

УДК 678-419:004.925

**А.Г. Любимов, И.В. Войтов**

Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Беларусь

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Аннотация.* Рассматриваются особенности аддитивных технологий, в частности, 3D-печати. Приведена классификация аддитивного производства и рассмотрены наиболее перспективные технологии для развития в университете.

**A.G. Lyubimov, I.V. Voitov**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ADDITIVE MANUFACTURING**

*Abstract.* The features of additive technologies, in particular, 3D printing, are considered. The classification of additive manufacturing is given and the most promising technologies for development at the university are considered.

Аддитивное производство было впервые представлено более трех десятилетий назад, когда в 1986 году Чарльз (Чак) Халл опубликовал первый патент. Процесс 3D-печати был впервые описан как «Быстрое прототипирование и производство» и включает в себя использование компьютерных 3D-моделей для нанесения последовательных слоев материала, один поверх другого, для создания 3D-объекта.

Основная особенность аддитивного производства заключается в добавлении материала вместо его удаления. Автоматизация и безинструментальный процесс позволили сократить время и стоимость разработки, гибкость производства, реализовать сложные геометрические формы. Это привело к росту рыночного дохода на 12–17% в год с 2013 г до прогнозируемых 44,6 млрд долларов США к концу 2027 г. Ожидается, что к 2025 г. рынок 3D-печати будет генерировать экономический эффект от 230 до 550 млрд долларов США. Обычно все рыночные модели подчеркивают текущую новизну металлической 3D-печати, но также керамическая и композитная печать быстро насыщают рынок [1, 2, 3].

3D-принтеры произвели революцию в домашнем, офисном и даже лабораторном производстве и прототипировании. Анализ применения аддитивных технологий показывает, что сегодня происходит переход от традиционных приложений для создания прототипов, как предполагалось изначально, к приложениям, более ориентированным на производство. Особенно это актуально для таких областей как медицина, аэрокосмическая промышленность и машиностроительная отрасль.

Аддитивное производство — это постоянно меняющаяся область, связанная с обработкой новых материалов для удовлетворения требований новых приложений. За последние пять лет ассортимент материалов для 3D-печати увеличился более чем вдвое [1]. Однако основные проблемы этого процесса заключаются в его сложной зависимости от нескольких связанных технологий, таких как моделирование материалов, инструменты проектирования, вычисления и проектирование процессов [16]. Дополнительные ограничения включают затраты, надежность и производительность [6,17].

Аддитивное производство подразделяется на семь категорий в соответствии с ISO/ASTM 52900:

- В ванной фотополимеризации (VPP) используется чан (ванна) с жидкой фотополимерной смолой.

- Экструзия материала (MEX) проталкивает необходимое количество материала через сопло или отверстие. Сырье может быть в виде гранул, нитей или жидкости.

- Струйное распыление материала (MJT) избирательно наносит капли исходного материала.

- Струйное нанесение связующего (BJT) выборочно наносит жидкое связующее на порошкообразный материал.

- Сплав в порошковом слое (PBF) использует тепловую энергию для селективного сплавления частиц порошка.

- Листовое ламинирование (SHL) автоматически укладывает слои материала друг на друга, образуя деталь.

- Прямое осаждение энергии (DED) фокусирует тепловую энергию для плавления материалов по мере их осаждения.

Помимо этого, существуют дополнительные методы, основанные на использовании керамики, металлах, смешении двух или более типов материалов, ориентированных на многокомпонентные, многоцветные компоненты или композиты [4,5].

Исходя из вышесказанного наиболее перспективными технологиями для организации производства на базе университета будут следующие технологии: спекание порошков полимеров,

спекание порошком металлов, струйное распыление материала. Данные технологии наиболее универсальны, они активно применяются в медицинской и аэрокосмической отраслях. Наличие в БГТУ такого оборудования позволит резко расширить взаимодействие с предприятиями данных отраслей.

