

способности льняного волокна с помощью ультразвука // Научн. тр. молодых ученых КГТУ. – 2010, № 11. С. 32...36

4. Гребенкин, А. Н. Взаимосвязь структуры, свойств и технологии диспергирования лубоволокнистого сырья в ультразвуковых и гидродинамических полях: Дис....докт. техн. наук. – СПб., 2003.
5. Сергеев, К. В., Жуков, В. И. Использование ультразвука в процессе получения льняной пряжи мокрым способом // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2011, №2(27). С. 20...22.
6. Хмелев, В. Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В. Н. Хмелев, А. Н. Сливин, Р. В. Барсуков, С. Н. Цыганок, А. В. Шалунов; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.

## 4.9 АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.925.84 : 655.222.343

### ОБЗОР АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ

*Савицкий В.В., доц., Голубев А.Н., ст.преп., Быковский Д.И., маг.*

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье выполнен обзор современных аддитивных технологий, в том числе технологий 3D-печати, находящихся применение для решения инженерных задач. Рассмотрены вопросы терминологии и классификации аддитивных технологий. Выявлены технологии, получившие наибольшее распространение в машиностроительных отраслях.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, модельные материалы, послойное добавление материала, методы фиксации материала.

Аддитивные технологии (Additive Manufacturing, AM) – новаторская технологическая концепция, активно разрабатываемая во всех высокоразвитых странах со второй половины XX века. Принцип заключается в том, что изделие создается при помощи послойного добавления материала различными способами, например, наплавлением или напылением порошка, жидкого полимера, композитного материала [1].

Вопрос терминологии рассматривался в рамках деятельности организации ASTM International (American Society for Testing and Materials), занимающейся разработкой технических стандартов для широкого спектра материалов, изделий, систем и услуг. В стандарте ASTM F2792.1549323-1 [2] аддитивные технологии определены как «process of joining 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» технологиями подразумевается механообработка – удаление («вычитание») материала из массива заготовки. Таким образом, сообщество американских инженеров прибегло к понятию (subtractive) «вычитание», чтобы определить новое понятие (additive) «добавление», т. е. в самом определении «аддитивные технологии» трактуются как противоположность технологиям механообработки. Но не все технологии соединения материала, а только те, которые создают объект по данным 3D-модели или из CAD-данных, т. е. на основе трёхмерной компьютерной модели. Это второе ключевое слово – CAD. Третье ключевое слово здесь – «послойно».

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.

В международном сообществе так же, как и в Беларуси, устоявшейся классификации аддитивных технологий пока не принято. Различные авторы подразделяют их по следующим методам:

- формирование слоя: Bed deposition, Direct Deposition;
- фиксация слоя: фотополимеризация, сплавление, склеивание (рис. 2);
- применяемые строительные (модельные) материалы (жидкие, сыпучие, полимерные, металлопорошковые и т. д.) (рис. 1);
- ключевая технология (лазерные, нелазерные) (рис. 3);
- подвод энергии для фиксации слоя построения (с помощью теплового воздействия, облучения ультрафиолетовым или видимым светом, посредством связующего состава и т. д.) [3].

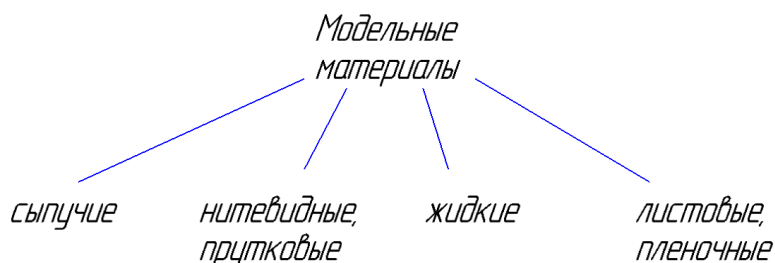


Рисунок 1 – Строительные (модельные) материалы

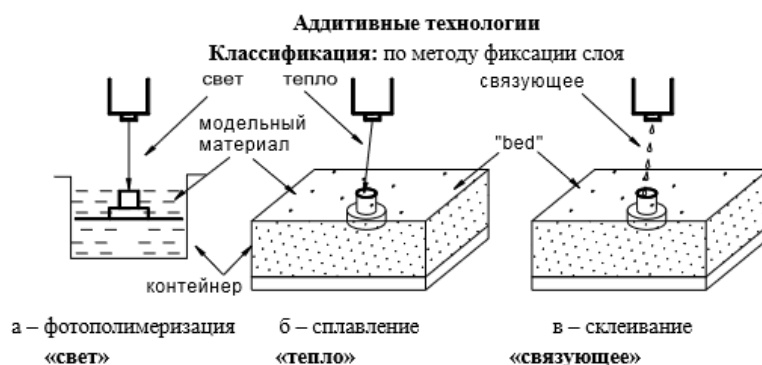


Рисунок 2 – Методы фиксации (отверждения) материала в слое построения модели



Рисунок 3 – Классификация по ключевой технологии

Рассмотрим основные технологии.

