

СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КИСЛОРОДА НА ЖИДКИЙ МЕТАЛЛ ЭЛЕКТРОДОВ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОМ НАПЫЛЕНИИ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ РАСПЫЛЯЮЩЕЙ СТРУЕЙ ВОЗДУХА

Роянов Вячеслав Александрович, директор института Металлургии, доктор технических наук профессор,

Захарова Ирина Вячеславовна, преподаватель, доцент кафедры автоматизации и механизации сварочного производства,

Крючков Никита Сергеевич, аспирант,

Пугачев Евгений Витальевич, магистр,

Приазовский Государственный Технический Университет, Украина

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31052019/6508

ARTICLE INFO

Received: 15 March 2019

Accepted: 22 May 2019

Published: 31 May 2019

KEYWORDS

liquid metal, electrode, electric arc metallization, pulsing jet, coating, congruent figures, air consumption, pulsing feed, metallized coating.

ABSTRACT

In electric arc metallization an intensive oxidation of the spraying metal takes place due to the oxygen contained in the air which causes a great reduction in contents of alloying elements in the coating. In order to reduce the oxidizing impact of the air-spraying jet on the liquid metal of electrodes a method involving pulsing air feed has been developed. This is achieved by introducing an additional element into the spraying head of an electric arc metallizer.

The analytical dependencies presented in this paper are to determine the level of reduction of air consumption in electric arc spraying as well as the reduction in the mass of oxygen in contact with the air. There have been represented some examples of chemical composition of coatings when air consumption is dropped by 35-40% which diminishes the energy give-out on its reproduction.

Citation: В. А. Роянов, И. В. Захарова, Н. С. Крючков, Е. В. Пугачев. (2019) Snizhenie Vozdejstviya Kislороda na Zhidkij Metall Elektrodoв pri Elektrodugovom Napylenii Pul'siruyushchej Raspylyayushchej Struej Vozduha. *World Science*. 5(45), Vol.1. doi: 10.31435/rsglobal_ws/31052019/6508

Copyright: © 2019 В. А. Роянов, И. В. Захарова, Н. С. Крючков, Е. В. Пугачев. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Введение. Для нанесения покрытий в настоящее время широкое применение находит метод электродуговой металлизации. Известно, что в процессе электродугового напыления происходит интенсивное взаимодействие распыляющей струи воздуха с распыляемым материалом, что приводит к значительному выгоранию легирующих элементов. Интенсивность окисления увеличивается с ростом таких параметров как давление сжатого воздуха, расстояние от сопла аппарата до напыляемой детали, что оказывает отрицательное влияние на технологические свойства покрытия [1-5]. В частности, снижение содержания углерода, марганца, кремния в покрытии по сравнению с распыляемым материалом составляет 42,86%, 40,0%, 30,0% соответственно [1].

Анализ литературных данных и постановка проблемы.

С целью снижения окислительного воздействия распыляющей струи на жидкий металл торцов плавящихся электродов используют различные приемы. Так в работе [3] приведен пример использования чистых инертных газов в комбинации с воздухом для распыления материала. Ряд работ направлен на совершенствование конструкций распыляющих головок

электродуговых металлаторов. В распыляющих головках [6-10], выполненных в виде корпуса, в котором располагается воздушно-распыляющее сопло обеспечивающее подачу сжатого воздуха, как правило предусматривается совершенствование конструкции воздушного сопла путем использования вставок и устройств, обеспечивающих изменение в воздушно-распыляющем потоке. Известные распыляющие головки не значительно снижают окислительное влияние распыляющего воздуха, не обеспечивают ресурсосбережение за счет уменьшения расхода распыляющего воздуха и затрат электроэнергии на его получение.

Значительное снижение окислительного потенциала распыляющего потока призван обеспечивать метод активированной электродуговой металлации, когда наряду с электрической дугой распыление металла электродов осуществляется потоком газов сжигаемой пропаново-бутановой смеси [11,12]. Авторы отмечают существенное повышение качества электрометаллизационных покрытий. Однако при этом имеет место значительное увеличение затрат на получение покрытий вследствие существенных дополнительных расходов горючего газа.

