

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

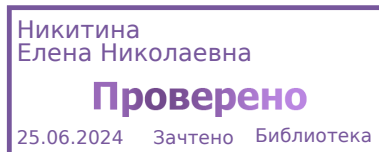
На правах рукописи

Овсянников Антон Романович

Разработка и исследование интегрированной системы управления
роботизированным комплексом трехмерной печати металлических
изделий

Направление подготовки
27.04.04 – «Управление в технических системах»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ



**Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»**

Научный руководитель

Кандидат технических наук, доцент
кафедры ЭПАПУ Сухоруков
Сергей Иванович

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент
заведующий кафедрой
«Электротехника, электроника и
электромеханика»
ФГБОУ ВО ДВГУПС
Скорик Виталий Геннадьевич

Защита состоится «21» июня 2024 года в 09 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических систем» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Секретарь ГЭК

А.В. Бузикаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

На сегодняшний день традиционные методы производства металлических изделий не позволяют изготавливать изделия сложной пространственной конфигурации, особенно со сложной внутренней структурой. Исходя из этого в мире широко развиваются и внедряются аддитивные технологии, такие как 3D печать. Разработка систем трехмерной печати металлических изделий является актуальной и востребованной задачей промышленности.

За последние девять лет аддитивные технологии совершили значительный прорыв. Возможность создавать изделия сложных геометрических форм стимулировала широкое использование трехмерной печати в промышленности и науке. Изделия, созданные на основе цифровых моделей, по качеству не уступают изделиям, построенным традиционными технологиями изготовления металлических изделий. Современная 3D-печать позволяет работать с разнообразными материалами, начиная от пластиков и заканчивая металлами. Благодаря этому данная технология все чаще используется в промышленном производстве, расширяя новые возможности производства и внедряя новые стандарты качества.

Одним из основных перспективных направлений для создания систем крупногабаритной печати является использование роботизированных технологических комплексов. Применение такой инновационной системы позволяет не только повысить производительность, но и значительно улучшить качество выпускаемой продукции по сравнению с традиционными технологиями. В настоящее время роботизированные технологические комплексы трехмерной печати активно разрабатываются, внедряются и совершенствуются на многих предприятиях.

Развитие аддитивных технологий и их интеграция в производственные процессы открывают новые возможности для инженерии, позволяя создавать уникальные и высокоточные изделия. Также с каждым годом

совершенствуются материалы и методы печати, что расширяет сферу применения этих технологий и делает их частью современного производства. Внедрение роботизированных комплексов и систем автоматизации усиливает эффективность и адаптивность аддитивного производства, обеспечивая высокое качество и минимальные затраты на ресурсы. Таким образом, аддитивные технологии продолжают активно трансформировать промышленность, предлагая инновационные решения и новые перспективы для будущего.

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию роботизированного комплекса трехмерной печати металлических изделий, включая его отдельные элементы, систему команд, структуру данных и систему управления комплекса, связывающую все элементы в единый комплекс.

Целью настоящей работы является разработка роботизированного технологического комплекса трехмерной печати металлических изделий по технологии “DED”.

В соответствии с целью ставятся следующие задачи исследования:

1. Обзор существующих технологий: проведение анализа современных технологий трехмерной печати металлических изделий с выбором, реализуемой на роботизированном технологическом комплексе;
2. Разработка печатающей оснастки, включающей механизм подачи и позиционирования проволоки и систему управления данными механизмами;
3. Разработка системы управления роботизированным технологическим комплексом трехмерной печати металлических изделий включала в себя анализ возможных структур системы управления, на основе которой, после выбора оборудования роботизированного комплекса, разрабатывались принципиальные схемы, далее были сформулированы требования к структурам хранения и обработки управляющей программы, сформированы базы данных для ПЛК, исходя из которых разрабатывалась

архитектура управляющей программы и алгоритмы работы системы управления роботизированного технологического комплекса трехмерной печати металлических изделий;

4. Апробация роботизированного технологического комплекса трехмерной печати металлических изделий.

