

Аддитивные технологии как инновационный тренд в развитии производства

В.В. Дорофеева

Калининградский государственный технический университет, пр. Советский, 1, Калининград, Россия
d310574@yandex.ru

Статья поступила 07.09.2020, принята 08.09.2020

В работе на основе функционального анализа определено, что аддитивные технологии – это мировой индустриальный тренд. Указаны существенные особенности и преимущества аддитивных технологий и аддитивного производства, проблемы их внедрения. Представлен обзор существующих технологий 3D-печати, описан широкий спектр их возможного применения. Определено место России на рынке аддитивных инновационных технологий и сформулированы рекомендации относительно направлений развития аддитивного производства в нашей стране. Сделаны выводы о тенденциях развития отрасли аддитивных технологий и ее перспективах.

Ключевые слова: аддитивные технологии; 3D-печать; аддитивное производство; развитие; инновации.

Additive technologies as an innovative trend in production development

V.V. Dorofeeva

Kaliningrad State Technical University; 1, Sovietsky Pros., Kaliningrad, Russia
d310574@yandex.ru

Received 07.09.2020, accepted 08.09.2020

Based on functional analysis, it is determined that additive technologies is a global industrial trend. The essential features and advantages of additive technologies and additive production, the problems of their implementation are indicated. A review of existing 3D printing technologies is presented and a wide range of their possible applications is described. The place of Russia in the market of additive innovative technologies has been determined. Recommendations, regarding the directions of development of additive production in our country, are formulated. Conclusions on the development trends of the additive technology industry and its prospects are drawn.

Keywords: additive technologies; 3D printing; additive production; development; innovation.

Введение. В течение ряда последних лет аддитивные технологии занимают все большее место в современном производстве, умах конструкторов и технологов, питая их творческий потенциал и вдохновляя полет технической мысли. Аддитивное производство, известное как 3D-печать, представляет собой преобразующий подход к промышленному производству, который позволяет создавать более легкие и прочные детали и системы. Известно, что первый стереолитографический трехмерный принтер сконструировал в 1986 г. изобретатель Чарльз Халл (Charles W. Hull) [15], который впоследствии создал компанию 3D Systems.

Термин «аддитивное производство» относится к технологиям, позволяющим связывать последующий сверхтонкий слой с предыдущим слоем рас-

плавленного или частично расплавленного материала. Для слоистых материалов можно использовать разные вещества, в том числе металлический порошок, термопласты, керамику, композиты, стекло и даже такие продукты, как шоколад [18].

Аддитивное производство, по сути своей, не является новым, поскольку на самом деле оно существует уже несколько десятилетий [16]. Аддитивные технологии позволяют сделать каждое изделие уникальным, адаптированным под конкретного потребителя, т. е. производить кастомизированную продукцию.

Аддитивные технологии уже используются для производства впечатляющего ассортимента продукции – от продуктов питания до деталей реактивных двигателей. Аддитивное производство способно обеспечить превосходное качество с

улучшенными характеристиками, усложнить геометрию и упростить изготовление, что создает идеальные возможности для тех, кто активно занимается аддитивными технологиями.

Цель статьи — уточнить место России на рынке аддитивных инновационных технологий и сформулировать рекомендации относительно направлений развития аддитивного производства в нашей стране.

Тенденции и перспективы развития отрасли аддитивных технологий. Технологический прогресс способствует производству множества полезных вещей для быта, здоровья и безопасности человека, например, аддитивные технологии в авиастроении помогают создавать высокоэкономичный и легкий по весу авиатранспорт, при этом его аэродинамические свойства сохраняются в полном объеме [10]. Проведенный автором анализ показал, что существуют совершенно разноплановые сферы применения аддитивных технологий:

- промышленность;
- строительство и архитектура;
- сельскохозяйственное производство;
- автомобилестроение;
- судостроение;
- космонавтика;
- военный сектор;
- образование;
- медицина и фармакология;
- другие сферы.

