

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра технологии машиностроения, металлообрабатывающих
станков и комплексов

ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ

Методические указания

Составитель
К. В. Марусич

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 15.03.01 Машиностроение и 27.03.04 Управление в технических системах

Оренбург
2020

УДК 621:004.4(076.5)
ББК 34.5-5-05я7
Т38

Рецензент - доцент В. Б. Дудоров

Т38 **Технологии быстрого прототипирования изделий** : методические указания / составитель К. В. Марусич; Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург: ОГУ, 2020. - 16 с.

В методических указаниях представлены сведения об основных видах аддитивных процессов и технологий. Даны рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы над индивидуальным заданием.

Методические указания предназначены для обучающихся по направлениям подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 15.03.01 Машиностроение и 27.03.04 Управление в технических системах, а также может быть рекомендовано для обучающихся технологических и конструкторских направлений подготовки машиностроительных вузов.

Методические указания подготовлены в рамках проектов по совершенствованию содержания и технологий целевого обучения студентов в интересах организаций оборонно-промышленного комплекса.

УДК 621:004.4(076.5)
ББК 34.5-5-05я7

© Марусич К. В.,
составление, 2020
© ОГУ, 2020

Содержание

Введение	4
1 Процессы на основе жидких материалов.....	6
2 Процессы на основе использования расплавов.....	7
3 Процессы на основе использования порошковых материалов	10
4 Процессы на основе сплошных материалов.....	12
5 Контрольные вопросы для самопроверки.....	14
6 Содержание индивидуального задания.....	15
Список использованных источников	16

Введение

Задача быстрого прототипирования, т. е. получения прототипа изделия в максимально короткие сроки, остается одной из основных задач практического применения АМ-технологий («Additive Manufacturing» - Аддитивное производство). В данном случае понятие «прототип» довольно широкое. На этапе выполнения научно-исследовательской работы необходимо быстро получить прообраз изделия. На этом этапе важны отработка геометрии детали, оценка эргономических качеств, проверка собираемости и правильность компоновочных решений. Поэтому «быстрое» изготовление детали по «обходной технологии» позволяет существенно сократить сроки разработки изделия. Под прототипом понимают и модель, иногда масштабную, предназначенную для каких-либо испытаний или предварительной проверки функциональности.

АМ-технологии в качестве технологий «быстрого прототипирования» применяют главным образом на начальной стадии проектов – для воспроизведения геометрического образа изделия. На этой стадии обычно пренебрегают фактурой поверхности, прочностными и другими свойствами материала, выбирая из доступных модельных материалов наиболее подходящий для целей визуализации.

Для целей прототипирования чаще всего применяют недорогие 3D-принтеры. Разнообразие технологий позволяет выбрать наиболее эффективное решение с точки зрения баланса «цена – качество», чему способствовало существенное снижение цен на принтеры среднего уровня и расходные материалы при одновременном повышении надежности машин и качества «выращенных» изделий.

Среди фирм-производителей наиболее популярных принтеров для прототипирования следует назвать такие фирмы, как:

- Stratasys – принтеры серий Mojo 3D, Print SE, Dimension, в которых применена технология FDM, а также принтеры, работающие по технологии PolyJet или MJM – Objet24, Objet30, ObjetEden, ObjetConnex, Objet260;

- 3D Systems – принтеры ProJet® 360, ProJet® 4500, ProJet® 460Plus, ProJet® 660Pro, ProJet® 860Pro, в которых применяется технология Binder Jetting с нанесением отверждающего состава на порошковый модельный материал;

- Envisiontec, принтеры серии Ultra и др.

Настоящие методические указания предназначены для ознакомления обучающихся с различными видами аддитивных процессов и технологий, распространённых в настоящее время во множестве отраслей промышленности. Приведены рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы над индивидуальным заданием.

Методические указания предназначены для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 15.03.01 Машиностроение и 27.03.04 Управление в технических системах.

