

УДК 681.625.8

О.В. Третяк, студентка гр. ПБ-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ НЕПЛАНАРНИХ ШАРІВ ВИРОБУ ПРИ 3D-ДРУЦІ

Анотація. У статті розглянуто питання покращення друку деталей адитивними технологіями за допомогою непланарних шарів. Проаналізовано праці щодо обраної тематики. Визначено способи пом'якшення впливу східчастості і покращення якості поверхні, а також такі додаткові проблеми як самозіткнення та переходи між різними непласкими поверхнями.

Ключові слова: прототипування, 3D-друк, 3D-принтер, непланарний друк.

ВСТУП

Відомо, що багат шарові адитивні процеси виробництва за своєю природою піддаються впливу дискретизації, вони широко відомі і розглядалися багатьма дослідниками протягом більше двох десятиліть. Рисунок 1 ілюструє вплив східчастості на якість поверхні об'єктів надрукованих методом FDM і показує, як він стає все більш домінуючим у ділянках з невеликим нахилом поверхні. Східчастий перехід не тільки впливає на естетичне сприйняття, але також може впливати на механічні властивості, наприклад, на аеродинамічні характеристики крила, як показано на рис. 1. Умовно є кілька способів пом'якшити вплив східчастості і покращити якість поверхні, їх приблизно можна поділити на:

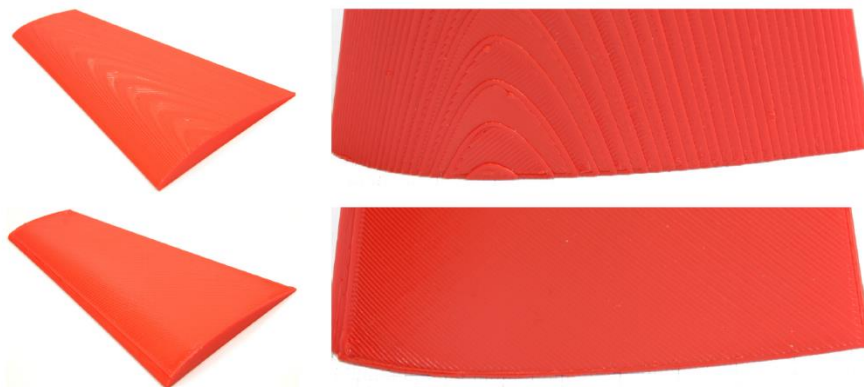


Рис. 1. Порівняння крила з профілюм НАСА 4310, повністю надрукованого з плоскими шарами зверху та непланарною поверхнею знизу

- Адаптивне слайсування: східчастість поверхні можна значно зменшити, збільшив роздільну здатність по осі z, але це також значно збільшує необхідний час друку. Адаптивне слайсування – це спроба автоматичного балансу між швидкістю друку та якістю шляхом зменшення товщини шару лише в тих областях, де геометрія поверхні вимагає більш високої роздільної здатності. Зазвичай це безпосередньо пов'язано з локальним кутом поверхні об'єкта.
- Постобробка: поверхню об'єкта, надрукованого на 3D-принтері, можна обробити механічно або хімічно за допомогою додаткового етапу постобробки. Однак це, як правило, вимагає ручної або машинної роботи.
- Непланарний друк: за допомогою непланарних шарів екструзія точно повторює фактичний контур поверхні об'єкта, а не розрізає його на плоскі шари. Майже ідеальної поверхні можна досягти, зокрема, для гладких

вигинів. Однак генерація траєкторії інструменту (G-code) для непланарних шарів є складною, частково невіршеною проблемою.

Тільки поверхні з одновимірною кривизною можна друкувати за допомогою лінійної екструзії без спотворень, а для загального випадку потрібен 5-осьовий механізм принтера. Додатковими серйозними проблемами є самозіткнення та переходи між різними непласкими поверхнями.

Оскільки непланарні шари є особливо важливими для «пласких» областей поверхні, які сильно страждають від східчастості, такі області треба намагатися ідентифікувати, перевіряти на зіткнення та автоматично генерувати змішану траєкторію інструменту з переважно пласкими шарами та непланарними плямами на поверхні.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Було запропоновано кілька підходів для моделювання та вимірювання якості поверхні об'єктів, надрукованих на 3D-принтері. Доленц і М'акела [1] ввели широко використовувану міру висоти виступу, яка описує максимальне відхилення спрощеного прямокутного профілю східчастої поверхні від ідеальної поверхні об'єкта. Пізніше така метрика була використана для цілого класу алгоритмів адаптивного зрізу, включаючи локальну релаксацію [2], паралельний та локальний адаптивний зріз, де незалежні гілки об'єкта розрізаються окремо залежно від їх геометрії поверхні.