Научная новизна работы:

1. Адаптация аддитивной технологии DED для построения роботизированного технологического комплекса трехмерной печати металлических изделий, позволяющего создавать тонкостенные цельнометаллические структуры, имеющие более двух степеней кривизны в трехмерном пространстве при высокой скорости изготовления, не подвергая изделия термической деформации в ходе печати.

Практическая значимость заключается в:

1. Разработка алгоритмов управления роботизированного технологического комплекса трехмерной печати металлических изделий;

2. Разработка специализированных механизмов подачи и позиционирования проволоки, позволяющих добиться требуемых технологических параметров печати металлических изделий, обеспечивающих точность печати за счет регулировки угла наклона, расстояния до точки фокусировки лазера.

Методы исследования.

1. Анализ существующих технологий: Проведен анализ существующих технологий трехмерной печати металлических изделий, что позволило выбрать наиболее подходящую технологию для реализации в разрабатываемом комплексе.

2. Моделирование и расчет: Разработаны структурные и принципиальные схемы системы управления, включая расчет механических параметров для оптимизации механизмов подачи и позиционирования проволоки.

3. Экспериментальное исследование: Проведена апробация разработанных элементов системы, включая промышленного робота, источника лазерного излучения и механизмов подачи и позиционирования проволоки, для подтверждения их работоспособности и соответствия требованиям проекта

Степень достоверности и апробации работы. Основные выводы и положения, сформулированные в процессе работы над диссертацией, нашли подтверждение в ходе проектирования. Отдельные разделы диссертационной работы докладывались и обсуждались на

- VII Всероссийская национальная научная конференция молодых учёных «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований» (г. Комсомольск-на-Амуре, апрель 2024 г.), тема «Особенности реализации формирования очереди команд в ПЛК посредством панели оператора», приглашенный доклад;

- VII Всероссийская национальная научная конференция молодых учёных «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований» (г. Комсомольск-на-Амуре, апрель 2024 г.), тема «Исследование вариантов компоновки оборудования активной системы защиты от лазерного излучения», приглашенный доклад;

- III Всероссийская научно-практическая конференция «Электропривод на транспорте и в промышленности» (г. Хабаровск, октябрь 2023 г.), тема «Алгоритм обработки управляющей программы роботизированного комплекса трехмерной печати металлами», приглашенный доклад;

- Международная научно-практическая конференция "Индустрия 4.0" (г. Сочи, март 2024 г.), тема «Command system for a robotic 3D printing complex using DED technology», приглашенный доклад;

- Международная выставка «Россия» на ВДНХ (22-23 мая 2024 г., Москва), проект «GEEK.KNASTU: Роботизированный комплекс трехмерной печати металлами», стендовый доклад (в работе выставки примет участие

один из членов научного коллектива – Овсянников А.Р. и будет представлять проект посетителям выставки);

- VI Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов, магистрантов и аспирантов вузов России по естественным, техническим и гуманитарным наукам «ШАГ В НАУКУ»;

- Чемпионат производственных компетенций VI Всероссийская национальная научная конференция молодых учёных «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований»

Реализация результата работы. предполагает сборку роботизированного технологического комплекса трехмерной печати металлических изделий, проведение набора экспериментов для утверждения работоспособности разработанного комплекса.

Личный вклад автора состоит в анализе технологий трехмерной печати металлических изделий, формировании структуры комплекса, выбор оборудования для построения роботизированного комплекса, разработка механизма подачи и позиционирования проволоки, а также системы управления для механизма подачи и позиционирования, разработки принципиальных схем системы управления роботизированным комплексом, формирование структуры хранения управляющих команд, разработка алгоритмов системы управления роботизированным комплексом, написание управляющей программы для системы управления роботизированным комплексом и механизма подачи и позиционирования, проведение апробации роботизированного технологического комплекса трехмерной печати металлических изделий.

