

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

В.М. Гришагин

**СВАРОЧНЫЙ АЭРОЗОЛЬ:
ОБРАЗОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ,
ЛОКАЛИЗАЦИЯ, ПРИМЕНЕНИЕ**

Монография

Издательство
Томского политехнического университета
2011

УДК 504.5:504.6:621.791

ББК 20.1

Г85

Гришагин В.М.

Г85 Сварочный аэрозоль: образование, исследование, локализация, применение: монография / В.М. Гришагин; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.

ISBN 978-5-98298-896-6

В монографии рассмотрены вопросы образования сварочного аэрозоля в условиях применения различных способов сварки, при различных режимах и использовании разных вспомогательных и основных материалов. Также рассматривается комплекс методов исследования образования твердой и газовой составляющих сварочного аэрозоля, используемых как самим автором, так и другими исследователями. Описаны применяемые пути локализации, фильтрации и применение компонентов сварочного аэрозоля.

Предназначена для специалистов в области охраны окружающей среды, охраны труда, гигиены труда и сварочного производства, а также для широкого круга научных работников, студентов, магистров и аспирантов вузов технических специальностей.

УДК 504.5:504.6:621.791

ББК 20.1

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой аэрологии охраны труда
и природы КузГТУ

Л.А. Шевченко

Доктор технических наук
ведущий научный сотрудник ИФПМ СО РАН
вице-президент Российского научно-технического
сварочного общества

Ю.Н. Сараев

ISBN 978-5-98298-896-6

© ГОУ ВПО НИ ТПУ Юргинский
технологический институт (филиал), 2011
© Гришагин В.М., 2011

ВВЕДЕНИЕ

Процессы сварки используются во всех сферах хозяйственной деятельности человека. Наибольшее распространение в настоящее время получили виды сварки с применением энергии электричества и газов.

Отличительной особенностью условий труда сварщиков по сравнению с другими профессиями является наличие ряда характерных опасных и вредных производственных факторов, являющихся неотъемлемым следствием сварочного процесса. Среди них наибольшую угрозу для здоровья сварщиков представляет сварочный аэрозоль (СА), от которого до настоящего времени сварщик защищен очень слабо. Об этом свидетельствуют результаты медицинских обследований, доказывающие, что среди профессиональных заболеваний сварщиков России и других государств СНГ примерно 80 % составляют бронхо-легочные, вызванные воздействием СА. Это – пневмокониоз, который выявился у сварщиков, проработавших в сварочных цехах более 15 лет, и хронический бронхит, возникающий уже через 5 лет работы в профессии сварщика. При выполнении сварочных работ в недоступных для вентилирования закрытых пространствах период развития пневмокониоза сокращается до 5 лет [1–3]. Кроме того имеются данные [4, 5], свидетельствующие о том, что воздействие СА на органы дыхания может повышать риск развития онкологических заболеваний (рак).

Средний стаж работы по специальности у сварщиков, получивших инвалидность по профзаболеванию, согласно данным клиники Института медицины труда составляет около 18 лет, в том числе у сварщиков, занятых ручной дуговой сваркой, – 21 год, у работающих на полуавтоматах – 14 лет [2]. Очевидно, что работа сварщика сегодня является одной из наиболее профессионально опасных и постепенно теряет социальный престиж.

Применяемые в прежние годы мероприятия по оздоровлению условий труда сварщиков не дали заметных положительных результатов. Проблема создания здоровых и безопасных условий труда сварщиков остается актуальной. Для ее решения необходим более радикальный подход, а именно, как показывает мировой и отечественный опыт, – сочетание технологических и санитарно-технических мероприятий по устранению вредного действия СА, а также применение средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) сварщиков. Первое направление – технологическое: заключается в снижении уровня выделения СА в воздух путем совершенствования процесса сварки, выбора технологии и способа сварки, вида и марки сварочного материала, за-

щитного газа и режима сварки. Второе направление – санитарно-техническое: состоит в локализации и нейтрализации СА путем применения современных эффективных средств местной вентиляции. Третье направление – применение СИЗОД нового поколения, позволяющих защищать органы дыхания сварщиков в различных производственных условиях. В зависимости от условий труда, а также от требований к качеству сварного соединения необходимо пользоваться комплексом этих мероприятий, либо отдельными из них.

Реализация первого направления возможна на основе глубокого изучения процессов образования СА. Для двух остальных эти сведения также являются исходными при определении соответствующих методов и разработке средств нейтрализации СА.

Для этого потребовалось исследовать закономерности образования СА при дуговой сварке, разработать классификацию СА, образующихся при различных способах сварки, и на этой основе предложить способы и средства их нейтрализации.

Глава 1

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ УЛУЧШЕНИЯ

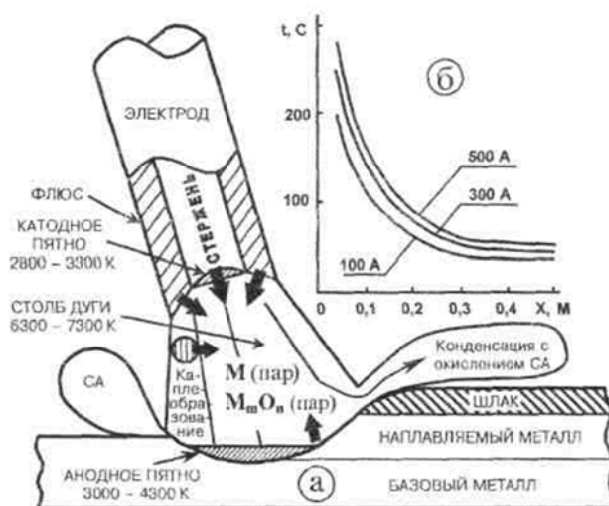
Все электродуговые процессы сварки сопровождаются выделением в воздух рабочей зоны СА. Токсичные соединения и вредные газы, входящие в состав СА, при попадании через дыхательные пути в организм человека оказывают на него неблагоприятное воздействие. В зависимости от состава СА могут оказывать фиброгенное, токсическое, раздражающее, а также комбинированное действие на организм. При длительном воздействии они могут привести к профессиональным заболеваниям. Характер развития и тяжесть течения профессиональных заболеваний зависит от химического состава, концентрации и длительности воздействия СА [6–8].

Для разработки мероприятий по устранению вредного влияния СА на организм работающих и окружающую среду необходимо более глубоко изучить процессы образования СА, зависимости их химического состава, интенсивности выделения и токсичности от способа сварки и состава сварочного материала, а также состояние вопросов по средствам нейтрализации вредных веществ СА. Рассмотрим литературные данные по этим вопросам.

1.1. Состояние вопросов по исследованию процессов образования сварочных аэрозолей

Дуговые сварочные процессы по сути протекают в реакторах открытого типа (рис. 1.1), 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; происходят термохимические превращения фторидов и кремнефторидов, восстановление углекислого газа либо неполное окисление органических связующих ^{обмазок} и пластификаторов с образованием HF и SiF₄, CO; окисляется азот ($N_2 + O_2 + hv = 2NO$); кислород воздуха превращается в озон ($O_2 + hv \rightleftharpoons O^* + O^*$; $O_2 + O^* \rightleftharpoons O_3$). При выполнении работ, связанных с использованием карбида кальция, как правило загрязненного фосфидом кальция, образуется фосфин (PH₃). В случае сварки (резки) покрытых консервантами, краской либо (и) загрязнениями технологического происхождения деталей, узлов, конструкций, материалов в газовую фазу могут

выделяться хлористый водород (HCl), хлор (Cl_2), фосген (COCl_2), четыреххлористый углерод (CCl_4), трихлорэтилен ($\text{CCl}_2=\text{CHCl}$), сернистый и серный ангидриды (SO_2 , SO_3), сероводород (H_2S), фосфор (P_4), фосфорный ангидрид (P_2O_5), фосфин (PH_3) и другие токсичные соединения.



*Рис. 1.1. Механизм образования СА:
а – принципиальная схема теплообмена;
б – радиальное изменение температуры*

При электродуговом процессе из-за воздействия на основной металл и материал электрода тепла дуги происходит их плавление и частичное испарение. Образовавшиеся в высокотемпературной зоне пары материала электрода и сварочной ванны выделяются в окружающую среду, имеющую более низкую температуру, где, конденсируясь в твердые частицы, образуют в воздухе взвесь мелкодисперсных частиц, которые за счет аэродинамических сил продолжительное время могут находиться во взвешенном состоянии. Таким образом, по механизму образования СА относятся к аэрозолям конденсации и представляют собой дисперсную систему, в которой дисперсной фазой являются мелкие частицы твердого вещества – твердая составляющая сварочного аэрозоля (ТССА), а дисперсной средой – смесь газов, или газообразная составляющая СА (ГССА).

В работе [9] М. Кобаяши и др. изучали процессы образования ТССА с помощью скоростной киносъемки, метода меченых атомов, а также методами рентгеновской и электронной дифрактометрии. Было установлено, что ТССА образуется преимущественно в результате испарения расплавленного металла на торце электрода: пары выделяются в нижней части столба дуги и выносятся газовыми потоками в окружающую атмосферу, где окисляются и конденсируются в твердые частицы.

Результаты киносъемок дуги переменного тока позволили прийти к выводу, что почти весь аэрозоль образуется в области, где высокотемпературные пары попадают в окружающую атмосферу. Торцевой электрод имеет наиболее высокую температуру, поэтому именно здесь создаются условия, наиболее благоприятные для испарения металла. По данным некоторых исследований [10–12], температура металла в активных пятнах дуги на аноде достигает до 2600 К, на катоде – до 2400 К. В обычных сварочных дугах температура их активных пятен достигает точки кипения металла электрода [13, 14]. Температура каплей электродного металла и сварочной ванны зависит от температуры плавления металла, его удельной теплоемкости [15] и находится в интервале между температурами плавления и кипения металла. Так, при сварке проволокой марки Св-08Г2С в CO_2 максимальная температура каплей электродного металла составляет 2860...2970 К, что несколько ниже температуры кипения низколегированной стали [16].

