

УДК 621.01:621.77

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ИННОВАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Андрей Алексеевич Хохлов

студент

Михаил Сергеевич Колдин

кандидат технических наук, доцент

koldinms@yandex.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы вносящихся инновационных аддитивных технологий в сферу науки и техники. Практическое применение и значимость малоосвоенной, но стремительно развивающиеся сферы науки. Приведены и изучены основные методы изготовления детали технологией спекания «слой за слоем», материалы для их выплавки и некоторые особенности. Сделаны соответствующие выводы о перспективах аддитивных технологий и их место в будущем.

Ключевые слова: аддитивные технологии, наука, материалы, технология изготовления, «слой за слоем», машиностроение, пластики, инновации, принтер, деталь, прототип.

В десятилетие науки и технологий, в век инновационного прогресса существует большое количество наукоемких отраслей, которые наряду с изучением нанотехнологий, программированием, роботизацией процесса производства, переходом в виртуальное телепространство, разработок высокоточного земледелия составляют будущее нашей страны.

Одним из перспективных и стремительно вошедших в горизонты высокотехнологичных инновационных процессов являются аддитивные технологии (АТ). Что же представляют собой аддитивные технологии? Это процесс производства детали и заготовок путем наслаения материала, т. е. наложения его «слой за слоем». В качестве материала могут выступать: металл, песок, пластик, гипс, фотополимеры, смола и даже воск. О некоторых материалах и способах их применения мы поговорим чуть позже.

Как уже говорилось выше аддитивные технологии стремительно развиваются из-за чего они распространились почти на все сферы жизни, начиная от пищевых производств до аэрокосмической отрасли [1].

К примеру, в медицине еще в 2008 году был напечатан первый 3Д-протез конечности. Он имел литое строение и собирать его не было необходимости. С использованием стереолитографии в области медицины открылись новые горизонты, позволяющие создавать сердечные клапаны, части суставов и многое другое. Прогресс дошел до таких высот, что удалось изготовить первый 3Д-орган, правда, к сожалению, пока единственный успешный опыт, но в будущем планируют делать органы из искусственных материалов [5].

Аддитивные технологии в машиностроении нашли свое применение в качестве замены металлических деталей, к примеру, пластиковыми. Данные технологии открывают неограниченный потенциал изготовления легких, прочных деталей и конструкций. Помимо этого, отличается сам процесс изготовления детали. Если в традиционных способах процесс изготовления идет по длинному отлаженному пути, затрагивая применение множества станков и взаимодействия людей, а цена ошибки приводит к началу процесса заново, то в 3Д-печати достаточно зайти в программу и внести коррективы.

При работе с 3Д-принтером достаточно одного работника, следящего за процессом, в отличие от группы сотрудников, работающих за разного рода станками. К тому же гораздо выгоднее и целесообразнее изготовить деталь на 3Д принтере, нежели чем прибегать к использованию, того же фрезерного станка [6].

Примечательно, что большинство компаний стремятся снизить затраты на производство, особенно в изготовлении прототипов. В качестве решения этой проблемы отлично выступают аддитивные технологии. Если сравнить процессы изготовления детали на станках и на 3Д-принтере, то можно заметить, что помимо задействования многокоординатных обрабатывающих центров, большая часть материала уходит в отходы или же какая-то часть отправляется на переработку. Тогда как в процессе спекания порошка количество оставшегося материала не превышает 5-6%. Своего рода безотходное производство [2].

Далее рассмотрим самые распространенные методы производства деталей. Выделяют следующие методы:

1. лазерная стереолитография (LSA);
2. послойное наплавление (FDM);
3. селективное (выборочное) лазерное сплавление металлических порошков (SLM);
4. селективное лазерное спекание полимерных порошков (SLS).

Начнем с лазерной стереолитографии. Его основой послужили смолы. Принцип работы заключается в полимеризации смолы, отвертываемым лазерным лучом (рисунок 1,2) [5].

- 1 • Емкость заполняется фотополимерной смолой;
- 2 • Платформа помещается на глубину, равную 0,05-0,15 мм;
- 3 • Включается луч, который прорабатывает очертания заготовки, тем самым вызывая ее затвердевание;
- 4 • Как только первый слой готов, платформа погружается на такую же глубины и процесс идет заново, пока не получится цельная заготовка;
- 5 • По окончании заготовка подвергается воздействию ультрафиолета для закрепления отвердевания.

