

УДК 519.862.6

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-75-80

Способ аддитивного производства металлических изделий

Д. Д. Какорин, аспирант, Тверской государственной технической университет, Тверь, Россия

А. Ю. Лаврентьев, кандидат технических наук,
Тверской государственной технической университет, Тверь, Россия

Б. И. Марголис, доктор технических наук, профессор,
Тверской государственной технической университет, Тверь, Россия

В статье приведено описание современных способов аддитивного производства металлических изделий, рассмотрены их достоинства и недостатки, обоснована актуальность разработки наиболее производительного и эффективного способа аддитивного производства металлических изделий на основе послойной электродуговой наплавки.

Известные способы аддитивного производства основываются, как правило, на принципе плавления присадочного порошкового материала высококонцентрированными – лазерными или электронными – источниками теплового воздействия. Свою актуальность данные способы послойного наплавления получили благодаря малой распространенности зоны термического влияния в наплавленном металле, высокой точности послойного построения и возможности автоматизированного управления процессом аддитивного производства. Несмотря на многие преимущества, у данных способов существуют значительные недостатки, ограничивающие их применение в условиях реальных производственных процессов. К ним относятся низкая скорость послойного построения, связанная с малыми размерами наплаваемого слоя и необходимостью выполнения нескольких проходов для формирования стенки заданной толщины, высокая стоимость используемого оборудования, необходимость использования вакуумной камеры в процессе наплавки, а также высокая вероятность образования дефектов в структуре наплавленного металла при спекании порошковых материалов.

В предлагаемом способе аддитивного производства указанные недостатки решаются за счет использования электрического дугового разряда для плавления проволоочного присадочного материала. Использование электрической дуги в совокупности с проволоочным материалом позволяет до 4 раз увеличить скорость послойного построения. Также наплавление проволоочного материала позволяет свести к минимуму вероятность образования несплавлений и пор в структуре наплавленного металла.

Однако для повышения качества наплаваемых изделий и использования предложенного способа в реальных производственных условиях необходимо обеспечить автоматизированное управление технологическим процессом послойной электродуговой наплавки. Для этого в статье определены ключевые этапы технологического процесса и выделены наиболее значимые характеристики, определяющие качество наплаваемых изделий.

Ключевые слова: аддитивное производство, электродуговая наплавка, послойное построение, режимы наплавки, присадочная проволока, автоматизированное управление, технологический процесс.

Введение

Развитие современной промышленности невозможно представить без разработки и внедрения новых производственных технологий, позволяющих сократить время производственных процессов, уменьшить материалоемкость и себестоимость изделий, а также обеспечивающих стабильное качество изготавливаемой продукции на всех этапах производства [1, 2].

Помимо этого, развитие промышленности влечет рост номенклатуры изготавливаемой продукции, в частности металлических изделий [3, 4]. Отсюда возникает техническая проблема эффективного производства металлических изделий различной геометрической формы и размеров, а также прототипов и мелкосерийной продукции с минимальными затратами времени на переналадку оборудования и приспособлений.

Традиционными способами серийного и массового производства металлических изделий являются литье и обработка давлением [5]. В определенных условиях данные способы отличаются высокой производи-

тельностью и позволяют обеспечивать стабильное качество изготавливаемых деталей. Однако при переходе к единичному и мелкосерийному выпуску продукции данные способы становятся малоэффективными, увеличивается вероятность нарушений в технологическом процессе производства, приводящих к увеличению количества бракованных изделий. Еще одним недостатком перечисленных технологий является высокая стоимость используемого оборудования, оснастки и приспособлений, что делает экономически не целесообразным их применение при изготовлении широкой номенклатуры единичных металлических изделий различных размеров и геометрической формы [6–8].

Целью проведенного исследования является разработка эффективного способа производства металлических изделий различной геометрической формы и размеров.

При этом разработанный способ должен иметь высокую производительность, возможность автоматизации процесса производства, низкие производственные затраты и обеспечивать высокое качество изготавливаемой продукции.

Обзор аналогов и прототипов

Высокий потенциал изготовления металлических деталей в описанных выше условиях производства имеют технологии аддитивного производства, основанные на принципе послойного построения металлического изделия из порошкового и проволоочного присадочного материала [9–12].

