

Разработка прототипа устройства для получения металлических микросфер и оболочек

Петров М.А., Косачев Н.В., Петров П.А., Шейпак А.А., Баст Ю.Л.
Университет машиностроения, ТУ Фрайбергская Горная Академия
petroffma@gmail.com

Аннотация: Технологии быстрого прототипирования внедряются достаточно активно на всех типах и видах производства. Применение их снижает влияние человеческого фактора на качество изделия, однако требует от оператора знаний и умения обращения с машиной. Данные технологии также используются для создания макетов и наглядных функциональных прототипов, которые позволяют воссоздать разработанный процесс и протестировать отдельные этапы с целью подтверждения его работоспособности. Разработанная в ТУ Фрайбергская Горная Академия лабораторная установка позволяет изготавливать металлические микросферы и оболочки ($\varnothing 0,5 - 3$ мм). Модернизация данной установки было предложено провести при помощи создания прототипа мехатронной системы, который показал бы требования к устройству и его возможности. Создание прототипа устройства является переходным звеном от лабораторного макета к производственному оборудованию, работающему с высокой производительностью и воспроизводимостью результатов. При проектировании устройства были предусмотрены возможности работы под вакуумом и в среде защитного газа, что позволяет работать не только с модельными материалами, такими как олово, цинк, сплав Розе, эвтектические сплавы на основе висмута и олова, но и с конструкционными материалами, такими как алюминий, магний и их сплавы. По технологиям быстрого прототипирования* (MJM, FDM и фрезерования) из полимеров были созданы отдельные детали функционального прототипа.

Ключевые слова: аддитивные методы производства, быстрое прототипирование, металлургические способы производства, функциональный прототип, микросферы

Введение

Применение облегченных конструкций в современном мире продиктовано стремлением повысить эффективность работы машин и механизмов при одновременном снижении потребления энергии. Для решения поставленной задачи применяют новые материалы. Их изготовление является приоритетной задачей, с которой также связаны разработка соответствующих машин и технологий.

Изготовление микро- и макросфер с внешним диаметром $\varnothing 0,5-3$ мм металлургическим способом является сравнительно новой задачей. Как было показано М.А. Петровым и др. [1], области применения данного продукта весьма многообразны. Однако на сегодняшний день отсутствуют подобные промышленные технологии, основанные на металлургическом методе.

В техническом университете Фрайбергская Горная Академия (Германия) была разработана лабораторная установка, позволяющая изготавливать подобные сферы напрямую из расплава металла. Данный стенд был взят за основу разработанного прототипа одного из исполнений промышленной установки. Управление отдельными параметрами осуществляется при помощи мехатронной системы, которая состоит из электронной, пневматической и макетной частей.

Рассмотренная в статье М.А. Петрова и др. [1] производственная схема включает следующие этапы: подготовка расплава, изготовление сфер, охлаждение и сбор, термообработка, контроль качества, сортировка и изготовление ячеистых структур и композитов. В данной

* Прототип изготовлен в рамках ГК № 16.740.11.0744, финансируемым Министерством образования и науки РФ, в лаборатории «Быстрого прототипирования» (Университет Машиностроения)

статье рассмотрены начальные этапы технологической цепочки, а именно: производство и сбор получаемых микросфер - для которых и был создан функциональный прототип.

Методы быстрого прототипирования относятся к аддитивным методам производства. Из названия способа следует, что деталь изготавливается добавлением (трехмерная печать, выращивание) или вычитанием (фрезерование) материала, которое осуществляется послойно.

Теоретическая часть

Для связи параметров мехатронной системы была необходима проработка отдельных интерфейсов (стеков), которые отвечают за распараллеливание задач между ядрами процессора; сбор, обработку и передачу команд с компьютера на компоненты мехатронной системы; взаимосвязь с базой данных материалов и оборудования; возможность ручной настройки параметров процесса.

В основу управления мехатронной системой была положена теория подобия (безразмерного анализа), в соответствии с которой совокупность параметров системы описывается системой безразмерных уравнений, полученных на основании П-теоремы (уравнения 1) 3, в которых далее определяются неизвестные коэффициенты.

$$f(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n) = 0$$

$$\begin{cases} q_1 = \sum_{j=1}^m (L^a M^b T^c \Theta^d)_j = L^0 M^0 T^0 \Theta^0 \\ q_2 = \sum_{l=1}^n (L^a M^b T^c \Theta^d)_l = L^0 M^0 T^0 \Theta^0, \\ \dots \\ q_k = \sum_{b=1}^c (L^a M^b T^c \Theta^d)_b = L^0 M^0 T^0 \Theta^0 \end{cases}, \quad (1)$$

где L , M , T и Θ соответствуют основным единицам метрической системы СИ – метр, килограмм, секунда и градус Цельсия соответственно.

