

УДК 620.168(045)

<sup>1</sup>В.О. Краля, к.т.н., проф.<sup>2</sup>О.М. Джоган, пров. конструктор<sup>3</sup>О.П. Костенко, асп.

## ІНФУЗІЙНІ МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

<sup>1,3</sup>Національний авіаційний університет

E-mail: kralya.wit@rambler.ru

<sup>2</sup>ТОВ «Аеромеханіка»

*Розглянуто інфузійні методи просочення наповнювача на оснастці. Проаналізовано різні схеми просочення наповнювача, їх особливості, способи прискорення процесу.*

*Among a good deal of ways of part manufacturing from polymeric composite materials the infusion methods of impregnation of a fibre reinforcement on the mold are very popular now. Different schemes of impregnation of a fibre reinforcement, their features and ways of accelerated velocity of process are reviewed.*

*Рассмотрены инфузионные методы пропитки наполнителя на оснастке. Проанализированы различные схемы пропитки наполнителя, их особенности, способы ускорения процесса.*

### Постановка проблеми

Полімерні композиційні матеріали (ПКМ) завдяки комплексу унікальних властивостей широко використовуються в техніці. Нині відомо багато технологічних процесів перероблення цих матеріалів на вироби різних розмірів, конфігурації та призначення.

Кожен технологічний процес має свої особливості, переваги та недоліки. Крім того, кожен процес обмежується технологічними можливостями формоутворення виробів, параметрами процесу (тиском, температурою, швидкістю формування та ін.), геометрії, форми, рівнем автоматизації та реалізації вихідної міцності компонентів.

Ці обмеження, з одного боку, закладені в самому методі формоутворення, а з іншого боку, визначаються параметрами технологічного обладнання й оснастки [1].

### Теоретичні аспекти методу VARTM

Серед численних методів виготовлення деталей з ПКМ останнім часом широко використовують інфузійних методів просочення наповнювача на оснастці.

Одним із цих методів є VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding), тобто просочення наповнювача на оснастці за допомогою вакууму.

Метод VARTM є варіантом традиційного методу RTM і ґрунтується на односторонній оснастці з гнучкою герметизуючою мембраною.

Оскільки для просочення не використовується високий тиск, то вимоги до жорсткості й міцності ставляться невисокі, відповідно вартість оснастки невелика.

На підготовлену оснастку укладається наповнювач спільно з заповнювачем і закладними деталями.

Для підвищення технологічності процесу використовують попередньо зібраний у пакет наповнювач, коли кожний шар армувального наповнювача розкритий за розміром й утримується спільно з рештою шарів за допомогою липкого шару. Останній може являти собою склосітку з двостороннім клейким шаром або попередньо нанесений на наповнювач шар клейкої речовини – tackifier.

На наповнювач укладаються трубки подання зв'язуючого, засоби розповсюдження зв'язуючого (транспортні канали), трубки або точки вакуумування так, щоб дати можливість зв'язуючому повністю просочити деталь до початку його гелювання.

На оснастку укладається герметична верхня мембрана у вигляді вакуумного мішка або еластомірної оболонки. Оснастка герметизується по контуру та трубках.

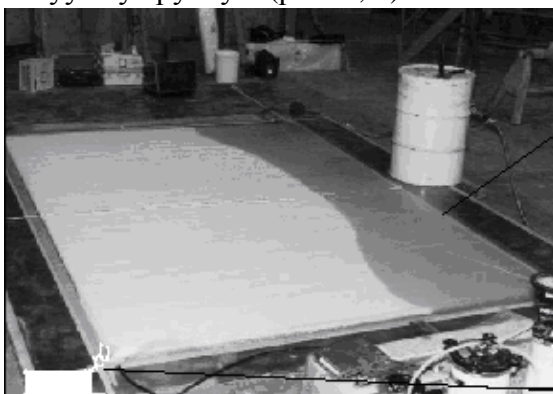
Після випробування на герметичність трубки подання зв'язуючого розміщують у відкритій або під невеликим надлишковим тиском посудині з низьков'язким зв'язуючим.

Перепад тиску примушує зв'язуюче переміщуватися від посудини до трубки вакуумування, просочуючи наповнювач.