Для сбора информации о существующих технологиях аддитивного производства металлических изделий был использован метод научного поиска и анализа ранее зарегистрированных заявок или патентов, а также иных материалов, описывающих современные технические решения [13]. Среди рассмотренных способов были выделены наиболее перспективные технологии производства металлических изделий, выступающие в качестве аналогов традиционным технологиям [14–16].

Например, известен патент на изобретение № 2574536 «Способ изготовления металлического компонента посредством аддитивного лазерного изготовления», заключающийся в послойном наплавлении заданной детали из металлического базового материала путем сканирования области построения лазерным лучом. Особенностью предложенного способа является контролируемая ориентация зерен в направлении Z, перпендикулярном плоскости детали X-Y. Ориентацию зерен создают путем сканирования энергетического луча в соответствии с профилем сечения детали или условиями локальной нагрузки надеталь (рис. 1).

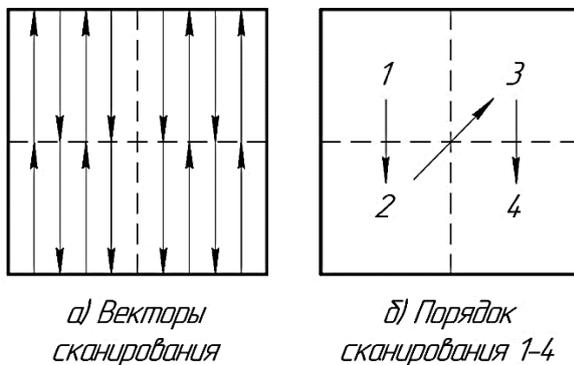


Рис. 1. Схема сканирования с чередующимися векторами под углом 90° между смежными слоями

Fig. 1. Scanning scheme with alternating vectors at an angle of 90° between adjacent layers

Также существует патент № 2696108 «Способ изготовления деталей из металла или композиционного материала с металлической матрицей в результате аддитивного производства с последующей операцией, включающей ковку указанных деталей». В данном способе аддитивного производства металлических изделий предлагается изготавливать порошковую заготовку из металлического сплава путем использования аддитивного производства с добавлением порошка в следующие один за другим слои заготовки и операцииковки полученной заготовки. В процессе операцииковки происходит связывание частиц порошка в дефектных зонах заготовки с на-

рушенной связанностью порошка. Полученный в ходе аддитивного производства компонент подвергается термической обработке, температура выдержки при этом превышает температуру рекристаллизации материала компонента.

Известен патент на способ производства компонента с использованием процесса аддитивного производства (RU № 2699881, B22F 5/04, 11.09.2019), включающий поступательное нанесение строительного материала и расплавление его лазерным лучом (рис. 2). В процессе плавления строительного материала энергетический луч неоднократно сканирует область построения в двух координатах, в соответствии с моделью сканирования, создавая тем самым эффективное пятно на строительном материале. Эффективное пятно имеет двухмерное распределение энергии и смещается по отношению к изготавливаемому объекту, обеспечивая поступательное построение детали из расплавленного строительного материала.

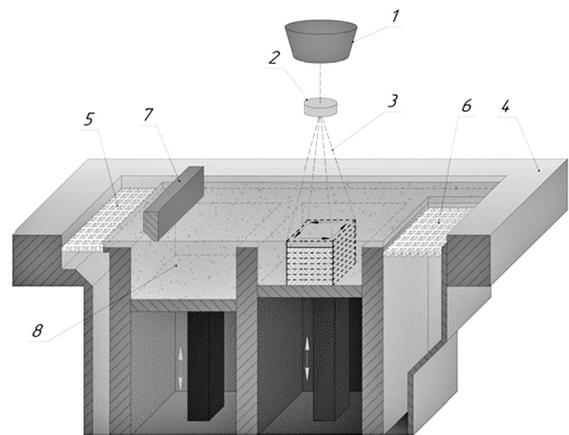


Рис. 2. Процесс лазерного плавления порошкового материала: 1 и 2 – лазерное оборудование; 3 – лазерный луч; 4 – стол; 5 и 6 – отверстия для подачи и удаления порошка; 7 – картридж; 8 – слой порошка

Fig. 2. The process of laser melting of powder material: 1 and 2 – laser equipment; 3 – laser beam; 4 – table; 5 and 6 – holes for feeding and removing powder; 7 – cartridge; 8 – powder layer

Наиболее перспективным с точки зрения технической реализации является способ аддитивного сварочно-плавильного изготовления трехмерных изделий, заключающийся в послойном лазерном построении указанного изделия из базового материала в соответствии с созданной 3D-моделью указанного изделия (RU № 2674588, B23K31/00, 2006).