При составлении таких уравнений для процесса изготовления микросфер были учтены как физические параметры расплава (динамическая вязкость, температура плавления, температура кристаллизации, поверхностное натяжение, плотность), так и технологические параметры процесса (рабочая температура, диаметр сопла форсунки, объемный расход расплава, объемный расход газа). Далее производится графическое представление уравнений и ищется точка пересечения кривых, которые описываются левой и правой частью каждого уравнения. Данная точка соответствует параметрам, которые необходимо выдерживать для удачного проведения процесса.

Конструкторская часть

В прототипе реализована упрощенная система управления (кнопочная), при которой задействуются электронная и пневматическая части, однако не происходит автоматизированного управления параметрами процесса. В соответствии с этой системой при помощи трех переключателей задействуются четыре электромагнитных пневматических клапана, открывающих и закрывающих контуры подачи сжатого воздуха к потребителям (таблица 1), а именно: пневмоцилиндру (ПЦ), линейно-вращательному приводу (ЛВП), емкости охлаждения и сбора микросфер (ЕОС), тигелю (Т).

Таблица 1

Управление компонентов пневматической системы

Переключатель	Компоненты системы			
	ПЦ	ЛВП	ЕОС	Т
1	х	х	-	-
2	-	-	х	-
3	-	-	-	х

На рисунке 1 представлен один из вариантов подключения ЛВП к пневматическому контуру системы. Данный контур включает в себя ЛВП с двумя трехходовыми магнитными

клапанами, манометрами и ресиверами. Также в системе предусмотрен Т с одним двухходовым клапаном, к которому подключена линия подачи защитного газа. Сбор информации и управление процессом происходит через карту АЦП.

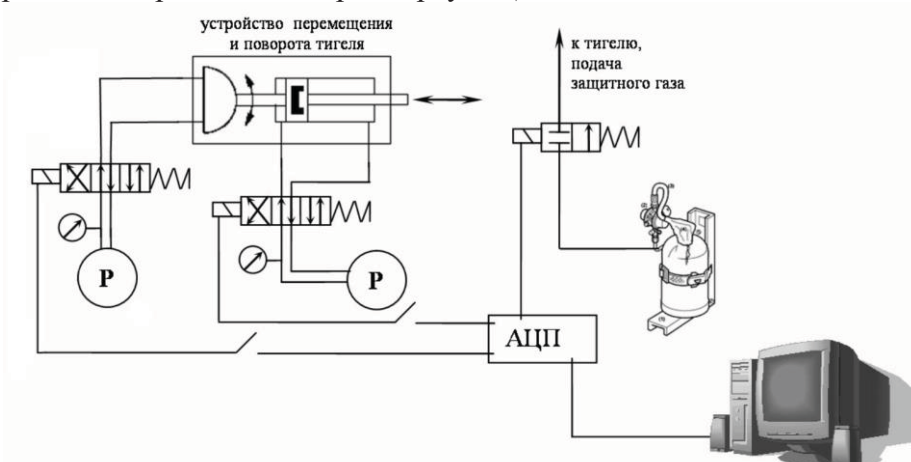
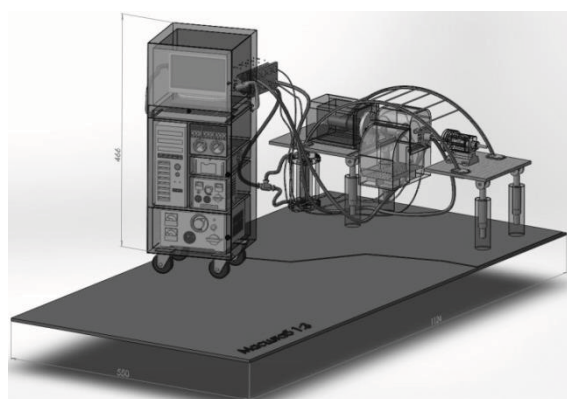
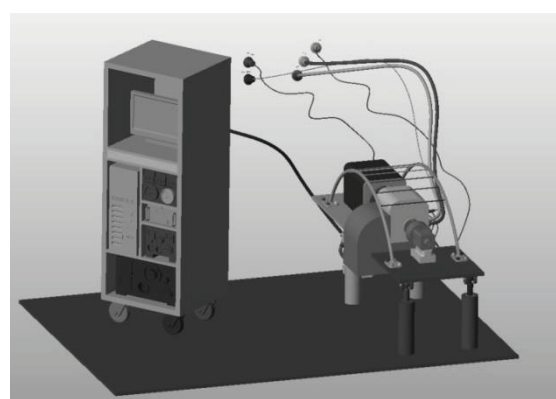


