

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 67.05

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАПЛАВКИ С ПОМОЩЬЮ НАСТОЛЬНОГО 3D ПРИНТЕРА

Е. О. Розенштейн, Б. В. Гомзяков, К. А. Осинцев, С. В. Коновалов

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева (Россия, 443086, Самара, Московское ш., 34)

Аннотация. Предложены технологические решения по автоматизации процесса наплавки на базе настольного 3D принтера Anycubic Chiron, печатающего по технологии моделирования методом наплавления (FDM). В качестве процесса наплавки была выбрана сварка в среде защитных газов плавящимся электродом (GMAW). Выбраны материалы для защиты стола и компонентов принтера от искр и теплового воздействия. Разработана модель и выбран материал для держателя сварочной горелки. В качестве материала для защиты стола использовали стекловолоконную огнеупорную плиту толщиной 15 мм, теплопроводность которой при температуре 400 °C составляет 0,092 Вт/(м·K). Для держателя сварочной горелки выбран деформируемый алюминиевый сплав АМг2, который обладает хорошей свариваемостью и обрабатываемостью. Разработана схема подключения сварочного аппарата к плате 3D принтера, основным компонентом которой является механическое реле. Предложена схема управления процессом наплавки на основе команд от платы принтера, передаваемых на сварочный аппарат.

Ключевые слова: 3D печать, аддитивные технологии, автоматизация, наплавка, сварка

Финансирование. Результаты получены при финансовой поддержке Губернаторского гранта в области науки и техники согласно распоряжению Губернатора Самарской области.

Для цитирования: Розенштейн Е.О., Гомзякова Б.В., Осинцев К.А., Коновалов С.В. Автоматизация процесса наплавки с помощью настольного 3D принтера // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 4 (38). С. 31–35.

AUTOMATION OF THE SURFACING PROCESS USING A DESKTOP 3D PRINTER

E. O. Rozenshtein, B. V. Gomzyakov, K. A. Osintsev, S. V. Konovalov

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev (Russia, 443086, Samara, Moskovskoe sh., 34)

Abstract. Technological solutions for automation of the surfacing process based on the Anycubic Chiron desktop 3D printer, which uses Fused Deposition Modeling (FDM) technology, are proposed. Gas metal arc welding (GMAW) was chosen as the surfacing process. Materials were selected to protect table and printer components from sparks and heat. Model is developed and material is selected for welding torch holder. As a material for protecting table, a 15 mm thick glass fiber refractory plate was used, thermal conductivity of which at a temperature of 400 °C is 0.092 W/(m·K). For the holder of welding torch, a wrought aluminum alloy AMg2 was chosen, which has good weldability and machinability. A diagram has been developed for connecting welding machine to the board of 3D printer, the main component of which is a mechanical relay. A scheme for controlling surfacing process based on commands from the printer board transmitted to the welding machine is proposed.

Keywords: 3D printing, additive technologies, automation, surfacing, welding

Financing. The results were obtained with the financial support of the Grant in the field of science and technology according to the order of the Governor of the Samara region.

For citation: Rozenshtein E.O., Gomzyakov B.V., Osintsev K.A., Konovalov S.V. Automation of the surfacing process using a desktop 3D printer. *Bulletin of SibSIU*. 2021, no. 4 (38), pp. 31–35. (In Russ.).

Введение

В настоящее время 3D печать является быстроразвивающейся отраслью промышленности. Это обусловлено такими свойствами аддитивного производства, как уменьшение времени изготовления изделия от модели до конечного продукта, относительно высокая точность и возможность изготовления деталей сложной формы, которые нельзя получить традиционными методами. Примерами изготовления сложных изделий с помощью 3D печати или аддитивного производства могут служить профессиональная спортивная обувь Vapor Laser Talon для футболистов, New Balance для спортсменов [1], детали ракетного двигателя [2] и другие.

