

Дудукалов Юрій Володимирович, к.т.н., доцент каф. ТМ і РМ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, nss\_delcam@khadi.kharkov.ua  
Воронков Станіслав Вячеславович, здобувач, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, nss\_delcam@khadi.kharkov.ua  
Литовка Денис Євгенійович, здобувач, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, nss\_delcam@khadi.kharkov.ua

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ БЕЗДЕФЕКТНОГО FDM-ДРУКУ ВИРОБІВ СКЛАДНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ**

Методи адитивного виробництва дозволяють отримувати складні за геометрією та конструкцією вироби, а FDM-технологія має великий потенціал для подальшого розвитку і впровадження у виробництво, характеризується різноманіттям матеріалів, легкістю і відносною дешевизною. Виконаний аналіз досягнутого рівня продуктивності і якості формоутворення в адитивних технологіях показав, що існують проблеми забезпечення бездефектності і генерування виробів складної геометричної форми, що пов'язано з локальним тепловим навантаженням. Забезпечення якості в адитивних технологіях є актуальною проблемою, яка поки не має відповідного теоретичного і практичного розроблення. Мета дослідження – формування способів забезпечення бездефектного FDM-друку виробів складної геометричної форми на основі модифікування полімерного матеріалу високочастотним електромагнітним імпульсним полем (ВЕІП).

Основними дефектами в багатошарових конструкціях є дефекти типу розшарувань. Це найбільш небезпечні дефекти. Крім того, можлива поява таких дефектів як зони пониженої міцності, котрі при експлуатації виробів, навіть при порівняно невеликих навантаженнях, можуть призвести до появи розшарувань в з'єднаннях. Через те, що деталь отримується пошарово, виникають поверхні, які можна характеризувати хвилястістю. Ці недоліки друку також не можуть бути виправлені на етапі постобробки.

Загалом дефекти FDM-друку можна розділити на 4 групи з урахуванням відносних характеристик дефектності:

1) дефекти, що обумовлені недостатньою міцністю адгезійних і когезійних зв'язків між шарами полімерного матеріалу, на їх частку припадає приблизно (30 – 40)% всіх дефектів;

2) дефекти, що обумовлені помилками в налаштуванні параметрів FDM-друку по температурі, швидкості рухів, подачам, що приводить до спотворення форми, відхилення геометричних розмірів, приблизно (35 – 45)% всіх дефектів;

3) дефекти, що обумовлені технологічним обладнанням і неякісною підготовкою вихідного філаменту, приблизно (10 – 20)% всіх дефектів;

4) дефекти, пов'язані з помилками програмування і G-кодування FDM-друку (5 – 15)%.

Відносні характеристики дефектності використовуються також для порівняльної оцінки різних технологічних рішень, наприклад, при виборі методу і режимів обробки. До відносних характеристик відносять такі величини, як від-

ношення лінійних розмірів дефектів, або сумарну їх довжину, або число дефектів до одиничної довжини чи товщини виробу FDM-друку.

Таким чином, основними недоліками існуючих способів 3D-друку об'єктів є низький рівень продуктивності роботи пристроїв у разі забезпечення високої міцності з'єднань між шарами полімерного матеріалу, відсутність можливостей для застосування додаткових композиційних матеріалів (армування, використання вставок).

Технічним завданням є вдосконалення 3D-принтеру для комбінованого друку об'єктів, а саме забезпечення бездефектності, підвищення продуктивності 3D-друку і адгезійної міцності з'єднання між початковими шарами полімерного матеріалу і робочого столу, когезійної міцності між подальшими шарами полімерного матеріалу, розширення технологічних можливостей застосуванням додаткових композиційних матеріалів.

Поставлене завдання вирішується за рахунок зменшення оперативного часу виконання і розширення технологічних можливостей поліфункціонального 3D-принтеру, встановлення на ньому відповідних пристроїв для модифікування полімерних матеріалів ВЕП для виконання в циклі роботи виконавчих роботизованих рухів, забезпечення комп'ютерного управління всіма підсистемами 3D-принтеру комбінованого друку по єдиний управляючий програмі.

3D-принтер для комбінованого друку об'єктів працює таким чином. Локальні пристрої електромагнітного впливу, що виконані в одному блоці з друкарською голівкою, забезпечують необхідну адгезійну міцність з'єднання між початковими шарами полімерного матеріалу і робочим столом, а також когезійну міцність між подальшими шарами полімерного матеріалу шляхом суміщення процесів екструзування розігрітого термопластичного полімеру з його модифікуванням ВЕП, яке локалізується в друкарській голівці і в зоні укладки шару. Завдяки суміщенню не витрачається час на окремі технологічні перехід для підвищення міцності виробу. Причому для забезпечення адгезійної міцності використовується імпульсний високочастотний (400–500 КГц) електромагнітний вплив з амплітудним значенням магнітної індукції до 4,0–4,5 Тл, а когезійна міцність забезпечується використанням імпульсного високочастотного (250–400 КГц) електромагнітного впливу з амплітудним значенням магнітної індукції до 3,0–4,0 Тл. Живлення локальних пристроїв електромагнітного впливу здійснюється від блоку живлення. Слід зазначити, що інтенсивність впливу імпульсного високочастотного електромагнітного поля встановлюється в управляючий програмі.

Проведені експериментальні дослідження дозволили визначити основні технічні вимоги до полімерних матеріалів в умовах комбінованого процесу FDM-друку, також встановлена доцільність застосування засобів термічної ізоляції та стабілізації процесу друку.

Таким чином, застосування комбінованого процесу з модифікацією полімерних матеріалів завдяки впливу ВЕП в умовах FDM-технології підвищує якість виробів, значно зменшує причини виникнення дефектів.