#### *Струйное распыление материала*

Распыление материала – один из самых быстрых и точных методов 3D-печати. В этом процессе используется фотополимерная смола, которая быстро сшивается под действием УФ-излучения. Этот процесс часто сравнивают с 2D-струйной печатью из-за сходства метода нанесения материала. Смола распыляется на строительную платформу в виде капель. Однако, в то время как струйные принтеры наносят только один слой капель чернил, струйная печать материалов строится слой за слоем, пока трехмерная деталь не будет готова. Печатающая головка и источник света обычно подвешиваются вдоль одной и той же каретки по оси X. Когда каретка начинает двигаться по рабочей платформе, печатающие головки начинают выборочно выбрасывать сотни капель смолы. Источники УФ-излучения следуют за печатающими головками, так что распыленная смола немедленно затвердевает. После того, как весь слой завершен, платформа сборки опускает один слой по высоте, и процесс повторяется до тех пор, пока деталь не будет завершена. Часто вдоль каретки подвешивают несколько головок, что позволяет производить изготовление из нескольких материалов, полноцветную печать и нанесение растворимых поддерживающих структур. Осажденные капли изначально не могут самостоятельно сохранять стабильность формы. Поэтому при печати они окружены растворимым поддерживающим материалом. Этот процесс позволяет создавать очень точные и мультиматериальные объекты [6,7]. Материал может быть нанесен на поверхность тремя различными способами: непрерывным, методом Drop-on-Demand (DOD) или PolyJet (запатентованная технология Objet/Stratasys).

По сравнению с режимом непрерывной струйной печати струйная печать на основе технологии «капля по запросу» (DoD) привлекает больше внимания в современных промышленных приложениях. Хорошо настроенные управляемые сигналы точно производят микрокапли для изготовления печатных структур с высоким разрешением. Этот метод обеспечивает лучшую воспроизводимость и промышленное массовое производство с небольшими отходами материалов [8,9].

Процесс PolyJet включает в себя выборочное распыление капель из нескольких составов материалов, которые точно контролируются за счет осаждения на основе вокселей. Исходный материал постепенно взвешивается в матрице другого материала по всему объему детали. Этот аспект может привести к созданию функционально градиентных материалов [10].

Из-за линейного движения печатающей головки (без кривых или диагональных линий) для ускорения печати обычно прикрепляют несколько струйных головок. Следовательно, вся поверхность печати может быть нанесена за один проход. Известно, что детали, изготовленные с помощью струйной обработки материалов, имеют плохие механические свойства, поскольку смолы фоточувствительны и имеют тенденцию к разрушению со временем [11].

Из-за небольшого размера капель высота слоя обычно находится в диапазоне от 13 до 32 мкм, а точность размеров может достигать  $\pm 0,1$  %. Процесс доотверждения становится ненужным, так как малая высота слоя обеспечивает однородную и полную УФ-фотополимеризацию. Любая постобработка будет заключаться только в удалении вспомогательных материалов. Печать осуществляется при комнатной температуре, поэтому коробление отсутствует даже для деталей большой площади. Традиционные машины часто поставляются с фрезой, которая обрабатывает верхнюю часть последнего нанесенного слоя, чтобы получить идеально ровные поверхности [11,12].

#### *Лазерное спекание*

Лазерное спекание, или, чаще, селективное лазерное спекание (SLS), представляет собой процесс активного отверждения порошкового слоя с использованием источника энергии, который сплавляет частицы вместе. Порошковый материал изначально хранится в резервуаре. Устройство для повторного нанесения покрытия выравнивает тонкий слой частиц порошка на строительной платформе. Источник энергии линейно сканирует слой порошка и сплавляет частицы вместе. На следующем этапе строительная платформа опускается на один слой толщиной и новый слой порошкообразных частиц распределяется поверх предыдущего слоя. Процесс повторяется до тех пор, пока вся часть не будет завершена. Наконец, продукт вынимают из несвязанного слоя порошка. Оставшийся порошок можно в некоторой степени повторно использовать для новых отпечатков. Этот метод традиционно используется для термопластов (SLS технология) и металлов (SLM технология).

Особенность селективного лазерного спекания – в том, что для построения геометрически сложных деталей не используется материал поддержки. В роли поддерживающей структуры выступает порошок, не подвергшийся воздействию лазерного луча.

