

**ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ
В ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

УДК 681.625.8

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ВИРОБІВ, ОТРИМАНИХ
МЕТОДОМ 3D ДРУКУ**¹⁾Новаковський О. Г., ²⁾Рудь М. П., ¹⁾Антонюк В. С., ²⁾Бондаренко М. О.¹⁾Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

²⁾Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

E-mail: victor.antoniuk@gmail.com

Вступ. У статті розглянуто питання підвищення якості зменшення кількості поверхневих дефектів, збільшення точності формування шарів, виготовлення деталей методом тривимірного друку.

Проведено аналіз існуючих рішень серед методів та систем пошарового наплавлення, аналізуються варіанти уникнення необхідності використання підтримуючих структур, уникнення “ступінчастого ефекту”, а також поліпшення механічних властивостей друківаних виробів, таких як аеродинаміка, опір перпендикулярним навантаженням тощо, внаслідок використання непланарного тривимірного друку.

Доведено необхідність забезпечення зворотного зв'язку в механізмі подачі філаменту в робочий простір обладнання.

Результати дослідження. Проведено порівняння якості отриманих виробів та експлуатаційних характеристик процесу друку зразкових виробів без та із застосуванням розробленого пристрою зворотного зв'язку. На підставі порівняння встановлено однозначне підвищення якості (зменшення кількості поверхневих дефектів) та точності отримуваних виробів при застосуванні запропонованої в роботі конструкції пристрою зворотного зв'язку.

Висновки. Розглянуто особливості підвищення якості виготовлення деталей методом 3D друку шляхом забезпечення зворотного зв'язку в механізмі подачі філаменту з метою забезпечення більш рівномірного подавання матеріалу в зону формування 3D виробу.

Проведено порівняння якості отриманих виробів та експлуатаційних характеристик процесу друку зразкових виробів без застосування розробленого пристрою зворотного зв'язку та із ним. За результатами цього порівняння встановлено однозначне підвищення якості (зменшення кількості поверхневих дефектів на 88 %) та точності отримуваних виробів (до 96 %) при застосуванні запропонованої конструкції пристрою зворотного зв'язку.

Ключові слова: 3D друк; адитивна технологія; зворотний зв'язок; якість друку.

ВСТУП

Впровадження адитивних технологій (технологій швидкого прототипування) в сучасне виробництво, дозволяє отримувати вироби практично будь-якої складності і конфігурації та знайшло широке застосування в приладо- та машинобудуванні, авіаційній і ракетно-космічній галузях [1, 2].

Тенденція підвищення вимог до якості виробів, отриманих методами швидкого прототипування, все більше пов'язана з нетрадиційними конструкторськими та технологічними рішеннями, реалізація яких ускладнена і навіть неможлива на основі використання традиційних методів та технологій.

Сучасний 3D друк аналогічний до звичайного двовимірного (2D) друку струменевими принтерами на папері, але при цьому, на відміну від струменевих, у 3D принтерах додається третій вимір формування фізичних об'єктів. Як і у випадку

струменевого друку, 3D принтер перетворює цифрові дані з комп'ютера у фізичний матеріальний об'єкт.

Загалом, 3D-друк може використовуватися для масового виробництва виробів без планування процесу та виготовлення технологічного оснащення, як у випадках традиційних, формооброблюючих технологій виготовлення. У той же час, 3D-друк уникає складного планування виробництва та спрощує процес формування виробу внаслідок застосування більш гнучких підходів до керування виготовленням виробів [3].

Сучасні технології 3D-друку досить часто не відповідають вимогам до точності виробів в приладо- та машинобудуванні, що є наслідком недостатнього наукового забезпечення технологій швидкого прототипування, відсутності інформації про методи керування точністю деталей.

Для друку об'єктів з важкими нависаючими конструкціями без використання опорних структур запропоновано багатостороннє планування інструментального шляху, який генерується для принтера з п'ятьма ступенями свободи шляхом нарізки моделі в різних напрямках, щоб деякі шари не були горизонтальними.

