

СЕКЦИЯ 2: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

К ВОПРОСУ О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ОБРАЗОВАНИЯ СВАРОЧНОГО АЭРОЗОЛЯ ПРИ СВАРКЕ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

М.А. Македон, студент гр. 10А32, Л.Г. Деменкова, ст. преподаватель

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 5-35-90

E-mail: lar-dem@mail.ru

По данным современных физико-химических исследований (рентгеноструктурного, спектрального и др. методов анализа) в состав твёрдой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА), образующейся при сварке покрытыми электродами, входят основные (Mn, Fe, Si, K, Na, Ca, Mg, Ti, Al, Cr, Ni, F) и примесные (As, Cu, Rb, Sn, Zr, Sr, Nb, Mo, Ag, Sb, Ba, Pb), а также сложные смеси металлов, простых и сложных оксидов металлов и шпинелей $MnFe_2O_4$, $CaFe_2O_4$, $(Fe, Mn)O \cdot Fe_2O_3$, $K_2Cr_2O_7$, $Na_2Cr_2O_7$, Fe_3O_4 и др., фторидов (NaF , KF , K_3FeF_6 , K_2SiF_6 , CaF_2 и др.), силикатов ($CaSiO_3$, $-Si-O-Si-O-Si-$, $Fe_2[SiO_4]$, $Mn_2[SiO_4]$ и др.). При использовании специальных сталей для сварки горношахтного оборудования (35Л, 45Л, 110Г13Л, 35ХГСЛ, 30ХГСА), которые отличаются повышенным содержанием марганца (11...14,5 %) и других легирующих компонентов сварочный аэрозоль обладает повышенной токсичностью. Сведения о валовых выделениях сварочного аэрозоля и его химическом составе необходимы для санитарно-гигиенической оценки условий труда рабочих, занятых на сварочном производстве. Как правило, эти сведения получают, применяя спектрофотометрический метод анализа, который характеризуется длительностью выполнения и сложностью проведения эксперимента, поэтому очень важно уметь прогнозировать условия труда сварщиков без выполнения специальных опытов путём создания термодинамической модели образования сварочного аэрозоля.

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 горношахтного 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. Модель, позволяющая проводить расчет состава ТССА, предложена авторами [1,2]. В основе модели положено уравнение, позволяющее учесть равновесное испарение элементов из расплава сварочной ванны и неравновесный (взрывной) переход компонентов в аэрозоль.

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

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].

Основываясь на уравнение и результаты экспериментального измерения уровня и состава ТССА, а также исходя из уравнений определения состава и концентраций элементов в паре в соответствии с работами [3,4], Левченко [2] были определены коэффициенты α для трех основных элементов (Fe, Mn, Si) при разной мощности дуги. Исходя из полученных коэффициентов, в [2] предлагается решение задачи определения уровня ТССА для проволок других составов и во всем диапазоне мощности дуги. В работе [1] приведены численные результаты состава ТССА и результаты расчетов концентраций элементов в насыщенном паре. Исходя из смысла введенного коэффициента α , его значения, по нашему мнению, должны находиться в пределах от нуля до единицы, однако авторы, исходя из экспериментальных результатов и расчета, получают отрицательные значения коэффициента.

Согласно [3,4] 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.

Определенные нами значения концентраций элементов в паре над расплавом расходятся с результатами, полученными Левченко в [2], что мы связываем с существенным расхождением справочных данных, указанных разными авторами.

Левченко, также, предлагает использовать аппроксимацию зависимости коэффициента α от мощности дуги, с целью получения выражения для концентрации элементов ТССА при варьировании параметров сварки. Однако, для того чтобы учесть влияние мощности дуги на концентрацию элементов в паре при равновесном испарении, необходимо учитывать влияние мощности на температуру капель сварочной проволоки. Такое влияние можно учесть, записав уравнение теплового баланса и решив его, что является не тривиальной задачей, требующей учета способа сварки, параметров сварочного процесса, окружающей среды, производительности сварки и сечения проволоки, поэтому изменение температуры можно получить лишь оценочно. В целом, для определения состава ТССА необходима постановка теплофизической модели, учитывающей образование химических соединений в процессе сварки и используемого режима.

В упрощенном виде, по аналогии с моделью Левченко, мы предлагаем изменить выражение (1) таким образом, чтобы не нарушался физический смысл искомых коэффициентов

$$C_i^a = \beta \alpha_i C_i^p + (1 - \beta) C_i^n, \quad (5)$$

где β - коэффициент, характеризующий долю неравновесного образования аэрозоля, по смыслу близкий коэффициенту α в работах [1,2], зависит от режима и параметров сварки, одинаковый для всех искомых элементов. Значения коэффициента лежат в пределах от 0 до 1.