Після повного просочення подання зв'язуючого перекривається. Деталь твердне згідно з температурним режимом залежно від типу зв'язуючого [2–4].

### Експериментальна частина

Для просочення деталей квадратної, прямокутної або трапецієподібної форми зв'язуючим із тривалим часом гелювання використовують таку схему просочення: з одного боку наповнювача укладають трубку подання зв'язуючого 1, а з протилежного – вакуумну трубку 2 (рис. 1, а).



а

Час, необхідний для просочення деталі за постійної в'язкості зв'язуючого, пропорційний другому степеню лінійного розміру, тому у разі виготовлення великогабаритних деталей час просочення стає більшим часу гелювання зв'язуючого, коли його розповсюдження стає неможливим через катастрофічне підвищення в'язкості. Запобігти цьому можна збільшенням кількості трубок подання зв'язуючого і зменшенням відстані між ними.

Для цього трубки подання зв'язуючого 2 розміщують на невеликій відстані паралельно одна одній. Спочатку зв'язуюче подається найбільш віддаленою від вакуумування трубкою та припиняється у разі повного досягнення фронтом наступної трубки.

Далі перша трубка перекривається й відкривається наступна трубка подання. Процес просочення повторюється до повного просочення.

Таким чином, довжина розповсюдження зв'язуючого дорівнює відстані між трубками, а час зменшується пропорційно кількості трубок подання (рис. 1, б).

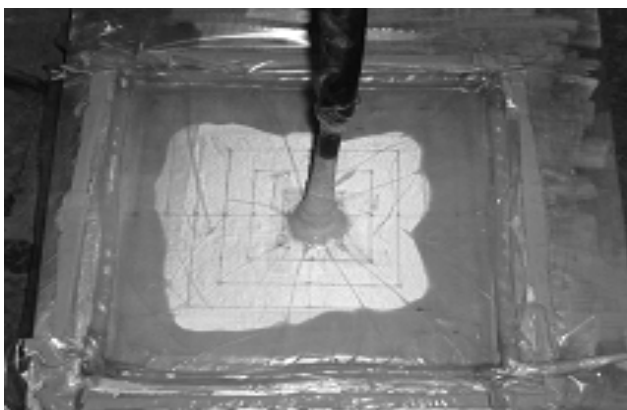
Таку схему просочення можна назвати лінійною в зв'язку з рівномірним переміщенням фронту зв'язуючого від трубки подання до трубки вакуумування.



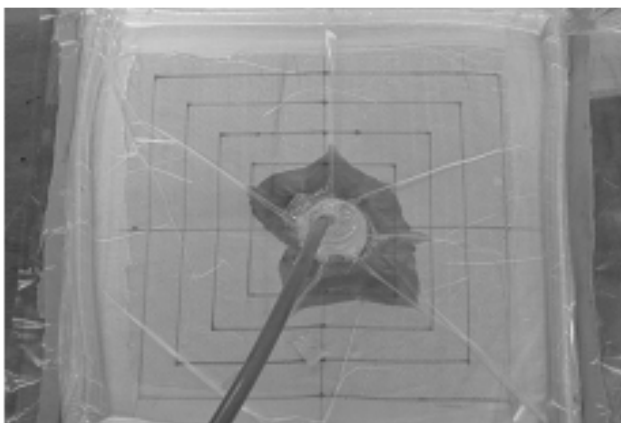
б

Рис. 1. Лінійна схема просочення з однією трубкою подання зв'язуючого (а), з декількома трубками подання зв'язуючого (б):  
1 – трубка подання зв'язуючого;  
2 – вакуумна трубка

У деяких випадках застосовуються схема, коли зв'язуюче подається за допомогою трубки, розташованої по всьому контуру деталі, а вакуумування здійснюється в її центрі (рис. 2, а), та зворотна схема подання зв'язуючого в центрі й вакуумування по контуру (рис. 2, б).



а



б

Рис. 2. Центрострімка (а) та відцентрова (б) схеми просочення

Першу схему можна назвати доцентровою, а другу – відцентрованою.