Основными недостатками, затрудняющими практическое применение описанных технологий, являются высокая трудоемкость производства, низкая скорость лазерного послойного построения, а также высокая вероятность образования внутренних и внешних дефектов структуры наплавленного металла в процессе спекания порошкового присадочного материала.

Решение перечисленных выше недостатков может быть достигнуто за счет использования в качестве источника тепловой энергии электриче-

ской дуги и заменой порошкового строительного материала на присадочную проволоку. Данное решение позволит увеличить производительность технологии аддитивного производства металлических изделий, а также повысить качество наплавленного металла.

Описанная в предлагаемом изобретении технология электродуговой наплавки проволоочного материала имеет увеличенную, по сравнению с лазерными или электронно-лучевыми технологиями, зону нагрева и объем наплавленного металла, а также высокую скорость послойного построения.

Кроме того, использование современного источника сварочного тока позволяет автоматизировать процесс послойного построения, регулировать термический цикл наплавки и осуществлять послойную наплавку на режимах, обеспечивающих требуемое качество структуры наплавленного металла и скорость послойного построения. Управление термическим циклом послойной наплавки позволяет исключить образование дефектов внутренней структуры наплавленного металла, контролировать структурно-фазовые превращения и обеспечивать требуемые физико-механические свойства изготавливаемых деталей. Однако для организации автоматизированного управления технологическим процессом необходимо определить его ключевые стадии и выделить наиболее значимые характеристики.

Описание предложенного способа аддитивного производства

Сущность предлагаемой технологии раскрывается на примере наплавки изделия коробчатого типа замкнутого контура с описанием соответствующих этапов производства, алгоритмов их автоматизации и программы оптимизации технологического процесса послойной наплавки.

Первый этап аддитивного производства заключается в определении исходных данных о наплавленном изделии и выборе основных и присадочных материалов. После анализа технических условий в программу оптимизации вносятся геометрические характеристики наплаваемой детали (длина L , высота B и толщина g стенок детали), на основе которых программа определяет номинальную толщину наплаваемого слоя $g_{ном}$.

Далее подбирается марка и диаметр присадочной проволоки $D_{пр}$ с учетом требуемых механических свойств изготавливаемой детали. На основе геометрических размеров наплаваемого изделия определяются оптимальные размеры металлического основания (длина L_0 , ширина B_0 , толщина g_0). Выбор перечисленных параметров осуществляется на основе экспериментально подтвержденных данных. Например, для наплавки изделий с толщиной стенки 4 мм рекомендуется использовать присадочную проволоку диаметром 1,2 мм, позволяющую наплавлять валик толщиной 5–6 мм за один проход сварочной горелки.

На втором этапе осуществляется подготовка металлического основания и наладка технологического оборудования. Основание используется в качестве

подложки, на которую осуществляется наплавка проволоочного присадочного материала, а определенные на первом этапе характеристики процесса позволяют установить параметры рабочего поля станка, обеспечить надежное закрепление детали на рабочем столе, установить правильную траекторию и скорость перемещения сварочной горелки.

Третий этап – предварительный подогрев основания изделия. Данный этап реализуется вручную и заключается в предварительном подогреве основания в печи до температуры 100–150 °С с целью обеспечения наилучшего сплавления первых слоев наплавленного металла с основанием и устранения риска возникновения закалочных структур в наплавленном металле.

Четвертый этап состоит: из наплавки первого слоя присадочного материала на металлическое основание; послойной наплавки последующих слоев металла до стабилизации температуры и установления оптимального режима наплавки (2–5 слоев); наплавки оставшегося объема металла до формирования заданной геометрии детали; наплавки дополнительного слоя металла с целью достижения требуемой структуры и свойств металла по всему объему изделия (1–3 дополнительных слоя) (рис. 3).

