

Научная статья

Original article

УДК 004.5



АНАЛИЗ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ANALYSIS OF ADDITIVE TECHNOLOGIES

Сокольников Виктор Владимирович, старший преподаватель, заместитель декана по воспитательной работе, Воронежский государственный технический университет (394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14), тел. +7 (473) 207-22-20, svp_kitp@mail.ru

Андрюхина Дарья Станиславовна, студент 4 курса бакалавриата, Воронежский государственный технический университет (394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14), тел. +7 (473) 207-22-20, darabasirova@gmail.com

Зиновкина Дарья Алексеевна, студент 1 курса магистратуры, Воронежский государственный технический университет (394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14), тел. +7 (473) 207-22-20, stdarya2@gmail.com

Sokolnikov Viktor Vladimirovich, senior lecturer, deputy dean for educational work, Voronezh State Technical University (394026, Voronezh, Moskovsky prospect, 14), tel. +7 (473) 207-22-20, svp_kitp@mail.ru

Andryukhina Daria Stanislavovna, 4th year undergraduate student, Voronezh State Technical University (394026, Voronezh, Moskovsky prospect, 14), tel. +7 (473) 207-22-20, darabasirova@gmail.com

Zinovkina Daria Alekseevna, 1st year master student, Voronezh State Technical University (394026, Voronezh, Moskovsky prospect, 14), tel. +7 (473) 207-22-20, stdarya2@gmail.com

Аннотация. Проведен анализ существующих и широко применяемых аддитивных технологий. Исследованы причины широкого распространения технологий, области их применения. Описаны преимущества и недостатки каждой технологии. Аддитивные технологии стремительно развиваются и уже конкурируют с традиционными методами производства. Развитие этого направления идет разными путями, открывая новые методы 3D-печати. Рост промышленности приводит к необходимости изменять технологические методы производства продукции. Скорость, гибкость и экономность – важные характеристики при разработке деталей. Краткий анализ позволит ознакомиться с существующими на сегодняшний день технологиями печати деталей и быстрого прототипирования. Для сравнения и анализа выбраны технологии лазерной стереолитографии, 3DP (Three-Dimensional Printing), моделирование методом наплавления (FDM, Fused Deposition Modeling), электронно-лучевая плавка (EBM), селективное лазерное спекание (SLS), Процесс лазерного формообразования (LENS), производство ламинированных объектов (LOM).

Abstract. The analysis of existing and widely used additive technologies has been carried out. The reasons for the wide spread of technologies, their areas of application are investigated. The advantages and disadvantages of each technology are described. Additive technologies are rapidly developing and are already competing with traditional production methods. The development of this direction goes in different ways, opening up new methods of 3D printing. The growth of industry leads to the need to change the technological methods of production. Speed, flexibility and economy are important features in part development. A brief analysis will allow you to get acquainted with the currently existing technologies for printing parts and rapid prototyping. For comparison and analysis, the technologies of laser stereolithography, 3DP (Three-Dimensional

Printing), fusing deposition modeling (FDM, Fused Deposition Modeling), electron beam melting (EBM), selective laser sintering (SLS), laser shaping process (LENS), production of laminated objects (LOM).

Ключевые слова: аддитивные технологии, прототипирование, моделирование, 3D-печать, быстрое прототипирование, автоматизация, стереолитография.

Keywords: additive technologies, prototyping, modeling, 3D printing, rapid prototyping, automation, stereolithography.