Данные методические указания способствуют формированию компетенции, направленной на способность принимать участие в выборе методов и средств быстрого прототипирования изделий машиностроительных производств, осваивать средства быстрого прототипирования.

1 Процессы на основе жидких материалов

Отличительной особенностью таких процессов является использование исходных материалов в жидком состоянии [1-4]. В большинстве случаев их достоинством является высокое качество поверхностей получаемых деталей, что объясняется гладкостью жидкой поверхности в устойчивом состоянии. Однако для получения готовых изделий эти материалы должны каким-либо способом преобразовываться в твердое состояние, что ограничивает их использование. В настоящее время известны следующие процессы, основанные на использовании жидких материалов:

- процесс стереолитографии (Stereolithography);
- процесс, основанный на использовании маски (Solid Ground Curing);
- процесс, основанный на впрыске жидкого материала (PolyJet);
- процесс на основе быстрой заморозки (Rapid Freeze Prototyping);
- процесс на основе тепловой полимеризации жидкости;
- процесс на основе интерференции лазерных лучей;
- процесс на основе голографической интерференции;
- процесс на основе использования электрочувствительной жидкости.

Технология, основанная на впрыске жидкого материала (рисунок 1), заключается в послойном нанесении фотополимерных материалов на специальную платформу, слоями толщиной до 16 мкм. Печать происходит за счет подвижного блока с набором головок. В каждой головке есть много мелких сопел, они располагаются рядами. Печатающий блок перемещается в горизонтальной плоскости и наносит фотополимер. Нанесенный слой облучается ультрафиолетом и под его воздействием быстро затвердевает. Так повторяется слой за слоем, пока не сформируется модель.

В итоге получается объект, не требующий какой-либо дополнительной обработки поверхности. Модель, отпечатанную с помощью данной технологии, можно использовать сразу же после завершения процесса печати.

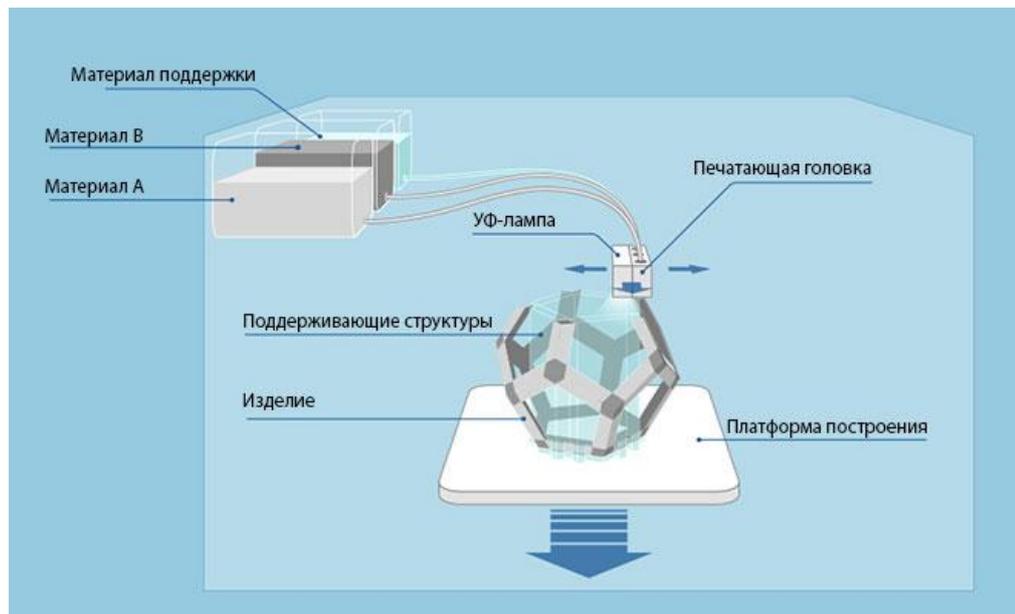


Рисунок 1– Схема реализации процесса, основанного на впрыске жидкого материала

К достоинствам этого процесса относятся:

- качество и точность. Созданные модели получаются гладкими и с высокой детализацией;
- скорость. По заявлению Stratasys PolyJet – это их самая быстрая технология;
- разнообразие материалов. Большой выбор материалов позволяет получать образцы с различными физическими и оптическими свойствами;
- интеграция и сложность моделей. Технология позволяет печатать объекты из разных материалов, встроенных в структуру друг в друга и модели с геометрией сложной формы, включая полости любой конфигурации.