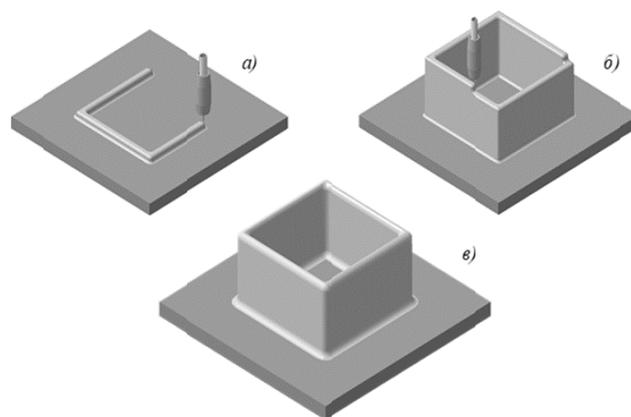


Рис. 3. Этапы послойной электродуговой наплавки:
а – наплавка первого валика;
б – процесс послойной наплавки; в – наплавленное изделие

Fig. 3. Stages of layer-by-layer electric arcsurfacing:
a) surfacing of the first roller;

Режимы послойной электродуговой наплавки изменяются в зависимости от геометрических размеров наплаваемой детали, выбранной марки стали и теплофизических свойств наплаваемого материала в следующих пределах: сила тока I от 40 до 250 А, напряжение U от 17 до 23 В, скорость наплавки V от 14 до 20 м/ч и расход защитного газа от 6 до 12 л/мин.

Широкий диапазон представленных параметров послойной электродуговой наплавки не позволяет определить режим, при котором обеспечивается заданная геометрия изделия, снижается количество внутренних и внешних дефектов, а также достигается требуемая структура и физико-механические свойства наплавленного металла.

Для решения проблемы выбора режима наплавки и автоматизации этапа послойной наплавки авторами разработана программа оптимизации технологического процесса, позволяющая на основе определенных на первом этапе геометрических характеристик изделия и диаметра присадочной проволоки $D_{пр}$ рассчитать оптимальный режим послойной наплавки и построить модель температурного поля в наплавляемом изделии. Полученная модель распределения температуры проверяется на соответствие установленным критериям, обеспечивающим качество наплавленных деталей. В случае отклонения температуры от желаемых значений производится корректировка режима наплавки и повторное моделирование температурного поля. Алгоритм определения оптимального режима послойной наплавки представлен на рис. 4.

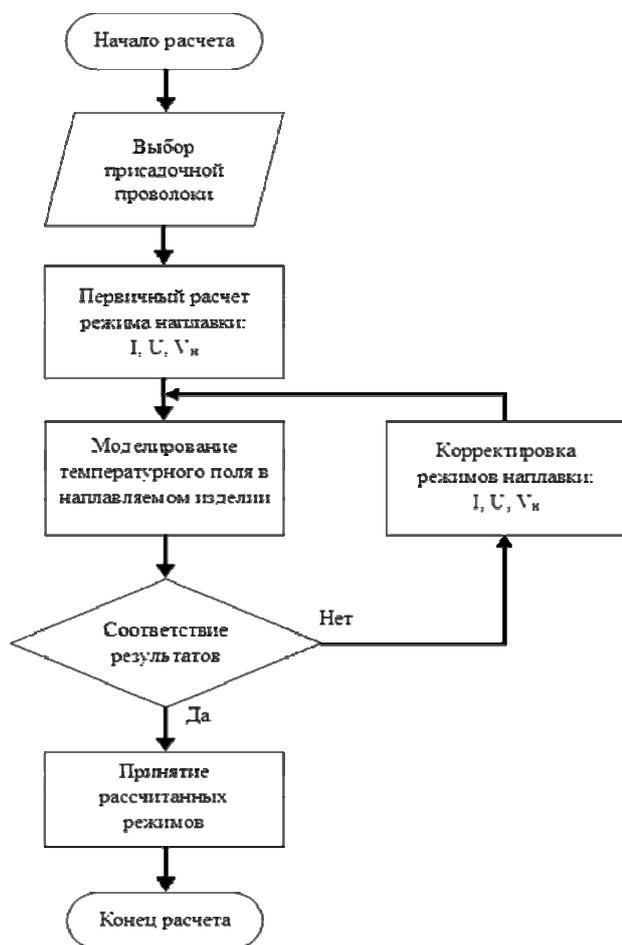


Рис. 4. Алгоритм оптимизации режима послойной электродуговой наплавки

Fig. 4. Algorithm for optimizing the mode of layered electric arc surfacing

Пятый этап – термическая обработка наплавленного изделия. После завершения процесса послойной наплавки осуществляется отжиг изделия при температуре 650–690 °С, время выдержки которого изменяется в соответствии с геометрическими размерами изделия. Далее проводится контроль качества и осуществляется механическая обработка поверхности наплавленного изделия.

