

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ С РЕГИСТРАЦИЕЙ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТОРА

Кретов К.С., Платонов М.С., Олейник М.А., Злобин Е.П., Балякин А.В.
Самарский университет, г. Самара, kretov2002@yandex.ru

Ключевые слова: прямое лазерное выращивание, аддитивное производство, мониторинг технологического процесса, действия оператора, цифровое производство

Аддитивные технологии в последние годы активно внедряются в различные отрасли машиностроения благодаря возможности изготовления изделий сложной геометрии и сокращению технологических операций. Одним из перспективных направлений аддитивного производства является технология прямого лазерного выращивания (ПЛВ). Данный метод позволяет изготавливать и восстанавливать крупногабаритные детали путем послойного наплавления материала [1].

Несмотря на технологические преимущества, ПЛВ характеризуется высокой чувствительностью к параметрам процесса. Изменения мощности лазера, скорости перемещения инструмента, подачи материала или расстояния между соплом и поверхностью детали могут приводить к нестабильности формирования расплавленной ванны и появлению дефектов. В связи с этим важной задачей является обеспечение мониторинга технологического процесса и повышение воспроизводимости результатов изготовления [2].

Современные системы мониторинга аддитивных процессов ориентированы преимущественно на регистрацию физических параметров оборудования. Однако значительная часть информации о ходе процесса связана с действиями оператора, который выполняет настройку оборудования, корректирует режимы наплавки и принимает решения при возникновении нестабильности процесса. В большинстве существующих решений подобные управленческие воздействия не фиксируются в виде структурированных данных, что затрудняет анализ причин возникновения дефектов [3, 4].

В рамках работы предложен подход к расширению информационной модели жизненного цикла заготовок, получаемых методом ПЛВ, за счёт регистрации действий оператора. Разработана информационная система, позволяющая фиксировать события, возникающие в процессе изготовления, и связывать их с конкретной заготовкой. Каждое действие оператора регистрируется как отдельное событие с временной меткой и идентификатором объекта производства. Это позволяет формировать цифровой журнал воздействий, сопровождающих процесс наплавки.

Архитектура системы (рисунок 1) построена по микросервисному принципу и включает клиентские приложения для оператора и технолога, сервис управления данными и централизованную базу данных. Клиентское приложение оператора предназначено для регистрации действий в процессе изготовления заготовки, тогда как приложение технолога обеспечивает анализ накопленных данных и просмотр истории событий. Такая структура системы позволяет обеспечить трассируемость технологических операций и повысить прозрачность производственного процесса.

Дополнительным направлением исследования стала проверка возможности использования разработанной информационной системы для анализа данных контроля геометрии изделий. В качестве примера был рассмотрен процесс оптического 3D-сканирования деталей аддитивного производства. Для оценки влияния различных факторов на точность измерений. Был проведен эксперимент с использованием метода Тагучи. В ходе эксперимента анализировалось влияние формы объекта, разрешения сканирования и условий освещения на стабильность результатов измерений.



Рис. 1 – Архитектура системы мониторинга ПЛВ

Анализ полученных данных показал, что наибольшее влияние на точность измерений оказывает геометрическая форма объекта, тогда как влияние параметров освещения и разрешения сканирования в исследуемом диапазоне оказалось менее значительным. Полученные результаты демонстрируют возможность использования данных измерительного контроля в сочетании с информацией о ходе технологического процесса для более полного анализа качества изготовления изделий.

Разработанная информационная система позволяет объединить данные технологического процесса, результаты контроля качества и информацию о действиях оператора в рамках единой цифровой среды. Это создает предпосылки для формирования цифрового следа изготовления изделий аддитивного производства и повышения воспроизводимости технологических процессов. В перспективе предложенный подход может быть использован при разработке систем интеллектуального мониторинга и цифрового двойника процесса ПЛВ.

Список литературы

1. Armstrong M., Mehrabi H., Naveed N. An overview of modern metal additive manufacturing technology // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2022. – Т. 84. – С. 1001-1029.
2. Lee J. et al. Review on quality control methods in metal additive manufacturing // *Applied Sciences*. – 2021. – Т. 11. – №. 4. – С. 1966.
3. García M., López A., Fernández R. *Eddy current inspection for quality assurance in metal additive manufacturing* // *Additive Manufacturing*. – 2024. – Vol. 76. – Art. 103792. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1526612524013124> (дата обращения: 20.05.2025).
4. Sophian A., Tian G. Y., Taylor D. *Eddy current non-destructive evaluation for additive manufactured metallic components* // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11, No. 4. – Art. 1966. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1966> (дата обращения: 21.05.2025).

Сведения об авторах

Кретов Кирилл Сергеевич – магистрант ПИАШ. Область научных интересов: прямое лазерное выращивание.

Платонов Михаил Сергеевич – магистрант кафедры ТПД. Область научных интересов: прямое лазерное выращивание, CAE-системы

Олейник Максим Андреевич – аспирант кафедры ТПД. Область научных интересов: прямое лазерное выращивание.

Злобин Евгений Петрович – аспирант кафедры ТПД. Область научных интересов: аддитивные технологии.

Балякин Андрей Владимирович – старший преподаватель кафедры ТПД. Область научных интересов: 3D-технологии, CAD/CAM/CAE-системы.

INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING THE PROCESS OF DIRECT LASER DEPOSITION WITH REGISTRATION OF OPERATOR ACTIONS

Kretov K.S., Oleynik M.A., Zlobin E.P., Platonov M.S., Balyakin A.V.
Samara University, Samara, kretov2002@yandex.ru

Keywords: direct laser cultivation, additive manufacturing, process monitoring, operator actions, digital production

A monitoring system for DED is developed to record operator actions and extend the digital process model. The system generates an event log for operation traceability and analysis of operator influence. Factors affecting the accuracy of optical geometry control are analyzed using the Taguchi method.