Публикации. Результаты диссертационного исследования опубликованы в пяти научных изданиях, индексируемых базами РИНЦ, ВАК, RSCI и Scopus.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 30

наименований. Работа представлена на 113 страницах, содержит 79 рисунков и 41 таблицу, 9 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована и обоснована актуальность темы исследования, обозначена цель работы и задачи для её достижения, изложена новизна и практическая значимость результатов работы.

В первой главе осуществлён анализ существующих технологий трехмерной печати металлических изделий, сформирована укрупненная структура роботизированного технологического комплекса трехмерной печати металлических изделий.

Вторая глава посвящена разработке печатающей оснастки в виде механизма подачи и позиционирования проволоки, описана механика механизма позиционирования проволоки, проведены нагрузочные расчёты усилий, преодолеваемые механизмом подачи проволоки, разработана функциональная схема системы управления механизмом подачи и позиционирования проволоки, произведен выбор оборудования для механизма подачи и позиционирования проволоки, разработана принципиальная схема системы управления механизмом подачи и позиционирования проволоки.

В третьей главе проведен анализ возможных структур системы управления роботизированным комплексом трехмерной печати металлических изделий, проведен выбор оборудования, требуемый для построения системы управления роботизированным комплексом, разработаны принципиальные схемы системы управления роботизированным комплексом трехмерной печати металлических изделий, сформирована структура хранения и обработки управляющей программы построенной на основе цифровой модели печатаемого изделия, разработана системы управления механизмом подачи и позиционирования проволоки комплекса

трехмерной печати металлических изделий, сформированы алгоритмы работы системы управления роботизированным технологическим комплексом трехмерной печати металлических изделий.

В четвертой главе проведена апробация разработанных элементов роботизированного комплекса, проведена апробация разработанного роботизированного технологического комплекса трехмерной печати металлических изделий.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В результате выполнения первой главы были исследованы современные технологии трехмерной печати металлических изделий, исходя из проведенного анализа для реализации роботизированного комплекса трехмерной печати была выбрана технология “DED”. Были сформированы основные требования к роботизированному технологическому комплексу трехмерной печати металлических изделий. По полученным требованиям была сформирована укрупненная структурная схема роботизированного комплекса.

В ходе выполнения второй главы магистерской диссертации производилась разработка печатающей оснастки роботизированного технологического комплекса трехмерной печати металлических изделий. В состав данной печатающей оснастки входят механизм подачи проволоки и механизм позиционирования проволоки. В ходе разработки механизма позиционирования проволоки была разработана геометрия механики механизма необходимая для достижения требуемых технологических параметров. Также был произведен подбор оборудования для построения необходимый для построения механизма позиционирования. В ходе разработки, механизм был спроектирован в системе автоматизированного проектирования CAD. В ходе разработки механизма подачи проволоки были сформированы необходимые требования для данного механизма. Механизм

подачи проволоки должен обеспечивать достаточные механические характеристики для подачи проволоки по изогнутым каналам с заданной длиной, скоростью, и ускорением. Для определения требуемых характеристик двигателя, установленного в механизме подачи проволоки были проведены расчеты усилий при протяжке проволок по гибким канала механизма подачи и позиционирования. В ходе расчетов требуемых усилий было получено значение 4 Н/м. Исходя из результатов расчетов было выбрано подходящее оборудование для реализации механизма подачи проволоки. В ходе разработки, механизма подачи проволоки был спроектирован в системе автоматизированного проектирования САД. Также в рамках данной главы была разработана структура системы управления механизмом подачи и позиционирования проволоки.