Авторами настоящей работы [13,14] с целью снижения окислительного воздействия воздушно-распыляющей струи на жидкий металл торцов электродов предложено применить импульсную подачу воздуха, путем введения дополнительного элемента в распыляющую головку дугового металлатора. В качестве дополнительного элемента разработано устройство, в котором пульсация воздушно-распыляющей струи достигается периодическим перекрытием канала сопла металлатора.

Кинематическая схема усовершенствованной распыляющей головки представлена на рисунке 1. Принцип действия следующий: на входе от магистрали воздуха $P_{\text{МОЗ}}$ в распыляющую систему металлатора, после редуктора давления 7, с помощью которого устанавливается рабочее давление, располагается пульсатор 5. При достижении рабочего давления воздуха манометр 6 включает электродвигатель 8 через муфту вращающий клапан пульсатора 5. В результате на распыляемый электродный материал 4 в зоне дуги подается пульсирующий поток воздуха.

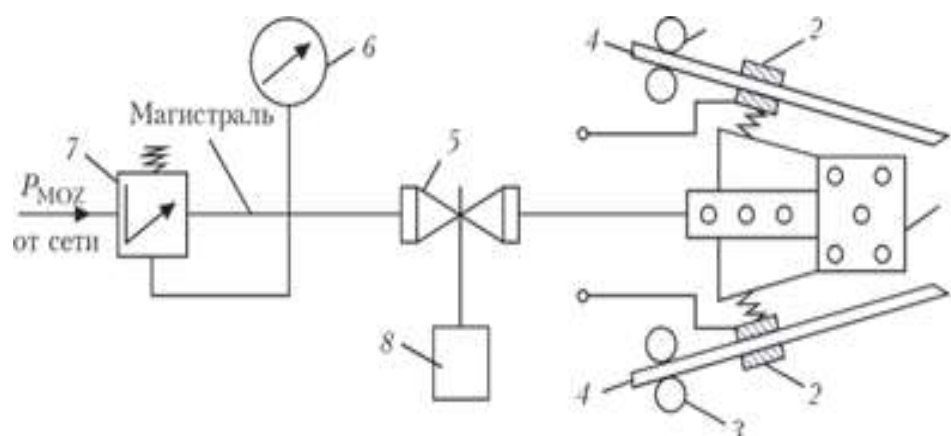


Рис. 1. Схема головки для пульсирующего распыления: 1 – распыляющее сопло; 2 – токоподводы; 3 – ролики; 4 – электродный материал; 5 – пульсатор; 6 – манометр давления; 7 – редуктор давления; 8 – электродвигатель

Работа пульсатора заключается в периодическом перекрытии вращающегося клапана канала сжатого воздуха. Форма сечения канала клапана определяет форму импульсного потока.

Пример перекрытия канала при округлой форме проходного сечения приведен на рисунке 2.



Рис. 2. Схема перекрытия канала воздушно-распыляющей струи металлатора: а – канал перекрыт на 100%; б – открыт на 25%; в – открыт на 50%; г – открыт на 75%; д – канал для распыляющего потока полностью открыт

Такая схема перекрытия обеспечивает синусоидальную форму импульса с плавным нарастанием к максимальному потоку, что не всегда соответствует поставленной задаче.

После проведения исследований рекомендовано прямоугольное сечение канала пульсатора, что позволяет получать импульсы потока прямоугольной формы, и обеспечивает некоторое время плавления электродов при полном отсутствии воздействия потока воздуха, рисунок 4.

Цель и задачи исследования. Целью работы является исследование количественных характеристик взаимодействия кислорода распыляющей струи с жидким металлом электродов, чтобы определить количество кислорода, участвующего в реакциях с легирующими элементами.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определить влияние частоты пульсаций на величину расхода воздуха при распылении;
- разработать методики исследования количественной оценки взаимодействия кислорода воздуха с распыляемым металлом электродов;
- представить методику определения массы контактирующего кислорода при распылении металлических электродов;
- определить влияние пульсирующего потока на химический состав покрытия.

Обоснование и методика исследования. Авторами настоящей работы [13,14] с целью снижения окислительного воздействия воздушно-распыляющей струи на жидкий металл торцов электродов предложено применить импульсную подачу воздуха. Однако не представлена при этом количественная оценка снижения расхода воздуха и количества кислорода распыляющей струи при взаимодействии с распыляемыми электродами.

Ниже приведено решение поставленной задачи – определение изменения расхода воздуха в зависимости от площади перекрытия сопла.