Значительная часть энергии сварочной дуги теряется на перегрев капли и ее испарение. По данным А.А. Ерохина, при сварке стали покрытыми электродами 20...30 % энергии сварочной дуги теряется на перегрев капли и около 20 % – на испарение металла [17]. По данным А.В. Петрова [18], при сварке в аргоне в случае струйного переноса примерно 10...20 % электродного металла переносится с электрода в основной металл в виде пара. Однако потери металла на испарение определяются не общим количеством испаряющегося металла, а только лишь той его частью, которая не сконденсировалась в ванне из-за рассеивания паров в окружающую среду [19]. Газовый поток, направленный обычно с электрода на изделие, ускоряет уход паров от поверхности торца электрода.

Метод меченых атомов [9] позволил установить, что роль элементов основного металла в образовании аэрозоля незначительна (повидимому, из-за более низкой температуры поверхности ванны) по сравнению с торцом электрода и каплями электродного металла. Поэтому можно утверждать, что главным источником ТССА является испарение металла с торца электрода, а также с поверхности каплей.

При сварке переменным током интенсивность выделения аэрозоля периодически меняется в соответствии с частотой изменения полярности тока независимо от частоты переноса каплей. При этом количество выделяющегося аэрозоля зависит от сварочного тока: оно практически равно нулю, когда мгновенное значение сварочного тока близко к нулю, и достигает своего максимума при максимальном значении тока.

Авторы работы [9] полагают, что поток газа плазмы является основной силой, переносящей пары из атмосферы дуги в окружающую

атмосферу, а скорость этого потока достигает своего максимального значения при максимальном значении тока.

Скорость образования паров при высокой температуре зависит от упругости компонентов пара, температуры поверхности испарения, а также от ее площади [9].

М.И. Эрман и А.Г. Потапьевский экспериментально доказали, что образование аэрозоля при сварке зависит от длительности формирования капли расплавленного металла, ее размеров и длины сварочной дуги. При крупнокапельном переносе металла в случае сварки в CO_2 наблюдается более высокое выделение ТССА, чем при мелкокапельном переносе (сварка в смеси углекислого газа с 5 % кислорода). При импульсно-дуговой сварке в аргоне также замечено менее интенсивное, по сравнению с обычной сваркой, образование аэрозоля ввиду минимального времени пребывания капли в дуге [20].

Из изложенного выше следует, что хотя основной источник ТССА находится на торце плавящегося электрода, испарением расплавленного металла при переносе капель пренебрегать нельзя. Влияние характера переноса электродного металла на процесс образования ТССА рассмотрим ниже.

Говоря об испарении металла, уместно вспомнить о влиянии избирательного испарения на потери марганца и других летучих элементов при сварке. Как известно [21, 22], состав насыщенного пара над раствором отличается от состава самого раствора – пар обогащен легколетучими компонентами. Этим, в частности, объясняют повышенное содержание марганца и его соединений в ТССА. Понятие упругости пара над расплавом в зоне активного пятна сварочной дуги, где в основном и происходит испарение металла, а также некоторые другие физические понятия в известной степени теряют свой смысл, так как условия, имеющиеся на поверхности металла в активных пятнах, весьма отличаются от условий, в которых обычно определяют упругость пара и другие физические свойства материалов [19].

Все сказанное усложняет задачу создания математической модели химического состава ТССА в зависимости от состава сварочных материалов.

Как показано в работе [23], химический состав и интенсивность выделения ТССА зависят от характера переноса электродного металла в сварочную ванну. В этой работе рассмотрены следующие виды переноса электродного металла: перенос с короткими замыканиями, крупнокапельный и струйный.

Перенос с короткими замыканиями характеризуется чередованием периодов горения дуги с периодами короткого замыкания, во время которого интенсивность образования ТССА невелика. Происходит лишь

некоторое испарение металла нагретой сварочной проволоки и сварочной ванны. Пар этот обогащен летучими компонентами, например марганцем. Такой характер образования пара называют фракционным, так как образующийся пар разделен на фракции. Одна из них состоит из легкокипящих компонентов, другая – из слабоиспаряющихся. Соотношение этих фракций зависит от условий испарения. Состав пара значительно отличается от состава металла. При последующем окислении и конденсации этого пара образуется аэрозоль, состав которого можно рассчитать на основе учета парциального давления компонентов сплава [23].

Как показано в работах И.И. Зарубы [24, 26] в конце периода короткого замыкания происходит разрушение и взрывное испарение образовавшейся перемычки (шейки) металла между электродом и основным металлом; вместе с тем выбрасывается струя расплавленного металла. Такой характер испарения приводит к образованию пара, состав которого подобен составу металла присадочной проволоки. Получаемый при этом аэрозоль называют нефракционным. Его состав не может быть предсказан на основе учета парциального давления компонентов сплава. Капли, выброшенные при взрыве перемычки, также могут выделять ТССА. Общая площадь поверхности испарения при этом значительно увеличивается. Часть металла в виде брызг выбрасывается из зоны защитного газа и попадает в окружающую атмосферу, в которой происходит его усиленное испарение и сгорание, сопровождающееся интенсивным выделением ТССА.

Скорость испарения металла в активном пятне дуги может быть настолько большой, что это приводит к эрозии верхних слоев поверхности металла электрода. При этом образуется нефракционный аэрозоль.

При крупнокапельном переносе капля расплавленного металла растет на конце сварочной проволоки до тех пор, пока ее диаметр не превысит диаметра проволоки. Затем она отделяется от электрода и падает в сварочную ванну. Образование аэрозоля при этом может происходить вследствие испарения металла с конца электрода, из сварочной ванны и из капель электродного металла. Испарение элементов из сварочной ванны и из капель в дуге приводит к образованию аэрозоля, разделенного на фракции. По мере отделения каждой капли от сварочной проволоки взрывное испарение сжатой шейки приводит к дальнейшему нефракционному образованию ТССА. Крупнокапельный перенос при сварке в CO_2 нередко сопровождается повышенным разбрызгиванием металла, что также способствует образованию аэрозоля.

В случае струйного переноса испарение также происходит с конца сварочной проволоки, сварочной ванны и капель расплавленного металла. При испарении из сварочной ванны и капель переносимого металла образуется фракционный аэрозоль. В то же время интенсивное испаре-

ние из активных пятен дуги, вероятно, приводит к появлению нефракционных ТССА. Разбрызгивание металла при этом невелико, так что большая часть пара образуется в области дуги.

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что для прогнозирования состава и количества выделяющегося при сварке в защитном газе аэрозоля необходимо использовать понятие фракционного и нефракционного испарения, а также принимать во внимание его зависимость от типа переноса электродного металла.

В процессе сварки в ТССА могут переходить элементы, входящие в состав сварочных материалов (электродов, флюсов, проволок и др.) и основного металла, – железо, марганец, кремний, кальций, магний, калий, натрий, титан, алюминий, хром, никель, медь, фтор и др. В результате окисления и конденсации этих элементов образуются твердые частицы сложного состава, как предполагалось, состоящие из оксидов.

В работе [27], посвященной изучению механизма образования ТССА, предлагается следующая общая схема: испарение-конденсация-окисление (И-К-О). В работе [9] утверждается, однако, что процесс окисления предшествует конденсации. Такой вывод базируется на результатах рентгеновской и электронной дифрактометрии, которые свидетельствуют о наличии в ТССА оксида Fe_3O_4 , имеющего кристаллическую структуру. Более подробное исследование [27] свидетельствует о том, что такой оксид возникает уже в атмосфере дуги. Кроме того, на поверхности расплавленного электрода в результате попадания в состав атмосферы дуги кислорода (например, при сварке в смеси $Ar + O_2$) могут появляться летучие оксиды (например, SiO).

Таким образом, можно прийти к выводу о существовании двух механизмов образования ТССА – по схемам И-К-О и И-О-К, доля участия каждого из которых зависит от способа сварки и состава защитного газа. Уменьшение окислительного потенциала защитного газа способствует снижению роли второго механизма в образовании ТССА.

В работе А.П. Головатюка и др. [28] при исследовании состава ТССА методом рентгеноструктурного анализа были обнаружены следующие оксидные соединения: Mn_2SiO_4 , Fe_3O_4 и Fe_2SiO_4 . Наличие в аэрозоле силикатов усложняет механизм образования ТССА по указанным схемам, что свидетельствует о протекании химических реакций между компонентами аэрозоля в процессе его образования. Таким образом, окисление и конденсация протекает при одновременном химическом взаимодействии между составляющими ТССА.

Неоднородность фазового состава частиц ТССА связана с тем, что высокотемпературный пар также имеет сложный состав и отдельные его составляющие конденсируются при различной температуре. В первую

очередь происходит конденсация элементов или соединений, пары которых имеют более низкое давление, а затем паров элементов с более высоким парциальным давлением. Например, кремний присутствует в высокотемпературном паре в широком (1500...3000 К) интервале в виде SiO. При этих температурах его пары характеризуются более высоким парциальным давлением, чем пары марганца и железа [27]. Поэтому пары кремния конденсируются вместе с низкотемпературными оксидами натрия и калия с образованием силикатов. Центрами конденсации пара могут быть ионы элементов или мельчайшие брызги металла, выносимые потоками газа из зоны дуги. Таким механизмом образования ТССА объясняется неоднородность строения их частиц [29].

Дисперсность частиц ТССА колеблется в пределах от тысячных долей до нескольких микрометров. Основное количество частиц имеет размер менее 1 мкм. Частицы ТССА могут принимать форму агломератов с размером 1...3 мкм, кластеров размером 1...2 мкм, сферическую форму (диаметром 5...10 мкм), а более мелкие частицы (размером от сотых до десятых долей микрон) склонны к образованию цепочек [29].

Большинство мелких частиц состоит из ядра и оболочки. Ядро обогащено соединениями железа и марганца, а оболочка содержит соединения кремния, калия и натрия (при наличии этих веществ в составе покрытых электродов). Толщина оболочки зависит от температуры, окислительного потенциала атмосферы дуги и увеличивается с повышением содержания указанных выше элементов в электроде. Неоднородность структуры ТССА характерна для аэрозолей конденсации сложного состава [30, 31]. Данные о химическом составе и строении частиц ТССА весьма важны для понимания природы их биологической активности и токсичности.

Интенсивность образования ТССА определяется скоростью плавления электродного материала и зависит от сварочного тока и напряжения на дуге, от состава сварочных материалов, основного металла и защитной среды, а также от пространственного положения шва и техники сварки. Установлено, что при сварке покрытыми электродами в ТССА переходит 1...3 % массы электрода [31], а в случае сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах – 0,5...2,0 % массы проволоки [32]. Химический состав образующейся ТССА на 80...90 % обусловлен составом сварочных материалов [6]. В составе ТССА, в зависимости от сварочных материалов и свариваемых металлов, возможно наличие оксидов металлов и их комплексных соединений различных классов [33].

