

УДК 681.518.5

DOI: [https://doi.org/10.52899/24141437\\_2025\\_01\\_89](https://doi.org/10.52899/24141437_2025_01_89)

Оригинальное исследование



# Применимость САМ-систем в области аддитивных технологий на примере работы с электродуговым выращиванием и СПРУТКАМ

И.Д. Бородкин, З.И. Гимранов, М.А. Олейник, В.Г. Смелов

Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева, Самара, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** В России активно развиваются технологии электродугового выращивания и прямого лазерное выращивания, находящие применение в различных отраслях. Электродуговое выращивание привлекает внимание благодаря своей экономичности и использованию стандартной роботизированной сварочной ячейки.

**Цель** — исследование возможности применения САМ-системы СПРУТКАМ (САМ — Computer Aided Manufacturing) для автоматизации процесса генерации управляющих программ для электродугового выращивания металлических изделий.

**Материалы и методы.** На примере изготовления реплики средневекового топорща продемонстрированы этапы подготовки 3D-модели, создания цифрового двойника оборудования, построения траектории движения инструмента и генерации управляющей программы.

**Результаты.** Полученная из СПРУТКАМ управляющая программа была загружена в контроллер робота-манипулятора и выполнена без ошибок. В результате выполнения управляющей программы была выращена заготовка топорща. Проанализированы результаты эксперимента, выявлены основные проблемы и предложены пути их решения.

**Выводы.** Исследование показало, что СПРУТКАМ может быть успешно использован для автоматизации процесса выращивания получаемых изделий, однако требует дополнительной настройки и оптимизации параметров.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии; программное обеспечение; САМ-система; СПРУТКАМ; электродуговое выращивание.

## Как цитировать

Бородкин И.Д., Гимранов З.И., Олейник М.А., Смелов В.Г. Применимость САМ-систем в области аддитивных технологий на примере работы с электродуговым выращиванием и СПРУТКАМ // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2025. Т. 4, № 1. С. 89–96. DOI: [https://doi.org/10.52899/24141437\\_2025\\_01\\_89](https://doi.org/10.52899/24141437_2025_01_89)

DOI: [https://doi.org/10.52899/24141437\\_2025\\_01\\_89](https://doi.org/10.52899/24141437_2025_01_89)

Original study article

# CAM system applications in additive technologies as shown by wire and arc additive manufacturing and SPRUTCAM

Ilya D. Borodkin, Zafar I. Gimranov, Maksim A. Oleinik, Vitaliy G. Smelov

Samara National Research University, Samara, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** In Russia, wire and arc additive manufacturing and laser direct deposition technologies are actively developing and applied in various industries. Wire and arc additive manufacturing is gaining interest as a cost-effective technology that uses a standard robotic welding cell.

**AIM:** To study a possible application of SPRUTCAM CAM (Computer Aided Manufacturing) system to automate the control program generation for wire and arc additive manufacturing of metal products.

**MATERIALS AND METHODS:** The article illustrates the stages of 3D modeling, creating a digital equipment twin, building the tool's movement path and generating a control program by making a copy of a medieval axe handle.

**RESULTS:** A SPRUTCAM control program was uploaded to the robotic arm controller and executed without errors. The control program allowed to make a blank axe handle. The article reviews the experiment, identifies key issues, and proposes ways to solve them.

**CONCLUSIONS:** The study showed that SPRUTCAM can successfully be used to automate the wire and arc additive manufacturing; however, it requires additional adjustment and optimization of parameters.

**Keywords:** additive technologies; software; CAM system; SPRUTCAM; wire and arc additive manufacturing.

## To cite this article

Borodkin ID, Gimranov ZI, Oleinik MA, Smelov VG. CAM system applications in additive technologies as shown by wire and arc additive manufacturing and SPRUTCAM. *Transactions of the Saint Petersburg State Marine Technical University*. 2025;4(1):89–96. DOI: [https://doi.org/10.52899/24141437\\_2025\\_01\\_89](https://doi.org/10.52899/24141437_2025_01_89)

Received: 04.02.2025

Accepted: 15.02.2025

Published online: 20.03.2025

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время DED (Direct Energy Deposition) технологии, такие как электродуговое выращивание (ЭДВ), прямое лазерное выращивание (ПЛВ), активно развиваются в России и находят применение все в большем количестве различных отраслей — от аэрокосмической до судостроительной [1]. Эти технологии привлекают внимание благодаря своей высокой производительности, экономичности и возможности работы с широким спектром материалов.