С достаточной степенью точности определяется доля потока воздуха при вращении клапана пульсатора в зависимости от изменения площади сопла [14]:

$$G_i = G \frac{F_{om}}{F_c}, \quad (2)$$

где F_{om} – площадь проходного сечения

G – расход воздуха металлатора

F_c – площадь сопла металлатора

Площадь проходного сечения сопла при вращении клапана пульсатора определяется как:

$$F_{om} = F_c - F_{nep}, \quad (3)$$

где F_{nep} – площадь перекрытия сопла металлатора.

Принимаем площадь перекрытия как часть (в %) площади сопла при вращении за один оборот от полного открытия до закрытия:

$$F_{nep} = F_c \cdot \kappa,$$

где $\kappa = 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100$ %. Уровень открытия сопла определится из выражения:

$$F_{om} = F_c - F_c \kappa = F_c (1 - \kappa). \quad (4)$$

Изменение расхода воздуха за один оборот клапана пульсатора с учетом выражения (4) составит:

$$G_i = G \frac{F_c (1 - \kappa)}{F_c} = G (1 - \kappa) \quad (5)$$

На рисунке 3 приведена зависимость изменения расхода воздуха через сопло металлатора при различной степени перекрытия сопла (для оптимального расхода $2 \text{ м}^3/\text{мин}$)

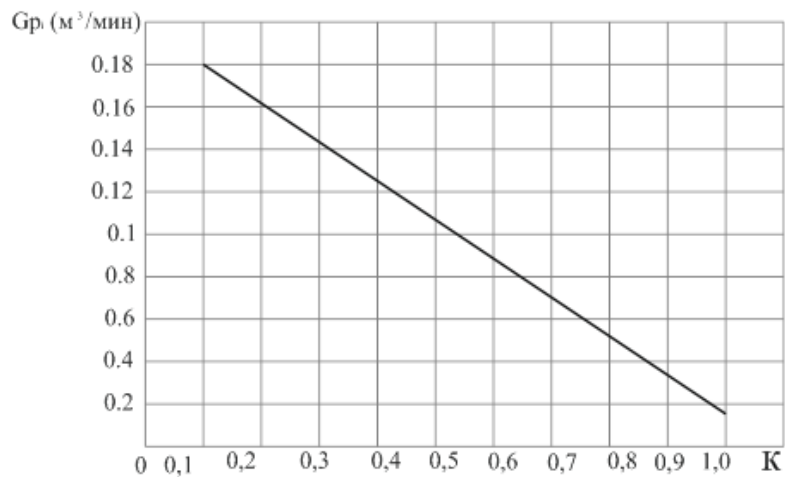


Рис. 3. Характер изменения расхода воздуха через сопло металлатора в зависимости от степени перекрытия проходного сечения

При полном перекрытии проходного сечения распыляющий поток воздуха практически отсутствует.

Далее определяем изменение расхода воздуха при перекрытиях канала сопла металлатора с частотой n об/сек. Полный поворот клапана пульсатора – цикл t состоит из времени перекрытия $t_{пер}$ и времени открытия $t_{от}$

$$t = t_{пер} + t_{от}.$$

Проводились исследования формы импульсов динамического напора струи в зависимости от площади проходного сечения канала сопла металлатора [14]. Экспериментальные замеры формы импульсов и динамического напора в зависимости от частоты вращения клапана пульсатора осуществляли методом воздействия распыляющей струи на металлическую пластину, на которой установлен тензодатчик. Сигналы с тензодатчика регистрировались с помощью осциллографа.

Из приведенных осциллограмм, рисунок 4, 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 синусоидальную форму плавно возрастающую и с ниспадающим напором. (рисунок 4, а, б). При использовании прямоугольного сечения проходного канала имеет место возрастание и падение напора струи, синусоидальность практически отсутствует. Общим для округлой и прямоугольной форм перекрытия (рисунок 4. в, г) является наличие паузы в распылении, необходимом для образования жидкого металла на торце электродов.