ТССА представляет собой смесь газов, образующихся при термической диссоциации газошлакообразующих компонентов, входящих в состав сварочных материалов (CO, HF, SiF₄, TiF₄ и др.) или в результа-

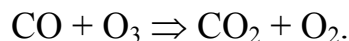
те фотохимического действия ультрафиолетового излучения сварочной дуги на молекулы газов защитной атмосферы и окружающего дугу воздуха (CO , NO , NO_2 , O_3).

При сварке в защитных газах состав ГССА определяется составом защитной смеси. В состав ГССА могут входить диоксид углерода, монооксид углерода, оксиды азота, озон и инертные газы, присутствующие в защитном газе.

Основной причиной образования токсичного монооксида углерода при сварке в CO_2 является диссоциация последнего при высокой температуре сварочной дуги:

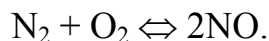


При выходе из зоны высоких температур монооксид углерода вновь соединяется с кислородом и озоном, превращаясь в диоксид углерода [34]:

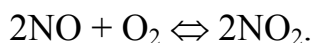


Монооксид углерода может образовываться также при восстановлении углерода из его диоксида металлом и результате термической диссоциации газообразующих карбонатов в составе шлакообразующих компонентов сварочных материалов.

Монооксид азота появляется в результате высокотемпературного окисления азота воздуха, окружающего дугу:



Под воздействием ультрафиолетового излучения дуги монооксид азота окисляется кислородом воздуха до ядовитого диоксида азота [35]:

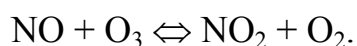


При сварке в CO_2 дуга горит в атмосфере этого газа, поэтому интенсивность образования оксидов азота весьма невелика по сравнению с монооксидом углерода.

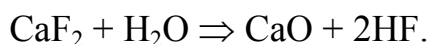
Озон образуется из кислорода воздуха и защитного газа под действием ультрафиолетового излучения дуги:



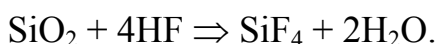
В начальный момент сварки его концентрация высока, однако затем он реагирует с оксидом азота, образуя диоксиды азота и кислород [36–38]:



При использовании сварочных материалов, содержащих фтористый кальций или другие фторсодержащие компоненты, в составе ГССА присутствуют фтористый водород и тетрафтористый кремний. Фтористый водород появляется в газовой среде при температуре выше 2000 °С в результате взаимодействия фтористого кальция с водяным паром [39]:



Затем при взаимодействии фтористого водорода с диоксидом кремния, присутствующим в составе сварочных материалов, образуется газообразный тетрафтористый кремний:



При наличии в составе шлакообразующей основы сварочных материалов диоксида титана в составе ГССА появляется газообразный тетрафтористый титан TiF_4 .

При сварке титана под фторсодержащими флюсами (например, при содержании во флюсе фтористого лантана) также образуется тетрафтористый титан [39].



Более подробный обзор процессов образования СА, выполненный автором, изложен в работе [40], новые результаты исследований приведены в разделах 3 и 4.

1.2. Гигиеническая характеристика сварочных материалов и способов дуговой сварки

Количественный и качественный состав СА, в первую очередь, определяется способом сварки, видом и составом (маркой) сварочного материала. Ниже приведены данные санитарно-гигиенических характеристик основных способов сварки.

1.2.1. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами

Эти вопросы хорошо изучены в работах академика НАН Украины И.К. Походни [30].

Уровни выделений и химический состав СА, образующихся при сварке покрытыми электродами, определяются рядом основных факторов: содержанием в шлаковом расплаве, образующемся в результате плавления покрытия на торце электрода, химических элементов или соединений с высокой упругостью давления пара, которые вносят большой вклад в образование ТССА; характеристикой основности (кислот-

ности) шлака, от которой зависит интенсивность испарения отдельных его составляющих; окислительным потенциалом атмосферы дуги; диаметром электрода и режимом сварки (величиной сварочного тока и напряжения дуги).

В отечественной и зарубежной практике для ручной дуговой сварки применяются электроды с покрытиями, которые делятся на следующие основные виды: кислые, рутиловые, целлюлозные, основные (фтористо-кальциевые), окислительные; а также смешанные виды покрытий: рутилово-кислые (ильменитовые), рутил-целлюлозные, рутил-основные и др.

Определения уровней выделения СА, выполненные в различных странах, показывают, что наибольшие выделения аэрозоля характерны для электродов с целлюлозным покрытием. За ними следуют электроды с покрытием основного типа. Электроды с кислыми, рутиловыми и ильменитовыми покрытиями по уровню выделений СА различаются между собой незначительно, а по сравнению с электродами с целлюлозным и основным покрытиями характеризуются заметно меньшим выделением аэрозоля [29].

Высокий уровень выделения СА при сварке электродами с целлюлозным покрытием обусловлен выделением в больших количествах газов: СО, СО₂, Н₂, Н₂О, образующихся при сгорании органических составляющих целлюлозного покрытия [41], поступлением в расплавленную каплю на торце электрода углерода, образующегося в результате разложения целлюлозы в покрытии, и увеличением интенсивности выделения ТССА из-за усиления интенсивности взрыва жидких капель вследствие окисления углерода и образования СО [42].

Высокий уровень выделения СА при сварке электродами с основным покрытием обусловлен наличием в покрытии летучих соединений фтора (СаF₂, Na₂SiF₆) и высокой основностью шлаковой фазы, способствующей более интенсивному поступлению в ТССА соединений щелочных металлов [43]. Большое содержание карбонатов (мрамора, мела, известняка, магнезита, доломита) в покрытии способствует сжатию дуги углекислым газом, образующимся при их разложении, что также приводит к увеличению интенсивности выделений СА.

Анализ многочисленных данных по определению химического состава СА, обобщенный в работе [30], показывает, что при сварке электродами с рутиловым, кислым и ильменитовым покрытиями образуются ТССА близкие по химическому составу. Основой ТССА являются оксиды железа. Из шлаковой фазы в ТССА поступают, главным образом, SiO₂ (20...30 %), K₂O (5...10 %), Na₂O (6...10 %). Содержание в ТССА соединений кальция, магния, алюминия и титана незначительно: 0,1...0,8 % СаО; 0,1...3 % MgO; 0,1...0,3 % Al₂O₃; 0,1...2 % TiO₂. Содер-

жание наиболее токсичной составляющей ТССА – соединений марганца – при сварке электродами общего назначения составляет 5...10 %. Это является результатом его испарения, главным образом, из металлического расплава, в котором концентрация марганца при сварке электродами различных марок также изменяется в сравнительно узком интервале.

Состав ТССА, образующейся при сварке целлюлозными электродами, отличается от состава, образующегося при сварке рассмотренными выше электродами, лишь более высоким содержанием оксидов железа из-за некоторого снижения количества остальных составляющих [30].

Состав ТССА при сварке электродами с покрытием основного типа существенно отличается: наличием большого количества растворимых и нерастворимых фторидов (10...20 % в пересчете на фтор); более высоким по сравнению со сваркой электродами с кислыми, рутиловыми и целлюлозными покрытиями количеством соединений щелочных и щелочно-земельных металлов (6...25 % Na_2O ; 5...30 % K_2O ; 7...15 % CaO ; 0...8 % MgO , причем сумма K_2O и Na_2O составляет 20...40 %, а их соотношение определяется, главным образом, составом жидкого стекла-связующего); более низким содержанием оксидов кремния (4...12 %) и железа (10...20 % Fe_3O_4). Эти отличия обусловлены, в первую очередь, наличием фторидов в составе основного покрытия и высокой основностью образующихся при плавлении покрытия шлаков.

Кроме того, при сварке электродами с покрытием основного вида, наряду с фторидами в составе ТССА, в аэрозоле присутствуют также токсичные газообразные фториды (фтористый водород, тетрафтористый кремний и др.) в составе ТССА. Содержание оксидов марганца в ТССА, образующейся при сварке электродами с основным покрытием, ниже, чем при сварке электродами других типов, и составляет обычно 3...5 %. Это объясняется более низким содержанием ферромарганца в покрытиях основного вида [30].

Наиболее вредными веществами, которые входят в состав СА, образующихся при сварке углеродистых и низколегированных сталей с покрытиями рутилового, кислого, ильменитового и целлюлозного видов, является марганец, а при использовании электродов с покрытием основного вида – соединения фтора (особенно газообразные). При сварке оцинкованных сталей в составе СА присутствуют токсичные соединения цинка. В процессе сварки легированных, в том числе нержавеющей сталей, в составе СА, кроме токсичных соединений марганца и фтора, появляются еще более токсичные соединения шестивалентного хрома и никеля с канцерогенными свойствами. Хром в составе ТССА присутствует в виде двух различных по токсичности соединений: в шестивалентном состоянии в виде хроматов и бихроматов натрия и калия (Na_2CrO_4 ,

$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, K_2CrO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), которые образуются в результате взаимодействия хрома с соединениями калия и натрия из жидкого стекла, и в трехвалентном состоянии в виде Cr_2O_3) [30]. Согласно ГОСТ 12.1.005 шестивалентный хром относится к первому, а трехвалентный – к третьему классам опасности. Таким образом, при сварке электродами хромоникелевых легированных сталей определяющим токсичным компонентом СА являются соединения шестивалентного хрома. Основными токсичными компонентами ТССА, образующимися в процессе сварки цветных металлов (алюминия, меди и др.) являются их оксиды.

Одновременно с ТССА и газообразными соединениями фтора в составе СА в небольших количествах могут присутствовать и такие вредные газы, как оксиды азота и монооксид углерода. Поступая в окружающую воздушную среду, эти вредные вещества могут загрязнять ее до уровня, превышающего предельно допустимые концентрации (ПДК). Для снижения содержания вредных веществ до ПДК загрязненный воздух удаляют из производственных помещений и разбавляют с помощью механической приточно-вытяжной вентиляции. Необходимое для этого количество воздуха (воздухообмен вентиляции) определяется как соотношение удельного выделения вредного вещества к его ПДК и зависит от марки сварочного материала. Величина воздухообмена вентиляции в какой-то мере может служить мерой токсичности СА, а также показывает, какие объемы воздуха загрязняются до ПДК при применении тех или иных марок сварочных материалов. В отечественной практике расчет воздухообмена вентиляции осуществляется по ведущему токсичному компоненту СА.

