

## АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКАЯ КЕРАМИКА

Сотов А.В., Суфияров В.Ш., Кантюков А.Д., Попович А.А.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург,  
[SotovAnton@yandex.ru](mailto:SotovAnton@yandex.ru)

*Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печати, техническая керамика.*

Техническая керамика, также известная как инженерная, промышленная или современная керамика, представляет собой поликристаллический материал, который, в отличие от традиционной керамики, производимой из природных источников, почти всегда является синтетическим по своей природе с требуемым набором свойств (высокая степень чистоты, гранулометрический состав, малый размер зерна) для применения в различных отраслях промышленности. Применение технической керамики во многом обусловлено ее исключительными физическими, химическими и механическими свойствами, а именно, устойчивостью к высоким температурам, высокой твердостью и жесткостью материала, низким коэффициентом трения и отличной химической инертностью. Техническую керамику обычно классифицируют в зависимости от химического состава, а именно, оксидная керамика (оксид алюминия, диоксид циркония и др.) и безоксидная керамика (карбиды, нитриды, бориды и др.) [1, 2].

Традиционно изготовление деталей из технической керамики выполняется с использованием стандартных методов, таких как литье под давлением, шликерное литье, горячее прессование и другие. Данные методы требуют использования оснастки и дополнительных инструментов, что во многом отрицательно сказывается на конечной стоимости изделий, особенно для мелкосерийного производства. Использование технологий 3D-печати позволяет сократить расходы на изготовление оснастки, уменьшить временные издержки, а также позволяет реализовывать более сложную геометрию изделий с замкнутыми полостями и сложными системами каналов и отверстий, которые невозможно получить иными способами и методами. Реализация процесса 3D-печати керамикой, как правило, состоит из следующих этапов [3, 4]: проектирование конструкции модели и ее нарезка на слои, процесс печати, постобработка (промывка, удаление поддержек, отверждение и др.), термическая обработка (удаление связующего материала и последующее спекание).

3D-печать керамикой является одним из наиболее быстро растущих сегментов не только в индустрии 3D-печати, но и в керамической отрасли в целом. Так на основе анализа компании Smar Tech 2020 года [5], общий промышленный сектор для 3D-печати керамикой вырастет к 2030 году до 3,1 миллиардов долларов годового дохода.

На сегодняшний день наиболее продвинутыми технологиями 3D-печати керамикой являются следующие категории процессов: фотополимеризация в ванне, струйное нанесение связующего, экструзия материала и струйное нанесение материала [6].

**Фотополимеризация в ванне.** Данная технология представляет собой процесс, где предварительно подготовленная керамическая суспензия селективно отверждается световым источником. В качестве светового источника может выступать ультрафиолетовое излучение от лазеров, ламп или диодов. Керамическая суспензия представляет собой двухфазную систему, где частицы керамического порошка смешаны с жидким фотополимером на основе акрилатных или эпоксидных мономеров. Наиболее известные компании, занимающиеся 3D-печатью керамикой методом фотополимеризации в ванне: компании 3D Ceram (Франция), Prodways (Франция), Lithoz (Австрия), Tethon 3d (США).

**Струйное нанесение связующего.** Данная технология представляет собой процесс, где жидкое связующее выборочно наносится на соединяемые керамические порошковые материалы. За счет проникновения связующего материала в слой порошка происходит формирование сечения будущей green-модели, как определено файлом STL. Этот процесс повторяется слой за слоем, пока не будет получена напечатанная керамическая деталь (green-модель). После извлечения из зоны построения green-модель подвергается процессу удаления связующих компонентов (brown-модель) и дальнейшего спекания. Компании, специализирующиеся на 3D-печати керамикой методом струйного нанесения связующего: ExOne (США), VoxelJet (Германия), Shapeways (США), SGL Carbon (Германия).

**Экструзия материала.** Данная технология представляет собой процесс, где материал (паста либо нить с керамическим наполнением) выборочно подается через сопло или жиклер и наносится на платформу построения. Успешная реализация процесса экструзии керамического материала зависит от реологических свойств экструдированной пасты или нити. Исходный материал должен иметь высокое содержание керамических частиц для минимизации усадки и предотвращения образования высокой пористости и трещин во время этапа термообработки. Данным процессом 3D-печати керамикой методом экструзии материала занимаются компании 3d-figo (Германия), Wasp (Италия), Unfold (Бельгия).

**Струйное нанесение материала.** Данная технология представляет собой процесс, где изготовление объекта осуществляется нанесением капель строительного материала на платформу построения. Сам строительный материал представляют собой либо (1) хорошо диспергированную суспензию наноразмерных керамических частиц в воде или органическом растворителе, либо (2) чернила на основе воска, содержащие субмикронные керамические частицы. Лидером по применению 3D-печати керамикой методом струйного нанесения материала является компания XJet (Израиль).

### Список литературы

1. Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. 75 с.
2. Levi H. Additive Manufacturing in Technical Ceramics //Interceram-International Ceramic Review. 2018. Т. 67. №3. С. 12-13.
3. Jang S., Park S., Bae C. Development of ceramic additive manufacturing: process and materials technology // Biomedical Engineering Letters. 2020. С. 1-11.
4. Sufiiarov V.Sh., Kantyukov A.D., Polozov I.A. Reaction sintering of metal-ceramic AlSi-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites manufactured by binder jetting additive manufacturing process //Proceedings 29th International Conference on Metallurgy and Materials. 2020. С. 1148-1155.
5. SmarTech Analysis reports, Ceramics Additive Manufacturing Production Markets: 2019-2030. <https://www.smartechanalysis.com/reports/ceramics-additive-manufacturing-production-markets-2019-2030/>, 2020 (accessed 11 February 2020).
6. <https://www.3dprintingmedia.network/3dpbm-publishes-advanced-materials-am-focus-2020-ebook/>

### Сведения об авторах

Сотов Антон Владимирович, канд. техн. наук, научный сотрудник. Область научных интересов: разработка технологий изготовления деталей методами аддитивного производства.

Суфияров Вадим Шамилевич, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник. Область научных интересов: разработка новых материалов для технологий аддитивного производства.

Кантюков Артем Дмитриевич, инженер. Область научных интересов: 3D-печать деталей методом струйного нанесения связующего.

Попович Анатолий Анатольевич, д-р техн. наук, профессор, директор Института машиностроения, материалов и транспорта. Область научных интересов: внедрение аддитивных технологий в машиностроении.

## ADDITIVE TECHNOLOGIES AND TECHNICAL CERAMIC

Sotov A.V., Kantyukov A.D., Popovich A.A., Sufiiarov V.S.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg, Russia, [SotovAnton@yandex.ru](mailto:SotovAnton@yandex.ru)

*Keywords: additive technologies, 3D printing, technical ceramic.*

This article provides a review of the additive technologies used in the produce of technical ceramic parts. The main steps for implementing the ceramic 3D printing process are described. The most common technologies used in the produce of ceramic parts are presented.