіральна трубка; 5 – вакуумметр;
6 – пастка для сполучника; 7 – вакуумний насос

Враховуючи незначний перепад тиску у формі, спосіб використовується з різноманітними допоміжними матеріалами, що мають високу проникність, за рахунок чого досягається висока швидкість просочення.

Рівень вакууму для поліефірних смол складає, як правило, 0,06...0,07 мПа. Більш глибокий вакуум може призвести до закипання стиролу в поліефірній смолі і утворення у результаті цього повітряних включень.

Схеми просочення, як правило, досить різноманітні і розташування просочувальних каналів залежить від товщини пакета, розмірів і геометрії виробу.

Від ємності I до форми сполучник рухається по прозорих поліхлорвінілових трубках. Первинними ж каналами подачі сполучника всередині форми є Ω – подібні (рис. 4.2,*а*) або спіральні (рис. 4.2,*б*) трубки.

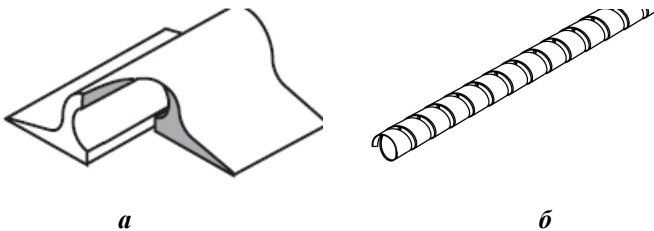


Рис. 4.2. Живильні трубки:
а – Ω -подібна трубка; *б* – спіральна трубка

Діаметр внутрішньої порожнини 10...20 мм, тому сполучник по них рухається з відносно великою швидкістю.

Після заповнення трубок сполучник починає рухатись по армуючому матеріалу, в який додатково додають спеціальні технологічні шари, що мають високу проникність і дозволяють значно прискорити рух смоли.

Плин крізь сітку

В цьому методі плин сполучника в основному має місце в сітчастій або в грубій високопористій тканині, яка розташовується на поверхні ламінату між жертвним шаром і вакуумною плівкою (рис. 4.3). Сітка й жертвний шар прибираються після твердіння.

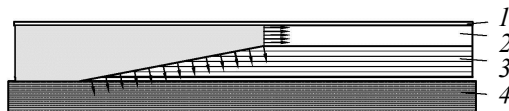


Рис. 4.3. Плин крізь сітку на поверхні пакета:
1 – вакуумна діаграма; 2 – сітка з високою прочністю;
3 – армування; 4 – форма

Плин крізь мати з високою проникністю

У відмінності від плинк крізь сітку, шар з високою проникністю поміщується усередину пакета армування (рис. 4.4), і залишається серцевиною виробу тришарової конструкції, не вилучається й не утворює відходи.

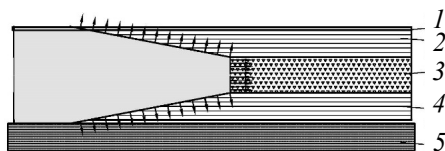


Рис. 4.4. Плин крізь сітку всередині пакета:
1 – вакуумна діаграма; 2 – армування;
3 – шар з високою проникністю; 4 – армування; 5 – форма

Плин крізь насічки в пінопластовому заповнювачі

Якщо виріб містить пінопластовий заповнювач, цей метод може використовуватися, щоб поліпшити плин сполучника. Сполучник може текти крізь канали або сітки в піно-

пластовому заповнювачі. Проточних каналів повинно бути якнайбільше в напрямку руху потоку смоли (рис. 4.5).

Біля порту введення сполучника ламінат має тенденцію товщати, так що пластик буде нижчий за щільністю, внаслідок меншого рівня вакууму, що спричиняє менше обпресування армуючого матеріалу. Коли форма повністю просочена, варто перекрити порт інжекції і продовжувати вакуумування для вирівнювання тиску по всій площині пакета. Вакуум підтримується доти, поки не буде досягнуто пік екзотермічного процесу в сполучнику.

Сполучник може вводиться в ламінат лінійно (рис. 4.6,*а,в*) або точково (рис. 4.6,*б*).

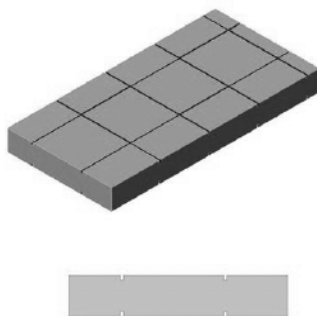


Рис. 4.5. Пінопласт для вакуумної інжекції

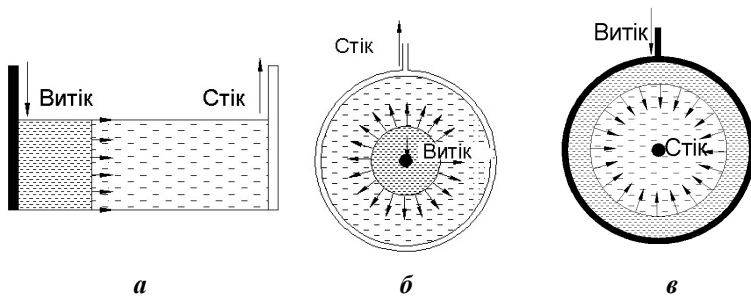


Рис. 4.6. Схеми просочення:

а – лінійне просочення; *б* – точкове просочення від центру;
в – лінійне просочення від периферії

Залежно від взаємного розташування на формі живильних та вакуумних портів, розрізняють стратегії просочення

від центра до периферії (рис. 4.6,*а*), або від периферії до центра (рис.4.6,*в*).

Найчастіше рекомендується вводити сполучник по периметру (від периферії), ніж локально точково. У першому випадку процес просочення починається із заповнення периметра виробу, що утворює більшу початкову площу фронту перетину сполучника. При цьому забезпечується можливість початкової високої витрати смоли. По мірі просування сполучника в центр площа перетину фронту зменшується, і при високій проникності середовища, відповідно до рівняння Бернуллі, швидкість руху сполучника зростає (при малому гідравлічному опорі).

