

ВИВЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕКСТРУДЕРА 3D ПРИНТЕРА ПРИ ВИКОРИСТАННІ FDM ТЕХНОЛОГІЇ

ад'юнкт *Шкурніт О.М.*¹

Наукові керівники: к.т.н., с.н.с. *Бачинський В.В.*², к.ф-м.н. доц. *Вілінська Л.М.*²

¹ *Військова академія (м. Одеса)*

² *Одеська державна академія будівництва та архітектури*

Актуальність дослідження. Одним із інноваційних методів зведення споруд є технологія 3D-друку. Різні принтери для 3D-друку будівель працюють з різними будівельними матеріалами та на різному програмному забезпеченні. Однак, принцип роботи у них схожий: екструдер видавлює швидкотвердіючу речовину, як правило, це бетонна суміш з різними добавками або різноманітні пластики. Кожен наступний шар наноситься на попередній, завдяки чому утворюється вертикальна структура. За допомогою високоточної роботи принтера зводяться різного роду елементи: фундаменти, стіни, сходи, технологічні отвори для інженерних комунікацій. Дана технологія набуває популярності серед сучасних архітекторів та дизайнерів, тому що за технікою свого застосування здатна запропонувати споживачу створення будь-яких форм, які відрізняються оригінальністю, унікальністю, новизною архітектури та естетичною довершеністю. Однак вплив технологічних факторів процесу друку, а саме: швидкість, розподільча здатність, точність друку, вплив продуктивності екструдера на показники якості виробів вивчені недостатньо. В зв'язку з цим вивчення працездатності екструдера, підвищення ефективності його роботи є актуальною науково-технічною задачею.

Стан проблеми. Аналіз світової практики використання 3D-друку в будівництві показав, що технологія моделювання методом пошарового наплавлення, яка використовується для 3D-друку, вимагає розробки нових матеріалів та обладнання. Наразі це залишається найбільшою проблемою в будівельних проектах з використанням 3D-технологій [1,2]. Дуже актуальною проблемою є розробка найкращого складу бетону, який буде досить керованим, щоб викачуватися з сопла принтера, і таким же міцним, як залізобетон.

Принцип друку за технологією FDM (Fused Deposition Modeling) полягає у пошаровому нарощуванні виробу із розплавленої пластикової нитки (філаменту). Основним механізмом при цьому є екструдер. У FDM технології 3D-друку

екструдер створює об'єкт пошарово, видавлюючи друкований матеріал – філамент за заданим умовами через сопло. Особливо активно застосовується ця технологія при виробництві архітектурних споруджень, а саме: скульптури, павільйони, мости, міські інсталяції, макети будівель. Майже сформувався новий архітектурний стиль за допомогою 3D-друку – «цифровий гротеск».

Мета роботи. Вивчення технологічних режимів 3D-друку за технологією FDM, а також продуктивності екструдера.

Отримані результати. Раніше експериментально встановлені властивості основних матеріалів для 3D друку, які використовуються при FDM технології отримання виробу [3]. В даній роботі вивчались технологічні режими 3D друку за технологією FDM, а також продуктивність екструдера. Використовувався стандартний екструдер для принтера FDM.

Одними з найбільш важливих частин принтера, які впливають на якість 3D друку є тип екструдера і сопла. Як відомо, сопло – це насадка для 3D-принтера, яка укручується в блок нагрівача екструдера, усередині неї знаходиться невелика камера. Діаметр сопла впливає на ширину екструзії лінії 3D принтера та відповідно на якість елементів виробу. Головка для друку в принтері здійснює протяжку пластикового прутка, нагріває прутки і видавлює нагріту речовину крізь сопло.

Як правило, при виборі сопла основну увагу звертають на два чинники. Перший з них форма сопла і другий матеріал сопла. З першим чинником все більш менш ясно, вибирається та форма сопла, яка рекомендована для конкретного принтера. З другим чинником все більш складно, в мережі багато сумнівних публікацій, і часто, вони суперечать один одному. Основний параметр сопла – це діаметр вихідного отвору. Діаметр має прямий вплив на якість друку. Його розмір вказується в слайсері і на підставі його слайсер визначає режими друку. В процесі друку сопло зношується і його вихідний діаметр збільшується.