Заключение

На основе выполненной работы была подготовлена заявка и получено изобретение на «Способ аддитивного производства металлических изделий».

Для обоснования эффективности предложенного способа аддитивного производства металлических изделий в заявке на изобретение были проведены расчеты, результаты которых показали, что разработанная технология позволяет наплавлять большее количество присадочного металла за равный промежуток времени по сравнению с приведенными аналогами и как минимум в 4 раза повышает скорость аддитивного производства металлических изделий. Подробно сущность изобретения и результаты расчетов раскрыты в патенте на изобретение № 2781510 от 12.10.2022.

Библиографические ссылки

1. Шкарина А. И., Кукушкина В. А., Кровопусков П. А. Перспективы применения аддитивных технологий в отечественном производстве // Современные проблемы теории машин. 2022. № 13. С. 131-135. DOI 10.26160/2307-342X-2022-13-131-135.
2. Тесленко И. Б., Аванесян Н. Л. Аддитивное производство: будущее, которое уже наступает // Инновационное развитие социально-экономических систем: условия, результаты и возможности: материалы VI Международной научно-практической конференции, Орехово-Зуево, 05 июня 2018 года / Государственный гуманитарно-технологический университет. Орехово-Зуево: Государственный гуманитарно-технологический университет, 2018. С. 202–205.
3. Кукушкина В. А., Бордюгова Ю. А. Применение 3d-моделирования и аддитивных технологий в машиностроении // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. 2022. № 1 (13). С. 63–69. DOI 10.26731/2658-3704.2022.1(13).63-69.
4. Минков С. В., Белов С. А. Применение аддитивных технологий в железнодорожном машиностроении: состояние и перспективы // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2020. № 2 (50). С. 28–34.
5. Шахов С. А., Кашинцева Л. В. Современные способы обработки металлов // Современные проблемы экологии: доклады XXIX Всероссийской научно-практической конференции, Тула, 27 декабря 2022 года. Тула: Инновационные технологии, 2022. С. 151–155.
6. Галкин В. И., Головкин П. А. Об актуальности базовых технологий обработки металлов давлением // Технология машиностроения. 2020. № 8. С. 35–39.
7. Демин В. А., Ларин С. Н. Современные направления и перспективы развития технологий обработки металлов давлением в машиностроении // Научные технологии в машиностроении. 2021. № 8 (122). С. 3–11. DOI 10.30987/2223-4608-2021-8-3-11.
8. Гребенищикова Т. Д., Рыжков В. В. Применение аддитивных технологий в машиностроительном производстве // Прогрессивные технологии и процессы: сборник научных статей 7-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Курск, 24–25 сентября 2020 года. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 37–39.
9. Дзеник А. Д., Исламов А. Р., Каримов Д. И. Современные технологии производства порошковых материалов для аддитивных технологий // Молодежь и системная модернизация страны: сборник научных статей 4-й Международной

научной конференции студентов и молодых ученых, Курск, 21–22 мая 2019 года. Т. 5. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 244–247.

10. Применение электродуговой наплавки для создания трехмерных объектов из стали / С. С. Жаткин, К. В. Никитин, В. Б. Деев, С. С. Панкратов, Д. А. Дунаев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2020. Т. 63, № 6. С. 443–450.

11. Шальнова, С. А. Аддитивные технологии и лазерная поверхностная обработка как альтернатива классическим методам производства и обработки деталей // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2016. № 26-2. С. 38–42.

12. Зоренко, Д. А., Фадина Д. С. Особенности применения аддитивных технологий в производстве корпусных элементов компактных редукторов // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2021. № 27. С. 16–20. DOI 10.26160/2474-5901-2021-27-16-20.

13. Финогеев Д. Ю., Решетникова О. П. Аддитивные технологии в современном производстве деталей точного машиностроения // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2020. № 3 (86). С. 63–71.

14. Современные материалы и технологии аддитивного производства металлических изделий / М. С. Крештин, А. А. Ханков, И. В. Кудрявцев, И. В. Белоусов // Национальная научно-техническая конференция с международным участием. Перспективные материалы и технологии (ПМТ-2022) : сборник докладов конференции Института перспективных технологий и индустриального программирования РТУ МИРЭА, Москва, 11–15 апреля 2022 года / под редакцией А. Н. Юрасова. Т. 1. М. : МИРЭА – Российский технологический университет, 2022. С. 252–256.

