

УДК 621.77.04

А. Н. ЧЕМОДУРОВ

Е. А. АБРАМОВ

С. Н. ЕСИН

Брянский государственный технический университет (Брянск, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ РАЗВИТИЯ FGF-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация

Рассматриваются перспективы применения FGF-технологии в аддитивном производстве. Выявляются достоинства и недостатки технологии, пути совершенствования и применимость.

Ключевые слова:

аддитивные технологии, 3D-печать, FGF (Fused Granulate Fabrication), филамент, шнековый экструдер.

Аддитивные технологии с начала своего появления использовались преимущественно для изготовления опытных образцов, т. к. назывались технологиями быстрого прототипирования. Сегодня данные технологии применяются для изготовления оснастки и функциональных изделий.

Самая старая технология 3D-печати – это технология FDM/FFF (печать методом послойного наложения). До сих пор эта технология широко используется и продолжает развиваться [1, 2]. Тем не менее она имеет свои недостатки.

В данной области альтернативной технологией является относительно молодая технология – технология FGF (Fused Granulate Fabrication, послойное наплавление из полимерных гранул) [3].

Любой пластиковый филамент для 3D-печати производится из пеллет – гранул пластика, которые расплавляются на производстве, где из них формируется пластиковая проволока – пруток, который наматывается в бобины и продается как известный нам пластиковый филамент – самый известный и распространенный материал для 3D-печати.

Применение гранул напрямую, минуя стадию промышленного производства прутка, позволяет сэкономить от 65 % до 90 % стоимости материала для печати. При наличии на производстве оборудования для измельчения пластика и экструзии прутка можно снизить стоимость печати еще меньше, перерабатывая неудачные принты в сырье, что еще больше снижает себестоимость конечного продукта и уменьшает количество отходов практически до нуля. Это не только выгодно, но и экологично.

Печать с использованием гранул, также известная как моделирование из расплавленных гранулятов или прямая экструзия, не является чем-то новым, но переживает возрождение популярности, обусловленное растущим спросом на более крупные 3D-принтеры и заинтересованностью в уменьшении количества отходов.

На рынке доступно множество материалов с широким спектром свойств – от PLA до высокотемпературных промышленных термопластов, таких как армированный нейлон и PEEK. Печать гранулами позволяет использовать множество различных материалов.

Пеллеты дешевле филамента не только потому, что исключается стадия формования прутка, но и потому, что пластик в форме гранул используется в литье под давлением и других видах производства, поэтому рынок гранул огромен, что удерживает цены на низком уровне.

3D-принтеры для FGF-технологии дополнительно оснащаются бункером и шнековым экструдером.

Для увеличения степеней свободы в передвижении печатающей головки шнековый экструдер можно интегрировать на робот-манипулятор.

Схема работы шнекового экструдера показана на рис. 1.

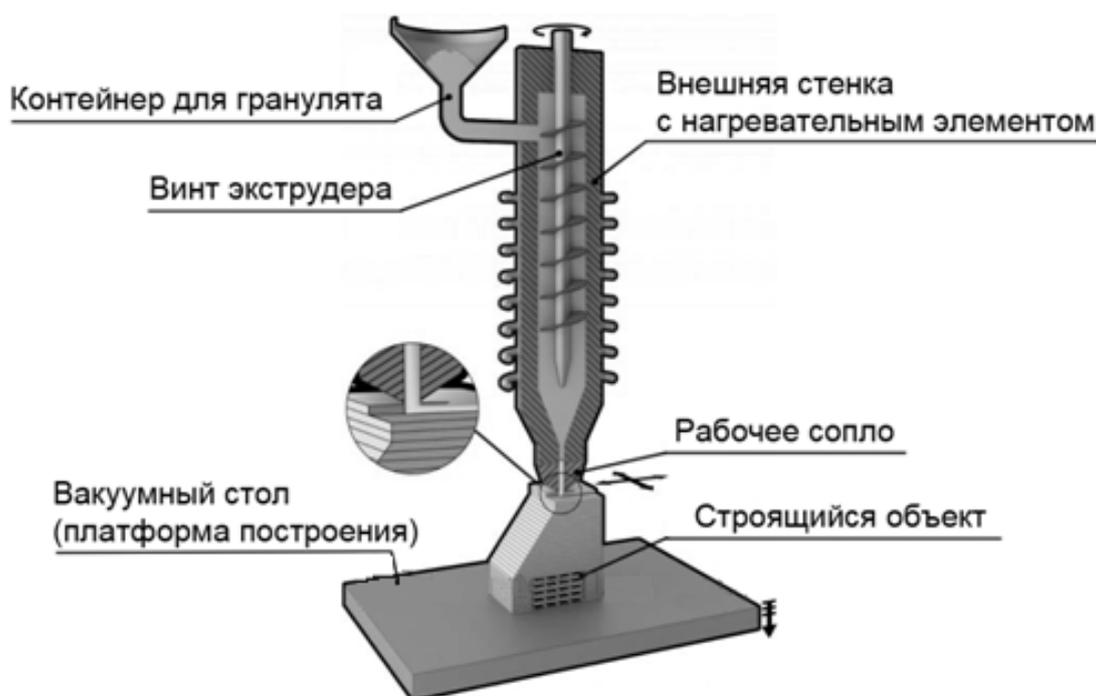


Рис. 1. Принципиальная схема работы шнекового экструдера FGF 3D-принтера

Изделие формируется на мобильной строительной платформе. Пластиковые гранулы подаются на вертикальный экструзионный шнек, который вращается, нагревает и спрессовывает гранулы до расплавленной однородной пластиковой массы. Масса продавливается через сменную насадку, где поток регулируется диаметром и формой канала.

