
ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ INSTRUMENT-MAKING TECHNOLOGY

УДК 62-52
DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-8-581-584

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЗАДИРА ФИЛАМЕНТА В УСТРОЙСТВАХ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ

П. С. ТОПОРКОВ*, Ю. В. ФЕДОСОВ, М. Я. АФАНАСЬЕВ

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия
**toporkov@idtsoft.ru*

Аннотация. Проанализирована проблема задира филамента в устройствах трехмерной печати, проведен обзор существующих решений и предложен оригинальный способ автоматического обнаружения задира. Предложенный способ автоматизации детектирования задира филамента в устройствах трехмерной печати может обеспечить экономию материала, сохранность оборудования, снижение временных затрат на переналадку и починку устройств за счет своевременного прекращения аварийного процесса, что в результате гарантирует стабильность и надежность производственной технологии.

Ключевые слова: быстрое макетирование (прототипирование), автоматизация производства, управление технологическим оборудованием, трехмерная печать, филамент, горячая часть

Ссылка для цитирования: *Топорков П. С., Федосов Ю. В., Афанасьев М. Я.* Автоматическое детектирование задира филамента в устройствах трехмерной печати // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 8. С. 581—584. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-8-581-584.

AUTOMATIC DETECTION OF FILAMENT BURR IN THREE-DIMENSIONAL PRINTING DEVICES

P. S. Toporkov*, Yu. V. Fedosov, M. Ya. Afanasyev

ITMO University, St. Petersburg, Russia
**toporkov@idtsoft.ru*

Abstract. The problem of filament burr in 3D printing devices is analyzed, a review of existing solutions is carried out, and an original method for automatic detection of scoring is proposed. The proposed method for automating the detection of filament burr in 3D printing devices can provide material savings, equipment safety, and reduce time spent on readjustment and repair of devices due to the timely termination of the emergency process, which as a result guarantees the stability and reliability of the production technology.

Keywords: rapid prototyping (prototyping), production automation, process equipment control, three-dimensional printing, filament, hot part

For citation: *Toporkov P. S., Fedosov Yu. V., Afanasyev M. Ya.* Automatic detection of filament burr in three-dimensional printing devices. *Journal of Instrument Engineering*. 2022. Vol. 65, N 8. P. 581—584 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-8-581-584.

Введение. Современный принтер трехмерной печати обычно состоит из корпуса, закрепленных на нем направляющих, по которым с помощью шаговых двигателей перемещается печатающая головка, а также рабочего стола, на котором послойно печатается („выращивается“) изделие. Шаговые двигатели управляются при помощи электронных средств. То, чем

печатает 3D-принтер, т.е. расходные материалы для него, представляют собой расплавляемые в головке термопластиковые нити или прутки (*филаменты*), которые поступают пользователю на катушках или в рулонах.

Одним из основных компонентов принтера трехмерной печати, в котором выполняются расплавление филамента и подача расплавленной нити полимера, является печатающая головка. Важной ее частью является экструдер — узел, захватывающий филамент и проталкивающий его в другую, нагреваемую часть головки — горячую часть.

Горячая часть головки обычно состоит из трех элементов:

- собственно головка, сопло;
- термобарьер (может быть выполнен заодно с радиатором);
- радиатор.

Возникающие задиры и последующее измельчение филамента в устройствах трехмерной печати приводят к нежелательным последствиям: заклинивание головки, застревание рабочего материала, повреждение и засорение механизма экструдера и др., а в результате — вынужденное прерывание рабочего процесса и связанные с ним временные потери. Это не единственная проблема, которая может возникнуть в процессе трехмерной печати, но ее решение является первоочередным по следующим соображениям. Задир на пластике приводит к недоподаче филамента и перегреву горячей части вследствие подачи меньшего объема материала в единицу времени, заклиниванию механизма, низкому качеству печати, непропечатыванию или недостаточно плотному пропечатыванию детали. Кроме того, задир требует наиболее ресурсоемких процедур по ликвидации последствий работы принтера с истертым филаментом. Например, вследствие недоподачи материала и перегрева горячей части может возникнуть как закоксовывание материала в сопле, так и невозможность обеспечения требуемого температурного режима печати. В этом случае придется чистить сопло и перепечатывать деталь заново. При прочистке сопла высока вероятность нарушения калибровки. Соответственно, принтер необходимо повторно калибровать. Также недоподача материала приводит к короблению объекта и его недостаточному заполнению. Конкретного исследования по маркам материалов в литературе не приводится, однако можно утверждать, что такая проблема существует практически для любых термопластов. Указанные в [1—5] решения можно свести к правильной предварительной настройке принтера трехмерной печати.