В рамках выполнения третьей главы производилась разработка системы управления роботизированным технологическим комплексом трехмерной печати металлических изделий. При построении системы управления роботизированным комплексом был проанализированы два варианта структуры системы управления, отличия данных структур заключалось в их главном управляющем устройстве, в первом варианте в качестве главного устройства, осуществляющего управление всеми остальными элементами комплекса, используется контроллер промышленного манипулятора, вторая структура отличается тем, что контроллер промышленного робота используется в качестве подчиненного устройства и служит для расчета траектории и перемещения промышленного манипулятора. В качестве главного управляющего устройства используется промышленный программируемый ПЛК. Исходя из проведенного анализа преимуществ и недостатков данных структур было принято решение использовать в качестве основного управляющего устройства ПЛК, так как это позволит производить чтение и обработку управляющей программы печати конкретного изделия, формирование команд для внешнего оборудования, и обрабатывать сигналы с датчиков комплекса независимо

друг от друга, также это снимет нагрузки расчетов и обработки данных с контроллера промышленного манипулятора, позволяя ему заниматься только расчетом перемещения промышленного манипулятора, не тратя время на обработку остальных элементов роботизированного комплекса. Исходя из сформированной структуры системы управления был произведен выбор оборудования для построения системы управления роботизированного технологического комплекса трехмерной печати металлических изделий. Далее была произведена разработка принципиальных схем системы управления роботизированным комплексом трехмерной печати металлических изделий, описывающие все элементы комплекса и способы их взаимодействия между собой. После сформированной системы управления были разработаны структуры хранения и обработки управляющих программ. Для хранения заданий, генерируемых на базе цифровой модели печатаемого металлического изделия, были разработаны базы данных, предназначенных для хранения основной очереди программ, состоящих из массивов структур размерностью 10 элементов. Необходимым этапом для построения роботизированного комплекса трехмерной печати металлических изделий стала разработка алгоритмов работы системы управления роботизированного комплекса, а также системы управления механизма подачи и позиционирования. В завершении по разработанным алгоритмам были написана управляющая программа для отдельных элементов роботизированного комплекса трехмерной печати металлических изделий.

В рамках выполнения четвертой главы апробация всего роботизированного комплекса трехмерной печати металлических изделий, а также отдельных его элементов. В ходе выполнения апробации был проведен набор экспериментов, направленных на подтверждение работоспособности как отдельных элементов комплекса, таких как панель оператора, система управления комплексом, промышленный манипулятор, источник лазерного излучения, механизм подачи и позиционирования проволоки, так и полного

роботизированного технологического комплекса печати металлических изделий.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Овсянников, А. Р. Расчет механических параметров двигателя подачи проволоки в роботизированной системе трехмерной печати / А. Р. Овсянников, С. И. Сухоруков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года / Редколлегия: А.В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 61-64. – EDN CWNRGТ.

2 Система управления модулем подачи и позиционирования проволоки для роботизированного комплекса трехмерной печати металлических изделий / С. И. Сухоруков, С. П. Черный, А. В. Бузикаева, А. Р. Овсянников // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2022. – Т. 65, № 3. – С. 66-73. – DOI 10.17213/0136-3360-2022-3-56-63. – EDN ZTDLWS.

3 Сухоруков, С. И. Один из вариантов структуры роботизированного комплекса трехмерной печати металлических изделий / С. И. Сухоруков, А. Р. Овсянников // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 05–11 декабря 2022 года / Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 95-98. – EDN XXHQLZ.

4 Sergei Sukhorukov, Markel Melnichenko, Anton Ovsyannikov, Ruslan Bazhenov, Olga Chuyko, Elena Gafiatulina, Igor Borodin; Control algorithm for

the automatic tool calibration system for a robotic machining complex. AIP Conf. Proc. 9 March 2023; 2700 (1): 040045.

5 S. Sukhorukov, A. Ovsyannikov and S. Lepekhina, "The Operation Algorithm of the Control System for the Wire Feeding and Positioning Module for the Robotic 3D Printing Complex," 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russian Federation, 2023, pp. 749-754, doi: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139307.