Для сравнения и классификации электродов по токсичности образующихся СА Международный институт сварки предложил другой показатель токсичности СА [44, 45], который называется интенсивность воздухообмена (ИВ в $\text{м}^3/\text{ч}$), необходимая для достижения ПДК СА с учетом токсичности входящих в его состав компонентов, а не ведущего токсичного компонента (как принято у нас).

Для определения ИВ сначала рассчитывается ПДК аэрозоля в зоне дыхания сварщика (ПДК_a в $\text{мг}/\text{м}^3$):

$$\text{ПДК}_a = 100 / (C_1 / \text{ПДК}_1 + C_2 / \text{ПДК}_2 + \dots + C_i / \text{ПДК}_i),$$

где C_1 , C_2 , C_i – процентное содержание компонентов в ТССА; ПДК_1 , ПДК_2 , ПДК_i – ПДК отдельных компонентов.

Затем вычисляется ИВ:

$$\text{ИВ} = V_a / \text{ПДК}_a,$$

где V_a – интенсивность образования (выделения) ТССА, г/ч.

Показатель ИВ – величина теоретическая, которая используется только для классификации электродов и интенсивность воздухообмена в рабочем помещении не определяет. В зависимости от величины ИВ электроды могут быть отнесены к одному из семи классов:

Класс	ИВ, м ³ /ч
1	менее 3000
2	3000...7500
3	7500...15000
4	15000...35000
5	35000...60000
6	60000...100000
7	более 100000

Данная классификация позволяет провести сравнительную санитарно-гигиеническую оценку электродов. Однако она имеет существенные недостатки. Поскольку показатель ИВ зависит от интенсивности выделения ТССА, т. е. от диаметра электрода и режима сварки, то электроды разного диаметра могут принадлежать к различным гигиеническим классам. Вместе с тем, данная классификация не может быть международной (по крайней мере, до гармонизации ПДК), поскольку величины ПДК одних и тех же вредных веществ в разных странах существенно отличаются. Поэтому электроды одной и той же марки в разных странах могут принадлежать к разным классам. И еще существенным недостатком предложенной классификации является то, что она не учитывает наличие в СА газообразных компонентов, особенно фтористого водорода и тетрафтористого кремния, которые относятся к вредным веществам первого класса опасности (ГОСТ 12.1.005–88) и, в зависимости от их концентрации в воздухе, могут быть определяющими токсичными компонентами СА.

1.2.2. Сварка под флюсом

При автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом уровень выделения СА на 1...2 порядка ниже, чем при сварке покрытыми электродами и в защитных газах. Источником образования СА являются, главным образом, сам флюс, а также электродная проволока. В то же время слой флюса выполняет роль фильтра, при прохождении через который основной поток СА осаждается и лишь незначительная часть рассеивается в окружающую атмосферу [46].

Уровень выделения СА определяется мощностью сварочной дуги, т. е. зависит от диаметра применяемой сварочной проволоки и, соответственно, режима сварки. Химический состав СА определяется составом флюса и электродной проволоки. Обязательными компонентами

ТССА, образующейся при сварке под флюсами, являются соединения марганца (9...12 %), кремния (3...9 %), железа (30...70 %), а также растворимые и нерастворимые фториды. Кроме того, в составе ГССА присутствуют фтористый водород и тетрафтористый кремний, а также незначительные количества оксидов азота и монооксида углерода [46, 47].

При выполнении сварочных работ с применением флюсов в воздух рабочей зоны, кроме СА, поступает также мелкодисперсная пыль самих флюсов, которая переходит во взвешенное состояние в результате подачи флюса из бункера в сварочную ванну, а также при сборе флюса и засыпании обратно в бункер. По химическому составу эта пыль не отличается от состава флюса.

При сварке под плавленными флюсами концентрация СА и пыли флюса в зоне дыхания сварщика может достигать 3...50 мг/м³, а при использовании керамических флюсов – 50...170 мг/м³. При применении керамических флюсов концентрация растворимых фторидов в воздухе такая же, как и при сварке под плавленными флюсами, а содержание монооксида углерода достигает 400...500 мг/м³ [47]. Причиной этому является наличие в керамических флюсах карбонатов кальция и магния, которые разлагаясь, приводят к образованию больших количеств диоксида и монооксида углерода. Кроме того, технология изготовления керамических флюсов позволяет вводить в них легирующие сплавы (ферромарганец, феррохром и т. д.), что приводит к повышенному содержанию в СА токсичных соединений марганца, хрома и др.

При сварке легированных сталей под флюсами в составе СА может присутствовать никель, шестивалентный и трехвалентный хром. Причем при использовании керамических флюсов концентрация шестивалентного хрома выше, чем при сварке под плавленными флюсами. Это объясняется наличием в керамических флюсах жидкого стекла как связующего, содержащего оксиды натрия и калия, которые связывают нестойкий хромовый ангидрид (CrO₃) в хроматы калия и натрия.

Наиболее вредными компонентами СА, образующихся при сварке под флюсами углеродистых и низколегированных сталей, являются фтористый водород, тетрафторид кремния, растворимые фториды натрия и калия, соединения марганца; при сварке легированных сталей – соединения шестивалентного хрома и никеля.

1.2.3. Механизированная сварка

Химический состав и уровни выделений СА при механизированной сварке в защитных газах зависят от составов сварочной проволоки, защитного газа и режимов сварки. При сварке проволокой типичной марки Св-08Г2С интенсивность выделения ТССА в зависимости от параметров ре-

жима сварки и диаметра электродной проволоки колеблется от 0,2 до 1,6 г/мин, удельные выделения – от 4,6 до 20,3 г/кг проволоки. При этом, несмотря на незначительное содержание марганца в сварочной проволоке (1,8...2,1 %), его содержание в образующейся ТССА достигает 11,1...13,7 %. Концентрация диоксида кремния составляет 7,6...10 %, а железа – 54...85 % [48, 49]. С увеличением содержания легирующих элементов (Mn, Si) в сварочной проволоке их концентрация в ТССА и уровни выделения повышаются [50]. При применении проволок, микролегированных редкоземельными металлами (РЗМ), содержащими незначительные количества церия (0,01...0,03 %) и немного пониженное количество марганца (1,5...1,8 %), уровни выделения ТССА и в ней токсичного марганца снижаются. Этому способствует не только пониженное содержание марганца в проволоке, но и возможность вести сварку током прямой полярности, при которой температура дуги ниже, чем в дуге обратной полярности. Такие преимущества в гигиеническом отношении обеспечивает наличие в проволоке и в порошковой ленте РЗМ [33, 51].

В СА, образующемся при сварке в защитных газах, кроме ТССА, присутствуют также вредные газы в составе ГССА, уровни выделений которых определяются составом защитного газа. При сварке в углекислом газе в воздух рабочей зоны выделяется монооксид углерода (угарный газ) с интенсивностью 0,1...0,2 г/мин и оксиды азота – 0,003...0,015 г/мин [49]. При использовании в качестве защитного газа аргона или его смесей в составе ГССА появляется озон [38, 52].

При механизированной сварке порошковыми проволоками в углекислом газе рутилового (ПП-АН8, ПП-АН10), рутил-флюоритного (ПП-АН9, ПП-АН18), а также самозащитными проволоками карбонатно-флюоритного типов (ПП-АН7, ПП-АН11) образуются СА, содержащие, кроме марганца, кремния, железа, оксидов азота и углерода, также фтористый водород, тетрафтористый кремний, растворимые и нерастворимые фториды. Интенсивность выделения ТССА при сварке этими проволоками выше, чем при применении проволок сплошного сечения, выделение фтористого водорода составляет 16,6...56,7 мг/мин, тетрафтористого кремния – 29,3...78,7 мг/мин [53].

Таким образом, при сварке порошковыми проволоками в зависимости от их составов вредными компонентами СА являются фтористые газы, растворимые фториды и соединения марганца [54].

При использовании хромоникелевых сварочных и наплавочных порошковых проволок, а также наплавочных порошковых лент в составе СА появляются соединения никеля, шестивалентного и трехвалентного хрома, которые в зависимости от их содержания могут быть определяющими токсичными компонентами аэрозоля [55].

При сварке активированной проволокой интенсивность образования ТССА на оптимальных режимах ниже, чем при использовании порошковых проволок и выше, чем при сварке проволокой сплошного сечения типа Св-08Г2С. Содержание марганца в ТССА, образующейся при сварке активированной проволокой ниже, чем в случае применения проволоки Св-08Г2С. Однако в составе таких ТССА появляются легколетучие растворимые и нерастворимые соединения фтора. Наиболее токсичными компонентами СА при сварке активированными проволоками являются соединения марганца и фтора.

1.2.4. Состояние воздушной среды при сварке

Анализ литературных данных по химическому составу сварочных материалов различных видов и марок показал, что при сварке и наплавке в различных цехах и условиях большинство из них сопровождается выделением в воздух рабочей зоны соединений марганца, хрома, никеля, фтора, оксидов азота, монооксида углерода и озона. Применение некоторых видов сварочных материалов связано с выделением оксидов меди, цинка, ванадия, магния, алюминия, кобальта, вольфрама, бора и др. Поступая в окружающую воздушную среду, эти вредные вещества загрязняют значительные объемы воздуха при условии их разбавления до уровня ПДК (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1

*Расчетные воздухообмены
при различных видах сварки для достижения ПДК
в условиях судостроительных цехов [56] воздушная среда [57]*

Виды сварки и используемые материалы	Воздухообмен (м ³ на 1 кг используемого сварочного материала)		
	Минимальный объем	Максимальный объем	Средний объем
Сварка электродами общего назначения:			
Углеродистые и низколегированные стали;	8400	68000	29000
Теплоустойчивые стали;	62000	280000	170000
Жаропрочные стали и сплавы;	34000	89000	63000
Коррозионно-стойкие стали;	65000	92000	73000
Высокопрочные среднелегированные			
Аустенитные стали;	56000	102000	76000
Оцинкованные стали;	150000	350000	250000
Наплавка сталей и чугуна	41000	110000	56000

Виды сварки и используемые материалы	Воздухообмен (м ³ на 1 кг используемого сварочного материала)		
	Минимальный объем	Максимальный объем	Средний объем
Полуавтоматическая сварка в углекислом газе:			
Проволока Св-08Г2С;	–	–	12000
Проволока Св-08Х19Н11Г2С2;	–	–	64000
Проволока Св-16Х16Н25М6	–	–	180000
Сварка в смеси углекислого газа, аргона и кислорода проволокой Св-08Г2С 2 мм	–	–	2400
Сварка алюминия и его сплавов в аргоне и гелии	2200	28000	12500
Сварка или наплавка под плавленными и керамическими флюсами	240	1400	600

Из таблицы видно, что расход 1 кг сварочного материала практически при всех процессах, кроме сварки под флюсом и некоторых других видов сварки, приводит к загрязнению десятков тысяч кубических метров воздуха. Таким образом, из-за применения в сварочных материалах веществ I и II классов опасности в цехах, использующих сварку, создается неблагоприятная.

