

УДК 62.529

DOI 10.47367/0021-3497_2021_5_262

**ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ
И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ОБУВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ:
АССОРТИМЕНТ ПЛАСТМАСС ИННОВАЦИОННОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ***

**POLYMER MATERIALS FOR 3D PRINTING
AND THE POSSIBILITY OF THEIR LISE IN SHOE PRODUCTION:
RANGE OF PLASTICS OF INNOVATIVE FUNCTIONALITY**

О.Б. КОНОВАЛОВА, В.В. МИНЕЦ, Е.С. БОКОВА, В.В. КОСТЫЛЕВА, О.А. БЕЛИЦКАЯ

O.B. KONOVALOVA, V.V. MINETS, E.S. BOKOVA, V.V. KOSTYLEVA, O.A. BELITSKAYA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art))

E-mail: o.b.konovalova@gmail.com, vvminets@yandex.ru, esbokova@ya.ru,
kostyleva.vv@mail.ru. belitskaya-oa@rguk.ru

При выборе метода 3D-печати и полимерных материалов в технологиях производства как отдельных деталей, так и обуви в целом прежде всего нужно исходить из задач проектирования. В обувной промышленности особое место занимает технологическая оснастка. Одним из основных видов технологической оснастки являются пресс-формы. Высокая стоимость изготовления пресс-формы, серьезные временные и трудовые затраты на разработку и производство одного экземпляра пресс-формы вызывают необходимость в таких технологиях, которые позволяют соединить хорошие качества традиционных пресс-форм с эксплуатационными преимуществами, включая низкие производственные расходы, недефицитность материалов, простоту обработки за более короткий срок изготовления. В статье приведен анализ основных методов 3D-печати, а также обзор инновационных полимерных материалов, включая биоразлагаемые, применяемых в аддитивном производстве. Обозначены перспективы и возможные области применения 3D-печати в производстве обуви. Показано, что пресс-формы, изготовленные методом 3D-печати, перспективны для мелкосерийного производства и быстрого изготовления тестовой партии обувной продукции. Впервые разработаны и апробированы пресс-формы из PLA-пластика и термоустойчивого пластика PC/ABS для отливки обувных изделий из полиуре-

* Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ: проект 20-38- 90047\20.

тана. Показано, что пресс-формы, изготовленные методом 3D-печати, перспективны для мелкосерийного производства и быстрого изготовления тестовой партии обувной продукции.

When choosing a 3D printing method and polymer materials in production technologies for both individual parts and footwear as a whole, first of all, you need to proceed from the design tasks. In the shoe industry, technological equipment occupies a special place. Molds are one of the main types of technological equipment.

The high cost of manufacturing a mold, serious time and labor costs for the development and production of one copy of the mold necessitate such technologies that allow combining the good qualities of traditional molds with operational advantages, including low production costs, lack of materials, ease of processing for shorter production time. The article provides an analysis of the main methods of 3D printing. The article provides an overview of innovative polymer materials used in additive manufacturing. The prospects for the use of biodegradable materials in 3D printing and in the production of shoes are outlined. The article describes the prospects of molds made by 3D printing. Their importance for small-scale production and rapid production of a test batch of footwear products is emphasized. The development and testing of molds made of PLA plastic and heat-resistant PC/ABS plastic for casting polyurethane footwear products are described.

Ключевые слова: 3D-печать, полимеры, пресс-формы, биоразлагаемые полимеры, принтеры, технологии, детали, изделия.

Keywords: 3D printing, polymers, press forms, biodegradable polymers, printers, technologies, details, products

Введение

Для технологий 3D-печати не менее востребованным является ассортимент пластмасс, интерес к которым вызван их составом, внешним видом, экологичностью, инновационной функциональностью и др. [1].

Примером таких пластмасс являются композиции на основе АБС или ИЛА, содержащие различные наполнители, в качестве которых используют древесные волокна из стандартных сортов древесины – сосны, березы, кедра, черного дерева, ивы, бамбука, вишни, кокоса, пробки и оливы; порошкообразные металлы, имитирующие бронзу, латунь, медь, алюминий, нержавеющей сталь; глину и др. Такие изделия по своей фактуре, органолептике и внешнему виду напоминают дерево, металл, камень и др. [2].

Примером такого материала, который по фактуре напоминает дерево и даже имеет запах натуральной древесины, является материал Laywoo-D3. Его производят из полимерной композиции, наполненной

древесным наполнителем. Рабочие температуры печати находятся в диапазоне 175...250°C, подогрев стола не требуется. Регулируя температуру во время печати, можно получить рисунок, напоминающий годовые кольца, натурального дерева. Себестоимость исходного полимерного сырья достаточна велика и составляет порядка 10 тыс. руб. за килограмм [3].

