

УДК 681.625.8

*Е.Я. Чонка, магістрант гр. ПБ 81мп, Новаковський О.Г., аспірант
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ОСОБЛИВОСТІ НЕПЛАНАРНОГО МЕТОДУ 3D ДРУКУ ПОВЕРХОНЬ

Анотація. В статті розглядаються питання виготовлення деталей шляхом 3D друку. Наведено аналіз реалізації процесу 3D друку методами пошарового наплавлення FDM (Fused Deposition Method) і FFF (Fused Filament Fabrication) отримання прототипів. Показано шляхи вибору ефективної системи переміщення друкуючої головки процесу непланарного методу 3D друку з метою підвищення характеристик якості отриманих деталей.

Ключові слова: 3D друк, непланарне пошарове наплавлення, ступінчастий ефект, контактні поверхні, друкуючі головки.

ВСТУП

У сучасному приладо та машинобудуванні все більш широкого застосування знаходять адитивні технології, технології швидкого прототипування, що складається з великої кількості методів виготовлення [1].

Впровадження адитивних технологій в сучасне виробництво дозволяють отримувати вироби практично будь-якої складності і конфігурації та знайшли широке застосування в приладо- та машинобудуванні, в авіаційній і ракетно-космічній галузях.

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

У той же час діючі технології 3D-друку часто не відповідають вимогам до точності виробів в приладо- та машинобудуванні. Це є наслідком недостатнього наукового забезпечення технологій швидкого прототипування, відсутність інформації про методи управління точністю деталей. Не виявлені основні закономірності зміни технологічних параметрів процесу друку і їх зв'язок з параметрами точності виробів, відсутні дані про вплив технологічних параметрів процесу на показники якості поверхні виробів, виготовлених адитивними технологіями [2].

У зв'язку з цим, вивчення зазначених аспектів проблеми підвищення ефективності технологій 3D-друку є актуальною науково-технічною задачею.

Метою роботи є аналіз сучасних методів пошарового наплавлення виробів складної геометричної поверхні

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПОШАРОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Методи пошарового наплавлення FDM (Fused Deposition Method) – метод плавненого осадження або FFF (Fused Filament Fabrication) – метод виготовлення плавненою ниткою у індустрії адитивного виробництва, є найбільш поширеними внаслідок простоти внесення модифікацій в обладнання, невисокої вартості, широкому спектру витратних матеріалів і можливості швидкого навчання [3].

В той же час друк даним методом виробів зі складною геометричною поверхнею має суттєвий недолік, – виникає так називає «ступінчастий ефект», при цьому, чим менший кут нахилу поверхні, тим більшим буде цей ефект (Рис. 1).

Крім проблеми з точки зору естетики, "ефект ступіней" також негативно впливає на механічні властивості виробів, такі як аеродинаміка, опір перпендикулярним навантаженням тощо.

Для усунення подібного явища, 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, це так званий непланарний 3D друк [4].

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. 2).



Рис. 1. Виріб з яскраво вираженим "ступінчастим ефектом"



Рис. 2: Виріб з поверхнею зі складною геометрією отриманою непланарним методом.

На жаль запропонований у 2008 році даний метод тривимірного друкування до цього часу не отримав широкого поширення через деякі складності [5].

При використанні друку даним методом необхідно враховувати як геометрію самого виробу, так і друкуючої головки (і безпосередньо сопла) 3D принтера уникаючи можливих колізій (Рис. 3).

Більш того, в даний момент відсутній уніфікований метод розрахунку непланарних поверхонь отриманих 3D друком.

Прийнята схема обмежень Ultimaker (Рис. 3 а) враховує всю друкуючу головку з дозволеним кутом у 8° та максимальною висотою занурення $h_{\max} = 50$ мм, або враховує лише сопло з кутом 45° та максимальною висотою занурення $h_{\max} = 7,5$ мм [4].

Залежно від обраної конфігурації можна друкувати або великі поверхні з малим кутом до 8° , або невеликі поверхні з великим кутом до 45° (Рис. 3 б).

Деталі друковані з використанням непланарного методу FDM є більш жорсткішими, ніж їх повністю планарні аналоги, оскільки різна орієнтація контактних поверхонь між шарами призводить до рівномірного опору на розтяг.

Планарні друковані деталі FDM, менш стійкі до напружень на розрив по осі в напрямку їх побудови, що може призвести до розшарування контактних поверхонь.

Непланарні шари, що перемешуються між собою, розподіляють зусилля на розрив на сили розтягування та зсуву, що призводить до підвищення міцності друкованих деталей методом FDM [6].