В дальнейшем в работе проводились исследования с прямоугольной формой импульсов

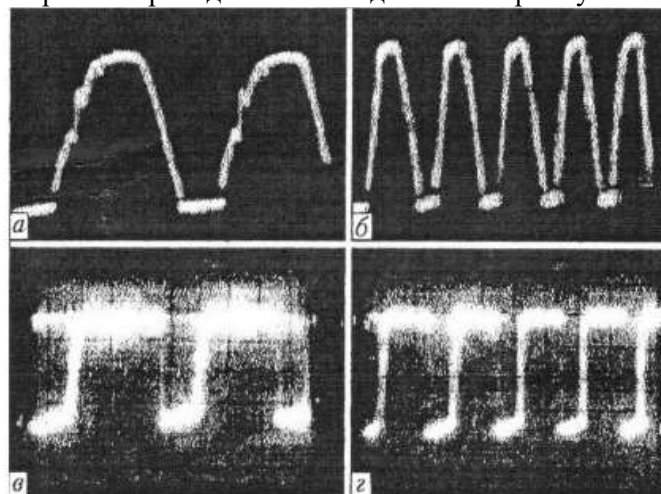


Рис. 4. Изменение динамического напора струи в зависимости от применяемого проходного сечения сопла, частота пульсации 30 (а), 65 (б) – круглое сечение, 40(в), 75 (г) Гц – прямоугольное сечение клапана пульсатора

Из осциллограмм не трудно усмотреть, что время открытия сопла значительно больше времени на перекрытие $t_{от} \geq t_{пер}$, на основе анализа осциллограмм принимаем с достаточной степенью точности:

$$t_{от} = p \cdot t, \quad (6)$$

где t – полное время цикла, сек

p – период открытия канала пульсатора из общего цикла (по данным рисунка 4, $p = 70-80\%$). Тогда при частоте n за время T при расходе G объем воздуха составит:

$$V_g^n = G \cdot p \cdot T. \quad (7)$$

Подставим вместо G_i его значение через общий расход G в зависимости от положения пульсатора с учетом формулы (5):

$$V_g^n = G \cdot p \cdot (1 - \kappa) \frac{T}{n}, \quad (8)$$

где G – общий расход воздуха, м³/мин

p – период открытия канала пульсатора из общего цикла, %

n – частота пульсаций, 1/сек

κ – уровень открытия канала пульсатора, %

Характер изменения объема воздуха, проходящего через сопло в зависимости от частоты пульсаций для значений $p=80\%$ при различных положениях пульсатора приведен на рисунке 5, по расчетным данным.

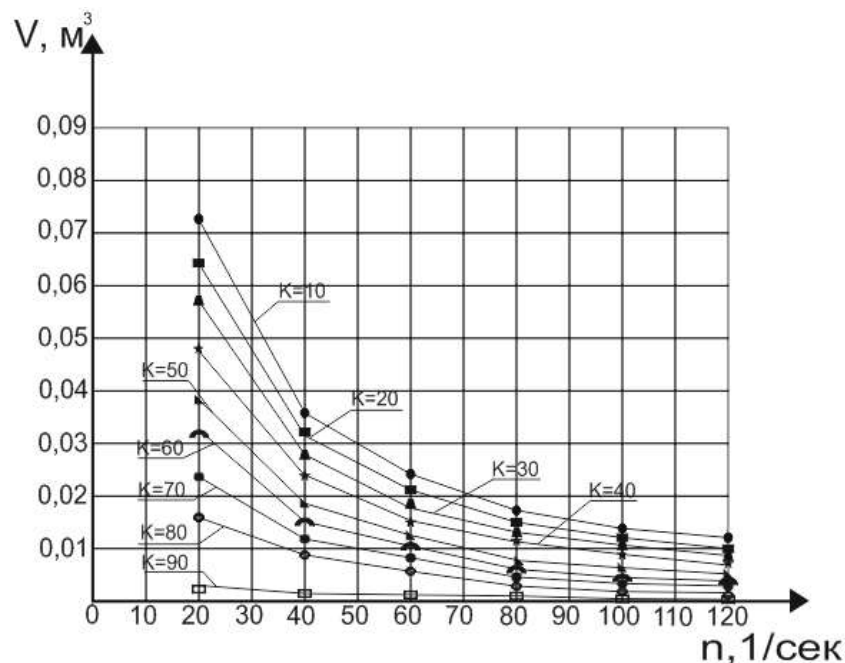


Рис. 5. Влияние частоты импульсов на объем воздуха проходящего через сопло для значений $p=80\%$, $\kappa=0,1-0,9$ в течение 60 сек.