Другой экзотический материал – Laybrick, содержит минеральные наполнители и позволяет имитировать изделия из песчаника. Рабочая температура находится в пределах 165...210°C. Повышение температуры приводит к получению более фактурной поверхности, усиливающей эффект имитации [4].

Приведенные выше приемы декорирования, безусловно, интересны и для обувного производства при изготовлении подошвенных материалов, имитирующих дерево, металл, камень и т.д. (например, сабо, босоножки на массивных танкетках и т.д.).

К возможным вариантам декорирования изделий следует отнести также применение

полимерных композиций, способных изменять цветовую палитру при определенном внешнем воздействии, например, изменении температуры тела (стопы).

Полимерные нити из этой категории имеют тенденцию изменять свой оттенок, как правило, между двумя цветами, например, от фиолетового до розового, от синего до зеленого или от желтого до зеленого. Как и в случае других экзотических вариантов для 3D-принтеров, изменяющая цвет нить является композиционным материалом на основе АБС или ПЛА. Не имея специальных физических, тактильных или функциональных характеристик, этот тип нити для 3D-принтеров является исключительно хорошим для декора и получения определенного визуального эффекта [5].

Инновационным видом 3D-продукции являются предметы, светящиеся в темноте – люминесцентные изделия. Применительно к обувному ассортименту, такие изделия могут быть интересны для изготовления деталей низа обуви специального назначения, используемой в условиях отсутствия электроэнергии. Достаточно оставить напечатанную модель на некоторое время на свету, и она начинает излучать определенный, заранее заданный цвет в темноте. В основе технологии – использование фосфоресцентных добавок, введенных в синтетический или природный полимер, благодаря которым изделие в темноте способно поглощать и затем излучать фотоны, создавая эффект свечения.

Применение всех вышеперечисленных композиционных нитей для 3D-печати требует решение компромиссной задачи – соблюдение баланса между эстетической и тактильной привлекательностью материала и снижением его гибкости и прочности, вследствие добавления к полимеру наполнителей, а также соблюдение температурного режима переработки, особенно в случае применения натуральных наполнителей из-за их низкой устойчивости к перегреву. Наиболее распространенные композитные пластики для 3D-принтеров, как правило, содержат от 50 до 85% металла [6].

Одной из новейших тенденций в области 3D-технологий, которая отвечает совре-

менному экологическому тренду – использованию «зеленой химии», является полная или частичная замена синтетических полимеров на натуральные или искусственные, которые менее опасны и возобновляемы.

В качестве синтетической полимерной матрицы для введения натуральных добавок чаще всего используют ПЛА, АБС, карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ, англ. СМС), термопластичный полиуретан, полипропилен (ПП, англ. РР), поливиниловый спирт и др. [7].

В качестве биоразлагаемых добавок известно применение поликапролактона (англ. PCL) или полигидроксibuтирата (англ. PHB), а также таких экзотических компонентов, как отходы какао-скорлупы, кератин шерсти, целлюлоза и др. [8].

Чаще всего для лучшей совместимости компонентов полимерной смеси при изготовлении бionитей прибегают к приему предварительной химической обработки исходной биомассы для повышения ее адгезии к полимерной матрице. В случае использования биодобавок в твердых формах – гранулы, волокна, крупнодисперсные порошки их предварительно просеивают, дробят, измельчают, промывают водой, сушат.

Примерами таких материалов являются BioFila от TwoBears и BiomeSD от Biome Bioplastics, которые как нельзя лучше подходят для использования в проектах прототипирования и все чаще используются в технологии FDM [9].

Все приведенные выше технологии, не зависимо от типа применяемой полимерной композиции, даже при использовании полностью биоразлагаемых полимеров и композиций на их основе, можно лишь условно отнести к безотходным. Речь идет не только об «опорных» структурах в сложных моделях. Много пластика уходит в отходы даже у опытного оператора при подборе оптимального для конкретной модели режима печати.

Исходя из этого при выборе метода 3D-печати и расходных полимерных материалов для применения в технологии производства обуви прежде всего нужно исходить из задач проектирования. Если речь идет о прототипировании с целью создания

штучного изделия для временного использования, то предпочтение следует отдавать самым бюджетным, малоэнергозатратным методам печати, таким как метод послойного наложения FDM или FFF, используя при этом самые распространенные для 3D-печати материалы – полилактид или ABS пластик, без дополнительной модификации. В случае использования полилактида материал может быть полностью утилизирован, а в случае применения ABS пластика возможна его вторичная переработка. Если речь идет об изделиях массового производства и изделиях специального назначения, то нужно исходить прежде всего из их функционального назначения и показателей свойств, принимая во внимание, что стоимость изделия будет выше, чем в случае использования доступных крупнотоннажных полимеров [10].