Введение

Аддитивное производство имеет потенциал абсолютно поменять метод изготовления и распространения многих продуктов. На протяжении всей истории главные нововведения в производственных технологиях проявляли полное воздействие на наше общество и культуру. Исследование данных технологий позволяет предположить, что аддитивное производство может стать буквально прорывной технологией. С ростом индустрии растут и требования к количеству и качеству производимого продукта. Предприятия, выпускающие детали, расходуют много ресурсов на создание деталей. Аддитивное производство представляет собой принципиально новый способ производства деталей. Это процесс изготовления компонентов непосредственно из 3D-компьютерных моделей путем выборочного нанесения, отверждения или уплотнения материалов один слой за другим. Всякий слой представляет геометрию поперечного сечения компонента на установленной высоте. Это резко контрастирует с классическими производственными процессами, такими как формование, литье и машинная обработка, потому что для производства детали не требуется оснастка. Таким образом, свободная форма аддитивного производства изменяет наше мнение о классических ограничениях DFM (design for manufacturability – «проектирование с учетом пригодности для производства»). Во многих случаях классические ограничения более не применяются.

Быстрое прототипирование

На сегодняшний день существует множество разновидностей аддитивных технологий, каждая из которых применима к отдельным случаям и задачам.

Прототипирование — основная часть процесса разработки, которая часто вызывает трудности. Быстрое прототипирование — это набор методов, которые применяются для быстрой разработки масштабной модели физического или сборного компонента с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР). В отличие от классических субтрактивных технологий, такие детали и конструкции чаще всего производятся с применением аддитивных технологий. Следовательно, сама концепция стала коррелировать с аддитивным производством и 3D-печатью.

Концепция стала известна благодаря ряду преимуществ: быстрая реализация, исследование на стадии концепции, распространение идей через визуализацию, возможность быстрого внесения изменений. 3D-печать позволила сэкономить деньги и время.

Лазерная стереолитография

Лазерная стереолитография - это метод изготовления детали слоями, при котором лазерный луч фокусируется на поверхности светочувствительной жидкости, для реакции полимеризации жидкости и превращения ее в твердое вещество. Это одна из технологий быстрого прототипирования. STL - формат файла, обширно используемый для хранения 3D-моделей объектов для дальнейшего применения в аддитивных технологиях. Данные о модели записываются как набор треугольных граней, которые точно описывают ее поверхность методом конечных элементов. Способ приобрел известность за счет гибкости, точности и дешевизны процесса. Стереолитография выполняется из разных материалов, а так же есть возможность точно передать текстуру. Быстрое создание прочных деталей выгодно выделяют технологию на фоне остальных.

3DP

3DP (сокр. Three-Dimensional Printing) – струйная трёхмерная печать. Эта методика представляет собой одну из вариаций систем аддитивного моделирования изделия по его CAD-модели и выделяется среди множества похожих методик тем, что процесс выполняется по принципу обыкновенного принтера – посредством сопла печатающих головок. В качестве расходных материалов применяются разнообразные порошки, которые по очереди наносятся тонкими слоями. Печатная головка по заданной траектории распределяет связующий материал. Таким образом, каждый новый слой склеивается с предыдущим, образуя цельную конструкцию.

Моделирование методом наплавления

FDM (сокр. Fused Deposition Modeling) — способ послойного наплавления — это одна из самых общераспространённых технологий, в которой используются термопластичные и композитные материалы для печати 3D-объектов слоями. FDM - очень дешёвый способ печати, что обеспечивает возрастающую с каждым днем распространённость домашних принтеров, работающих по принципу этой технологии. В быту 3D-принтеры могут использоваться для создания различных запасных деталей, игрушек, сувениров и украшений.

Металлургическое направление аддитивных технологий

Аддитивные технологии уже много лет занимают прочное место в производстве изделий из металлических порошков. Prometal - это процесс трёхмерной печати для изготовления литейных приборов и штампов.

Литейные формы – это особенная и огромная область аддитивных технологий. Для производства песчаных литейных форм используют две технологии: послойное спекание плакированного песка лазерным лучом (фирма EOS); послойное нанесение связующего состава или Inkjet технология (ProMetal).

Этот процесс осуществляется на основе порошка с нержавеющей сталью. Процесс печати происходит, когда жидкое связующее впрыскивается в стальной порошок. При изготовлении пресс-формы никакой последующей обработки не требуется.

