

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ СВАРОЧНОГО АЭРОЗОЛЯ ПРИ СВАРКЕ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

И.С. Борисов, С.А. Романов, студенты ЮТИ ТПУ группы 10600

*Научный руководитель: Гришагин В.М., к.т.н., доцент, зав. кафедрой БЖДЭ и ФВ.
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 62401.
E-mail: grishagin.v_@list.ru*

Введение

В настоящее время практически во всех отраслях промышленности получили широкое развитие электрошлаковая, контактная, электроннолучевая, плазменная и другие виды сварки. В воздушной среде производственных помещений при данных способах обработки металлов появляется сварочный аэрозоль (СА). СА представляет собой совокупность мельчайших частиц, образовавшихся в результате конденсации паров расплавленного металла, обмазки электродов, содержимого порошковой проволоки или флюсов. Его состав зависит от компонентов сварочных и свариваемых материалов. В основном СА состоит из железа и его оксидов, а также марганца, хрома, никеля, алюминия, меди, цинка, фтора, кремния, азота и др.

Дуговые сварочные процессы по сути протекают в реакторах открытого типа (рис. 1), где под воздействием высоких температур и инфракрасного излучения интенсивно испаряются компоненты покрытий, флюсов и металлы, которые, окисляясь и конденсируясь за пределами сварочной дуги, образуют субмикронные аэродисперсные частицы.

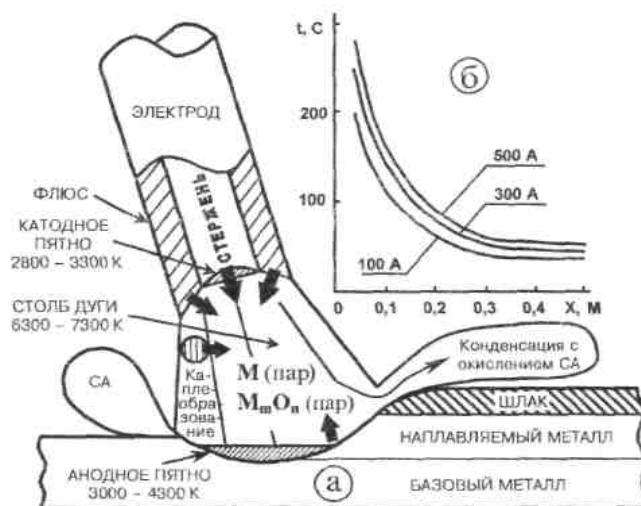


Рис. 1. Механизм образования СА: а – принципиальная схема теплообмена; б – радиальное изменение температуры

Известно, что химический состав ТССА на 80 – 90 % обусловлен содержимым сварочного электрода [1]. При сварке покрытыми электродами испаряется 1 –3 % электродного материала [2]. Скорость испарения расплава и состав СА определяются режимом проведения и техникой сварки, составом покрытия электрода, основного и присадочного металлов. При сварке в основном расплавляются не чистые металлы, а сплавы, тогда пар будет представлять смесь газообразных составляющих сплава.

В работах М. Кобаяши и др. [3, 4] сделан вывод о том, что СА получается главным образом вследствие испарения материалов электрода (покрытия и стержня) в зоне дугового разряда на стадии капли, а расплав на стадии ванны играет значительно меньшую роль. Образующийся пар под воздействием давления дуги и плазменных потоков перемещается в окружающее пространство с более низкой температурой, где и конденсируется.

В работах Р. Хейла и Д. Хилла [5] описывается возможность существования двух механизмов образования СА. По первому механизму, компоненты электродного и основного металлов плавятся и испаряются, а получившиеся пары конденсируются на выходе их из высокотемпературной зоны

столба дуги и окисляются. Второй механизм заключается в образовании под действием кислорода летучих оксидов на поверхности расплавленного электрода.

