

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВА ШИХТЫ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ВОЗДУШНО-РАСПЫЛЯЮЩЕЙ СТРУИ

Роянов В. А., Бобиков В. И., Захарова И. В., Бобиков А. И., Семенов В. П.

Представлены результаты исследований технологических свойств покрытий выполненных электродуговой металлизацией порошковыми проволоками с усовершенствованным составом. Разработанные порошковые проволоки обеспечили получение покрытий, отличающихся высокими свойствами с использованием пульсирующей воздушно – распыляющей струи, за счет применения более активных компонентов в шихте. Это обеспечивает лучшее сцепление напыляемого покрытия с основой и уменьшает количество оксидных прослоек на границах. Представлены результаты металлографического исследования напыленных покрытий, влияние распыляющей струи на структуру. Предложены оптимальные частоты пульсаций воздушно – распыляющей струи.

Представлені результати досліджень технологічних властивостей покриттів виконаних електродуговою металізацією порошковими дротами з удосконаленням складом. Розроблені порошкові дроти забезпечили отримання покриттів, що відрізняються високими властивостями з використанням пульсуючого повітряно – розпилюючого струменя, за рахунок застосування більш активних компонентів в шихті. Це забезпечує краще зчеплення напилуваного покриття з основою і зменшує кількість оксидних прошарків на кордонах. Представлені результати металографічного дослідження напылених покриттів, вплив розпилюючого струменя на структуру. Запропоновані оптимальні частоти пульсацій повітряно – розпилюючого струменя.

Results of researches of technological properties of coverings executed by arc metallization by powder wires with advanced composition are provided. The developed powder wires provided the coverings, differing high properties with use of a pulsating air – spraying stream, due to application more the active components in furnace charge. It provides the best coupling of an evaporated covering with a basis and reduces quantity of oxide-coated interlayers on boundaries. There are presented the results of metallographic investigation sprayed coatings, the impact of the air-spraying on the structure. Optimum frequencies of pulsations are offered is air – spraying stream.

Роянов В. А.

д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Бобиков В. И.

аспирант, инж. ПАО «Азовобщемаш»

[Voffka-008@mail.ru](mailto:Voffka-008@mail.ru)

Захарова И. В.

канд. техн. наук, доц. каф. ОиТСП ПГТУ

Бобиков А. И.

аспирант ПГТУ, инж. ООО «Магма»

Семенов В. П.

ст. преп. ПГТУ

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

ПАО «Азовобщемаш» – Публичное акционерное общество «Азовобщемаш», г. Мариуполь.

ООО «Магма» – Общество с ограниченной ответственностью «Магма», г. Мариуполь.

УДК 621.791.037

Роянов В. А., Бобиков В. И., Захарова И. В., Бобиков А. И., Семенов В. П.

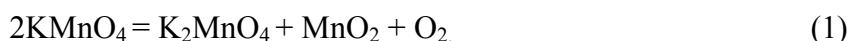
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВА ШИХТЫ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ВОЗДУШНО-РАСПЫЛЯЮЩЕЙ СТРУИ**

В настоящее время при нанесении покрытий все более широкое применение находит метод электродуговой металлизации. Важным фактором повышения долговечности покрытий является увеличение прочности сцепления покрытия с поверхностью изделия с использованием в качестве распыляемых материалов порошковых проволок. Разработка оптимального состава порошковой проволоки невозможна без знания фазового состава и процессов образования покрытия в зависимости от химического состава электродного материала. В большинстве порошковых проволок основными элементами ответственными за фазовый состав покрытия являются углерод, хром, марганец и алюминий. Однако повышение содержания элементов в напыляемом материале за счет изменения состава шихты порошковой проволоки не всегда является целесообразным. Поэтому, создание проволочных материалов для электродугового напыления с использованием пульсирующей распыляющей струи, для получения покрытий с высокой прочностью сцепления представляет собой научный и практический интерес.

С целью повышения технологических свойств покрытия в литературных источниках имеет место совершенствование состава наполнителя порошковой проволоки. Примером является проволока ПП – ММ – 2 [1], разработанная на кафедре оборудования и технологии сварочного производства ПГТУ. Данные приведенные в работе [2] показали, что применение пульсирующей струи позволило повысить прочность сцепления покрытия с основой на 14,8 %, но данный рост оказался не значительным.

Целью настоящей статьи является исследовать возможность создания порошковых проволок, обеспечивающих получение покрытий, отличающихся высокими технологическими свойствами с использованием пульсирующей струи, за счет применения более активных компонентов в шихте.

