

ПРИМЕНЕНИЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ РАСПЫЛЯЮЩЕЙ СТРУИ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

В. А. РОЯНОВ¹, В. И. БОБИКОВ²

¹Приазов. гос. техн. ун-т. 87500, Донецкая обл., г. Мариуполь, ул. Университетская, 7. E-mail: royanov@pstu.ed

²ПАО «Азовобщемаш». 87535, Донецкая обл., г. Мариуполь, Машиностроителей, 1. E-mail: voffka-008@mail.ru

Представлены результаты исследования применения пульсирующей распыляющей струи воздуха при электродуговой металллизации. Для обеспечения пульсирующего режима разработано соответствующее устройство, позволяющее управлять истечением струи с частотой в пределах 0...130 Гц. Приведены осциллограммы изменения динамического напора. Показана зависимость свойств пульсирующей распыляющей струи воздуха от частоты перекрытия канала сопла металллизатора. Представлены микроструктуры покрытий. Показано влияние частоты пульсаций на химический состав напыленных покрытий проволокой ПП-ММ-2. Библиогр. 15, рис. 6.

Ключевые слова: электродуговая металллизация, пульсирующий режим, распыляющая струя воздуха, канал сопла металллизатора, микроструктура покрытий, истечение, стационарный разрыв, динамический напор струи

Электродуговая металллизация (ЭДМ) является одним из способов нанесения газотермических покрытий (ГТП) и отмечается высокой производительностью, достаточно экономичным и простым в осуществлении процессом напыления покрытий. Как известно, в процессе напыления жидкий металл расплавленных торцов электродов направляется распыляющей струей воздуха на изделие [1, 2]. Качество полученных покрытий зависит от количества кислорода, растворенного в металле частиц. Данные, приведенные в работах [3–8], показывают, что в процессе напыления происходит интенсивное химическое взаимодействие распыляющей струи воздуха с распыляемым материалом, которое приводит к значительному выгоранию легирующих элементов. Интенсивность окисления увеличивается с ростом параметров, таких как давление сжатого воздуха, расстояние от сопла аппарата до напыляемой детали, что оказывает отрицательное влияние на механические свойства покрытий. Степень окислительной реакции зависит от жаростойкости распыляемого материала, дисперсности частиц, сродства компонентов к кислороду. Количественная оценка степени окисления компонентов распыляемого электродного материала дана в работах [5–7].

С целью снижения окислительного воздействия распыляющей струи на жидкий металл торцов плавящихся электродов предлагается использовать пульсирующую распыляющую струю воздуха. Для решения поставленной задачи необходимо было разработать соответствующее устройство.

В ранее приведенных работах [9–12] отмечались примеры совершенствования конструкции электродугового металллизатора путем применения вставок и устройств для обеспечения пульсаций распыляющей струи воздуха, однако они

оказались не приемлемы в силу своей сложной конструкции и инерционности в работе.

На кафедре оборудования и технология сварочного производства ПГТУ (Приазовского государственного технического университета, г. Мариуполь) разработан метод электродуговой металллизации с применением пульсирующей распыляющей струи воздуха. Исследования проводили на стационарном электродуговом металллизаторе ЭМ-17 с устройством обеспечивающим пульсирующий режим истечения распыляющей струи.

Конструктивно пульсирующее устройство (в дальнейшем пульсатор) представляет собой цилиндрический корпус с входным и выходным патрубком для подвода и вывода сжатого воздуха, внутри которого установлен вал с отверстием и возможностью вращения. Установлено устройство соосно с каналом сопла металллизатора перед распыляющим соплом. Вследствие вращения вала с отверстием происходит переидическое перекрытие подачи сжатого воздуха по каналу сопла металллизатора к распыляющему соплу, в результате чего обеспечивается пульсирующий режим истечения. Пульсатор позволил получить пульсирующий режим истечения распыляющей струи в пределах 0...130 Гц. Схема разработанной пульсирующей распыляющей головки представлена на рис. 1.

