

УДК 621.9-112

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ УЗЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Саркисов Григорий Артемович⁽¹⁾, Макарычев Иван Алексеевич⁽²⁾

Студент 4⁽¹⁾ курса, студент 3⁽²⁾ курса, бакалавриат
отделение «Автоматизация и сетевые технологии»,
ГБПОУ г. Москвы "Колледж" связи № 54" им. П.М. Вострухина

Научный руководитель: В.А. Ванин,
к.т.н., преподаватель ГБПОУ г. Москвы "Колледж" связи № 54" им. П.М. Вострухина

В основополагающих работах [2,3] рассмотрены вопросы конструирования как отдельных узлов металлорежущих станков, формообразующих будущую деталь, так и станочных систем в целом, автоматических линий, гибких производственных систем. При конструировании металлорежущий станок и станочный модуль являются основой для построения современных технологических систем и гибких производств.

Существующие нормативы конструкторской разработки металлорежущих станков предполагают несколько этапов работ: от «Технического задания», «Технического предложения», «Эскизного проекта» до «Технического проекта» и «Рабочей документации». На каждом этапе конструктор выполняет определенный объем работ, связанный с определением рабочих, установочных и вспомогательных движений отдельных узлов станка, количества шпинделей, мощности приводов главного движения и движений подачи, прорабатываются различные компоновочные решения будущего станка. На стадии «Эскизного проекта», когда проводится конструктивная разработка всех основных узлов и механизмов станка, использование современных аддитивных технологий позволяет минимизировать ошибочные решения на этапе проектирования и сэкономить в дальнейшем производственные затраты.

Аддитивные технологии производства (англ. *Additive Manufacturing* -технологии послойного наращивания и синтеза объектов) позволяют изготавливать любое изделие послойно на основе компьютерной 3D-модели. Такой процесс создания объекта также называют «выращиванием» из-за постепенности изготовления. Если при традиционном производстве от первоначальной заготовки отсекается все лишнее, то в случае с аддитивными технологиями из аморфного расходного материала выстраивается новое изделие. Аддитивные технологии в машиностроении позволяют создавать качественные прототипы моделей, помогающих изучить все характеристики будущего изделия или агрегата. Применение аддитивных технологий решает такие задачи цифровых производств как модернизация и автоматизация действующих и проектирование новых эффективных машиностроительных производств различного назначения [1].

Аддитивные технологии основаны на использовании различных физико-химических процессов. Поэтому каждый вид имеет в своем названии определяющий процесс формирования детали-прототипа. Согласно [4] аддитивные технологии разделены на 6 процессов:

1. Лазерная стереолитография (*SLA*-процесс) основана на селективном отверждении фоточувствительных полимеров под действием лазерного излучения. Сканирование лазерным лучом поверхности каждого элемента в 3D-модели позволяет послойно формировать будущее изделие.

2. Голографическое интерференционное затвердевание (*HIS*-процесс) подразумевает проецирование голографического изображения каждого из слоев на

фоточувствительный полимер и последующее затвердевание слоя за слоем пока не будет сформировано объемное изделие.

3. Двухлучевое интерференционное затвердевание (*BIS*-процесс) основано на поточечном затвердевании фоточувствительных полимеров в прозрачном контейнере на пересечении 2-х лазерных лучей с разными длинами волн. Первый лазер возбуждает жидкий полимер, переводя его в обратимое метастабильное состояние, а второй выполняет полимеризацию.

4. Жидкофазная термическая полимеризация (*LTR*-процесс) – подобен *SLA*-процессу в части послойного затвердевания жидкого полимера. Однако полимеры, используемые в *LTP*-процессе, являются термореактивными, а не фотореактивными, то есть затвердевание инициируется тепловым источником, а не светом.

5. Струйное разбрасывание частиц или капель расплава (*BPM*-процесс) из пьезоэлектрических сопел на подложку (термопласты, металлы). Управление струйным потоком идет по данным *3D*-модели.

6. Электроразмещение (*ES*-процесс) основан на использовании электродов совместно с пером графопостроителя или лазерного принтера, которые управляют осаждением проводящего материала в ванне с термореактивной жидкостью. Затвердевание жидкости обусловлено смещением электрического поля через жидкость при подаче на электроды электрического заряда.

В рамках Национального проекта «Образование» ГБПОУ города Москвы «Колледж связи № 54 имени П.М. Вострухина (КС №54)» получил комплект *3D*-принтеров мод. *3D Systems CubeX-1* шт., мод. *Designer X-PICASO 3D* – 3 шт., технические характеристики которых приведены в табл.1. На базе этого оборудования создан «Центр прототипирования КС-54» (руководитель «Центра...» - преподаватель специальных дисциплин Шишкин В.С.).