Технология электродугового выращивания является относительно недорогой и доступной по сравнению с другими методами аддитивного производства металлических заготовок, поскольку для ее реализации необходима стандартная роботизированная сварочная ячейка, которая уже широко применяется во многих отраслях производства. Главным отличием является подход к написанию управляющих программ для роботизированных ячеек аддитивного производства. В случае выращивания изделий сложной формы процесс ручного программирования робота-манипулятора становится крайне трудозатратным и продолжительным из-за большого количества точек, которые робот должен пройти в процессе выращивания. Для автоматизации процесса подготовки управляющей программы выращивания можно использовать САМ-системы (Computer Aided Manufacturing), которые позволяют строить траектории рабочего инструмента по импортированной 3D-модели изделия и выбранной стратегии обработки. Поскольку изначально САМ-системы создавались для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и субтрактивных технологий, набор параметров для построения траектории движения инструмента не всегда является подходящим в случае работы с аддитивными технологиями, что не позволяет раскрыть преимущества аддитивных технологий в полной мере. Из-за этого многие производители оборудования прибегают к разработке собственного программного обеспечения (ПО) с определенным набором параметров, которыми удобно оперировать для управления процессом выращивания изделия. Проблема такого подхода заключается в отсутствии унификации данного ПО для различного оборудования. Зачастую ПО, разрабатываемое для определенного станка, может работать только с ним. Унификация ПО является важным шагом на пути к распространению печати металлом с помощью DED-технологий [2]. Важность такого подхода можно заметить на примере уже широко распространенной технологии Fused Deposition Modeling (FDM) — печати

пластиком, где принтеры разных производителей могут программироваться с помощью одной программы. САМ-системы во многом подготовлены для работы с различным оборудованием, а в случае отсутствия нужного оборудования обладают удобным инструментарием для его добавления в систему<sup>1</sup>.

Компании и исследовательские центры активно разрабатывают ПО для работы с технологией ЭДВ. Компания xWeld является производителем оборудования аддитивного производства по технологии ЭДВ, предлагая как портальные, так и роботизированные установки. Для генерации управляющих программ используются PowerMill, СПРУТКАМ, Simplify3D, а также слайсер собственной разработки с возможностью непланарного слайсинга, что позволяет производить наплавку на поверхности сложной формы<sup>2</sup>. Подразделение компании S7 Space, занимающееся технологией ЭДВ, разрабатывает внутреннее ПО с функцией обратной связи для минимизации геометрических отклонений, интегрируя его с оборудованием аддитивного производства и САД-системами<sup>3</sup>.

Лаборатория легких материалов и конструкций Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого имеет обширный опыт работы с алюминиевыми, титановыми и никелевыми сплавами. Лаборатория также занимается опытным производством принтеров «ПРИЗМА». Однако ПО, которое они применяют для работы с ЭДВ, является закрытым и информации в открытых источниках о его особенностях нет.

Перечисленные выше примеры подчеркивают разнообразие используемого ПО для генерации управляющих программ среди различных технологических центров, что говорит об актуальности данной проблемы.

*Цель работы* — исследование возможности применения САМ-системы СПРУТКАМ версии 17 для автоматизации процесса генерации управляющих программ выращивания заготовок по технологии ЭДВ на примере изготовления реплики средневекового топорща.

## ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Исследование производилось на оборудовании аддитивного производства по технологии ЭДВ, включая шестисосевого робот-манипулятор Kawasaki BA-006L, сварочный источник ALLOY MC-501MXi, сварочную горелку Abicor Binzel и двухосевой позиционер RBW 2-250.

Сварочный робот-манипулятор BA-006L обладает пустотелыми звеньями и специальными площадками для удобного монтажа сварочного оборудования.

<sup>1</sup> Ye R. What is computer-aided manufacturing: definition, types, applications & advantages. URL: <https://www.3erp.com/blog/computer-aided-manufacturing> (дата обращения: 05.09.2024).

<sup>2</sup> xweld.ru [Электронный ресурс]. xWeld. URL: <https://xweld.ru/about> (дата обращения: 05.09.2024).