Рисунок 1 - Шаги работы стереолитографического принтера

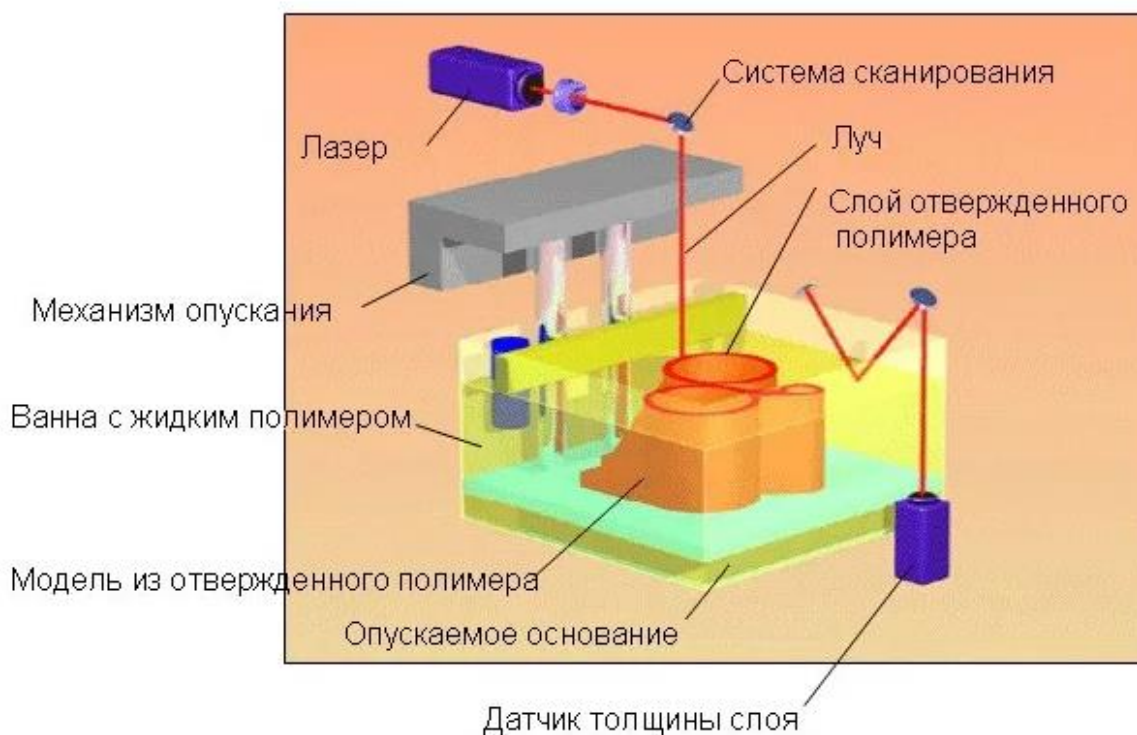


Рисунок 2 – Устройство стереолитографического принтера

Иногда после изготовления детали требуется удалить опорные соединения, служащие поддержкой при изготовлении.

Отметим, что история и степень научной разработанности уходит в конец 80-х годов 20 века, когда компания 3D Systems, разработавшая в 1986 г. уникальную коммерческую стереолитографическую машину, использовала свою разработку трехмерной печати в деятельности, ориентированной на решение задач оборонной промышленности посредством реализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских решений [7].

Однако первые машины были крайне дорогими, что не позволяло пустить их в массовое производство. Сейчас ситуация несколько стала лучше и купить легкий принтер для домашнего пользования стало возможным большинству людей, но крупные промышленные 3Д-принтера по-прежнему сохраняют свою высокую стоимость.

Послойное наплавление – это метод послойного нанесения материала с его последующем затвердеванием. Самые часто применяемые материалы - это пластики ABS и PLA. Связано это с их низкой стоимостью и относительно хорошими характеристиками (рисунок 3).