Селективное лазерное спекание

Селективное лазерное спекание (SLS) - это технология аддитивного производства, которая использует лазер в качестве источника питания для спекания порошкообразного материала, автоматически направляя лазер в точки пространства, определенные 3D-моделью, связывая материал вместе для создания прочной структуры. Эта технология распространена в авиационной и космической промышленности, в машиностроении, литейном производстве. Главная особенность селективного лазерного спекания – отсутствие необходимости создавать поддержку при печати геометрически сложных объектов. Технология считается одной из лучших в случае создания пластиковых деталей: разнообразие материалов, термическая стабильность и хорошая детализация в сочетании с высокой прочностью. У селективного спекания есть недостатки, которые не позволяют ему конкурировать с литьем под давлением: напечатанные детали требуют длительного охлаждения, может произойти усадка или деформация.

Электронно-лучевая плавка

Электронно-лучевая плавка (EBM) — это трехмерный производственный процесс, в котором порошкообразный металл плавится пучком электронов высокой энергии. Электронный луч создает поток электронов, который направляется магнитным полем, расплавляя слой за слоем порошковый металл, чтобы создать объект, соответствующий точным характеристикам, заданным моделью САПР. Производство происходит в вакуумной камере для защиты от окисления, которое может повредить высокореактивные материалы. Электронно-лучевое плавление похоже на селективное лазерное плавление (SLM), так как они оба печатают из

порошка из порошкового слоя 3D-принтера, но EBM использует электронный луч вместо лазера. Преимущество электронно-лучевой плавки перед селективным лазерным плавлением - скорость печати. Однако, селективное лазерное плавление позволяет достичь большей точности.

EBM создает высокопрочные детали, которые максимально используют природные свойства металлов, используемых в процессе, исключая примеси, которые могут накапливаться при использовании литья металлов или других методов изготовления.

Процесс лазерного формообразования

Процесс лазерного формообразования (Laser Engineered Net Shaping - LENS). В процессе лазерного формообразования построение объектов осуществляется аддитивным методом из порошковых металлов с использованием лазера на иттрийалюминиевом гранате с неодимом, сплавляющего порошок в твердое тело. Процесс позволяет получать изделия из сплошного металла произвольной формы. К достоинствам можно отнести возможность производства деталей сложной геометрической формы из сплошного металла с хорошей микроструктурой. Технология могла бы составить конкуренцию селективному лазерному спеканию, однако ограничения в выборе материала не позволят широко ее применять.

Изготовление объектов методом ламинирования

Производство ламинированных объектов (или LOM) — это очень быстрый и недорогой способ 3D-печати объектов из нескольких видов материалов. Листы материала склеиваются вместе и вырезаются в правильной геометрии в соответствии с 3D-моделью.

Технология в основном используется для быстрого прототипирования деталей. Низкая цена и быстрота изготовления позволяют удобно изготавливать

прототипы, даже если производимые объекты далеки от деталей конечного использования. Однако, LOM не может создавать действительно точные модели, такие как технологии, такие как селективное лазерное спекание (SLS) или стереолитография (SLA). Невозможно печатать замысловатые и сложные геометрические формы, но его дешевый процесс и процесс изготовления произвольной формы делают его хорошим методом прототипирования.

Заключение

Еще предстоит выяснить, каковы будут долгосрочные последствия аддитивного производства. Во многих отношениях это технология, которая все еще находится в зачаточном состоянии и представляет собой очень небольшой сегмент производства в целом. Этот небольшой сегмент быстро растет, но будущее не определено. Едва ли четверть века прошло с тех пор, как на рынке появились первые стереолитографические системы для быстрого прототипирования. За это короткое время аддитивное производство не только стало относительно распространенным явлением в науке, академических кругах и промышленности, но и превратилось из метода быстрого создания визуальных моделей в новую производственную парадигму. За последние два десятилетия доходы, связанные с продуктами и услугами, показывают, что аддитивное производство выросло в многомиллиардную индустрию.

