

УДК 504.6 / 621.791

**СВАРОЧНЫЙ АЭРОЗОЛЬ КАК ОСНОВНАЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА
СОВРЕМЕННОГО СВАРОЧНОГО
ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ**

В.М. Гришагин, Н.Ю. Луговцова

Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ
E-mail: grishagin.v_@list.ru; lnyu-70583@bk.ru**Гришагин Виктор
Михайлович**, канд. техн. наук,
заведующий кафедрой
безопасностижизнедеятельности, экологии и
физического воспитания
Юргинского технологического
института (филиал) ТПУ.

E-mail: grishagin.v_@list.ru

Область научных интересов:
исследование влияния
сварочных аэрозолей на
организм человека и
окружающую среду.**Луговцова Наталья Юрьевна**,
аспирант, ассистент кафедры
безопасности жизнедеятельности,
экологии и физического
воспитания Юргинского
технологического института
(филиал) ТПУ.

E-mail: lnyu-70583@bk.ru

Область научных интересов:
исследование и разработка
способов предотвращения
самовозгорания и взрывов
угольной пыли.

Показана необходимость прогнозирования и приближенной оценки условий труда работников сварочных производств без проведения экспериментальных опытов. Рассмотрен механизм образования твердой составляющей сварочного аэрозоля при дуговой сварке стали в углекислом газе. Установлено, что комбинированное воздействие ингредиентов твердой составляющей сварочного аэрозоля на организм дает возможность проводить гигиеническую оценку и учет неблагоприятного влияния твердой составляющей сварочного аэрозоля применительно к отдельным видам сварочных материалов.

Ключевые слова:

Сварочный аэрозоль, твердая составляющая сварочного аэрозоля, активное пятно дуги, фракционность.

Key words:

Welding aerosol, firm component of welding aerosol, arch active stain, faction.

Проблема создания экологически чистых конкурентноспособных технологий сварочного производства связаны с изучением его металлургических и технологических составляющих, а также сварочных аэрозолей (СА). Основная концепция настоящей статьи – решение вопросов экологии с учетом гигиенических и технологических определяющих СА и создание экологически чистых технологий.

Сведения о валовых выделениях СА и его химическом составе необходимы для гигиенической оценки воздушной среды сварочного производства и для разработки мер защиты сварщиков. В настоящее время такие сведения получают только экспериментальным путем. Вместе с тем существует необходимость прогнозирования и приближенной оценки условий труда сварщиков без проведения специальных опытов. Ранее был предложен способ расчета состава твердой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА), основанный на математической модели [1]. Эта модель учитывает два пути образования сварочного аэрозоля: 1) равновесное испарение компонентов сварочной ванны (фракционный путь); 2) неравновесный (взрывной) переход компонентов сварочной ванны в аэрозоль (нефракционный путь). При сварке плавлением имеют место оба случая.

Рассмотрим механизм образования ТССА при дуговой сварке стали в углекислом газе. Нефракционное образование аэрозоля характеризуется взрывным испарением перемычки металла между проволокой и ванной (или проволокой и каплей), а также интенсивным испарением металла в активном пятне дуги. Взрывное испарение наиболее характерно для сварки на режимах, сопровождающихся короткими замыканиями, когда взрыв перемычки приводит к быстрому частичному испарению металла и выбросу мелких капель.

Образовавшийся при этом аэрозоль приближается по составу к сварочной проволоке. Быстрое испарение из активного пятна дуги, в отличие от нормальных условий испарения, также приводит к образованию аэрозоля нефракционного состава. Долю нефракционной составляющей при формировании состава аэрозоля можно характеризовать коэффициентом нефракционности α [1]. Соответственно значение $(1-\alpha)$ можно считать коэффициентом фракционности. В общем виде, согласно работе [1], содержание элемента в аэрозоле C_i^a выражается следующим уравнением:

$$C_i^a = \alpha C_i^{\text{Me}} + (1-\alpha) C_i^{\text{II}}, \quad (1)$$

где C_i^{Me} – содержание i -го элемента в сварочной проволоке, %; C_i^{II} – содержание i -го элемента в насыщенном паре над расплавом, %.

В работе [2] экспериментально определяли состав ТССА и вычисляли коэффициент нефракционности при различных режимах сварки.

На пластины из стали ВСтЗсп наплавляли валики на режиме: $I_{\text{св}} = 200...440$ А, $U_{\text{д}} = 23...34$ В, $v_{\text{св}} = 16$ м/ч, $Q_{\text{CO}_2} = 20$ л/мин, ток постоянный, обратная полярность. Применяли сварочную проволоку типа Св-08Г2С диаметром 2 мм, содержащую 1,00...1,98 % марганца, 0,50...0,81 % кремния и $\sim 0,1$ % углерода. Вылет электрода поддерживали равным 20 мм.

Улавливание аэрозоля проводили с помощью специальной приставки к сварочному трактору ТС-17М. Вся выделяющаяся при наплавке ТССА аспирировалась из укрытия зоны сварки и осаждалась на фильтры из ткани фильтрующей перхлорвинила (ФПП), установленные в специальной кассете. Химический анализ ТССА проводили по общепринятым методикам.