Вид пластика	ABS	PLA	HIPS	PETG	NYLON	ПОЛИКОРБЕНАТ
Характеристика						
Предел прочности	40 МПа	65 МПа	32 МПа	53 МПа	40-85 МПа	72 МПа
Жесткость	5/10	7.5/10	10/10	5/10	5/10	6/10
Прочность	8/10	4/10	7/10	8/10	10/10	10/10
Максимальная рабочая температура	98°C	52°C	100°C	73°C	80-95°C	121°C
Коэффициент теплового расширения	90 К ⁻¹	68 К ⁻¹	80 К ⁻¹	60 К ⁻¹	95 К ⁻¹	69 К ⁻¹
Плотность	1,04 гр/см ³	1,24 гр/см ³	1,03-1,04 гр/см ³	1,23 гр/см ³	1,06-1,14 гр/см ³	1,2 гр/см ³
Цена за метр, руб						
Легкость печати	5/10	9/10	6/10	9/10	8/10	6/10

Рисунок 3 – Виды пластиков и их характеристики

У PLA отсутствует едкий запах, более того запах издаваемый при его плавлении слегка сладковат, что позволяет использовать его в учебных помещениях. Низкая степень деформации является его преимуществом, однако

при использовании PLA пластика следует включать вентиляторы для быстрого просыхания. Заметным недостатком такого материала является отклеивание углов или деламация [3].

ABS пластик тугоплавок, поэтому при его использовании необходимо подогреваемая платформа, которая позволяет избежать проблем со скручиванием углов. Следует быть осторожным, так как при выплавке больших деталей возможна сильная деформация из-за воздействия высоких температур. Отличительными особенностями является его хорошая, но не самая высокая прочность и крепость, но плохая склеиваемость деталей. Решить этот вопрос несколько поможет каптоновая лента.

В 3Д-печати пластиком используются и другие виды компонентов: PETG, HIPS, Nylon, PC.

Селективное лазерное спекание напоминает стереолитографию. Здесь все так же используется метод послойного нанесения, но уже не смолы, а порошка. Валик, работающий в продольной плоскости, равномерно распределяет часть насыпаемого порошка. Затем инфракрасный лазер, проходящий по нужным участкам, помогает порошку «собраться» в единое целое (рисунок 4). Особенностью данного метода является использование инертного газа – азота, при применении особого рода материалов [6].

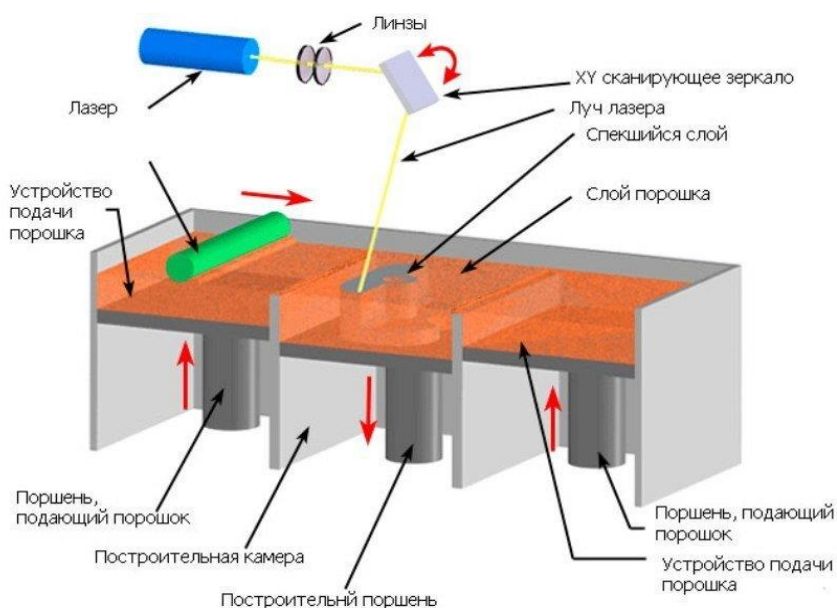


Рисунок 4 – Детали, сделанные селективным лазерным спеканием

Со временем все больше вытесняют классические методы производства деталей - технологии селективного лазерного плавления или SLM. С их помощью можно производить детали пространственных форм любой сложности. Особенностью этой технологии является использование различного рода металлов: меди, алюминия, золота, смеси кобальта и хрома, платины, титана, нержавеющей и инструментальных сталей. Работы по изготовлению детали основываются на математических расчетах в CAD-проектировании, что в свою очередь позволяют создавать как отдельные детали и узлы, так и целые неразборные конструкции, превосходящие по физико-механическим свойствам изделия, выполненные классическим способом. Связанно это с принципом работы (рисунок 5) [4].