Основным критерием, влияющим на высокую адгезию напыленного материала с основой при электродуговой металлизации, является экзотермическая реакция, которая протекает за счет алюминия, содержащегося в шихте порошковой проволоки. Большинство порошковых проволок в качестве окислителя содержат  $Fe_2O_3$ . Однако с применением пульсирующей струи он оказался малоэффективным. Для решения поставленной задачи в шихту порошковой проволоки вместо  $Fe_2O_3$  добавили  $KMnO_4$ . Основным свойством является то, что он распадается при температуре 240 °С с выделением активного кислорода. Распад данного компонента происходит по формуле, [1,3]:



Для исследования влияния данного окислителя на свойства покрытий были изготовлены четыре вида проволок (ПП – ММ – 2М) диаметром 2,0 мм с следующим процентным его соотношением от общей массы шихты: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 %. Внешнюю оболочку изготовили из стали 08 кп толщиной 0,4 мм. Коэффициент заполнения проволок составил 26–28 %. Свойства покрытий исследовали на образцах, полученных электродуговой металлизацией при различных частотах пульсаций воздушно-распыляющей струи. В качестве материала основы использовали сталь 09Г2С, в виде пластин размером 75 × 35 × 5 мм.

Перед напылением образцы обезжиривали бензином и подвергали пескоструйной обработке корундом. Напыление проводили с помощью металлизатора ЭМ – 17, с разработанным устройством пульсирующей подачи воздуха, с применением разработанных порошковых проволок на частотах – 30,50,85 Гц. Химический состав напыленных покрытий полученных при частоте пульсаций воздушно – распыляющей струи 50 Гц с разработанными проволоками представлен в табл.1.

Таблица 1

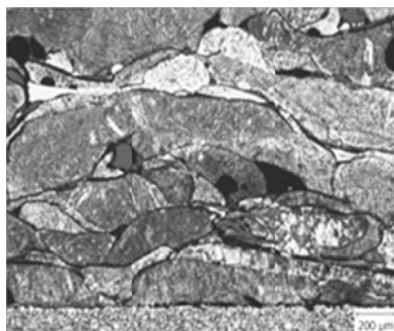
## Химический состав напыленных покрытий

Порошковая проволока	Химический состав покрытий, %			
	C, %	Mn, %	Cr, %	Al, %
ПП – ММ – 2М (0,5 %)	0,17	0,45	2,33	3,07
ПП – ММ – 2М (1,0 %)	0,32	0,48	2,55	2,26
ПП – ММ – 2М (1,5 %)	0,23	0,54	3,66	1,89
ПП – ММ – 2М (2,0 %)	0,22	0,47	1,85	1,04

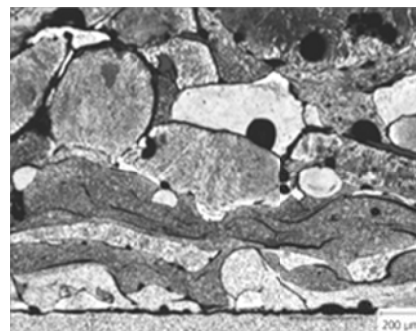
Металлографический анализ напыленных покрытий проводили на протравленных образцах, для выявления феррита перлита и закалочных структур. Микроструктуру, толщину и пористость покрытий исследовали световым электронным оптическим микроскопом Zeisse – 200M. Микротвердость покрытий определяли по методу Виккерса на цифровом микротвердомере LM – 100 при нагрузке 50 г.с. Строение полученных покрытий соответствует данным приведенным в работах [2, 3, 4], где покрытие состоит из отдельных деформированных частиц, расположенных слоями. Между частицами и слоями наблюдаются границы из оксидных пленок, наблюдается пограничный слой между основой и покрытием. Установлено, что по мере использования пульсирующего воздушно – распыляющей струи, покрытие имеет равномерное строение, где наряду с крупными частицами имеются и мелкие. Микроструктура покрытий представлена на рис. 1.



а)



б)



в)

Рис. 1. Микроструктура покрытий полученных методом дуговой металлизации с различным содержанием  $KMnO_4$  в шихте проволок, при частоте пульсаций 50 Гц,  $\times 100$ :

а – 1,0 %  $KMnO_4$ ; б – 1,5 %  $KMnO_4$ ; в – 2,0 %  $KMnO_4$

Размер капель колеблется в пределах 50–350 мкм, при этом массовая доля капель с размером 50–150 мкм составляет примерно 65 %. Микроструктуры отдельных частиц покрытия, полученных при использовании данных марок проволоки, состоят в основном из перлита, феррито-перлита, продуктов распада троостита, сорбита. В основном в покрытиях наблюдаются частицы с феррито-перлитной структурой. Это объясняется наличием в шихте проволок Al и Cr, т. к. они являются основными феррито-образующими элементами.