Результаты обследований воздушной среды сборочно-сварочных цехов на содержание в ней соединений марганца, хрома, фтора, оксидов азота и других веществ показали, что на рабочих местах сварщиков (кроме сварки под флюсом) концентрации этих веществ превышали ПДК. Концентрация марганца при ручной сварке покрытыми электродами и механизированной в углекислом газе выше допустимой в 7...15 раз, оксидов азота в 3...6 раз [56].

1.3. Мероприятия по снижению вредного влияния сварочных аэрозолей на организм

Снижение вредного влияния СА на организм осуществляется применением технологических и санитарно-технических мероприятий, а также применением СИЗОД [58, 59].

Технологические мероприятия заключаются в разработке и применении малотоксичных сварочных материалов [42], уменьшении в составе защитной газовой среды (в случае сварки в защитных газах) содер-

жания углекислого газа [60], выборе режима сварки, обеспечивающего минимальное выделение СА [20, 61, 62].

К санитарно-техническим мероприятиям относятся: организация местной и общеобменной вентиляции, а также применение встроенных в сварочное оборудование отсосов (горелок со встроенным отсосом).

СИЗОД применяются лишь в тех случаях, когда все вышеназванные мероприятия малоэффективны. Тогда для защиты органов дыхания используются респираторы или специальные защитные щитки сварщиков с притоком чистого воздуха в подмасочное пространство.

Снижение уровня выделений и уменьшение токсичности СА технологическими мероприятиями позволяют лишь частично уменьшить содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны до допустимого уровня, поскольку изменение состава сварочного материала и существенное отклонение от заданного режима сварки ограничено требованиями обеспечения высокого качества сварного соединения.

Для обеспечения максимального улучшения условий труда необходим системный подход. Чтобы свести вредность СА к минимуму необходимо сочетать технологические мероприятия с использованием комплекса эффективных средств местной вентиляции и СИЗОД, выбор которых должен производиться в зависимости от способа сварки и условий на рабочем месте. Именно такой подход к решению задачи по улучшению условий труда при сварке рассматривается в настоящей монографии.

1.4 Технологические способы снижения уровня образования сварочного аэрозоля

Для специалистов по сварке особый интерес представляют технологические способы снижения уровня выделения СА путем совершенствования сварочных материалов, технологий, оборудования и выбора соответствующих режимов сварки. Технологические способы снижения вредных выделений при сварке основаны на использовании закономерностей процессов образования СА, обзор которых изложен в подразделе 1.1 и собственной публикации [40].

К факторам, определяющим химический состав и количество выделяющихся СА, в частности при применении распространенных видов дуговой сварки, относят химический состав сварочных материалов и свариваемых металлов, защитных газов и технологические параметры режимов сварки. Поэтому, безусловно, основным способом улучшения гигиенических характеристик сварочных материалов является изменение их химического состава (покрытия и стержня электрода, флюса, сварочной проволоки, защитного газа) и выбор соответствующего режима сварки. Это непростая задача, поскольку главным требованием сварочного процесса

остается все же обеспечение качества и требуемых свойств сварного шва. Этим и обусловлено наличие в составе сварочных материалов токсичных химических веществ (марганца, хрома, никеля, фтора и др.), без которых невозможно обеспечить требуемые свойства сварных соединений. Однако, согласно зарубежным и отечественным публикациям, возможности совершенствования гигиенических характеристик сварочных материалов указанным способом все же имеются и изложены в обзоре диссертанта [63], дополненного результатами собственных исследований.

Рассмотрим влияние состава сварочных материалов на образование СА и оценим возможности снижения их выделений за счет совершенствования состава этих материалов.

1.4.1. Влияние химического состава сварочных материалов на образование сварочного аэрозоля

Поскольку источниками образования СА являются металлический и шлаковый расплавы, то в обеспечении минимального выделения СА основное значение имеют три следующих явления:

- покрытие электрода, флюс или сердечник порошковой проволоки (ПП) подавляют образование СА из металлического расплава;
- покрытие электрода, флюс или сердечник ПП сами по себе являются источниками СА;
- аэрозоль, образующийся из покрытия электрода, флюса или сердечника ПП, химически взаимодействует с аэрозолем из металлического расплава [64].

В процессе сварки электродное покрытие, флюс или сердечник ПП плавятся, образуя шлак, который, выполняя основную функцию защиты металлического расплава от окружающей атмосферы, в то же время препятствует испарению из него летучих легирующих элементов. Поэтому токсичные металлы, такие как марганец, которые всегда необходимы для обеспечения требуемых физико-механических свойств сварного шва, предпочтительнее вводить в проволоку (электродный стержень), чем в электродное покрытие, флюс или сердечник ПП, когда это возможно.

Некоторые летучие составляющие из шлаковой основы (оксиды щелочных металлов и фтористые соединения) легко переходят в СА, тогда как более тугоплавкие оксиды магния, образующиеся из карбоната магния, и оксиды титана переходят в СА в малых количествах. Некоторые компоненты шлаковой основы, особенно карбонат кальция, при сварке разлагаются с образованием углекислого газа, который действует как защитный газовый барьер между окисляющей атмосферой и расплавленным металлом, защищая его от перехода в аэрозоль в результате окисления [64].

Часть СА, образуемая из металлического расплава, может вступать в химическое взаимодействие с компонентами выделяющегося из шлака аэрозоля, образуя соли, силикаты, шпинели и сложные соединения оксидов, в результате чего токсичность СА может усиливаться или ослабляться [28, 65, 66]. Опасным последствием такого взаимодействия между металлическим и шлаковым аэрозолем является появление в СА (в основном при сварке нержавеющей сталей покрытыми электродами, порошковыми проволоками и керамическими флюсами) больших количеств высокотоксичного канцерогенного шестивалентного хрома, который образуется в виде хроматов натрия и калия (Na_2CrO_4 , K_2CrO_4) в результате взаимодействия хрома, присутствующего в стержне электродов, сварочной проволоке и в шлаковой основе, с Na_2O и K_2O из шлаковой основы [23, 64, 67]. Поэтому для уменьшения канцерогенной опасности сварочных материалов необходимо уменьшать содержание щелочных металлов в составе электродного покрытия, флюса и т. п., или же для полного устранения возможного канцерогенного эффекта, сварку металлов, содержащих хром, надо выполнять механизированным способом в защитных газах проволокой сплошного сечения или под плавным флюсом без примесей соединений щелочных металлов.

Согласно зарубежным и данным И.К. Походни [30], химический состав ТССА в основном зависит от содержания в покрытии и электродном стержне компонентов, характеризующихся высокой упругостью паров (марганца, щелочных металлов, фтористых соединений и др.), и от основности образующегося в результате плавления покрытия шлака. Последняя влияет на интенсивность поступления в СА соединений щелочных и щелочно-земельных металлов (K_2O , Na_2O , MgO , CaO). Для уменьшения уровня выделений ТССА необходимо увеличивать кислотность шлака с целью повышения в нем содержания структурообразующих анионов кремния, титана и алюминия, снижающих интенсивность испарения калия, натрия, магния и кальция, и уменьшать содержание карбонатов магния, магнезита, целлюлозы и т. п., а также алюмосиликатов калия и натрия (жидкое стекло, слюда, полевошпат и др.).

Наиболее благоприятными в гигиеническом отношении являются электроды с покрытием рутилового типа [68]. Разработаны высокопроизводительные низкотоксичные электроды марки АНО-1 [69], универсальные электроды марок АНО-3, АНО-4 [70], а также другие электроды с покрытием рутилового типа, предназначенные для замены руднокислых электродов. При применении электродов АНО-1 удельное выделение ТССА (в граммах на 1 кг электродов), в том числе и марганца, снизилось в 4–5 раз по сравнению с электродами ЦМ-7 [69].

При сварке высоколегированными электродами с фтористо-кальциевым покрытием (газо- и шлакообразующая основа $\text{CaF}_2\text{-CaCO}_3\text{-SiO}_2$) основными токсическими компонентами образующегося СА являются соединения хрома, никеля, растворимые и нерастворимые фториды, а также газообразные HF и SiF_4 . При применении электродов с рутил-фтористо-кальциевым покрытием ($\text{TiO}_2\text{-CaF}_2\text{-CaCO}_3\text{-SiO}_2$), в которых значительная часть CaF_2 и CaCO_3 заменена рутилом (TiO_2) уровень выделения твердых и газообразных фторидов в составе СА значительно снижается. Это связано с уменьшением в электродном покрытии доли CaF_2 , а, кроме того, введение в сварочный шлак TiO_2 подавляет выделение летучих фторидов из-за более высокой температуры испарения TiF_4 , чем SiF_4 . Вместе с тем, установлено, что высокопроизводительные электроды, легирующие металл шва через стержень, обеспечивают уменьшение выделений соединений хрома по сравнению с электродами, легирующими металл через покрытие [71].

Рассмотренные закономерности использованы также при совершенствовании гигиенических характеристик порошковых проволок, процесс сварки которыми обычно характеризуется повышенным уровнем выделений вредных веществ (в частности соединений фтора) по сравнению со сваркой проволокой сплошного сечения. Вместе с тем наличие в проволоке шлакообразующего сердечника позволяет выбирать шлаковую основу, обеспечивающую минимальный уровень образования вредных веществ, особенно твердых и газообразных соединений фтора [72].

