

УДК 004.93

УПРАВЛІННЯ ЕКСТРУЗІЄЮ ФІЛАМЕНТА ДЛЯ FDM-ДРУКУ

Бойко С. С., Ярмілко А. В.

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Abstract. The non-contact measurement system of filament parameters for FDM printing in its extrusion process is considered. The experimental data and the method of forming extrusion control commands based on them are presented.

FDM-технологія (Fused Deposition Modeling) є найпоширенішою серед технологій 3D-друку. Вона передбачає друк методом пошарового нанесення матеріалу. Комплексно всі шари утворюють певну матеріальну деталь, яку створено віртуально у відповідних програмних застосунках. Матеріал, яким друкує FDM 3D-принтер, називають філаментом (filament – нитка). Існують філаменти різного типу:

- тверді – ABS, PET;
- гнучкі – Flex, Elasthan;
- стійкі до ультрафіолету – ASA;
- композитні – Nylon, PC;
- біорозкладні – PLA;
- стійкі до хімікатів – MBS, HIPS.

Перелічені типи – лише невелика частина від усіх видів існуючих матеріалів для FDM-друку. Саме від якості матеріалу залежить якісний та стабільний друк. У перерізі такий матеріал має круглу форму, тому його ще називають прутком або ниткою. Основними параметрами філаменту визначають його товщину та відхилення від товщини по всій його довжині. На ринку присутні два основні типи за товщиною: 1.75мм, 3.00мм. Але 1.75мм є найпопулярнішим у використанні. Якісний філамент з діаметром нитки 1.75 має відхилення від діаметру ± 0.05 мм та овальність ± 0.02 .

Практика застосування FDM 3D-друку свідчить про утворення значної кількості виробничих відходів. Причин їхнього утворення немало. По-перше, під час друку певних навісних елементів деталей використовують підтримки для їх друку фактично в повітрі. Після друку підтримки видаляються та стають непотрібними. Також є фактори якості, відповідно до яких друкована деталь бракується та стає полімерним відходом. Під час друку деталь може відірвати від столу і подальший друк стає неможливим. Також під час друку ймовірним є передчасне закінчення матеріалу, внаслідок чого деталь також стає бракованою. Звісно, 3D-принтер можна дообладнати сенсором закінчення філаменту, але основна частина принтерів (особливо бюджетні) не комплектуються цим сенсором. Також є й інші зовнішні фактори, при яких філамент стає бракованим. Тому було б доцільно зробити установку, яка дозволяла б

дрібносерійно виготовляти філамент з полімерних відходів 3D-друку та інших полімерних відходів вторинного використання.

При виготовленні вторинного філаменту важливим аспектом технологічного процесу є забезпечення якості кінцевого продукту, яка визначається параметрами відхилення від заданого діаметру та овальністю. Під час виготовлення філаменту на його товщину впливають такі параметрами екструзії як швидкість протяжки, тиск та температура полімерної маси в екструдері, режими охолодження. Всі ці параметри можуть бути використані для управління процесом екструзії. Але якщо розглядати виготовлення філаменту з вторинної полімерної сировини, якою виступають полімерні пляшки, то внаслідок особливостей переробки актуальною залишається досить обмежена кількість параметрів управління екструзією: швидкість протяжки та температура сопла. Якщо розглядати управління процесом екструзії з точки зору його спрощення, то саме параметр швидкості протяжки є найбільш раціональним в забезпеченні процесу управління. Швидкість протяжки напряму визначає параметри прутка з огляду на особливість технології переробки, а управління за допомогою регулювання температури є більш важкою моделлю управління внаслідок температурної інерції та інших ефектів під час виготовлення.

