

Е. И. Кордикова, доц., канд. техн. наук;
Г. Н. Дьякова, ст. преп. (БГТУ, г. Минск);
Е. Ю. Шалай, магистрант (ОАО «Пеленг», г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФИЛАМЕНТА НА КАЧЕСТВО ПЕЧАТИ

Благодаря своей способности создавать сложные изделия 3D-печать быстро завоевала популярность. При этом качество получаемого продукта определяется многими факторами: технологическими параметрами 3D-печати, несовершенством конструкции 3D-принтера, недостатками поставляемых филаментов и др. [1].

К недостаткам филаментов можно отнести такие показатели, как непостоянство диаметра по длине и эллиптичность сечения. В идеале диаметр обладает постоянной величиной по длине; при производственном процессе всегда есть допуск, в пределах которого будет варьироваться диаметр филамента. В соответствии с ГОСТ Р 59100-2020 предельное отклонение по диаметру должно составлять не более $\pm 0,03$ мм.

При изготовлении нить филамента всегда подвергается некоторому сжатию, что уменьшает округлость его сечения. Но этот эффект постоянен по всей длине катушки, поэтому практически не влияет на качество печати.

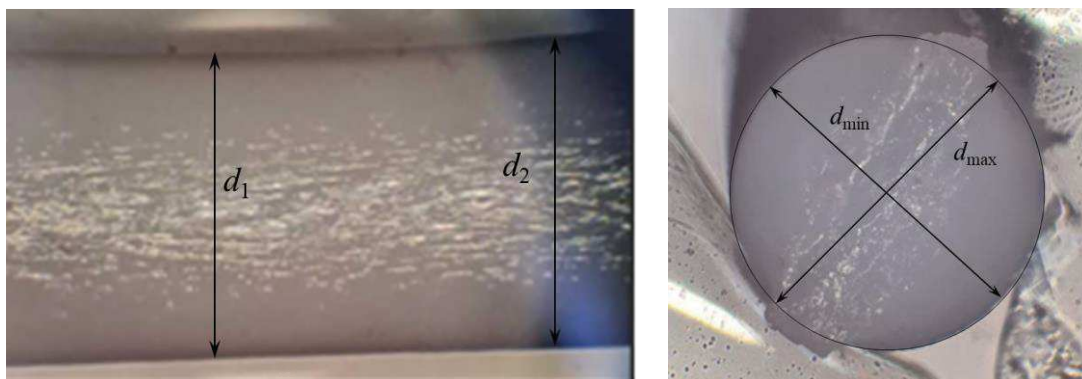
Нерегулярный диаметр и эллиптичность нити могут привести к различным проблемам, включая неравномерную скорость экструзии, вызывая непостоянный поток материала, и, как следствие, к видимым поверхностным дефектам на напечатанном изделии.

В данной работе исследовали PETG-пластик от российского производителя «Некрасовский полимер». Номинальный заявленный диаметр прутка филамента равен 1,75 мм.

Проверку качества печати проводили на 3D-принтере Anycubic 4Max Pro (КНР) с соплом диаметром 0,4 мм. В качестве программы-слайсера использовано программное обеспечение (ПО) UltiMaker CURA 5.4, технологические режимы взяты на основании исследований [2] – $T_s = 230^\circ$, $v = 40$ мм/с, $h = 0,2$ мм.

Для определения однородности диаметра и овальности поперечного сечения филамента замеры производили в видимых местах увеличения или уменьшения диаметра (рисунок 1, *a*), а если таковых не наблюдалось, то по длине нити через 50 мм с использованием цифрового штангенциркуля с точностью 0,01 мм. Аналогичным образом определяли размеры поперечного сечения нитей (наибольший d_{\max} и

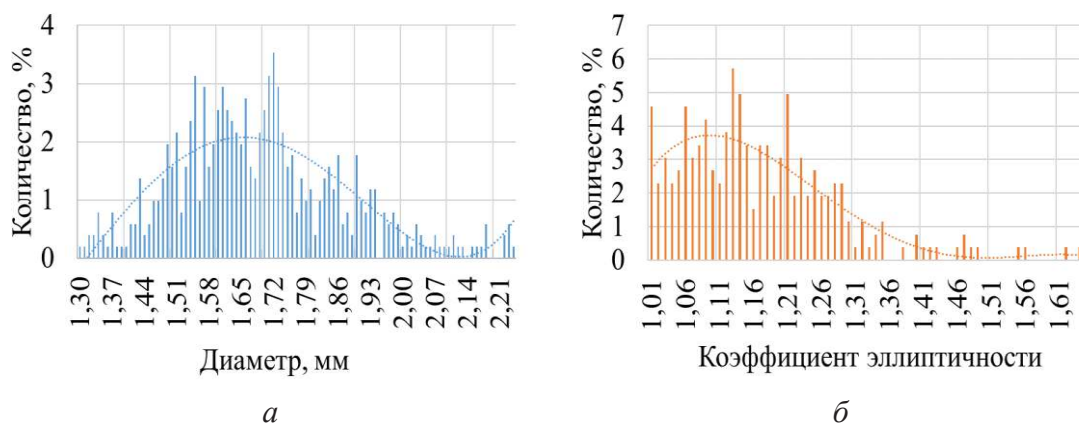
наименьший d_{\min}) и рассчитывали показатель эллиптичности d_{\max}/d_{\min} (рисунок 1, а и б).



a – продольное сечение, *б* – поперечное сечение

Рисунок 1 – Фотографии филамента

На основе проведенных замеров построены зависимости относительного содержания диаметров определенного размера (рисунок 2, *a*) и эллиптичности филамента в выборке (рисунок 2, *б*).



a – величина диаметра; *б* – величина эллиптичности

Рисунок 2 – Распределение геометрических параметров филамента

Как видно из рисунка 2, *a* наблюдается высокий уровень неоднородности диаметра прутка филамента – изменение от 1,3 до 2,25 мм. Наиболее высокое значение по частоте появления показали интервал диаметров 1,5–1,74 мм, среднее значение диаметра в выборке составляет 1,62 мм.