Водночас, недостатньо виявлені основні закономірності зміни технологічних параметрів процесу друку і зв'язку їх з параметрами точності виробів, відсутні дані про вплив технологічних параметрів процесу на показники якості поверхні виробів, виготовлених адитивними технологіями [1, 4].

Тому, вирішення проблеми підвищення якості технологій 3D-друку є актуальною науково-технічною задачею, розв'язанню якої і присвячена дана стаття.

Метою роботи є підвищення технологічної якості формування поверхонь виробів точного приладобудування методом 3D друку шляхом упровадження в механізм подачі друкувального філаменту пристрою зворотного зв'язку, що дозволить зменшити кількість поверхневих дефектів, пов'язаних з недостатньою подачею формуючого матеріалу, та збільшити точність процесу 3D друку.

Аналіз існуючих рішень серед методів та систем пошарового наплавлення 3D друку

Найбільш поширеними методами в індустрії адитивного виробництва є метод плавленого осадження FDM (Fused Deposition Method) та метод виготовлення плавленою ниткою FFF (Fused Filament Fabrication) внаслідок простоти внесення модифікацій в обладнання, низької вартості, широкого спектру витратних матеріалів і можливості швидкого навчання [5].

У той же час друк методом пошарового наплавлення виробів зі складною геометричною поверхнею має низку недоліків, одним з яких є виникнення так званого «ступінчастого ефекту», водночас, чим менший кут нахилу поверхні, тим більш вираженим буде цей ефект (Рис. 1, а).

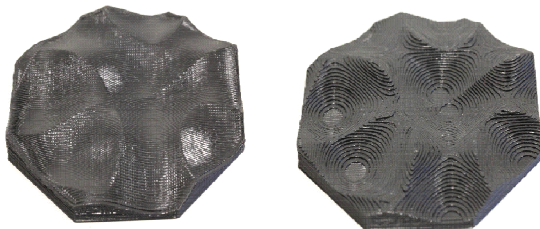


Рис. 1. Виріб з яскраво вираженим «ступінчастим ефектом» (а); з поверхнею зі складною геометрією отриманою непланарним методом (б)

Крім того, явище "ступінчастого ефекту" негативно впливає на механічні властивості виробів, такі як вплив аеродинамічних чинників, опір перпендикулярним навантаженням тощо.

Для усунення подібних явищ, можна зменшувати висоту вертикального шару, але такий прихід експоненціально впливає на час друку. Тому пропонується інший підхід, який також представляється одним з перспективних напрямків розвитку FDM друку в цілому – так званий непланарний 3D друк, або метод виготовлення викривленого шару CLM (Curved-Layer Manufacturing) [6].

На відміну від стандартного планарного підходу, при якому виробництво деталей відбувається шар за шаром, непланарний підхід здатний відійти від ступінчастого ефекту на поверхнях, близьких до горизонтальних, шляхом друку цих областей, суцільними непланарними шарами (Рис. 1, б).

Крім того, метод непланарного тривимірного друку дозволяє зменшити або, навіть, уникнути необхідності підтримуючих структур, необхідних при побудові нависаючих частин виробу, що призводить до додаткових витрат матеріалу та часу на виготовлення деталей.

На жаль даний метод непланарного тривимірного друкування до цього часу не отримав широкого поширення через низку ускладнень [7].

Враховуючи розповсюдженість методів та засобів 3D друку, що набули розвитку останнім часом, питаннями вивчення їх якості займається багато провідних вчених світового рівня. Так, в роботах [8 – 10] запропоновано алгоритм реалізації стратегії одно напрямного слайсинга, що нарізає модель виробу у напрямку вісі Z, перпендикулярно до будівельної платформи 3D принтера. Цей алгоритм легко виконується, але займає багато часу.

Друковані об'єкти з планарними шарами надто слабкі, якщо вектор навантаження спрямований перпендикулярно інтерфейсам шарів, при цьому використовували непланарні тривимірні шари для поліпшення механічної міцності друкованих предметів за допомогою стандартного 3D-принтера з трьома ступенями свободи.