α_i - коэффициент нефракционности состава аэрозоля при неравновесном его формировании, фактически является характеристикой изменения концентрации каждого элемента относительно состава расплава. Коэффициент не может быть отрицательным.

Сложность получения состава ТССА по приведенному выражению заключается в наличии двух неизвестных коэффициентов, зависящих от режима сварки, поэтому нахождение данных коэффициентов в эксперименте затруднено. В связи с этим нам было необходимо ввести некоторые предположения об изменении коэффициента β от мощности дуги. Основываясь на результатах измерения состава ТССА в работе [1] и определении коэффициента, а также, понимая, что малая подводимая мощность приводит к увеличению неравновесной составляющей образования аэрозоля, мы приняли изменение коэффициента β от 0,7 до 0,5 при изменении подводимой мощности от 4,5 кВт до 13 кВт. При таком предположении были вычислены коэффициенты α_i , на основе результатов измерения состава ТССА в работе [1]. 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

Исходя из линейности зависимости коэффициентов в выражении (5) от мощности, было получено выражение для концентрации элементов в ТССА, зависящее от состава проволоки и подводимой мощности (по аналогии с [1,2], коэффициент 0,68 из этих работ нами не был использован ввиду неизвестности его физического смысла и не обоснованном использовании авторами работ).

Расчет состава насыщенного пара и концентраций элементов в ТССА по выражению (5) заложен в программу, которая позволяет получать зависимости концентраций элементов в ТССА от мощности и состава сварочной проволоки, вводимых пользователем. В процессе отладки программы были использованы две модели вычисления состава насыщенного пара над расплавом, описанные в [3]. В результате была выбрана модель, описанная в первой части (уравнения (2)-(4)).

Также в программу заложен алгоритм вычисления интенсивности и удельного выделения компонентов ТССА на основе заимствованных из работы [2] уравнений

$$V_i = 0.167 \cdot 10^{-4} \cdot I_{св} \cdot U_{\partial} \cdot (\beta_{0a} - K \cdot I_{св} \cdot U_{\partial}) \cdot C_i^a, \text{ г/мин}; \quad (6)$$

где $I_{св} \cdot U_{\partial}$ - мощность сварочной дуги, кВт;

β_{0a}, K - коэффициенты линейной аппроксимации зависимости удельной скорости образования ТССА от мощности дуги.

$$G_i = V_i / G_p, \text{ г/кг}; \quad (7)$$

где G_p - производительность расплавления сварочного материала, кг/мин.

Результаты вычисления состава ТССА и интенсивности выделения для трех металлов (Mn, Si, Fe) приведены на рисунках 1-6. Изменение концентрации приведенных элементов согласуется с данными, полученными экспериментально в [2].