Подальше прискорення процесу досягається різноманітними конструктивними схемами (стратегіями) розташування живильних трубок. Розрізняють такі схеми просочення, як послідовна, двостороння (рис. 4.7) і деревоподібна. Послідовне просочення полягає в послідовному нагнітанні сполучника через джерела, розташовані на різних ділянках форми уздовж напрямку руху сполучника. Кожний наступний порт відкривається після досягнення фронтом лінії, на якій він розташований. Двостороннє просочення застосовується також при виготовленні виробів великої довжини для зменшення тривалості просочення. У цьому випадку витoki розташовуються у двох крайніх точках виробу, а стоки – посередині.

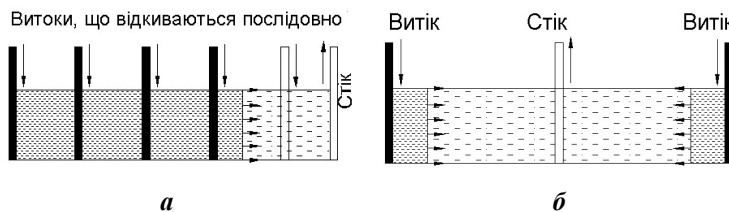


Рис. 4.7. Схеми лінійного просочення:
а – послідовне просочення; *б* – двостороннє просочення

Просоченню передуює розрахунок його тривалості й зіставлення цього показника із часом життєздатності сполучника.

Часто застосовують деревоподібну схему (рис. 4.8) (корпуси малотоннажних суден).

У загальному випадку стратегія інжекції досить складна, вимагає практичного досвіду або застосування методів комп'ютерного моделювання процесу руху рідини в поруватому середовищі.

Завдячуючи нескладному оснащенню, спосіб одержав широке застосування при виготовленні великогабаритних виробів складної форми. Саме тому найбільше поширення спосіб знайшов у малотоннажному суднобудуванні та вітроенергетиці при виготовленні лопатей вітротурбін.

Основними перевагами способу є:

- незначні викиди шкідливих речовин, поліпшені умови праці;
- висока якість армованого пластика за рахунок високого вмісту волокна та низької поруватості.

Матеріали, що використовуються

1. Епоксидний або поліефірний сполучник з в'язкістю не більше 300 мПа із загальною вагою 200 г. Пропорції для твердників відповідно до паспортних даних.
2. Наповнювач: скломатеріали за вибором викладача.
3. Антиадгезив на основі синтетичного воску.
4. Вакуумна плівка – 500×500 мм.

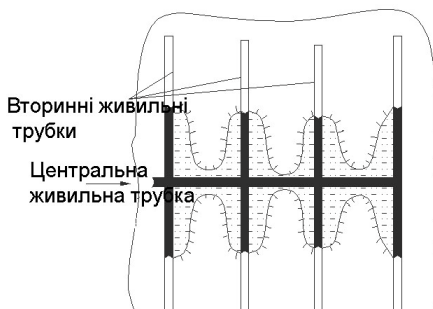


Рис. 4.8. Деревоподібне просочення

5. Ущільнювач липкий – 2 м.
6. Розподільче середовище типу Soric xi або аналогічне – 500×500 мм.
7. Спіральна трубка – 2 м.
8. Трубка ПХВ – 2 м.
9. Установка для вакуумної інжекції (рис. 4.1)
10. Секундомір.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Просочення від периферії (див. рис. 4.6,в)

Використовуються смоли холодного твердіння, тому температура досліду – кімнатна, але не нижче 15 °С. Схему облаштування зображено на рис. 4.9.

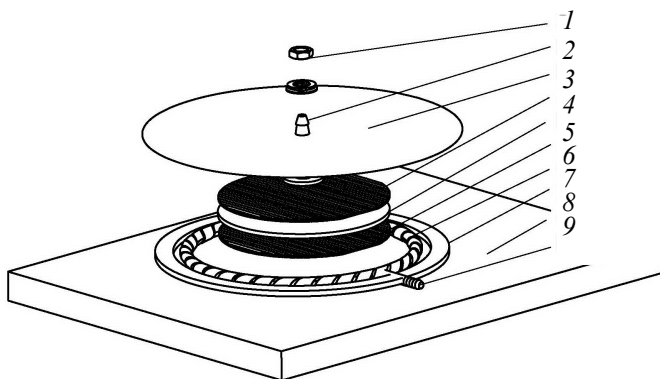


Рис. 4.9. Схема облаштування вакуумної інжекції:

- 1 – зажимна гайка; 2 – штуцер; 3 – вакуумна плівка; 4 – армування;
 5 – пористе середовище; 6 – армування; 7 – спіральна трубка;
 8 – ущільнювач; 9 – форма; 10 – штуцер

1. Підготувати форму – плоский лист склопластику з глянцевою поверхнею розміром не менше 500×500 мм.

2. Нанести восковий антиадгезив (див. лабораторну роботу № 1).

3. Викласти пакет армуючого матеріалу округлої форми діаметром 300–400 мм за схемою, що яку дає викладач.

4. Викласти шар пористого середовища.

5. Викласти пакет армуючого матеріалу (симетрично викладеному за п. 3).

6. По краю пакета викласти спіральну трубку діаметром 10 мм. Приєднати до неї штуцер подачі сполучника.

7. По краю спіральної трубки викласти ущільнювач, зняти з нього захисну плівку.

8. Викласти вакуумну плівку, притиснути її до ущільнювача.

9. Розмітити маркером плівку на радіусі шкалою з діленнями по 10 мм.

10. Приєднати штуцер під'єднання вакууму, обтиснути гайку для герметизації.

11. З'єднати штуцер на плівці трубкою до лінії вакууму.

12. З'єднати штуцер на спіральній трубці трубкою до лінії сполучника. Трубку герметично затиснути перегинанням.

13. Включити вакуум, перевірити наявність протікання повітря. Покази вакуумманометра не мають змінюватись протягом 1 хв. Усунути протікання у разі виявлення.

14. Приготувати сполучник у кількості 200 г за рецептурою виробника.

15. При увімкненому насосі занурити трубку у ємність зі сполучником, зняти затискач.

16. Сполучник починає рухатись до форми, заповнює спіральну трубку, потім просочує пакет.

17. Записувати час досягнення сполучником кожної поділки радіусної шкали на плівці. Заносити дані до табл. 4.1.