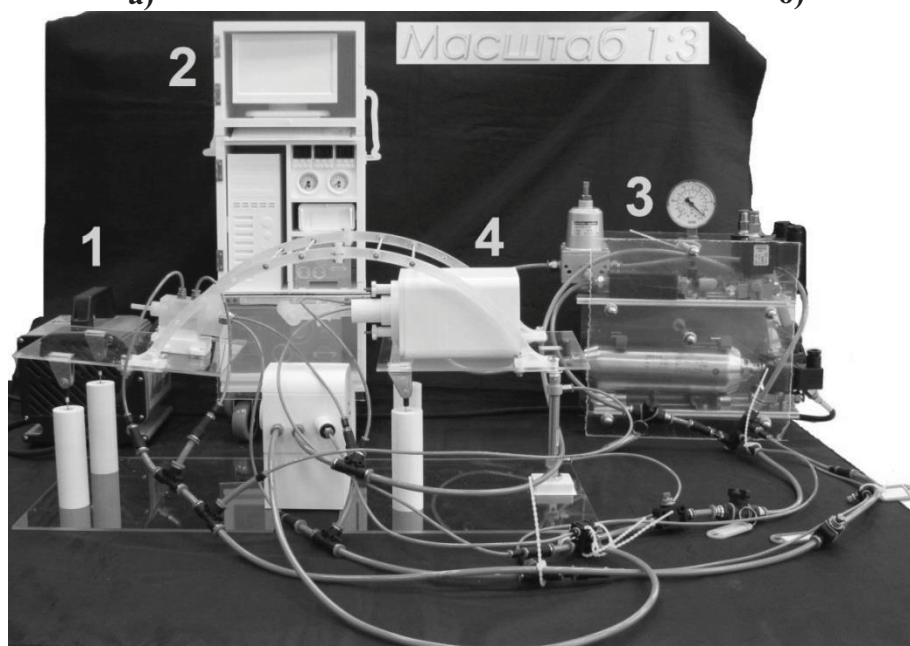
Рисунок 1. Вариант подключения пневматического контура с ЛВП и Т



а)



б)



в)

Рисунок 2. Прототип мехатронной системы (а – трехмерная модель, выполнена в Solid Works, б – преобразование поверхностей в программе NetFabb Professional; в – прототип, предварительная сборка; 1 – компрессор; 2 – шкаф управления; 3 – пневмоаппаратура; 4 – макетная часть)

Модель прототипа мехатронной системы была разработана с применением программы Solid Works (рисунок 2а). Далее модель экспортирована и подготовлен файл с расширением IGES, который используется программой NetFabb Professional для создания рабочего файла оборудования. Программа производит разбиение поверхностей и определение мест создания поддерживающих элементов, которые после выращивания детали будут удалены (рисунок 2б).

При производстве деталей по технологии FDM (Fused Deposition Method) используется высокопрочный АБС-пластик, который поступает в виде нити к нагреваемой фильере и выдавливается через нее. Получаемые детали имеют повышенную шероховатость и высокую пористость. Данная пористость была устранена путем лакирования деталей. Однако для работы со сжатым воздухом иногда это оказывается недостаточным и приходится выбирать другую технологию, например MJM (Multi-Jet Melting). В основе данной технологии лежит отверждение светочувствительного полимера ультрафиолетом. Получаемые механические свойства деталей, изготовленных по двум технологиям, приведены в таблице 2. Детали большой площади и с простой геометрией изготавливались на гравировально-фрезерном станке из оргстекла с исходной толщиной 3 мм.

Полученные отдельные компоненты обрабатывались до совпадения частей друг с другом, лакировались и собирались вместе. В прототипе присутствуют как резьбовые, так и клеевые соединения. Это указывает на гибкость при использовании различных типов соединений с деталями, полученными по разным технологиям быстрого прототипирования. Предварительная сборка полученного функционального прототипа представлена на рисунке 2в.

