

УДК 677.025.5

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_2\_115

**3D-ПЕЧАТЬ ГИБКОГО ТКАНОГО АНАЛОГА ПО FDM-ТЕХНОЛОГИИ\*****3D PRINTING OF A FABRIC ANALOG USING FDM-TECHNOLOGY***А.П. ГРЕЧУХИН, А.Т. ХАБИБУЛЛОЕВ, П.Н. РУДОВСКИЙ, М.Д. РУДКОВСКИЙ**A.P. GRECHUKHIN, A.T. KHABIBULLOEV, P.N. RUDOVSKIY, M.D. RUDKOVSKIY*

(Костромской государственной университет)

(Kostroma State University)

E-mail: a\_grechuhin@ksu.edu.ru

*3D-печать по технологии FDM может быть использована для печати аналогов текстильных изделий. Особенность строения тканых изделий должна быть учтена на этапе проектирования (создания 3D-моделей), так как необходимо создавать дополнительные зазоры для обеспечения подвижности имитирующих текстильную нить элементов. Для печати использовался пластик Flex (термопластичный полиуретан) в комбинации пластиком PVA (поливиниловый спирт). 3D-модель материала построена таким образом, чтобы после растворения PVA пластика структура материала максимально соответствовала текстильной ткани. В зависимости от диаметра сопла экструдера принтера дополнительные зазоры могут различаться для обеспечения подвижности элементов в напечатанном изделии.*

*3D printing using FDM technology can be used to print analogs of textile products. The peculiarity of the woven products structure should be taken into account at the design stage (creating 3D models), since it is necessary to create additional gaps to ensure the mobility of the elements imitating the textile thread. For printing, Flex plastic (thermoplastic polyurethane) was used in combination with PVA plastic (polyvinyl alcohol). The 3D model of the material is constructed in such a way that after the dissolution of the PVA plastic, the structure of the material corresponds to the textile fabric as much as possible. Depending on the diameter of the nozzle of the printer extruder, additional gaps may vary to ensure the mobility of elements in the printed product.*

**Ключевые слова:** 3D-печать, 3D-модель, ткань, материал поддержки, термопластичный полиуретан, поливиниловый спирт, PVA.

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-20089, <https://rscf.ru/project/22-29-20089/>

**Keywords: 3D printing, 3D model, fabric, support material, thermoplastic polyurethane, polyvinyl alcohol, Flex, PVA.**

Современные технологии изготовления материалов позволяют эффективно заменять традиционные технологические процессы. В области технологии создания тканей появляется возможность использовать 3D-печать для создания аналогов тканых изделий. Основные преимущества 3D-печати заключаются в возможности использовать большее количество материалов и их комбинаций, а также в возможности создания более разнообразных 3D-структур. 3D-печать позволяет намного быстрее получить опытный образец изделия.

В данном направлении существует большое количество ограничений и технических сложностей, однако их решение позволит существенно расширить возможности по созданию новых материалов.

В исследовании [1] авторы рассматривают цикл создания аналога текстильного материала на 3D-принтере. Приведена методика печати полотна с поддержкой различного типа, используя FDM- и SLA-технологии 3D-печати. Существуют различные подходы к воссозданию 3D-структуры текстиля с помощью 3D-печати методом FDM.

С помощью FDM 3D-печати возможно формировать изделие в различных направлениях, так как используются различные вариации материала поддержки. Два наиболее логичных способа – это способ послойного формирования изделия перпендикулярно плоскости полотна [1] и вдоль, чтобы выдавливаемый пластик формировал изогнутую линию нити [2]. У каждого решения есть и положительные, и отрицательные стороны. Например, при формировании вдоль нитей изделие будет иметь большую прочность, но при этом увеличивается. При формировании изделия в направлении, перпендикулярном плоскости полотна, наоборот. Выбор пластика для печати определяется требованиями к изделию. Это могут быть пластики, стойкие к химическим средам (для фильтров), или для бытового применения с различными дисперсными наполнителями. Важный параметр напечатанного 3D-изделия – аналога ткани – это

гибкость и подвижность структуры. На достижение этих целей направлено множество работ, опубликованных в последнее время.

Для придания изделию гибкости необходимо, чтобы формируемые системы "нитей" не склеивались между собой. Этого можно достичь использованием соответствующей техники построения 3D-модели изделия. В работе [3] проектируются изделия с различной геометрией и приводятся результаты их испытаний. Появляются новые подходы к печати гибких аналогов текстильных материалов [4], [5]. В работе [5] был разработан новый метод печати текстильных поверхностей, объединяющий различные материалы во взаимосвязанную гибкую структуру.

В то же время существуют возможности по 3D-печати гибкой текстильной нитью, однако это требует разработки специального оборудования [6], [7]. Правильная комбинация и материала, и структуры позволяет создавать самые реалистичные 3D-структуры – аналоги текстиля [8].