Наблюдается также наличие частиц с закалочными структурами. Предположительно это связано с размерами частиц и скоростями охлаждения. Наибольшее количество частиц с закалочными структурами наблюдается в покрытиях с использованием проволок с содержанием  $\text{KMnO}_4$  в количестве 1,5 и 2,0 %.

В ходе определения количества содержания химических элементов было установлено следующее. Содержание Mn во всех покрытиях с применением проволок с 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 %  $\text{KMnO}_4$  увеличивается по мере установления пульсирующего распыляющего потока. Наибольшее содержание Mn наблюдается в покрытиях, полученных с порошковой проволокой, содержащей 2,0 %, и составляет 0,63 %.

Наибольшее содержание C обнаружено в покрытиях выполненных проволокой с 1,0 %  $\text{KMnO}_4$  и составляет 0,32 %. По мере увеличения содержания  $\text{KMnO}_4$  в шихте с 1,5 до 2,0 % наблюдается его некоторое снижение и составляет 0,22 %.

Наибольшее содержание Al и Cr наблюдается в покрытиях выполненных проволокой с содержанием 1,5%  $\text{KMnO}_4$  и составляет Al – 2,23 %, Cr – 3,66 %. Затем наблюдается их снижение Al – 1,04 %, Cr – 1,45 %. Предположительно изменение содержания химических элементов можно объяснить следующим. В процессе использования пульсирующей воздушно – распыляющей струи изменяется воздействие на жидкий металл торцев плавающих электродов, которое соответствует металлографическим исследованиям [4, 5, 6]. Вследствие изменения размера частиц меняется общая площадь контакта частицы с распыляющей средой, которая в зону плавления проволоки подается порциями, что приводит к изменению количества элементов в покрытиях.

Прочность сцепления определяли методом отрыва штифтовой пробы от основы. На рис. 2 представлен график изменения прочности сцепления.

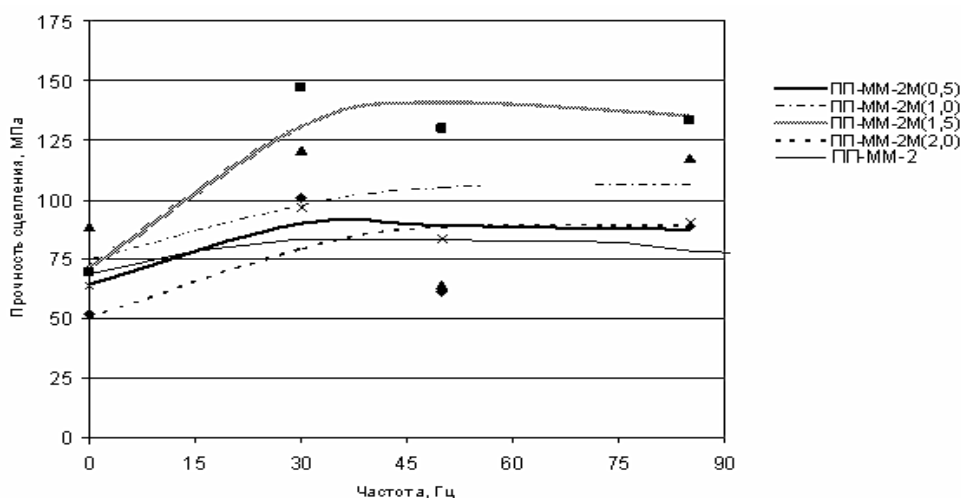


Рис. 2. Прочность сцепления покрытия с основой в зависимости от типа применяемых проволок

Из представленного графика нетрудно усмотреть, что при напылении без пульсирующего режима воздушно-распыляющего потока прочность сцепления имеет малые значения порядка 62 МПа. По мере установления пульсации намечается рост прочности как при использовании ПП – ММ – 2, так и ПП – ММ – 2 М с различным содержанием  $\text{KMnO}_4$ . Однако как видно, при использовании ПП – ММ – 2 рост не настолько значительный, как при использовании ПП – ММ – 2М. Это можно объяснить следующим образом. Находящийся в составе шихты порошковой проволоки  $\text{KMnO}_4$  нагреваясь до температуры 240 °С, выделяется активный кислород, который взаимодействует с компонентами шихты с протеканием экзотермической реакции. Температура капель содержащих Al, на 200–400° С выше, чем у капель, которые его не содержат [7]. Как известно, находящийся Al в расплавленной капле

при контакте с поверхностью, на которую наносится покрытие, реагирует с находящейся на ней оксидной пленкой с прохождением экзотермической реакции. Это обеспечивает лучшее сцепление напыляемого покрытия с основой и уменьшает количество оксидных прослоек на границе. Наибольший рост прочности сцепления наблюдается при использовании проволоки ПП – ММ – 2М (1,5 %).

