



АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



Выполнил: Назаров А.В., пдо
МБУДО «ГЦДТТ им. В.П. Чкалова»

Аддитивные технологии - это метод создания физических объектов из цифровых моделей путем добавления или изменения материалов слой за слоем. Это противоположно субтрактивному производству, при котором объект создается путем вырезания цельного куска материала до тех пор, пока не будет готов конечный продукт.

Технически, аддитивное производство может относиться к любому процессу, в котором продукт создается путем наращивания чего-либо, например, формования, но обычно это относится к 3D-печати.

Аддитивное производство впервые было использовано для разработки прототипов в 1980-х годах - эти объекты обычно не были функциональными. Этот процесс был известен как быстрое прототипирование, потому что он позволял людям быстро создавать масштабную модель конечного объекта без типичного процесса настройки и затрат, связанных с созданием прототипа. По мере совершенствования аддитивного производства его применение расширилось до быстрого изготовления оснастки, которая использовалась для создания пресс-форм для конечных продуктов. К началу 2000-х годов аддитивное производство стало использоваться для создания функциональных изделий. Совсем недавно такие компании, как Boeing и General Electric, начали использовать аддитивное производство в качестве неотъемлемой части своих бизнес-процессов. В России и мире с каждым годом увеличивается количество деталей, которые изготавливаются с применением аддитивных технологий, как в высокотехнологичных корпорациях, так и в маленьких компаниях.



Как это работает?

Для создания объекта с использованием аддитивного производства, сначала необходимо создать модель с помощью программного обеспечения автоматизированного проектирования (САПР) или путем сканирования объекта, который планируется воспроизвести с помощью 3D-принтера. Затем программное обеспечение для подготовки к печати преобразует проект в послойную структуру, которой будет следовать машина для аддитивного производства. Послойный проект отправляется на 3D-принтер, который создает деталь или заготовку. В аддитивном производстве используется широкая номенклатура материалов: полимеры, металлы, керамика. Если вы найдете способ локально соединить две части, вы можете изготовить эту деталь с помощью 3D-печати.

В зависимости от выбранной технологии и размера объекта, процесс печати может занимать от нескольких часов до нескольких дней.

На данный момент существует более 40 различных технологий аддитивного производства, которые подразделяют по классу и физическому принципу работы, материалу и размерам формируемых деталей, точности и скорости 3D-печати, стоимости и области практического применения. По международным и российским стандартам (ГОСТ Р 57558-2017 / ISO/ASTM 52900:2015) выделяют 7 классов технологий:

- Экструзия материала / Material Extrusion;
- Фотополимеризация в ванне / Vat Photopolymerization;
- Струйное нанесение связующего / Binder Jetting;
- Струйное нанесение материала / Material Jetting;
- Синтез на подложке / Powder Bed Fusion;
- Прямой подвод энергии и материала / Direct Energy Deposition;
- Листовая ламинация / Sheet Lamination.

Далее будет дана общая информация по каждому из классов. Более подробную информацию по конкретным технологиям и их практическому применению можно найти в нашей **базе знаний**.

ME Material Extrusion



Полимеры
PLA, ABS, PETG, TPU, PC,
PA12, PEEK



Размеры детали (XYZ)
200 мм – 1 000 мм



Точность
 $\pm 0.5\%$
min ± 0.5 мм

Примеры изделий



К классу «Экструзия материала» относятся:

- **FFF (Fused Filament Fabrication) / FDM (Fused Deposition Modeling)** – Построение послойным направлением нити/филаментом;
- **FGF (Fused Granulate Fabrication) / Pellet Extrusion Printing / Fused Pellet Fabrication** – Построение послойным направлением гранул;
- **CFC (Continuous Fiber Coextrusion) / Continuous Fiber Material Extrusion** – Построение послойным непрерывным направлением волокна (угле-, стекловолокна).

Формирование изделия происходит путем выдавливания термопласта в виде нити/филамента (FFF) или гранул (FGF) через нагреваемый экструдер. Доступно большое количество полимеров для 3D-печати: натуральных (PLA), инженерных (ABS, ASA, PETG, TPU), растворяемых (HIPS, PVA), огнестойких (ULTEM™) и металлонаполненных. Благодаря низкой стоимости 3D-печати и широкой линейке материалов, технология FFF/FGF активно используется во многих отраслях науки и техники: при разработке прототипов и мелкосерийных деталей, технологической оснастке для механообработки, литья, штамповки и производства композитов, на сборочной линии для создания специальных шаблонов и инструментов.

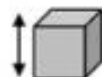
VP Vat photo- polymerization



Фотополимеры
Керамика



Размеры детали (XYZ)
100 мм – 1 000 мм



Точность
 $\pm 0.5\%$
min ± 0.15 мм

Примеры изделий



К классу «Фотополимеризация в ванне» относятся:

- **SLA (Stereolithography) – Лазерная стереолитография;**
- DLP (Digital Light Processing) – Цифровая светодиодная проекция;
- CDLP (Continuous Digital Light Processing) – Непрерывная цифровая светодиодная проекция.

В данном классе деталь создается благодаря химической реакции в жидком полимере (смоле) от воздействия лазера (SLA) или световой проекции (DLP, CDLP). Существует несколько типов смол: инженерные для прототипов и технологической оснастки, а также газифицируемые для литейного производства. Технология отличается высоким качеством поверхности конечных деталей.