Переход к трехмерному объекту революционизирует производство. Остаются в прошлом такие промежуточные этапы, как создание пресс-форм или штампов, требующих гораздо больших времени и денег. На повестке дня использование таких аддитивных технологий производства, как:

1. Спекание — это процесс создания твердой массы с использованием тепла без ее разжижения [10].

2. Склеивание порошка, состоящего из гипса (CJP), — 3D полноцветная печать [10].

3. Прямое металлическое лазерное спекание (DMLS) [7].

4. Прямая лазерная плавка металлов (DMLM) и электронно-лучевая плавка (EBM) [10].

5. Стереолитография (SLA), использующая фотополимеризацию для печати керамических объектов.

Подробный обзор каждой из вышеуказанных аддитивных технологий содержится в [7].

Для создания 3D печатных объектов могут использоваться разные материалы, в том числе: воск, полиамиды, гипсовый порошок, жидкие фотополимеры, полистирол, металлические порошки.

Термопластичные полимеры остаются наиболее популярным классом материалов для изготов-

ления добавок [18]. Различные металлы, металлические сплавы и керамика также применяются в аддитивном производстве. Кроме того, альтернативные слои порошкового стекла и клея спекаются вместе, чтобы создать совершенно новые классы изделий из стекла [15].

В здравоохранении широко используют материалы из кремния, фосфата кальция и цинка для поддержания костных структур по мере роста новых костей. Исследователи также изучают использование биочернил, изготовленных из стволовых клеток, для формирования всего — от кровеносных сосудов до мочевого пузыря [12].

Новые технологии необходимы в производстве деталей со сложным геометрическим дизайном. Зачастую это идеальное решение для создания легких и прочных аэрокосмических деталей. Так, в августе 2013 г. НАСА успешно протестировало во время испытания горячим огнем ракетный инжектор, напечатанный на SLM. По данным Aviation Week, на авиасалоне в Париже в 2017 г. были показаны конструктивные детали Boeing 787, изготовленные из титановой проволоки.

По сообщению канала CNN, гоночная команда McLaren использовала 3D печатные детали в своих машинах Формулы 1. При этом замена заднего крыла заняла около 10 дней вместо пяти недель. Команда уже выпустила более 50 различных деталей с использованием аддитивного производства.

Потенциал быстрого прототипирования в автомобильной промышленности вызывает серьезный интерес по мере появления производственных деталей. Например, алюминиевые сплавы используются для производства выхлопных труб и деталей насоса, а полимеры применяются для изготовления бамперов. В 2015 г. компания Local Motors представила автомобиль LMSD Swim, 75 % деталей которого выполнены с помощью трехмерной печати [13].

Широкое применение аддитивные технологии находят и в здравоохранении. Так, например, глобальная компания по производству медицинских устройств Stryker финансирует в Австралии исследовательский проект, который будет использовать технологию аддитивного производства для создания нестандартных хирургических имплантатов для пациентов, страдающих раком костей. В целом применение аддитивных технологий в сфере здравоохранения расширяется, особенно в связи с выявленной безопасностью и эффективностью созданных таким образом медицинских устройств.

Очевидно, что аддитивное производство будет иметь большое будущее и в строительстве. 3D-печать, используемая для строительства, во всем мире сегодня в тренде. Эксперименты, производимые на лазерных 3D-принтерах, выглядят на

границы фантастики. Использование аддитивных технологий способно существенно сократить время возведения зданий и различных сооружений [3]. Аддитивные 3D-технологии в строительстве имеют безусловные положительные стороны:

- экономия времени и минимизация финансовых затрат;
- воплощение в жизнь любых дизайнерских решений и сложных геометрических форм;
- возможность строить дома с учетом сейсмостойчивости [4].

При проектировании различных объектов, от мостов до небоскребов, инженеры долго стремились минимизировать вес при максимальной прочности. Аддитивные технологии позволяют инженерам проектировать детали, имеющие сложность, которая невозможна при использовании других методов. Сложные функции, такие как конформные каналы охлаждения, могут быть включены непосредственно в конструкцию.

