

УДК 621.791.927.5

Перспективы применения импульсного тока для двухэлектродной наплавки плакирующих слоев и покрытий

Елсуков Сергей Константинович^(*)

serzh.elsukov@yandex.ru

SPIN-код: 5051-4360

Зорин Илья Васильевич

zorin.iv@vstu.ru

SPIN-код: 8343-0924

Несин Дмитрий Сергеевич

nesdmiser2000@mail.ru

SPIN-код: 5576-7153

Лысак Владимир Ильич

lysak@vstu.ru

SPIN-код: 2378-3391

ВолгГТУ, Волгоград, Россия

Аннотация. Исследовано влияние импульсного тока и межэлектродного расстояния на процесс двухэлектродной наплавки. Методами математического моделирования и эксперимента показано, что импульсный режим при расстоянии 6 мм обеспечивает оптимальный баланс давления дуги и тепловложения. Это позволяет минимизировать проплавление основного металла до 25 % и обеспечить стабильный перенос металла общей каплей без разбрызгивания. Результаты подтверждают эффективность технологии для наплавки с ограниченным термическим воздействием.

Ключевые слова: двухэлектродная наплавка, импульсный ток, давление дуги, тепловой поток, численное моделирование, межэлектродное расстояние, плакирующие слои

Введение. Повышение производительности наплавки при одновременном снижении термического воздействия на основной металл остается одной из ключевых задач разрабатываемых технологий наплавки [1]. Двухэлектродный процесс с общим источником электропитания позволяет не только увеличить производительность наплавки, но и снизить тепловложение в основной металл [2]. Применение для двухэлектродной наплавки импульсного тока сопряжено с изменением электромагнитного взаимодействия дуг, которое существенно зависит от основных параметров режима наплавки и влияет на стабильность дугового процесса и характер каплепереноса, а также качество формирования наплавленных покрытий [3].

Методы и материалы; результаты. Исследование проведено с использованием сварочного полуавтомата Lorch S8 Pulse XT, оснащенного системой синхронной регистрации электрических параметров (сила тока и напряжение на дуге) и камеры для высокоскоростной видеосъемки iSpeedy 50MT13M-SE (5000 кадр/с). В качестве защиты дуги применялась смесь аргона и углекислого газа (95 % + 5 %). Сварочные проволоки диаметром 1,6 мм AG ER 347Si (Св-06X19H9Т). Скорость наплавки — 13 м/ч. Математическое моделирование сварочной дуги выполнено в COMSOL Multiphysics с учетом гидродинамических, электромагнитных и тепловых процессов. Анализировалось влияние межэлектродного расстояния (2,6; 4,0; 6,0; 8,0 мм) на распределение

давления, температуры и теплового потока, а также формирование наплавленного металла.

Результаты моделирования показали, что при межэлектродном расстоянии 6 мм давление дуги в пике импульса сопоставимо с режимом постоянного тока (около 800 Па), однако в фазе паузы оно снижается до 25 Па. Пульсирующий характер дуги обеспечивает снижение тепловложения в основной металл примерно на 15 % по сравнению с наплавкой на постоянном токе. Данный вывод подтвержден данными металлографии: доля участия основного металла в наплавленном слое при импульсном режиме минимальна (25 %) при сохранении ширины валика. Также при использовании импульсного тока перенос в дуге, образующейся на торцах двух электродных проволок, общей капли происходит без отклонения ее от оси электрода, что исключает разбрызгивание электродного металла.

Заключение. Установлено, что импульсный режим двухэлектродной наплавки при межэлектродном расстоянии 6 мм является оптимальным для задач, требующих минимального термического влияния на основной металл. Данный режим обеспечивает стабильный каплеперенос без коротких замыканий и контролируемое тепловложение, что повышает качество наплавленных покрытий и расширяет технологические возможности процесса. Полученные результаты представляют практическую ценность для дальнейшего совершенствования технологии двухэлектродной наплавки в защитных газах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZUS-2026-0003 на основании соглашения № 075-03-2026-526 от 16.01.2026).

Список источников

- [1] Полосков С.С., Ерофеев В.А., Шолохов М.А., Мельников А.Ю. Исследование технологических возможностей процесса двухдуговой наплавки плавящимся электродом с дополнительной токоведущей присадочной проволокой. *Сварка и диагностика*, 2022, № 2, с. 43–47. https://doi.org/10.52177/2071-5234_2022_02_43
- [2] Елсуков С.К., Зорин И.В., Фастов С.А., Лысак В.И. Применение расщепленного электрода для наплавки в аргоноуглекислотных смесях коррозионностойкой стали. *Сварка и диагностика*, 2023, № 2, с. 37–41. https://doi.org/10.52177/2071-5234_2023_02_37
- [3] Wang X., Zhang Q., Liu Y., Luo C., Hu Q. Impact of welding current on arc physical characteristics in single-power, double-wire, single-arc gas metal arc welding. *Welding in the World*, 2025, vol. 69, pp. 2657–2668. <https://doi.org/10.1007/s40194-025-01982-y>