При разработке устройства исследовали эффективность динамического напора струи и форму импульсов в зависимости от проходного сечения канала сопла металллизатора. Экспериментальные замеры формы импульсов и динамического напора в зависимости от частоты осуществляли методом воздействия распыляющей струи

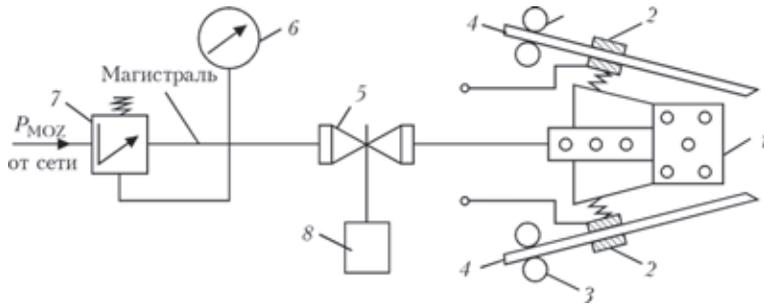


Рис. 1. Схема головки для пульсирующего распыления: 1 — распыляющее сопло; 2 — токоподводы; 3 — ролики; 4 — электродный материал; 5 — пульсатор; 6 — манометр давления; 7 — редуктор давления; 8 — электродвигатель

на металлическую пластинку, на которой устанавливали тензодатчик (рис. 2). Сигналы с тензодатчика регистрировали с помощью осциллографа.

Из приведенных осциллограмм видно, что распыляющая струя носит пульсирующий характер с временными промежутками. Как показали исследования, применение различного проходного сечения канала сопла позволяет изменять и характер нарастания самого импульса. Так при использовании круглого сечения импульс имеет плавновозрастающую форму (рис. 2, а, б). Общим свойствам синусоподобной и прямоугольной форм перекрытия (рис. 2, в, г) является наличие паузы

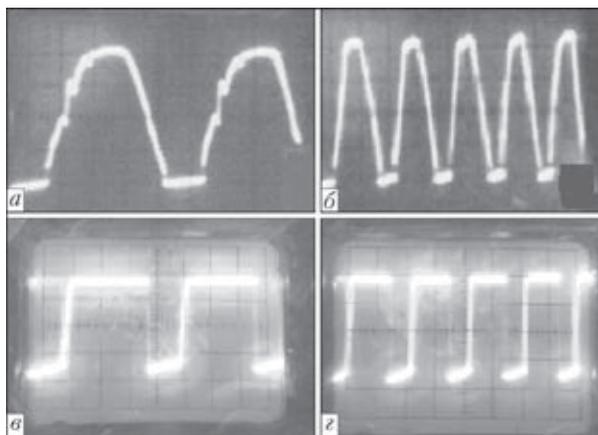


Рис. 2. Изменения динамического напора струи в зависимости от применяемого проходного сечения сопла с частотой пульсации 30 (а), 65 (б), 40 (в), 75 (г) Гц

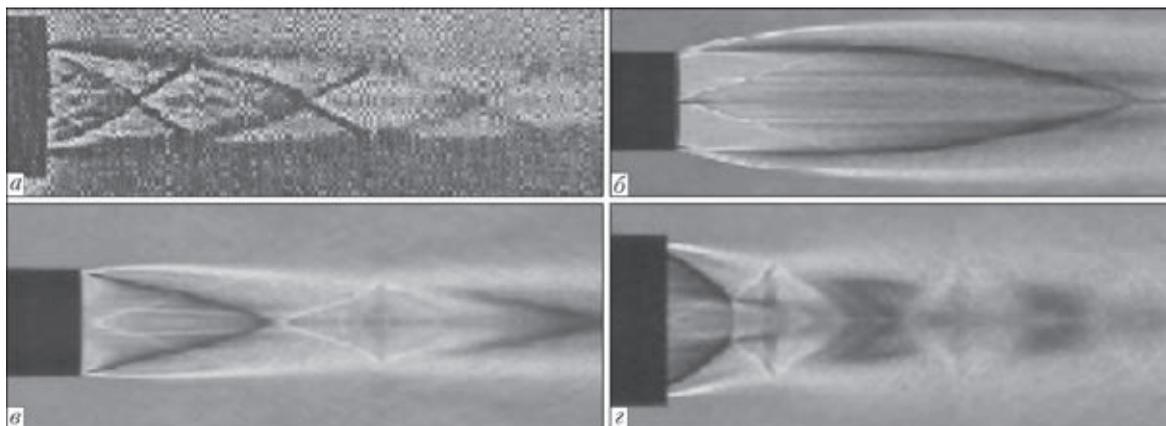


Рис. 3. Газоспектрограммы газовых струй без пульсации (а) и с частотой пульсаций 25 (б), 56 (в) и 85 (г) Гц

в распылении, необходимом для образования жидкого металла на торце электродов. В дальнейшем в работе проводились исследования с прямоугольной формой импульсов.