Для управління екструзією потрібно формувати управляючі сигнали, за допомогою яких буде здійснюватися вплив на товщину філаменту в зоні екструзії. Для формування таких сигналів потрібно отримувати дані про перебіг технологічного процесу та обробляти їх. Отримати такі дані для управління можна за допомогою механічних роликів, проте вони можуть впливати на сам філамент. Альтернативою є візуальне спостереження зони екструзії. Для отримання візуальних даних можна використовувати різні види оптичних приладів, які на вхід отримують спектри випромінювання. Але для отримання бюджетної системи вимірювання можна використовувати веб-камеру. Особливістю такої метрологічної схеми є те, що об'єкт спостереження є надто малим для стандартних веб-камер. Тому потрібно використовувати електронні мікроскопи або камери з макрооптикою. Маючи в наявності тільки веб-камеру, можна вдосконалити оптичний тракт вимірювальної системи, розташувавши перед нею набір лінз для фокусування на маленьку відстань (приблизно 90мм) та отримання більш якісного зображення з чіткими контурами прутка. Використання веб-камери з набором лінз є найбільш доцільним в такій системі задля спрощення процесу безконтактного вимірювання геометричних параметрів філаменту в зоні екструзії та подальшого його аналізу і формування керуючих сигналів управління товщиною філаменту.

Сама технологія оптичного вимірювання базується на технології комп'ютерного зору. Вона реалізується на базі програмних компонентів бібліотеки аналізу зображення. В першу чергу, на вхід програми з камер отримується зображення робочої зони екструзії. Умовою успішного аналізу зображення є використання контрастуючого фону в зоні вимірювання. Наприклад, якщо філамент чорного кольору, то для спрощення програмного аналізу раціонально використовувати фон білого кольору. Після отримання зображення

потрібно видалити певні його неінформативні частини. Після обрізання зображення його потрібно перевести з кольорового формату у чорно-білий. Потім чорно-біле зображення під час аналізу перетворюється в бітмапу (1, 0). Одиничкою позначається та частина, де є різкий перехід між білим та чорним, а нуликом позначаються зони без змін. Після цього програма постовпчикою рахує відстані між першою одиничкою та останньою та записує в масив значень. Після отримання масиву значень між контурами масив перемножується на коефіцієнт приведення до потрібного масштабного значення (в нашому випадку – до 1.75). Потім з отриманого масиву товщин програма знаходить середнє значення. Саме управління формується на базі отриманих вимірів товщини прутка з метою уникнення перевищення допустимих допусків на розміри. Управління процесом екструзії філаменту відбувається за методом нечіткого керування параметру. Воно передбачає збільшення або зменшення параметру швидкості протяжки філаменту на виході з екструдера на визначений крок.

Реалізований програмний застосунок досліджено на експериментальному стенді виготовлення філаменту з вторинної полімерної сировини. Оскільки виконуються вимірювання за візуальними сигналами, то в експериментах були використані зразки філаменту як заводського виробництва (товщина згідно документації виробника – 1.75мм), так і отримані при переробці PET-пляшок з різними оптичними параметрами. Серії вимірювання представлені у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати статичних безконтактних вимірювань товщини філаменту за даними відеоспостереження зони екструзії

Номер заміру	Тип філаменту			
	заводський пруток чорного кольору	з переробленого полімерного матеріалу (PET-пляшка зеленого кольору)	з переробленого полімерного матеріалу (PET-пляшка, прозора)	заводський пруток червоного кольору
1	1.751	1.675	1.819	1.773
2	1.75	1.676	1.819	1.772
3	1.752	1.676	1.82	1.772
4	1.751	1.676	1.819	1.775
5	1.752	1.674	1.821	1.773
6	1.753	1.673	1.819	1.771
7	1.75	1.674	1.819	1.772
8	1.753	1.675	1.819	1.774
9	1.752	1.674	1.82	1.772
10	1.753	1.673	1.82	1.772

Як видно, точність вимірювання на експериментальному стенді на різних типах філаменту з різними спектральними характеристиками становить 0.004мм. Така точність є достатньою для якісного моніторингу технологічного процесу та формування команд на його корекцію. Тож можна стверджувати, що отриманий застосунок безконтактного вимірювання є основою розробки промисловою установки переробки пластикових відходів у філамент для FDM-друку.