Среди причин возникновения данного явления упоминаются быстрая или слишком сильная подача филамента, засорение сопла экструдера, нарушения температурного режима, дефекты трубки из политетрафторэтилена, некорректные значения скорости печати, слишком большое усилие давления шестерни экструдера, неверная калибровка и др.

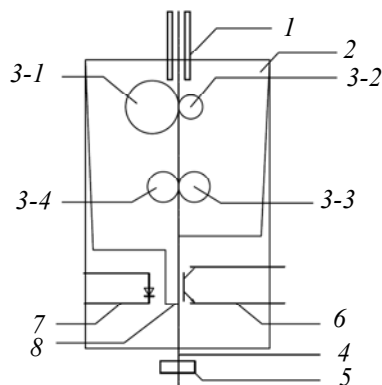
Вне зависимости от конкретной причины появления этой проблемы видится целесообразным автоматизировать ее выявление для того, чтобы своевременно остановить процесс печати, не дожидаясь выхода из строя всей установки, и иметь возможность оперативно скорректировать необходимые параметры с минимальными потерями для оборудования и для текущих производственных задач. Целью работы является поиск решения по подобной автоматизации.

Решение. Один из способов реализации подобной технологии — оптическое детектирование наличия стружки с последующей подачей аварийного сигнала для оперативного реагирования на потенциально нежелательную ситуацию и получения возможности ее избежать либо свести последствия к минимуму.

В [6] описана система управления экструдером, основанная на использовании камеры и инфракрасного датчика, которая значительно снижает величину проскальзывания. Но она не учитывает возможного появления стружки.

В [7] представлена имитационная модель, способная прогнозировать температуру и скорость экструдата. При этом приведены неполные данные о механике продвижения филамента; также не учтены возможное задира филамента и образование стружки.

Возможная схема осуществления детектирования приведена на рисунке. Через трубку 1 в головку 2 3D-принтера, оснащенную механизмом подачи филамента, состоящим из четырех зубчатых колес 3-1—3-4, поступает филамент 4. По пути следования к выходному соплу 5 филамент проходит через оптическое устройство детектирования, состоящее из фототранзистора 6, светодиода 7 и накопителя для стружки 8. В отсутствие повреждений филамента накопитель для стружки 8, представляющий собой полость в корпусе головки 2, пустует и за счет этого луч светодиода 7 свободно проходит через накопитель 8 и достигает фототранзистора 6, преобразуя оптический сигнал в электрический ток, установившееся значение которого является подтверждением нормального режима работы устройства. При возникновении задира филамента образуется стружка, которая постепенно наполняет накопитель и препятствует свободному прохождению луча от светодиода 7 к фототранзистору 6, за счет чего происходит изменение в выходном токе последнего, что сигнализирует о наличии проблемы.



Далее электрический сигнал может быть преобразован в звуковой или световой для оповещения оператора установки либо может быть передан на устройство автоматического останова, конкретная реализация которого является предметом отдельной проработки (например, в виде контроллера привода, на который подается соответствующий сигнал). В любой конфигурации предложенное решение достигает основной цели — прервать процесс трехмерной печати сразу же при появлении стружки, не дожидаясь выхода установки из строя или иных нежелательных последствий. После останова оператор имеет возможность осмотреть установку, определить причину возникновения проблемы и внести коррективы в настройки, чтобы продолжить процесс изготовления продукции в штатном режиме.