Исследование зависимости характера пульсирующей распыляющей струи воздуха от проходного канала сопла проводили с помощью теневого метода. Газоспектрограмма газовой струи без пульсаций (рис. 3, а) характеризует нестационарное пространственно неоднородное газовое образование [13]. Все области струи находятся в колебательном

движении относительно геометрической оси сопла, из которого она истекает. Наблюдается бочкообразная волновая структура начального и переходящего участков с пилообразным распределением давления вдоль оси струи. У среза сопла возникает течение разрежения в виде центрированной волны.

Распыляющая струя с пульсацией воздушного потока (рис. 3, б, в, г) также представляет собой неоднородное газовое образование, однако имеющее иной вид.

Так при частоте пульсаций в 25 Гц (рис. 3, б) газовая струя при выходе из сопла образует центрированную конусообразную зону, ограниченную волнами разрежения. При частотах 56 и 85 Гц (рис. 3, в, г) все области струи находятся в колебательном движении. Наблюдается наличие волн разрежения, которые сопровождаются ударными волнами, бочкообразная волновая структура начального и переходящего участков с пилообразным распределением давления вдоль оси струи. Между волнами присутствует участок стационарного разрыва газовой струи. При частоте 85 Гц заметно увеличение количества участков стационарного разрыва с перепадами давления.

Свойства покрытий исследовали на образцах, полученных электродуговой металлизацией при различных частотах распыляющей струи воздуха.

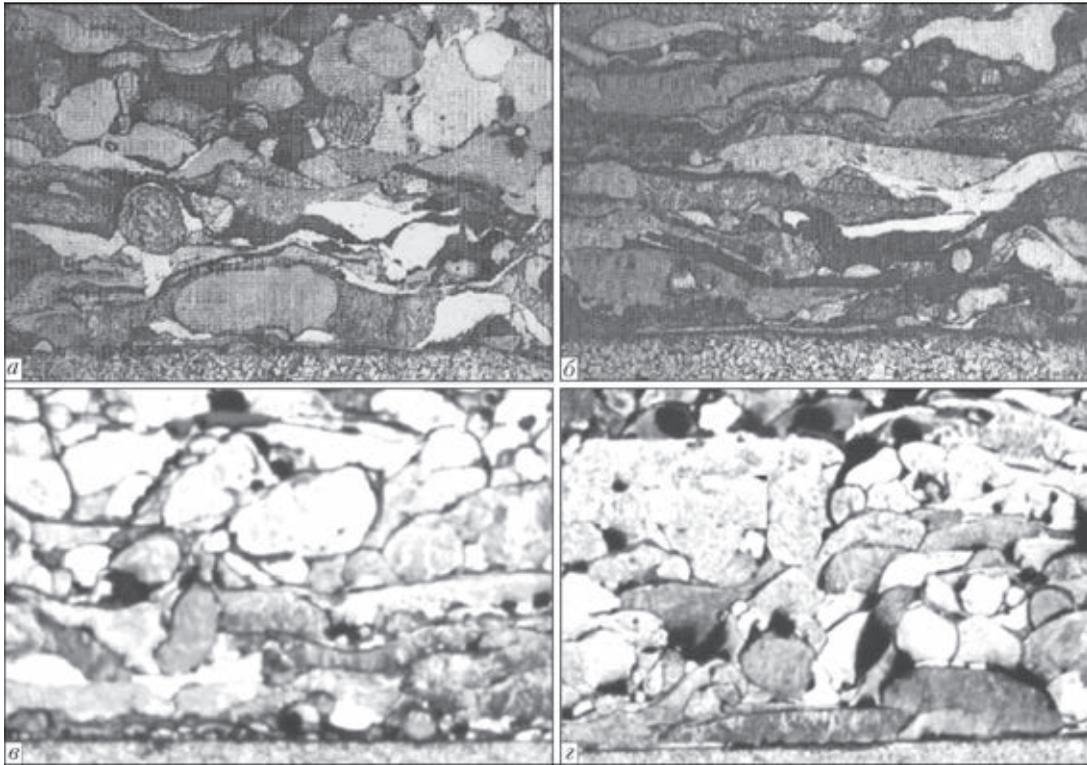


Рис. 4. Микроструктура ($\times 75$) покрытий при различной частоте импульсов струи: без пульсаций (а), с частотой пульсаций 43 (б), 65 (в), 105 (г) Гц

В качестве материала основы использовали сталь 09Г2С в виде пластин размером $75 \times 35 \times 5$ мм. Перед напылением образцы обезжировали бензином и подвергали пескоструйной обработке корундом с последующей обдувкой сжатым воздухом (для удаления пыли). Напыление проводили с помощью электродугового металлизатора ЭМ-17 с разработанным устройством на режимах: при давлении $P = 0,55$ МПа, силе тока $I = 210 \dots 230$ А, напряжении $U = 30 \dots 32$ В, скорости подачи проволоки $v = 4,8 \dots 5,4$ м/мин. Для распыления использовано сопло диаметром $d = 7 \cdot 10^{-3}$ м². Расстояние до напыляемого образца 120 мм. Питание дуги осуществлялось от источника ВДУ-506.