К недостаткам относится стоимость. Поскольку эта технология ориентирована в основном на профессиональное применение, где важное значение имеют минимизация погрешности и высокое качество, за это приходится платить.

2 Процессы на основе использования расплавов

Существует четыре технологии, которые включают в себя расплавление и последующее отверждение материала детали:

- баллистическое осаждение частиц;
- моделирование методом наплавления (Fused Deposition Modeling);
- производство наращиванием формы (Shape Deposition Manufacturing);
- трёхмерная сварка (3DW).

Первые три из них связаны с осаждением материала в дискретных точках, а четвертая обеспечивает образование целого слоя за раз.

Технология методом наплавления была разработана С. Скоттом Трапом в конце 1980-х и вышла на коммерческий рынок в 1990 году. Оригинальный термин «Fused Deposition Modeling» и аббревиатура FDM являются торговыми марками компании Stratasys.

Производственный цикл начинается с обработки трехмерной цифровой модели. Модель в формате STL делится на слои и ориентируется наиболее подходящим образом для печати. При необходимости генерируются поддерживающие структуры, необходимые для печати нависающих элементов. Некоторые устройства позволяют использовать разные материалы во время одного производственного цикла. Изделие, или «модель», производится выдавливанием («экструзией») и нанесением микрокапель расплавленного термопластика с формированием последовательных слоев, застывающих сразу после экструдирования.

Пластиковая нить разматывается с катушки и подаётся в экструдер – устройство, оснащенное механическим приводом для подачи нити, нагревательным элементом для плавки материала и соплом, через которое осуществляется непосредственно экструзия (рисунок 2). Нагревательный элемент служит для нагревания сопла, которое в свою очередь плавит пластиковую нить и подает расплавленный материал на строящуюся модель. Как правило, верхняя часть сопла наоборот охлаждается с помощью вентилятора для создания резкого градиента температур, необходимого для обеспечения плавной подачи материала.

В качестве расходных материалов доступны всевозможные термопластики и композиты, включая ABS, PLA, поликарбонаты, полиамиды, полистирол, лигнин и многие другие. Как правило, различные материалы предоставляют выбор баланса между определенными прочностными и температурными характеристиками [5].

