

УДК 621.865.8

DOI 10.35211/1990-5297-2023-9-280-47-50

*А. М. Макаров, А. В. Дроботов, И. В. Волков, С. А. Рыжков***ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ДВУХОСЕВОГО ПОВОРОТНОГО СТОЛА И ШЕСТИОСЕВОГО
МАНИПУЛЯТОРА В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ****Волгоградский государственный технический университет**

app@vstu.ru

Рассматриваются особенности использования двухосевого поворотного стола и шестиосевого промышленного робота для повышения эффективности аддитивного производства. Предложены методы и алгоритмы совместного управления устройствами. Реализована синхронизация системы управления промышленным роботом со сторонними устройствами для двухсторонней передачи информации без задержки сигнала по времени.

Ключевые слова: аддитивное производство, промышленный робот, Ethernet, протокол Modbus TCP, Kuka KR C4 Compact, поворотный стол.

*A. M. Makarov, A. V. Drobotov, I. V. Volkov, S. A. Ryzhkov***FEATURES OF USING TWO-AXIS ROTARY TABLES
AND A SIX-AXIS MANIPULATOR IN ADDITIVE MANUFACTURING****Volgograd State Technical University**

The features of using a two-axis rotary table and a six-axis industrial robot to increase the efficiency of additive manufacturing are considered. Methods and algorithms of joint control of devices are proposed. Synchronization of the industrial robot control system with third-party devices for two-way transmission of information without time delay is implemented.

Keywords: additive manufacturing, industrial robot, Ethernet, Modbus TCP protocol, Kuka KR C4 Compact, rotary table.

В последние годы плотность роботизации производства растет внушительными темпами, в том числе и в России. Промышленные роботы находят применение в новых для себя областях. Одним из востребованных направлений роботизации является аддитивное производство.

В современном мире аддитивное производство набирает популярность как достаточно быстрый, высокоточный и гибкий метод изготовления деталей.

Рассмотрим особенности совместного использования двухосевых поворотных столов и шестиосевых манипуляторов (в частности, робота KUKA KR3 R540) в аддитивном производстве.

Актуальность данного направления исследования подтверждается коммерческим интересом со стороны производственных предприятий в направлении расширения функциональных возможностей робота и функциональных возможностей установок аддитивного производства.

Быстрое развитие аддитивных технологий, когда изделие изготавливается путем добавле-

ния материала, позволяет судить об актуальности и целесообразности их использования при изготовлении различных изделий не только декоративного, но и промышленного назначения. Рассматривая FDM (FFF) технологию 3D-печати (рис. 1), нельзя не отметить несколько основных факторов, сдерживающих быструю ее интеграцию в процесс производства функциональных изделий.

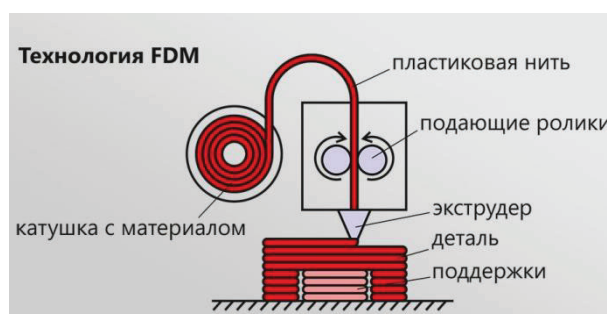


Рис. 1. Принцип технологии FDM

Первый связан с существенным отличием физических свойств напечатанного изделия в различных направлениях из-за ориентации сло-

ев при построении изделия. Например, согласно исследованиям [1, 2], предел прочности при растяжении поперек слоев для различных материалов, используемых при 3D-печати, гораздо (иногда в несколько раз) ниже, чем предел прочности при растяжении вдоль слоев. Второй связан с тем, что материал расплавляется и наносится на относительно холодное основание (стол или предыдущие слои), а затем быстро охлаждается и затвердевает. При этом он дает усадку (уменьшается в линейных размерах), иногда до 3–5 %. Это часто сопровождается деформациями изделия уже в процессе изготовления и обуславливает напряженное состояние в изделии, приводящее к появлению трещин (расслаивание).

Третий фактор связан с необходимостью выстраивания одноразовых поддерживающих конструкций под нависающими элементами сложного изделия, чтобы оно не обвалилось в процессе печати. На их создание тратится время и материал. Затем они механически удаляются. В местах их соприкосновения с изделием качество поверхности снижается и требуется дополнительная обработка.

Для решения данных проблем при FDM-печати сотрудниками кафедры автоматизации

производственных процессов ВолгГТУ совместно с ООО «Стереотек» разработан способ (и устройство для его осуществления) формирования изделия из пространственных криволинейных слоев [2–4]. Данная технология реализована в виде промышленного производства многоосевых аддитивных установок (5D-принтеров).

Для расширения функциональных возможностей и области печати, а значит качества и размеров изделий, получаемых с помощью данной технологии, может быть использован промышленный робот, на который в качестве рабочего органа устанавливается экструдер.

Для реализации такого способа аддитивного производства необходима синхронизация в реальном времени системы управления промышленного робота со сторонней системой управления, обрабатывающей G-код и управляющей процессом печати.