Данное увеличение прочности сцепления подкреплено металлографическими снимками, представленными на рис. 3.

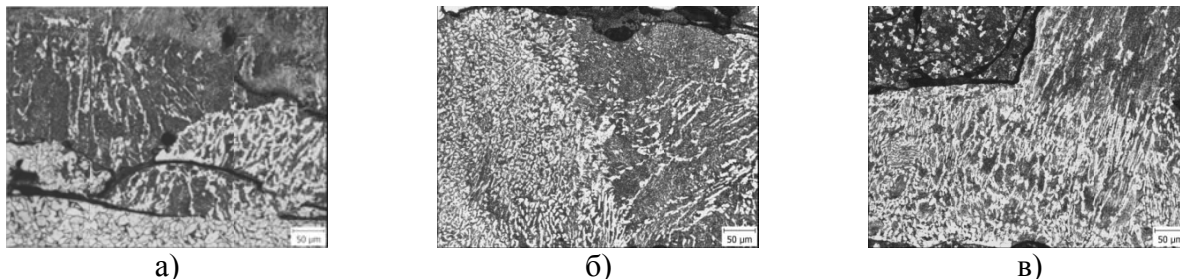


Рис. 3 Микроструктура частиц, у которых произошло разрушение оксидной пленки на границе,  $\times 400$ :

а, в – частицы с основой; б – между частицами

На представленных снимках видно, как на некоторых участках между частицами произошло разрушение оксидной пленки, вследствие чего произошло предположительно увеличение адгезии покрытия.

## ВЫВОДЫ

Разработано устройство, позволяющее получить пульсирующий режим истечения распыляющей струи с импульсами прямоугольной формы в диапазоне частот 0–132 Гц.

При электродуговом напылении разработанными проволоками установлено, что применение более активного окислителя позволило повлиять на твердость и прочность сцепления напыленного покрытия с основой.

Прочность сцепления напыленного слоя, полученного пульсирующей струей, с применением порошковой проволоки ПП – ММ – 2 увеличивается на 9,5–14,8 %. В то время как применение в составе проволоки  $\text{KMnO}_4$  позволило повысить прочность сцепления с применением пульсирующего режима распыляющей струи на 52–82 %.

На основании представленных исследований установлено, что оптимальными частотами, которые обеспечивают повышение технологических свойств покрытий и повышение прочности сцепления, можно считать 40–80 Гц.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роянов В. А. Порошковая проволока для нанесения износостойких покрытий методом дуговой металлизации / В. А. Роянов, С. А. Цыганков, А. С. Богословский // Сборник трудов ЦНИИТ – МАШ. – 1990. – С. 25–26.
2. Роянов В. А. Электродуговая металлизация с применением пульсирующей распыляющей струи / В. А. Роянов, В. И. Бобиков // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2009. – Вип. № 19. – С. 177–180.
3. Хасуи А. Техника напыления : пер. с япон. / А. Хасуи. – М. : Машиностроение, 1975. – 288 с.
4. Кудинов В. В. Нанесение покрытий напылением. Теория технология и оборудование : учебник для вузов / В. В. Кудинов, Г. В. Бобров. – М. : Металлургия, 1992. – 432 с.
5. Бурякин А. В. Стационарный электродуговой металлизатор ЭМ – 19 / А. В. Бурякин // Сварочное производство. – 2000. – № 9. – С. 35–36.
6. Роянов В. А. Некоторые газодинамические и технологические характеристики воздушно – распыляющих сопел электрометаллизационных аппаратов / В. А. Роянов, Е. В. Войцеховский // Сварочное производство. – 1977. – № 12. – С. 18–20.
7. Коробов Ю. С. Кинетика взаимодействия напыляемого металла с кислородом при электродуговой металлизации / Ю. С. Коробов, В. Н. Бороненков // Сварочное производство. – 2003. – № 7. – С. 30–36.

Статья поступила в редакцию 04.12.2013 г.