Среди наиболее популярных материалов для 3D печати в современном мире выделяются пластик (PLA, ABS, PVA и другие) [3], фотополимерные смолы [4], воск [5], а также металлические материалы [6]. Технологии аддитивного производства могут быть условно разделены на четыре основных вида, отличающихся способом подвода тепла: электронно-пучковое плавление (EBM) [6]; селективное лазерное плавление (SLM) [7]; плазменное осаждение (3DPMD) [8]; проволоочно-дуговое аддитивное производство (WAAM) [9]. Аддитивное производство в настоящее время применяется в мелкосерийном изготовлении изделий, его использование ограничивается высокой стоимостью оборудования. Автоматизация таких процессов развивается в направлении наплавки и сварки на основе 3D принтеров [10, 11]. Целью настоящей работы является автоматизация процесса наплавки на основе настольного 3D принтера.

Материалы и методы исследования

В настоящей работе был использован 3D принтер Anycubic Chiron, работающий по технологии моделирования методом послойного наплавления (FDM). Рассматриваемый принтер был выбран в связи с особенностями конструкции, позволяющими изготавливать габаритные изделия размерами 400×400×450 мм. В качестве оборудования для наплавки был использован сварочный аппарат Сварог MIG TECH 250.

При исследовании применяли анализ и компьютерное моделирование в программе Компас 3D, которые позволили сократить количество итераций в процессе выбора оптимальных материалов и компонентов. Критериями для выбора оптимальных материалов служили защита от теплового воздействия (температура стола 3D принтера при наплавке должна достигать не более 60 °C), защита от искр, а также масса материалов, защищающих стол, должна быть менее 2 кг. Оценку температуры стола осуществляли с по-

мощью инфракрасного термометра Mini Infrared Thermometer, имеющего рабочий диапазон температур от –30 до 260 °C (точность 2 %). Критериями выбора оптимального способа подключения сварочной горелки к 3D принтеру являлись стабильность, долговечность и безопасность работы.

Результаты исследования

Сварочную горелку закрепляли с помощью держателя к задней опорной стенке, располагающейся на оси OX 3D принтера. На рис. 1 представлена 3D модель держателя сварочной горелки.

Держатель был спроектирован в CAD системе Компас 3D, с последующей выточкой детали на токарном станке из алюминиевой плиты. Для фиксации в держателе сварочной горелки смоделирован фиксатор (рис. 1, б), который крепили с помощью болтов к основной части держателя. Фиксатор представляет собой арку, повторяющую контур сварочной горелки, с двумя отверстиями под болты M5 (рис. 1, б). Сопло сварочной горелки располагали перпендикулярно столу. Расстояние между поверхностью подложки и краем сопла сварочной горелки было выбрано 10 мм.

При поиске схемы подключения сварочной горелки к 3D принтеру рассмотрены три основных варианта: механизированный выключатель на основе серводвигателя; коллекторный электромотор, управляющий нажатием кнопки подачи проволоки; механическое реле. Работа каждого из предложенных вариантов заключается в коммутации электрической цепи сварочной горелки, которая подает сварочную проволоку, однако их отличием является способ осуществления рассматриваемой коммутации. Первый из предложенных вариантов предполагал замыкание цепи с помощью физического нажатия на кнопку, находящуюся на рукоятке сварочной горелки, серводвигателем при подаче на него электрического сигнала от платы 3D принтера. Управление планировали осуществлять с помощью добавления команды в прошивку Marlin, использующуюся в Anycubic Chiron. Сервопривод предлагали размещать таким образом, чтобы кнопка управления сварочной горелкой замыкала при повороте ротора двигателя. Преимуществом такого метода является относительная простота управления, однако такой недостаток, как недолговечность механических частей, не удовлетворял предъявляемым требованиям и привел к отказу от этого решения. В качестве еще одного метода механизированного управления подачей проволоки рассматривали коллекторный электромотор, подключаемый к плате 3D принтера. Однако его использование, как и

