

УДК 620.179.152.1: 004.356.2-023.5:678.5.067.5

**Изучение влияния параметров режимов печати на структуру стеклонеполненного
пластика с применением рентгеновской томографии**

В.А. Бурган

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.В. Батрагин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: vab46@tpu.ru

**The study of the influence of printing parameter modes on the structure
of glass-filled plastic using X-ray tomography**

V.A. Burgan

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Ph.D. A.V. Batranin
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: vab46@tpu.ru

Abstract. *The article is dedicated to identifying defects in 3D printing of polymer composites reinforced with glass fibers. For this purpose, the "OREL-MT" tomography system, assembled at Tomsk Polytechnic University, was used. The software package "CTAn" was employed for tomographic reconstruction and visualization of the obtained data.*

Key words: *X-ray Tomography, Polymers, Reinforced Polymers, 3D Printing, Defects.*

Введение

Аддитивные технологии активно развиваются и находят всё большее применение, с расширением выбора материалов. Один из популярных методов 3D-печати – послойное наплавление с термопластичными полимерами, применяемое для прототипирования и, в некоторых случаях, для конечной продукции [1–3].

В работе приведены результаты томографии образцов из термопластичного полиуретана с армированием стеклянными волокнами после 3D-печати и численный анализ пористости. Полукристаллические термопласты, состоящие из аморфных и кристаллических фаз, имеют высокую температуру плавления, химическую стойкость и улучшенную прочность, но требуют строгих условий обработки.

Полукристаллический термопластик сочетает аморфные и кристаллические фазы, что придает ему уникальные механические и термические свойства. В отличие от аморфных полимеров, он имеет высокую температуру плавления, химическую стойкость и улучшенную прочность, но требует более строгих условий обработки.

Экспериментальная часть

Для печати образцов использовался Total-PRO GF-30, который представляет собой полукристаллический композитный термопластик, армированный стекловолокном, с содержанием наполнителя около 30 % по массе [4].

Полимеры, армированные стекловолокном, обладают повышенной прочностью, но в 3D-принтерах вызывают износ сопел. Жесткость и абразивность стекловолокна ускоряют износ металлических частей, особенно при использовании сопел с маленьким диаметром.

Для исследования влияния износа сопла на качество печати были напечатаны два образца: с использованием нового сопла и с использованием сопла после печати 350 грамм пластика. Диаметр отверстия сопла перед печатью составил 0,4 мм, а после печати 0,8 мм. Параметры печати: диаметр сопла – 0,4 мм, толщина стенки – 0,5 мм, линия заполнения – 0,65 мм, температура печати – 220 °С, температура стола – 60 °С, скорость – до 80 мм/с, предварительная сушка материала при 80 °С, высота слоев печати – 0,2 мм.

Для проведения исследования использовали рентгеновскую микрокомпьютерную томографию (микро-КТ). Для этих целей воспользовались томографом «Орёл-МТ». Данный томограф был собран в Томском политехническом университете.

Для томографической реконструкции и визуализации полученных данных использовался программный пакет «СТAn» [5].

Исследование проводилось при следующих параметрах сканирования: ток анода – 60 мкА, ускоряющее напряжение – 100 кВ, число рентгеновских проекций – 1200, угловой шаг – $0,3^\circ$, размер вокселя – 6,35 мкм. Всего было исследовано два образца. Образцы имеют условное обозначение: № 1 (сопло 0,4 мм) и № 2 (сопло 0,8 мм).

Результаты

На рис. 1 представлены проекции образца №1 для иллюстрации внутренней структуры.