Литература

1. Neural network training for automated defect detection in additive production / P. V. Komarov, V. V. Sokolnikov, V. V. Vetohin, O. V. Sobenina // AIP Conference Proceedings, Krasnoyarsk, 29–30 апреля 2021 года / Krasnoyarsk Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Vol. Volume 2402. – Melville, New York, United States of America: AIP Publishing, 2021. – P. 50030. – DOI 10.1063/5.0071543. – EDN RKKSIZ.
2. Software module for generating control programs for additive manufacturing equipment / M. I. Chizhov, A. V. Lutovin, A. V. Bredihin, V. V. Vetohin // AIP

- Conference Proceedings, Krasnoyarsk, 29–30 апреля 2021 года / Krasnoyarsk Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Vol. Volume 2402. – Melville, New York, United States of America: AIP Publishing, 2021. – P. 70038. – DOI 10.1063/5.0071393. – EDN MUIHNO.
3. Ветохин, В. В. Пути расширения технологических возможностей аддитивной технологии последовательного наплавления / В. В. Ветохин, А. Ю. Мануковский // Информатика: проблемы, методология, технологии: Сборник материалов XIX международной научно-методической конференции, Воронеж, 14–15 февраля 2019 года / Под ред. Д.Н. Борисова. – Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации» (ООО «Вэлборн»), 2019. – С. 1664-1666. – EDN WBGKWL.
 4. Chernova, D. N. Technologies and additive equipment for products made of metal, polymer and ceramic materials for construction / D. N. Chernova, M. Y. Slesarev // Наука, технологии, общество - НТО-II-2022 : сборник научных статей по материалам II Всероссийской научной конференции, Красноярск, 28–30 июля 2022 года. – Красноярск: Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2022. – P. 110-119. – DOI 10.47813/nto.2.2022.5.110-119. – EDN NKFGRF.
 5. Николаев, А. А. Анализ и оценка рисков внедрения новой технологии (на примере аддитивной технологии) / А. А. Николаев // Инновационная экономика : Материалы Региональной научной конференции-школы для молодежи, Уфа, 18 октября 2018 года. – Уфа: ГОУ ВПО "Уфимский государственный авиационный технический университет", 2018. – С. 166-169. – EDN YTXBHV.
 6. Преимущества аддитивных технологий в качестве альтернативы традиционным технологиям / В. Е. Низовцев, Д. А. Климов, М. И. Ступеньков, Е. Н. Бредихина // Аддитивные технологии: настоящее и будущее : Материалы IV Международной конференции, Москва, 30 марта 2018 года / ФГУП

«Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов». – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, 2018. – С. 203-208. – EDN XMVSWL.

7. Эттель, В. А. Исследование технологии производства деталей сложной конфигурации с помощью аддитивных технологий / В. А. Эттель, А. А. Берг, С. С. Иванов // Академическая наука - проблемы и достижения : Материалы XV международной научно-практической конференции, North Charleston, USA, 26–27 марта 2018 года. Том 2. – North Charleston, USA: CreateSpace, 2018. – С. 41-43. – EDN XQBRRZ.
8. Kheifetz, M. L. From Information and Additive Technologies to Self-Reproduction of Machines and Organisms / M. L. Kheifetz // Advanced Materials and Technologies. – 2018. – No. 1. – P. 22-35. – DOI 10.17277/amt.2018.01.pp.022-035. – EDN XWDLAD.
9. Елфимов, И. Е. Современные ограничения возможностей аддитивных технологий / И. Е. Елфимов, А. С. Бочкарева // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 4. – С. 409-412. – EDN XFEFHU.
10. Щукина, Д. С. Ретроспективное исследование моделей производства в аддитивных технологиях / Д. С. Щукина // Матрица научного познания. – 2022. – № 10-2. – С. 28-33. – EDN VIXQPI.

