

## ОБЗОР ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ МЕТОДОМ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ

А.М. Дожделев, канд. техн. наук, доцент

А.Ю. Лаврентьев, канд. техн. наук, доцент

Тверской государственный технический университет  
(Россия, г. Тверь)

DOI: 10.24411/2500-1000-2020-11035

**Аннотация.** В статье описана одна из технологий 3D печати, позволяющая получать высокоточные изделия – стереолитография. Рассмотрены не только преимущества, особенности недостатки данной технологии, но и материал для печати. Приведены различные виды фотополимерных смол различного назначения, дано их краткое описание и область применения.

**Ключевые слова:** 3D печать, фотополимерная печать, стереолитография, SLA, фотополимерная смола.

Развитие аддитивных технологий приводит к появлению новых технологий, позволяющих получать сложные изделия из различных материалов в кратчайшие сроки. В настоящее время 3D принтеры используются не только на производстве, но и в быту. Данный факт стимулирует разработку новых материалов для 3D печати, позволяющих получать специфические и уникальные изделия, которые буквально несколько десятков лет назад могли выполнить только крупные предприятия [1, 2, 3].

3D печать методом стереолитографии (SLA) является второй по популярности технологией, уступая лишь методу послойного наплавления (Fusing Deposition Modeling, FDM). В SLA печати материалом для работы служит жидкий фотополимер с отвердителем, полимеризующийся под действием ультрафиолетового лазера. В жидкий фотополимер погружается сетчатая платформа таким образом, чтобы ее покрывал слой жидкости толщиной до 0,13 мм, после чего на слой воздействует лазерный луч, полимеризуя необходимые участки. По завершению платформа погружается на глубину, соответствующую толщине необходимого слоя, после чего процесс повторяется. Существуют конструкции принтеров, где платформа поднимается вверх, при этом новый слой формируется одновременно и значительно быстрее за счет использования цифрового

светодиодного проектора, установленного под прозрачной ванной с фотополимером. Такая конструкция выгодна еще и тем, что величина изделия не ограничена размером ванны, а фотополимера, который по завершению печати (если сразу не планируется следующая печать) необходимо слить в специальную тару, остается совсем немного.

К преимуществам технологии относятся очень высокое разрешение печати, температурная стойкость, сложность модели, малое количество отходов и легкость финишной обработки, которая зачастую не требуется [4].

К минусам относятся ограниченный выбор материалов, их дороговизна, невозможность печати разными цветами одного изделия в одном цикле, низкая скорость печати (10-20 мм/час). Также важно учитывать, что многие виды фотополимерной смолы достаточно токсичны (фотополимерные смолы относятся к 3-му, реже ко 2-му классу опасности). Поэтому работа на фотополимерном принтере сопряжена с определенным риском и требует повышенного внимания. Помещение и область возле принтеров должны быть хорошо вентилируемы [5].

Область применения – прототипирование, медицина, особенно стоматология, искусство, литье по выплавляемым моделям. Набор областей применения обусловлен низкой прочностью изделий, выпол-

ненных таким методом. Однако свойства модели зависят от используемого фотополимера. Рассмотрим их разновидности подробнее.

Фотополимерная смола является стандартным фотополимером для SLA печати. Получаемые из нее изделия отличаются высокой детализацией, жесткостью, гладкостью поверхности, зачастую не требующей финишной обработки. Этот материал относительно других фотополимеров дешевле, однако к его минусам относится хрупкость изделий. Кроме того существуют красители, позволяющие избежать покраски детали [4].

Прочные фотополимерные смолы, аналоги ABS (акрилонитрил бутадиен стирол), отличаются повышенной прочностью и позволяют изготавливать функциональные прототипы, к примеру, корпуса с защелкивающимися соединителями. К недостаткам таких материалов относятся изделия с тонкими стенками и изделия, подверженные воздействию высоких температур [4].

Существуют разновидности прочных фотополимерных смол, характеризующейся высокой износостойкостью, гибкостью и ударопрочностью. Из этого материала выполняют втулки и подшипники, а также функциональные соединения [4].

