

Аддитивные технологии – динамично развивающееся производство

*О.Н. Гончарова, Ю.М. Бережной, Е.Н. Бессарабов, Е.А. Кадамов,
Т.М. Гайнутдинов, Е.М. Нагонетьян, В.М. Ковина*

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени
М.И. Платова*

Аннотация: Настоящая статья посвящена обзору аддитивных технологий, место России в современном мире развивающихся технологий, проведен сравнительный анализ существующих технологий, сделаны прогнозы о направлениях развития аддитивных технологий в нашей стране.

Ключевые слова: аддитивные технологии, классификация, 3-D-печать, машины, порошки для аддитивных технологий, селективное лазерное спекание.

Введение

Современные темпы развития промышленности требуют выбора технологий производства, требующих наименьших затрат и выполняемых в кратчайшие сроки. Наряду с новыми и передовыми технологиями можно отметить стремительный рост внедрения аддитивных технологий. Однако наряду с развитием и внедрением существует также ряд проблем, связанных с применением данных технологий. Попробуем разобраться, что же такое аддитивные технологии, чем они отличаются от традиционных и каковы их плюсы и минусы.

Существует огромное количество определений, так или иначе характеризующие аддитивные технологии. В общем, под аддитивными технологиями понимают (AM – Additive Manufacturing, AF- Additive Fabrication) технологии, которые позволяют изготавливать изделия за счет послойного синтеза, или послойного выращивания изделий по цифровой 3D-модели. [1-6]

В отличие от традиционных технологий изготовления деталей методом вычитания материала из заготовки, использование аддитивных технологий

подразумевает построение детали путем добавления слоя за слоем до получения готового изделия. Если при обработке по традиционным технологиям обработки деталей отходы материала иногда превышают 70%, то при использовании аддитивных технологий этот показатель стремится к нулю.

Сегодня, пожалуй, нет ни одной области, где бы не нашли применение аддитивные технологии: машиностроение, авиапромышленность, медицина, энергетика и электротехника. [7-8]

Мировыми лидерами в области аддитивных технологий на сегодняшний день являются США, открывшие у себя более 15 институтов специального назначения и занимающие более 50% рынка. С многократным отставанием идут Япония, Германия и Китай. Россия же находится в этой нише только на одиннадцатом месте и только начинает развиваться в этом направлении. [9] По статистике 2015 года, российские ученые подали заявку на 131 патент в данной отрасли, и это только 0,14% всех патентов. [10]

Приведем классификацию аддитивных технологий. В настоящее время АМ-технологии представлены несколькими способами печати, которые различаются исходным материалом и принципом его нанесения (таблица 1).

Таблица 1

Классификация аддитивных технологий в зависимости от исходного материала и его состояния

Состояние материала	Материалы	Процесс
Жидкое	Полимеры	Стереолитография (SL)
		Изготовление объектов послойной наплавки (FDM)
		Струйная печать (IJP)
Порошкообразное	Полимеры, металлы, керамика	3D-печать (3DP)
		Селективное лазерное спекание (SLS)
		Прямое лазерное спекание (DMLS)
		Селективная лазерная плавка (SLM)

Твердое	Металлы	Электронно-лучевая плавка (EBM) Прямое нанесение металлов (DMD) Точное лазерное формование (LENS)
	Полимеры, металлы, керамика и композиционные материалы	Послойное изготовление объектов из листового материала (LOM) Произвольное экструзионное формование (EFF)

По принципу формирования детали выделяют два направления развития аддитивных технологий:

1. Формирование детали происходит за счет объединения материала, находящегося на рабочей поверхности платформы технологического оборудования (Bed deposition). После окончания процесса изготовления остается некоторый объем материала, который может использоваться для формирования следующей детали.

2. Формирования деталей путем прямого осаждения материала (Direct deposition). Готовое изделие формируется послойно за счет разогретого до необходимой температуры материала, поступающего на рабочую платформу из специального распределяющего устройства.

Эти процессы заложены в основу многих видов оборудования для аддитивного производства. [11-13]

Аддитивные технологии также известны как 3D-технологии и 3D-печать. Проведем сравнительный анализ основных 3D-технологий:

1. Способ послойного наплавления (FDM-метод).