18. При досягненні сполучником штуцера вакуумування, затиснути трубку подачі сполучника. Записати час просочення до таблиці.

19. Вакуум вимкнути після затвердіння сполучника.

20. Побудувати графік залежності довжини просочення від часу.

Завдання 2. Просочення від центру (рис. 4.6,*a*).

1. Виконати завдання 1 з тією різницею, що під'єднання вакууму та сполучника слід поміняти місцями.

2. Результати занести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Результати дослідів

Довжина просочення, мм	10	20	30	40	50	...	150
Від периферії. Час просочення, с							
Від центру. Час просочення, с							

3. Побудувати графіки залежності довжини просочення від часу.

4. Проаналізувати особливості обох схем просочення, зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Як впливає в'язкість на швидкість просочення?
2. Чому швидкість просочення сповільнюється зі збільшенням довжини просочення?
3. Якими методами можна прискорити просочення скло-матеріалів з низькою проникністю.
4. Які переваги методу вакуумної інжекції?
5. Навести приклади виробів, що виробляються способом вакуумної інжекції.
6. Визначити особливості одержання тришарових панелей з пінопластовим заповнювачем методом вакуумної інжекції.
7. Навести графік залежності довжини просочення від часу просочення.
8. Навести технологічні схеми (стратегії) інжекції.

Лабораторна робота № 5

МЕТОД ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ПРОСОЧЕННЯМ ПІД ТИСКОМ

Мета роботи: вивчення технологічних основ виготовлення виробів методом просочення під тиском та визначення коефіцієнтів проникності преформ.

Теоретичні відомості

Просочення під тиском є універсальним і ефективним процесом виготовлення армованих волокном полімерних композитів для малих деталей простої форми або конструкцій складної форми. Це дозволяє виробляти серійну продукцію з високою продуктивністю при низькій собівартості.

Виготовлення виробів у жорстких формах проводиться у дві стадії: ущільнення заготовки наповнювача для надання їй заданої пористості та просочення її сполучником під тиском.

Першим кроком є викладка заготовки (преформи) на форму (рис. 5.1). Волокниста преформа, як правило, складається з тканого і/або нетканого волокнистих матеріалів. Після того як прес-форма закривається пуансоном та герметизується обжиманням болтами, включають вакуум при перекритому клапані подачі сполучника і перевіряють її герметичність за показами вакуумманометра. Усунути протікання повітря в разі потреби. Вмикається компресор, відкривається клапан подачі сполучника і в порожнину форми вводять полімерну смолу під тиском, яка просочує преформу й одночасно витісняє повітря. Після повного заповнення порожнини форми вмикається компресор і вакуумний насос, закривається клапан подачі сполучника та вакуумний клапан. Вмикають нагрівачі

й очікують повного твердіння (орієнтуватися на паспортні характеристики сполучника). Готовий продукт видаляється з прес-форми.

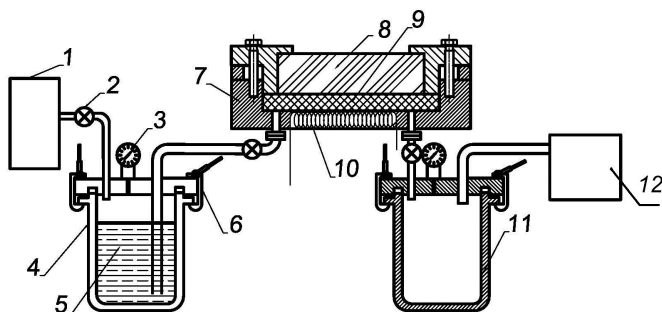


Рис. 5.1. Схема просочення під тиском:

- 1 – компресор; 2 – клапани; 3 – манометр; 4 – ємність високого тиску;
 5 – сполучник; 6 – ексцентрикові затискачі; 7 – форма; 8 – скло;
 9 – армування; 10 – нагрівач; 11 – пастка для сполучника
 12 – вакуумний насос

Рух рідини в пористих середовищах описується відповідно до закону Дарсі для односпрямованого потоку:

$$\bar{u} = -\frac{K}{\eta} \nabla P, \quad (5.1)$$

де $\bar{u}$ – вектор швидкості Дарсі; η – ньютонівська в'язкість рідини; ∇P – вектор градієнта тиску; K – тензор проникності пористого середовища.

У разі одновимірних експериментів потік рідини протікає через преформу в одному напрямку:

$$v = -\frac{K}{\eta} \frac{\partial P}{\partial x}. \quad (5.2)$$

Після повного заповнення рідиною порожнини прес-форми, досягається сталість даних з витрат сполучника та перепаду тиску за напрямком течії. Після низки вимірювань стала витрати представляється як функція стаціонарного градієнта тиску. Якщо в експерименті використовується ньютонівська рідина, повинна бути отримана лінійна залежність між швидкістю потоку і градієнтом тиску. Закон Дарсі показує, що нахил такої лінії пропорційний відношенню проникності до в'язкості. Компоненти плоского тензора проникності можуть бути отримані експериментальним моделюванням односпрямованого потоку.

Точне визначення проникності необхідне для чисельного моделювання потоку смоли з метою розробки форм та прогнозування руху смоли у формі.

Матеріали, що використовуються

1. Склматеріали різноманітного плетіння (скломат, односпрямована тканина, поліаксіальні тканини) – 0,25 кг.
2. Сполучник – смола поліефірна або епоксидна з низькою в'язкістю (не більше 300 мПа·с) – 0,5 кг.
3. Антиадгезив – синтетичний віск – 10 г.
4. Ацетон – 100 г.

Обладнання

1. Компресор.
2. Герметична ємність для сполучника.
3. Форма для просочення (див. рис. 5.1, поз. 7).
4. Вакуумний насос.
5. Гельтаймер.
6. Секундомір.
7. Пристосування для визначення коефіцієнта тертя (див. рис. 5.2).
8. Технічні ваги з точністю виміру до 0,01 кг.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Визначення технологічних параметрів просочення ущільненого пакета

До технологічних параметрів просочення відносяться тиск ущільнення наповнювача, тиск просочення, тривалість і оптимальна температура просочення.