15. Бойков, Д. С. Эффективность применения 3D-печати в машиностроении // Безопасность человека и устойчивое развитие общества перед вызовами глобальных трансформаций : материалы международной междисциплинарной научной конференции, Йошкар-Ола, 02 декабря 2021 года. Т. 2. Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2022. С. 69–70.

16. Южакова, Ю. В., Сысоев А. А. Технологии аддитивно-го производства // Современное инженерное образование: вызовы и перспективы : материалы национальной научно-практической конференции, Магнитогорск, 07–08 февраля 2022 года / под ред. Н. Н. Зеркиной. Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2022. С. 232–237.

References

1. Shkarina A.I. [Prospects for the use of additive technologies in domestic production]. *Sovremennye problemy teorii mashin*. 2022. Pp. 131-135. DOI 10.26160/2307-342X-2022-13-131-135 (in Russ.).

2. Teslenko I.B. *Additivnoe proizvodstvo: budushchee, kotoroe uzhe nastupaet* [Additive manufacturing: the future that is already coming]. *Innovacionnoe razvitie social'no-jekonomicheskikh sistem: uslovija, rezul'taty i vozmozhnosti: materialy VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Orekhovo-Zuevo, 05 ijunja 2018 g.* [Proc. Innovative development of socio-economic systems: conditions, results and opportunities: materials of the VI International Scientific and Practical Conference, Orekhovo-Zuevo, June 05, 2018]. Orekhovo-Zuevo: State University of Humanities and Technology, 2018. Pp. 202-205 (in Russ.).

3. Kukushkina V.A. [Application of 3D modeling and additive technologies in mechanical engineering]. *Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami*. 2022. No. 1. Pp. 63–69. DOI 10.26731/2658-3704.2022.1(13).63-69.

4. Minkov S.V. [Application of additive technologies in railway engineering: state and prospects]. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopolij: Tehnika zheleznyh dorog*. 2020. No. 2. Pp. 28-34 (in Russ.).

5. Shahov S.A. [Modern methods of metal processing]. *Sovremennye problemy jekologii: Doklady XXIX vsrossijskaja nauchno-prakticheskaja konferencija, Tula, 27 dekabrja 2022 g.* [Proc. Modern problems of ecology: Reports of the XXIX All-Russian Scientific and Practical Conference, Tula, December 27, 2022]. Tula: Innovative technologies, 2022. Pp. 151-155 (in Russ.).

6. Galkin V.I. [On the relevance of the basic technologies of metal processing by pressure]. *Tehnologija mashinostroenija*. 2020. No. 8. Pp. 35-39 (in Russ.).

7. Demin V.A. [Modern trends and prospects of development of technologies of metal processing by pressure in mechanical engineering]. *Naukoemkie tehnologii v mashinostroenii*. 2021. No. 8. Pp. 3-11. DOI 10.30987/2223-4608-2021-8-3-11.

8. Grebenshnikova T.D. [Application of additive technologies in machine-building production]. *Progressivnye tehnologii i processy: sbornik nauchnyh statej 7-j Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Kursk, 24–25 sentjabrja 2020 g.* [Proc. Advanced technologies and processes: collection of scientific articles of the 7th All-Russian Scientific and Technical Conference with International participation, Kursk, September 24–25, 2020]. Kursk: Southwest State University. Pp. 37-39 (in Russ.).

9. Dzenik A.D. [Modern technologies for the production of silk materials for additive technologies]. *Molodezh' i sistemnaja modernizacija strany: sbornik nauchnyh statej 4-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov i molodyh uchenykh, Kursk, 21–22 maja 2019 g. Tom 5.* [Proc. Youth and systemic Modernization of the country: Collection of scientific articles of the 4th International Scientific Conference of Students and Young Scientists, Kursk, May 21–22, 2019. Volume 5]. Kursk: Southwest State University, 2019. Pp. 244-247 (in Russ.).

10. Zhatkin S.S. [Application of electric arc surfacing to create three-dimensional objects made of steel]. *Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Chernaja metallurgija*. 2020. No. 6. Pp. 443-450 (in Russ.).

11. Shal'nova S.A. [Additive technologies and laser surface treatment as an alternative to classical methods of production and processing of parts]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovanija: problemy i rezul'taty*. 2016. No. 26-2. Pp. 38-42 (in Russ.).

12. Zorenko D.A. [Features of the application of additive technologies in the production of housing elements of compact gearboxes]. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2021. No. 27. Pp. 16-27 (in Russ.). DOI 10.26160/2474-5901-2021-27-16-20.