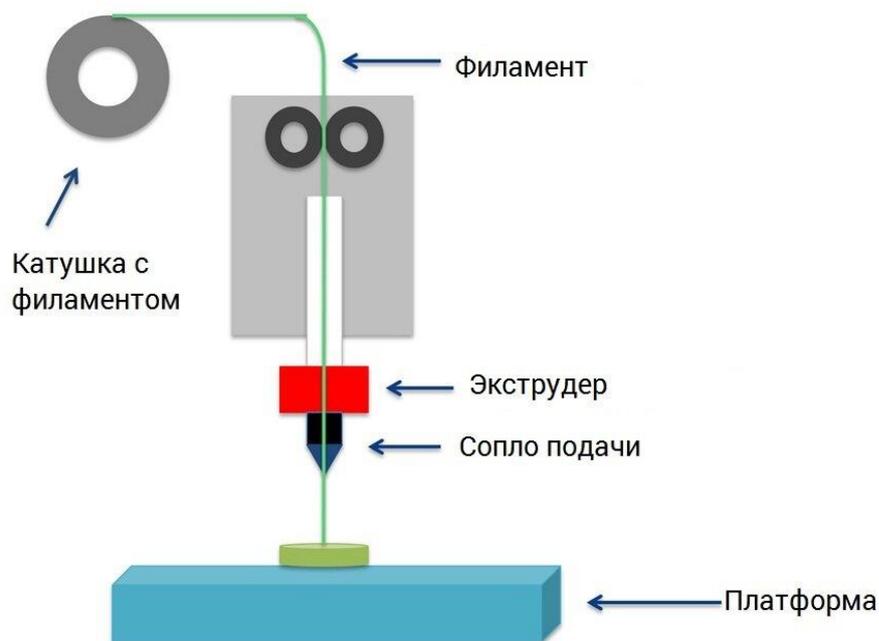


Рисунок 2 – Схема технологии методом наплавления

Моделирование методом наплавления является одним из наименее дорогих методов печати, что обеспечивает растущую популярность бытовых принтеров, основанных на этой технологии. В быту 3D-принтеры, работающие по технологии FDM, могут применяться для создания самых разных объектов целевого назначения, игрушек, украшений и сувениров.

Процесс моделирования методом наплавления широко распространен во многих отраслях промышленности, таких как автомобильная, аэрокосмическая [6], медицинская, производство потребительских товаров, архитектура и т.д.

К достоинствам этого процесса относится использование функциональных материалов, включающих ABS пластики, модельный воск и эластомеры разнообразных цветов, которые не выделяют токсичных веществ, и поэтому работа с ними может быть производиться в обстановке обычного офиса. Так же к плюсам метода стоит отнести возможность печати из прочных, термостойких и износостойких термопластиков и возможность печати габаритных изделий. Помимо этого, явным преимуществом по сравнению с другими 3D технологиями является дешевизна FDM принтеров и материалов для них.

Недостаток FDM - низкое качество поверхности. Из-за большой толщины нити на моделях проявляется ребристость.

Применяется технология FDM для быстрого прототипирования и быстрого производства и позволяет за короткий промежуток времени получить полностью готовое изделие с различными физико-механическими свойствами и стойкостью к различным воздействиям, таким как температура, износ и многие другие.

3 Процессы на основе использования порошковых материалов

В данной группе процессов построение деталей осуществляется объединением между собой крупинок измельченного материала либо с помощью лазера, либо с помощью отдельного связующего материала. К этим процессам относятся:

- селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering);
- осаждение из газовой фазы (Gas Phase Deposition);
- объединение порошка связующим материалом (3DP);
- процесс лазерного формообразования (Laser Engineered Net Shaping);
- отверждение многофазной струи (Multiphase Jet Solidification);
- электронно-лучевая плавка (Electron Beam Melting).

Основным процессом в данной категории является селективное лазерное спекание. Данная технология подразумевает использование одного или нескольких лазеров для спекания частиц порошкообразного материала (диаметр частиц от 50 до 100 мкм) для получения необходимого контура слоя (рисунок 3). Порошок наносится и разравнивается по поверхности рабочего стола специальным валиком, который при обратном проходе удаляет излишки порошка. Затем работает мощный лазер, спекающий частицы друг с другом и с предыдущим слоем, после чего стол опускается на величину, равную высоте одного слоя, в камеру насыпается новый слой порошка, разравнивается, и процесс повторяется. Для снижения мощности лазера, необходимой для спекания, порошок в рабочей камере предварительно нагревается почти до температуры плавления, а сам лазер работает в импульсном режиме, по-

сколькo для спекания важнее пиковая мощность, а не длительность воздействия. Частицы могут расплавляться полностью или частично (по поверхности).

Селективное лазерное спекание – единственная технология трехмерной печати, которая не требует отдельного материала поддержки. Вместо материала поддержки используется сам порошок. Но этот порошок по окончании процесса необходимо удалить как из камеры, особенно если следующая модель будет создаваться из другого материала, так и из полостей уже изготовленной модели, что можно сделать лишь после ее полного остывания. Такой подход позволяет добиться практически неограниченной геометрической сложности изготавливаемых моделей.