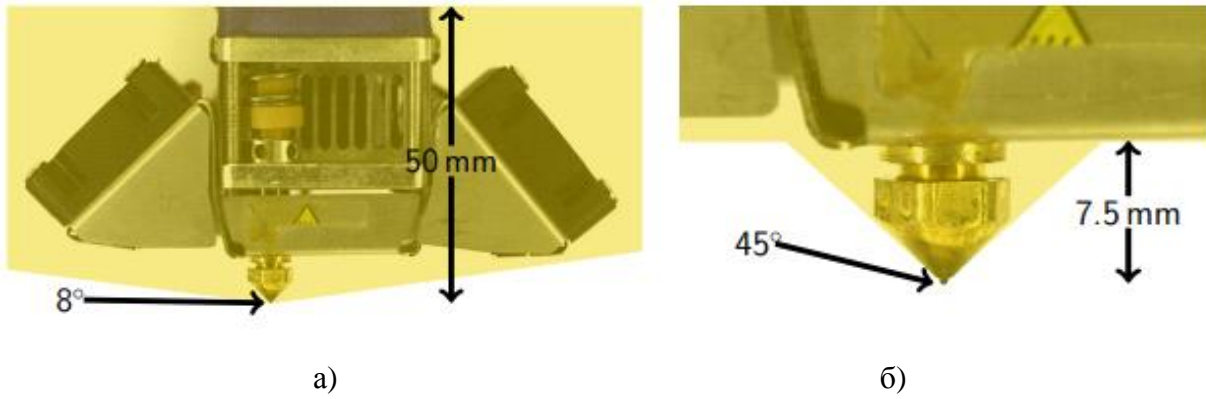


Рис. 3: Схема обмежень при переміщенні друкуючої головки з дозволим кутом 8° та висотою занурення $h_{\max} = 50$ мм (а), також сопла головки з кутом 45° та $h_{\max} = 7,5$ мм (б).

На рисунку 4 показана схема розподілу зусиль на розрив між контактними шарами, n де для планарного друку методом FDM сила розриву F_A між шарами відповідає величині компоненті сили розтягу F_T , тобто $F_T = F_A$, а компонента зсуву $F_S=0$ (Рис. 4 а)

Для непланарного друку методом FDM, при наявності кута нахилу друкуючої головки відбувається зменшення сили розтягу $F_T < F_A$, при цьому для невеликих кутів нахилу сопла друкуючої головки компонента F_T перевищує дотичну компоненту F_S . тобто $F_T > F_S$ (Рис. 4 б), а зі збільшенням кута нахилу сопла друкуючої головки до 45° відбувається перерозподіл і збільшується компонента зсуву $F_T < F_S$ (Рис. 4 в).

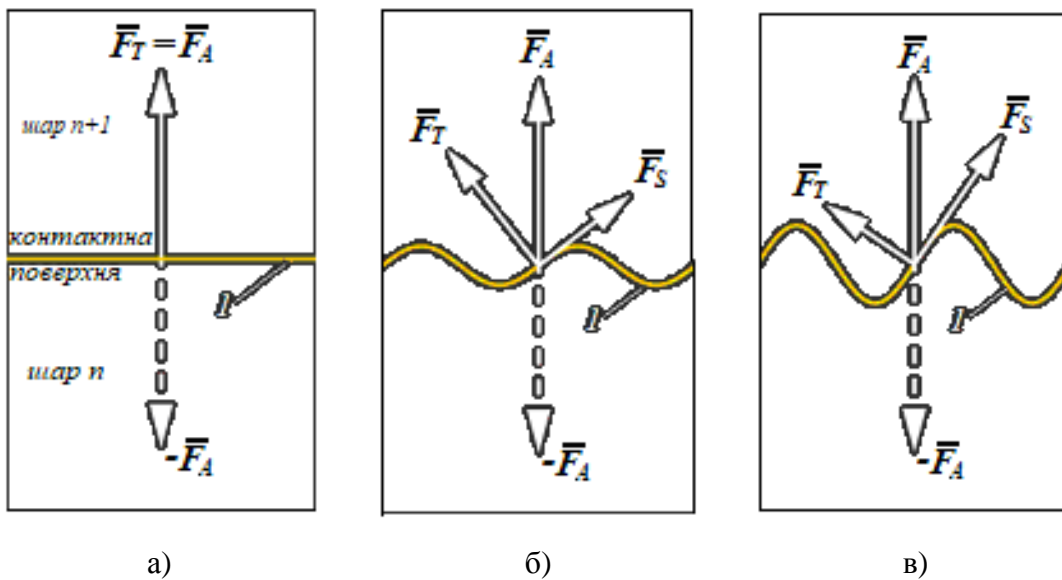


Рис. 4. Схема розподілу зусиль між шарами контактних поверхонь на розрив: планарний FDM при $F_T = F_A$; $F_S=0$ (а); непланарний FDM при $F_T < F_A$; $F_T > F_S$ (б) і непланарний FDM при $F_T < F_A$; $F_T < F_S$ (в).

