

УДК 621.791

Экспериментальное и численное исследование влияния пульсаций воздушного потока на процесс дуговой металлизации

Кархин Виктор Акимович¹

victor.karkhin@mail.ru

Крючков Никита Сергеевич^{2(*)}

nikita.kr93@mail.ru

Матвиенко Владимир Николаевич²

matviyenkovn@gmail.com

¹ СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия² ПГТУ – филиал НИУ МГСУ, Мариуполь, Россия

Аннотация. Представлены результаты комплексных исследований по разработке импульсной технологии дуговой металлизации. Основой решения стало применение ротационного пульсатора, преобразующего постоянный воздушный распыляющий поток в периодический. Эмпирическим путем для низколегированной проволоки Св-08Г2С определена оптимальная частота пульсаций (65–70 Гц), обеспечивающая повышение микротвердости покрытия на 8–9 %, снижение содержания оксидных включений и формирование более однородной мелкозернистой структуры. Физическая суть процесса раскрыта с помощью математического и CFD-моделирования, подтвердившего генерацию кратковременных сверхзвуковых струй с ударными волнами. Обоснована перспектива применения энерго- и ресурсосберегающей технологии получения качественных покрытий с заданными эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: дуговая металлизация, импульсный распыляющий поток, ротационный пульсатор, микротвердость покрытия, CFD-моделирование, сверхзвуковая струя, ресурсосберегающая технология

Введение. Целью исследований является анализ и оптимизация импульсной технологии дуговой металлизации, реализуемой с помощью простого технического устройства — ротационного пульсатора. Для исследований использовали низколегированную проволоку Св-08Г2С диаметром 2 мм. Комплекс работ включал практическое внедрение, эмпирическую оптимизацию, разработку сопутствующих материалов и углубленное теоретическое обоснование физики процесса [1].

Практическая реализация и экспериментальная оптимизация технологии дуговой металлизации. Основной объем экспериментальных работ направлен на поиск оптимальных режимов импульсного распыления. В диапазоне частот импульсов 0–120 Гц исследовали дисперсность частиц, структуру и микротвердость покрытий [2]. Результаты показали наличие оптимума в области 65–70 Гц.

Для расширения функциональности данной технологии разработаны ресурсосберегающие порошковые проволоки марок ПП-ММ-63 и ПП-ММ-65 [3]. Их состав на основе феррохрома, алюминия и графита рассчитан на взаимодействие с кислородом импульсной струи с образованием упрочняющих фаз, что обеспечило адгезионную прочность покрытий на уровне 52–55 МПа.

Теоретическое обоснование физики процесса. Численное исследование с применением CFD-моделирования газодинамики струи подтвердило ключевую гипотезу: генерируемый пульсатором импульс давления приводит к формированию в затопленном пространстве кратковременной сверхзвуковой струи. В момент времени $\sim 1,5$ мс на срезе канала фиксируются скорости потока до 650 м/с и скачок полного давления до 69 кПа, что является прямым свидетельством образования ударных волн. Это позволяет объяснить характерные акустические эффекты («хлопки») и высокую энергию распыления в процессе металлизации.

Перспективы развития технологии. Полученные результаты создают основу для использования данной технологии при решении определенных задач улучшения свойств рабочих поверхностей металлоконструкций и деталей оборудования. Наиболее перспективным, наряду с повышением износостойкости, является применение импульсной металлизации для нанесения антикоррозионных покрытий на основе алюминия, цинка и других коррозионно-стойких материалов.

Заключение. В работе выполнен замкнутый цикл исследований: от разработки и внедрения ротационного пульсатора для импульсной дуговой металлизации до фундаментального анализа физики процесса. Экспериментально для проволоки Св-08Г2С определена оптимальная частота пульсаций (65–70 Гц), обеспечивающая повышение микротвердости и снижение окисленности покрытий. Моделирование показало, что эффект обусловлен генерацией сверхзвуковых струй с ударно-волновым воздействием на расплав.

Список источников

- [1] Крючков Н.С., Матвиенко В.Н. Особенности процесса дуговой металлизации с пульсирующим распыляющим потоком воздуха. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2024, т. 20, № 11, с. 518–524. <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2024-20-11-518-524>
- [2] Крючков Н.С., Матвиенко В.Н. Влияние частоты пульсирующего распыляющего потока воздуха при дуговой металлизации на дисперсность частиц. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2025, № 6, с. 260–264. <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2025-21-6-260-264>
- [3] Роянов В.А., Крючков Н.С., Матвиенко В.Н. Разработка ресурсосберегающих порошковых проволок для дуговой металлизации износостойких покрытий. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2025, № 2, с. 72–78. <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2025-21-2-72-78>