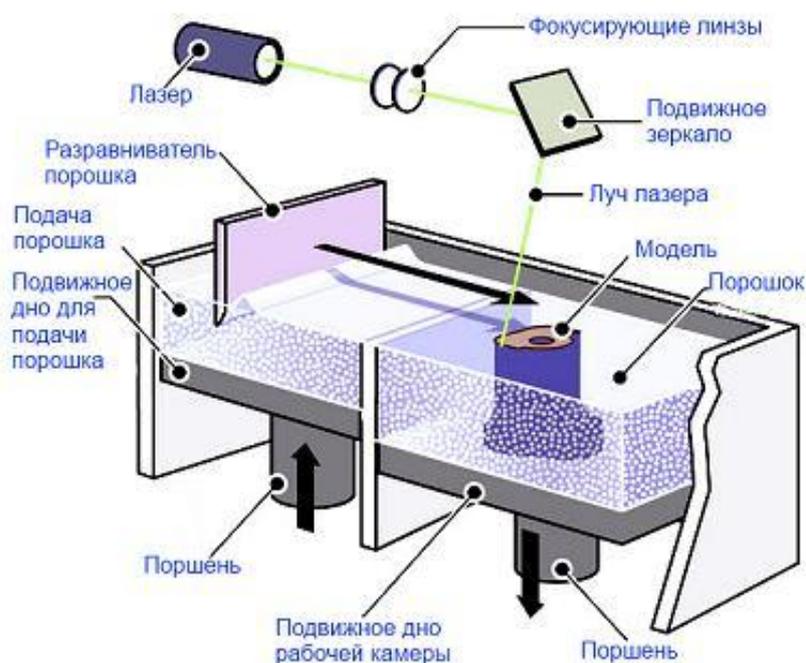


Рисунок 3 – Схема технологии селективного лазерного спекания

Что касается преимуществ, выделить можно следующие плюсы:

- большая область построения в 3D-принтерах. Промышленное оборудование обычно оборудовано крупной областью построения, что позволяет создавать не только крупные детали, но и выполнять мелкосерийное производство;

- высокое качество 3D-печати. Эта методика позволяет практически полностью избежать видимой послойности на модели, а отсутствие поддержек также благотворно сказывается на качестве изделий. Отсутствие необходимости в построении поддержек. Селективное лазерное спекание позволяет создавать изделия сложной

геометрии без необходимости построения поддерживающих структур. Это не только расширяет возможности печати, но и хорошо сказывается на качестве поверхности изделия;

- высокая скорость и производительность. За счет того, что материал не плавится полностью, данные принтеры работают гораздо быстрее других своих порошковых аналогов. Выше скорость печати – выше производительность производства;

- возможность изготовления готовых изделий. Благодаря свойствам расходных материалов эту технологии 3D-печати вполне реально использовать для производства конечных продуктов.

Также достоинством процесса лазерного спекания является изготовление функциональных деталей, по существу, из конечных материалов. Детали создаются в управляемых условиях и, следовательно, процесс обеспечивает хорошую прочность детали. Однако система механически является более сложной, чем стереолитография и большинство других технологий.

4 Процессы на основе сплошных материалов

Аддитивные процессы, в которых используются сплошные материалы, сильно отличаются от других видов аддитивных процессов, хотя в некоторых из них также используется лазер. Главной общей чертой этих процессов является то, что все они используют сплошные материалы (в той или иной форме) как основное средство для создания прототипов. К числу таких процессов относятся:

- изготовление объектов с использованием ламинирования (Laminated Object Manufacturing);

- селективно-наращиваемое наложение (Selective Deposition Lamination);

- процесс ультразвукового объединения (Ultrasonic Consolidation);

- автоматизированное производство ламинированных конструкционных материалов (Computer Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials).

Наибольшее распространение получило изготовление объектов с использованием ламинирования (рисунок 4). В принтере установлены специальные листы, которые могут быть практически из любого материала от обычной бумаги до керамики. Все зависит от модели 3D-принтера. Но чаще всего им является обычная полимерная пленка, так как она имеет наименьшую цену и толщину от 0,15 мм, что влияет на точность деталей полученного изделия.