<sup>3</sup> ritm-magazine.com [Электронный ресурс]. S7 space: проволочно-дуговая аддитивная технология в современном производстве. URL: <https://ritm-magazine.com/ru/video/s7-space-provolochno-dugovaya-additivnaya-tehnologiya-v-sovremennom-proizvodstve.html> (дата обращения: 05.09.2024).

**Таблица 1.** Основные характеристики робота-манипулятора Kawasaki BA-006L**Table 1.** Key specifications of Kawasaki BA-006L robotic manipulator

Характеристики	Значение
Количество степеней свободы, шт	6
Полезная нагрузка, кг	6
Повторяемость, мм	±0,08
Предельная досягаемость, мм	2036
Масса, кг	160

**Таблица 2.** Основные характеристики сварочного источника ALLOY MC-501MXi**Table 2.** Key specifications of ALLOY MC-501MXi welder

Характеристики	Значение
Диапазон регулировки сварочного тока, А	20–500
Диапазон регулировки сварочного напряжения, В	14–50
Специальные режимы	MIG/Pulse/Double Pulse/MAG/MMA
Диаметр сварочной проволоки, мм	0,8, 1,0, 1,2, 1,6
Масса, кг	55

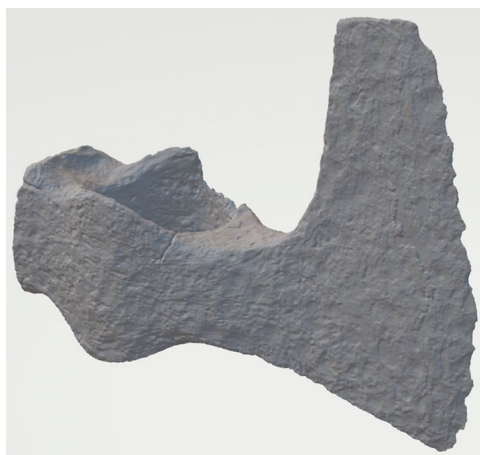
**Таблица 3.** Химический состав проволоки 12X18Н10Т согласно ГОСТ 5632-2014**Table 3.** Chemical composition of 12X18N10T wire (GOST 5632-2014)

Химический элемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	S	P	Fe
Массовая доля, %	Не более 0,12	Не более 0,80	Не более 2,00	17,00–19,00	9,00–11,00	5 С–0,80	Не более 0,020	Не более 0,040	Основа

Основные характеристики робота-манипулятора представлены в табл. 1.

Сварочный источник MC-501MXi работает в режимах MIG и PMIG сварки, что делает его пригодным для работы с большинством доступных сварочных материалов. Основные характеристики сварочного источника представлены в табл. 2.

Двухосевой позиционер RBW 2-250 облегчает процесс выращивания изделий сложной формы благодаря



**Рис. 1.** Отсканированная модель средневекового топорика.  
**Fig. 1.** Scanned model of a medieval axe handle.

возможности поворота заготовки в двух плоскостях с необходимой скоростью для качественной наплавки. Грузоподъемность позволяет изготавливать крупногабаритные заготовки массой до 250 кг. Управление позиционером осуществляется через контроллер робота, что позволяет синхронизировать их движение и обеспечить необходимую точность и производительность.

В качестве исходного материала для выращивания использовалась проволока диаметром 1,2 мм марки 12X18Н10Т, химический состав которой приведен в табл. 3 согласно ГОСТ 5632-2014<sup>4</sup>. Данный материал широко используется в области аддитивных технологий, хорошо изучен и обладает отличной свариваемостью, что обеспечивает стабильность процесса наплавки и высокое качество получаемых изделий. Для защиты сварочной ванны от воздействия кислорода использовался чистый аргон.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве предмета исследования была выбрана реплика средневекового топорика. Оригинальное топориче было найдено на территории Самарской области

<sup>4</sup> ГОСТ 5632-2014 Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные: дата введения 2015-01-01. Москва: Стандартинформ, 2015. 16 с.

и отсканировано. 3D-модель скана топорича представлена на рис. 1.

