

**Влияние аэрозольного флюсования на улучшение физико
– механических свойств покрытий при электродуговой
металлизации**

В.И. Денисов, Н.Н. Литовченко, Д.В. Доронин, А.А. Толкачев
s10gosniti@mail.ru

Аннотация. *Актуальные вопросы электродуговой металлизации – методы снижения содержания оксидов диспергированного металла в многофазном потоке, мероприятия по предотвращению интенсивного выгорания из металла легирующих элементов. В статье содержатся ответы на поставленные вопросы.*

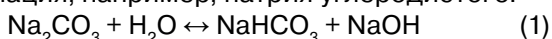
Ключевые слова: *адгезионно-когезионная прочность покрытия, аэрозольное флюсование, термодиссоциация вещества, металлокарботермический процесс, легирование.*

ЭДМ является наиболее производительным методом нанесения металлопокрытий, что обусловлено высокими значениями энергии воздушного потока и электрической дуги, что в свою очередь сопровождается интенсивным выгоранием из металла некоторых легирующих элементов и окислению металлов в покрытии. Кроме того, у серийно выпускаемых отечественных аппаратов для металлизации – широкий факел распыла струи, вследствие чего средний коэффициент использования материала не превышает 0,5 – 0,6, а плотность покрытия на периферии пятна распыла уменьшается. Всё это приводит к снижению адгезионно – когезионных и износостойких качеств покрытия, что препятствует получению более эффективных результатов восстановления высоконагруженных деталей, таких как коленчатых валов дизельных двигателей.

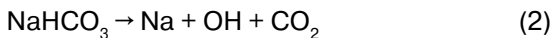
Несмотря на обширный объем выполненных исследований по ЭДМ, извечные её проблемы – скорость и окисление диспергированного металла в гетерофазном потоке, остаются до конца нерешенными. Что касается скорости, то эта проблема на данное время в основном решена за рубежом и в России. Например, в ГОСНИТИ разработан новый сверхзвуковой металлизатор ЭДМ – 13ШД с обжатием факела распыла. Но проблема, связанная с окислением металла, остается нерешенной за небольшим исключением: в металлизаторе ГОСНИТИ ЭДМ – 6ГД для диспергирования расплавленного металла используется не чистый воздух, а его смесь с продуктами сгорания углеводородного топлива. Но практическое его применение связано с определенными трудностями из-за сложности конструкции металлизатора и высоких требований к технике безопасности. Для решения, в возможных пределах, проблемы снижения отрицательного влияния окисления в ГОСНИТИ выполняются исследования и модернизация металлизатора в направлении использования металлокарботермических процессов. Разработан метод аэрозольного флюсования при электродуговой металлизации (АФЭДМ).

Сущность аэрозольного флюсования заключается в том, что в факел диспергированного металла при ЭДМ вводят аэрозоль, представляющую собой водный раствор различных неорганических веществ. [1]

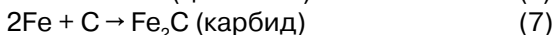
При растворении веществ в воде происходит их предварительная диссоциация, например, натрия углеродистого:



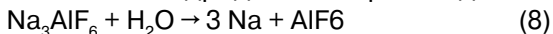
Попадая в зону высокой температуры электрической дуги и факела диспергированного металла, предварительно диссоциированный карбонат натрия подвергается термической диссоциации:



Далее, контактируя с расплавленным железом, образуются твердые фазы:



Таким образом, в процессе АФ происходит карботермический процесс раскисления железа и его упрочнение. При АФ используются и другие составы веществ для получения аналогичного эффекта, например, при растворении алюмогидрида лития происходит его диссоциация:

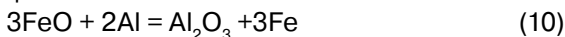


Далее происходит термодиссоциация:



Металлотермия протекает с выделением теплоты по причине экзотермической реакции раскисления оксида железа алюминием с выделением около 200 ккал тепла.

Как протекает алюмотермический процесс представлено следующей реакцией:



Известно, что температура в контакте частицы расплавленного металла [3] при её соударении с подложкой (T) характеризует энергетическое состояние атомов:

$$T = f^*(T_n, T_k, E_k, E_r), \text{ где} \quad (11)$$

T_n – температура подложки;

T_k – температура капли металла;

E_k – кинетическая энергия капли металла;

E_r – кинетическая энергия гетерофазного потока.