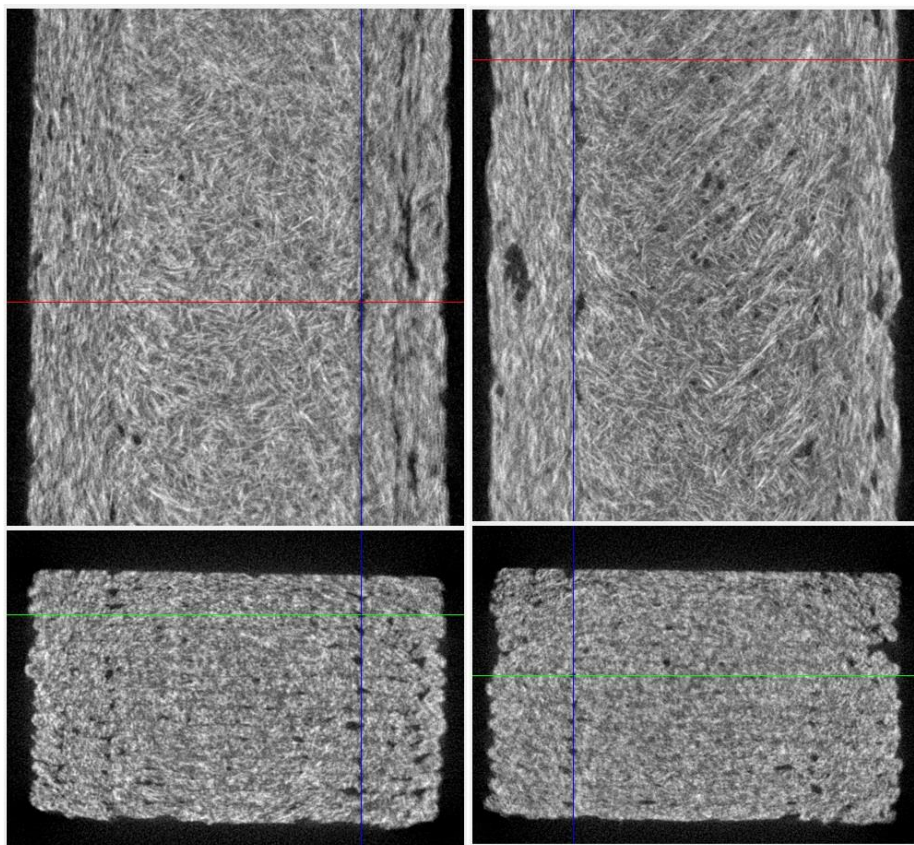


Рис. 1. Проекции образца №1 (слева) и образца №2 (справа)

На проекциях видна макронеоднородность структуры, пустоты и расслоения материала.

Образцы различаются по степени пористости и характеру ее распределения внутри объема. Для корректного расчета пористости, исключая захват окружающего воздуха, проведем численный анализ по внутренней части образцов. Эта область называется Volume of Interest (VOI). Расчет пористости будет выполнен в пределах VOI.

В связи с тем, что стекловолокно существенно плотнее полимера, нужно корректно выбрать порог для отделения материала от пор. Эта процедура называется сегментацией или бинаризацией.

Расчет пористости производится по следующей формуле:

$$\text{Пористость} = \frac{\text{Объем пор}}{\text{Объем материала} + \text{Объем пор}} \cdot 100\%.$$

Расчет содержания стекла производится по следующей формуле:

$$\text{Содержание стекла} = \frac{\text{Объем стекла}}{\text{Объем материала}} \cdot 100\%.$$

Результат расчетов сведён в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты расчетов

Образец	Объем материала, мм ³	Объем пор, мм ³	Объем стекла, мм ³	Пористость, %	Содержание стекла, %
1	74,68	8,16	21,46	9,85	28,74
2	75,78	7,00	21,99	8,16	29,02

Заключение

Томография позволила увидеть пустоты, расслоения и макронеоднородность структур образцов, так же позволила провести численный анализ пористости содержание стекла в материале.

В результате томографического анализа двух объектов, напечатанных из стеклонанополненного полимера, выявлено, что использование нового и изношенного сопла влияет на пористость получаемых изделий. Объект, напечатанный с применением нового сопла, имел пористость 9,85 %, тогда как у объекта, напечатанного на изношенном сопле, данный показатель составил 8,16 %. Полученные результаты свидетельствуют о том, что степень износа сопла оказывает влияние на микроструктуру напечатанных изделий, что может быть связано с изменением параметров экструзии материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания «Наука», проект № FSWW-2023-0004.

Список литературы

1. Thompson A., Maskery I., Leach R. K. X-ray computed tomography for additive manufacturing: a review // Measurement Science and Technology. – 2016. – Vol. 27 (7). – P. 072001.
2. Иванов И.И., Петров П.П., Сидоров С.С. Эффект параметров печати на механические свойства 3D-напечатанных изделий // Журнал 3D-печати. – 2023. – Т. 5, № 2. – С. 45–52.
3. Patel M.S., Mehta H.P.K.K., Shah R.A. Optimizing 3D printing process parameters for maximum tensile strength // Journal of Manufacturing Processes. – 2020. – Vol. 56. – P. 586–595.
4. TOTAL PRO GF-30 пластик Filamentarno для 3D принтера [Электронный ресурс] // lider-3d.ru : [сайт]. – URL: https://lider-3d.ru/catalog/materialy/plastik_dlya_3d_printerov/total_pro_gf_30_plastik_filamentarno_dlya_3d_printerov/ (дата обращения 23.02.2025).
5. Bruker CTAn Micro-CT Software – New Features in v.1.18 [Электронный ресурс] // blue-scientific.com [сайт]. – URL: <https://blue-scientific.com/news/2018/07/bruker-ctan-micro-ct-software> (дата обращения 23.02.2025).