При этом овальность (рисунок 2, *б*), т.е. различие размера диаметра в двух взаимно перпендикулярных направлениях, составляет в большинстве случаев 1,01–1,28, что также сказывается на качестве печати.

Вариабельность диаметра и эллиптичность филамента приводят к недоэкструзии материала, неравномерной подаче и пропускам печати (рисунок 3).

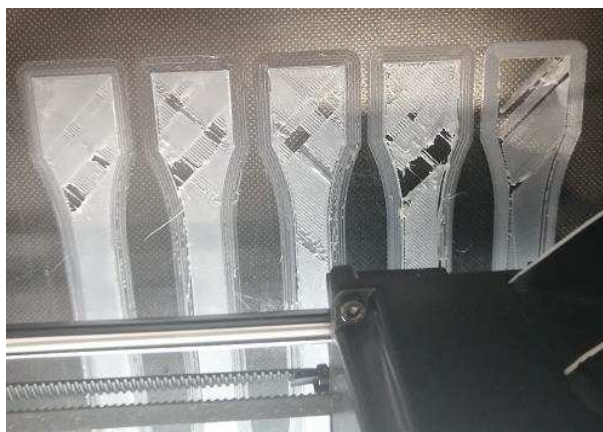


Рисунок 3 – Дефекты печати

Программное обеспечение, управляющее 3D принтером, вычисляет объем экструзии на основании диаметров филамента и сопла, а также скорости экструзии. Это означает, что принтер контролирует поток расплава или количество полимера, которое выталкивается из сопла при вращении подающих шестеренок. Вычислим поток расплава на единицу длины L при использовании филамента номинального d_n и среднего диаметров d_{cp} по формуле:

$$V = \frac{\pi \cdot d_n^2 (d_{cp}^2)}{4} \cdot L.$$

Для диаметра 1,75 мм поток составляет 2,40 мм³, для 1,62 – 2,06 мм³, т.е. уменьшение потока составляет 14,2%, что приводит к видимым дефектам структуры (рисунок 4).

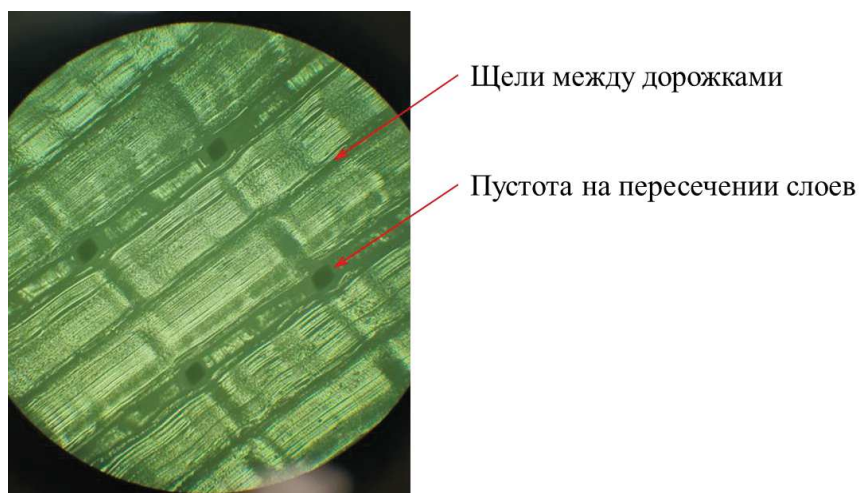


Рисунок 4 – Дефекты структуры из-за недоэкструзии

Высокая степень эллиптичности приводит к возможному проскальзыванию филамента в прижимных шестеренках, что сказывается на постоянстве потока полимера, но в меньшей степени. Для нивелирования изменения диаметра филамента при печати в настройках про-

граммы-слайсере Cura необходимо изменить параметр «Поток» во вкладке «Параметры печати», отвечающий за объем экструдированного филамента, который необходимо увеличить на рассчитанные 14,2%. Изменение параметра позволяет получить качественно отпечатанный образец (рисунок 5).



Рисунок 5 – Качественная печать

В работе показано влияние непостоянства диаметра и овальности филамента на качество отпечатанного образца на примере PETG, приводящие к пропускам полимера в слое и зазорам между экструдированными слоями. Чтобы избежать проявления такого дефекта требуется изменить настройки программы слайсера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zagidullin R. S., Zezin N. I., Rodionov N. V. Improving the quality of FDM 3D printing of UAV and aircraft parts and assemblies by parametric software changes // IOP Conference series: materials science and engineering, 2021. – Vol. 1027. DOI: 10.1088/1757-899X/1027/1/012031.
2. Кордикова Е. И., Дьякова Г. Н., Шалай Е. Ю. Использование температурной калибровочной шкалы для определения оптимальных параметров печати филаментом // Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС: сб. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2023». – Минск: БГТУ, 2023. – Т. 2. – С. 215–219.