References

1. Neural network training for automated defect detection in additive production / P. V. Komarov, V. V. Sokolnikov, V. V. Vetohin, O. V. Sobenina // AIP Conference Proceedings, Krasnoyarsk, April 29–30, 2021 / Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Vol. Volume 2402. - Melville, New York, United States of America: AIP Publishing, 2021. - P. 50030. - DOI 10.1063/5.0071543. – EDN RKKSIZ.
2. Software module for generating control programs for additive manufacturing equipment / M. I. Chizhov, A. V. Lutovin, A. V. Bredihin, V. V. Vetohin // AIP Conference Proceedings, Krasnoyarsk, April 29–30, 2021 / Krasnoyarsk Scientific

- Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Vol. Volume 2402. - Melville, New York, United States of America: AIP Publishing, 2021. - P. 70038. - DOI 10.1063/5.0071393. – EDN MUIIHO.
3. Vetokhin, V. V. Ways to expand the technological capabilities of additive technology of sequential deposition / V. V. Vetokhin, A. Yu. – February 15, 2019 / Ed. D.N. Borisov. - Voronezh: Publishing House "Scientific Research Publications" (LLC "Velborn"), 2019. - P. 1664-1666. – EDN WBGKWL.
 4. Chernova, D. N. Technologies and additive equipment for products made of metal, polymer and ceramic materials for construction / D. N. Chernova, M. Y. Slesarev // Science, technology, society - NTO-II-2022: collection of scientific articles based on materials of the II All-Russian Scientific Conference , Krasnoyarsk, July 28–30, 2022. - Krasnoyarsk: Public institution "Krasnoyarsk Regional House of Science and Technology of the Russian Union of Scientific and Engineering Public Associations", 2022. - P. 110-119. – DOI 10.47813/nto.2.2022.5.110-119. – EDN NKFGRF.
 5. Nikolaev, A. A. Analysis and risk assessment of the introduction of new technology (on the example of additive technology) / A. A. Nikolaev // Innovative Economics: Proceedings of the Regional Scientific Conference-School for Youth, Ufa, October 18, 2018. - Ufa: GOU VPO "Ufa State Aviation Technical University", 2018. - P. 166-169. – EDN YTXBHV.
 6. Advantages of additive technologies as an alternative to traditional technologies / V. E. Nizovtsev, D. A. Klimov, M. I. Stupenkov, E. N. Bredikhina // Additive technologies: present and future: Proceedings of the IV International Conference, Moscow, March 30, 2018 / Federal State Unitary Enterprise All-Russian Research Institute of Aviation Materials. - Moscow: All-Russian Research Institute of Aviation Materials, 2018. - S. 203-208. – EDN XMVSWL.
 7. Ettel, V. A. Study of the production technology of complex configuration parts using additive technologies / V. A. Ettel, A. A. Berg, S. S. Ivanov // Academic science - problems and achievements: Proceedings of the XV International Scientific and

- practical conference, North Charleston, USA, March 26–27, 2018. Volume 2. - North Charleston, USA: CreateSpace, 2018. - P. 41-43. – EDN XQBBRZ.
8. Kheifetz, M. L. From Information and Additive Technologies to Self-Reproduction of Machines and Organisms / M. L. Kheifetz // Advanced Materials and Technologies. – 2018. – No. 1. - P. 22-35. – DOI 10.17277/amt.2018.01.pp.022-035. – EDN XWDLAD.
 9. Elfimov, I. E. Modern limitations of additive technologies / I. E. Elfimov, A. S. Bochkareva // Nauka. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). - 2022. - No. 4. - P. 409-412. – EDN XFEFHU.
 10. Schukina, D. S. Retrospective study of production models in additive technologies / D. S. Schukina // Matrix of scientific knowledge. - 2022. - No. 10-2. - S. 28-33. – EDN VIXQPI.

© Сокольников В.В., Андрюхина Д.С., Зиновкина Д.А., 2023 Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" 3/2023

Для цитирования: Сокольников В.В., Андрюхина Д.С., Зиновкина Д.А. Анализ аддитивных технологий // Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" 3/2023.