Максимальна продуктивність сопла є основним фактором, що впливає на загальну продуктивність всього екструдера, що також впливає на максимальну швидкість друку шару. Наприклад, стандартний екструдер E3D V6 плавить менший об'єм пластику, ніж екструдер E3D Volcano. Але, як правило, проблем у цьому випадку не виникає, тому що на стандартних соплах діаметром від 0,2 до 0,6 мм основною причиною обмеження максимальної швидкості друку є продуктивність сопла. Швидкість екструзії принтера може бути розрахована за формулою:

$$V = \frac{L\pi D^2}{4\rho},$$

де ρ – щільність заповнення виробу, L - довжина гарячого радіатора екструдера, D - діаметра сопла принтера.

Проведено порівняльний аналіз основних видів сопел, який наведений в таблиці. Аналіз даних таблиці показує, що в більшості випадків для друку звичайними пластиками цілком придатні сопла форм чинника E3d V6 зроблені з латуні і нікельованої міді. Застосування сопла із загартованої сталі оптимальна у разі друку композитами. Проведені розрахунки максимальної робочої швидкості друку для даного конкретного типу головок екструдера залежно від діаметру сопла, довжини носика і температури розплаву.

Таблиця 1

Таблиця технічних характеристик сопел екструдерів

Характеристики	Латунь	Нікельована мідь	Загартована сталь	Латунь	Латунь з рубіною вставкою
Тип сопла	E3d V6	E3d V6	E3d V6	МК8	МК8
Min оптимальна $t^{\circ}\text{C}$	225	225	235	220	220
Max оптимальна $t^{\circ}\text{C}$	245	245	255	230	230
Середня $t^{\circ}\text{C}$	235	235	245	225	230
Оптимальний відкат	6	6	4	7	5
Max швидкість, мм/с	50	50	45	50	45
Максимальна об'ємна витрата, мм ³ /с	14,3	12,9	14,3	12,9	66

Якщо потрібна міцність і швидкість, а деталізація менш важливі, то варто використовувати сопло 0,8 мм або навіть 1,0 мм. Проте моделі, надруковані з соплом завтовшки 0,8 мм, також можуть бути дуже деталізованими, і це залежить від налаштувань 3D принтера.

Головна проблема при виборі сопла - низька роздільна здатність і точність друку, причому, чим точніше друк (менше діаметр сопла), тим менше швидкість друку. Якість роздільної здатності і точність складається з декількох чинників. Тут і нерівність стінок, і усадка пластика після друку, і деформація під час друку, що помітно затрудняє витримку точних розмірів, а також і викривлення великих деталей, але головне — діаметр сопла визначає розмір мінімальних друкованих деталей.

Висновки. Виконано порівняльний аналіз технічних характеристик основних видів сопел екструдерів і визначено основні напрямки їх застосування. Проведені розрахунки максимальної робочої швидкості друку для даного конкретного типу головок екструдера залежно від діаметру сопла, довжини носика і температури розплаву. Встановлено, що не існує єдиного оптимального діаметру сопла для всіх моделей. Потрібно проводити додаткові дослідження та враховувати до уваги всі чинники виробу, що впливають на друк.

Анотація

Вивчалися технологічні режими 3D друку за технологією FDM, а також продуктивність екструдера. Використовувався стандартний екструдер для принтера FDM. Проведені розрахунки максимальної робочої швидкості друку для даного конкретного типу головок екструдера залежно від діаметру сопла, довжини носика і температури розплаву.

Summary

The technological modes of 3D printing using FDM technology, as well as the performance of the extruder, were studied. A standard FDM printer extruder was used. Calculations of the maximum working printing speed for this specific type of extruder heads were carried out, depending on the diameter of the nozzle, the length of the nozzle and the temperature of the melt.

ЛІТЕРАТУРА

1. Заяць Є. І., Богданов І. В., Невгомонний Г. У., Мерилова І. О., Речиц О. А. Особливості використання технологій 3-D друку в будівництві / Містобудування та територіальне планування. КНУБА, №76, 2021, С.83-93.
2. Шатов С.В., Савицький М.В., Голубченко О.І., Мацюк І.М., Шляхов Е.М. Дослідження варіантних рішень обладнання для 3D-друку будівельних виробів. Український журнал будівництва та архітектури, No 1 (007), 2022, с. 80-88.
3. Khlytsov N.V., Bachinsky V.V., Shkurpit O.M., Kondratenko O.I. Analysis of Factors Affecting Properties of a Printed Product Using a 3D Printer // Modern Construction and Architecture №1, 2022, pp.77-84.