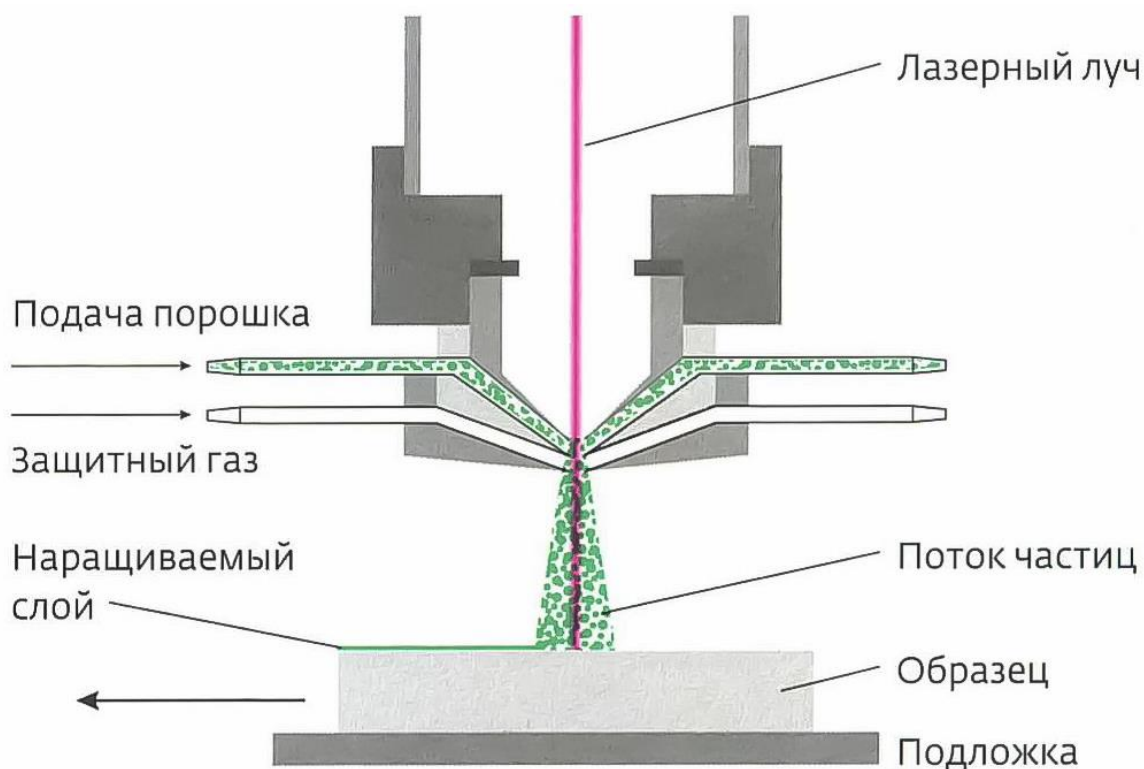


Рисунок 5 – Схема послойной наплавки с подачей порошка, в среде защитного газа

Сплавление происходит следующим образом: заранее разработанная модель детали или заготовки в CAD-системе загружается в программу принтера. После принтер сам настраивает мощность лазера, работы в плоскостях, шаг обработки и его толщину, а также скорость работы. Если разобраться немного поподробнее, то принцип работы здесь идентичен предыдущим вариантам – металл слой за слоем накладывается друг на друга, а

из-за высоких допустимых температур плавления металл получается однородной массы. Это позволяет добиться непористой структуры, и как следствие повышения прочности. Единственное, что требуется от оператора это подбор материала, его загрузка и определение положения деталей на подложке.

Далее в экструдер поступает металлический порошок. Вся работа проводится в среде защитного газа (чаще всего аргон или азот), в который поступает материал. Лазер, воздействием высоких температур проходит слой за слоем по очертаниям заготовки, затем платформа опускается на толщину первого слоя и начинается наплавление следующего. Так и получается готовая деталь.

Затем потоком воздуха сдувают весь лишний порошок, который можно использовать снова, убирают поддерживающие элементы и зашлифовывают. Финальная стадия – чистовая токарная обработка. Выполняется с учетом регламентируемой величины допуска. После деталь проверяют на измерительных приборах для определения точности формы.