13. Finogeev D.Ju. [Additive technologies in modern production of precision engineering parts]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta*. 2020. No. 3. Pp. 63-71 (in Russ.).

14. Kreshtin M.S. [Modern materials and technologies of additive manufacturing of metal products]. *Nacional'naja nauchno-tehnicheskaja konferencija s mezhdunarodnym uchastiem. Perspektivnye materialy i tehnologii (PMT-2022): Sbornik докладов konferencii Instituta perspektivnykh tehnologii i industrial'nogo programmirovanija RTU MIRJeA, Moskva, 11–15 aprelja 2022 g.* [Proc. National Scientific and Technical Conference with international participation. Promising Materials and Technologies (PMT-2022): Collection of reports of the conference of the Institute of Advanced Technologies and Industrial Programming of RTU MIREA, Moscow, April 11–15, 2022]. Moscow: MIREA, 2022. Pp. 252-256 (in Russ.).

15. Bojkov D.S. [The effectiveness of 3D printing in mechanical engineering]. *Bezopasnost' cheloveka i ustojchivoe razvitie obshchestva pered vyzovami global'nyh transformacij: Mate-*

rialy mezhdunarodnoj mezhdisciplinarnoj nauchnoj konferencii, Yoshkar-Ola, 02 dekabrya 2021 g. [Proc. Human Security and Sustainable Development of Society facing the Challenges of Global Transformations: Proceedings of the International Interdisciplinary Scientific Conference, Yoshkar-Ola, December 02, 2021]. Yoshkar-Ola: Volga State Technological University, 2021. Pp. 69-70 (in Russ.).

16. Juzhakova Ju.V. [Additive manufacturing technologies]. *Sovremennoe inzhenernoe obrazovanie: vyzovy i perspektivy: Materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Modern Engineering Education: Challenges and Prospects: Materials of the National Scientific and Practical Conference, Magnitogorsk, 07-08 February 2022]. Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 2022. Pp. 232-237 (in Russ.).

* * *

Method of Additive Manufacturing of Metal Products

D. D. Kakorin, Post-graduate, Tver State Technical University, Tver, Russia

A. Yu. Lavrentiev, PhD in Engineering, Associate Professor, Tver State Technical University, Tver, Russia

B. I. Margolis, DSc in Engineering, Professor, Tver State Technical University, Tver, Russia

The article describes modern methods of additive manufacturing of metal products, their advantages and disadvantages are considered, the relevance of developing the most productive and effective method of additive manufacturing of metal products based on layered electric arc surfacing is substantiated.

The known methods of additive manufacturing are based, as a rule, on the principle of melting additive powder material by highly concentrated laser or electronic sources of thermal action. These methods of layer-by-layer deposition have gained their relevance due to low prevalence of thermal influence zone in the deposited metal, high accuracy of layer-by-layer construction and possibility of automated control for the additive manufacturing process. Despite many advantages of these methods, there are significant disadvantages that limit their use in real production processes. These include low speed of layer-by-layer construction due to the small size of the deposited layer and the need to perform several passes to form a wall with a given thickness, the high cost of the equipment used, the need to use a vacuum chamber during the surfacing process, as well as the high probability of defects in the structure of the deposited metal during sintering of powder materials.

In the proposed additive manufacturing method, these disadvantages are eliminated by using an electric arc discharge to melt the filler material wire. The use of an electric arc in combination with wire material allows increasing the speed of layered construction up to 4 times. Also, the deposition of wire material minimizes the probability of non-melts and pores in the structure of the deposited metal.

However, in order to improve the quality of surfaced products and use the proposed method in real production conditions, it is necessary to provide automated control of the technological process of layered electric arc surfacing. For this purpose, the article identifies the key stages of the technological process and highlights the most significant characteristics that determine the quality of the deposited products.

Keywords: additive manufacturing, electric arc surfacing, layer-by-layer construction, surfacing modes, filler wire, automated control, technological process.

Получено: 15.09.23

Образец цитирования

Какорин Д. Д., Лаврентьев А. Ю., Марголис Б. И. Способ аддитивного производства металлических изделий // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 4. С. 75–80. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-75-80.

For Citation

Kakorin D.D., Lavrentiev A.Yu., Margolis B.I. [Method of Additive Manufacturing of Metal Products]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 4, pp. 75-80. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-75-80.