Через недоліки даного алгоритму, його надмірність та неточність, пропонується стратегія прямого нарізання з використанням аналітичних моделей. Ця стратегія безпосередньо розрізає модель без перетворення з поверхневої моделі на сітчасту модель. Такий підхід дозволяє генерувати більш точні контури зрізів та усунути недоліки сітчастої моделі. Деталі алгоритмів цієї стратегії запропоновані в роботах [11 – 13].

Зазвичай ці алгоритми потребують підтримки ядра комерційних програмних засобів комп'ютерного моделювання. У стратегії планарного слайсинга апроксимація вигнутих поверхонь планарними генерує велику кількість шарів.

У роботі [14] запропоновано три різні стратегії для генерації інструментальних шляхів лазерного облицювання.

Одна використовується для вирішення питання опорних конструкцій для побудови нависних конструкцій, шляхом зміни напрямку формування згідно геометрії деталі.

Друга – генерує інструментальний шлях із застосуванням ізопараметричних кривих для параметричної поверхні, але різницею між параметричним і евклідовим просторами нехтують.

Третя – використовує безпосередній слайсинг CAD-моделі шляхом використання функції поперечного перерізу CAD моделі для конкретної частини.

Цей метод генерації інструментального шляху, заснований на параметричній поверхні для технології швидкого прототипування, отриманий моделюванням з пошаровим наплавленням викривленого шару, який наплавляє вигнуті шари замість традиційних плоских шарів у FDM.

Завдяки зменшенню “ефекту сходинок”, збільшенню міцності та зменшенню кількості шарів, він має переваги у виготовленні тонких вигнутих деталей (оболонок). Однак він розроблений для тонких деталей, а алгоритми, наведені в роботі, є суто теоретичними.

Механічні показники деталей, виготовлених за допомогою непланарного 3D друку, були перевірені Сінгамнені [15, 16]. Результати експериментів свідчать про помітне поліпшення механічних характеристик таких деталей порівняно з тими, що виготовлені пошаровим наплавленням. Застосування методу слайсингу вигнутими шарами, дозволяє зберегти довільно розташовані особливості складної поверхні. Були запропоновані генетичні алгоритми, що пропускали вигнуті шари через кластер особливих ознак, щоб отримати мінімальну кількість вигнутих шарів. Однак такий спосіб підходить для тонких деталей і порожніх оболонок.

Дінг [17] запропонував методологію планування інструментального шляху для восьмивимірної роботизованої системи лазерного спікання металу. Використовуючи дві додаткові вісі нахилу та обертання, інструментальні шляхи для навесних конструкцій деталі виконувались на площині. Однак це сильно залежить від восьмивимірної апаратної системи.

Проте, на сьогодні існує низка проблем, що обмежують використання технологій 3D друку для виготовлення прецизійних виробів точного приладобудування. Серед таких проблем слід відмітити відсутність підходів до підтримання технологічної якості формованих поверхонь, пов'язаних з відсутністю у більшості засобів 3D друку зворотного зв'язку для визначення реальної витрати матеріалу (філаменту – полімерного дроту), що веде до зниження якості друку та усунення низки дефектів (мікротріщин, утоншення/потовщення елементів виробів тощо).

Теорія і практика застосування зворотного зв'язку

Так, на рис. 2 запропонована функціональна структурна схема пристрою зворотного зв'язку для підвищення технологічної якості формування по-

верхонь виробів точного приладобудування методом 3D друку.

Принцип роботи системи контролю наступний. Філамент 1 подається з бухти (на рисунку не вказана) через вимірювальні зубчасті ролики, які приводять в рух механізм кругового енкодера вузла урахування витрат дротяного філаменту. В момент часу, коли на пристрій 3D друку подається команда про необхідність проведення друкування, попередньо розігрітий блоком нагріву 5 філамент за допомогою двигуна подачі 4 подається через сопло 6 в місце проведення формування 3D виробу.