Як правило, непланарний 3D-друк необхідно виконувати за допомогою подовженого сопла, оскільки плаский зріз форсунки має тенденцію занурюватися в попередньо надрукований шар і може застрягнути в розплавленому матеріалі [7].

Подовжене сопло дозволяє відтворювати більш круті кути друку, хоча завжди необхідно переконуватись, що при цьому ніякі інші частини сопла або друкуючої головки не заважають, особливо це відноситься до кріплення вентиляторів, які схильні стикатися з друкованою деталлю.

На рисунку 5 показана схема формування контактної поверхні форсункою з плоскою насадкою (тип E3Dv6) і з точковою насадкою (тип Мерлін): насадка перпендикулярна до контактної поверхні (Рис. 5 а); нахилена під кутом $> 22,5^\circ$ (Рис. 5 б), а також під кутом 45° (Рис.5 в).

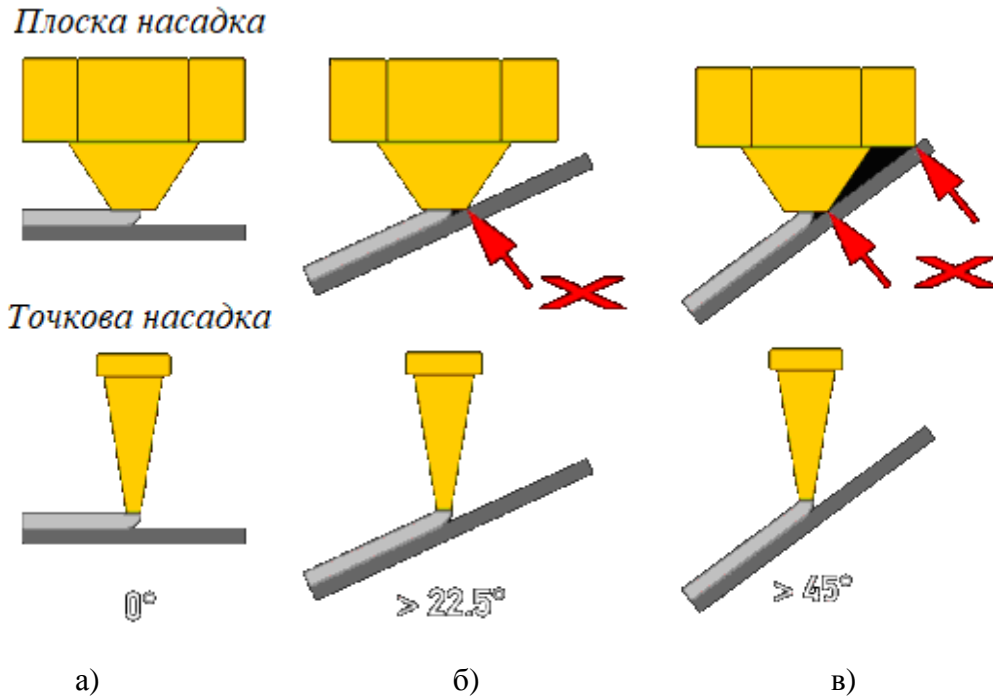


Рис. 5. Схема формування контактної поверхні форсункою з плоскою насадкою і з точковою: при кут нахилу 0 (а); під кутом $> 22,5^\circ$ (б) та під кутом $> 45^\circ$ (в).

При друкуванні виробів часто використовують комбінований метод коли частина виробу під непланарною областю роздруковують традиційним пошаровим методом. Такий підхід дозволяє не тільки позбутися "ступінчастого ефекту", а також отримувати вироби, найбільш близькі за механічними властивостями до прогнозованих моделей.

ВИСНОВОК

Найбільш поширений метод адитивного виробництва – пошарового наплавлення внаслідок друку виробів зі складною геометричною поверхнею має суттєвий недолік, процесі формування виробів виникає, так званий, «ступінчастий ефект».

Для усунення подібного явища пропонується використовувати непланарний 3D друк методом FDM за допомогою подовженого сопла. Такий підхід дозволяє не тільки позбутися "ступінчастого ефекту", а також отримувати вироби, найбільш близькі за механічними властивостями до прогнозованих моделей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Чонка, Е. Я. Аналіз точності формування поверхонь деталей виготовлених на 3D-принтері / Е. Я. Чонка, В. С. Антонюк // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 197–200. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31651>
- [2] Новаковский А.Г., Антонюк В.С. Анализ современных технологических подходов к аддитивному производству // Республиканский межотраслевой производственно практический журнал. -Минск –No 3(72) –2016.–С. 11 –12
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 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. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100933>
- [6] Ben Ezair, Thesis Seminar Advanced Geometric Methods in Machining and Additive Manufacturing, // Technion. Tel-Aviv 2019. <http://www.cs.technion.ac.il/events/2019/3238/>
- [7] Moritz Walter 3D Printering: Non-Planar Layer FDM // July 27, 2016.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Антонюк В.С.