Тугоплавкая фотополимерная смола предназначена для изделий, подвергающихся воздействию высокой температуры (температура плавления может достигать 238<sup>o</sup>C в отличие от 80<sup>o</sup>C у стандартных смол. К минусам относится ограничение по толщине стенок (свыше 1 мм) [4].

Резиноподобная фотополимерная смола позволяет выполнять гибкие изделия. Материал характеризуется высоким удлинением при разрыве и низким порогом при растяжении, ударопрочен. К минусам относят старение под действием ультрафиолета, ограничение по толщине стенок, вы-

сокое требование к структурам поддержки [4].

Керамическая фотополимерная смола усилена стеклом, обеспечивающим повышенную жесткость и гладкую поверхность. Данный фотополимер используют для печати пресс-форм, оснастки, корпусов, в том числе изделий с тонкими элементами, так как смола стойка к деформациям. Смола после полимеризации имеет высокий предел прочности и модуль упругости при изгибе, но является хрупким материалом [4].

Биосовместимая фотополимерная смола предназначена для медицинских целей (изготовление хирургических шаблонов и пр.). Отдельная разновидность этих смол предназначена для стоматологических целей (шпилнты, фиксаторы и пр.) Подобные смолы могут контактировать с организмом человека до года, имеют высокую стойкость к износу и разрушению [4].

Фотополимерные смолы для изготовления ювелирных изделий предназначены для печати моделей с мелкими элементами без дефектов поверхности. Напечатанные таким материалом изделия используются для литья по выплавляемым моделям, так как имеют низкую зольность после выгорания [4].

Существует также разновидность керамонаполненных фотополимерных смол. Изделия из этого материала после печати подвергаются обжигу, в процессе которого керамическое изделие приобретает требуемую пористость, твердость, прочность и термостойкость [6].

Технология стереолитографии на сегодняшний день является наиболее перспективным способом 3D печати, в наибольшей степени отвечающим требованиям производства и бизнеса. Однако сдерживающим фактором пока еще является высокая стоимость оборудования и расходных материалов.

#### **Библиографический список**

1. Кангин М.В. Анализ и выбор материала для печати детали «трафарет» на 3D принтере / Е.К. Михеев, М.А. Солдатова // Межвузовский сборник статей по материалам IV Всероссийской научно-практической конференции. Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2017. – С. 213-216.

2. Мартынов Р.С. 3D моделирование и 3D печать. Методы, технологии, инновации // Сборник научных статей V международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 54-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос. – Краснодар, 2015. – С. 190-193.

3. Вицукаев А.В. Принцип выбора материала для антенны типа «волновой канал», напечатанной с помощью 3D-принтера / О.В. Павлович, Ю.М. Царькова, А.А. Масленникова // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2018. – С. 58-62.

4. Классификация материалов для SLA/DLP 3D печати. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtool.ru/stati/vybiraem-zhidkiy-fotopolimer-dlya-3d-printera-klassifikatsiya-materialov-dlya-sla-dlp-3d-pechati/>.

5. Безопасно ли использовать фотополимер для 3d-печати? – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/razrus/is-it-safe-to-use-photopolymer-for-3d-printing/>

6. 5 преимуществ фотополимеровV5. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.iqb.ru/resins-for-3d-printing/>.

## OVERVIEW OF PHOTOPOLYMER MATERIALS FOR 3D PRINTING BY STEREOLITHOGRAPHY

**A.M. Dozhdelev**, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

**A.Yu. Lavrentiev**, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

**Tver State Technical University**

**(Russia, Tver)**

***Abstract.** The article describes one of the 3D printing technologies that allows you to obtain high-precision products - stereolithography. Considered not only the advantages, especially the disadvantages of this technology, but also the material for printing. Various types of photopolymer resins for various purposes are given, their brief description and field of application are given.*

***Keywords:** 3D printing, photopolymer printing, stereolithography, SLA, photopolymer resin.*