Паралельно з моментом початку роботи двигуна подачі 4, зубчасті ролики подачі філаменту 3 та вимірювальні зубчасті ролики 2 починають подавання філаменту 1 через вимірювальний пристрій. У разі проковзування дротяного філаменту в пристроях подачі-затиску, відбувається урахування зменшення необхідних витрат філаменту на енкодері обліку, у зв'язку з чим, керуюча програма здійснює перерахунок на зменшення швидкості подавання філаменту, чим забезпечує достатню якість і точність процесу друкування.

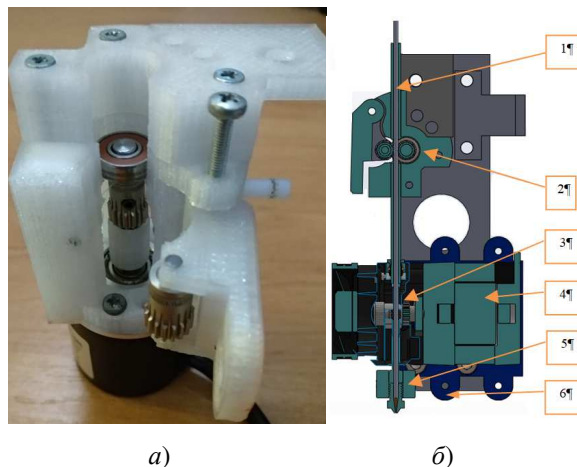


Рис. 2. Зовнішній вигляд (а) та схема встановлення (б) системи контролю подачі філаменту разом з екструдером: 1 – філамент, 2 – вимірювальні зубчасті ролики, 3 – зубчасті ролики подачі філаменту, 4 – двигун подачі, 5 – нагрівний блок, 6 – сопло

Корпус системи контролю подачі філаменту виготовлено методом 3D друку. Усі відповідальні елементи, що відповідають за подачу філаменту та формування з нього екструдованого рідкого пластику, виготовлено із зносостійких матеріалів (хромована сталь або бронза), що унеможливило швидке руйнування цих елементів, чим забезпечує високу довготривалість і точність проведених досліджень.

Далі, проведемо випробовування розробленого пристрою за реальних умов експлуатації та оцінимо якість і точність формування отримуваних виробів.

Обговорення результатів впровадження зворотного зв'язку

В лабораторії адитивних технологій запропоновано та випробовувано механізм урахування витрат друкувального дроту, що дозволяє з високою точністю (понад 96 %) та швидкодією (час

реакції на зміну швидкості подачі дроту 0,2...0,5 с) керувати подачею витратного матеріалу в дюзі пристрою [9].

Порівняння результатів запропонованого друку зразка з використанням зворотного зв'язку та традиційного друку наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння результатів запропонованого друку зразка з використанням зворотного зв'язку та традиційного друку

	Без зворотного зв'язку	Зі зворотним зв'язком
Кількість зразків / площа надрукованої поверхні, м ²	10/0,25	10/0,25
Кількість візуально виявлених дефектів	67	8
Довжина витраченого дроту, м	148,9	169,7
Маса витраченого матеріалу, кг	0,183	0,215
Час друку, хв	82,7	94,3

Отримані дані розраховуються за допомогою програмного забезпечення для 3D друку, Cura [17]. Друк проводився шаром 0,6 мм, з 20 % заповнення та підтримками. З таблиці 1 ми можемо помітити, що із застосуванням зворотного зв'язку кількість візуально визначених дефектів зменшується на 88 %, з 67 до 8. В той же час, кількість витраченого дроту максимально збільшилося на 17,5 %. Крім того, оскільки немає опорних конструкцій для отримуваних поверхонь виробів, загальна довжина друкарських сегментів (а, відповідно, витраченого дроту) також збільшується, що призводить до збільшення середнього часу друку на 13-15 %.

Для перевірки інструментальних шляхів, отриманих запропонованими методами, для виконання друку деталей побудована система зворотного зв'язку для пошарового формування (керований метод FDM).

Як показано на рис. 2, система включає в себе механізм керування подачею та урахуванням філаменту за допомогою енкодера.

