

Воронков Станіслав Вячеславович, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, nss_delcam@khadi.kharkov.ua
Дудукалов Юрій Володимирович, к.т.н, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, nss_delcam@khadi.kharkov.ua
Гущин Ілля Віталійович, бакалавр, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, nss_delcam@khadi.kharkov.ua

КЛАСИФІКАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕФЕКТІВ FDM-ДРУКУ ПОЛІМЕРНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ВИРОБІВ СКЛАДНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

Прогресивні методи адитивного виробництва дозволяють отримувати складні за геометрією та конструкцією деталі, такі як лопатки турбін або в зборі весь агрегат турбіни. Проте темп такого виробництва буде помітно нижчий, ніж у його класичного варіанту. Це пов'язано не лише з технічними характеристиками обладнання, що використовується в адитивних технологіях, а й з фізичними параметрами процесу FDM-друку [1], такими як швидкість нагріву до температури плавлення, швидкість кристалізації, тощо.

Виникнення дефектів в полімерних композиційних матеріалах багато в чому визначається в'язкістю зв'язуючого, ступенем просочення армуючого матеріалу, температурою технологічного обладнання, температурою вхідного армуючого матеріалу, швидкістю протягування арматури, її напругою, тиском обтиску армуючого матеріалу, сушінням армуючого матеріалу, липкістю, вмістом летких і розчинних речовин, густиною напівфабрикату, скупченням зв'язуючого армуючого наповнювача і способом його укладання [2].

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, на ній у будь-якому випадку виникають поверхні, які можна охарактеризувати як хвилясті. Зазвичай недоліки друку виправляють на етапі пост обробки виробу в більшості випадків вручну. Найбільшою проблемою для виготовлення деталей за методом FDM є різноманітні недоліки друку, що виникають через неправильні налаштування самого 3D-принтера (слайсера) і через програмні помилки.

За результатами проведених досліджень було виявлено, що однією з головних проблем, які виникають при друці на типових 3D-принтерах за FDM-технологією і не розв'язуються за допомогою стандартного програмного забезпечення, є невідповідність розмірів роздрукованої моделі розмірам по програмі, нерівномірний нагрів площі робочої поверхні і екструдера принтера.

Аналіз типових дефектів показав, що вони виникають в результаті двох чинників:

– технологічний чинник: невідповідне налаштування параметрів друку по режимам і температурам процесу;

– конструкційний чинник: технічний стан, конструкція, дефекти вузлів і механізмів принтера, наприклад, дефекти екструдера.

Це впливає на якість друку моделі, її цілісності і механічні властивості.

Важливо, щоб перший шар роздруківки надійно прикріпився до платформи принтера так, оскільки всі інші шари використовують його як фундамент. Можливі такі негативні причини:

- платформа друку не правильно відрегульована;
- сопло починає працювати за G-code занадто далеко від платформи;
- висока швидкість друку першого шар;
- помилкове налаштування температури або охолодження.

Відомо, що дефект – це кожна окрема невідповідність любых показників якості продукції, що встановлені технічними вимогами. По походженню дефекти виробів підрозділяють на:

- виробничо-технологічні, що виникають під час FDM-друку;
- експлуатаційні, що виникають після деякого наробітку виробу в результаті втоми полімерного матеріалу, зношування тертьових частин, а також неправильної експлуатації й технічного обслуговування;
- конструктивні дефекти є наслідком недосконалої конструкції через помилки конструктора.

Дефекти в виробах FDM-друку за причинами виникнення можна розділити на дві групи:

- дефекти виготовлення філаменту виникають під час підготовки вихідної сировини і формування дроту із полімерного матеріалу на заготівельних фірмах і підприємствах, та подальшому зберіганні;
- технологічні дефекти виникають під час укладання шарів полімерного матеріалу під час підігріву та екструзії, охолодженню робочої зони, подальшій механічній, фізико-хімічній і термічній обробці матеріалів, тощо.

До технологічних дефектів також відносять і дефекти FDM-друку, які класифікують на дефекти підготовки, програмування і самого процесу FDM-друку. Дефекти FDM-друку можна розділити на 4 групи:

1) дефекти, що обумовлені недостатньою міцністю адгезійних і когезійних зв'язків між столом і 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, інше, 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 програмуванням і G-кодуванням FDM-друку (5 – 15)%.

Для визначення дефектів виробів FDM-друку пропонуються такі класифікаційні характеристики за наступними ознаками (табл.).

Таблиця – Класифікаційні характеристики дефектів FDM-друку

Ознака дефекту	Класифікаційна характеристики
1. По можливості виявлення	1.1 Зовнішні або поверхневі 1.2 Внутрішні
2. По можливості усунення	2.1 Виправні 2.2 Невиправні
3. За протяжністю	3.1 Одиночні (окремі) 3.2 Непротяжні (розташовані компактно) 3.3 Протяжні (витягнуті в лінію)
4. За формою	4.1 Площинні (тріщини, відшарування) 4.2 Об'ємні (пори, включення)
5. За місцем розташування	5.1 Зовнішні (поверхневі) 5.2 Внутрішні (підповерхневі і глибинні) 5.3 Наскрізні

Для аналізу і порівняльної оцінки різних технологічних рішень, наприклад, при виборі методу і режимів обробки, доцільно застосовувати відносні характеристики дефектів. До відносних характеристик відносять такі величини, як відношення лінійних розмірів дефектів, або сумарну їх довжину, або число дефектів до одиничної довжини чи товщини виробу FDM-друку.

Перелік посилань

1. Шидловський М.С. Нові матеріали: Частина 1 – Структура і механічні властивості конструкційних полімерів та пластмас. [Текст]:– К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 192 с.
2. Технології 3D-друку, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml. – Дата доступу: 20.04.2024.
3. Мельник Л.І. Хімія і фізика полімерів: Навч. посібник – Київ: НТУУ "КПІ" 2016. – 161 с.
4. Дудукалов Ю.В., Глушкова Д.Б., Сорокін В.Ф. Спосіб бездефектного комбінованого друку 3d-об'єктів № u 2023 02614 від 20.12.2023, Бюл.№ 51.