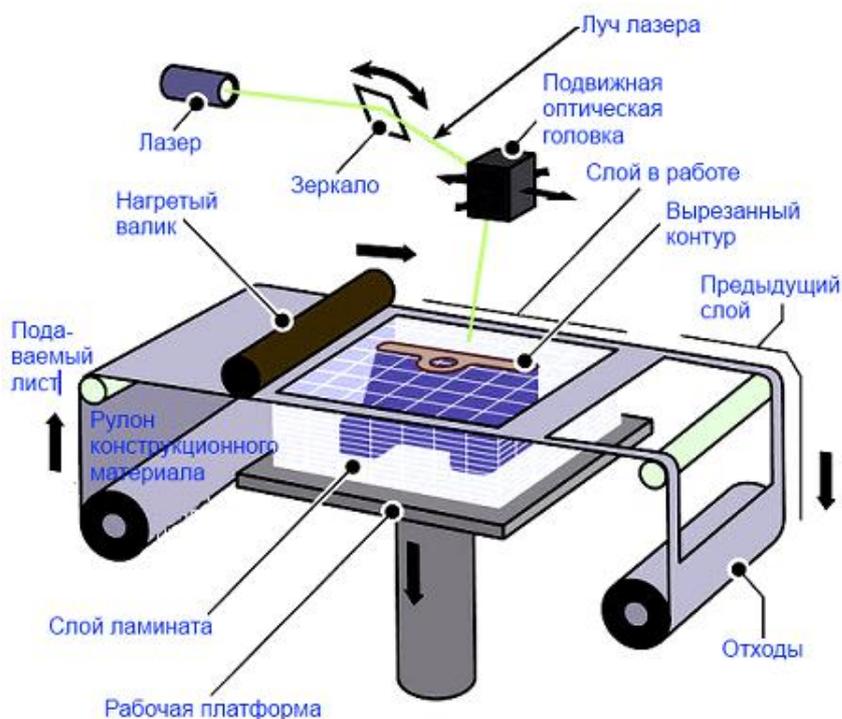


Рисунок 4 – Технология изготовления объектов с использованием ламинирования

В местах, где склеивание не требуется, происходит нанесение специального вещества – антиклея, при помощи фломастеров и карандашей, имеющих диаметр от 0,3 до 6 мм. После этого наносится следующий слой пленки и посредством валика, который прокатывается по ним, производится давление и нагрев. Это приводит к спеканию (ламинированию) двух слоев между собой. Далее, лазером или специальным ножом прибор обрезает все лишние детали и процесс повторяется.

По завершении процесса полученную деталь надо забрать из 3D-принтера и очистить от обрезков. Далее можно произвести дополнительную механическую обработку: шлифование, покрытие лаком, покраску.

К достоинствам данного процесса относятся:

- низкая себестоимость продукции;
- использование широко распространенных материалов;
- сравнительно высокая точность изготовления объектов (от 0,3 мм);
- есть возможность сразу изготавливать цветные модели.

К недостаткам относятся:

- недостаточно высокая прочность изделий вдоль направления слоев. Есть риск расслоения;
- малая распространенность и небольшой выбор моделей 3D-принтера;
- повышенная шероховатость поверхности.

5 Контрольные вопросы для самопроверки

- 1 Перечислите известные в настоящее время процессы 3D-печати на основе жидких материалов.
- 2 Каким образом осуществляется построение объектов в процессе основанном на впрыске жидкого материала?
- 3 Назовите достоинства и недостатки построения объектов в процессе «PolyJet».
- 4 Перечислите процессы 3D-печати на основе использования расплавов.
- 5 На каких принципах основано моделирование методом наплавления?
- 6 Что является достоинствами и недостатками технологии FDM?
- 7 Перечислите процессы 3D-печати на основе использования порошковых материалов.
- 8 Что собой представляет аддитивный процесс селективного лазерного спекания (Selective Laser Sintering)?
- 9 Что является достоинствами процесса селективного лазерного спекания?
- 10 Перечислите процессы 3D-печати на основе сплошных материалов.
- 11 Каким образом осуществляется построение объектов с использованием ламинирования (Laminated Object Manufacturing)?
- 12 Что является достоинствами и недостатками технологии LOM?