Поскольку оригинальное топориче сильно деформировано и по отсканированной модели было невозможно подготовить технологическую модель для дальнейшего выращивания, была разработана собственная 3D-модель изделия в САД-системе Компас-3D. Затем по разработанной 3D-модели была создана технологическая модель изделия, подготовленная с учетом ограничений и особенностей технологии ЭДВ. Острая кромка лезвия была затуплена, поскольку острые углы в изделии будут создавать точки накопления материала в процессе выращивания. Верхняя часть топорича была выровнена, поскольку она будет прилегать к плоской подложке. Также был добавлен припуск в 3 мм по всей поверхности детали под дальнейшую механическую обработку. Конечный вид технологической модели представлен на рис. 2.

Для достижения цели исследования подготовка СПРУТКАМ к работе с установкой по ЭДВ была разбита на несколько этапов.

В рамках первого этапа был создан цифровой двойник ячейки ЭДВ с помощью утилиты «MachineMaker», встроенной в САМ-систему СПРУТКАМ<sup>5</sup>. Цифровой двойник позволил предугадывать кинематические ограничения оборудования и возможные столкновения на этапе симуляции процесса наплавки. Были импортированы 3D-модели следующего оборудования и оснастки:

- робот-манипулятор Kawasaki BA-006L;
- двухосевой позиционер RBW 2-250;
- сварочный стол;
- постамент робота.

Импортированные компоненты были настроены: для позиционера и робота-манипулятора были заданы базовые точки, рабочие зоны, а также ограничения на углы отклонения осей и их угловые скорости. Эти параметры критически важны для предотвращения коллизий и обеспечения безопасности работы оборудования. Конечный вид цифрового двойника представлен на рис. 3.

На втором этапе необходимо было построить траекторию движения инструмента, по которой происходит

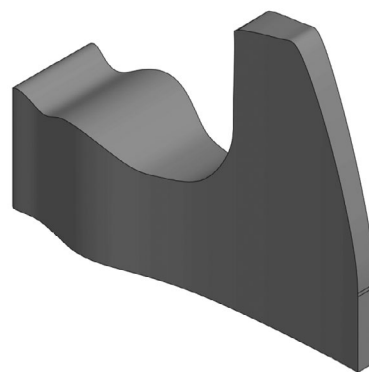


Рис. 2. Подготовленная технологическая модель для выращивания.

Fig. 2. Prepared engineering model for wire and arc additive manufacturing.

наплавка. В систему СПРУТКАМ импортировали подготовленную ранее 3D-модель изделия в формате \*.stp. Далее была определена стратегия и технологические параметры процесса выращивания.

Заполнение внутреннего объема изделия проходило параллельными валиками, расположенными вдоль оси симметрии топорича. Величина перекрытия параллельных проходов составляла 60 % от ширины одиночного валика. Между слоями осуществлялся разворот направления наплавки на 180°, таким образом компенсировали неравномерность высоты в начале и конце наплавляемого валика, после заполнения наплавляется один валик, образующий контур заготовки. Для предотвращения столкновений инструмента с заготовкой были заданы подходы и отходы при переходе между наплавляемыми валиками. Остальные параметры заданы в соответствии с режимом сплавления для проволоки 12X18H10T. Параметры режима сплавления указаны в табл. 4.

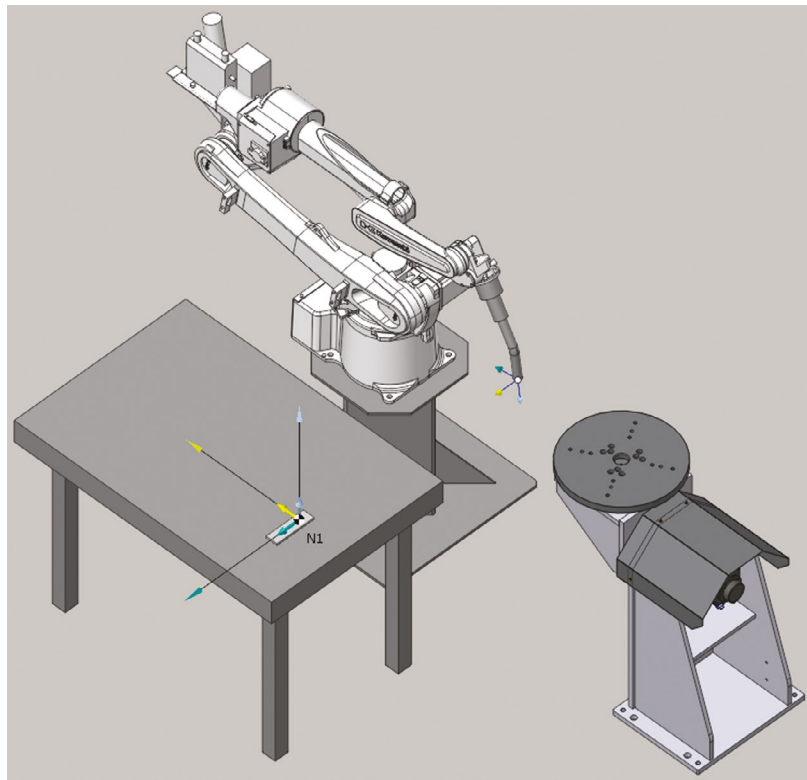
После выбора стратегии и определения всех необходимых параметров был произведен расчет траектории движения инструмента. Импортированная модель была разделена на слои согласно выставленной высоте валика, после чего были рассчитаны траектории заполнения