1. При виборі тиску ущільнення для одержання пластини товщиною H , що містить певну кількість сполучного C_c , використовують деформаційні криві та $h - p$, отримані при виконанні лабораторної роботи № 2. Оскільки в процесі просочення під тиском ущільненого пакета сполучник заповнює міжволоконний простір, то можна прийняти, що відносна об'ємна пористість пакета m і відносний об'ємний вміст сполучника в просоченому пакеті C мають ту ж саму величину. Тому, якщо задано відносний об'ємний вміст сполучного C_c у пластині, то по відомій залежності $m - p$ визначають тиск ущільнення p_y , що забезпечує необхідну пористість m .

За знайденим p_y і відомою залежністю $h - p$ (див. лабораторну роботу № 2) визначають відносну висоту пакета h_y при тиску p_y :

$$h_y = H_i / H_{\Pi}, \quad (5.3)$$

де H_i – задана товщина виробу, одержана при тиску ущільнення p_y , мм; H_{Π} – товщина неущільненого пакета, мм.

Товщину пакета розраховують за формулою

$$H_{\Pi} = H_i / h_y. \quad (5.4)$$

Якщо товщина одного шару тканини, з якої складають пакет, дорівнює δ , то для одержання пакета висотою H_{Π} необхідно укласти шарів тканини

$$n = H_{\Pi} / \delta.$$

2. Тиск при просоченні наповнювача не повинен перевищувати критичне значення, при якому опір плинущого зчеплення з заготовки стає рівним силі її тертя об стінки форми. В іншому випадку спостерігається змивання заготовки і зсув її в напрямку стоку.

Максимально припустимий тиск при просоченні розраховують по формулі

$$q_{\max} \leq 2 p f l / H, \quad (5.5)$$

де p – тиск ущільнення заготовки, мПа; f – коефіцієнт тертя спокою між наповнювачем і формою; l – довжина пакета наповнювача, м; H – товщина ущільненого пакета, м.

Максимальний тиск, що допускається при просоченні, залежить також від жорсткості оснащення й звичайно вибирається в межах 0,3...1,0 мПа.

Значення f визначають експериментально. Для цього використовують пристосування, зображене на рис. 5.2. Він складається із двох рухливих плит – верхньої 2 і нижньої 1. Пакет 3 розміром 50×50 мм поміщують поміж ними. Тиск створюється навантаженням верхньої плити гирею 4 вагою 1–5 кг. Верхню плиту струною 5 стягують з армування через систему блоків 6 за рахунок ваги вантажів, що підбираються на противагах 7.

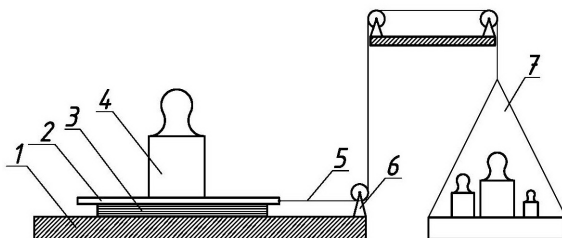


Рис. 5.2. Пристосування для визначення коефіцієнта тертя

Зазначають зусилля, при якому відбудеться зрушення пластини 3 відносно пластин. Коефіцієнт тертя спокою f розраховують за формулою

$$f = F / N, \quad (5.6)$$

де F – сила тертя, визначена противагами 7, Н; N – зусилля притискання планки до наповнювача, Н.

За даними експерименту визначають максимально допустимий тиск при просоченні за формулою (5.5). Тиск просочення – до 0,5 мПа. При необхідності скоригувати кількість шарів, поки умова 5.5 не буде задоволена.

Завдання 2. Проведення просочення

1. Skorистatись dаними завдання 1 для визначення кількості шарів пакета для заданої товщини виробу та вмісту сполучника, розкroїти скломатеріали по розміру форми.

2. Викласти пакет виробу у форму, накрити пуансоном, та затиснути.

3. Приготувати сполучник у кількості 300 г. Залити його в ємність 5 (див. рис. 5.1)

4. Перекрити трубку вакуумної магістралі, включити компресор, перевірити систему на герметичність, усунути недоліки.

5. Перекрити трубку магістралі високого тиску між формою та ємністю зі сполучником, включити вакуум, перевірити систему на герметичність, усунути недоліки.

6. Відкрити магістраль високого тиску, включити вакуумний насос.

7. З моменту початку просочення першу хвилину заміряти та записувати до таблиці через кожні 10 секунд довжину просочення, далі через кожну хвилину. Результати замірів занести до табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Результати дослідів

Час просочення, с	Довжина просочення, м

8. При досягненні повного просочення, затиснути трубку подачі сполучника, виріб витримати у формі до гелеутворення.

9. Побудувати графік залежності довжини просочення від часу, проаналізувати її характер.

10. Коефіцієнт проникності заготовки (м^2) розраховують по формулі

$$k = \frac{\eta Q l}{B H \Delta P}, \quad (5.7)$$

де η – динамічний коефіцієнт в'язкості сполучника, Па·с (визначається віскозиметром або за паспортними даними); l – довжина пакета, м; H – товщина заготовки, м; B – ширина заготовки, м.

Витрата сполучника ($\text{м}^3/\text{с}$) визначається за формулою

$$Q = V / \tau, \quad (5.8)$$

де V – об'єм сполучника, що протікає у форму через вхідний канал, м^3 ; визначається по поділках на віконці ємності зі сполучником; τ – тривалість подачі сполучника при тиску P . ΔP являє собою різницю між тиском на фронті потоку та у витоку. Таким чином, ΔP дорівнює тиску сполучника на вході плюс величина розрідження від вакуумного насосу.

Контрольні запитання

1. Як впливає в'язкість на швидкість просочення?
2. Чому швидкість просочення сповільнюється зі збільшенням довжини просочення?
3. Від яких чинників залежить коефіцієнт проникності?
4. Яким фізичним законом описується рух сполучника в пористому середовищі?
5. Які переваги та недоліки методу просочення під тиском?
6. Навести різновиди просочення під тиском.
7. Навести приклади виробів, що виробляються даним способом.
8. Навести графік залежності довжини просочення від часу, дати йому фізичну характеристику.
9. Якими чинниками обмежується тиск просочення?