За счет различной комбинации технологических параметров возможно получение 3D-печатных форм аналогов ткани различного строения [9], которые можно формировать из различных материалов. В работах [3...9] использовались твердые пластики для печати изделий.

Как показано в [10...12], для обеспечения подвижности структуры, близкой к тканой недостаточно использовать только материалы с малой жесткостью.

Полноценный аналог ткани остается все еще проблемой для 3D-печати. Это связано с материалом для печати, технологией печати и со способами создания 3D-моделей для печати.

Поэтому основной задачей представленного исследования является получение материала методом 3D-печати с набором свойств, которые позволили бы охарактеризовать его как аналог ткани.

Основными свойствами аналога однослойной ткани, который может быть напечатан на 3D-принтере, являются:

- малое сопротивление изгибу (гибкость),
- возможность незначительно растягиваться,
- слабое сопротивление сдвигу в плоскости ткани (подвижность структуры),
- малая толщина,
- пористость.

Эти свойства определяют текстильное изделие (ткань или трикотаж).

Не все свойства требуются для достижения необходимых эксплуатационных показателей. В этом и заключается будущее 3D-печати применительно к созданию аналогов текстильной ткани или трикотажа. С помощью 3D-печати возможно получить требуемый набор свойств, “отключив” остальные.

В настоящей работе для создания опытного образца использовалась наиболее распространенная технология 3D-печати – FDM (fused deposition modeling) с печатью двумя материалами. Один материал – основной, предназначен для формирования материала изделия, а второй – растворимый используется для заполнения зазоров между системами “нитей”.

Для отработки технологии 3D-печати аналога ткани использовался пластик – термопластичный полиуретан в комбинации с пластиком – поливиниловым спиртом (PVA).

Термопластичный полиуретан может деформироваться более чем на 50% в отличие от других пластиков для 3D-печати. 3D-модель материала построена таким образом, чтобы после растворения PVA пластика основная структура материала максимально соответствовала структуре ткани. Для печати использовался 3D-принтер Picaso Designer X Pro.

Для создания геометрической модели ткани полотняного переплетения использовали ПО Компас - 3D. Форма поперечного сечения нити принималась по рекомендациям из работы [13].

- размеры образца – 100×50 мм;
- плотности по основе и утку – 30 нит/10 см;
- поперечник нитей основы по вертикали 1 мм, по горизонтали – 2,4 мм.

Для обеспечения подвижности “нитей” в образцах за счет зазоров между ними поперечные размеры одной из систем “нитей” уменьшались до 0,8 и 0,6 мм в соответствующих вариантах. Сечения ткани вдоль нитей одной из систем показаны на рис. 1 (а – поперечник нитей по вертикали 0,6 мм, б – поперечник нитей по вертикали 0,8 мм).

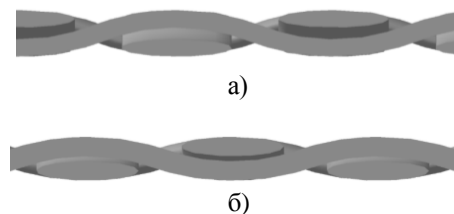


Рис. 1

Для формирования задания на 3D-печать использовалась программа Polygon X.

Зазор между нитями при 3D-печати формировался PVA пластиком. При моделировании использовали подходы, изложенные в работе [14].

Использовали следующие параметры печати (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Диаметр сопла, мм	0,3
Высота слоя, мм	0,1
Плотность заливки, %	100
Ширина периметров и линий заполнения, мм	0,36
Кратность слоев заливки	1

Вид изделия после печати последнего слоя растворимого пластика показан на рис. 2-а (зазор между нитями 0,2 мм, 2 слоя растворимого материала) и рис. 2-б (зазор между нитями 0,4 мм, 4 слоя растворимого материала). На рис. 2 обведены зоны печати просветов между нитями по вертикали (а – зазор 0,2 мм, б – зазор 0,4 мм).

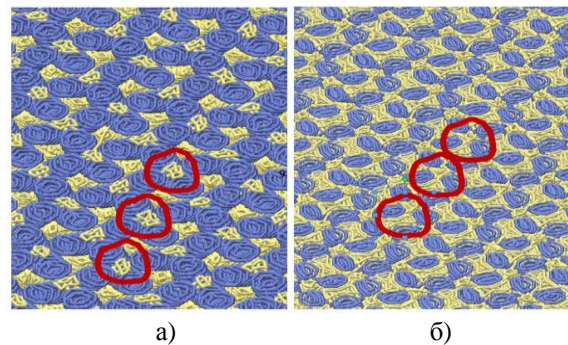


Рис. 2

Внешний вид материала до удаления растворимого пластика показан на рис. 3.



