

Основные понятия.

Что такое аддитивное производство (АП).

Термин, который в настоящее время всем знаком и широко известен. В общем, под аддитивными технологиями понимают технологии, которые позволяют изготавливать изделия за счет послойного синтеза, или послойного выращивания изделий по цифровой 3D модели.

Организацией **ASTM International** (American Society for Testing and Materials), которая занимается разработкой технических стандартов для широкого спектра материалов, изделий, систем и услуг, аддитивные технологии определены как «process of join-ing materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing technologies» («процесс объединения материала с целью создания объекта из данных 3D-модели, как правило, слой за слоем, в отличие от «вычитающих» производственных технологий»).

Под «вычитающими» -субтрактивными технологиями подразумеваются технологии механического удаления материала из массива заготовки.

Стандарт РФ ГОСТ Р 57558-2017 определяет **аддитивное производство** (АП - аддитивный технологический процесс) (additive manufacturing) как процесс изготовления деталей, который основан на создании физического объекта по электронной геометрической модели путем добавления материала, **как правило**, слой за слоем, в отличие от вычитающего (субтрактивного) производства (механической обработки) и традиционного формообразующего производства (литья, штамповки).

Оговорка «**как правило**» весьма существенна, так как дальнейшее развитие технологий возможно позволит производить наращивание слоев не только послойно, но и одновременно с разных сторон или по всему объему.

Например множество компаний со всего мира проводит эксперименты по 3D-печати биологических образцов в условиях микрогравитации. Одна из них — это российская 3D Bioprinting Solutions (владелец — компания «ИНВИТРО»), разработавшая принтер для печати органов и тканей «Органавт». Особенностью устройства является то, что, в отличие от обычных моделей, где ткань создается послойно путем наложения клеток друг на друга, «Органавт» рассчитан на работу в невесомости и печатает ткань сразу с нескольких сторон. Создается магнитное поле заданной формы, и клетки левитируют в жидкости, не взаимодействуя с субстратом. Такое формативное производство позволяет создавать ткани только с помощью клеточного материала, без каркаса. В ходе прошедшего на МКС эксперимента космонавт Олег Кононенко напечатал 12 органов — это щитовидные железы мыши и человеческие хрящи. Сейчас проводится их тестирование. (<https://hi-news.ru>)

Таким образом, чтобы технология могла называться аддитивной необходимо выполнение трех основных условий:

- должно выполняться добавление материала и его **слияние**
- добавление материала должно происходить **по имеющейся 3D виртуальной модели**

- добавление материала должно происходить **послойно**.

В отличие от традиционных технологий изготовления деталей методом вычитания материала из заготовки, использование аддитивных технологий подразумевает построение детали путем добавления материала 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. Мировыми лидерами в области аддитивных технологий на сегодняшний день являются США, занимающие более 50% рынка.

Этапы аддитивного производства

Какие же этапы включает в себя производство имеющее право называться аддитивным?

Под термином аддитивное производство понимается спектр технологий, которые способны на основе данных о виртуальных моделях твердых тел изготавливать физические модели в результате быстрых и легких производственных процессов. Данные моделирования разбиваются на серии данных о двумерных сечениях конечной толщины. Затем эти данные загружают в машины АП, при необходимости объединяя их, чтобы они все вместе последовательно слой за слоем добавляли материал, в результате формируя изделия на физическом уровне. Следовательно, машины АП абсолютно точно воспроизводят геометрические параметры детали без необходимости регулировки и настройки дополнительных производственных процессов. Поэтому с полным правом мы можем сказать, что изготовление изделий на машинах АП это процесс по принципу «строишь то, что видишь», который имеет особенно высокую ценность при изготовлении изделий сложной геометрической формы. Этот основной принцип заложен в конструкцию почти всех машин АП с вариациями в каждой технологии, обусловленными методами, используемыми для создания слоев и склеивания их вместе.[\[1\]](#)

Сам процесс аддитивного производства состоит из 8 этапов

Этап 1. Проектирование в среде САПР

Изготовление любых деталей с использованием АП должно начинаться с создания виртуальной модели с помощью специального программного обеспечения, которое полностью описывает геометрическую форму и размеры внешней поверхности изделия. Это может включать использование практически любого профессионального программного обеспечения САПР для твердотельного моделирования, но в любом случае на выходе нужно получить трехмерное представление твердого тела или его поверхности.

Этап 2. Преобразование в STL-файлы

Почти каждая машина АП принимает формат STL (Stereo Lithography) файлов, которые стали стандартом де-факто, и в настоящее время почти каждая САПР может выводить

такие файлы в этом формате. В таких файлах описаны внешние замкнутые поверхности изначальной САПР-модели, они формируют основу для расчета слоев.

Этап 3. Перенос STL-файла в машину АП и манипулирование этими файлами

STL-файл с описанием изделия передается в машину АП. Здесь производятся некоторые общие манипуляции с файлом, исправление размеров, позиционирование и ориентация для изготовления изделия.

Этап 4. Настройка машины

Перед началом изготовления машину АП нужно правильно настроить. В установках нуждаются параметры изготовления, например пределы использования материала, источник энергии, толщина слоя и т.д.