В работе [67] показано, что интенсивность образования ТССА при механизированной сварке в углекислом газе проволокой сплошного сечения зависит от характера переноса электродного металла и увеличивается с повышением его разбрызгивания. Применение же порошковой проволоки вместо проволоки сплошного сечения позволяет за счет наличия в ее сердечнике шихтовых добавок щелочных металлов, стабилизирующих горение дуги, снижать разбрызгивание электродного металла и тем самым уменьшать уровень выделения ТССА.

В работах [73–76] предложен способ расчета и регулирования токсичности ТССА, образующихся при сварке порошковыми проволоками и проволоками сплошного сечения. Этот способ основан на регулировании (снижении) токсичности ТССА путем ввода в расплав расчетного (на основе установленной математической модели испарения) количества элемента-регулятора, обладающего аномальной (на два-три порядка выше) относительной летучестью его пара и высокой (более 5 мг/м^3) ПДК его аэрозоля. При сварке бронз в качестве элемента-регулятора использовали цинк, а при сварке алюминиевых сплавов – цинк и магний. Расчеты показали, что при введении в порошковую проволоку 0,35 % цинка

требуемый воздухообмен приточно-вытяжной вентиляции можно уменьшить в 8 раз, что примерно соответствует такому же снижению токсичности ТССА, образующейся при сварке данной проволокой.

Усовершенствование составов сварочных флюсов с целью улучшения их гигиенических свойств осуществляли, изменяя его шлаковую основу. Известные высококремнистые марганцевые флюсы АН-348, ОСЦ-45 и АН-60 имеют сравнительно высокую токсичность, обусловленную присутствием в них фтористого кальция в большом количестве. Результаты исследований показали, что эффективным средством снижения выделений летучих фторидов при плавлении флюса является введение в его состав оксида титана вместо некоторого количества фтористого кальция и диоксида кремния, которые вносят основной вклад в общее количество образующегося аэрозоля [77]. При этом снижается уровень выделения ТССА и содержание в его составе фтористого кальция, фтористого водорода и тетрафтористого кремния. Это объясняется более высокой температурой испарения оксида титана и образующихся в результате его взаимодействия с фтористым кальцием тетрафтористого титана, который также имеет повышенную температуру испарения по сравнению с тетрафтористым кремнием. На основе полученных результатов разработали новые серийные флюсы АН-36, АН-64 и АН-65, которые по результатам санитарно-гигиенических и биологических исследований показали значительное преимущество перед флюсами АН-60 и АН-348 [78].

Таким образом, для удовлетворения взаимопротиворечивых требований к качеству шва, достижению высокой производительности труда и обеспечению требуемой чистоты воздуха в рабочем помещении все чаще приходят к компромиссным решениям, позволяющим в определенной мере улучшить и гигиенические характеристики процессов сварки. Уменьшение выделения СА и его токсичности можно достигнуть, изменяя состав сварочного материала, не оказывая отрицательного влияния на сварочный процесс. Это необходимо учитывать на стадии разработки новых материалов или совершенствовании старых, руководствуясь при этом изложенными в данном разделе и обзоре [63] закономерностями.

1.4.2. Влияние способа сварки на образование сварочного аэрозоля

Анализ данных работы [79] по расчетному воздухообмену общеобменной вентиляции, необходимому для разбавления вредных веществ СА до ПДК, по которому можно судить о мере токсичности СА, показывает, что способ сварки (если позволяют требования к качеству сварного шва) существенно влияет на условия труда сварщиков (см. табл. 1.2). Так, например, применение механизированной сварки

в углекислом газе проволокой сплошного сечения Св-08Г2С вместо ручной сварки электродами общего назначения или порошковыми проволоками снижает содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны в среднем более, чем в 2 раза, соответственно уменьшает требуемый воздухообмен вентиляции и применение механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения Св-08Г2С вместо ручной сварки электродами общего назначения или порошковыми проволоками снижает содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны в среднем более, чем в 2 раза, соответственно уменьшает требуемый воздухообмен вентиляции и в 2 раза увеличивает экономический эффект за счет снижения затрат на электроэнергию для вентилирования.

Таблица 1.2

Воздухообмен общеобменной вентиляции

№ пп	Способ дуговой сварки и сварочный материал	Воздухообмен, м ³ /кг
1	Ручная сварка углеродистых и низколегированных сталей электродами общего назначения марок АНО, УОНИ, МР и др.	1800...6600
2	Сварка стали порошковыми проволоками марок ПП-ДСК, ПП-АН и др.	1900...7300
3	Полуавтоматическая сварка в углекислом газе проволоками Св-08Г2С, Св-10Г2-Н2-СНТ, ЭП-245	2000...3100
4	Ручная сварка алюминия в аргоне неплавящимся электродом	1000
5	Полуавтоматическая сварка алюминия в аргоне проволокой типа АМГ	7500...8800
6	Автоматическая сварка стали под плавящимися флюсами марок АН, ФН, ОСЦ-45, 48-ОФ и т. п.	40...400
7	Автоматическая сварка стали под керамическими флюсами марок АНК, ЖС, К, КС	70...1100

Применение механизированной сварки чугуна специальными проволоками на основе сплава меди и никеля вместо ручной сварки покрытыми электродами МНЧ-2 и ОЗЧ-2, содержащими также, кроме указанных элементов, марганец и фтор, позволило снизить интенсивность образования ТССА в 3,4...3,8 раза, марганца в 1,2...3,2 раза, меди в 1,5...1,7 раза, никеля в 3,6 раза, а также избежать поступления соединений фтора в воздух рабочей зоны [80]. При сварке чугуна проволоками на основе железа Св-08 и Св-09Г2С существенно улучшаются гигиенические характеристики СА за счет полного исключения в их составе меди

и никеля. Применении этих проволок уменьшает воздухообмен общеобменной вентиляции в 3,5...28 раз по сравнению со сваркой проволоками на основе меди и никеля, а также проволокой ПАНЧ-11 [81].

Следует также учитывать, что существуют различные способы сварки, не всегда взаимозаменяемые, однако в зависимости от конкретных условий сварки и требований к швам возможен выбор способов, позволяющих существенно улучшить условия труда при сварке.

Для максимального улучшения гигиенических характеристик сварочных процессов необходим системный подход – оптимальное сочетание следующих технологических способов снижения уровней выделения вредных веществ:

1. Применять способы сварки и сварочные материалы, обеспечивающие минимальное выделение СА.
2. Увеличивать содержание структурообразующих анионов кремния, титана и алюминия в составе сварочных шлаков при одновременном уменьшении содержания калия, натрия, магния и кальция. По возможности использовать сварочные материалы со шлаковой основой рутилового типа.
3. Для снижения в составе СА канцерогенного шестивалентного хрома уменьшать содержание оксидов калия и натрия в составе шлакообразующей основы.
4. Ограничивать в составе шлака содержание летучих соединений марганца и фтора.
5. Легировать металл сварного шва путем введения хрома, никеля и марганца в состав стержня электрода, а не в покрытие.
6. Снижать токсичность СА можно введением в состав сварочных материалов определенного количества элемента-регулятора с высокой относительной летучестью пара (на 2–3 порядка выше по сравнению с вредным веществом, содержание которого необходимо уменьшить в составе СА) и высокой (более 5 мг/м³) ПДК.

1.4.3. Влияние вида сварочного оборудования на образование сварочного аэрозоля

Из приведенных закономерностей также следует, что снижать уровень образования ТССА можно путем применения нового поколения источников питания, которые, ограничивая повышение силы тока во время короткого замыкания, уменьшают силу взрыва металлической перемычки между проволокой и сварочной ванной, а также путем применения транзисторных сварочных источников энергии с электронным управлением выходного сигнала, позволяющего управлять переносом электродного металла [67].

1.5. Проблемы вентиляции в сварочном производстве

Как правило, существующие в производственных цехах системы общеобменной вентиляции не обеспечивают требуемой чистоты воздуха. В наиболее неблагоприятных условиях находятся рабочие, занятые процессами ручной и механизированной сварки, наплавки и резки на нестационарных рабочих местах, не оборудованных местной вентиляцией (что характерно для строительства, судостроения и других отраслей). Концентрации вредных веществ в зоне дыхания сварщика в этих случаях намного превышают ПДК. Еще более высокие уровни воздействия на работающих вредных веществ возникают при использовании высокопроизводительных порошковых проволок, а также при сварке высоколегированных сталей и чугуна электродами и проволоками, содержащими хром, никель, медь. В тех случаях, когда сварка выполняется в недостаточно вентилируемых емкостях, отсеках, цистернах и т. д., концентрации токсичных веществ, как правило, на порядок выше [2].

Обеспечение в сборочно-сварочных цехах и на участках сварки требуемой чистоты воздушной среды представляет собой сложную санитарно-техническую проблему. Анализ количественного и качественного состава СА, особенностей их образования и распространения в производственных помещениях показывает, что радикальное решение этой проблемы не может базироваться на использовании одной лишь общеобменной вентиляции. Ее эффективность по снижению содержания вредных веществ в зоне дыхания рабочих до норм ПДК чрезвычайно мала [2, 82, 83].

Рациональным путем удаления СА является применение вытяжных устройств, устанавливаемых на минимальном расстоянии от сварочной дуги, работающих в сочетании с фильтровентиляционными агрегатами, а также (при механизированной сварке) использование горелок со встроенными откосами.

Опыт зарубежных стран показывает, что наиболее эффективными средствами защиты органов дыхания сварщиков являются различные системы местной вентиляции, а в тех случаях, когда их применение недостаточно эффективно или невозможно, используют СИЗОД, в частности, шланговые защитные маски сварщика с подачей чистого воздуха в зону дыхания, изолирующие автономные защитные маски и респираторы [84].

В Украине и других странах СНГ также наметилась тенденция к освоению эффективных средств защиты рабочих, выполняющих сварочные процессы.

1.5.1. Системы вентиляции при сварке

При естественной вентиляции проветривание помещения осуществляется через открытые окна и двери. Такая система экономична, однако проблему удаления вредных веществ из производственного помещения решает не полностью. К тому же она характеризуется большими потерями тепла [85].

Общеобменная механическая вентиляция основана на удалении воздуха из помещения с помощью осевых вентиляторов и поступлении его обратно через окна. Этот вид вентиляции не требует больших капитальных затрат, однако при его применении СА распространяются по всему цеху, проникая в органы дыхания работающих [86].

Общеобменная вентиляция с рециркуляцией по эффективности аналогична предыдущей. Ее преимуществом является снижение потерь тепла за счет возвращения очищенного в фильтрах воздуха в то же помещение.