Рис. 3

После завершения 3D-печати полученное изделие погружалось в теплую воду на 20 мин для растворения пластика моделирующего зазоры между "нитьями" и просушивалось при комнатной температуре.

Полученные образцы растягивались усилием 10 сН под углом  $45^\circ$  к направлению "нитей".

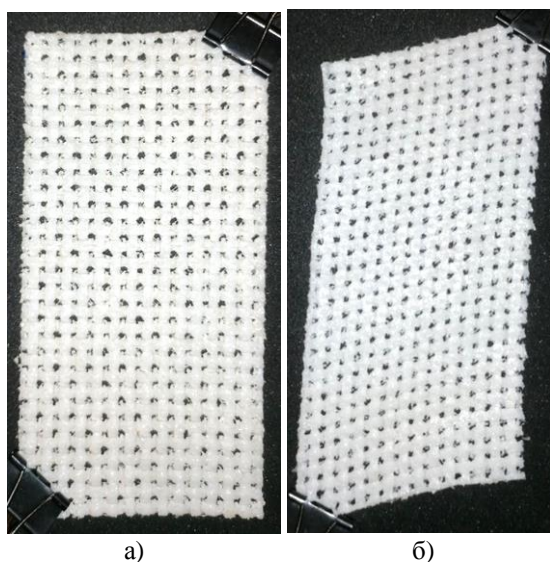


Рис. 4

Вид деформированных образцов показан на рис. 4. Как видно из приведенных рисунков, изделие, напечатанное с зазором 0,2 мм, практически не деформируется, то есть не имеет подвижности структуры,

характерной для ткани. Это связано с тем, что при малом заполнении зазора между системами нитей происходит их склеивание.

Характер деформации образца, напечатанного с зазором между системами нитей 0,4 мм, соответствует характеру деформации ткани.

Внешний вид изделия в смятом состоянии представлен на рис. 5.

Этот образец способен к образованию складок, то есть ведет себя аналогично ткани (рис.5 – зазор между системами нитей 0,4 мм).

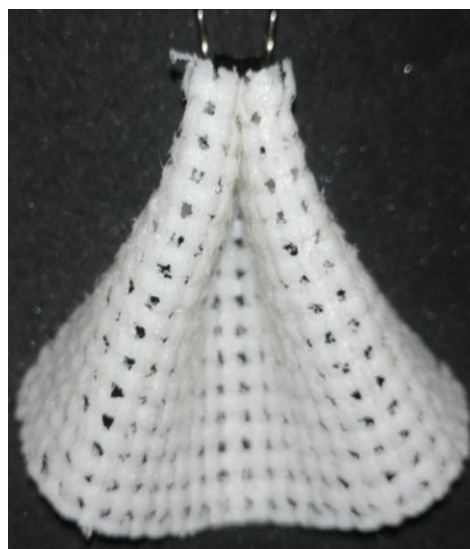


Рис. 5

Таким образом, предлагаемая технология получения аналога ткани путем 3D-печати позволяет получить изделие, приближенное к ткани по параметрам гибкости и подвижности структуры.

## ВЫВОДЫ

1. 3D-печать по технологии FDM двумя материалами, один из которых предназначен для моделирования зазоров между системами нитей, позволяет получить изделие, аналогичное ткани по параметрам гибкости и подвижности структуры.

2. Экспериментально установлено, что для создания подвижности между системами нитей зазор между нитями разных систем при печати должен составлять не менее 0,4 мм.

1. *Melnikova R., Ehrmann A. and Finsterbusch K.* (2014). 3D printing of textile-based structures by fused deposition modelling (FDM) with different polymer materials. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 62:012018. doi: 10.1088/1757-899X/62/1/012018.
2. *Haruki Takahashi and Jeeun Kim.* 3D Printed Fabric: Techniques for Design and 3D Weaving Programmable Textiles. In Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (2019). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 43-51. DOI: 10.1145/3332165.3347896.
3. *Spahiu T., Canaj E., Shehi E.* 3D printing for clothing production. Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2020: 15:43-51. DOI:10.1177/1558925020948216.
4. *Forman Jack et al.* DefeXtiles: 3D Printing Quasi-Woven Fabric via Under-Extrusion. Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. 2020: 1222-1233. DOI:10.1145/3379337.3415876.
5. *Uysal R., Stubbs J.* A new method of printing multi-material textiles by fused deposition modelling (FDM). Tekstilec 2019; 62(4): 248–257.
6. *Scott E. Hudson.* 2014. Printing teddy bears: a technique for 3D printing of soft interactive objects. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14), 459–468. DOI: 10.1145/2556288.2557338.
7. *Huaishu Peng, Jennifer Mankoff, Scott E. Hudson and James McCann.* Layered Fabric 3D Printer for Soft Interactive Objects. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (2015), 1789–1798. DOI: 10.1145/2702123.2702327.
8. *Beecroft M.* 2016. 3D printing of weft knitted textile based structures by selective laser sintering of nylon powder. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 137, (July 2016), 2017. DOI: 10.1088/1757- 899X/137/1/012017.
9. *Gürçüm BH, Börklü HR, Seezer K. et al.* Implementing 3D printed structures as the newest textile form. J Fashion Tech Text Eng 2018; S4: 19. DOI:10.4172/2329-9568.S4-019.
10. *Alexandra Ion, Robert Kovacs, Oliver S. Schneider, Pedro Lopes, and Patrick Baudisch.* 2018 Metamaterial Textures. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18). ACM, New York, NY, USA, Article 336, 12 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3173574.3173910>.
11. *Julian Panetta, Qingnan Zhou, Luigi Malomo, Nico Pietroni, Paolo Cignoni, and Denis Zorin.* 2015. Elastic Textures for Additive Fabrication. ACM Trans. Graph. 34, 4, Article 135 (July 2015), 12 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/2766937>.
12. *Christian Schumacher, Bernd Bickel, Jan Rys, Steve Marschner, Chiara Daraio, and Markus Gross.* 2015. Microstructures to Control Elasticity in 3D Printing. ACM Trans. Graph. 34, 4, Article 136 (July 2015), 13 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/2766926>.