Для друку деталей використовується матеріал PLA. При цьому, швидкість подачі дроту діаметром 1,75...1,8 мм/с, а швидкість переміщення екструдера – 30 мм/с.

На рис. 3 представлено результати тестового друку виробів з PLA пластику на швидкості 60 мм/с, 80 мм/с і 100 мм/с з соплом 0,2 мм (рис. 3, а – в) без використання системи контролю подачі філаменту.

Це створює складні умови роботи екструдера. В результаті не вдається створити якісну верхню площину для прямокутного тестового зразка з низьким внутрішнім заповненням.

При ввімкненні системи зворотного зв'язку по контролю подачі пластика (рис. 3, г – е) з соплом 0,2 мм і швидкістю друку 100 мм/с якість

верхньої поверхні значно краще, однак все ще можна побачити не повністю закриті отвори.

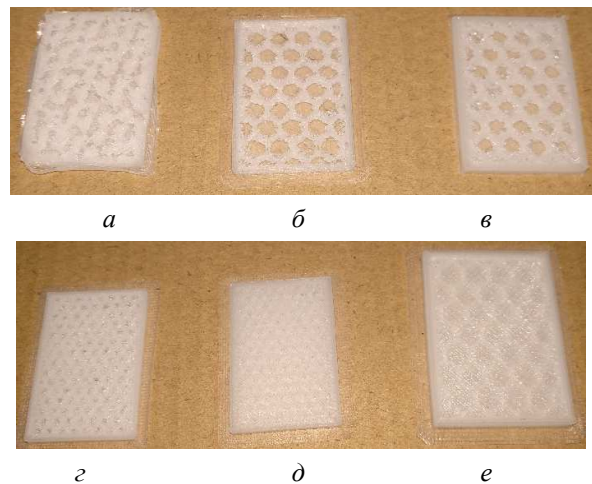


Рис. 3. Зовнішній вигляд зразків, надрукованих без зворотного зв'язку (а – в) та зі зворотним зв'язком (г – е)

Застосовувалось при збільшенні швидкості друку не лише коригування подачі філаменту, а коригування його температури, що дозволило отримати найвищу якість друку, навіть при збільшенні розміру внутрішніх порожнин верхня поверхня повністю закрита і має гладку структуру (рис. 3. е).

Висновки

Таким чином, у статті встановлено, що найбільш поширеним методом адитивного виробництва є метод пошарового наплавлення. Водночас, підвищення якості (зменшення кількості поверхневих дефектів, збільшення точності формування шарів) виготовлення деталей методом 3D друку

можна підвищити використанням непланарного тривимірного друку. Паралельним методом може стати забезпечення зворотного зв'язку у механізмі подачі філаменту з метою забезпечення більш рівномірного подавання матеріалу в зону формування 3D виробу.

Проведено порівняння якості отриманих виробів та експлуатаційних характеристик процесу друку зразкових виробів без застосування розробленого пристрою зворотного зв'язку та із ним. За результатами цього порівняння встановлено однозначне підвищення якості (зменшення кількості поверхневих дефектів на 88%) та точності отримуваних виробів (до 96%) при застосуванні запропонованої конструкції пристрою зворотного зв'язку.