Нами реализована синхронизация системы управления промышленным роботом Kuka KR C4 Compact со сторонними устройствами для двухсторонней передачи информации без задержки сигнала по времени. На рис. 2 показана экспериментальная установка для исследования работоспособности данной системы.



Рис. 2. Экспериментальная установка на базе промышленного робота Kuka с системой управления KRC4 Compact

Управление Kuka KR C4 Compact осуществляется через встроенный контроллер, который позволяет настраивать различные параметры робота и взаимодействовать с периферийными устройствами [5].

Разработка методов параллельного взаимодействия – это задача, связанная с разработкой алгоритмов и программного обеспечения, которые обеспечивают эффективное взаимодействие робота с периферийными устройствами. Для этого использовались различные подходы, такие как моделирование системы, оптимизация алгоритмов и разработка интерфейсов для взаимодействия [6].

Взаимодействие происходит между сторонним компьютером и встроенной системой управления через Ethernet-порт при помощи протокола Modbus TCP. Данный протокол работает поверх TCP/IP и использует формат передачи сообщений, определенный для протокола Modbus. Он поддерживает множество операций, включая чтение и запись регистров, чтение и запись значений битов, чтение значений счетчиков и др.

Для реализации аддитивного производства на базе промышленного робота KUKA KR3 R540 могут быть использованы различные программы. Выбор программного обеспечения зависит от конкретных потребностей проекта,

бюджета и предпочтений в интерфейсе и функциональности. Были рассмотрены такие пакеты, как KUKA prc, который интегрируется с визуальным редактором программирования Grasshopper, что позволяет пользователям легко создавать сложные алгоритмы без необходимости глубоко знать кодирование.

RoboDK позволяет проводить симуляции, программирование и оптимизацию роботизированных систем, таких как KUKA KR3 R540, для аддитивного производства.

KUKA Sim Pro позволяет моделировать и оптимизировать процессы работы робота перед реальной имплементацией. Он также способен генерировать KRL (KUKA Robot Language) код, который может быть загружен непосредственно на робота.

В зависимости от конкретных целей каждого проекта и уровня его сложности, выбор программы может варьироваться. Важно рассмотреть те характеристики, которые наиболее важны для конкретной задачи, и выбрать программное обеспечение, которое лучше всего соответствует этим требованиям.

Для реализации 5D-печати был разработан специализированный двухосевой поворотный стол (рис. 3), приводимый в движение двумя шаговыми двигателями, которые управляются при помощи RAMPS.



Рис. 3. Двухосевой поворотный стол и блок управления

Разработка программного обеспечения для синхронизации двух устройств производилась на языке программирования Python. На рис. 4 показан фрагмент программы для установки

Ethernet-соединения между платой Arduino, управляющей поворотным столом, и компьютером, на котором работает RoboDK.

```
import socket
import time

# Параметры соединения
arduino_ip = "192.168.1.177"
arduino_port = 23

# Установить соединение
s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
s.connect((arduino_ip, arduino_port))

# Отправить команду на Arduino
command = "1" # это просто пример команды, которую Arduino должен обработать
s.sendall(command.encode())

# Закрывать соединение
s.close()
```

Рис. 4. Фрагмент кода управляющей программы

Результаты исследования могут быть использованы компаниями, занимающимися разработкой, производством и внедрением новых решений в области аддитивного производства, позволяющих расширить функциональные возможности аддитивных установок за счет построения многоосевых роботизированных аддитивных устройств на базе промышленных роботов.

БИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *De Filippis, L.* Path planning strategies for UAVS in 3D environments / L. De Filippis, G. Guglieri, F. Quagliotti // *Journal of Intelligent & Robotic Systems, Theory Appl*, 2012, vol. 65, no. 1–4, pp. 247–264.
2. *Hennersperger C. et al.* Towards MRI-based autonomous robotic US acquisitions: a first feasibility study, *IEEE Trans. Med. Imaging*, 2016, vol. 36, no. 2, pp. 538–548.
3. Strength Increasing Additive Manufacturing Fused Filament Fabrication Technology, Based on Spiral Toolpath Material Deposition / А. Р. Авдеев, А. А. Швец, И. А. Гушин, И. С. Торубаров, А. В. Дроботов, А. М. Макаров, А. Л. Плотников, Ю. П. Сердобинцев // *Machines* : [Open Access Journal]. – 2019. – Vol. 7, Issue 3. – 18 p. – DOI:10.3390/machines7030057.
4. Анализ подходов к повышению производительности 3D-печати / И. С. Торубаров, В. М. Труханов, И. А. Гушин, И. В. Мартынович // *Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (232) / ВолгГТУ*. – Волгоград, 2019. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 69–72.
5. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2019617998 от 25 июня 2019 г. Российская Федерация. Расчет траектории перемещения печатающей головки 3D-принтера с дополнительными степенями свободы для печати изделий с дискретным поворотом / А. Ю. Попов, И. А. Гушин, А. В. Дроботов, А. А. Швец, А. Р. Авдеев ; ВолгГТУ. – 2019.
6. *Швец, А. А.* Управление 3D-принтером с дополнительными степенями свободы / А. А. Швец, А. В. Дроботов, И. А. Гушин, А. Р. Авдеев // *Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (204) / ВолгГТУ*. – 2017. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 74–77.