Этап 5. Изготовление

Изготовление изделия представляет собой большей частью автоматизированный процесс, поэтому машина способна выполнять его практически без контроля оператора. Необходим только поверхностный мониторинг работы машины в отдельных случаях, чтобы не произошло ошибки, например закончился материал для печати, отказал источник питания или программное обеспечение и т.д.

Этап 6. Извлечение изделия

После завершения изготовления нужно извлечь изделие. Для этого иногда требуется провести некие манипуляции с машиной, в которую встроены блокировки безопасности, чтобы обеспечить, например, снижение температуры или отсутствие активно движущихся частей.

Этап 7. Последующая обработка

После извлечения изделия из машины может потребоваться его дополнительная очистка перед использованием. На этом этапе изделия еще могут не набрать нужную прочность или в них остаются вспомогательные поверхности, которые должны быть удалены. Таким образом, на эти работы часто требуются время и тщательная ручная обработка опытным оператором. Этот этап называется этапом постобработки. Она бывает трех типов: термическая, механическая и термомеханическая. Термическая постобработка снимает часть остаточных напряжений и иногда изменяет структуру зерна. При механической постобработке удаляется опорная конструкция, а также делаются необходимые отверстия. Термомеханическая постобработка напоминает горячее изостатическое прессование (HIP), при котором происходит уменьшение пористости изделия.

Этап 8. Использование

В некоторых случаях детали уже могут быть готовы к использованию. В других случаях требуется дополнительная обработка перед эксплуатацией. Например, могут потребоваться грунтовка и покраска для создания нужной текстуры поверхности и финишной обработки. Обработка может быть трудоемкой и длительной, если требования к конечному продукту очень высоки. Также по техническим условиям на изделие отдельные детали должны быть собраны вместе с другими механическими или электронными компонентами, чтобы сформировать конечную модель или продукт.

К вопросу о терминологии

Для технологий аддитивного производства существует несколько распространенных обозначений.

RP - быстрое прототипирование (Rapid Prototyping)

RM – быстрое производство (Rapid Manufacturing)

3DP – 3D печать (3DPrinting)

Это связано с различием в представлении цели данного процесса и механизма.

Изделия, получаемые с помощью аддитивных технологий, можно разделить на две основные группы: изделия-прототипы и изделия конечного потребления.

К первым относятся макеты зданий, деталей, узлов. Их используют в качестве презентационных материалов, для оценки внешнего вида и функциональности, проверки взаимодействия отдельных деталей в узле т.п. Термин быстрое прототипирование (RP) стал названием процесса изготовления подобных предметов, поскольку технология изначально создавалась для улучшения или замены той или иной модели изделия (прототипа). При проектировании изделия прототипирование является сложным, утомительным и дорогостоящим процессом. RP предназначено для ускорения этого процесса

Значительное улучшение точности изготовления и свойств материалов позволили включить эту технологию в тестирование, изготовление оснастки, машинное производство. Однако этот термин считается устаревшим, так как включает в себя фактически только часть АТ.

Ко второй группе относятся изделия, готовые к применению, иногда после дополнительной обработки: компоненты конструкций, ювелирные изделия, медицинские имплантаты, детали декора и т.п.

Термин RM как раз и относят к такому виду методов. Когда в результате аддитивного процесса мы получаем готовую деталь более быстрым, более дешевым способом, чем традиционное производство.

Термин 3DP появился в связи с тем, что технологии АП по сути своей являются технологиями изготовления детали путем послойного наложения материала поступающего из печатающей головки. Один из АТ методов возник как применение струйной печати к созданию деталей. Процесс 2D печати всем знаком по работе принтеров в наших офисах и дома, поэтому термин 3D печать просто стал констатацией факта перехода от плоской к 3х мерной объемной печати

ASTM рекомендованы два основных термина – Additive Manufacturing (AM), Additive Fabrication (AF), а также равнозначные по смыслу – Additive Processes, Additive Techniques, Additive Layer Manufacturing, Layer Manufacturing и Freeform Fabrication. Все они могут быть переведены как «аддитивные технологии», их также можно называть технологиями послойного синтеза.

Классификация аддитивных технологий может быть произведена различными способами. Об этом далее

Классификация АТ и действующие в РФ стандарты

По классификации ASTM в версии 2012 г. аддитивные технологии разделены на 7 категорий:

1. **Material Extrusion** – «выдавливание материала» или послойное нанесение расплавленного строительного материала через экструдер;

2. **Material Jetting** – «разбрызгивание (строительного) материала» или послойное струйное нанесение строительного материала;
3. **Binder Jetting** – «разбрызгивание связующего» или послойное струйное нанесение связующего материала;
4. **Sheet Lamination** – «соединение листовых материалов» или послойное формирование изделия из листовых строительных материалов;
5. **Vat Photopolymerization** – «фотополимеризация в ванне» или послойное отверждение фотополимерных смол;
6. **Powder Bed Fusion** – «расплавление материала в заранее сформированном слое» или последовательное формирование слоев порошковых строительных материалов и выборочное (селективное) спекание частиц строительного материала;
7. **Directed energy deposition** – «прямой подвод энергии непосредственно в место построения» или послойное формирование изделия методом внесения строительного материала непосредственно в место подвода энергии.