Література

- [1] А. Г. Новаковський, В. С. Антонюк, “Анализ современных технологических подходов к адитивному производству”, *Республиканский межотраслевой производственно практический журнал*. Минск, Республика Беларусь, № 3(72), с. 11-12, 2016.
- [2] Р. П. Гайдаш, Ю. І. Коваленко, М. П. Рудь, М. О. Бондаренко, В. С. Антонюк, “Формування та керування стрічковим електронним потоком при мікрообробці елементів пристроїв для адитивного виробництва”, *Сучасні технології в машинобудуванні*, Вип. 13, с. 69-78, 2018. file:///C:/Users/Victor/AppData/Local/Temp/Stvm_2018_13_10.pdf
- [3] М. П. Рудь, О. О. Похил, С. В. Заболотній, А. П. Солтус, “Кінцево-елементне моделювання термомеханічної поведінки виробів з полімерних матеріалів при їх виготовленні методом пошарового наплавлення”, *Вісник ЧДТУ*, № 3, с. 97-104, 2018. http://visnyk.chdtu.edu.ua/images/tech/3_2018/97-104%D0%A0%D1%83%D0%B4.pdf
- [4] Е. Я. Чонка, В. С. Антонюк, “Аналіз точності формування поверхонь деталей виготовлених на 3D-принтері”, на *XV Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні*, Київ, Україна, 2019, с. 197-200. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31651> https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/31651/1/EI-RP-2019_Proceedings-Page197-200.pdf
- [5] P. Gupta, C. A. Duarte and A. Dhankhar, “Accuracy and Robustness of Stress Intensity Factor Extraction Methods for the Generalized/Extended Finite Element Method”, *Engineering Fracture Mechanics*, march 2017. DOI: 10.1016/j.engfracmech.2017.03.035
- [6] Daniel Ahlers, Florens Wasserfall, Norman Hendrich and Jianwei Zhang Daniel Ahlers, *3D Printing of Nonplanar Layers for Smooth Surface Generation*. University of Hamburg. 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.34888.26881
- [7] P. M. Bhatt, R. K. Malhan, A. V. Shembekar, Y. J. Yoon, and S. K. Gupta, “Expanding capabilities of additive manufacturing through use of robotics: A survey”, *Additive Manufacturing*. 31:100933, 2020. DOI:10.1016/j.addma.2019.100933
- [8] М. П. Рудь, А. П. Солтус, “Аналіз перспектив застосування технологій адитивного виробництва в автомобільній промисловості”, на *Міжнар. наук.-практ. конф. Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування* СЕУТТОО-2018, Херсон, Україна, 2018, с. 293-296.
- [9] М. П. Рудь, С. В. Скорина, В. О. Андрієнко, “Гібридна адитивна технологія створення мікрокомпонентів оптичних систем”, *Зб. тез доповідей за матеріалами МНТК «Датчики, прилади та системи – 2018»*, Черкаси – Херсон - Лазурне, Україна, 2018, с. 75-78.
- [10] М. П. Рудь, О. М. Пилипенко, А. П. Солтус, “Оцінка втомної міцності автодеталей з полібутилентерефталату виготовлених методом 3D-друку”, на *Міжнар. наук.-практ. конф. Новітні технології розвитку автомобільного транспорту*. ХНАДУ, Харків, 2018, с. 208-211.
- [11] I. I. Bezukladnikov, Yu. N. Khizhnyakov, & A. A. Yuzhakov, “Neuro-fuzzy control of the process of feeding wire material in additive technologies of the FDM family”, *Russian Electrical Engineering*, 88(11), pp. 697–700, 2017. DOI:10.3103/s1068371217110025
- [12] Y. Tlegenov, W. F. Lu, & G. S. Hong, “A dynamic model for current-based nozzle condition monitoring in fused deposition modeling”, *Progress in Additive Manufacturing*, 4(3), pp. 211–223, 2019. DOI:10.1007/s40964-019-00089-3
- [13] E. Soriano Heras, F. Blaya Haro, J. de Agustín del Burgo, M. Islán Marcos, & R. D'Amato, “Filament Advance Detection Sensor for Fused Deposition Modelling 3D Printers”, *Sensors*, 18(5), 1495, 2018. DOI:10.3390/s18051495
- [14] D. Chakraborty, B. Aneesh Reddy, and A. Roy Choudhury, “Extruder path generation for curved layer fused deposition modeling”, *Computer Aided Design*, 40(2):235–243, 2008.
- [15] S. Singamneni, A. Roychoudhury, O. Diegel, and B. Huang, “Modeling and evaluation of curved layer fused deposition,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, no. 1, pp. 27–35, 2012.
- [16] B. Huang, and S. Singamneni, “A mixed-layer approach combining both flat and curved layer slicing for fused deposition modelling,” *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol. 229, no. 12, pp. 2238–2249, 2014.
- [17] D. Ding, Z. Pan, D. Cuiuri, H. Li, N. Larkin, and S. Duin, “Multi-direction slicing of STL models for robotic wire-feed additive manufacturing,” *Solid Freeform Fabrication Symposium*, pp. 1059–1069, 2015.