Методика проведения исследований

В данной статье для определения состава и концентрации сварочного аэрозоля были выбраны стали 30ХГСА, 14ХГ2АСД и 14Г2АС и сварочная проволока Св-08Г2С и Св-08ГСМТ, как наиболее часто применяемые для сварки горно-шахтного оборудования. Нами были определены массовые концентрации трех элементов (Fe, Mn, Si), входящих в состав ТССА, при сварке заданными проволоками и интенсивность выделения данных элементов в процессе сварки.

$$C_i^a = \alpha_i C_i^P + (1 - \alpha_i) C_i^n, \quad (1)$$

где C_i^a - концентрация i-го элемента в ТССА,

C_i^P - концентрация i-го элемента в расплаве (в составе проволоки),

C_i^n - концентрация i-го элемента в насыщенном паре над расплавом,

α_i - коэффициент неравновесного образования аэрозоля, характеризующий долю нефракционной составляющей при формировании состава ТССА [2].

Согласно [6,7] концентрация элементов в насыщенном паре над расплавом может быть получена из соотношений давления паров при определенной температуре расплава. Мольный состав насыщенного пара определяется из соотношения

$$M_i^n = P_i^{om} \cdot [M]_i / (\sum_i P_i^{om} \cdot [M]_i), \quad (2)$$

где $P_i^{om} = P_i^y / P_{Fe}^y$, относительное давление пара i-го элемента, рассматривается как отношение давления пара заданного элемента над расплавом этого элемента к давлению пара железа над расплавом железа,

$[M]_i$ - концентрация элемента в расплаве (в проволоке).

Давление пара определяли из соотношения Клаузиуса – Клапейрона

$$P_i^y = \exp\left(-\frac{\Delta H_i}{RT} + C_i\right), \quad (3)$$

где $\Delta H_i, C_i$ - теплота испарения элемента и постоянная интегрирования, соответственно, которые берутся из табличных данных, либо определяются из данных о давлении паров элементов при заданной температуре.

Молярная концентрация переводится в массовую согласно уравнению

$$C_i^n = M_i^n \cdot A_i / (\sum_i M_i^n \cdot A_i), \quad (4)$$

где A_i - атомная масса заданного элемента.

Полученные коэффициенты для проволоки Св-08Г2С и концентрация элементов в ТССА из работы [1], а также, рассчитанная нами концентрация элементов в насыщенном паре при равновесном испарении для мощности 13 кВт приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчетов

Элемент	Mo	Ni	Cr	Mn	Si	Fe
$C_i^n, \%$	0	12,72	0,13	23,83	5,47	57,85
$C_i^a, \%$	-	-	-	15,66	7,54	76,78
α_i	-	-	-	1,82	13,31	1,1

Результаты исследований

Результаты вычисления состава ТССА и интенсивности выделения для трех металлов (Mn, Si, Fe) приведены на рисунках 2-7.