Исходный материал представляет собой пластиковый пруток, подающийся в печатающую головку и пропускаемый через специальное сопло. Головка нагревает материал и подает его на изделие. Электронная система регулирует подачу материала и управляет движением головки и стола. Алгоритм управления печатающей головкой должен предусматривать наплавление слоя полимера безотрывно, что создает некоторые ограничения

при изготовлении изделий с закрытыми полостями. Скорость вращения роликов регулирует толщину слоя. Пластик остывает и затвердевает после нанесения. [14-17]

Плюс: простота процесса и доступность оборудования; возможность собрать принтер самостоятельно; невысокая цена производства; исходные материалы относительно недороги и доступны; большой выбор исходных материалов.

Минус: всегда используются поддержки; требуется дополнительная обработка после окончания печати; невозможность печатать несколько изделий одновременно на одном столе, т.к. головка наносит каждый слой полимера безотрывно.

2. Выборочное лазерное спекание (SLS-метод). Исходными материалами являются порошки, состоящие из частиц пластика, керамики, стекла, металла. Слоем полимера покрывают частицы порошка, что дает возможность спекания. Чтобы избежать температурных перепадов в процессе печати, рабочую камеру и порошок прогревают до равномерной температуры. Разравниватель распределяет порошок равномерным слоем по всей площади, предназначенной для печати. Лазер проходит по тем местам, которые заданы 3D моделью в данном сечении и запекает их. Если используется металлический порошок, готовое изделие подвергается термообработке, чтобы снять внутренние напряжения, удалить полимер и получить моноструктуру. [18]

Плюс: отсутствие поддержек, так как окружающая среда в виде порошка позволяет разрушиться изделию; получение различных вариантов готовых изделий за счет применения металлических или керамических порошков; низкие напряжения и деформации в создаваемых объектах; повторное использование отработанного материала; изготовление нескольких изделий одновременно в рабочей камере.

Минусы: высокая стоимость оборудования и исходного материала; большие энерго- и временные затраты на предварительный подогрев порошка и рабочей камеры; дополнительная механообработка.

3. Выборочное тепловое спекание (SHS-способ). Более дешевый аналог SLS-способа, однако отличие заключается в использовании вместо лазера тепловой печатающей головки. Материал для работы - пластики или металлы с низкой температурой плавления. Готовые детали проходят дополнительную термообработку для повышения прочности. [19]

Плюс: более низкая стоимость оборудования, чем в SLS-способе; засвечивание всего слоя объекта целиком.

Минус: разрешение печати более низкое, чем в SLS-способе; низкая энергоотдача нагревательного элемента; малый диапазон исходных материалов; необходимость последующей обработки изделий.

4. Выборочная лазерная плавка (SLM-способ). Частицы металлического порошка проходят этапы расплавления и сварки между собой. Процесс происходит в герметичной камере, в среде инертного газа (аргон или азот). Исходными материалы – порошки из нержавеющей и инструментальной стали, сплавов хрома и кобальта, титана, алюминия. Главный критерий используемых материалов - сыпучесть. [20]

Плюс: создание изделий с множеством закрытых полостей, а также объектов с большой площадью поверхности, но малым объемом; практически неограниченная область применения.

Минус: внутренние напряжения в изделии; сфероидизация для некоторых видов сплавов (олово, медь, цинк, свинец); ограничение в использовании материалов с высокой температурой плавления; высокая стоимость оборудования и исходных материалов.

5. Прямое лазерное спекание металлов (DMLS-метод). Оптоволоконные лазеры применяют как нагревательный элемент для спекания порошка. Принцип работы сравним с SLS методом. [21-22]

Плюс: высокое разрешение печати; использование практически металлов и сплавов в виде порошка не ограничено; нет поддержек; повторное использования порошка; отсутствие ограничений по геометрической сложности изделия; высокая точность исполнения; практическое отсутствие механической обработки изделия; создание нескольких изделий одновременно.

Минус: структура более пористая и прочность ниже, чем у готового изделия по сравнению с традиционными методами обработки металла (точение, фрезерование и др.); высокая стоимость оборудования и исходных материалов.

6. Электронно-лучевая плавка (EBM-метод). Исходный материал - порошок чистого металла, связующего и наполнителя. Это материалы для получения каких-либо специфических свойств. Принцип действия основан на использовании управляемого потока электронов, который генерируется электронной пушкой. [23]

Плюс: отсутствие необходимости термообработки изделия после печати; высокая прочность, сопоставимая с коваными изделиями; более высокая скорость построения, чем при других методах; низкая пористость готовых изделий; отсутствие необходимости поддержек.