Таблица 1. Характеристики *3D*-принтеров «Центра прототипирования КС-54»

№ п/п	Техническая характеристика	3D-принтеры	
		мод. <i>Systems Cube X 3D</i>	мод. <i>Designer X-PICASO 3D</i>
1	Технология формирования слоев	PJP	PJP / FDM / FFF
2	Количество экструдеров	1/3 шт.	1 шт.
3	Диаметр сопла	1,75 мм	0.3 мм
4	Рабочий материал	ABS, PLA	ABS, PLA, Nylon, PETG, FLEX
5	Подогреваемая платформа	без подогрева	есть подогрев
6	Толщина слоя	0,1 мм	0,1/0,25 мм
7	Скорость построения	15 мм ³ /сек	8.3 мм/сек
8	Ширина x глубина x высота рабочего пространства	275x265x240	200x200x210
9	Поддерживаемые файловые форматы	STL	STL, plgx

Методика конструирования отдельных деталей и узлов металлорежущих станков с применением аддитивных технологий *3D*-прототипирования включает в себя несколько этапов, на каждом из которых решаются конкретные технологические операции и приемы получения будущей детали-прототипа.

Этап №1. Выполняются *3D*-модели конкретных деталей, узлов и механизмов металлорежущего станка. Вначале создаются цифровые прототипы, используя системы трехмерного моделирования, и изготавливаются опытные образцы на *3D*-принтерах. Трехмерное моделирование обеспечивает точную модель реального объекта и позволяет легко вносить технические корректировки непосредственно в процессе

отладки. Можно изменять габариты изделия, его форму, убирать одни детали и добавлять новые, реализовывать различные цветовые вариации будущего станка. Использование профессиональных программ дает возможность проводить художественное моделирование не только отдельных деталей, узлов станка, но и всей станочной системы в целом. Для этих целей используются CAD-системы (системы автоматизированного проектирования) - *AutoCAD*, *SolidWorks*. Обе программы позволяют выполнить 3D-моделирование заданной детали, т.е. разработать зрительный объёмный образ желаемого объекта на плоскости монитора.

Этап №2. Включает в себя экспорт файла из *AutoCAD* в файл *.stl*. Для этого выбирается в меню программы «Экспорт», а затем «Другие форматы». В диалоговом окне «Экспорт данных» вводится имя файла. В списке «Тип файла» выбирается «Литография (*.stl)», после чего нажимается кнопка «Сохранить». Выбрать необходимо один или несколько твердотельных объектов. При создании нового файла перекрестие осей располагается в левом нижнем углу пространства модели. .

Этап №3. Ввод *STL*-файла в программу, выполняющую разбивку детали на слои. На основании этих слоев и будет формироваться будущий прототип. Программа для разбивки на слои также позволяет определить параметры, по которым 3D-принтер выполняет построение. В качестве программы разбивки на слои в 3D-принтерах «Центра прототипирования КС-54» используется ПО *Polygon X*. Данное программное обеспечение в режиме пошаговой инструкции предлагает различные варианты изготовления самого прототипа. После загрузки модели в меню «Подготовить задание» выбираются типы настроек «Быстрый» (упрощенный), «Расширенный» (полноценный), «Предустановка», «Выбор сопла 1-2». Что касается применения настроек «Высота слоя» (толщина слоя, «качество» печати 0,1... 0,25 мм), «Плотность заполнения» (заполненность материалом внутренней полости прототипа от 0% (только внешние стенки) до 100% (сплошное заполнение), «Поддержка» (печатаются дополнительные элементы, не позволяющие верхним слоям провиснуть и испортить поверхность), «Подложка» (используется для увеличения поверхности соприкосновения модели к столу в случае большого количества поддержек), – это зависит от назначения конкретной детали металлорежущего станка, её дальнейшего использования. При выборе «Расширенные настройки печати» задаются не только толщиной слоя по вертикали, но и регламентируют ширину в горизонтальном направлении (с точки зрения расхода пластика и прочности детали), а именно: «Ширина экструзии», «Ширина линий периметров», «Ширина линий заполнения». Опции «Шов» и «Интерфейсный слой» применяются для регулирования внешнего вида «шва», положения «точек входа на периметр», расстояния между точками входа и выхода периметров, плотности поддержки слоев. Завершается третий этап выбором «Оболочка и заполнение».

Этап №4. После выполнения 3-х этапов на 3D-принтере выдается команда «Печатать». Печатающая головка выдавливает в рабочую зону первый слой расплавленного пластика, после чего платформа опускается вниз на толщину слоя и начинается формирование следующего слоя, который накладывается поверх предыдущего. После завершения печати каждого слоя платформа опускается вниз; так происходит на протяжении всего цикла печати до получения готовой детали-прототипа.