Из рисунка 5 не трудно усмотреть, что объем распыляющего воздуха значительно снижается в зависимости от повышающейся частоты пульсаций и степени перекрытия сопла металлизатора пульсатором.

При электродуговом напылении химический состав покрытия определяется воздействием кислорода воздуха на распыляемый материал. Определяем количество кислорода в распыляющей струе при одном повороте клапана пульсатора с учетом приведенных выше уравнений для расхода воздуха 2 м³/мин

$$m_{ni} = V_i \cdot a_{o_2} \cdot \gamma_{o_2}, \quad (9)$$

где α_{O_2} – объемный процент содержания кислорода в воздухе (принимаяем 21%);

γ_{O_2} – удельный вес газа кислорода при температуре 20⁰С и давлении 760 мм. рт. ст., 1,3 г/см³

С учетом выражений (8) масса кислорода из общего потока, для различных положений клапана пульсатора (k) определяется из уравнения:

$$m_{ki} = \frac{G \cdot p \cdot T \cdot (1 - k)}{n} \alpha_{O_2} \gamma_{O_2} \quad (10)$$

Результаты расчетов массы кислорода в распыляющем потоке приведены на рисунке 6.

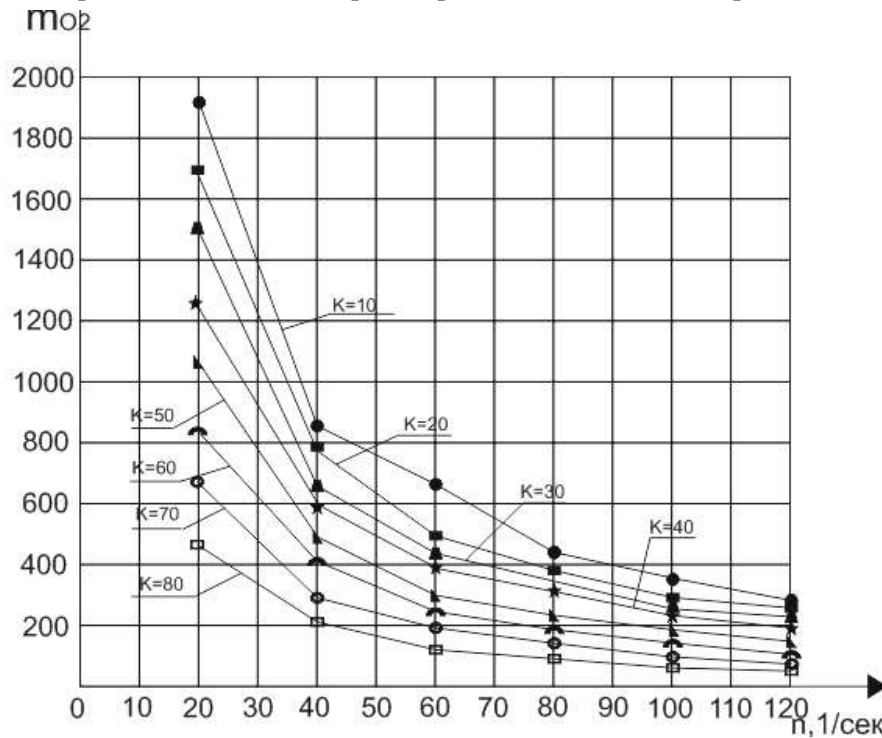


Рис. 6. Влияние частоты импульсов пульсатора на величину массы кислорода воздуха, проходящего через сопло (для значений $p=80\%$, $k=0,1-0,9$ в течение 60 сек.)

Из рисунков 5 и 6 не трудно усмотреть, что объем воздуха и масса кислорода распыляющей струи снижается с ростом частоты пульсаций в несколько раз. Интенсивность уменьшается также в зависимости от степени перекрытия канал сопла. Аналогичный характер наблюдается при определении массы кислорода в распыляющем потоке, истекающем из сопла металлатора. Приведенные аналитические зависимости позволяют рассчитать объем воздуха и массу кислорода в струе, распыляющей электродный металл. На основании полученных результатов, ниже приводятся расчеты для определения массы кислорода из распыляющей струи, приходящейся на распыляемый металл.