Минус: высокие энергозатраты; высокая сложность и стоимость оборудования и исходных материалов; необходимость изоляции печатного устройства вследствие высокой интенсивности излучения.

Выводы

Анализ преимуществ и недостатков методов АМ-технологий показал гибкость наиболее востребованных методов аддитивного производства, а также возможности получения конструкций с крайне сложными геометрическими размерами, с внутренними каналами и полостями, потребителями которых являются предприятия авиастроения, промышленной отрасли, медицины и энергетики. Преимущества аддитивных технологий заключается в разнообразии процессов, позволяющих применять их в различных областях производства. Существенным ограничением же является и экономическая составляющая, которая не позволит внедрить аддитивное производство повсеместно.

Несмотря на бум аддитивных технологий, можно отметить ряд причин медленного их внедрения: такие как низкий уровень осведомленности кадров о возможностях и перспективах; отсутствие стандартизации (как технологий, так и материалов) и САПР-моделей, регламентов, техпроцессов; сильная коммерциализация методов аддитивных технологий; отсутствие требуемого количества специалистов по методам аддитивного производства и другие.

Методы аддитивного производства не являются простыми, и для работы требуются специалисты в этой области, привлекая молодых специалистов из различных областей машиностроения, управляющих различных уровней, объединяя усилия, а также благодаря господдержке, возможно решение актуальных задач и быстрое приспособление к изменяющимся условиям в мире аддитивных технологий.

Список литературы

1. Фиговский О.Л. Инновационный инжиниринг – путь к реализации оригинальных идей и прорывных технологий // Инженерный вестник Дона. 2014. №1. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2321

2. Смирнов, В.В., Барзали В.В., Ладнов П.В. Перспективы развития аддитивного производства в российской промышленности // Опыт ФГБОУ УГАТУ. Новости материаловедения. Наука и техника. №2 (14). 2015. С. 23-27
3. Зорин В.А., Полухин Е.В. Аддитивные технологии. Перспективы применения аддитивных технологий при производстве дорожно-строительных машин // Строительная техника и технологии. 2016. №3(119). С. 54-57
4. Шевченко Д.Ю. Аддитивные технологии в машиностроении // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона: Научно-практический журнал Коломенского института (филиала) МГМУ (МАМИ). 2015. № 2 (7). С. 89-97.
5. Сироткин О.С. Современное состояние и перспективы развития аддитивных технологий // Авиационная промышленность. 2015. № 2. С. 22-25.
6. Фиговский О.Л. Нанотехнологии для новых материалов // Инженерный вестник дона. 2012. №3. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/1048
7. Казмирчук К.Н. Отсутствие нормативной базы - одна из основных преград на пути развития аддитивных технологий // Главный механик. 2015. № 9. С. 22-26.
8. 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.
9. Григорьев С.Н., Смуров И.Ю. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом // Инновации. 2013. Т. 10. С. 2-8.



10. Doubenskaia M., Grigoriev S., Zhirnov I., Smurov I., Parametric analysis of SLM using comprehensive optical monitoring // Rapid Prototyping Journal. V.22. № 1. pp. 144-156.
11. Советников Е.И. Оценки развития аддитивных технологий // Технология легких сплавов. 2015. № 3. С. 17-31.
12. Дьячков В.Н., Баринов А.Ю., Никитин К.В. Применение аддитивных технологий в производстве литых изделий // Литейное производство. 2016. № 5. С. 30-32.
13. Литунов С.Н., Слободенюк В.С., Мельников Д.В. Обзор и анализ аддитивных технологий, часть 1 // Омский научный вестник. 2016. № 1 (145). С. 12-17.
14. Аббасов А.Э. Перспективы развития аддитивных технологий // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. 2015. № 5-1. С. 21-26.
15. Юрасёв Н.И. О возможностях развития аддитивных технологий в России // Современная экономика: проблемы и решения. 2015. № 9 (69). С. 72-79.
16. Забелин Б.Ф., Конников Е.А. Экономические аспекты развития аддитивных технологий // Вестник научных конференций. 2015. № 3-3 (3). С. 64-67.
17. Каблов Е.Н. Аддитивные технологии - доминанта национальной технологической инициативы // Интеллект и технологии. 2015. № 2 (11). С. 52-55.
18. Кузнецов П.А., Васильева О.В., Теленков А.И., Савин В.И., Бобырь В.В. Аддитивные технологии на базе металлических порошковых материалов для российской промышленности // Новости материаловедения. Наука и техника. 2015. № 2. С. 4-10.