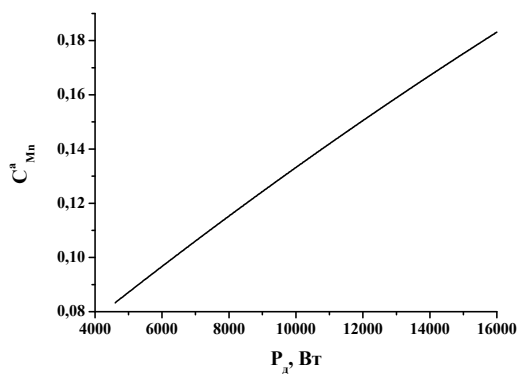


Рис. 1. Концентрация марганца в ТССА от мощности дуги

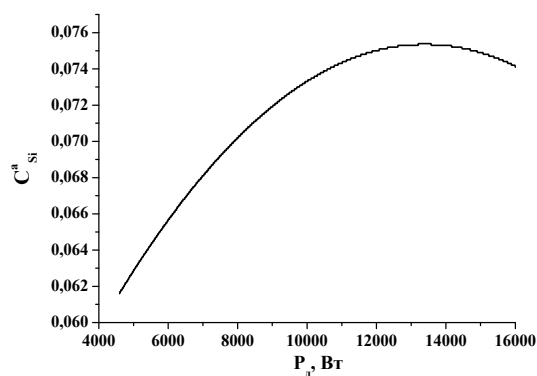


Рис. 2. Концентрация кремния в ТССА от мощности дуги

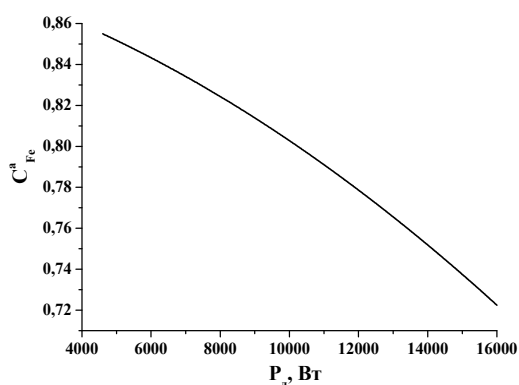


Рис. 3. Концентрация железа в ТССА от мощности дуги

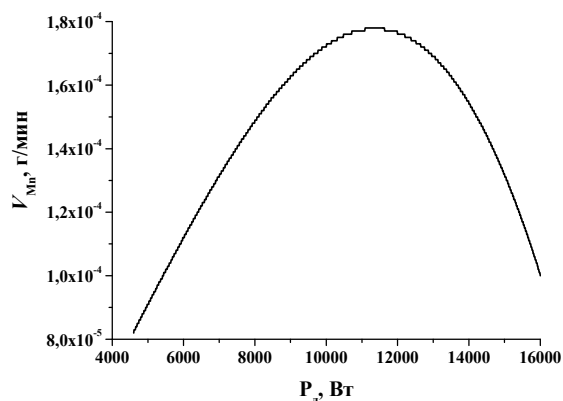


Рис. 4. Интенсивность выделения марганца в ТССА от мощности дуги

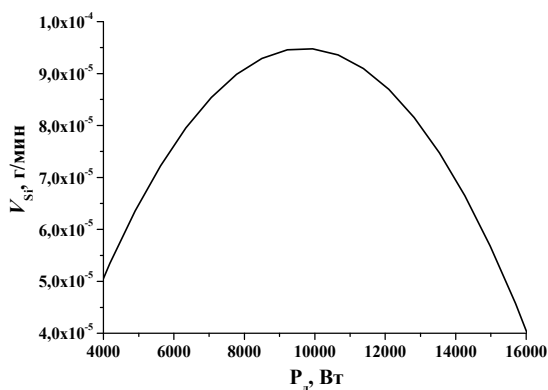


Рис. 5. Интенсивность выделения кремния в ТССА от мощности дуги

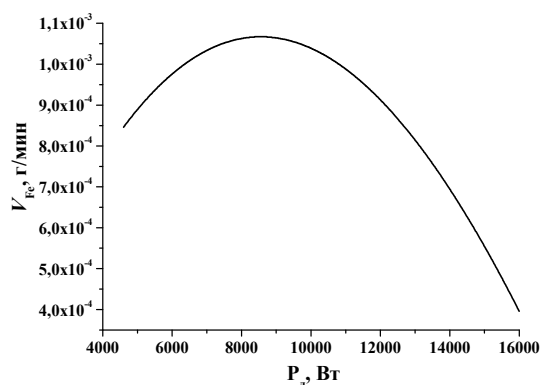


Рис. 6. Интенсивность выделения железа в ТССА от мощности дуги

Таким образом, приведённые результаты свидетельствуют о том, что интенсивность выделения марганца, железа и кремния в ТССА максимальна при мощности дуги в интервале от 8000 до 12000 Вт, что позволяет дать рекомендации о выборе режима сварки. Кроме того, учитывая особенность смешения ТССА при двух физических явлениях в процессе сварки, было получено корректное выражение для состава ТССА, позволяющее прогнозировать валовые выделения и интенсивность выделения сварочного аэрозоля. Однако, ввиду наличия в модели двух коэффициентов, зависящих от режима сварки, экспериментальное их определение затруднено. Для достаточно точного решения этой задачи необходима постановка теплофизической модели процесса сварки, учитывающей образование химических соединений и фаз. Эта модель могла бы описать неравновесное формирование сварочного аэрозоля и его долю в выделяемом аэрозоле. Мы считаем, что для корректного прогнозирования необходимо также учитывать уравнение зависимости температуры капель расплава от приложенной мощности. Для получения такой зависимости необходимо составить уравнение теплового баланса, для решения которого необходимо знать ряд экспериментально полученных величин.

Данные результаты могут положить начало разработки сложной модели формирования сварочного аэрозоля, позволяющей учесть способ сварки, её режим и внешние условия.