#### 1. Технология Material Extrusion.

К данной категории относится, например, FDM (Fused Deposition Modeling).

Модель при FDM-печати создается послойно. Для изготовления очередного слоя термопластичный материал нагревается в печатающей головке до полужидкого состояния и выдавливается в виде нити через сопло с отверстием малого диаметра, оседая на поверхности рабочего стола (для первого слоя) или на предыдущем слое, соединяясь с ним. Головка перемещается в горизонтальной плоскости и постепенно «рисует» нужный слой — контуры и заполнение между ними, после чего происходит вертикальное

перемещение (чаще всего опусканием стола, но есть модели, в которых приподнимается головка) на толщину слоя и процесс повторяется до тех пор, пока модель не будет построена полностью [3].

#### 2. Технология Material Jetting.

Примером технологии Material Jetting может быть технология PolyJet. Модельный материал – обычно фотополимер или воск, подается в зону построения через многоструйную головку. В технической литературе эту технологию иногда называют как Multi Jetting Material. Эта технология применяется в принтерах Objet (Израиль) [3].

#### 3. Технология Binder Jetting.

К этой категории относятся струйные технологии или Ink-Jet-технологии, в которых, в отличие от технологии Material Jetting, в зону построения впрыскивают не модельный материал, а связующий реагент [3].

#### 4. Технология Sheet Lamination.

К категории Sheet Lamination относят технологии, использующие в качестве строительного листового материал в виде полимерной пленки, металлической фольги, листов бумаги и т. д. Примером может быть технология UAM (Ultrasonic Additive Manufacturing, Fabrisonic). Сущность технологии заключается в том, что тонкие металлические пластины сваривают с помощью ультразвука и затем «лишний» металл удаляют фрезерованием. Эта технология представляет собой сочетание аддитивной и «субтрактивной» технологий [3].

#### 5. Технология Vat Photopolymerization.

К данной категории относят технологии, в которых используют жидкие модельные материалы – фотополимерные смолы, например, SLA-технология [3].

В машиностроительных отраслях наиболее распространенными АМ-технологиями являются:

- SLA, Stereo lithography Apparatus – отверждение слоя фотополимера посредством лазерного луча;
- SLS, Selective Laser Sintering – послойное лазерное спекание порошковых материалов, в частности, полимеров;
- DMF, Direct Metal Fabrication – разновидность SLS-технологии, послойное лазерное спекание металлопорошковых композиций; иногда также называют DMLS, Direct Metal Laser Sintering;
- SLM, Selective Laser Melting – разновидность SLS-технологии, послойное лазерное плавление металлопорошковых композиций;
- DLP, Digital Light Procession – засветка слоя фотополимера с помощью цифрового прожектора;
- Poly-Jet – нанесение слоя фотополимера через многосопловую головку и его отверждение посредством засветки ультрафиолетовой лампой;
- FDM, Fused Deposition Modeling – послойное наложение расплавляемых нитевидных полимеров;
- Ink-Jet – отверждение слоя порошкового материала путем нанесения связующего состава через многосопловую головку (по типу струйного 3D- принтера).

Используют и другие технологии, но наиболее популярны технологии SLA и SLS (и их разновидности), как технологии, дающие наилучшую точность и имеющие разнообразные сферы применения [3].

Область использования аддитивных технологий постоянно расширяется, появляются новые технологии, таким образом, задача их исследования и изучения является актуальной в настоящее время.

#### Список использованных источников

1. Аддитивные технологии: современное состояние и перспективы : [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://old.research.bsu.by/wp-content/uploads/2015/06/Филатов-СА-Аддитивные-технологии.pdf>. Дата доступа: 20.04.2018.
2. ASTM F2792.1549323–1 Стандартизованные термины для технологий аддитивного производства (ASTM F2792.1549323–1) (Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies).
3. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении. Пособие для инженеров / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – Москва : ГНЦРФФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.