Поэтому для получения большой прочности сцепления покрытия с подложкой, как и частиц в покрытии, необходимо увеличить T и E . Это подтверждается работами В.В. Кудинова по исследованию взаимодействия с подложкой отдельной частицы, из которых следует, что прочность сцепления в основном можно повышать путем увеличения температуры контакта T и скорости V частиц (E). [2]

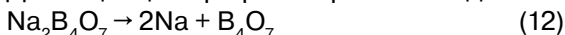
При использовании алюмотермического эффекта, то есть реакции раскисления FeO алюминием, повышается адгезия покрытия за счет увеличения температуры контакта T . [3]

Раскисление железа, сопутствующее повышению адгезионно – когезионной прочности металлопокрытия – это первая решаемая задача с помощью аэрозольного флюсования. Второе назначение метода АФ – легирование металлизированного слоя с целью увеличения его прочности, твердости и износостойкости.

Это достигается применением дополнительно веществ для приготовления аэрозоли, содержащих бор, азот, хром.

Процесс протекает аналогично приведенным выше реакциям. Для этого используются вещества, растворимые в воде, например, бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), борная кислота (H_3BO_3), карбамид (NH_2CON_2), нитрат хрома ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), карбонат ($\text{N}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) и др.

Диссоциация при растворении в воде:



Термодиссоциация:



Борид железа – высокопрочная фаза:



Гидродиссоциация:
 $H_3BO_3 \rightarrow H_3 + BO_3$ (15)

Термодиссоциация:
 $BO_3 \rightarrow B + 3O$ (15)

Борид железа:
 $2B + Fe = FeB_2$ (16)

Гидродиссоциация:
 $NH_2CON_2 \rightarrow NH_2 + CON_2$ (17)

Термодиссоциация:
 $NH_2 \rightarrow N + 2H$ (18)

Термодиссоциация:
 $CON_2 \rightarrow 2N + CO$ (19)

Нитрид железа – твердая фаза:
 $N + 4Fe = Fe_4N$ (20)

Карботермия
 $FeO + CO = Fe + CO_2$ (21)

Гидродиссоциация:
 $Cr(NO_3)_3 \rightarrow Cr + 3(NO_3)$ (22)

Термодиссоциация:
 $(NO_3) \rightarrow N + O_2 + O$ (23)

Нитрид железа – твердая фаза:
 $N + 4Fe = Fe_4N$ (24)

Гидродиссоциация:
 $N_2CO_3 \rightarrow N_2 + CO_3$ (25)

Нитрид железа – твердая фаза:
 $8Fe + N_2 = 2Fe_4N$ (26)

Термодиссоциация:
 $CO_3 \rightarrow CO_2 + O$ (27)

Выполненные экспериментальные исследования по АФ подтвердили теоретические выводы о металлокарботермическом раскислении диспергированного расплавленного железа, улучшении физико – механических свойств металлизационного покрытия за счет легирования.

Для экспериментальных исследований по АФ использовался гидро-диспергатор, показанный на рис.1. На рис.2 представлен работающий металлизатор с гидродиспергатором.

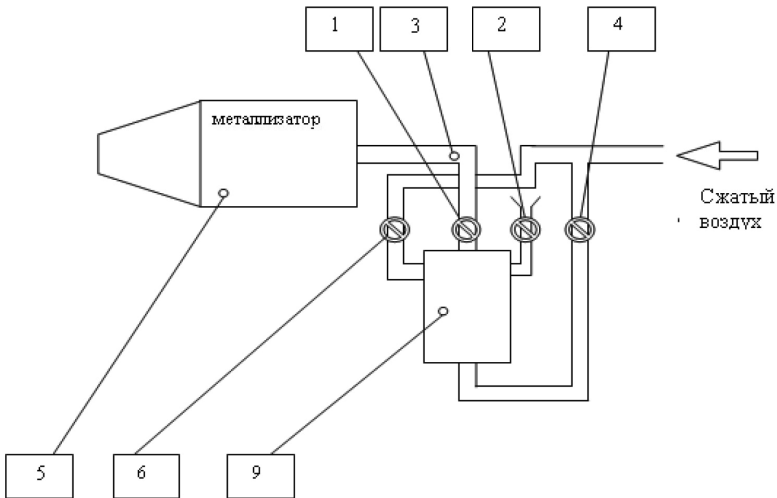


Рисунок 1- электродуговой металлизатор с аэрозольным флюсователем 5 – металлизатор; 9 – гидродиспергатор; 1,4,6 – регуляторы концентрации аэрозоля;

2- патрубок подачи воды.