Таблица 4. Параметры режима сплавления проволоки из стали 12X18H10T

Table 4. Fusion parameters of 12X18H10T steel wire

Параметры режима	Значение
Сварочный ток, А	220
Сварочное напряжение, В	18
Скорость наплавки, м/с	12
Подача проволоки, м/мин	4,5
Подача защитного газа, л/мин	14
Высота валика, мм	3
Ширина валика, мм	5

<sup>5</sup> kb.sprutcaml.com [Электронный ресурс]. Introduction to SprutCAM X. URL: <https://kb.sprutcaml.com/docs/SprutCAM/17/en/4.html> (дата обращения: 05.09.2024).

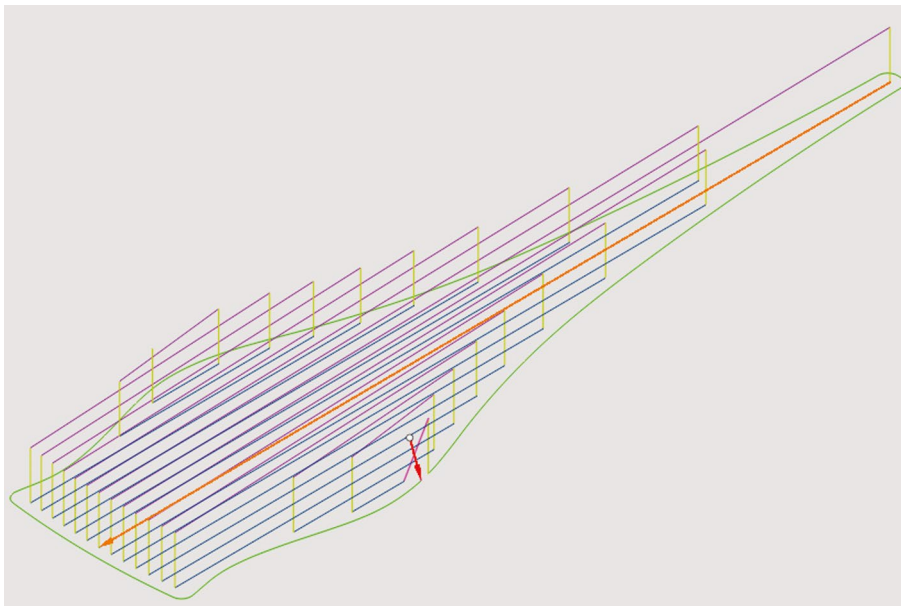


**Рис. 3.** Созданный цифровой двойник роботизированной ячейки в утилите MachineMaker.  
**Fig. 3.** Digital twin of a robotic cell created in MachineMaker.

каждого слоя в соответствии с выбранными параметрами и стратегией. Пример заполнения одного слоя представлен на рис. 4.

После генерации траекторий было произведено моделирование процесса выращивания топорища вместе с визуализацией процесса наплавки. При моделировании

процесса выяснилось, что в нескольких местах траектории шестая ось робота выходила за пределы допустимых углов отклонения, что привело бы к остановке процесса наплавки во время выращивания. Для решения этой проблемы была перестроена карта осей робота-манипулятора в автоматическом режиме. В результате после



**Рис. 4.** Пример заполнения одного слоя. Зеленый цвет линий — контур изделия, синий — заполнение внутри контура, фиолетовый — переходы между валиками, желтый — подходы и отходы.  
**Fig. 4.** Making of a layer. Green lines show the product outline; blue lines show the filling inside the outline; purple lines show the transitions between the beads; and yellow lines show approach and return movements.