Авторами проведено серію експериментів на деталях різної конфігурації, які продемонстрували більш високу швидкість просочення для доцентрової схеми просочення порівняно з відцентрованою. Вказані схеми в ряді випадків ефективніші порівняно з лінійною схемою просочення, особливо для деталей складних форм периметра (трикутна, кругла) і поверхні (виступи, впадини, різкі переходи).

Для великогабаритних деталей зі складною конфігурацією та формою поверхні не завжди можна використовувати наведені схеми. Для підвищення швидкості просочення використовують транспортні канали розповсюдження зв'язуючого [5], які укладають на наповнювач через роздільний проникний шар (рис. 3).

Для виготовлення тришарових конструкцій методом VARTM рекомендується використовувати пінопласт з неглибокими отворами, які перетинаються, на верхній та нижній поверхнях і наскрізними отворами, що з'єднують ці канали.

Деякі виробники (Airtech (рис. 4), Richmond, DelStar, Polymer Technologies Pte. Ltd, Fiber Glast, Soric) пропонують застосовувати транспортні канали поверхневого типу, використовуючи для цього екструдовані об'ємні сітки. Такі канали укладають поверх наповнювача через шар проникного роздільника – жертовного шару.

Транспортні канали інтегруються у виріб як заповнювач, який є проникним для зв'язуючого, наприклад, у вигляді плетеної сітки або об'ємного каркаса заданої товщини.

Кожний транспортний канал має свої переваги та недоліки.

Поверхневі транспортні канали істотно прискорюють процес просочення, але є витратними матеріалами високої вартості.

Для вибору посилюючої й ефективного у вітчизняних умовах варіанту транспортного каналу для методу VARTM було проведено ряд експериментів. З асортименту наявних в продажу пористих структур вибрано:

- металеву сітку з отвором 0,08 мм;
- сітку Resinflow 60 фірми Airtech;
- склосітку з тефлоновим покриттям і чарункою 2 мм;
- ровінгову склотканину.

Просочення проводили під загальним вакуумним мішком на однакових пакетах наповнювача. Найбільша швидкість розповсюдження зв'язуючого спостерігалась на склосітці з тефлоновим покриттям, потім у міру зниження швидкості просочення – на сітці Resinflow 60, металевій сітці і ровінговій склотканині.