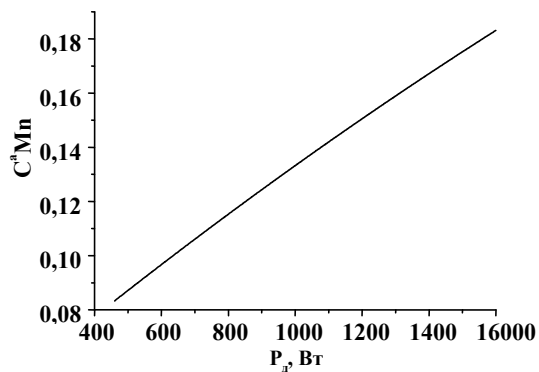


Рис. 2. Концентрация марганца в ТССА от мощности дуги

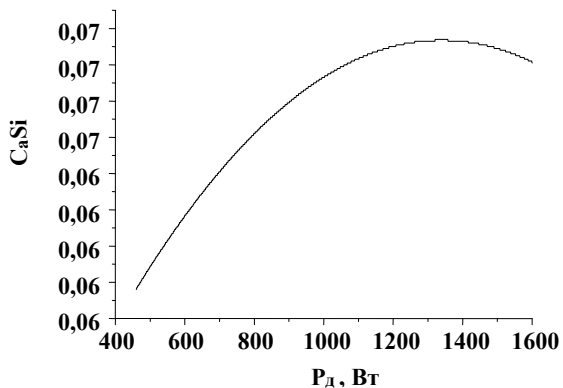


Рис. 3. Концентрация кремния в ТССА от мощности дуги

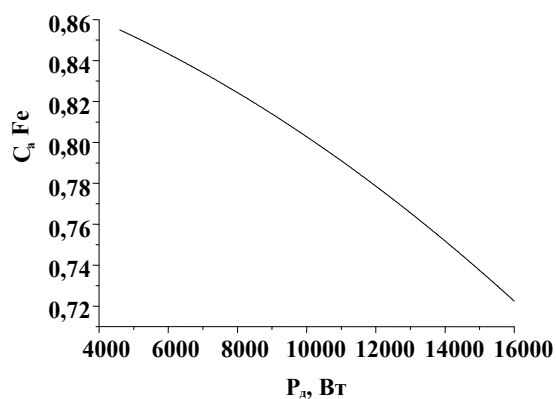


Рис. 4. Концентрация железа в ТССА от мощности дуги

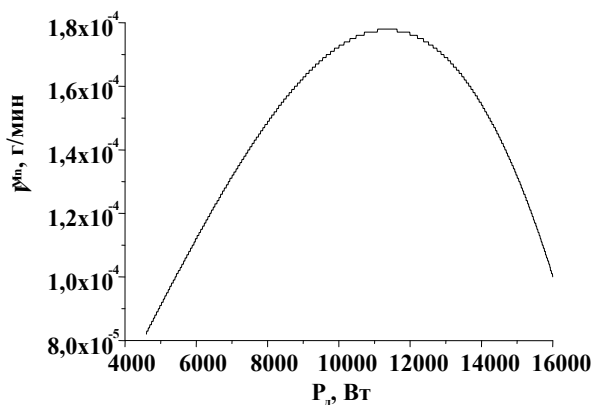


Рис. 5. Интенсивность выделения марганца в ТССА от мощности дуги

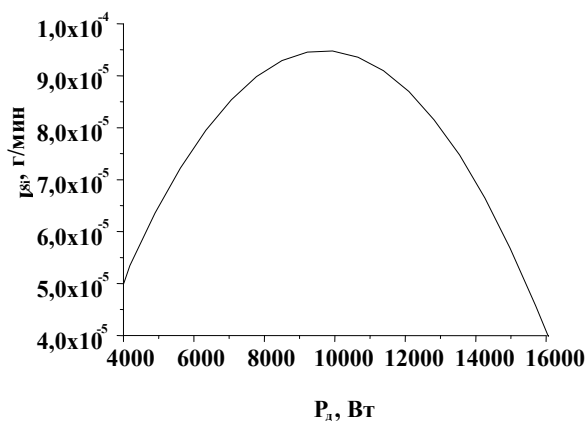


Рис. 6. Интенсивность выделения кремния в ТССА от мощности дуги

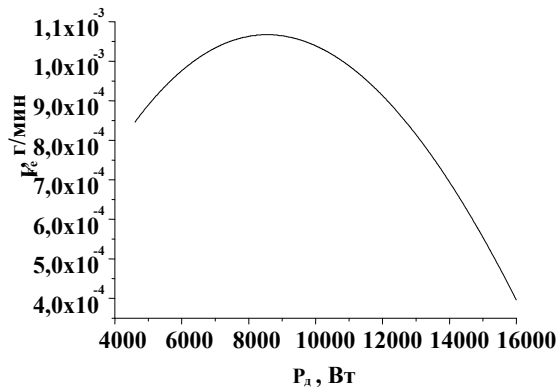


Рис. 7.