Результаты и обсуждение

Разработка и изготовление пресс-форм новых изделий – сложный и дорогостоящий процесс. При этом не все полученные изделия в итоге пользуются спросом и хорошо продаются, тем самым окупая стоимость пресс-формы. Высокая стоимость этих пресс-форм в некоторых случаях становится определяющим фактором при решении вопроса о внедрении образца обуви в производство. Целесообразной является такая долговечность пресс-форм, которая

позволяла бы изготовить только требуемое количество изделий. Более высокая долговечность является излишней и затраты на приобретение таких пресс-форм экономически не оправданы.

Таким образом, первостепенной задачей является необходимость разработки метода проектирования и изготовления пресс-форм, выявления технологий и материалов, используемых в 3D-печати и подходящих для производства изделий из кожи.

Для апробации этого технического решения было спроектировано и изготовлено (напечатано на 3D-принтере) две пресс-формы. Одна пресс-форма изготовлена из PLA-пластика с техническими характеристиками: температура экструзии: 190...230°C; температура платформы: 0...60°C; минимальная толщина стенок - 1 мм; малая усадки при изготовлении изделий; высокая жесткость [11].

Другая пресс-форма изготовлена из термоустойчивого пластика PC/ABS Bestfilament с техническими характеристиками: температура платформы 3D-принтера - 110°C; минимальная толщина стенок - 1 мм; выдерживает кратковременный нагрев до +153 °C; диапазон температур длительной эксплуатации - 100...130°C; высокая ударопрочность при низких температурах; малая усадки при изготовлении изделий; высокая жесткость.

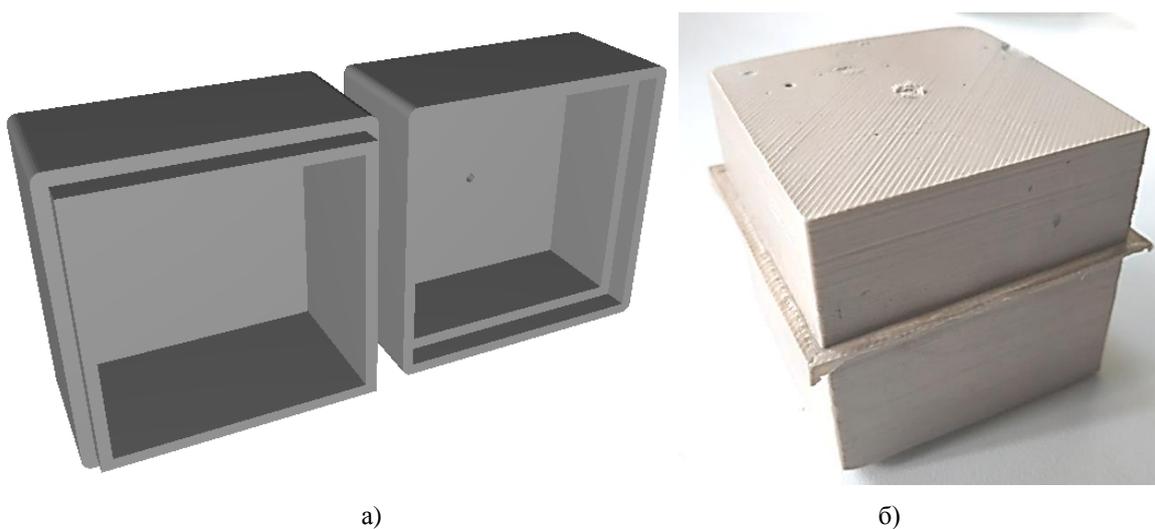


Рис. 1

Апробация показала, что спроектированные пресс-формы имеют:

- недостаточно гладкую внутреннюю поверхность – при печати на 3D-принтере по технологии послойного наплавления с одной стороны изделия образуются едва заметные выступающие полосы, что затрудняет вынимание готового изделия;

- конструкции, не подразумевавшие наличие выходных отверстий для воздуха, в связи с этим на поверхности полиуретана образовывались небольшие пузырьки воздуха;

- конструкции, значительно затрудняющие выемку готового изделия. Однако, вероятно, эта проблема может быть решена сглаживанием всех внутренних поверхностей.

Кроме того, пресс-форма, напечатанная из PLA-пластика нагрелась значительно меньше, чем пресс-форма из термоустойчивого пластика PC/ABS Bestfilament [12].

В соответствии с выявленными недостатками была разработана и напечатана еще одна пресс-форма (рис. 1 – напечатанная пресс-форма (а); отлитое изделие (б)).

Пресс-формы, созданные с помощью 3D-принтера, возможно будут менее долговечны, чем алюминиевые, но при этом значительно меньшей стоимости. Такие пресс-формы подойдут для мелкосерийного производства и быстрого изготовления экспериментальной партии продукции.

ВЫВОДЫ

Рассмотрены основные характеристики печатных изделий, в зависимости от применяемого полимерного сырья и модифицирующих добавок.