Лабораторна робота № 6

МЕТОД ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ПРЕСУВАННЯМ

Мета роботи: визначення впливу тиску пресування (вмісту волокна) на механічні властивості склопластику.

Теоретичні відомості

Пресування – це спосіб формування виробів із пластичних мас при підвищеній температурі й тиску у формах, що встановлюються на пресах. Пресуванням одержують вироби із прес-порошків, волокнітів або шаруватих пластиків переважно на основі реактопластів.

Вміст волокна в значній мірі впливає на властивості склопластику. На рис. 6.1 показано зміну характеристик матеріалу в залежності від вмісту в ньому волокна.

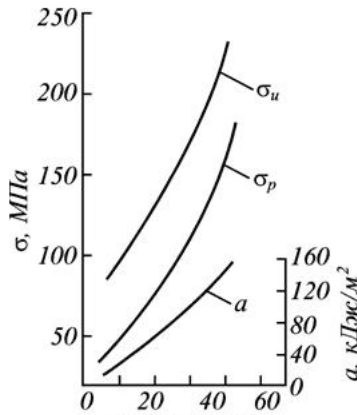


Рис. 6.1. Вплив вмісту волокна на руйнуючі напруження при розтягуванні (σ_p) і згинанні ($\sigma_{\text{и}}$) та ударну в'язкість (a)

Найкраще властивості волокон у полімерній матриці реалізуються при досягненні в структурі композита певного ступеня заповнення, досягти якого можливо тільки при ущільненні матеріалу після викладення. Для досягнення необхідних ступенів заповнення використовуються всілякі способи силового впливу, за допомогою яких здійснюється видалення надлишкового сполучника і захопленого напівфабрикатом повітря.

Загальні принципи ущільнення:

1) *жорстке формування* припускає наявність пуансона та матриці, що у зімкнутому стані визначають форму виробу. Момент закінчення ущільнення визначається моментом змикання форм (досягненням необхідної товщини виробу). Таким чином тиск на просочений сполучником матеріал для армування, що створюється оснащенням, може коливатися при відхиленнях у товщині викладеного пакета й призводити до нерівномірності вмісту смоляної складової. Однак геометрія виробу зберігається від виробу до виробу, тобто гарантується краща відтворюваність форми;

2) *пружне формування* – припускає визначення моменту закінчення обпресування по силі впливу однієї із площин на викладений напівфабрикат. Очевидно, що даний спосіб гарантує відтворюваність властивостей від виробу до виробу, але товщина виробів може коливатися при відхиленнях у товщині пакета.

Різниця між жорстким і пружним формуванням полягає ще й у тому, що при жорсткому формуванні кількість шарів повинна бути точно розрахована й повторятися якомога більш точно від виробу до виробу, оскільки товщина виробу завжди буде однаковою; при пружному ж формуванні допускаються більші неточності при викладенні, однак тоді можна одержувати відхилення по товщині.

Одна із площин обпресування повинна бути жорсткою (власне матриця), а інша (пуансон) може бути як жорсткою так і піддатливою. Як правило, для жорсткого пресування використовується жорсткий пуансон, а для пружного застосовується як жорсткий, так і пружний пуансон, хоча зустрічаються й інші комбінації.

Тиск усередині напівфабрикату створюється різними способами:

1. Впливом через еластичну перегородку зовнішнім ізостатичним тиском (за допомогою стисненого повітря або рідини).

2. Атмосферним тиском, що створює ізостатичний вплив при відкачуванні повітря з герметичної порожнини між матрицею й еластичною перегородкою.

3. Безпосереднім силовим впливом механічного або гідравлічного преса.

4. Відцентровими силами.

За характером силового впливу розрізняють:

- статичний;
- динамічний;
- вібраційний (циклічний).

Силовий вплив може бути одноступінчастим або багаступінчастим (з підпресуванням).

Матеріали, що використовуються

1. Антиадгезивна плівка фторопластова.
2. Смола поліефірна – 2 кг.
3. Пероксид метитетилкетону – 7,5 г.
4. Склومات – 450 г/м^2 , пластини – $200 \times 200 \text{ мм}$, 5 шт.

Устаткування, оснащення, прилади

1. Прес гідравлічний з номінальним зусиллям 100 кН.
2. Ємність пластикова.
3. Щітка 50 мм.

4. Валики для ущільнення.
5. Штангенциркуль.
6. Термостат на 200°C.
7. Терези технічні.
8. Аналітичні ваги.

Порядок проведення роботи

Завдання 1. Розкроювання скломатеріалу.

Вирізати прямокутні клаптики 200×200мм скломату та ровінгової тканини в кількості по 5 шт.

Завдання 2. Формування виробу.

1. Приготувати сполучник, змішавши 200 г поліефірної смоли та 30 пероксиду метилетилкетону. Ретельно перемішати.

2. Нанести тонкий шар сполучного на поверхню фторопластової плівки.

3. Викласти на форму та просочити сполучником за допомогою щітки послідовно всі шари скломату вагою 450 г/м². Ретельно ущільнити шари за допомогою валика.

4. Вкласти пакет на нижню плиту преса, накрити фторопластовою плівкою.

5. Навантажити пакет зусиллям 0,5 кН. Дочекатись заствердіння, вилучити зразок.

6. Повторити пункти 1–5 для зусилля 10, 20, 50, 100кН.

Завдання 3. Оцінка механічних властивостей.

Завдання виконується для кожного виготовленого зразка.

1. Порізати зразок на 6 смужок довжиною 100 мм та шириною 25 мм.

2. Для однієї із смужок зробити не менше 5 замірів товщини по довжині. Занести дані в табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Результати вимірювання товщини зразків

Номер зразка	1	2	3	4	5
Номер заміру					
Товщина					

Виявити середнє значення та статистичні характеристики розкиду товщини за формулами (2.1)–(2.3).

3. Щільність матеріалу визначають гідростатичним зважуванням зразків розміром 15×15 мм. Результати вносять у табл. 6.2.

4. Масову частку волокна в пластинах визначають методом випалювання на залишках або на випробуваних зразках як відношення залишкової ваги зразка після випалювання до його первісної ваги.