Независимо от того, используется ли аддитивное производство для создания прототипов или производства, время выполнения заказа часто сокращается. Сроки изготовления некоторых деталей реактивного двигателя были сокращены на год и более [10]. Кроме того, детали, когда-то созданные из нескольких собранных деталей, теперь изготавливаются как единый объект без сборки. Детали, для которых ранее требовались сборка, сварка или пайка нескольких деталей, теперь можно выращивать как единое целое, что повышает прочность и долговечность.

Аддитивное производство отлично справляется с быстрым прототипированием. Поскольку цифровой процесс исключает традиционные промежуточные этапы, можно вносить изменения на ходу. По сравнению с относительной скукой традиционного прототипирования предлагается более динамичный процесс, ориентированный на дизайн. Более того, однажды невозможные концепции дизайна успешно переосмысливаются, а дизайнеры теперь могут работать без ограничений, с которыми они когда-то сталкивались. Аддитивное производство позволяет создавать более легкие, более затейливые конструкции, которые слишком сложно или слишком дорого строить, используя традиционные штампы, пресс-формы, фрезерование и механическую обработку [4].

Включая в проекты органические структуры, дизайнеры могут значительно уменьшить вес, сохраняя прочность и целостность детали. Иллюстрацией этого преимущества являются результаты конкурса, проведенного компанией GE в GrabCAD® Bracket Challenge. Существующий кронштейн был переработан для аддитивного производства, при этом он сохранил прочность оригинала при меньшем на 84 % весе [9].

Таким образом, инновационные аддитивные технологии имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными технологиями:

- значительное сокращение времени и стоимости изготовления серийных изделий [1; 12; 18];
- улучшение свойств готовой продукции [2; 5; 11];
- экономия расходных материалов, безотходное производство [1; 9; 14];
- уникальные характеристики получаемой продукции, в том числе со сложной геометрией [5; 9; 16; 19];
- мобильность производства и ускорение обмена данными [10; 13; 14].

Однако, несмотря на явные достоинства аддитивных технологий, можно отметить недостаточно быстрое их внедрение. Причиной тому являются отсутствие стандартизации технологий и материалов, САПР-моделей, техпроцессов и регламентов [4]; чрезмерная коммерциализация методов аддитивных технологий; отсутствие специалистов, требующихся в сфере аддитивного производства; высокая стоимость высокотехнологичного оборудования [8]. Кроме того, внедрение новых технологий требует новых подходов к управлению производством, объединения усилий специалистов из различных областей деятельности, способных продуцировать оригинальные решения.

Сегодня лидерами в сфере аддитивных технологий являются США, занимающие более 50 % рынка. От них пытаются не отстать Япония, Германия, Китай, Великобритания, Израиль. Россия в этой нише пока только на 11-м месте, но активно начинает развиваться в данном направлении [13]. За последние несколько лет, благодаря быстрому распространению информации и классным инженерам, России удалось сократить технологическое отставание. Российский сегмент аддитивного производства показывает рост от 30 % в год и выше [7]. Сегодня мы имеем те же технологии, что и лидеры рынка. Однако у нас недостаточно прорывных решений. Пока наши технологии — это ставшие классикой зарубежные.

Тем не менее, успехи российских разработчиков оборудования для аддитивного производства за последние годы не могут не радовать. Разработкой 3D-принтеров в нашей стране занимается целый ряд исследовательских центров — Московский центр лазерных технологий МГТУ им. Баумана, ФГУП «ВИАМ», Томский политехнический университет, НИИ «Машиностроительные технологии», ФГУП «НАМИ», Санкт-Петербургский «Политех», ОАО «УМПО». На базе НПО «Сатурн» в Рыбинске «Ростехом» создается центр аддитивных технологий. Хорошие позиции в сфере трехмерной печати имеют предприятия «Росатома». По имеющимся данным, новые технологии были с

успехом внедрены при изготовлении деталей двигателя ПД-14 для гражданской авиации, а также в конструкции нового газотурбинного двигателя морского применения. Аддитивным способом планируют печатать отдельные компоненты и «Вертолеты России» — в первую очередь несилловые детали и элементы рулевого управления [5].