Местная вытяжная вентиляция с настенными гибкими местными отсосами основана на удалении СА непосредственно от места их образования. Таким образом предотвращается распространения СА по всему помещению и его поступление в зону дыхания работающих [87]. Основным необходимым условием для обеспечения эффективного улавливания СА местной вытяжной вентиляцией является то, что расход воздуха, проходящего через воздухоприемные воронки диаметром, как правило, 125...160 мм, должен составлять 600...1000 м³/ч [88]. Преимуществом этого способа вентиляции является высокая эффективность улавливания вредных веществ при сравнительно небольшом объеме удаляемого воздуха. Поэтому такое решение оправдано и с экономической точки зрения. Чтобы достигнуть тех же результатов общеобменной вентиляцией, необходимы гораздо большие затраты, связанные с вентилярованием, а в холодное время и с подогревом значительных объемов воздуха [89, 90].

Экономическая эффективность средств местной вытяжной вентиляции, оснащенных фильтрующими элементами, возрастает за счет рециркуляции очищенного воздуха и соответствующего сокращения объема вентилируемого воздуха, а также его подогрева [89]. Вместе с тем применение местной вентиляции для обеспечения требуемой чистоты воздушной среды позволяет на 10...20 % увеличить производительность труда [88], снизить уровень заболеваемости и связанные с этим расходы в здравоохранении и социальной сфере [6, 91].

Недостатком устройств местного отсоса является необходимость расположения их (для эффективного улавливания) на расстоянии 25...50 см от места сварки. Поэтому, с учетом видов свариваемых конструкций, такая вентиляция не всегда применима. Кроме того, эту си-

стему трудно смонтировать в большом помещении при значительном удалении сварочных постов от стен [84].

Передвижные фильтровентиляционные агрегаты (ФВА) позволяют удалять загрязненный воздух из мест сварки, очищать и возвращать его обратно. Они не требуют проведения монтажных работ, могут перемещаться в любое место цеха, отличаются высокой степенью улавливания вредных веществ, экономят энергию за счет рециркуляции воздуха [89, 92, 93]. Неудобство их использования заключается в том, что фильтрующие элементы периодически необходимо очищать, промывать или заменять новыми [94].

1.5.2. Виды вентиляционного оборудования

В настоящее время выпускаются различные средства местной вентиляции. Широкое распространение нашли переносные вентиляторы с гибкими шлангами, передвижные ФВА, портативные переносные ФВА, отсосы, встроенные в сварочное оборудование.

Выбор объема удаляемого воздуха, конструкции местного отсоса, метода очистки воздуха, а также оптимальная стоимость оборудования зависят от способа сварки, вида и марки сварочных материалов, размеров и формы свариваемого изделия, объема помещения цеха, количества сварочных постов и ряда других факторов.

Основными обязательными компонентами всех систем местной вентиляции являются вентилятор, воздуховод, воздухоприемная воронка и фильтр.

Вентиляторы, применяемые при местном отсосе, должны иметь большую производительность при достаточно высоком давлении воздуха и низких затратах электроэнергии. В зависимости от типа местного отсоса используются трех- или однофазные электродвигатели мощностью от 0,37 до 2,2 кВт производительностью от 1400 до 4800 м³/ч [95].

В качестве воздуховодов для местного отсоса и передвижных ФВА применяются гибкие шланги диаметром 120...250 мм из огнестойкого материала (полиамидная ткань или стекловолокно со специальной пропиткой). Внутренние звенья воздуховодов изготавливаются из алюминиевых труб. Для портативных переносных ФВА используются более тонкие шланги.

Существует много вариантов установки устройств местного отсоса при помощи специальных опор и рычагов, позволяющих перемещать приемную воронку в различные положения [96–98].

Для очистки воздуха, загрязненного СА, используется ряд устройств, основанных на разнообразных механизмах фильтрации и имеющих самые различные параметры. Методы очистки воздуха

от СА во многом напоминают очистку, применяемую для нейтрализации вредных выбросов литейного производства и при сжигании топлива в аппаратах с псевдоожиженным слоем [99–101], а также специальные методы обеспыливания, основанные на осаждении пыли в производственных условиях [102, 103]. По методу очистки фильтрующие элементы, применяемые в системах местной вентиляции и ФВА, классифицируются следующим образом: механические, химические, электростатические и комбинированные [94]. Критерии оценки конструкции устройства местного отсоса или ФВА зависят от производительности агрегата, потребляемой мощности, массы и степени очистки воздуха. При производительности ниже $700 \text{ м}^3/\text{ч}$ целесообразно использовать переносные ФВА. Наиболее эффективными являются передвижные ФВА производительностью от 1000 до $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ с механическим способом очистки. Производительность $2000 \dots 5000 \text{ м}^3/\text{ч}$ в настоящее время имеют лишь электрофильтры [98].

Для механической фильтрации воздуха обычно используются волокнистые материалы. Этот вариант наиболее прост и универсален [104, 105]. Он дает возможность полностью улавливать любые аэрозоли и обеспечивает надежную очистку воздуха [106, 107]. Однако такие фильтры необходимо периодически очищать или заменять, что вызывает некоторые неудобства.

Электростатические фильтры по сравнению с волокнистыми более долговечны и позволяют существенно сократить расходы на фильтрующие материалы. Принцип их работы основан на осаждении заряженных частиц аэрозоля в электростатическом поле. Степень улавливания при использовании таких фильтров составляет $87 \dots 93 \%$ [86].

Химические методы очистки воздуха основаны на улавливании вредных газов зернистыми адсорбирующими [108, 109] или волокнистыми сорбционно-фильтрующими материалами [110].

Наиболее высокую эффективность имеют применяемые в местных передвижных устройствах отсоса механические трехступенчатые фильтры. На первой ступени производится улавливание крупных частиц с помощью сетчатого металлического фильтрующего элемента. На второй, благодаря использованию высокопроизводительных фильтрующих материалов, происходит улавливание более мелких частиц. Третья ступень за счет оборудованной системы фильтров с большой рабочей поверхностью позволяет увеличить степень улавливания до $99,97 \%$ [111].

В трехступенчатом комбинированном фильтре крупные частицы улавливаются в металлическом сетчатом элементе предварительной очистки. Более мелкие частицы заряжаются в ячейке ионизатора, а за-

тем оседают на пластинах осадительной ячейки. Вредные газы, находящиеся в воздухе, адсорбируются в активированном угольном фильтре, размещенном за осадительной ячейкой [111].

Наиболее распространены двухзонные электрофильтры, в которых процессы зарядки и осаждения частиц аэрозоля пространственно разделены, что позволяет достичь высоких значений напряженности электрического поля в зоне осаждения (до 6...7 кВ/см) и повысить эффективность улавливания высокодисперсных систем [112]. При использовании комбинации механического и электростатического фильтров со специальным патроном, содержащим активированный уголь, достигается наибольший эффект. Для облегчения своевременной замены и очистки фильтры выполнены разборными и сменными [113].

Ведущее место в мире по выпуску вентиляционного оборудования занимают зарубежные фирмы «Nederman», ESAB, «Kemper» и др. Они предлагают широкий выбор различных видов устройств местного отсоса, передвижных и переносных ФВА, вентиляционных агрегатов различной производительности и фильтров [94].

Наиболее универсальными и удобными эксплуатации являются передвижные ФВА большой производительности (800...1200 м³/ч) с механическими и (1200...1600 м³/ч) электростатическими фильтрами. Они сочетают большой расход удаляемого воздуха с высокой степенью очистки (99 %), улавливают СА на расстоянии 30...50 см от места сварки на площади 0,5...1,0 м² [88].

Механические фильтры этих агрегатов состоят из трех ступеней: алюминиевого фильтрующего элемента предварительной очистки, бумажного со степенью улавливания 99 % и из активированного угля для очистки от вредных газов [95].

В ФВА с электрофильтрами крупные частицы аэрозоля улавливаются в алюминиевом фильтре, более мелкие частицы заряжаются в ячейке ионизатора, находящейся под напряжением 8000 В, а затем оседают на пластинах осадительной ячейки, к которой подведено напряжение 6000 В. После загрязнения фильтр промывают [88].

Портативные переносные ФВА производительностью 100...400 м³/ч могут быть отнесены к классу ФВА малой производительности. ФВА данного класса являются самым дешевым средством удаления и очистки воздуха от СА. Они имеют механический бумажный фильтр и могут быть дополнительно укомплектованы фильтрующим элементом из активированного угля. Воздухоприемники агрегата снабжены магнитными держателями, которые можно легко перемещать в необходимое положение, что позволяет удалять вредные вещества непосредственно из зоны сварки [88].

Аналогичное оборудование выпускает совместное российско-шведское предприятие «Совплим» (г. Санкт-Петербург) [95].

В Украине имеются разработки некоторых видов ФВА. Наиболее известные «Мрія-1» и «Мрія-2», разработанные инженерным центром «Экология в сварочном производстве» Физико-химического института защиты окружающей среды и человека Министерства образования и НАН Украины (ФХИЗОСич) в г. Одессе совместно с ИЭС им. Е.О. Патона, а также «Бриз» и «Киев», созданные в ОКБ Киевского института медицины труда [94].

Переносные малогабаритные ФВА моделей УФП1-У2М («Мрія-1») и УФП2-УХЛ4 («Мрія-2») предназначены для очистки воздуха от ТССА и газообразных соединений фтористого водорода и тетрафтористого кремния, выделяющихся при использовании сварочных материалов, которые содержат в своем составе фтористый кальций и другие соединения фтора. Очистка воздуха от ТССА в этих установках основана на его механической фильтрации через слой противоаэрозольного материала типа ФП, а газообразных фторидов – через второй слой из композиционного сорбционно-фильтрующего ионообменного материала. ФВА «Мрія-1» имеет пневматический побудитель тяги (эжектор), работающий от системы сжатого воздуха с давлением $(3...5) \times 10^5$ Па. В ФВА «Мрія-2» применяется электровентилятор мощностью 0,6 кВт. Производительность установки составляет не менее $100 \text{ м}^3/\text{ч}$, степень очистки воздуха от ТССА 99,9 %, масса – 16 кг [114].