5. Руйнівні напруження й модуль пружності при розтягуванні і згинанні визначають згідно зі стандартами (ДСТУ 2308–93, ГОСТ 25.604–82) (параметри, що підлягають визначенню, задаються викладачем). Занести дані в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Результати розрахунків

№ зразка	1	2	3	4	5
Щільність, кг/м ³					
Руйнівні напруження при розтягуванні, МПа					
Модуль пружності при розтягуванні, МПа					
Руйнівні напруження при згинанні, МПа					
Модуль пружності при згинанні, МПа					
Масова частка сполучника, %					

6. Виявити середні значення та статистичні характеристики розкиду фізичних характеристик за формулами (2.1)–(2.3).

7. Побудувати графіки залежності руйнівних напружень при розтягуванні, модуля пружності при розтягуванні руйнівних

напружень при згинанні, модуля пружності при згинанні, масової частки сполучника, об'ємної частки волокна в пластині від тиску пресування.

8. Зробити висновки по роботі.

Контрольні запитання

1. Охарактеризувати метод пресування.
2. Назвати ознаки жорсткого формування.
3. Назвати ознаки пружного формування.
4. Назвати принципи відмінності жорсткого та пружного формування.
5. Які силові впливи використовуються для пресування?
6. Що означає поняття "критичний ступінь заповнення" в композиційних матеріалах.
7. Навести криві залежності:
 - руйнівних напружень при розтягуванні;
 - модуля пружності при розтягуванні;
 - руйнівних напружень при згинанні;
 - модуля пружності при згинанні;
 - масової частки сполучника;
 - об'ємної частки волокна в пластині від тиску пресування.

Лабораторна робота № 7

МЕТОД ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ВІДЦЕНТРОВИМ ЛИТТЯМ

Мета роботи: вивчення закономірностей формоутворення циліндричного виробу при відцентровому литті.

Теоретичні відомості

Відцентрове лиття виробів із полімерних матеріалів здійснюється в металевих або склопластикових формах, що іноді обігріваються. Поміщена у форму нависка матеріалу, під дією відцентрових сил рівномірно розподіляється по внутрішній поверхні форми, приймаючи необхідну конфігурацію, ущільнюється й твердіє при обертанні або за рахунок протікання в полімері хімічної реакції (термореактивні матеріали), або внаслідок зниження температури форми нижче температури склування або плавлення полімеру (термопластичні матеріали).

При обертанні рідкого матеріалу разом з формою навколо вертикальної осі (рис. 7.1), внутрішня поверхня його приймає форму параболоїда обертання внаслідок того, що на кожну часточку матеріалу діє сила R , яка є результуючою сили ваги Q_T і відцентрової сили Q_u .

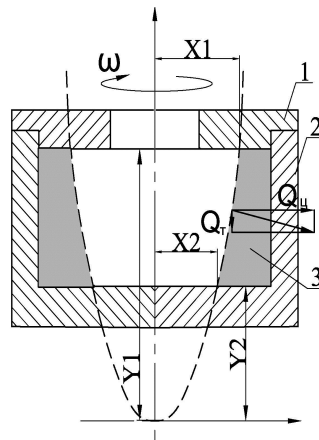


Рис. 7.1. Геометрія вільної поверхні рідини у формі з вертикальною віссю обертання:
1 – кришка форми; 2 – форма;
3 – компаунд

Результуюча сила завжди перпендикулярна параболічній поверхні. Зі збільшенням швидкості обертання форми відцентрова сила $Q_{\text{ц}}$ кожної частки зростає, при постійній масі її рівнодіюча R наближається до горизонталі, а стінки вільної поверхні стають більш вертикальними. Тому зміна швидкості обертання форми спричиняє зміну форми вільної поверхні. Рівняння, що описує геометрію вільної поверхні виробу, отриманого на установці з вертикальною віссю обертання, має такий вигляд:

$$y_1 - y_2 = \frac{\pi^2 \omega^2 (x_1^2 - x_2^2)}{g}, \quad (7.1)$$

де y_1, y_2 – координати точок параболи по осі B ; x_1, x_2 – координати цих же точок по осі X ; ω – швидкість обертання форми навколо вертикальної осі, рад/с; g – прискорення вільного падіння.

Якщо прийняти, що різниця $y_1 - y_2$ дорівнює висоті виробу H , а x_1, x_2 – максимальному й мініимальному радіусам внутрішньої порожнини виробу, то вираз (7.1) перетвориться в наступний:

$$\omega = \sqrt{\frac{gH}{2\pi^2 R \Delta\delta}}, \quad (7.2)$$

де: ω – частота обертання форми; H – висота виробу; $\Delta\delta = X_1 - X_2$ – бажана різниця між максимальним і мініимальним радіусом внутрішньої поверхні виробу.

При горизонтальному розташуванні осі обертання форми (рис. 7.2) є певна нижня межа швидкості обертання, при якій матеріал ще втримується відцентровими силами на всій поверхні форми.

При меншій швидкості обертання виріб не може бути отриманий, тому що рідкий матеріал стікає зі стінок форми.

Заштрихована ділянка шару матеріалу, що знаходиться від центра на відстані радіусом, при сталому режимі обертання форми зазнає впливу від дії двох сил – сили ваги Q_m й відцентрової сили Q_u . Якщо $Q_u > Q_m$ або дорівнює їй, то при обертанні матеріал повинен утримуватися на стінках форми. З цієї умови слідує, що мінімальна швидкість обертання, яка відповідає цій умові;

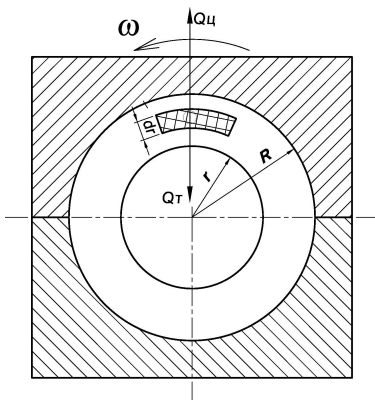


Рис. 7.2. Схема розподілу рідини в циліндричній формі, що обертається навколо горизонтальної осі

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{R}}, \quad (7.3)$$

де R – зовнішній радіус рідини; r_0 – внутрішній радіус рідини.