Микроструктура покрытий, полученных при различной частоте пульсирующей воздушно-распыляющей струи с использованием порошковой проволоки ПП-ММ-2 [14] представлена на рис. 4.

Микроструктуру, толщину и пористость покрытий исследовали на электронном оптическом микроскопе Zeisse-200М. Строение полученных покрытий соответствует данным, приведенным в работах [5, 7, 8, 15], где покрытие состоит из отдельных деформированных частиц, расположенных слоями. Между частицами и слоями наблюдаются границы из оксидных пленок, имеется пограничный слой между основой и покрытием.

Без пульсаций структура покрытия неоднородна, с большим количеством частиц различной формы (рис. 4, а). Отмечены частицы сферической формы, не разбитые напором воздуха на бо-

лее мелкие. Большинство частиц имеют вытянутую, деформированную форму. Отмечено наличие оксидных пленок. При использовании пульсирующей струи покрытия имеют более равномерную микроструктуру. Количество частиц с различным размером уменьшается. При частоте пульсаций 43 Гц структура покрытий по всей толщине равномерная, что свидетельствует о стабильности процесса. Все частицы подвергаются значительной пластической деформации (см. рис. 4, б). Переходная зона имеет оксидные пленки, но в меньшей степени по сравнению с структурой покрытия выполненного пульсации. Средний размер частиц находится в пределах $100 \dots 450$ мкм.

При частоте 65 Гц отмечается увеличение количества частиц малых размеров наряду с круп-

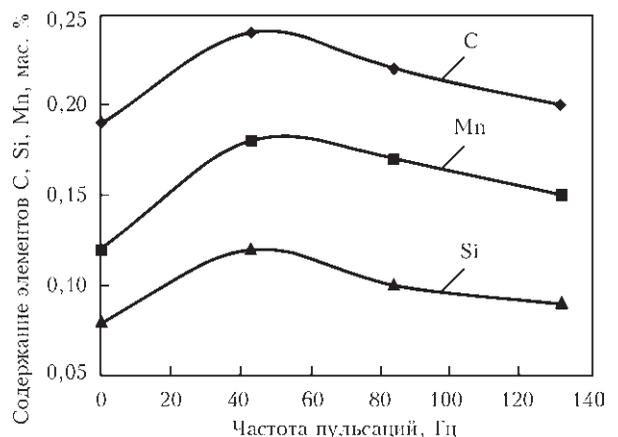


Рис. 5. Влияние частоты импульсов на содержание C, Mn и Si в покрытии при напылении проволокой ПП-ММ-2

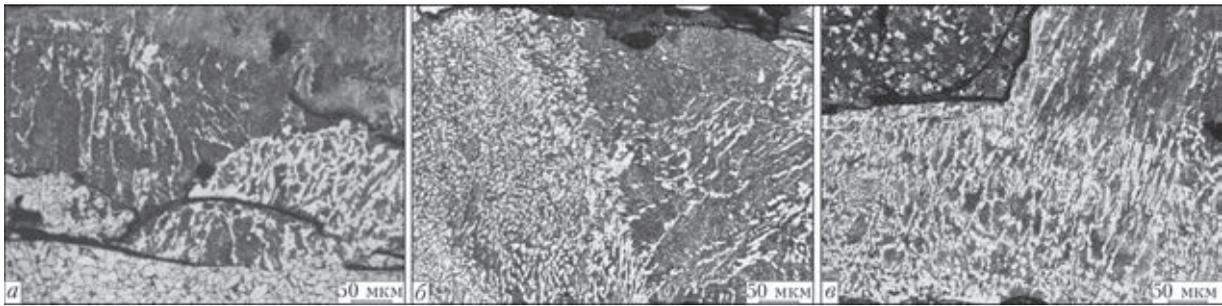


Рис. 6. Микроструктура частиц, у которых произошло разрушение оксидной пленки на границе: а, в — частицы с основой; б — между частицами

