

УДК 621.9.048

Разработка нагревательного блока для принтера печати металлом методом послойного наплавления

Вовняков Алексей Олегович^(*)

vovnyakov02@mail.ru

SPIN-код: 2724-8608

Смирнов Дмитрий Дмитриевич

smirn.dmitri@gmail.com

SPIN-код: 2487-8690

Михайлов Александр Александрович

alexander_lev2002@mail.ru

SPIN-код: 7247-1585

Круглов Павел Владимирович

kpv17@bmstu.ru

SPIN-код: 1768-0104

Галиновский Андрей Леонидович

galcomputer@mail.ru

SPIN-код 2657-3929

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проведено исследование существующих в аддитивных технологиях методов получения изделий из металла. Для изготовления деталей ракетно-космической техники предложена альтернативная технология получения изделий на основе метода послойного наплавления FDM (Fused Deposition Modeling). Поставлена задача определения возможности работы с жидким металлом путем разработки и изготовления нагревателя. Представлены результаты экспериментов по переводу проволоки из алюминиевого сплава в жидкую фазу. Проанализированы основные технологические проблемы. Предложены пути развития данного метода.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать металлом, послойное наплавление аддитивные технологии, экструзия

Введение. Современное развитие аддитивных технологий демонстрирует растущий интерес к экономически эффективным методам производства металлических изделий. Существующие промышленные решения, как технология SLM (Selective Laser Melting) [1], характеризуются высокой стоимостью, что ограничивает их распространение. В этой связи актуальным представляется исследование возможности адаптации широко распространенной технологии послойного наплавления для работы с металлическими материалами. Научная новизна работы заключается в анализе технологических возможностей такого метода для печати алюминием и его сплавами.

Методы и материалы; результаты. В основу работы положено проектирование нагревательного блока, позволяющего перевести алюминиевую проволоку в жидкую фазу. Получение проектных параметров произведено с использованием программы для ЭВМ [2] и данных по теплофизическим свойствам материалов [3]. Габаритные размеры нагревательного блока определяются исходя из размеров нагревательных элементов, термопары, а также соплового блока. В настоящем расчете были использованы керамические нагреватели для 3D-принтера [4], термопара К-типа, стальное сопло и биме-

таллический термобарьер. Основой конструкции служит стальной квадрат из стали 45.

Методом последовательных приближений, варьируя мощность изменением количества типовых нагревательных элементов, габаритными размерами стального квадрата, и воспользовавшись программой для ЭВМ [2], получены требуемые проектные параметры, представленные в таблице.

Проектные параметры нагревательного блока

Длина, мм	44	Полная мощность, Вт	640
Ширина, мм	22	Полезная мощность, Вт	414,7
Высота, мм	22	Мощность теплопотерь, Вт	225,3
Количество нагревателей, шт.	8	Подача, мм/мин	310,8

На основе проектных параметров разработана конструкция нагревательного блока (рисунок, *а*), которая содержит 8 отверстий под нагреватели (по 4 отверстия с каждого торца), отверстия с резьбой под термопару, отверстие с резьбой под сопловой канал. Также в конструкции предусмотрены отверстия с резьбой под установочные винты, предназначенные для фиксации нагревательных элементов.



а



б

Нагревательный блок:

а — 3D-модель; *б* — в ходе эксперимента

Технологический процесс изготовления состоял из операций: резки прутка в размер, сверление отверстий по шаблонам, а также нарезания резьбы в них. После этого, в отверстия были вставлены нагреватели, термопара, сопловой блок и установлены винты.

На этапе отработки было выявлено, что необходимо уточнить энергетический баланс процесса. Обнаружено, что из сопла был выдавлен металл, превращен в каплю и застыл на выходе из сопла, на чем процесс был остановлен (рисунок, *б*). Высокая теплопроводность уже вышедшего за пределы нагревателя алюминия приводит к тому, что ему также передается тепло, которое

должно идти на нагрев подаваемого в сопловой блок материала, которому оно в итоге не подводится и происходит недогрев, и как следствие, образование пробки. Таким образом, необходимо увеличить количество энергии в системе для того, чтобы оставался определенный запас на стабильное нагревание в сопловом блоке.

Заключение. Проведенное исследование демонстрирует перспективность развития направления FDM-печати металлическими материалами. Предлагаемая конструкция будет доработана путем добавления дополнительных нагревательных элементов. Разработанная конструкция блока позволяет выполнять печать алюминиевой проволокой, применение других материалов требует увеличения теплового потока. Дальнейшие исследования будут сосредоточены на решении выявленных технологических проблем и оптимизации параметров процесса.

Список источников

- [1] Валиев А.А., Мифтахов К.Р., Кульга К.С. Применение SLM — технологий в современном машиностроении. *Интеллектуальный потенциал XXI века. Междунар. науч.-практ. конф.: сб. ст.* Уфа, ООО Агентство международных исследований, 2019, с. 130–132. EDN: YVGBNZ
- [2] Вовняков А.О., Смирнов Д.Д., Михайлов А.А. *Программа для проектировочного термодинамического расчета аддитивной системы 3D-печати жидким металлом*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025662504, РФ, 2025.
- [3] Чиркин В.С. *Теплофизические свойства материалов: справочное руководство*. Москва, Физматгиз, 1959, 356 с.
- [4] *Нагреватели для 3D-принтера: виды, неисправности, замена*. URL: <https://telemento.ru/blog/nagrevatei-dlya-3d-printera/> (дата обращения 11.11.2025).