

**Дорошенко В.С., Калюжний П.Б., Михнян А.В., Нейма О.В.**

**(ФТІМС НАН України, м. Київ)**

## **ПОЄДНАННЯ ВАКУУМНО-ПЛІВКОВОЇ ФОРМОВКИ З ЛИТТЯМ ЗА ДРУКОВАНИМИ МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ**

**E-mail: doro55v@gmail.com**

Використання технології 3D-друку або адитивного виробництва (АВ) стає все більш важливим у промисловому виробництві. Концепція найбільш простого і низьковитратного впровадження 3D-друку в вітчизняне ливарне виробництво, яку найбільш легко і вигідно реалізувати через технологію лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ), потребує створення ряду підпорядкованих цій концепції технологій, що стануть передумовами такого впровадження. Тому передусім необхідно розробити способи швидкого автоматизованого виробництва разових полімерних моделей з показниками, близькими до традиційних моделей з пінополістиролу (ППС), використовуючи 3D-друк на широко поширених нескладних принтерах. Зараз такі (низькобюджетні) принтери вже називають «шкільними», маючи на увазі їх поширення для навчання дітей в школі азам 3D-друку.

Проблема застосування друкованих моделей для ЛГМ полягає в тому, що теперішні їх характеристики відрізняються від таких для традиційних моделей з ППС тим, що при спробах їх газифікації дають значний вуглецевий залишок (зольність), вищу температуру газифікації, а також мають більшу вагу на одиницю об'єму, що збільшує кількість газів в порожнині форми, які негативно впливають на процес заміщення металом моделі. Ці причини перешкоджають отриманню виливків високої якості при ЛГМ.

Стосовно матеріалу для разової моделі, то нами розроблено спосіб її друку з подрібнених відходів ППС [1]. Щодо виготовлення разової моделі мінімальної маси (оболонкового типу) разом з методами ослаблення тиску газів від газифікації моделі чи їх нейтралізації, то 3D-технології мають значний потенціал для цього, що ми розглянемо нижче.

При 3D-друкуванні легковагих полімерних виробів їх нерідко виконують оболонковими з пористою чи каркасною серцевиною, яку заповнюють каркасами такого типу (рис. 1).

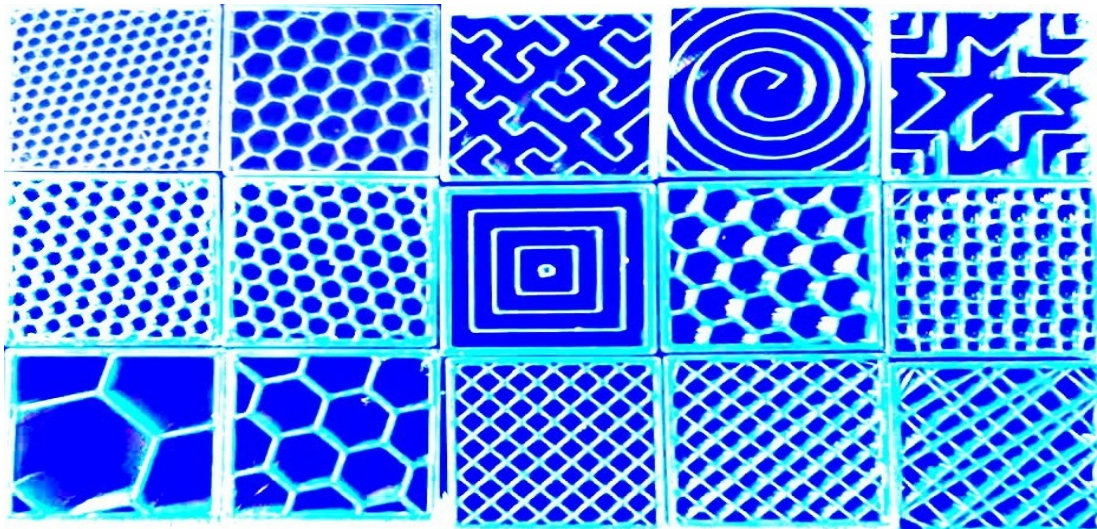


Рис. 1. Типові приклади заповнення друкованих виробів [2]

Нами також запропоновано для моделей складного профілю (типу крупних лопаток ГТД), які можна друкувати з двох половинок, наступний спосіб виготовлення. Задача полягала в тому, як отримати модель мінімальної маси. На горизонтальному столі друкують знизу на стовпчастих чи каркасних підтримуючих опорах (підпорах) половину оболонкової моделі з гладкою (є перевагою) зовнішньою поверхнею. Опори друкованої половині моделі зміцнюють конструкцію, але і збільшують масу. Якщо видалити з неї ці опори, то оболонка може пожолобитись при формуванні, що призведе до браку вилівка. Тому пів-модель вирішили заформувати на модельній плиті сухим піском за методом вакуумно-плівкової формівки (ВПФ) в рамковій опоці з фільтрами для вакуумування. Отримали робочу порожнину півформи, заповнену пів-моделлю, а плоскі піщані лад і контрлад покриті синтетичною плівкою.