#### *Заключение*

Таким, образом становится очевидным, что применение оборудования именно промышленного типа весьма эффективно в условиях университета поскольку процесс производства не требует наличие отдельной позиции, не требуется дополнительное оборудование для сопровождения процесса, а максимальная автоматизация процесса облегчает производство. Именно аддитивные производство позволяет гибко подстраиваться под нужды различных заказчиков и быстро производить необходимую продукцию.

#### **Список использованных источников**

1. J. Clark, 3D Printing growth accelerates again: TMT Predictions 2019.
2. 2. Markets And Markets, 3D Printing Market by Offering (Printer, Material, Software, Service), Process (Binder Jetting, Direct Energy Deposition, Material Extrusion, Material Jetting, Powder Bed Fusion), Application, Vertical, Technology, and Geography: Global Forecast to 2024.
3. J. van Zeijderveld, State of 3D Printing 2018: The ride of metal 3D printing, DMLS, and finishes!
4. T.D.Ngo, A.Kashani, G.Imbalzano, K.T.Nguyen, D.Hui, Additivemanufacturing (3D printing): a review of materials, methods, applications and challenges, Compos. Part B Eng. 143 (2018) 172–196
5. H. Watkin, Professional 3D Printing: The State of the Industry. <https://all3dp.com/4/professional-3d-printing-the-state-of-the-industry>
6. A.B. Varotsis, Introduction to Material Jetting 3D Printing. <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing/>
7. AMFG Newsletter, A Comprehensive Guide to Material Jetting 3D Printing. [http s://amfg.ai/2018/06/29/material-jetting-3d-printing-guide/?cn-reloaded=1](http://s://amfg.ai/2018/06/29/material-jetting-3d-printing-guide/?cn-reloaded=1)
8. L. Zhang, Characteristics of drop-on-demand droplet jetting with effect of altered geometry of printhead nozzle, Sens. Actuators A Phys. 298 (2019), 111591, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111591>.
9. ACEO, Drop On Demand Silicone Printing. <https://www.aceo3d.com/3d-printing/>

10. D.V. Kaweesa, N.A. Meisel, Quantifying fatigue property changes in material jetted parts due to functionally graded material interface design, *Addit. Manuf.* vol. 21 (2018) 141–149, <https://doi.org/10.1016/j.addma>.

11. AMFG Newsletter, A Comprehensive Guide to Material Jetting 3D Printing. <http://amfg.ai/2018/06/29/material-jetting-3d-printing-guide/?cn-reloaded=1>

12. Dassault Systems, 3D Printing – Additive: Material Jetting. <https://make.3dexperience.3ds.com/processes/material-jetting>.

УДК [330.322:661.12] (476)

**Е. В. Карпинская-Сакович<sup>1</sup>, И. А. Даукш<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Международный университет «МИТСО»

<sup>2</sup>Академия управления при Президенте Республики Беларусь,  
Минск, Беларусь

## **НАПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ БЕЛОРУССКИХ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

*Аннотация.* В работе рассматриваются вопросы развития фармацевтической отрасли в Беларуси. Полагается, что необходимо разработать межгосударственную программу по развитию фармацевтической отрасли, совершенствовать механизмы для стимулирования и поддержки предприятий, которые осуществляют сертификацию производства в соответствии с требованиями GMP и научно-исследовательских центров, осуществляющих разработку лекарств и фармацевтических субстанций по полному циклу.

**E.V. Karpinskaya-Sakovich<sup>1</sup>, I.A. Dauksh<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>International University “MITSO”

<sup>2</sup>Academy of Public Administration under the aegis of President  
of the Republic of Belarus  
Minsk, Belarus

## **DIRECTIONS OF INVESTMENT POLICY OF BELARUSIAN PHARMACEUTICAL ORGANIZATIONS**

*Abstract.* The paper discusses the development of the pharmaceutical industry in Belarus. It is believed that it is necessary to develop an interstate program for the development of the pharmaceutical industry, to improve mechanisms for stimulating and supporting enterprises that certify production in accordance with GMP requirements and research centers that develop medicines and pharmaceutical