Наука не стоит на месте. Уже началась разработка технологий 4D-печати, позволяющих объекту меняться во времени. С большой долей вероятности в скором времени появится новое поколение самоизменяющихся продуктов, адаптирующихся к изменениям окружающей среды и обладающих «памятью формы», позволяющей им возвращаться в исходное состояние. Например, одежда или обувь смогут менять свою форму и функционал в зависимости от погодных условий — дождя, ветра, жары.

Актуальный сегодня тренд — гибкое, адаптируемое и взаимозаменяемое аддитивное производство. Передовые производственные технологии, формируя новый промышленный уклад, заботятся о том, как производить качественнее, быстрее, с более высокой точностью и энергоэффективностью, с меньшим количеством отходов. Когда сегодня говорят о новой промышленной революции, речь прежде всего идет о передовых производственных технологиях, в том числе и об аддитивном производстве. При этом совершенно очевидно, что попытки оставить Россию в стороне от самых оживленных «трасс развития» науки и технологий бесполезны.

Следует учитывать, что особо важной задачей при внедрении аддитивных технологий в России является не только создание современного оборудования, но и собственных производств качественного сырья (расходных материалов). Таким образом, при внедрении новых технологий в промышленность речь должна идти о создании полного технологического цикла производства.

Заключение. Аддитивные технологии — настоящий образец «новой» промышленности, переживающей цифровую трансформацию. Доля России на рынке аддитивных технологий пока невелика — около 1,5 %, а российский научный задел и того меньше — 0,76 % от мирового объема научных публикаций в этой области. По имеющимся данным, за последние 15 лет в России выдан 131 патент по различным аспектам АТ, это 0,14 % от мирового количества патентов в этой сфере [2]. Задача состоит в том, чтобы российская промышленность начала более активно осваивать и использовать возможности, которые открывают аддитивные технологии. Нужно отчетливо понимать, что аддитивные технологии носят надотраслевой характер, и не за горами промышленная

революция шестого технологического уклада в промышленности.

Конечно, не стоит впадать в крайности, пытаясь всюду применять аддитивные технологии взамен традиционных, которые давно и повсеместно доказали свою состоятельность. Нужно помнить, что инновации должны приносить деньги, решая проблемы потребителя, — через сокращение времени изготовления, стоимости материалов, производственного цикла и т. п. В настоящий момент гибриды заметно проигрывают синергетическому эффекту совмещения традиционных и аддитивных технологий. Поэтому не стоит абстрагировать свой аддитивный мир от классики или последовательных аддитивных технологий.

Сегодня существуют объективные возможности ускорить процесс развития аддитивных технологий. Для этого, по нашему мнению, необходимо реализовать ряд важнейших мероприятий:

1. Разработать государственную программу развития и внедрения аддитивных технологий в рамках Национальной технологической инициативы.
2. Решить проблему целевой подготовки специалистов для нужд аддитивного производства, для чего внести изменения и дополнения в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования.
3. Поддерживать различные формы научно-производственной кооперации для выполнения крупных проектов.
4. Сформировать аддитивные кластеры, которые должны иметь в своем составе поставщиков продукции, комплектующих, материалов, специализированных услуг, а также НИИ и вузы. При этом каждая ячейка кластера должна участвовать в создании совместной цепочки ценности, что должно привести к быстрому и качественному развитию экономики.

Реализация этих предложений позволит консолидировать усилия по развитию аддитивного производства, ускорит практическое решение злободневных вопросов, обеспечит повышение конкурентоспособности отечественной техники и технологий на международных рынках.

Пройдет совсем немного времени, и технологии трех- и четырехмерной печати станут для нас вполне обыденными, как интернет или смартфоны. По всей видимости, за подобными способами производства стоит большое будущее.