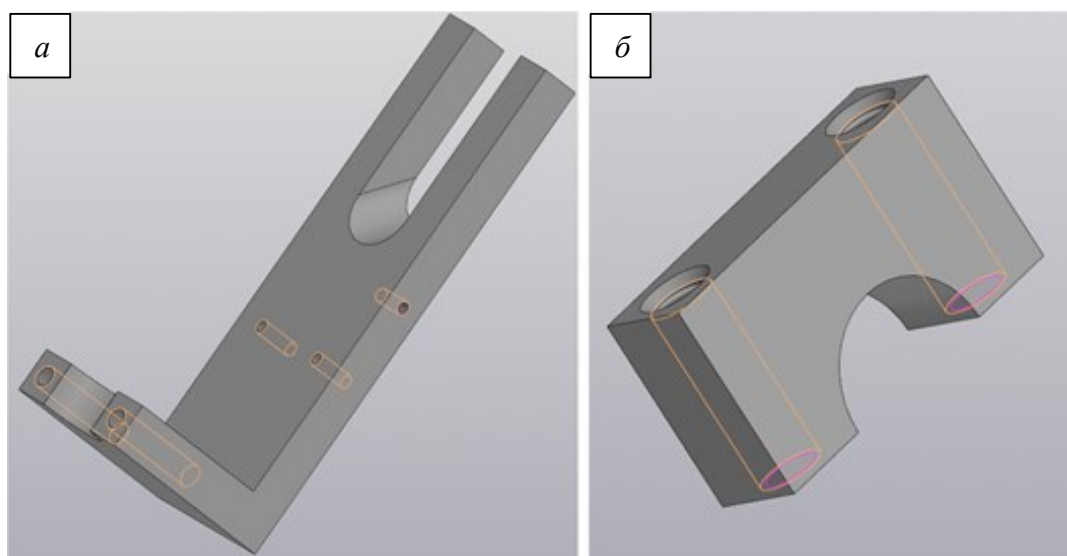


Рис. 1. 3D модель держателя для крепления сварочной горелки (а), фиксатор сварочной горелки (б)

Fig. 1. 3D model of the holder for welding torch (a), the locking device of welding torch (б)

применение серводвигателя, сильно ограничивается ненадежностью механических частей и усложнением конструкции. В связи с этим от рассматриваемого варианта также было принято решение отказаться. Удовлетворяющим предъявленным критериям управления подачей сварочной проволоки оказался способ, при котором используется механическое реле. Оно подключается в электрическую цепь так, чтобы при поступлении сигнала с 3D принтера замыкалась цепь питания, осуществляющая подачу сварочной проволоки.

Второй задачей, которая стояла при модификации 3D принтера, является создание для стола защиты от воздействия высоких температур и его выхода из строя. Анализу подвергли два варианта материала для защиты стола: алюминиевая плас-

тина толщиной 15 мм и стекловолоконная огнеупорная плита толщиной 15 мм. Исходя из расчетов, масса алюминиевой плиты размером $400 \times 400 \times 15$ мм составляет 6,5 кг. Стекловолоконная плита такого же размера будет иметь массу более чем в 8 раз меньше и составит 800 г. Важным параметром для защиты стола принтера от перегрева является теплопроводность, которая при температуре 400°C у алюминиевой плиты составляет $230 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, а у стекловолоконной плиты – $0,092 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ (в 2500 раз меньше). В качестве материала подложки была выбрана стекловолоконная огнеупорная плита (рис. 2).

В ходе эксперимента было установлено, что использование стекловолоконной огнеупорной плиты невозможно без применения дополнительной защиты в виде алюминиевого листа толщиной 1 мм (рис. 2). Это обусловлено тем, что стекловолоконная плита, несмотря на низкую теплопроводность, деформировалась под воздействием высоких температур.