Другий підхід до кількісної оцінки якості поверхні об'єктів, надрукованих методом FDM, був введений Перезом і Пандеєм та ін. [3], де відома міра шорсткості поверхні R_a була пов'язана з кутом поверхні.

Ефект східчастості можна зменшити за допомогою різноспрямованих траєкторій інструменту в одному об'єкті [4]. Це робиться шляхом розкладання моделі на різні частини, де кожна частина потім розрізається з іншою відповідною орієнтацією, а частини об'єднуються в траєкторію інструменту для всього об'єкта. Багатоспрямований об'єкт можна друкувати з більшими виступами та покращеною якістю поверхні.

Моделювання наплавлення вигнутого шару підтримує різні значення висоти вздовж осі z на одному шарі друку. Чакраборті представив цей метод і запропонував перші алгоритми. У роботі [5] поверхня визначається як параметрична поверхня, і траєкторія інструменту генерується вздовж цієї поверхні. Також визначено три ключові фактори для друку непланарних шарів: правильне формування траєкторії інструменту, орієнтація екструзії та з'єднання між сусідніми екструзіями. Хоча алгоритми були представлені, вони не використовувалися для створення реальних фізичних об'єктів. Оскільки не кожна поверхня придатна для друку з непланарними шарами, ці вигнуті шари необхідно поєднувати з пласкими шарами. Области для друку ідентифікуються у поверхневій сітці та зміщені до внутрішньої сторони об'єкта. Зміщена частина розрізана непланарними шарами вигнутих шарів, а інша частина моделі піддається слайсингу площинними шарами.

Зіткнення в межах траєкторії інструменту – велика проблема при друці непланарних шарів. Мікалі та ін. [6] представили алгоритм, який може

генерувати 3D-траєкторію інструменту вздовж поверхні довільної форми та перевіряти траєкторію інструменту на наявність зіткнень, генеруючи огинаючу поверхню з наближеним загостреним соплом.

Однак алгоритм перевіряє лише «колізії» всередині поверхні, які повинні бути надруковані, і не тестувався на надрукованих деталях. При друці на тривісному принтері непланарний шар не укладається ортогонально до друкованої частини.

ВИСНОВКИ

В адитивному виробництві найпоширенішим методом виготовлення деталей є метод пошарового наплавлення. Але він має недолік – при нашаруванні матеріалу, особливо в деталях складної геометричної форми, на виробі можна бачити ступінчасту структуру. Таким чином, можна зробити висновок, що він впливає не тільки на естетичне сприйняття, але також може впливати на механічні властивості. Тому на основі проаналізованих праць доцільно взяти до уваги покращення механічних властивостей деталі при друці ділянок виробу непланарними шарами. Для більш якісного виконання такої технології знадобиться п'яти осьовий пристрій об'ємного друку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] A. Dolenc and I. M'akel'a, "Slicing procedures for layered manufacturing techniques," *Computer-Aided Design*, vol. 26, no. 2, pp. 119–126, 1994.
- [2] M. Y. Zhou, J. T. Xi, and J. Q. Yan, "Adaptive direct slicing with nonuniform cusp heights for rapid prototyping," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 23, pp. 20–27, 2004.
- [3] P. M. Pandey, N. V. Reddy, and S. G. Dhande, "Improvement of surface finish by staircase machining in fused deposition modeling," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 132, pp. 323–331, 2003.
- [4] H.-m. Zhao, Y. He, J.-z. Fu, and J.-j. Qiu, "Inclined layer printing for fused deposition modeling without assisted supporting structure," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 51, pp. 1–13, 2018.
- [5] D. Chakraborty, B. Aneesh Reddy, and A. Roy Choudhury, "Extruder path generation for curved layer fused deposition modeling," *Computer Aided Design*, vol. 40, no. 2, pp. 235–243, Feb. 2008.
- [6] M. Micali and D. Dornfeld, "Fully three-dimensional toolpath generation for point-based additive manufacturing systems," *Solid Freeform Fabrication Symposium*, pp. 36–52, 2016.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Філіппова М. В.