Выводы

Таким образом, приведённые результаты свидетельствуют о том, что интенсивность выделения марганца, железа и кремния в ТССА, при сварке рассмотренных сталей применяемых для изготовления горно-шахтного оборудования, максимальна при мощности дуги в интервале от 8000 до 12000 Вт, что позволяет дать рекомендации о выборе режима сварки.

Данные результаты положат начало разработке сложной модели формирования сварочного аэрозоля, позволяющей учесть способ сварки, её режим и внешние условия.

Решающее влияние на скорость остывания паров металлов, следовательно, на распределение частиц по величине в СА, выделяемом при сварке, имеет распределение температуры и скорость потока в дуге [9]. Распределение температуры в дуге при сварке в среде защитных газов показано в виде примера на рис. 8.

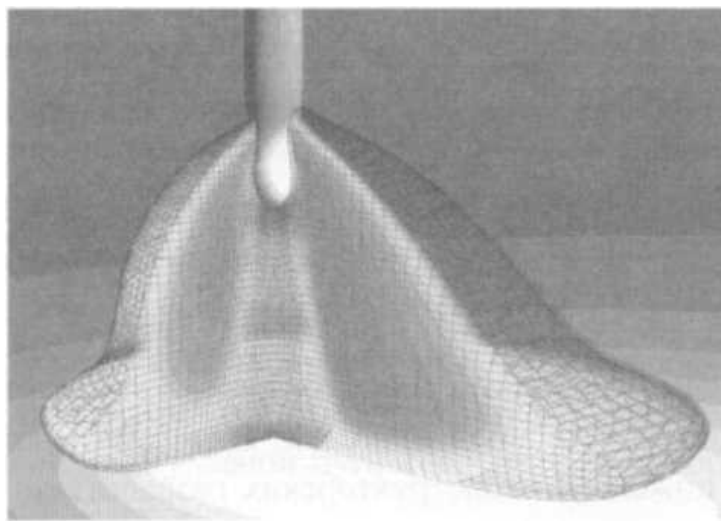


Рис. 8. Пример распределения температуры в дуге при сварке в среде защитных газов, рассчитанной с учетом движения [13]

Современные модели дуги для сварки металлов в среде защитных газов в состоянии описать и воспроизводить сложное взаимодействие газа, строение дуги, геометрию капли и распределение температуры в дуге, в частности [9, 10, 11], (см. рис. 8). Таким образом, можно сделать выводы относительно отдельных воздействий независимо друг от друга и найти пути к понижению уровня выбросов.

Литература

1. Походня, И.К., Явдошин, И.Р., Пальцевич, А.П., Швачко, В.И., Котельчук А.С. *Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами*. Киев, Наукова думка, 2004.
2. Jenkins N. Met A., Moreton J. et al. *Welding Fume*, vol. 2. Published by the Welding Inst., Abington Hall Abington.– Cambridge CB16AL, 1981.–P. 211–506.
3. Kobayashi M., Maki S., Hashimoto Y., Suga T. Some considerations about the formation mechanisms of welding fume // *Weld. World*.– 1978.– 16, N 11/12.–P. 238–245.
4. Kobayashi M., Maki S., Ohe 1. Factors affecting the amount of fumes generated by manual metal arc welding V IAW Doc. II-E-211–76.–P. 22.
5. Heile R. F., Hill D. C. Particulate fume generation in arc welding processes // *Weld. J.*– 1975.–N 7.– P. 201s–210s.
6. Буки, А.А. Моделирование физико-химических процессов дуговой сварки. [Текст]./ А.А. Буки – М.: Машиностроение, 1991. – 287с.
7. *Металлургия дуговой сварки. Процессы в дуге и плавление электродов*. [Текст]./ Под ред. Походни И.К., Киев. Наук.думка, 1990. 224с.
8. Roze С. Концепция возникновения и сокращения выбросов дыма, выделяющегося при сварке металлов в среде защитного газа с учетом новых вариантов процесса. Пермь. Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 125-летию изобретения Н. Г. Славяновым электродуговой сварки плавящимся электродом «Сварка и контроль – 2013», С. 322 – 343