Выводы

В результате выполнения настоящей работы были подобраны материалы, изготовлены компоненты для автоматизации процесса наплавки на основе настольного 3D принтера. Сварочная горелка осуществляет подачу проволоки для наплавки с помощью механического реле, коммутирующего питание механизма подачи сварочной проволоки и включения электрической дуги. Защитное покрытие стола принтера состоит из стекловолоконной огнеупорной плиты толщиной 10 мм и алюминиевого листа толщиной 1 мм. Выполнено моделирование держателя для сварочной горелки в CAD системе.

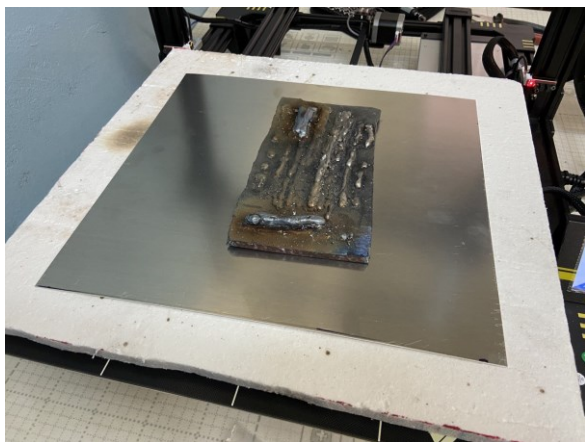


Рис. 2. Стол 3D принтера с защитной стекловолоконной огнеупорной плитой и алюминиевым листом

Fig. 2. 3D printer table with protective glass fiber refractory plate and aluminum sheet

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sedinkin I.S. 3D Printing. 2020. Vol. 148. P. 148–162.
2. Sotov A.V. et al. Investigation of the IN-738 superalloy microstructure and mechanical properties for the manufacturing of gas turbine engine nozzle guide vane by selective laser melting // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2020. Vol. 107. No. 5-6. P. 2525–2535.
3. Alkahari M.R. et al. Properties of 3D printed structure manufactured with integrated pressing mechanism in FDM // *J. Mech. Eng. Res. Dev.* 2021. Vol. 44. No. 2. P. 122–131.
4. Brooks S. et al. 4D Aliphatic photopolymer polycarbonates as direct ink writing of biodegradable, conductive graphite-composite materials // *Polym. Compos.* 2021. Vol. 42. No. 10. P. 5134–5143.
5. Topaiboul S., Saingam A., Toonkum P. Preliminary study of unmodified wax printing using fdm 3d-printer for jewelry // *Eng. Appl. Sci. Res.* 2021. Vol. 48. No. 6. P. 704–711.
6. Martin J.H. et al. 3D printing of high-strength aluminium alloys // *Nature. Nature Publishing Group.* 2017. Vol. 549. No. 7672. P. 365–369.
7. Cao L. Numerical simulation of the impact of laying powder on selective laser melting single-pass formation // *Int. J. Heat Mass Transf. Elsevier Ltd.* 2019. Vol. 141. P. 1036–1048.
8. Hoefer K. et al. Manufacturing of titanium components with 3DPMD // *Metals (Basel).* 2019. Vol. 9. No. 5.
9. Osintsev K. et al. Microstructural and mechanical characterisation of non-equiatomic Al_{2.1}Co_{0.3}Cr_{0.5}FeNi_{2.1} high-entropy alloy fabricated via wire-arc additive manufacturing // *Philos. Mag. Lett. Taylor & Francis.* 2021. Vol. 101. No. 9. P. 353–359.
10. Zhatkin S.S. et al. Application of Electric Arc Surfacing in the Manufacturing of Three-Dimensional Steel Products // *Steel in Transl.* 2020. Vol. 50. No. 6. P. 381–386.
11. Rosli N.A. et al. Design and development of a low-cost 3D metal printer // *J. Mech. Eng. Res. Dev.* 2018. Vol. 41. No. 3. P. 47–54.
- melting. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2020, vol. 107, no. 5-6, pp. 2525–2535.
3. Alkahari M.R. et al. Properties of 3D printed structure manufactured with integrated pressing mechanism in FDM. *J. Mech. Eng. Res. Dev.* 2021, vol. 44, no. 2, pp. 122–131.
4. Brooks S. et al. 4D Aliphatic photopolymer polycarbonates as direct ink writing of biodegradable, conductive graphite-composite materials. *Polym. Compos.* 2021, vol. 42, no. 10, pp. 5134–5143.
5. Topaiboul S., Saingam A., Toonkum P. Preliminary study of unmodified wax printing using fdm 3d-printer for jewelry. *Eng. Appl. Sci. Res.* 2021, vol. 48, no. 6, pp. 704–711.
6. Martin J.H. et al. 3D printing of high-strength aluminium alloys. *Nature. Nature Publishing Group.* 2017, vol. 549, no. 7672, pp. 365–369.
7. Cao L. Numerical simulation of the impact of laying powder on selective laser melting single-pass formation. *Int. J. Heat Mass Transf. Elsevier Ltd.* 2019, vol. 141, pp. 1036–1048.
8. Hoefer K. et al. Manufacturing of titanium components with 3DPMD. *Metals (Basel).* 2019, vol. 9, no. 5.
9. Osintsev K. et al. Microstructural and mechanical characterisation of non-equiatomic Al_{2.1}Co_{0.3}Cr_{0.5}FeNi_{2.1} high-entropy alloy fabricated via wire-arc additive manufacturing. *Philos. Mag. Lett. Taylor & Francis.* 2021, vol. 101, no. 9, pp. 353–359.
10. Zhatkin S.S. et al. Application of Electric Arc Surfacing in the Manufacturing of Three-Dimensional Steel Products. *Steel in Transl.* 2020, vol. 50, no. 6, pp. 381–386.
11. Rosli N.A. et al. Design and development of a low-cost 3D metal printer. *J. Mech. Eng. Res. Dev.* 2018, vol. 41, no. 3, pp. 47–54.