ными (см. рис. 4, в). Средний размер частиц колеблется в пределах 50...350 мкм. Это объясняется тем, что промежуток в следовании импульсов распыляющей струи имеет меньшую по времени величину по сравнению с частицами, полученными при частоте в 43 Гц. Скорость плавления электродов и образования жидкого металла на торце имеет большее по продолжительности время, чем временной промежуток в следовании распыляющей струи воздуха при данной частоте, что увеличивает усилие сброса жидкого металла с торцев электродов силой распыляющего потока. При частоте 105 Гц существенного изменения в размерах частиц не отмечено. Наличие промежутка в следовании импульсов распыляющей струи имеет малое значение по сравнению с временем, необходимым для формирования жидкого металла на торце плавящихся электродов. Сила воздействия распыляющего потока на жидкий металл становится практически постоянной.

В ходе проведения исследований получены переменные данные химического состава напыленных покрытий на образцах с использованием различных частот импульсов распыления (рис. 5). Отличие в содержании химических элементов объясняется различной степенью воздействия окислительной среды на напыляемый материал.

Иллюстрацией снижения окислительного воздействия на распыляемый материал являются микроструктуры частиц у которых произошло разрушение оксидных пленок на границах (рис. 6).

Разработан опытный образец головки для напыления в пульсирующем режиме, смонтированная на токарном станке, для восстановления посадочных мест деталей металлургического оборудования в механическом цехе комбината «Азовсталь».

Выводы

1. Разработано устройство, позволяющее получить пульсирующий режим распыления с импуль-

сами прямоугольной формы в диапазоне частот 0...132 Гц.

2. Применение пульсирующего распыления позволяет стабилизировать химический состав покрытия.

3. При напылении проволокой ПП-ММ-2 оптимальная частота импульсов составляет 35...60 Гц.

1. Коробов Ю. С. Оценка сил, действующих на распыляемый материал при электрометаллизации // Автоматическая сварка. – 2004 – № 7. С. 23–27.
2. Роянов В. А. Плавление электродов при дуговой металллизации // Свароч. пр-во. – 1990 – № 2. – С. 35–37.
3. Исследование диспергирования разнородных проволочных материалов в процессе электродугового напыления / Ю. С. Борисов, Н. В. Вигилянская, И. А. Демьянов и др. // Автомат. сварка. – 2013 – № 2. С. 25–31.
4. Коробов Ю. С., Бороненков В. Н. Кинетика взаимодействия напыляемого металла с кислородом при электродуговой металллизации // Свароч. пр-во. – 2003 – № 7. – С. 30–36.
5. Хасуи А. Техника напыления: Пер. с яп. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
6. Константинов В. М., Губанов А. С. Влияние легирующих элементов стальной проволоки на структуру и свойства покрытий при электродуговом напылении // Свароч. пр-во. – 2007 – № 5. – С. 13–18.
7. Бороненков В. Н., Коробов Ю. С. Основы дуговой металллизации. Физико-химические закономерности. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. – 268 с.
8. Катц Н. В. Металлизация распылением. – М.: Машиностроение, 1966. – 248 с.
9. Тер-Даниэлян Б. И., Красниченко Л. В. Новая распылительная головка электродугового металллизатора // Свароч. пр-во. – 1983 – № 12. С. 30–32.
10. Бурякин А. В. Стационарный электродуговой металллизатор ЭМ-19 // Там же. – 2000 – № 9. – С. 35–36.
11. А. с. 1787049 СССР, МКИ В 05 В 7/22. Распыляющая металлзационная головка / В. А. Роянов, Г. А. Мосиенко, В. П. Семенов, В. Я. Лавренов. – №990322; Заявл.22.11.89; Оpubл. 07.01.93, Бюл. № 1.
12. А. с. 1727923 СССР, МКИ В 05 В 7/22. Устройство для электродуговой металллизации / Ю. С. Борисов, А. Г. Ильенко, Е. А. Астахов, А. Л. Гайдаренко. – № 1329835; Заявл.26.06.89; Оpubл. 23.04.92, Бюл. № 15.
13. Гинзбург А. П. Аэрогазодинамика. – М.: Высш. шк., 1968. – 230 с.
14. Роянов В. А., Цыганков С. А., Богословский А. С. Порошковая проволока для нанесения износостойких покрытий методом дуговой металллизации // Сб. тр. ЦНИИТ-МАШ, 1990. – С. 25–26.
15. Кудинов В. В., Бобров Г. В. Нанесение покрытий напылением. Теория технология и оборудование. Уч. для вузов. – М.: Металлургия, 1992. – 432 с.

Поступила в редакцию 05.05.2014