Обсуждение результатов исследования.

Для практического применения представленных ранее расчетов важным является установить массу кислорода, приходящуюся на распыление определенной массы распыляемых электродов.

Определим массу кислорода воздуха при пульсирующей подаче при распылении определенного количества металла за время t . Величину t определяем из расчета распыления 10 см электродов при различной скорости подачи

$$T = \frac{l}{v_{эл}}, \quad (11)$$

где l – длина распыляемого электрода (принимаяем 10см);

$v_{эл}$ – скорость подачи распыляемого электрода (6-10 см/сек; 3,8-4,2м/ч)

На основании проведенных исследований, и приведенных ранее данных, определяем массу кислорода (m_{O_2}) при распылении электрода из стали 10Г2С длиной $l = 10$ см, диаметром $d_{эл} = 2,0$ мм при скорости подачи электродов $v_{под} = 3,8$ м/мин, (6,3 см/сек), расходе воздуха 2 м³/мин, по данным [9] для сопла диаметром 6 мм, плотности воздуха $\gamma_{O_2} = 1,3$ кг/м³ и объемного содержания кислорода в потоке воздуха $a_{O_2} = 21\%$);

Масса кислорода для пульсирующей распыляющей струи определяется из уравнения (10) с учетом выражения (11) при распылении электродов и представляется в виде:

$$m_{п O_2} = \frac{G \cdot p \cdot l_2}{n \cdot V_{под}} (1 - \kappa) \gamma_{O_2} a_{O_2}, \quad (12)$$

Данное выражение позволяет определить массу кислорода в распыляющем потоке при электродовом распылении электродов с известными параметрами и режимом распыления для различных положений клапана пульсатора, т.е. степени перекрытия канала сопла.

С учетом уравнения 12 и приведенных выше данных при распылении электродов построена номограмма зависимости массы кислорода в потоке при распылении электродов, оптимальной скорости подачи и представленных выше параметров, рисунок 7