перестроения карты осей появилось отклонение ориентации инструмента от заданной на несколько градусов, однако это решило проблему ограничения шестой оси.

На третьем этапе разработали постпроцессор для перевода полученных траекторий в управляющую программу для робота-манипулятора. Для работы с постпроцессорами в СПРУТКАМ есть специальная утилита «Генератор постпроцессоров». В стандартной библиотеке утилиты был постпроцессор для работы с роботами производства Kawasaki. Этот постпроцессор был взят за основу и доработан для работы со сварочным роботом. Были добавлены команды старта и окончания наплавки, а также создана подпрограмма для работы с двухосевым позиционером, как показано в работе [3]. После доработки постпроцессора была сгенерирована управляющая программа на языке AS language, готовая к загрузке в контроллер робота-манипулятора.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

После полученная из СПРУТКАМ управляющая программа была успешно загружена в контроллер робота-манипулятора и выполнена без ошибок.

В результате выполнения управляющей программы была выращена заготовка топорича, на поверхности которой имелись глубокие поры и наплывы. Время, затраченное на процесс выращивания, составило шесть часов, что говорит о низкой производительности процесса наплавки. Это связано с несколькими недостатками выбранной стратегии и параметрами выращивания:

- неправильная ориентация рабочего инструмента в процессе выращивания. Горелка в процессе выращивания была расположена перпендикулярно оси симметрии топорича. Из-за остаточных напряжений в проволоке после выхода из катушки, в которую она намотана, проволока выходит из наконечника не соосно соплу. Это привело к образованию большого количества капель на одной из сторон топорича. Решением проблемы может быть установка ориентации горелки вдоль оси симметрии топорича, тогда обе стенки будут одинакового качества, а образование капель будет наблюдаться только на пятке топорича либо со стороны лезвия, которое впоследствии будет механически обрабатываться. Еще одним решением является установка роликов для выпрямления проволоки после выхода из катушки. Сориентировать горелку таким образом, чтобы проволока входила в ванну расплава перпендикулярно не является удачным решением, поскольку в таком случае защитный газ, выходящий из сопла, не будет равномерно распределяться вокруг сварочной ванны;
- неправильно выбранная стратегия выращивания. Угол поворота заполнения между слоями следует изменить на  $90^\circ$  вместо  $180^\circ$  — это приведет

к лучшей сплавляемости слоев между собой и образованию меньшего количества пор внутри изделия. Возможным способом решения данной проблемы является изменение стратегии заполнения на «змейку» вместо параллельных проходов — это ускорит процесс заполнения одного слоя, однако приведет к большим тепловложениям. Еще одним вариантом решения проблемы может стать изменение порядка заполнения и наплавки контура. Из-за того, что контур наплавлялся в последнюю очередь в рамках одного слоя, часть металла из-за перегрева стекала на стенки топорича, что приводило к дефектам на поверхности топорича. Для решения этой проблемы стоит поменять очередность наплавки контура и заполнения;

- большое количество передаваемой погонной энергии. Даже при заполнении параллельными проходами наблюдался перегрев сварочной ванны на некоторых слоях изделия. Это приводило к большому количеству брызг и образованию пор внутри изделия. Уменьшения погонной энергии можно добиться за счет изменения режима сплавления либо использования технологии CMT (Cold Metal Transfer) на сварочном источнике. В случае, если указанные решения невозможно выполнить, следует увеличивать время технологических пауз как между слоями, так и между параллельными проходами, что приведет к еще большему уменьшению производительности процесса наплавки.

После выращивания заготовка топорича была срезана с подложки и подвергнута механической обработке. Реплика топорича до и после механической обработки представлена на рис. 5.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование подтвердило возможность применения САМ-системы СПРУТКАМ для автоматизации процесса генерации управляющих программ для ЭДВ.



Рис. 5. Реплика средневекового топорича, выращенная по технологии электродугового выращивания с помощью СПРУТКАМ: *a* — заготовка до механической обработки; *b* — заготовка после механической обработки.

Fig. 5. Copy of a medieval axe handle made by wire and arc additive manufacturing using SPRUTCAM: *a*, blank before machining; *b*, blank after machining.