Литература

1. Подгаецкий, В.В., Головатюк, А.П., Левченко О.Г. О механизме образования сварочного аэрозоля и прогнозирования его состава при сварке в CO_2 // Автоматическая сварка. – 1989. – №8. – С. 9-12.
2. Левченко О.Г. Математическое моделирование химического состава и уровня выделения сварочного аэрозоля при дуговой сварке // Сварочное производство. – 2001. – №7. – С. 25-27.
3. Буки, А.А. Моделирование физико-химических процессов дуговой сварки. [Текст]/ А.А. Буки – М.: Машиностроение, 1991. – 287 с.

4. Металлургия дуговой сварки. Процессы в дуге и плавление электродов. [Текст]./ Под ред. Походни И.К. – Киев: Наукова думка, 1990. – 224 с.
5. Даниэльс, Ф., Олберти, Р. Физическая химия. [Текст]/ Ф. Даниэльс, Р. Олберти – М.: Мир, 1978. – 645 с.
6. Самсонов, Г. В. Свойства элементов. Часть I. Физические свойства. Справочник. [Текст]./Г.В. Самсонов – М.: Metallurgy, 1976. – 600 с.
7. Карапетьянц, М.Х., Карапетьянц, М.Л. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ. [Текст]./М.Х. Карапетьянц, М.Л. Карапетьянц – М.: Химия, 1968. – 472с.
8. Химические свойства неорганических веществ. [Текст]./ под ред. Р. А. Лидин, В. А. Молочко, Л. Л. Андреева. – М: Химия, 2000. – 480 с.
9. Свойства элементов. Справочник. [Текст]./ Под ред. Дрица М.Е. – М.: Metallurgy, 1985 – 672 с.
10. Карапетьянц, М.Х. Химическая термодинамика [Текст]./М.Х. Карапетьянц – М.: Химия, 1975. – 584 с.

COMPUTER SIMULATION OF CARDIAC ELECTRICAL ACTIVITY USING AN ELECTROCARDIOGRAPH ON NANOSENSORS

M.G. Grigoriev, PhD student

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin av., Tomsk, 634050, Russia

E-mail: Mishatpu@mail.ru

Introduction. According to World Health Organization (WHO), over 17 million people worldwide die annually from cardiovascular diseases (CVDs). Moreover, according to WHO, an estimated number of almost 23.6 million people will die from CVDs by 2030. In 2012, 1 million 232 thousand 182 people died from CVDs in Russia (Fig.1) [1, 2, 3, 4, 5].

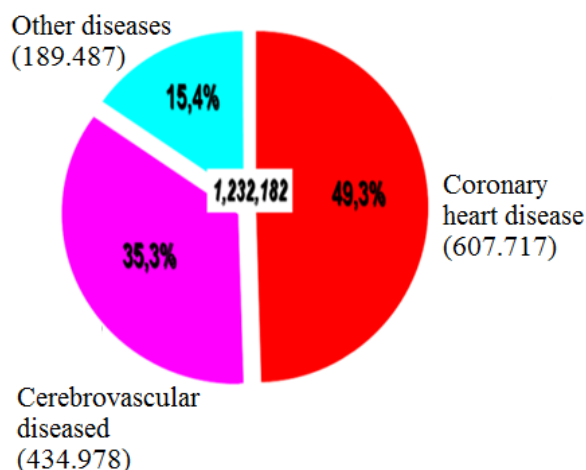


Fig. 1. WHO report on CVDs for 2012

Electrocardiographic (ECG) method is a most common method to examine the state of a patient's cardiovascular system in various medical institutions. ECG is referred to as the method of functional diagnostics with a quantitative evaluation of the research results. The first cardiographic research was carried out by the Scottish scientist Alexander Muirhead in the late 19th century [6, 7].

Analysis of manufactures. A body is known to be a 3-D conductor. The cardiac activity results in electromagnetic field generation, which can be measured from the body surface. The field is constantly changing under heart excitation and characteristics of the field depend on the moving direction of the excitation wave passing through the heart. The analysis of the electromagnetic field allows us to consider the sequence of atrial and ventricular excitation.

Lots of companies are trying to solve this problem, but just some of them managed to succeed. The analysis proved the absence of the hardware and software complexes for mass application (in departments of functional diagnostics and cardiology, in hospitals and clinics, in ambulances, as well as in private medical practice, and at home) to be used in a non-invasive detailed study of the heart by registering low-amplitude potentials of the heart from the surface of the human body without filters and cardiac cycle averaging. Such devices are presented in Table 1.