Рисунок 2- электродуговой металлатор в работе с гидродиспергатором для АФ.
1 – гидродиспергатор; 2 – металлатор; 3 – фильтр для очистки сжатого воздуха.

Гидродиспергатор представляет собой стальной цилиндр, в котором с помощью сжатого воздуха диспергируется (измельчается до туманного состояния) водный раствор флюса. В этом виде, как показано на рис.1, гетерофазный поток направляется в электрическую дугу металлатора, где и происходит термодиссоциация раствора и другие фазовые превращения.

Для исследования АФ были использованы флюсы, содержащие вещества, указанные выше. Их концентрация в воде – 20-60 г/л.

Максимальная адгезионно – когезионная прочность ЭМ – покрытия получается в результате металлотермического воздействия флюса, содержащего гидрид лития (LiAlH_4) – 5,5-5,7 кгс/мм², что на 50% выше прочности покрытия, нанесенного без АФ.

Микротвердость также зависит от состава флюса. Наличие во флюсе бора, азота, углерода, содержащихся в веществах $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, $\text{C}(\text{NO}_3)_3$ обеспечивает максимальную микротвердость 700 – 850 HV при использовании присадочного материала 50ХФА в металлаторе.

Выводы

Для реального улучшения физико – механических свойств ЭМ – покрытий целесообразно использовать метод аэрозольного флюсования, применяя химические соединения, содержащие бор, азот, алюминий, углерод и другие легирующие компоненты, растворимые в воде.

Наличие алюминия и углерода в аэрозоле необходимо для металлотермических процессов раскисления железа, что обеспечивает повышение адгезионно – когезионной прочности, микротвердости и снижения пористости ЭМ – покрытия.

В процессе экспериментальных исследований получены следующие результаты повышения качества металлационных покрытий: адгезионно – когезионная прочность в среднем на 50%, микротвердость в 2 раза, снижение пористости в 1,5 раза, сравнительная износостойкость выше на 10%.

Ожидаемый годовой экономический эффект на примере использования металлации с аэрозольным флюсованием коленчатых валов двигателя КАМАЗ – 740 на Автоцентре КАМАЗ в Набережных Челнах – 4579тыс. руб.

Литература

Литовченко Н.Н., Шевченко В.П.. Авторское свидетельство №1183562, 1985.

Кудинов В.В. и другие. Влияние перегрева напыляемых частиц и окисных пленок на поверхности металлических подложек на тепловые процессы между частицами и подложкой при напылении. «Физика и химия обработки материалов» №6, 1979.

Лялякин В.П., Литовченко Н.Н., Саблуков А.С., Денисов В.И., Саковцева В.Н.. Физическая сущность и условия сцепления частиц металлического порошка с подложкой при газодинамическом напылении. «Технология металлов» №5, 2006.

«Influence of aerosol fluxing to improve physical - mechanical properties of coatings with arc spraying.»

V.I. Denisov, N.N. Litovchenko, D.V. Doronin, A.A. Tolkachov
s10gosniti@mail.ru

Annotation. *Topical issues arc spraying - methods to reduce the content of dispersed metal oxides in the multiphase flow, measures to prevent the intense burning of metal alloying elements. The article contained the answers to these questions.*

Keywords: *adhesive-cohesive strength of the coating, spray-fluxing, thermoisotropy substances metallokarbotermichesky process doping.*

References

1. Litovchenko NN, Shevchenko VP .. Copyright certificate №1183562, 1985.

2. Kudinov VV and others. Effect of overheating of the spray particles and the oxide films on the surface of metal substrates by thermal processes between the particles and the substrate during deposition. «Physics and Chemistry of Materials Processing» №6, 1979.

3. Lyalyakin VP, Litovchenko NN, Sablukov AS, VI Denisov, VN Sakovtseva .. Physical nature and conditions of the clutch particles of metal powder to a substrate with gas-dynamic spraying. «Metal Technology» №5, 2006.