6 Содержание индивидуального задания

Пояснительная записка (ПЗ) выполняется на 15 - 20 печатных страницах.

Структура ПЗ индивидуального задания:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- описание рассматриваемой технологии быстрого прототипирования;
- достоинства и недостатки данной технологии;
- описание оборудования (выбрать в качестве примера одну установку и сделать её техническое описание);
- заключение;
- список использованных источников (не менее 3 источников).

Изложение материала в ПЗ должно быть кратким, логичным, последовательным. В ПЗ должны быть приведены все необходимые схемы, рисунки, графики, поясняющие содержание записки. Оформление материала ПЗ должно соответствовать требованиям СТО 02069024.101-2015 РАБОТЫ СТУДЕНЧЕСКИЕ. Общие требования и правила оформления [7].

Варианты тем индивидуального задания:

- 1) «Процесс стереолитографии (Stereolithography)»;
- 2) «Процесс, основанный на использовании маски (Solid Ground Curing)»;
- 3) «Процесс, основанный на впрыске жидкого материала (PolyJet)»;
- 4) «Моделирование методом наплавления (Fused Deposition Modeling)»;
- 5) «Селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering)»;
- 6) «Объединение порошка связующим материалом (3DP)»;
- 7) «Процесс лазерного формообразования (Laser Engineered Net Shaping)»;
- 8) «Электронно-лучевая плавка (Electron Beam Melting)»;
- 9) «Изготовление объектов с использованием ламинирования (Laminated Object Manufacturing)»;
- 10) «Процесс ультразвукового объединения (Ultrasonic Consolidation)».

Список использованных источников

1 Каменев, С. В. Технологии аддитивного производства [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. В. Каменев, К. С. Романенко; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 4.01 Мб). - Оренбург: ОГУ, 2017. - 144 с. - Загл. с тит. экрана. – Adobe Acrobat Reader 6.0. – Режим доступа: http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/36386_20170503.pdf, (дата обращения 25.12.2019).

2 Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении [Электронный ресурс]: учебное пособие / М. А. Зленко, А. А. Попович, И. Н. Мутылина; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 9,39 Мб). - Санкт-Петербург, 2013. - Загл. с титул.экрана. –Adobe Acrobat Reader 6.0. – Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/3548.pdf/view>, (дата обращения 25.12.2019).

3 Белоновская, И. Д. Аддитивные технологии в целевом обучении студентов инженерно-технических направлений подготовки [Текст] : учебное пособие / И. Д. Белоновская [и др.]. - Оренбург : ОГУ, 2017. - 116 с.

4 Тарасова, Т. В. Аддитивное производство [Текст] : учеб.пособие / Т.В. Тарасова. - Москва : ИНФРА-М, 2019. - 196 с.

5 Михеенко, Д. Ю. Расходные материалы для 3D печати методом послойного наплавления (FDM/FFF) / Д. Ю. Михеенко, В. М. Михеенко // Знание. – 2016. – № 11-1 (40). – С. 37-43.

6 Зайнудинов, А. М. Использование FDM-печати для прототипирования камеры сгорания авиационного двигателя и проведения испытаний / А. М. Зайнудинов, Ю. Б. Александров // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 2-2 (44). – С. 12-13.

7 СТО 02069024.101-2015 РАБОТЫ СТУДЕНЧЕСКИЕ. Общие требования и правила оформления. – Введ. 2015–28–12. – Оренбург : ОГУ, 2015. - 85 с. – Режим доступа: http://www.osu.ru/docs/official/standart/standart_101-2015.pdf, (дата обращения 25.12.2019).