Потім отриману півформу підключили до вакуум-насосу, перекантували, поклали контрладом на плоску плиту і з половинки моделі вручну видалили всі підтримуючі опори, залишивши лише оболонку, яка була міцно притиснута вакуумом форми до піску. Тобто фактично виготовили півформу методом ВПФ, робо-

ча порожнина якої була облицьована оболонкою від половини моделі без опор, притаманних 3D-друку. Ці опори в лабораторному варіанті видалили за допомогою фрези діаметром до 10 мм, вставленої в цанговий затиск ручного компактного електрогравера DT-0518, це також можна виконати нагрітими лезами електропаяльника чи термоножа. В промисловому варіанті пропонується перенести (на плоскій плиті) півформу на стіл 3D-фрезера з відповідним позиціонуванням, підключити до неї вакуум і видалити опори за комп'ютерною програмою, аналогічною для 3D-принтера, що виконав друкування цієї моделі. При цьому також можна механічною обробкою на 3D-фрезері суттєво зменшити товщину оболонки моделі, або навіть з суцільної пластикової моделі виготовити оболонкову, функція якої полягала б лише в герметизації піщаної вакуумованої форми (подібно до синтетичної плівки), що значно б зменшило потенційну зольність і газотвірність друкованої моделі.

Переносити з місця формовки до 3D-фрезера і на інші відстані на плиті півформи ладом доверху слід плавно без струсів у варіанті без вакуумування, або (надійніше) застосувати вакуумування за допомогою акумуляторного пілососа, рівня вакууму якого достатньо (як показала практика) для утримання піску півформи без зсуву.

По суті, описаний спосіб має операцію формовки – ВПФ, наче по постійній пластиковій друкованій пів-моделі, оболонку якої утримують опори; вакуумування; видалення опор, що перетворює пів-модель на оболонку, яка покриває робочу (ливарну) порожнину півформи, і це фактично є перетворення методу ЛГМ в метод ВПФ. Якщо зібрати форму з двох аналогічно виготовлених півформ, включно з виконанням ливниково-живильної системи, то отримаємо традиційну форму методу ВПФ з тою відмінністю, що робоча порожнина її облицьована половинками оболонкової друкованої моделі (наче товстою плівкою), з якої видалено раніше віддруковані опори і поверхня якої міцно присмоктана до піску вакуумованої форми. При цьому скріплений за допомогою вакууму пісок для оболонки моделі стає несучою опорою, яку раніше виконували пластикові опори (або внутрішній каркас, рис. 1), що при формовці опирались на модельну плиту.

Можливий ще інший такий варіант формовки: після видалення опор з моделі і видалення оболонок моделі з півформ ці оболонки склеюють, а колишні опори замінюють брусками (вставками, болванами) з легкового ППС (або спеціально окремо друкованого каркасу), що перешкоджають деформуванню моделі при формуванні сухим піском з його вібраційним ущільненням за традиційним методом ЛГМ, який і застосовують при кінцевому виготовленні ливарної форми.

Таким чином, запропоновано концепцію формування за друкованою разовою моделлю, яку «перетворюють» в оболонкову, а ливарна форма при цьому аналогічна формі при ВПФ. Застосування традиційних для ВПФ випорів дає можливість виводу надлишків газу крізь них при заливанні металом і газифікації оболонкової моделі в разі, якщо вакууму форми буде недостатньо, щоб відсмоктати ці гази в пісок форми. Також застосовано «в парі» 3D-принтер і 3D-фрезер для друку і видалення «надлишків» друку. А позиціонування (міцна фіксація) в вакуумованому піску (як у кондукторі) виробів складної геометрії придатне для механообробки будь-яких деталей з металу чи пластику.

#### Література:

1. Заявка u202105814 Україна, МПК: МПК8 В22С 9/02, В22С 15/02, В29С47/78. Спосіб адитивного виробництва полістирольної ливарної моделі чи іншого тривимірного об'єкту складної конфігурації / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко, П.Б. Калюжний, О.В. Михнян, О. В. Нейма. – Заявлено 18.10.2021.
2. J. O'Connell. 3D Printing Infill: The Basics – Simply Explained. 24.02.2022. URL: <https://all3dp.com/2/infill-3d-printing-what-it-means-and-how-to-use-it/>