Для изготовления деталей на 3D-принтере требуется от нескольких часов до десятков часов в зависимости от сложности изделия, габаритных размеров и требуемого качества прототипа (рис.1,2).

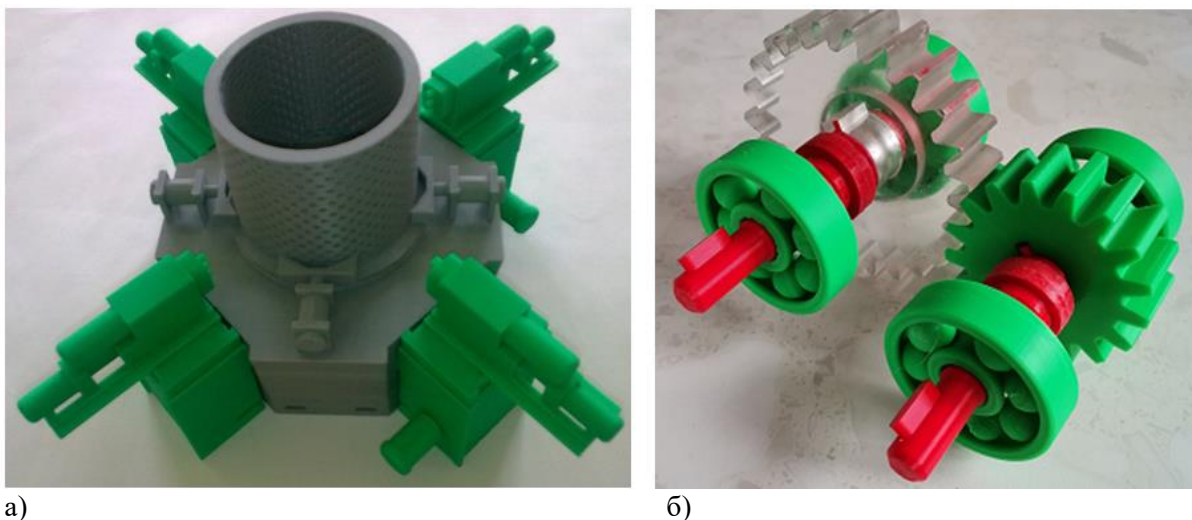


Рис. 1. Агрегатный станок для изготовления цилиндрических матриц гранулятора (а) и зубчатая цилиндрическая передача коробки подачи токарно-винторезного станка (б), выполненные 3D-прототипированием в «Центре прототипирования КС-54»

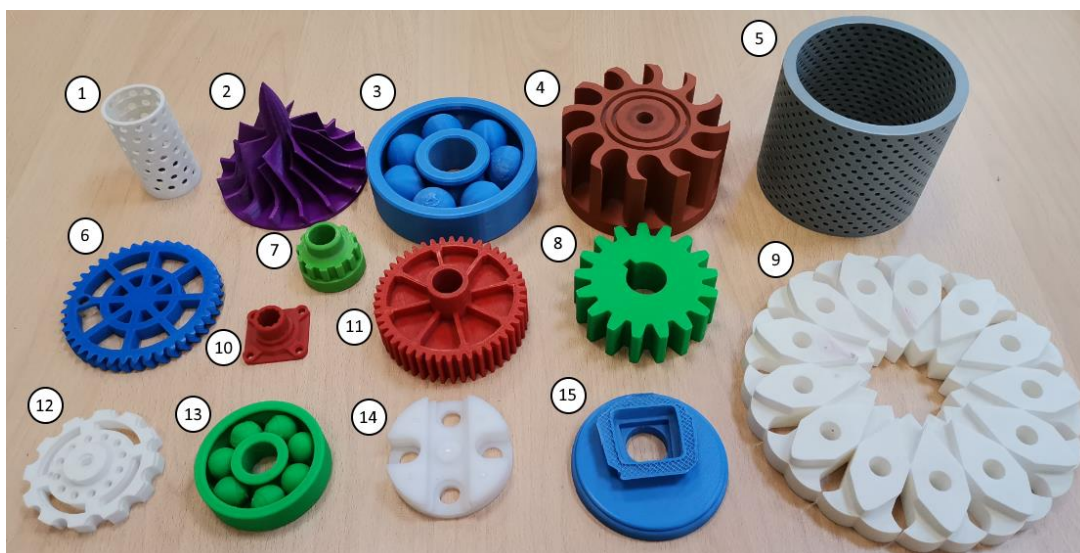


Рис. 2. Детали машиностроения, выполненные 3D-прототипированием в «Центре прототипирования КС-54»:

- 1-сито центробежного сепаратора; 2-колесо рабочее турбодетандера; 3,13- шарикоподшипники промышленных вентиляторов; 4-колесо рабочее промышленного вентилятора; 5-матрица пресс-гранулятора; 6-колесо зубчатое реле времени; 7-шестерня шлицевого зацепления; 8, 11-колеса зубчатые цилиндрических редукторов; 9-втулка промежуточная зубчатой муфты; 10-опора поворотного рычага; 12-колесо цевочного механизма; 14-диск муфты промежуточный; 15-крышка прибора верхняя

Анализ пластмассовых прототипов, выполненных на 3D-принтерах, и последующая корректировка конструкторской документации узлов проектируемого станка на основе изменений размеров и точности изготовления отдельных поверхностей деталей позволяет перейти к изготовлению реальных деталей из металлов и сплавов. В качестве образцов таких работ представлены детали криогенной техники (рабочие колеса турбодетандеров и направляющие аппараты), выполненные на производственных и преддипломных практиках на НПО «Гелиймаш» (рис.3). Обработка производилась на горизонтально-фрезерном станке с ЧПУ типа

«обрабатывающий центр» мод. КМЦ-600. Станок мод. КМЦ-600 предназначен для высокопроизводительной обработки отверстий и точного фрезерования сложных криволинейных контуров корпусных деталей из стали, алюминия и труднообрабатываемых сплавов. Горизонтальное расположение шпинделя и крестовый стол со встроенной планшайбой позволяют производить 4-х координатную обработку. Применение накладного стола с горизонтальной осью вращения расширяет технологические возможности станка до 5-и координатной обработки.

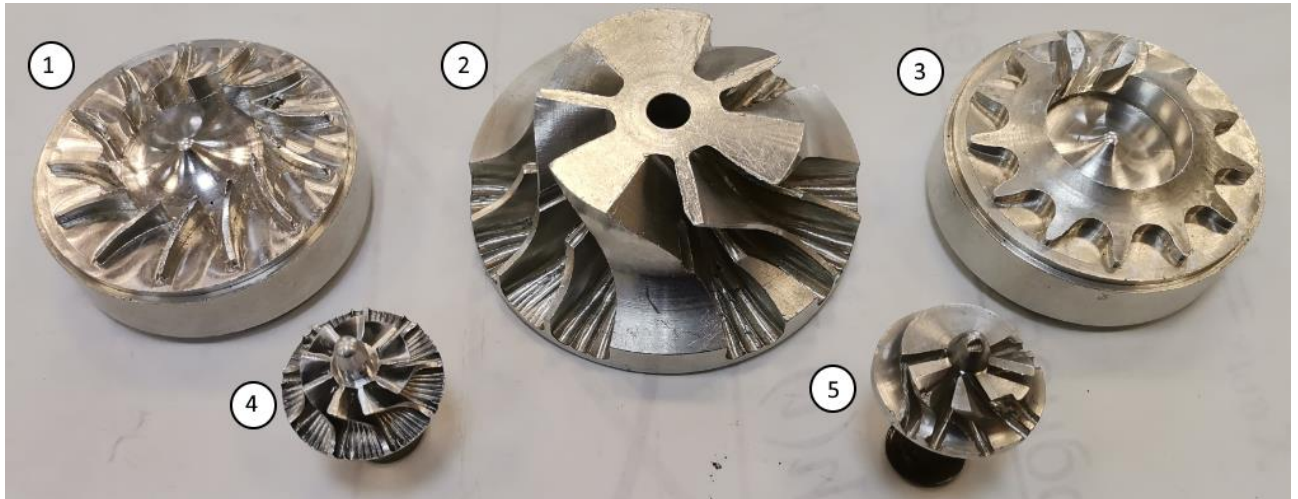


Рис. 3. Детали криогенной техники, выполненные фрезерованием на 4-х координатном металлорежущем станке с ЧПУ мод. КМЦ-600:
1,3-аппараты направляющие турбодетандеров; 2, 4, 5-колеса рабочие турбодетандеров

Применение аддитивных технологий производства с изготовлением деталей-прототипов на стадии проектных конструкторско-технологических решений наглядно показывает разработчику металлорежущих станков так называемые «узкие» места конструкции и позволяет избежать существенных ошибок.

Литература

1. Новиков С. В., Рамазанов К. Н. Аддитивные технологии: состояние и перспективы: учебное пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т.-Уфа: УГАТУ, 2022.
2. Проектирование автоматизированных станков и комплексов : учебник : в 2 т. Т.1-Т.2/ под ред. П. М. Чернянского. - 2-е изд., испр. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.
3. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т.1-Т.3: Проектирование станков / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов и др.; Под общ. ред. А.С. Проникова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994.
4. Шишковский И. В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. — СПб.: Питер, 2016. — 400 с.