УДК 681.625.8

¹⁾А. Г. Новаковский, ²⁾М. П. Рудь, ¹⁾В. С. Антонюк, ²⁾М. А. Бондаренко*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина**Черкасский государственный технологический университет, Черкассы, Украина*

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХОСТИ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ

Вступление. В статье рассмотрены вопросы повышения качества уменьшения количества поверхностных дефектов, увеличение точности формирования слоев, изготовление деталей методом трехмерной печати. Проведен анализ существующих решений среди методов и систем послойной наплавки, анализируются варианты исключения необходимости использования поддерживающих структур, во избежание "ступенчатого эффекта", а также улучшение механических свойств печатных изделий, таких как аэродинамика, сопротивление перпендикулярным нагрузкам и т.д., за счет использования непланарной трехмерной печати. Доказана необходимость обеспечения обратной связи в механизме подачи филаментов с целью обеспечения более равномерной подачи материала в зону формирования 3D изделия.

Результаты исследования. Проведено сравнение качества полученных изделий и эксплуатационных характеристик процесса печати образцовых изделий без и с применением разработанного устройства обратной связи и установлено однозначное повышение качества (уменьшение количества поверхностных дефектов) и точности получаемых изделий при применении предложенной в работе конструкции устройства обратной связи.

Выводы. Рассмотрены особенности повышения качества изготовления деталей методом 3D печати. Повышение качества обеспечивается обратной связью в механизме подачи филаментов, что создает более равномерную подачу материала в зону формирования 3D изделия. Проведено сравнение качества полученных изделий и эксплуатационных характеристик процесса печати образцовых изделий с применением разработанного устройства обратной связи и без него. Результаты показали однозначное повышение качества (уменьшение количества поверхностных дефектов на 88%) и точности получаемых изделий (до 96%) при применении предложенной конструкции устройства обратной связи.

Ключевые слова: 3D печать; аддитивная технология; обратная связь; качество печати.

¹⁾O. G. Novakovsky, ²⁾M. P. Rud, ¹⁾V. S. Antonyuk, ²⁾M. O. Bondarenko*¹⁾National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine**²⁾Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine*

IMPROVING THE QUALITY OF SURFACES OF PRODUCTS OBTAINED BY THE 3D PRINTING METHOD

Introduction. The article considers problems of improving the quality (reducing the number of surface defects, increasing the accuracy of layer formation) of the parts production by additive manufacturing. The existing solutions among the methods and systems of fused deposition are analyzed, the options of avoiding the need of supporting structures usage, avoiding the "step effect", as well as improving the mechanical properties of printed products, such as aerodynamics, resistance to perpendicular loads, etc., through the use of nonplanar 3d-printing.

The need to provide feedback of the filament feeding mechanism in order to ensure a more consistent material feed to the area of the 3D product formation has been proven.

Research results. The functional structural scheme of the feedback device for increase of technological quality of formation of surfaces of products of exact instrument making by a method of 3D printing in the work is offered.

A quality comparison of the obtained products and the performance characteristics of the printing process for sample products without and with the use of the developed feedback device is shown, clear improvement in quality (reduction of surface defects) and accuracy of the products using the proposed design of the feedback device is proven.

Conclusions. The features for improving the quality of manufactured parts by 3D printing are enhanced by providing feedback for the feeding mechanism of the filament to ensure a more consistent feed of material in the area of the 3D product formation.

The quality of the obtained products and operational characteristics of the printing process of exemplary products without and with the use of the developed feedback device are compared and the unambiguous increase of quality (reduction of the number of surface defects by 88%) and accuracy of the received products (up to 96%) is shown.

Keywords: 3D printing; additive technology; feedback; print quality.

*Надійшла до редакції
22 жовтня 2020 року*

*Рецензовано
04 листопада 2020 року*