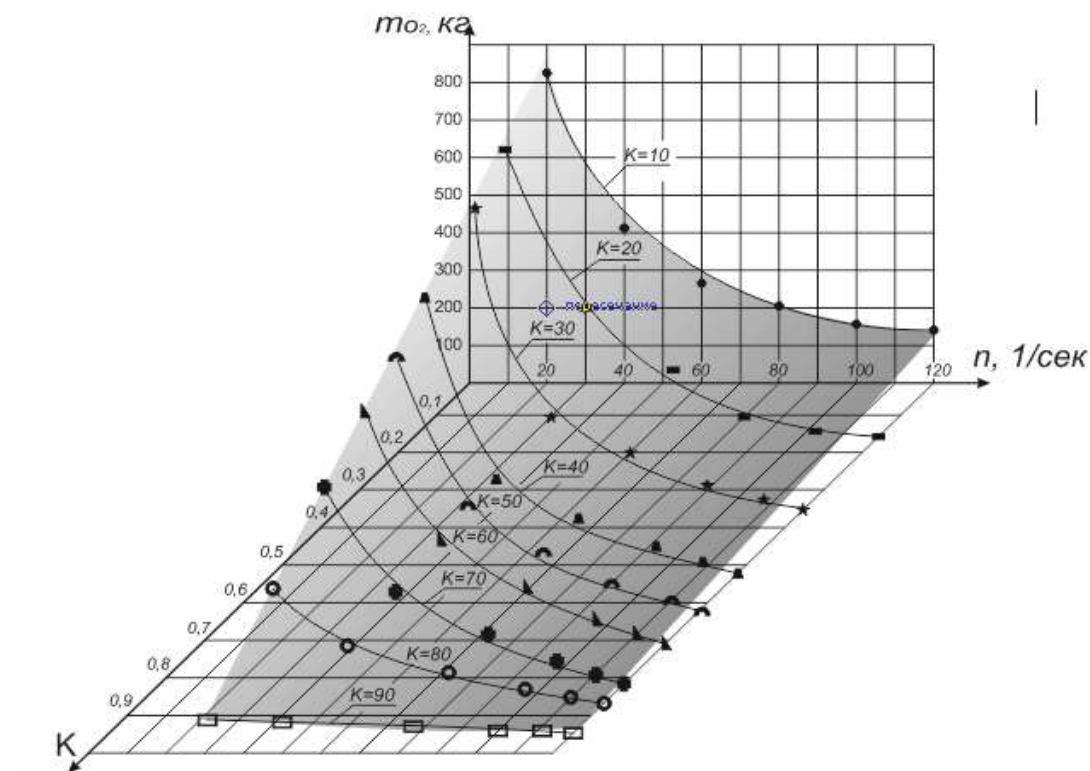


Рис. 7. Номограмма для определения массы кислорода в распыляющем потоке в зависимости от κ -степени перекрытия сопла, n – частота пульсаций, для проволоки диаметром 2 мм и длиной 100 мм, при скорости подачи 3 м/мин, и время 10 сек.

Из номограммы не трудно усмотреть, что с ростом частоты пульсаций и степени перекрытия канала сопла масса кислорода, взаимодействующего с электродами, значительно снижается.

Для исследования влияния пульсирующей струи на химический состав покрытий использовали проволоки диаметром 2 мм Св-08А, порошковую проволоку ПП-ММ-2, 12Х18Н10Т. Влияние частоты пульсаций воздушно-распыляющей струи на химический состав покрытий представлено на рисунке 8.

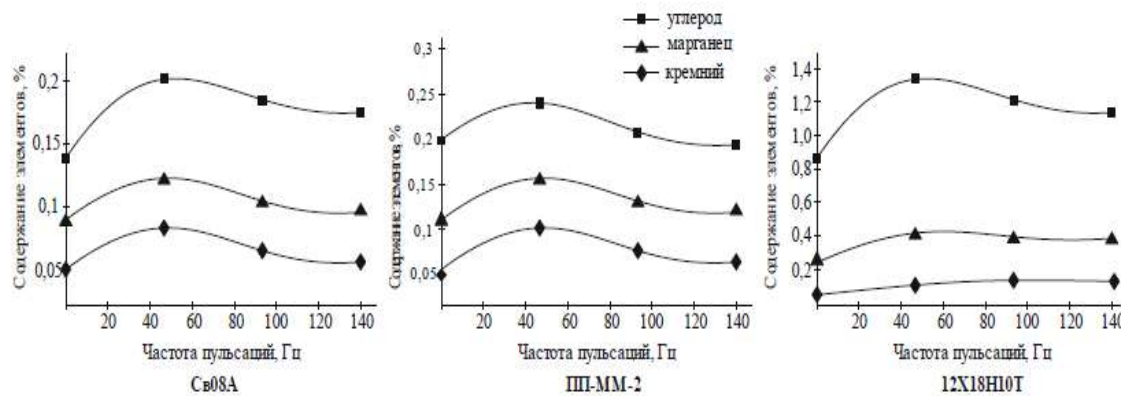


Рис. 8. Влияние частоты пульсаций распыляющей воздушной струи на химический состав покрытий для различных проволок: а – проволока Св-08А; б – порошковая проволока ПП-ММ-2; в – проволока 12Х18Н10Т

Представленные графики показывают, что при использовании пульсирующей воздушно-распыляющей струи имеет место увеличение содержания легирующих элементов в покрытии. Так, при частоте пульсаций 43 Гц содержание углерода возрастает на 38 %, марганца на 46 %, кремния на 42 % для проволоки Св-08А (рисунок 8, а) по сравнению с напыленным покрытием без пульсаций. Аналогичное увеличение содержания элементов наблюдается в напыленных покрытиях при использовании проволок ПП-ММ-2 и 12Х18Н10Т (рис. 8. б, в). Оптимальной частотой пульсаций можно считать диапазон 40 – 60 Гц, наблюдается минимальное окисление элементов. При увеличении частоты более 80 Гц, наблюдается некоторое увеличение потерь, т.к. увеличивается время взаимодействия жидкого металла с кислородом воздушно-распыляющей струи.

Выводы.

1. Представлен принцип снижения окислительного воздействия на металл распыляемых электродов с применением пульсирующей подачи воздушного распыляющего потока при электродуговой металлизации за счет введения дополнительного элемента в распыляющую головку металлизатора.

2. Применение пульсирующего распыляющего потока позволяет снизить расход воздуха на 35-40% и затраты энергии на его производство соответственно.