Преимущество способа в его экономичности, как это говорилось ранее, широкий функционал изготовления, минимальная постобработка, изготовление любой формы детали, как цельнолитой, так и отдельного узла, нет необходимости в дорогой оснастке, низкий расход материала.

В заключении стоит отметить, что в аддитивные технологии являются инновационным прорывом в областях машиностроения, авиакосмической отрасли, строительстве, дизайне и ряде других сфер. Пускай сейчас это малоосвоенное направление, но, как и любая другая технология со временем она обретет больший масштаб [4].

Прошло не так много времени с активного применения 3Д-технологий печати, но уже сейчас все чаще можно услышать про технологию изготовления «слой за слоем». Помимо этого, преимущества 3Д-печати по сравнению с традиционным методом работы состоит в том, что единичное производство деталей обходится в разы дешевле, а гибкость производства позволяет подстраиваться под любой вид сложности работы. В экономическом плане

затраты на материалы гораздо ниже, что, несомненно, является положительной стороной, ведущей к снижению затрат компаний.

В отличие от механических станков, стоящий в огромных цехах, в 3Д-печати не требуется большого количества числа работников и производственных помещений, а из осваиваемых навыков достаточно научиться проектированию в специальных программах, по типу 3D Builder или SketchUpFree. В условиях единичного производства прототипных деталей аддитивные технологии занимают высокую степень возможностей.

Список литературы:

1. Тенденции развития инженерного обеспечения в сельском хозяйстве // Завражнов А.И., Бобрович Л.В., Ведищев С.М., Гордеев А.С., Завражнов А.А., Ланцев В.Ю., Манаенков К. А., Михеев Н.В., Соловьев С.В., Федоренко В.Ф., Щербаков С.Ю. / Санкт-Петербург: Лань. 2021. 321 с.
2. Головков В. Г., Пашко С. А. Аддитивные технологии в России // Управление качеством. 2017. № 9. С. 43-48. EDN YWYSRF.
3. Анализ порошков алюминиевых сплавов, изготовленных распылением расплавов и предназначенных для производства изделий методами аддитивных технологий // А.В. Гаршев, Д.А.Козлов, П.В.Евдокимов, Я.Ю.Филиппов, Н.К.Орлов, В.И.Путляев, А.В.Четвертухин, А.К.Петров // Материаловедение. 2018. 12-16 с.
4. Алимов К.Г., Алимова Г.К. Аддитивные технологии в земледелии // АгроСнабФорум. 2016. 52-55 с.
5. Хубаева А. Е., Бородкина С. В., Колдин М. С. Применение САД-систем при проектировании деталей машин на примере пакета КОМПАС-3D // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 2. EDN: ZSZRGL
6. Костин М. М., Колдин М.С. Система автоматизированного проектирования в автомобилестроении // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, Мичуринск-наукоград, 26-28 октября 2022 года /

Под общей редакцией И.П. Криволапова. Мичуринск-наукоград: Мичуринский государственный аграрный университет. 2022. С. 123-127. EDN: ICROZF

7. Хубаева А. Е., Бородкина С.В., Колдин М.С. САПР в компьютерно - интегрированном производстве (КИП) // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 2. EDN: UDJEBZ

UDC 621.01:621.77

ADDITIVE TECHNOLOGIES: AN INNOVATIVE EFFECT IN INDUSTRY

Andrey Al. Khokhlov

student

Mikhail S. Kolyadin

candidate of technical sciences, associate professor

koldinms@yandex.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Annotation. The article discusses the issues of innovative additive technologies being introduced into the field of science and technology. The practical application and importance of a little-developed, but rapidly developing field of science. The main methods of manufacturing parts by sintering technology "layer by layer", materials for their smelting and some features are presented and studied. Relevant conclusions have been drawn about the prospects of additive technologies and their place in the future.

Keywords: additive technologies, science, materials, manufacturing technology, "layer by layer", mechanical engineering, plastics, innovations, printer, part, prototype.

Статья поступила в редакцию 03.05.2024; одобрена после рецензирования 13.06.2024; принята к публикации 27.06.2024.

The article was submitted 03.05.2024; approved after reviewing 13.06.2024; accepted for publication 27.06.2024.