19. Волосова М.А., Окунькова А.А., Конов С.Г., Котобан Д.В. Аддитивные технологии: от технического творчества к инновационным промышленным технологиям // Техническое творчество молодежи. 2014. № 5 (87). С. 9-14

20. Смирнов В.В., Шайхутдинова Е.Ф. Внедрение аддитивных технологий изготовления деталей в серийное производство // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2013. № 2-2. С. 90-94.

21. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники // Труды МАИ. 2014. № 78. С. 31.

22. 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. pp. 614–618.

23. Порошки избавляют от лишнего
URL:expert.ru/expert/2014/49/poroshki-izbavlyayut-ot-lishnego/ Дата
обращения: 03.05.2016.

References

1. Figovskij O.L. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2014. №1.
URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2321

2. V.V. Smirnov, V.V. Barzali, P.V. Ladnov. Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika. №2 (14). 2015. pp. 23-27.

3. Zorin V.A., Poluhin E.V. Stroitel'naya tekhnika i tekhnologii. 2016. №3 (119). pp. 54-57

4. Shevchenko D.YU. Kompleksnye problemy razvitiya nauki, obrazovaniya i ehkonomiki regiona: Nauchno-prakticheskij zhurnal Kolomenskogo instituta (filiala) MGMU (MAMI). 2015. № 2 (7). pp. 89-97.

5. Sirotkin O.S. Aviacionnaya promyshlennost'. 2015. № 2. pp. 22-25.



6. Figovskij O.L. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2012. №3. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/1048
 7. Kazmirchuk K.N. Glavnyj mekhanik. 2015. № 9. pp. 22-26.
 8. Smurov I.YU., Konov S.G., Kotoban D.V. Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika. 2015. № 2. pp. 11-22.
 9. Grigor'ev S.N., Smurov I.YU. Innovacii. 2013. T. 10. pp. 2-8.
 10. Doubenskaia M., Grigoriev S., Zhirnov I., Smurov I. Rapid Prototyping Journal. V.22. № 1. pp. 144-156.
 11. Sovetnikov E.I. Tekhnologiya legkih splavov. 2015. № 3. pp. 17-31.
 12. D'yachkov V.N., Barinov A.YU., Nikitin K.V. Litejnoe proizvodstvo. 2016. № 5. pp. 30-32.
 13. Litunov S.N., Slobodenyuk V.S., Mel'nikov D.V. Omskij nauchnyj vestnik. 2016. № 1 (145). pp. 12-17.
 14. Abbasov A.EH. Informacionnye tekhnologii. Radioelektronika. Telekommunikacii. 2015. № 5-1. pp. 21-26.
 15. Yurasyov N.I. Sovremennaya ehkonomika: problemy i resheniya. 2015. № 9 (69). pp. 72-79.
 16. Zabelin B.F., Konnikov E.A. Vestnik nauchnyh konferencij. 2015. № 3-3 (3). pp. 64-67.
 17. Kablov E.N. Intellekt i tekhnologii. 2015. № 2 (11). pp. 52-55.
 18. Kuznecov P.A., Vasil'eva O.V., Telenkov A.I., Savin V.I., Bobyr' V.V. Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika. 2015. № 2. pp. 4-10.
 19. Volosova M.A., Okun'kova A.A., Konov S.G., Kotoban D.V. Tekhnicheskoe tvorchestvo molodezhi. 2014. № 5 (87). pp. 9-14.
 20. Smirnov V.V., SHajhutdinova E.F. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva. 2013. № 2-2. pp. 90-94.
 21. Chumakov D.M. Trudy MAI. 2014. № 78. pp. 31.
-



22. Songa J.L., Lia Y.T., Dengb G.L. Journal of Materials Processing Technology, 2007. pp. 614-618.

23. Poroshki izbavlyayut ot lishnego.
URL:expert.ru/expert/2014/49/poroshki-izbavlyayut-ot-lishnego/ Data
obrashcheniya: 03.05.2016.