3. Предложено и обосновано определение расхода распыляющего воздуха при использовании импульсной подачи, представлены аналитические зависимости для определения расхода воздуха при пульсирующей подаче в зону дуги.

4. Предложено учитывать часть из расхода воздуха пульсирующей струи электрод при распылении, представлена схема расчета и определения массы кислорода воздуха из потока при распылении участка электродов для определенной скорости подачи.

5. Установлена оптимальная частота пульсаций воздушного потока, которая составляет 40-80 Гц. и обеспечивает значительное снижение окислительного воздействия на металл распыляемых электродов и обеспечивает повышение легирующих элементов в покрытии – 40-80 Гц.

6. Применение пульсирующей распыляющей струи при электродуговом напылении позволяет улучшить химический состав покрытия, например, количество углерода, кремния, марганца. Для проволоки Св-08А содержание углерода увеличивается на 38%, при пульсации 43 Гц. Аналогичное увеличение содержания элементов имеет место при напылении покрытий из порошковых проволок и нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики, пластмасс/ Э. Кречмар – перевод с немецкого Стрельцовой Е.М, Мецкевича Д.П. - М.: «Машиностроение», 1956. — 432 с.
2. Катц Н.В. Металлизация распылением М.: «Машиностроение», 1966. — 200 с.
3. А.Хасуи, О.Моригаки. Наплавка и напыление. - М.: Машиностроение, 1985. - 240с.
4. Митин Б.С. порошковая металлургия и напыленные покрытия/ Б.С. Митин М.: Машиностроение, 1987. 791с.
5. Вахалин В.А. / Процессы плавления и распыления материалов при электродуговой металлизации/ В.А. Вахалин, С.Б.Масленников, Кудинов.// Физика и химия обработки материалов. №3.1981, с.58-63.

6. А.с. 1787049 СССР, МКИ В 05 В 7/22. распыляющая металлизационная головка / В.А. Роянов, Г.А. Мосиенко, В.П. Семенов, В.Я. Лавренов. – № 990322; Заявл.22.11.89; Опубл. 07.01.93, бюл. № 1.
7. А.с. 1727923 СССР, МКИ В 05 В 7/22. Устройство для электродуговой металлизации / Ю.С. Борисов, А.Г. Ильенко, Е.А. Астахов, А.Л. Гайдаренко. – №1329835; Заявл.26.06.89; Опубл. 23.04.92, бюл. № 15.
8. Тер-Даниэлян Б. И., Красниченко Л. В.новая распылительная головка электродугового металлизатора // свароч. пр-во. – 1983 – №12. с. 30–32.
9. Роянов В.А, Войцеховский Е.В. Некоторые газодинамические и технологические характеристики воздушно-распыляющих сопел электрометаллизационных аппаратов/Е.В.Войцеховский, В.А.Роянов. – Сварочное производство. №12. 1977. С.18-19
10. Кравченко Л.В. Новая распылительная головка электродугового металлизатора/ Л.В.Кравченко //Сварочное производство -1983. -№12. -с.30-32
11. Коробов Ю.С. Структура и свойства стальных покрытий, нанесенных методом активированной дуговой металлизации /Ю.С. Коробов, А.М. Полякова И.Л. Яковлева//Сварочное производство №1. -1997. -с.4-7.
12. Коробов Ю.С. Расчет параметров движения нагрева и окисления частиц при электродуговой металлизации /Ю.С. Коробов, В.Н. Бороненко//Сварочное производство №3. -1998. - с.9-13
13. Роянов В.А., Бобиков В.И. Патент на корисну модель №95050 МПК /2014.01/B23К 9/00 Розпилююча головка для електродугової металізації. Опубл.10.12.2014. Бюл. №23.
14. Роянов В.А. Устройство для электродуговой металлизации с пульсирующим режимом истечения воздушно-распыляющей струи /В.А. Роянов, В.И. Бобиков //Сварочное производство №4,2015 с.12-15
15. Роянов В.А., Исследование влияния пульсирующего потока на массоперенос металла при электродуговом напылении // В.А Роянов, В.И. Бобиков, И.В Захарова. ISSN2219-7869.НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК ДГМА.№3(18E), 2015.242
16. V. Royanov, I.Zakharova, E. Lavrova. Development of properties of spray flow and nature of pressure distribution in electric arc metalization // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/5 (90) 2017, - С.41-49.