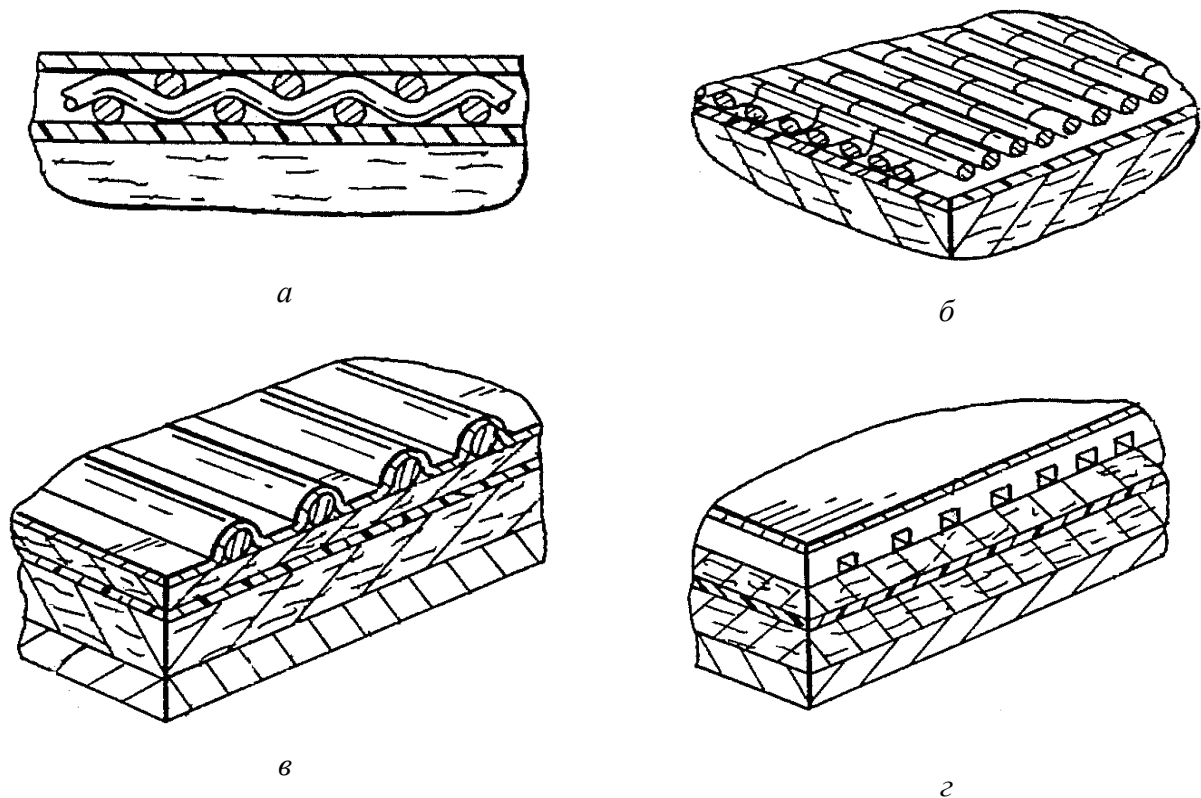


Рис. 3. Приклади транспортних каналів:

*a* – ткані полотняні елементи з нещільною структурою;

*б* – прошиті неткані елементи з нещільною структурою;

*в* – стрижневі елементи вздовж основного шляху розповсюдження зв'язуючого;

*г* – пластини з пазами вздовж основного шляху розповсюдження зв'язуючого

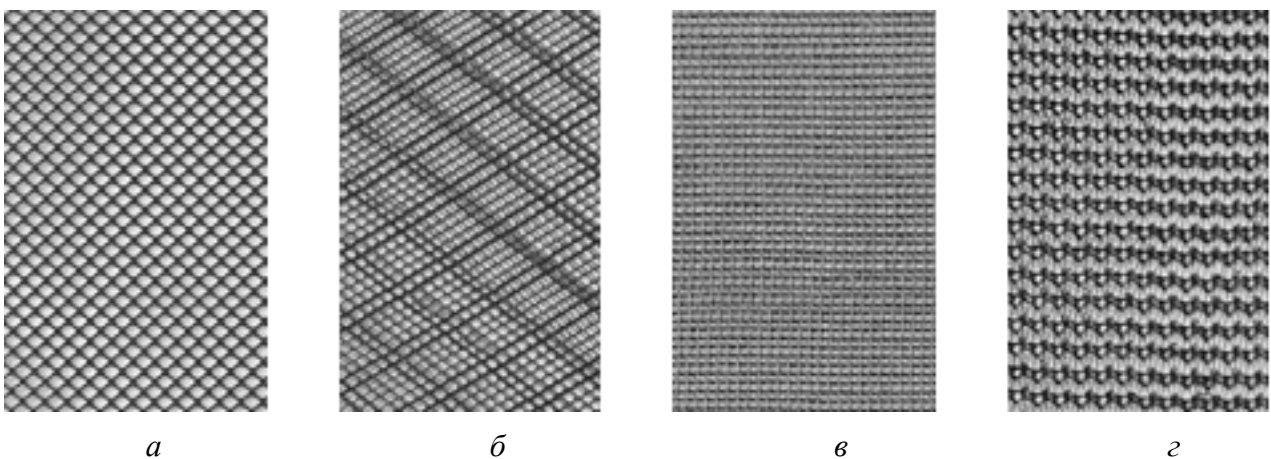


Рис. 4. Сітки для розповсюдження зв'язуючого фірми Airtech:

*a* – екструдована об'ємна сітка Resinflow 60;

*б* – екструдована об'ємна сітка Resinflow 100;

*в* – тканя сітка Greenflow 185;

*г* – багаторазова в'язана сітка для підпресовування і розповсюдження зв'язуючого Breatherflow 60

Через слабку здатність до драпірування описаних поверхневих каналів їх укладання на складні поверхні не завжди можливе. Крім того, і вартість більшості транспортних каналів у зв'язку з їхнім одноразовим характером використання є досить високою, особливо для масових недорогих виробів з ПКМ.