Согласно имеющимся прогнозам, уже к 2022 г. индустрия аддитивного производства вырастет с нынешних 12 до 30 млрд дол. [6]. Это, конечно, предварительные значения, но они отчетливо показывают то, как в недалеком будущем будет выглядеть мировая промышленность.

Литература

1. Забелин Б.Ф., Конников Е.А. Экономические аспекты развития аддитивных технологий // Вестн. науч. конференций. 2015. № 3-3 (3). С. 64–67.
2. Каблов Е.Н. Аддитивные технологии — доминанта национальной технологической инициативы // Интеллект и технологии. 2015. № 2 (11). С. 52–55.
3. Каверзина Л.А., Родивонова Е.В. Инновационная деятельность предприятий строительного комплекса // Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития: материалы 4-й междунар. науч.-практической онлайн-конф. (6–7 апр. 2017 г.). Томск, 2017. С. 171–177.
4. Каверзина Л.А., Родивонова Е.В. Роль современной науки в развитии инновационных технологий в строительстве // Инновационные процессы: потенциал науки и задачи государства: монография. Пенза, 2017. С. 5–21.
5. Казмирчук К.Н. Отсутствие нормативной базы — одна из основных преград на пути развития аддитивных технологий // Главный механик. 2015. № 9. С. 22–26.
6. Ковалев Д.С., Коваленко П.А. Перспективы внедрения аддитивных технологий в промышленность // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 1. № 13. С. 398–400. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-vnedreniya-additivnyh-tehnologiy-v-promyshlennost> (дата обращения: 21.08.2020).
7. Литунов С.Н., Слободенюк В.С., Мельников Д.В. Обзор и анализ аддитивных технологий // Омский науч. вестн. Сер. Приборы, машины и технологии. 2016. № 1 (145). Ч. 1. С. 12–17.
8. Мантуров Д. Экономическая мощь страны определяется созданием принципиально новых технологий [Электронный ресурс]. URL: <https://profiok.com/news/detail.php?ID=5156#ixzz6EyUOBbPX> (дата обращения: 11.08.2020).
9. Сироткин О.С. Современное состояние и перспективы развития аддитивных технологий // Авиационная промышленность. 2015. № 2. С. 22–25.
10. Смуров И.Ю., Конов С.Г., Котобан Д.В. О внедрении аддитивных технологий и производства в отечественную промышленность // Новости материаловедения. Наука и техника. 2015. № 2. С. 11–22.
11. Советников Е.И. Оценка развития аддитивных технологий // Технология легких сплавов. 2015. № 3. С. 17–31.
12. Трубашевский Д., Ежеленко В. Эра аддитивного производства наступает [Электронный ресурс]. URL: <https://sapr.ru/article/24868> (дата обращения: 20.08.2020).
13. Шустиков В. Аддитивные технологии - что это такое и где применяются [Электронный ресурс]. URL: https://sk.ru/news/b/press/archive/2019/09/18/additivnye-tehnologii-1320_-chto-eto-takoe-i-gde-primenyayutsya.aspx (дата обращения: 18.08.2020).
14. Юрасёв Н.И. О возможностях развития аддитивных технологий в России // Современная экономика: проблемы и решения. 2015. № 9 (69). С. 72–79.
15. Hull C.W. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. U.S. Patent 4575330, 1986.
16. Park G.C., Wiseman J.B., Clark W.D. Correction of congenital microtia using stereolithography for surgical planning // Plast. Reconstr. Surg. 2000. V. 105. № 4. P. 1444–1447.
17. Songa J.L., Lia Y.T., Dengb G.L. Rapid prototyping manufacturing of silica sand patterns based on selective laser sintering // Journal of Materials Processing Technology. 2007. V. 187. P. 614–618.
18. Wohlers Report. Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report, 2014. 276 p.
19. Youtee D., Emery J., Smith R.E., Hodgson B. Stereolithographic models of biopolymers // J. Mol. Graph. 2000. V. 18, Suppl. 1. № 26–28. P. 59–60.