Приведены новые инновационные подходы в области полимерной химии применительно к технологиям 3D-печати.

Обозначены перспективы применения технологий 3D-печати в обувном производстве.

Разработаны и апробированы пресс-формы из PLA-пластика и термоустойчивого пластика PC/ABS Bestfilament для отливки обувных изделий из полиуретана. Выявлено, что пресс-формы из PLA-пластика предпочтительнее.

1. Chohan J.S., Singh R., Boparai K.S. Vapor smoothing process for surface finishing of FDM replicas // Mater. Today Proc. – 26, 2020. P.173...129.

2. Hongjun L., Zitian F., Naiyu H, Xuanpu D. A note on rapid manufacturing process of metallic parts based on SLS plastic prototype // J. Mater. Process. Technol. – 142, 2003. P.710...713.

3. Dotchev K., Soe S. Rapid manufacturing of patterns for investment casting, Improvement of quality and success rate. Rapid Prototyp. – 12, 2006. P.156...164.

4. Gill S.S., Kaplas M. Ecaacy of powder-based three-dimensional printing (3DP) technologies for rapid casting of light alloys // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 52, 2011. P.53...64.

5. Bartolo P.J. Stereolithography, Materials. Processes and Applications, Springer Science & Business Media, Berlin Heidelberg. Germany. – 2011, ISBN 0387929045.

6. Zakeri S., Vippola M, Levdnen E. A comprehensive review of the photopolymer Eat ion of ceramic resins used in stereolithography // Addit Manuf. – 35, 2020. 101172.

7. Arnold C, Monsees D., Hey J., Schweyen R. Surface quality of 3D-printed models as a function of variou printing parameters. Materials 2019.

8. Zhang J., Xiao P. 3D printing of photopolymers // Polym. Chem. – 9, 2018. P.1530...1540.

9. Смелов В.Г., Вдовин Р.А. Исследование точности печати на 3D-принтере. – Изд-во Самарского университета, 2017.

10. Абзалбекулы Б., Мунасинов С.Е., Джумабекова Г.Б., Анарова Г.С. Исследования структурных свойств композитных материалов для изделия легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, №3. С. 66...68.

11. Минеи В. В., Белицкая О.А. Применение аддитивных технологий при создании коллекций обуви и аксессуаров // Дизайн и технологии. – 2018, № 63 (105). С. 31...36.

12. Леденева И.Н., Белицкая О.А. Технологии 3D-печати, принципы, возможности, перспективы. – М., РГУ имени А.И. Косыгина, 2019.

REFERENCES

1. Chohan J.S., Singh R., Boparai K.S. Vapor smoothing process for surface finishing of FDM replicas // Mater. Today Proc. – 26, 2020. P.173...129.

2. Hongjun L., Zitian F., Naiyu H, Xuanpu D. A note on rapid manufacturing process of metallic parts based on SLS plastic prototype // J. Mater. Process. Technol. – 142, 2003. P.710...713.

3. Dotchev K., Soe S. Rapid manufacturing of patterns for investment casting, Improvement of quality and success rate. Rapid Prototyp. – 12, 2006. P.156...164.

4. Gill S.S., Kaplas M. Ecaacy of powder-based three-dimensional printing (3DP) technologies for rapid

casting of light alloys // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* – 52, 2011. P.53...64.

5. Bartolo P.J. *Stereolithography, Materials. Processes and Applications*, Springer Science & Business Media, Berlin Heidelberg. Germany. – 2011, ISBN 0387929045.

6. Zakeri S., Vippola M, Levden E. A comprehensive review of the photopolymerization of ceramic resins used in stereolithography // *Addit Manuf.* – 35, 2020. 101172.

7. Arnold C, Monsees D., Hey J., Schweyen R. Surface quality of 3D-printed models as a function of various printing parameters. *Materials* 2019.

8. Zhang J., Xiao P. 3D printing of photopolymers // *Polym. Chem.* – 9, 2018. P.1530...1540.

9. Smelov V.G., Vdovin P.A. *Issledovanie tochnosti pechati na 3D-printere.* – Izd-vo Samarskogo universiteta, 2017.

10. Abzalbekuly B., Munasipov S.E., Dzhumabekova G.B., Anarova G.S. *Issledovaniya strukturnykh svoystv kompozitnykh materialov dlya izdelii legkoy promyshlennosti* // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2020, №3. S. 66...68.

11. Minei V. V., Belitskaya O.A. *Primenenie additivnykh tekhnologiy pri sozdanii kollektiy obuvi i aksessuarov* // *Dizayn i tekhnologii.* – 2018, № 63 (105). S. 31...36.

12. Ledeneva I.N., Belitskaya O.A. *Tekhnologii 3D-pechati, printsipy, vozmozhnosti, perspektivy.* – M., RGU imeni A.I. Kosygina, 2019.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 20.09.21.