REFERENCES

1. Sedinkin I.S. 3D Printing. 2020. Vol. 148. P. 148–162.
2. Sotov A.V. et al. Investigation of the IN-738 superalloy microstructure and mechanical properties for the manufacturing of gas turbine engine nozzle guide vane by selective laser

Сведения об авторах

Евгений Олегович Розенштейн, магистр кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

E-mail: evgeny.rozenshtejn@yandex.ru

Богдан Валерьевич Гомзяков, бакалавр кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

E-mail: bogdan.licev@yandex.ru

Кирилл Александрович Осинцев, аспирант кафедры технологии металлов и авиационного

материаловедения, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

E-mail: osincev.ka@ssau.ru

ORCID: 0000-0003-1150-6747

Сергей Валерьевич Коновалов, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии металлов и авиационного материаловедения, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

E-mail: ksv@ssau.ru

ORCID: 0000-0003-4809-8660

Information about the authors

Evgeny O. Rozenshtein, Master of the Department of Metal Technology and Aviation Materials Science, Samara National Research University named after academician S.P. Koroleva

E-mail: evgeny.rozenshtejn@yandex.ru

Bogdan V. Gomzyakov, Bachelor student of the Chair of Design and Technology of Electronic Sys-

tems and Devices, Samara National Research University named after academician S.P. Koroleva

E-mail: bogdan.licev@yandex.ru

Kirill A. Osintsev, Postgraduate student of the Department of Metal Technology and Aviation Materials Science, Samara National Research University named after academician S.P. Koroleva

E-mail: osincev.ka@ssau.ru

ORCID: 0000-0003-1150-6747

Sergey V. Konovalov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Technology and Aviation Materials Science, Samara National Research University named after academician S.P. Koroleva

E-mail: ksv@ssau.ru

ORCID: 0000-0003-4809-8660

© 2021 г. *Е.О. Розенштейн, Б.В. Гомзяков, К.А. Осинцев, С.В. Коновалов*
Поступила в редакцию 25.10.2021 г.