Коэффициент нефракционности α определяли путем решения ур. (1) при известных содержаниях элементов в проволоке, насыщенном паре и ТССА:

$$C_i^a - C_i^{\text{II}} = \alpha \cdot C_i^{\text{Me}} - \alpha \cdot C_i^{\text{II}}$$

или

$$C_i^a - C_i^{\text{II}} = \alpha (C_i^{\text{Me}} - C_i^{\text{II}}),$$

отсюда

$$\alpha = \frac{C_i^a - C_i^{\text{II}}}{C_i^{\text{Me}} - C_i^{\text{II}}}.$$

Значение C_i^a определяется экспериментально. C_i^{Me} известно из состава проволоки, C_i^{II} вычисляется по парциальным давлениям паров элементов, зависящим от температуры капель электродного металла. Для этого определяют температуру капель металла по их теплосодержанию в зависимости от сварочного тока.

Упругость паров элементов находят по известным термодинамическим константам и уравнениям. По упругостям паров вычисляются содержания элементов в паре. Молярную долю элементов в паре определяли по формуле

$$N_i = \frac{P_i}{\sum_i P_i},$$

где P_i – парциальное давление пара i -го элемента, равное произведению давления пара чистого элемента на его молярную долю в расплаве; $\sum P_i$ – общее давление насыщенного пара над расплавом. Перевод молярной доли в массовую долю осуществляется по формуле

$$C_i^{\text{II}} = \frac{N_i A_i}{\sum_i N_i A_i},$$

где A_i – атомная масса элемента.

Известно, что сварочный аэрозоль образуется не только в результате испарения элементов расплава, но и в результате образования летучих оксидов (например, SiO и FeO), количество которых зависит от окислительного потенциала атмосферы дуги (в данном случае постоянного). Однако учитывая, что потери марганца и кремния при испарении из сварочной ванны в несколько раз больше потерь этих элементов от окисления, расчет состава пара проводили по парциальным давлениям марганца, кремния и железа, без учета соединений с кислородом. Концентрации этих элементов в аэрозоле также приняли за 100 % (т. е. не учитывали кислород, в действительности

присутствующий в ТССА). Такое упрощение схемы механизма образования сварочного аэрозоля незначительно отразилось на точности прогнозирования состава ТССА.

Уровень содержания ТССА и ГССА (газовой составляющей сварочного аэрозоля) в воздухе производственных помещений связан с видом и типом сварочных материалов, режимами сварки, условиями организации труда, наличием и эффективностью работы приточно-вытяжной вентиляции и др. Так, при использовании покрытых электродов в производстве конструкций судов концентрация ТССА в зоне дыхания сварщиков колеблется от 10...30 до 200...280 мг/м³ и более, при производстве машиностроительных и строительных конструкций усреднённый уровень ТССА в зоне дыхания в 2...4 раза ниже, при механизированной сварке в углекислом газе порошковой проволокой и проволокой сплошного сечения концентрация ТССА в зоне дыхания составляет от 15...30 до 80...120 мг/м³. Проводимые на протяжении многих лет обследования состояния здоровья сварщиков позволили выявить различную степень неблагоприятного воздействия СА отдельных видов и марок сварочных материалов, а также подтвердить, что именно СА являются одной из главных причин заболеваний сварщиков. Сварщики чаще других представителей рабочих профессий подвержены респираторным заболеваниям, бронхиту, плевриту или пневмонии. Достоверными симптомами функциональных расстройств являются кашель, раздражение в горле, головная боль, катар верхних дыхательных путей.

Изучение эффектов комбинированного воздействия ингредиентов ТССА на организм дало возможность проводить гигиеническую оценку и учет неблагоприятного влияния ТССА в целом применительно к отдельным видам сварочных материалов, что отражено в «Методических указаниях к постановке исследований по обоснованию предельно допустимых концентраций сварочных аэрозолей», регламентирующих основные требования к научно-методическому и техническому обеспечению исследований для достижения достаточно высокого уровня точности и воспроизводимости экспериментов. Благодаря исследованиям прикладного характера были уточнены особенности биологического действия СА, содержащих в ТССА различные количества марганца, железа, хрома, никеля, кремния, а в ГССА – СО, NO_x, O₃ и другие газообразные вещества. Определена связь цитотоксического действия СА с исходным составом ТССА, растворимостью их в биологических жидкостях организма и растворе – имитаторе биосреды. В опытах *in vitro*, согласующихся с опытами на животных, определено, что действие ТССА связано в первую очередь с наличием в составе СА марганца и железа. Степень и характер комбинированного действия ТССА усиливаются при возрастании содержания калия, кремния, фтора, натрия, кальция (в порядке уменьшения повреждающих действий).

Стремление ограничить уровень неблагоприятного воздействия процесса сварки за счёт уменьшения валовых выделений и снижения интенсивности образования аэрозоля, а также изменения степени биологического действия СА регулированием физико-химических свойств ТССА и СА в целом реализованы при разработке ряда сварочных материалов с пониженной токсичностью. Их применение с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) сварщиков, в частности фильтрующих респираторов «Снежок», эффективных устройств очистки воздуха от ТССА и ГССА, рециркуляционных установок и систем местной и общеобменной вентиляции, стационарных, передвижных и переносных фильтровентиляционных установок значительно ослабило, но не сняло с повестки дня проблему обеспечения экологически безопасных условий труда сварщиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cray C.N., Hewitt P.J., Dare P.R.M. New approach would help control weld fume at source. P. 2: MIG fumes // Weld. and Met. Fabrication. – 1982. – № 10. – P. 393–397.
2. Подгаецкий В.В., Головатюк А.П., Левченко О.Г. О механизме образования сварочного аэрозоля и прогнозировании его состава при сварке в CO₂ // Автоматическая сварка. – 1989. – № 8. – С. 9–12.

Поступила 24.11.2011 г.