BJ
Binder
Jetting



Песок / Гипс
Полимеры (PMMA)
Металлы (MBJ)



Размеры детали (XYZ)
200 мм – 2 000 мм



Точность
min ± 0.3 мм

Примеры изделий



Класс и единственная технология в этом классе, «Струйное нанесение связующего» позволяет создавать детали из различных материалов: песок/гипс, полимеры (PMMA) и металлы (технология MBJ). Модель формируется путем послойного склеивания порошковых композиций. Песчаные композиции используются при выращивании форм для литья в холодно-твердеющие смеси (ХТС), полимерные порошки – для различных прототипов и газифицируемых моделей, металлические композиции – для деталей оснастки и малонагруженных деталей.

MJ
Material
Jetting



Полимеры
Металлы (NPJ)



Размеры детали (XYZ)
100 мм – 500 мм



Точность
 ± 0.1 %
min ± 0.05 мм

Примеры изделий



К классу «Струйное нанесение материала» относятся:

- **MJ (Material Jetting) – Струйное нанесение материала;**
- NPJ (Nano Particle Jetting) – Напыление наночастиц;
- DOD (Drop On Demand) – Местное напыление капель.

Деталь формируется путем струйного нанесения различных материалов. Для данного процесса возможно использование большого количества полимеров как в чистом, так и смешанном виде, что позволяет создавать разноцветные или прозрачные полимерные детали. Данное преимущество активно используется в промышленном дизайне при разработке опытных образцов продукции и медицине для создания шаблонов проведения операций. Высокая точность и низкая шероховатость конечных деталей позволяют создавать технологическую оснастку для мелкосерийного литья полимеров. Также, возможно выращивание высокоточных выплавляемых моделей для литья по ЛВМ при использовании жидких полимеров на основе воска.

PBF
Powder Bed
Fusion



Полимеры (PA, CAST)
Металлы (Al, Ti, Fe, Ni,
Co, Cu)



Размеры детали (XYZ)
100 мм – 600 мм



Точность
min ± 0.1 мм

Примеры изделий



К классу «Синтез на подложке» относятся:

- **SLS (Selective Laser Sintering) – Селективное лазерное спекание;**
- MJF (Multi Jet Fusion) – Многоструйный синтез;
- **SLM (Selective Laser Melting) / LBM (Laser Beam Melting) / DMLM (Direct Metal Laser Melting) – Селективное лазерное сплавление;**
- EBM (Electron Beam Melting) – Электронно-лучевое сплавление.

В зависимости от типа процесса, деталь формируется выборочным сплавлением (SLM, EBM) или спеканием (SLS, MJF) порошка в заранее сформированном слое. SLM является самой распространенной из аддитивных технологий для производства высокоточных металлических деталей, активно используется в аэрокосмической, автомобильной, инструментальной промышленности и медицине. Типовые детали – опытные и серийные сложнопрофильные детали, технологическая оснастка, имплантаты. SLS также является одной из распространенных технологий аддитивного производства полимерных деталей. Конечные детали отличаются высокой прочностью и равномерными физическими свойствами.



Металлы
Al, Ti, Fe, Ni, Cu

Размеры детали (XYZ)
200 мм – 2 000 мм

Точность
min ± 0.5 мм

Примеры изделий

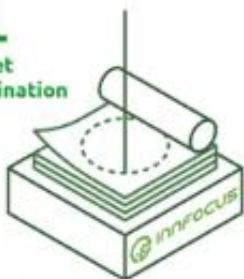


К классу «Прямой подвод энергии и материала» относятся:

- LENS (Laser Engineering Net Shape) / Powder Laser Energy Deposition – Плавка путем создания формы или Порошковая наплавка лазером;
- EBAM (Electron Beam Additive Manufacturing) / Wire Electron Beam Energy Deposition – Электронно-лучевое аддитивное производство или Проволочная наплавка электронным лучом;
- Wire Electric Arc Energy Deposition – Проволочная наплавка электрической дугой;
- Wire Plasma Arc Energy Deposition – Проволочная наплавка плазменной дугой;
- Wire Laser Beam Energy Deposition – Проволочная наплавка лазерным лучом;
- Coldspray – Холодное газодинамическое напыление;
- Friction Energy Deposition – Наплавка трением.

Деталь создается путем подвода энергии и материала в зону формирования. В зависимости от типа технологии, металл сплавляется/соединяется лазерным или электронным лучом, электрической или плазменной дугой, кинетической энергией или трением. Сырьем выступает металлический порошок или проволока. Технология отличается высокой скоростью и низкой стоимостью 3D-печати. В основном, используется для производства заготовок, в дальнейшем, конечные детали получают методом механической обработки.

SL
Sheet
Lamination



Бумага (LOM)
Полимеры (PSL)
Металлы (UAM)



Размеры детали (XYZ)
200 мм – 1 000 мм



Точность
min ± 0.1 мм

Примеры изделий



К классу «**Листовая ламинация**» относятся:

- LOM (Laminated Object Manufacturing) – Производство ламинированных изделий;
- PSL (Plastic Sheet Lamination) – Пластиковое листовое ламинирование;
- UAM (Ultrasonic Additive Manufacturing) – Ультразвуковое аддитивное производство.

В основе технологии – соединение листового материала, контур детали получается лазерной или механической резкой на каждом слое построения. Основное преимущество состоит в возможности использования листов из разных материалов и производства биметаллических изделий (UAM).