Практично застосовувана частота обертання значно більша за обчислену теоретично, тому що наведені вище формули не враховують склад матеріалу, його в'язкість і силу тертя об стінки форми. Тому для розрахунку частіше застосовують емпіричні формули, як, наприклад,

$$\omega = \frac{200}{\sqrt{R - \delta}}, \quad (7.4)$$

де R – зовнішній радіус виробу; δ – товщина стінки деталі.

Матеріали, що використовуються

Складові склопластиків для виготовлення виробу:

1. Епоксидний або поліефірний сполучник з в'язкістю не більше 1000 мПа·с загальною вагою 500–600 г. Твердники в пропорції – відповідно до паспортних даних сполучника.
2. Наповнювач: скляні мікросфери, мікрокульки або інший, за вибором викладача.
3. Антиадгезив на основі синтетичного воску.

Устаткування, оснащення, прилади

1. Форма для відцентрового лиття виробу.
2. Лабораторна установка для відцентрового лиття вертикальна із частотою обертання форми не менш 50 с⁻¹.
3. Штангенциркуль.
4. Порцелянові або скляні лабораторні склянки ємністю 250–500 мл.
5. Скляні палички.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Визначення технологічних параметрів відцентрового лиття.

До технологічних параметрів відцентрового лиття відносяться: частота обертання форми, температура й тривалість формування.

Частоти обертання форми, що досліджуються при виготовленні деталі заданих розмірів, розраховують за формулою (7.2) для значень різностінності $\Delta\delta = X_1 - X_2$ 5; 2; 0,5 мм.

Використовуються смоли холодного твердіння, тому температура досліду – кімнатна, не нижче 15 °С.

Тривалість формування виробів визначається швидкістю твердіння обраного епоксидного чи поліефірного сполучника.

Завдання 2. Формування деталей при різних частотах обертання форми.

1. Приготування компаунду. Задатися об'ємним коефіцієнтом наповнення φ (0,45...0,55). Визначити масу компаунду, задавшись товщиною стінки $R - r$:

$$M_k = K\pi H(R^2 - r^2)\rho_k, \quad (7.5)$$

де K – коефіцієнт витрати, прийняти рівним (1.1); H – висота виробу, м; R і r – зовнішній і внутрішній радіуси виробу, м.

Густина компаунду визначається за формулою

$$\rho_k = \rho_c(1 - \varphi) + \rho_n\varphi, \quad (7.6)$$

де ρ_c – густина сполучника, кг/м³; ρ_n – густина наповнювача, кг/м³.

Маса сполучника визначається за формулою

$$M_c = M_k \frac{\rho_c}{\rho_k} (1 - \varphi). \quad (7.7)$$

Маса наповнювача визначається за формулою

$$M_n = M_k \frac{\rho_n}{\rho_k} \varphi. \quad (7.8)$$

Пористістю компаунду знехтуємо.

Ввести твердники в пропорції відповідно до паспортних даних сполучника, ретельно розмішати, потім ввести наповнювач.

2. Формування виробу. Поверхню форми, що оформляє, очищують від матеріалу, який залишився від попереднього формування, і змазують тонким шаром антиадгезиву. Закріплюють форму на валу відцентрової машини. Форму заповнюють приготованою порцією компаунду. Приводять в обертання

форму із частотою не більше 2,5–3,3 с⁻¹. Перевіряють центрування форми. При значній вібрації установку вимкнути. Працювати на невідцентрованій формі не дозволяється. У конструкції відцентрової установки повинен бути передбачений кожух з товстого листового металу, що обгороджує обертову форму. Перевіряють роботу установки при максимальній частоті обертання, що визначена розрахунковим шляхом $n_{\max}$ (Завдання 1). Обертання підтримують до моменту гелеутворення, що встановлюється за паспортними даними. Вилучають виріб з форми після повного затвердіння.

За встановленими режимами виготовляють деталі при трьох визначених (Завдання 1) частотах обертання форми.

Завдання 3. Аналіз результатів досліджень.

Вимірюють зовнішній і внутрішній діаметр і висоту деталей за допомогою штангенциркуля. Зовнішній діаметр вимірюють по краях і в середині деталі, внутрішній – у верхній і нижній його частині. Кожний перетин вимірюють тричі, повертаючи деталь при черговому вимірі на 120 °С. За результатами виміру визначають усадку як відношення діаметра виробу до діаметру форми.

Отримані результати вносять у табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Результати досліджень

Частота обертання форми, с ⁻¹	Верхній діаметр, мм	Нижній діаметр, мм	Різниця товщини зразків, мм	Різниця товщини теоретична, мм
				5
				2
				0,5

– Визначити вплив частоти обертання форми на величину різниці товщини стінки.

– Побудувати на графіках теоретичну та реальну форму внутрішньої стінки циліндра.

– Проналізувати, як впливає частота обертання форми на форму деталей, розрахувати швидкість обертання для досягнення різниці 0,1 мм.

Контрольні запитання

1. Навести методику обґрунтування оптимальних частот обертання форми навколо горизонтальної і вертикальної осей.

2. Як змінюється конфігурація виробу, одержуваного у формі з вертикальною віссю обертання, залежно від частоти обертання форми?

3. Як визначається тривалість циклу формування?

4. Чому частота обертання може зменшуватись при збільшенні діаметра виробу?

5. Які матеріали можуть використовуватись для виготовлення виробів методом відцентрового лиття?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. **Братухин, А. Г.** Технология производства изделий и интегральных конструкций из композиционных материалов в машиностроении [Текст] / А. Г. Братухин, В. С. Боголюбов, О. С. Сироткин. – М. : Готика, 2003. – 516 с.

2. **Гейко, С. П.** Технологія виготовлення суднових конструкцій із полімерних композиційних матеріалів [Текст] : підручник / С. П. Гейко, Є. Т. Бурдун. – Миколаїв : НУК, 2015. – 255 с.

3. ДСТУ 2241-93 Матеріали композитні. Склопластики. Терміни та визначення [Текст] : Введ. : 01.07.94. – К. Держстандарт України, 1993. – 49 с.

4. ДСТУ 2242-93 Склопластики конструкційні типи, технологія, властивості. Терміни та визначення [Текст] : Введ. : 01.07.94. – К. : Держстандарт України, 1993. – 66 с.