Для підтвердження доцільності використання транспортних каналів поверхневого типу було проведено експеримент, в якому під одним вакуумним мішком з лівого боку було покладено на різній відстані один від одного транспортні канали (рис. 5, А) із склосітки з тефлоновим покриттям, а з правої сторони транспортних каналів немає.

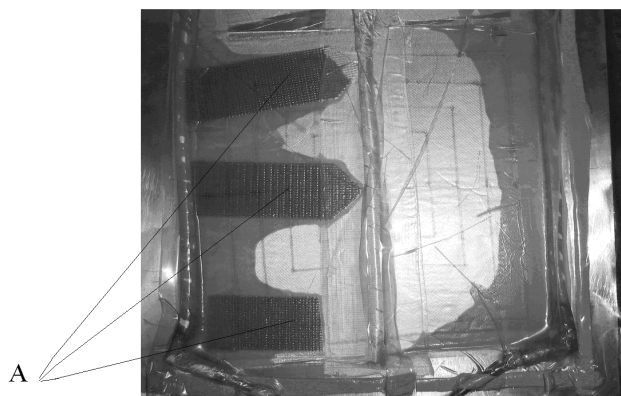


Рис. 5. Фронт розповсюдження зв'язуючого:  
А – транспортні канали

Через 2 хв після початку просочення спостерігалось значне відставання фронту зв'язуючого в зоні без транспортних каналів, а також вплив на швидкість просочення відстані між транспортними каналами. Через 4 хв ліва частина зразка повністю просочилася, а права частина зразка – менше ніж на половину довжини відстані від трубки подання зв'язуючого і трубки вакуумування.

Виробником деталей з ПКМ, які не вважають економічно доцільним використання транспортних каналів на своєму виробництві, але ставлять високі вимоги до поверхні виробу, автори рекомендують використовувати лавсанову тканину [6] як жертовний шар.

Лавсанова тканина не лише покращує поверхню виробу після його твердження, а й слугує транспортним каналом під час просочення. Експериментально доведено, що використання лавсанової тканини збільшує швидкість просочення на 50%.

## Висновки

Перспективи розвитку промисловості значною мірою пов'язані з використанням прогресивних ПКМ. Інфузійний метод VARTM зарекомендував себе як високотехнологічний метод виготовлення деталей із ПКМ. Для зменшення циклу виробництва та поліпшення отримуваної продукції запропоновано підбирати індивідуальну схему розміщення вакуумних трубок, трубок подання зв'язуючого. Для підвищення швидкості просочення рекомендується використовувати транспортні канали для розповсюдження зв'язуючого, індивідуально підібрані до конкретного випадку. Для зменшення собівартості продукції та поліпшення її поверхні необхідно використовувати лавсанову тканину.

## Література

1. Буланов И.М. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: учеб. для вузов / И.М. Буланов, В.В. Воробьев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.
2. *Composite materials handbook*. Vol. 3. Polymer matrix composites materials usage, design, and analysis. VIL-HDBK-17-3F, 17 June 2002. – 693 p.
3. *Patent № 6,964,561 B2 (US)*, Int. Cl.<sup>7</sup> B29C 70/48. High-performance infusion system for VARTM fabrication/ Michael Louderback, Daniel Brennan, Raymond Cabales; V System Composites, Inc. – Appl. No.: 10/420,398; Filed: Apr. 22, 2003; Date of Patent: Nov. 15, 2005.
4. *Morgan P.* Carbon fibers and their composites / P. Morgan. – Boca Raton: Taylor&Francis, 2005. – 1153 p.
5. *Patent № 4,942,013 (US)*, Int. Cl.<sup>5</sup> B29C 43/12. Vacuum resin impregnation process / Raymond J. Palmer, Gerard R. Bonnar, William E. Moor; McDonnell Douglas Corp. – Appl. No.: 329/029; Filed: Mar. 27, 1989; Date of Patent: Jul. 17, 1990.
6. *Трипор Л.* Введение в науку о полимерах / Л. Трипор. – М.: Мир, 1973.