Таблица 2

Средние значения механических свойств материалов

Материал	Предел прочности, МПа	Отн. удл-е, %	Толщина слоя, мм	Плотность, кг/м ³	Рабочая температура изделия, °С	Прозрачность (по сравнению с оргстеклом), %
АБС-пластик (FDM) 5	36	3 – 4	0,25	1040	90	0
Фотополимер (MJM) 6	42,4	6,83	0,032	1020	56	20 – 30
Оргстекло 7	70 – 83	5	нет	1180	80	100

Выводы

Полученный прототип представляет собой соединение контуров разного функционального назначения, которые вместе образуют мехатронную систему. Выбранные технологии прототипирования позволили с требуемой точностью и качеством произвести отдельные компоненты системы. С ее помощью с целью оптимизации процесса в реальном времени могут быть получены закономерности изменения параметров входящих в нее компонентов.

Заключение

Работа представляет результат конструкторско-технологической деятельности, в результате которой был создан функциональный прототип (макет) мехатронной системы. Данный макет является одним из этапов при переходе к освоению промышленной технологии получения металлических микросфер.

Литература

1. Ю. Л. Баст, П. А. Петров, А. А. Шейпак, Современные методы получения полых металлических микросфер, Известия МГТУ «МАМИ», №2, том 2, 2012, стр. 144 – 150
2. М.А.Петров, Ю.Л. Баст, П.А. Петров, А.А. Шейпак, Разработка технологии получения полых металлических сфер и оболочек, Заготовительное производство в машиностроении, №8, 2013 (передана на рецензию)
3. Л. И. Седов, Методы подобия и размерности в механике, 8^{ое} издание, Наука, Москва, 1977, с. 440

4. J. Pawlowski, Die Ähnlichkeitstheorie in der physikalisch-technischen Forschung, 1. Auflage, Springer-Verlag, 1971, S. 184
5. <http://www.stratasys.com>
6. <http://www.3dsystems.com>
7. <http://www.polymerbranch.com>

Методика формирования и выбора оптимальной конфигурации формообразующей системы многокоординатной обработки

д.т.н. проф. Лукина С.В., к.т.н. доц. Иванников С.Н., Манаенков И.В.

Университет машиностроения

(495) 223-05-23, доб. 1451

lukina_sv@mail.ru, ivannikov.51@mail.ru, manaenkov_igor@mail.ru

Анотация. В статье изложена методика формирования и выбора оптимальных конфигураций формообразующих систем многоосевых станков, основанная на совокупности граф-моделей, аналитических представлений и целевых функций.

Ключевые слова: *формообразующая система многокоординатной обработки, компоновка многоосевого станка, граф-модель, система целевых функций.*

Процесс развития технологий в развитых странах мира предопределяет использование большого разнообразия методов обработки деталей с криволинейными пространственно-сложными поверхностями, таких как: лезвийная обработка, абразивная обработка, электролучевая обработка, комбинированная обработка и др. Выбор метода обработки зависит от требований точности, производительности и себестоимости обработки в рамках производственно-технических возможностей производственного предприятия [1-3].

В общем случае модель формирования средств оснащения формообразующей системы многокоординатной обработки может быть представлена в виде многослойной граф-модели, каждый слой которой определяет выбор определенного средства оснащения в зависимости от принятого метода обработки. Глубина каждого слоя определяет множество доступных вариантов исполнений средств оснащения.

Таким образом, множество слоев и их глубин формирует множество вершин сетевого графа x_{ij} , где x – наименование переменной, отражающей какую-либо группу средств оснащения формообразующей системы, i - переменная, характеризующая порядковый номер слоя графа; j - переменная, характеризующая глубину i -го слоя графа (рисунке 1).

Как показал обзор отечественных и зарубежных литературных источников, в настоящее время в Российской Федерации и за рубежом разработано и эксплуатируется несколько тысяч конструкций металлообрабатывающих станков, инструментов и технологической оснастки, отличающихся по своему функциональному назначению, конструктивному исполнению или компоновке, конструктивным, геометрическим и эксплуатационным параметрам [5].

Многокоординатная обработка в зависимости принятого метода (слой x_1) может производиться на (слой x_2) многоцелевых (станки сверлильно-фрезерно-расточной и токарно-фрезерной групп); расточных (горизонтальных, координатных), шлифовальных (станки сферошлифовальные, продольно-шлифовальные и др.), эррозионных, лазерных, плазменных станках и т.д.

В качестве инструмента для многокоординатной обработки (слой x_3) используется концевой инструмент (например, фрезы с различной формами режущей кромки), расточной инструмент, сверлильный инструмент, абразивный инструмент (шлифовальные круги со сферическим профилем), проволока или электроды, лазерный излучатель, плазматрон и др.

Расширение технологических возможностей станков происходит с применением дополнительной специальной оснастки и (слой x_4) повышением степеней подвижности (одно- или двухкоординатные поворотные столы и инструментальные головки, поворотные головки