Заключение. Предложенный способ автоматизации детектирования задира филамента в устройствах трехмерной печати может обеспечить экономию материала, сохранность оборудования, снижение временных затрат на переналадку и починку устройств за счет своевременного прекращения аварийного процесса, что в результате гарантирует стабильность и надежность производственной технологии. Это составляет главные научно-технические итоги работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 3D Printer Extruder: Grinding Filament – How to Fix It [Электронный ресурс]: <<https://m.all3dp.com/2/3d-printer-grinding-troubleshooting/>>. (режим доступа 11.12.2021)
2. How to Prevent Jamming in All-Metal Hot Ends [Электронный ресурс]: <<https://all3dp.com/2/how-to-prevent-jamming-in-all-metal-hot-ends/>>. (режим доступа 11.12.2021)

3. Santanaa L., Alvesa J. L., Netto A. S. A study of parametric calibration for low cost 3D printing: Seeking improvement in dimensional quality // *Materials & Design*. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.09.020>.
4. Sen Qian, Kunlong Bao, Bin Zi and Ning Wang. Kinematic Calibration of a Cable-Driven Parallel Robot for 3D Printing // *Sensors*. 2018. Vol. 18(9). P. 2898. <https://doi.org/10.3390/s18092898>.
5. Garcia J. A., Lara E. and Aguilar L. A Low-Cost Calibration Method for Low-Cost MEMS Accelerometers Based on 3D Printing // *Sensors*. 2020. Vol. 20(22). P. 6454. <https://doi.org/10.3390/s20226454>.
6. Greeff G. P., Schilling M. Closed loop control of slippage during filament transport in molten material extrusion // *Additive Manufacturing*. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.12.005>.
7. Moretti M., Rossi A., Senin N. In-process simulation of the extrusion to support optimisation and real-time monitoring in fused filament fabrication // *Additive Manufacturing*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101817>.

Сведения об авторах

- Павел Сергеевич Топорков** — аспирант; Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники; E-mail: toporkov@idtsoft.ru
- Юрий Валерьевич Федосов** — канд. техн. наук; Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники; доцент; E-mail: yf01@yandex.ru
- Максим Яковлевич Афанасьев** — канд. техн. наук; Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники; доцент; E-mail: myafanasyev@itmo.ru

Поступила в редакцию 24.03.22; одобрена после рецензирования 15.04.22; принята к публикации 21.06.22.

REFERENCES

1. *3D Printer Extruder: Grinding Filament – How to Fix It*, <https://m.all3dp.com/2/3d-printer-grinding-troubleshooting>.
2. *How to Prevent Jamming in All-Metal Hot Ends*, <https://all3dp.com/2/how-to-prevent-jamming-in-all-metal-hot-ends>.
3. Santanaa L., Alvesa J.L., Netto A.S. *Materials & Design*, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.09.020>.
4. Sen Qian, Kunlong Bao, Bin Zi and Ning Wang, *Sensors*, 2018, no. 9(18), pp. 2898, <https://doi.org/10.3390/s18092898>.
5. Garcia J.A., Lara E. and Aguilar L. *Sensors*, 2020, no. 20(22), pp. 6454, <https://doi.org/10.3390/s20226454>.
6. Greeff G.P., Schilling M. *Additive Manufacturing*, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.12.005>.
7. Moretti M., Rossi A., Senin N. *Additive Manufacturing*, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101817>.

Data on authors

- Pavel S. Toporkov** — Post-Graduate Student; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; E-mail: toporkov@idtsoft.ru
- Yury V. Fedosov** — PhD; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; Associate Professor; E-mail: yf01@yandex.ru
- Maxim Ya. Afanasyev** — PhD; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; Associate Professor; E-mail: myafanasyev@itmo.ru

Received 24.03.22; approved after reviewing 15.04.22; accepted for publication 21.06.22.