5. ДСТУ 2308-93. Розрахунки та випробування на міцність. Метод визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення композиційних матеріалів у трьох взаємоортогональних напрямках [Текст] : Введ. : 01.01.95. – К. : Держстандарт України, 1994. – 10 с.

6. **Крысин, В. Н.** Технологические процессы формования, намотки и склеивания конструкций [Текст] / В. Н. Крысин, М. В. Крысин. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.

7. Практикум по технологии переработки пластических масс [Текст] / под ред. В. М. Виноградова и Г. С. Головкина. – М. : Химия, 1980. – 240 с.

8. Справочник по композиционным материалам : в 2 кн. [Текст] / под ред. Дж. Любина ; пер. с англ. – М. : Машиностроение, 1988. – 584 с.

9. Технологія виробництва літальних апаратів із композиційних матеріалів [Текст] / С. А. Бичков, О. В. Гайдачук,

В. Є. Гайдачук, В. Д. Гречка, В. М. Коробін ; під ред. В. Є. Гайдачука. – К. : ШСДО, 1995. – 376 с.

10. **Andrew C. Marshall.** Composite Basics [Text] / Publisher : T C Pr Edition : 7th ISBN13: Pub. Date:6/1/2005.

11. **Flake C Campbell Jr.** Manufacturing Processes for Advanced Composites by [Text] / Publisher : Elsevier Science / January 1, 2004. – Pages : 532.

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1. Вивчення структури та деформаційних властивостей тканих волокнистих наповнювачів	3
Лабораторна робота № 2. Метод виготовлення виробів контактним формуванням	12
Лабораторна робота № 3. Метод виготовлення виробів вакуумним формуванням	24
Лабораторна робота № 4. Метод виготовлення виробів вакуумною інжекцією	30
Лабораторна робота № 5. Метод виготовлення виробів просоченням під тиском	39
Лабораторна робота № 6. Метод виготовлення виробів пресуванням	47
Лабораторна робота № 7. Метод виготовлення виробів відцентровим литтям.....	53
Рекомендована література	60

Навчальне видання

ГЕЙКО Сергій Петрович
ЮРЕСКО Тетяна Анатоліївна

**Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни
"ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ
ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ"**

Редактор *С. А. Яременко*
Комп'ютерне складання та верстання *В. В. Москаленко*
Коректор *М. О. Паненко*

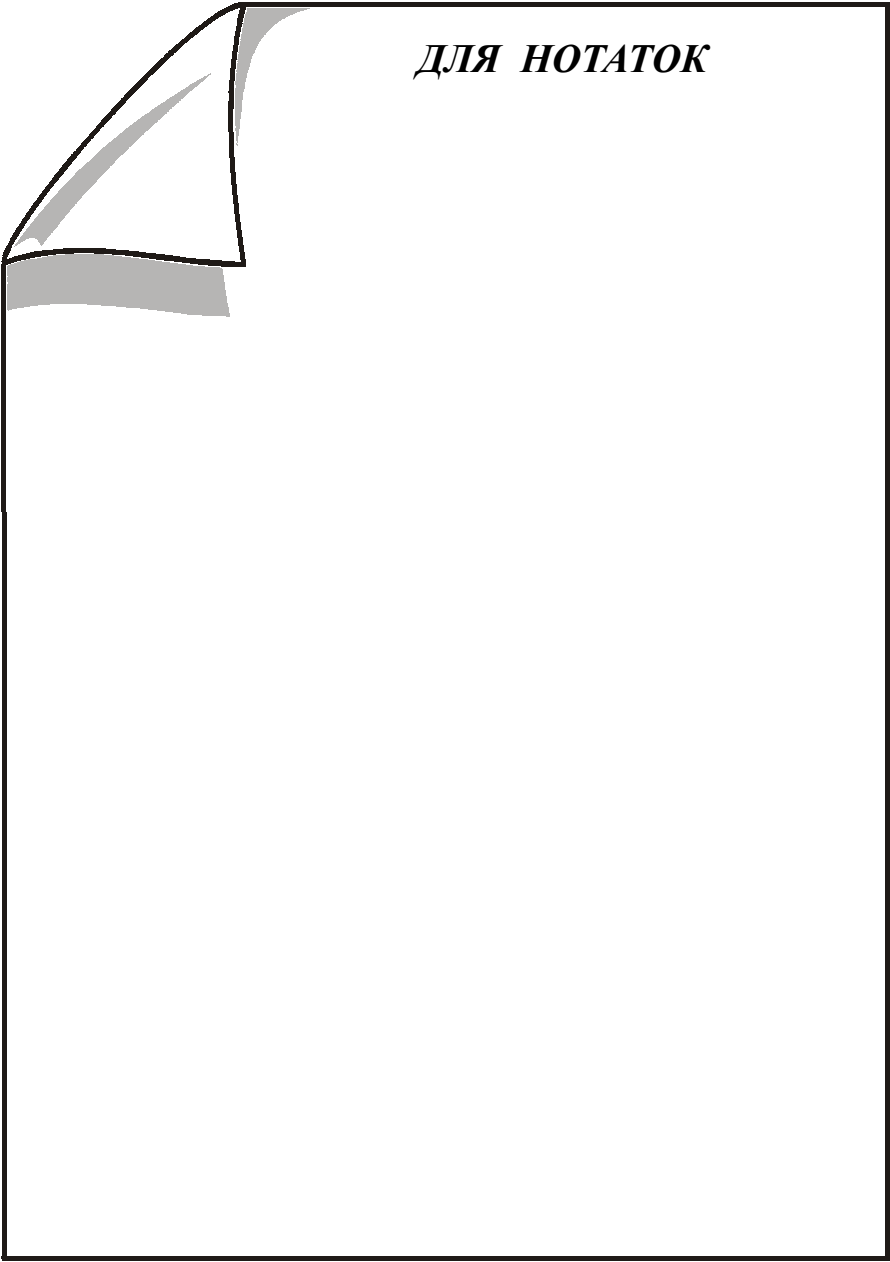
Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 3,7. Тираж 100 прим. Вид № 27. Зам. № 227.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025

E-mail : publishing@nuos.edu.ua

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



ДЛЯ ЗАДАТОК