9. Schnick M. et al.: Modelling of gas-metal arc welding considering metal vapour and shielding gas mixture. Proc. of the XVIII International Conference on Gas Discharges and Their Applications (GD 2010), Greifswald 2010 [Моделированиегазо-металлическойдуговойсваркисучетомиспаренийметаллаисмесизащитныхгазов / М. Шпик [идр.] // Материалы XVIII Междунар. конф. поэлектрическимразрядамвгазеиихприменении(GD 2010). Грайфсвальд 2010].
10. Hertel M. et al.: Numerische Simulation des MSG-Lichtbogens und des Werkstoffübergangs. Abschlusskolloquium „Lichtbogenschweißen - Physik und Werkzeug“, GroßeSchweißtechnischeTagung, Hamburg 2011 [Цифровоемоделированиедугиприсваркевсредсзащитныхгазовипереходаматериала / М. Хертель [идр.] // Дуговаясварка - физикаиоборудование: Большаясварочно-техническаяконференция. Гамбург 2011].
11. Rose S. et al.: Mode I lie rung des dyncimischenLichtbogenverhal- tens unterNutzungexperi mente llerDaten. Abschlusskolloquium „Lichtbogenschweißen - Physik und Werkzeug“, GroßeSchweißtechnischeTagung, Hamburg 2011. [Моделированиединамическогоповеденияприи спользованииэкспериментальныхданных / С. Розе [идр.] // Дуговаясварка - физикаиоборудование: Большаясварочно-техническаяконференция. Гамбург 2011].

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Ю.А. Темпель, магистрант, О.А. Темпель, магистрант,
Научный руководитель: Путилова У.С., к.т.н., доц.*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень
625000, г. Тюмень ул. Володарского, д. 38
E-mail: Tempeljulia@mail.ru*

Машиностроительный комплекс России представляет собой отрасль промышленности, от уровня развития которой во многом зависит техническая оснащенность всех отраслей экономики и обороноспособность страны.

Однако, развитие машиностроения, повышение конкурентоспособности продукции и обеспечение опережающих темпов роста объемов производства [1] требует высокого потребления сырья, энергии, природных ресурсов, оказывая отрицательное воздействие на экологию Земли. Более двадцати тысяч машиностроительных предприятий России с прогрессивно развитыми технологическими процессами играют значительную роль в загрязнении окружающей среды. Кроме того, в некоторых районах промышленности с наиболее опасными производствами вредные выбросы превышают все установленные требования и нормы [2].

При производстве машиностроительной продукции образуются опасные твердые отходы, загрязняющие почву и негативно влияющие на растительный мир. Выбросы предприятий загрязняют атмосферный воздух очень опасными веществами, среди которых шестивалентный хром, приводящий к различным раковым заболеваниям человека. Загрязнение водных ресурсов происходит различными тяжелыми металлами, которые нарушают здоровье человека [2].

Поскольку основными факторами сложной экологической ситуации являются антропогенные, необходимо снизить опасность технологических процессов машиностроения для окружающей среды и человека с помощью комплекса мероприятий, который в общем виде называется экологизацией производства.

На сегодняшний день определены два пути экологизации производства. Первый путь – внедрение малоотходных или безотходных технологий, второй – применение условно чистой технологии, включающий в себя основное производство со специальными очистными сооружениями для утилизации отходов.

Решение вышеизложенной проблемы возможно только при условии рассмотрения производства как системы, включающей в себя следующие элементы: персонал, машины и оборудование, метод и технологии, продукт, управление и контроль, каждый из которых ориентирован на минимизацию негативного влияния производственных выбросов на экологию страны в целом. Основные направления экологизации производства предприятий машиностроительной отрасли представлены на рисунке 1 в виде диаграммы Исикавы.