Пластиковая масса подается через сопло с постоянной скоростью, и создается поперечное сечение модели CAD. После каждого слоя строительная платформа опускается и добавляется следующий слой.

Таким образом, объем подачи пластика в единицу времени можно изменять различными размерами сопла. Если использовать сопло большего диаметра, то процесс печати становится быстрее и дешевле, а прочность изделия

увеличивается. При использовании сопла меньше можно получить более гладкую поверхность и более детальную печать. Максимальный размер определяется размером наименьшего элемента печатаемой детали. Как правило, размер сопла не может превышать значения, которое в 2 раза меньше размера наименьшего элемента.

При необходимости может быть напечатана поддерживающая структура, позволяющая создавать «арки» в модели. Для достижения желаемых результатов может потребоваться постобработка изделия (шлифовка и полировка, окраска, добавление металлических или стеклянных включений).

Преимущества технологии FGF по сравнению с технологией FDM/FFF:

- термопластики в гранулах значительно дешевле, чем термопластики в нитях (филаментах);
- производительность под промышленные объемы производства – до 36 кг/ч и более, что в десятки и даже сотни раз быстрее, чем FDM;
- больше область построения – возможность создавать значительно более крупные детали и объекты. Практически нет ограничений по размерам объектов;
- более прочные детали по сравнению с FDM;
- непрерывная точная подача материала, поскольку экструдер отмеряет расплавленный материал, а не твердую нить;
- широкий спектр расходных материалов;
- материал можно модифицировать «в последний момент» – добавить цвет или определенные свойства;
- легко организовать повторное использование гранулированного термопластика;
- комбинация с другими методами производства;
- экологические преимущества: использование измельченных отходов.

Применяются и комбинированные установки для фрезерной обработки и 3D-печати в рамках одного станка (так называемое субтрактивное производство). Такие установки могут быть выполнены в следующих конфигурациях: портал с двумя балками, где на первой расположен FGF-экструдер, а на второй – шпиндель для пятиосевой обработки; портал с балкой и вертикальной сменой рабочего органа; роботизированная ячейка со сменой рабочего органа.

Несмотря на очевидные достоинства, у данной технологии существует и ряд недостатков. Одним из них является слабое качество поверхности, а именно высокая шероховатость, возникающая из-за значительной высоты слоя, что требует дальнейшей постобработки.

Так как для шнекового принтера кинематика и подготовка G-code схожа с филаментным оборудованием, то при печати гранулами возникают аналогичные проблемы, такие как засорение (*clogging*), пористость (*porosity*), коробление (*warping*), недостаточная экструзия и переэкструзия (*under-extrusion and overextrusion*).

При печати на FGF-принтерах чаще всего применяется только один материал, т. е. нет растворимых материалов поддержки. Так как только механическим

способом можно удалить поддержку, поэтому желательно печатать с минимальным количеством поддержек, а лучше без них.

В заключение можно отметить, что печать с использованием полимерных гранул открывает еще большие возможности для производства. Хотя ассортимент филамента на рынке быстро растет, но он не сможет сравниться с огромным выбором и разнообразием гранулированных термопластов, которые стоят в 2–4 раза дешевле.

Применение технологии FGF будет способствовать снижению стоимости и времени производства габаритной и износостойкой оснастки, а также заготовок для функциональных изделий под последующую механическую обработку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гибсон, Я.** Технологии аддитивного производства: Трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство / Я. Гибсон, Д. Розен, Б. Стакер. – Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 656 с.

2. RepRap (2019) (2020). Производство плавленных нитей – RepRap. В: Reprap.org. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://reprap.org/wiki/Fused_filament_fabrication. – Дата доступа: 12.09.2023.

3. **Треногин, Д.** Метод FGF как новый виток развития в экструзии полимеров / Д. Треногин // Аддитивные технологии. – 2022. – № 3. – С. 2–6.

chem.andrey.bryn@gmail.com (Чемодуров Андрей Николаевич);
evjenijabramov32@gmail.com (Абрамов Евгений Александрович);
sergoya632@mail.ru (Есин Сергей Николаевич).

A. N. CHEMODUROV, E. A. ABRAMOV, S. N. ESIN

RESEARCH IN THE FIELD OF FGF TECHNOLOGY DEVELOPMENT FOR ADDITIVE MANUFACTURING

Abstract

The prospects for using FGF technology in additive manufacturing are considered. The advantages and disadvantages of the technology, ways of improvement and applicability are identified.

Keywords:

additive technologies, 3D-printing, FGF (Fused Granulate Fabrication), filament, screw extruder.