13. *Гречухин А.П., Рудовский П.Н.* Развитие теории строения и формирования однослойных тканей. – Кострома, 2017.

14. *Гречухин А.П., Зайцев Д.В., Ушаков С.Н., Рудовский П.Н.* Методика построения трехмерной модели ткани из углеродных нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 3. С.140...144.

REFERENCES

1. *Melnikova R., Ehrmann A. and Finsterbusch K.* (2014). 3D printing of textile-based structures by fused deposition modelling (FDM) with different polymer materials. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 62:012018. doi: 10.1088/1757-899X/62/1/012018.
2. *Haruki Takahashi and Jeeun Kim.* 3D Printed Fabric: Techniques for Design and 3D Weaving Programmable Textiles. In Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (2019). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 43-51. DOI: 10.1145/3332165.3347896.
3. *Spahiu T., Canaj E., Shehi E.* 3D printing for clothing production. Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2020: 15:43-51. DOI:10.1177/1558925020948216.
4. *Forman Jack et al.* DefeXtiles: 3D Printing Quasi-Woven Fabric via Under-Extrusion. Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. 2020: 1222-1233. DOI:10.1145/ 3379337.3415876.
5. *Uysal R., Stubbs J.* A new method of printing multi-material textiles by fused deposition modelling (FDM). Tekstilec 2019; 62(4): 248–257.
6. *Scott E. Hudson.* 2014. Printing teddy bears: a technique for 3D printing of soft interactive objects. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14), 459–468. DOI: 10.1145/2556288.2557338.
7. *Huaishu Peng, Jennifer Mankoff, Scott E. Hudson and James McCann.* Layered Fabric 3D Printer for Soft Interactive Objects. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (2015), 1789–1798. DOI: 10.1145/2702123.2702327.
8. *Beecroft M.* 2016. 3D printing of weft knitted textile based structures by selective laser sintering of nylon powder. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 137, (July 2016), 2017. DOI: 10.1088/1757- 899X/137/1/012017.
9. *Gürçüm BH, Börklü HR, Seezer K. et al.* Implementing 3D printed structures as the newest textile form. J Fashion Tech Text Eng 2018; S4: 19. DOI:10.4172/2329-9568.S4-019.
10. *Alexandra Ion, Robert Kovacs, Oliver S. Schneider, Pedro Lopes, and Patrick Baudisch.* 2018 Metamaterial Textures. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18). ACM, New York, NY, USA, Article 336, 12 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3173574.3173910>.

11. Julian Panetta, Qingnan Zhou, Luigi Malomo, Nico Pietroni, Paolo Cignoni, and Denis Zorin. 2015. Elastic Textures for Additive Fabrication. ACM Trans. Graph. 34, 4, Article 135 (July 2015), 12 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/2766937>.

12. Christian Schumacher, Bernd Bickel, Jan Rys, Steve Marschner, Chiara Daraio, and Markus Gross. 2015. Microstructures to Control Elasticity in 3D Printing. ACM Trans. Graph. 34, 4, Article 136 (July 2015), 13 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/2766926>.

13. Grechukhin A.P., Rudovsky P.N. Development of the theory of the structure and formation of single-layer tissues. - Kostroma, 2017.

14. Grechukhin A.P., Zaitsev D.V., Ushakov S.N., Rudovsky P.N. A technique for constructing a three-dimensional model of fabric from carbon threads // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, №3. P.140...144.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования тканей и трикотажа. Поступила 08.04.22.

---