Несмотря на достигнутые результаты, выявлен ряд проблем, связанных с качеством поверхности, пористостью и производительностью процесса. Для улучшения результатов необходимо оптимизировать параметры режима сплавления, выбрать оптимальную стратегию выращивания и провести более детальный анализ тепловых процессов. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований в области автоматизации аддитивных технологий и повышения качества получаемых изделий.

Результаты работы демонстрируют потенциал использования СПРУТКАМ для промышленного применения ЭДВ и подчеркивают необходимость дальнейшей оптимизации параметров процесса, что открывает перспективы для автоматизации и стандартизации технологии [4].

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора: И.Д. Бородкин — провел исследование, разработал постпроцессор для СПРУТКАМ, написал текст статьи; В.Г. Смелов — разработал концепцию исследования;

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курушкин Д.В., Мушников И.В., Панченко Е.В., и др. 3D печать металлических изделий. Особенности применения электродуговой наплавки // Деловой журнал NEFTEGAZ.RU. 2021. № 6. С. 88–91. EDN: FBLYXR
2. Treutler K., Wesling V. The current state of research of wire arc additive manufacturing (WAAM): A review // Appl Sci. 2021. Vol. 11, N 18. ID 8619. doi: 10.3390/app11188619

## REFERENCES

1. Kurushkin DV, Mushnikov IV, Panchenko EV, et al. 3D printing of metal products. Features of application of electric arc cladding. *Business Journal NEFTEGAZ.RU*. 2021;(6):88–91. EDN: FBLYXR (In Russ.)
2. Treutler K, Wesling V. The current state of research of wire arc additive manufacturing (WAAM): A review. *Appl Sci*. 2021;11(18):8619. doi: 10.3390/app11188619

## ОБ АВТОРАХ

**\*Илья Дмитриевич Бородкин**, магистр;  
адрес: Россия, 443086, Самара, Московское ш., д. 34;  
e-mail: crysisilya@yandex.ru

**Зафар Ильясович Гимранов**, младший научный сотрудник;  
e-mail: zafargimranov86@gmail.com

**Максим Андреевич Олейник**, аспирант;  
eLibrary SPIN: 8597-3533; e-mail: oleynik1997@mail.ru

**Виталий Геннадиевич Смелов**, канд. техн. наук, доцент;  
eLibrary SPIN: 2504-9185; ORCID: 0000-0001-9556-6290;  
e-mail: smelov@ssau.ru

З.И. Гимранов — провел исследование, произвел анализ полученных результатов; М.А. Олейник — редактирование статьи, визуализация статьи.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study. Personal contribution of each author: I.D. Borodkin, conducted the research, developed a postprocessor for SprutCAM, and wrote the article text; V.G. Smelov, developed the research concept; Z.I. Gimranov, conducted the research and performed analysis of the obtained results; M.A. Oleinik, article editing and visualization.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

3. Олейник М.А., Хаймович А.И., и др. Математическая модель кинематики промышленного робота, оснащенного двухосевым позиционером // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2021. Т. 25, № 1. С. 77–84. EDN: DLDHIT
4. Rodrigues T.A., Duarte V., Miranda R.M., et al. Current status and perspectives on wire and arc additive manufacturing (WAAM) // *Materials*. 2019. Vol. 12, N 7. ID 1121. doi: 10.3390/ma12071121

3. Oleynik MA, Khaimovich AI, et al. Mathematical model of kinematics of an industrial robot equipped with a two-axis positioner. *Vestnik UGATU*. 2021;25(1):77–84. EDN: DLDHIT

4. Rodrigues TA, Duarte V, Miranda RM, et al. Current status and perspectives on wire and arc additive manufacturing (WAAM). *Materials*. 2019;12(7):1121. doi: 10.3390/ma12071121

## AUTHORS' INFO

**\*Ilya D. Borodkin**, Master's Degree student;  
address: 34 Moskovskoe hwy, Samara, 443086, Russia;  
e-mail: crysisilya@yandex.ru

**Zafar I. Gimranov**, junior research associate;  
e-mail: zafargimranov86@gmail.com

**Maksim A. Oleinik**, postgraduate student;  
eLibrary SPIN: 8597-3533; e-mail: oleynik1997@mail.ru

**Vitaliy G. Smelov**, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;  
eLibrary SPIN: 2504-9185; ORCID: 0000-0001-9556-6290;  
e-mail: smelov@ssau.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author