ФВА «Бриз» по техническим характеристикам несколько отличается от установок модели «Мрія-1». В них в фильтрующей блоке использовано постоянное магнитное поле, притягивающее частицы СА, осаждаемые на лавса-новую ткань, что обеспечивает степень очистки от ТССА не менее 95 % [115].

ФВА моделей «Киев-1» и «Киев-2» относятся к классу передвижных установок большой производительности ($100 \text{ м}^3/\text{ч}$). Они имеют специальную сбалансированную рычажную систему, позволяющую легко перемещать воздухозаборную воронку в пространстве и фиксировать в требуемом положении [84].

Эффективным направлением улучшения состояния воздушной среды при механизированной сварке в защитных газах является использование горелок со встроенным отсосом, которые целесообразно применять при сварке в труднодоступных местах или при сварке изделий, конструкция которых не позволяет использовать другие типы устройств для отсоса.

При разработке такого оборудования учитывается не только эффективность удаления вредных веществ, но и взаимодействие вытяжной

и газозащитной струй, влияющее на эффективность газовой защиты сварочной ванны. Установлено, что оптимальной конструкцией, обеспечивающей как хорошую газовую защиту зоны сварки, так и эффективное улавливание СА, является устройство, выполненное в виде цилиндрического сопла, расположенного снаружи газозащитного сопла коаксиально к нему [116]. Образующийся при сварке аэрозоль всасывается воздухоприемником горелки, расположенным на некотором расстоянии от среза сопла для подачи защитного газа. Транспортировку запыленного воздуха производят по гибкому шлангу диаметром 28...38 мм, подключенному к побудителю тяги, в качестве которого могут использоваться централизованная вытяжная высоковакуумная система или индивидуальный ФВА, обеспечивающие разрежение порядка 18...20 кПа [86].

В зависимости от конструктивного исполнения аспирационных устройств горелки с отсосом могут быть трех типов: присоединенные к сварочным горелкам (с полностью автономными коммуникациями), встроенные в сварочную горелку (с полностью совмещенными коммуникациями), комбинированные (с частично разделенными коммуникациями). Основным требованием к устройствам такого типа является необходимость удалять с места сварки не менее 75 % образующегося СА [117].

Для того чтобы не нарушалась газовая защита сварочной ванны, скорость движения воздуха у места выделения СА не должна превышать 0,5...0,6 м/с при сварке в углекислом газе порошковой проволокой и проволокой сплошного сечения и 0,2...0,3 м/с при сварке в аргоне [118].

В настоящее время нашли широкое применение сварочные горелки с асимметричным кольцевым воздухоприемником, разработанные в ОКБ «Гигиена и экология» Киевского НИИ медицины труда, и с кольцевым симметричным воздухоприемником, созданные в НИКТИстальконструкция (Россия). В ЦНИИКМ «Прометей» (Россия) разработана специальная методика конструирования горелок со встроенным отсосом и на ее основе созданы образцы горелок на различные сварочные токи. Испытание этих горелок показало устойчивую работу в сочетании с хорошим качеством сварных соединений и эффективным удалением вредных веществ из зоны сварки до требуемых санитарных норм [119].

В ФХИЗОСиЧ разработана горелка с отсосом СА типа ГСЛ-315М, предназначенная для механизированной сварки в углекислом газе. Горелка эксплуатируется в комплекте с полуавтоматом типа А-547У и другими. Производительность отсоса горелки – 50...60 м³/ч, коэффициент локализации СА – не менее 80 %, масса горелки с отводящими магистралями – 4 кг [120].

1.5.3. Перспективы развития средств вентиляции

Анализ литературы, посвященной современным средствам вентиляции, свидетельствует о том, что наиболее перспективным направлением в этой области является обеспечение местного удаления СА, т. е. создание местных вытяжных устройств, передвижных и переносных ФВА, встроенных в сварочное оборудование устройств отсоса, фильтров для улавливания СА.

При этом важной особенностью их является то, что применение ФВА и других устройств местного отсоса с фильтром позволяют решить не только гигиенические проблемы (защита органов дыхания сварщиков от вредных веществ), но и экологические – избавить производственную и окружающую среду от вредных выбросов сварочного производства.

Недостатком существующих отечественных ФВА является то, что применяемые в них фильтры очищают воздух преимущественно от ТССА и лишь некоторые отдельные марки ФВА – от вредных веществ ГССА. Поэтому актуальной остается задача разработки новых фильтров и ФВА, очищающих воздух сварочных цехов как от ТССА, так и от вредных газов. Это даст возможность использовать рециркуляцию воздуха в производственных цехах.

Еще один недостаток имеющихся фильтров заключается в необходимости их периодической регенерации, что создает определенные неудобства. Поэтому важными требованиями к новым разработкам являются необходимость повышения срока службы фильтров и простота их обновления. В этом отношении определенные преимущества имеют электростатические фильтры. В поисках новых фильтров для улавливания токсичных газообразных компонентов СА предпочтение следует отдавать сорбционно-фильтрующим, а также каталитическим материалам. Для очистки воздуха от токсичного монооксида углерода целесообразно применять его низкотемпературное каталитическое доокисление до безвредного углекислого газа. Кроме того, для улавливания вредных газов целесообразно использовать природные зернистые минеральные материалы.

Как показал опыт, многообразие условий труда в сварочном производстве требует применения ФВА различной производительности. Перспективными являются разработка и применение ФВА большой производительности (не ниже $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$). ФВА малой производительности (около $100 \text{ м}^3/\text{ч}$) хотя и имеют ограниченную область применения, однако являются экономически выгодными. Наиболее целесообразно их применять в комплекте с горелками, оснащенными аспирационным

устройством, при механизированной сварке. По-прежнему актуальной задачей остается разработка соответствующего аспирационного устройства для существующих и новых горелок полуавтоматов, обеспечивающих требуемые эргономические характеристики.

Для особо опасных условий труда сварщиков (замкнутых пространств), где невозможно применение ФВА и других крепящихся местных отсосов, необходимы переносные вентиляционные агрегаты производительностью 2500...3000 м³/ч, оснащенные гибким воздуховодом, которые гарантируют также и электробезопасность сварщиков [94, 121].

1.6. Проблемы индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков

Выбор типа средств защиты органов дыхания сварщиков от вредного воздействия СА определяется конструктивными особенностями свариваемого изделия, оснащением места сварки и его расположением. Если особенности рабочего места и свариваемой конструкции не позволяют использовать устройства местного отсоса, передвижные и переносные фильтровентиляционные установки, вентиляторы или сварочное оборудование со встроенным отсосом, то для исключения влияния вредных веществ СА на организм сварщика используют СИЗОД [122]. Особую актуальность применение СИЗОД приобретает при сварке в труднодоступных местах и в замкнутых пространствах (трюмах судов, цистернах, резервуарах и т. д.).

1.6.1. Назначение и классификация средств индивидуальной защиты органов дыхания

По принципу действия СИЗОД разделяются на две группы: фильтрующие (респираторы и противогазы), при использовании которых вдыхаемый человеком воздух очищается от вредных примесей с помощью фильтров или сорбентов, и изолирующие (шланговые и автономные дыхательные аппараты), способствующие изолированию органов дыхания человека от вредного воздействия окружающей среды (чистый воздух для дыхания в этом случае поступает из источника дыхательной смеси). По способу подачи воздуха шланговые СИЗОД делятся на самовсасывающие и аппараты с принудительной подачей чистого воздуха в подмасочное пространство (зону дыхания) с помощью воздуходувок, вентиляторов или систем сжатого воздуха после его предварительной очистки. К изолирующим СИЗОД относится также маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания [123, 124].

В зависимости от назначения фильтрующие СИЗОД в соответствии с ГОСТ 12.4.034–85 различают противогазовые (ФГ), служащие для защиты от паров и газообразных веществ, противопылевые (ФП),

предназначенные для защиты от различных аэрозолей (дымы, пыли, туманы), а также газопылезащитные (ФГП), применяемые в условиях одновременного содержания в воздухе газов, паров и аэрозолей различных веществ. СИЗОД должны удовлетворять также требованиям ГОСТ 12.4.174–87 – по следующим характеристикам: эффективности защиты, надежности эргономике, техническому совершенству, а также показателям стандартизации и унификации [123].

1.6.2. Фильтрующие средства индивидуальной защиты органов дыхания

Основным требованием к респираторам является обеспечение в течение всего времени их эксплуатации очистки вдыхаемого воздуха от вредных веществ до концентраций, не превышающих предельно допустимые. Сопротивление дыханию является важнейшей аэродинамической характеристикой респираторов и их конструктивных элементов: оно определяется перепадом давления до и после фильтрующего материала, находящегося в потоке воздуха [125]. В качестве физиолого-гигиенической характеристики сопротивления дыханию представляет собой переменную величину, связанную с легочной вентиляцией, структурой дыхательного цикла, тяжестью выполняемой работы, а также с влиянием на дыхание состояния окружающей среды и конструктивных особенностей респираторов. Если в используемых респираторах нормы сопротивления вдоху (100 Па) и выдоху (70 Па) согласно ГОСТ 12.4.041–78 соблюдаются, то они не вызывают существенных изменений в структуре дыхательного цикла и, следовательно, не препятствуют выполнению работы со значительными физическими нагрузками. Хороший респиратор должен эффективно защищать органы дыхания и не затруднять дыхание. Эту задачу удалось решить путем использования в респираторах фильтрующего материала ФПП-15-1,5, называемого «фильтром И.В. Петрянова». Такой материал применен в респираторах типа «Лепесток» [126].

Получили развитие патронные противоаэрозольные респираторы с резиновыми полумасками и фильтрами типа КУГ из материала ФП: «Астра-2», Ф-62, Ф-62Ш, РУ-60М. Разработаны фильтрующие полумаски многократного применения со сменными фильтрами: РП-К, «Снежок-К», «Снежок-КМ», «Снежок-КУ» и «Снежок-КУ-М» [124].

Область применения респиратора той или иной марки определяется главным образом химическим и дисперсным составом аэрозолей, а также их концентрацией в воздухе рабочей зоны. При электродуговой и газовой сварке в основном применяют респиратор марки «Лепесток-200». В случае использования этого респиратора для защиты от СА при его

концентрации 100 мг/м^3 сопротивление респиратора практически не изменяется в течение 3 часов [126].

Существенным недостатком респираторов типа «Лепесток» по отношению к СА является то, что они не могут очищать воздух от вредных газообразных веществ СА (оксидов углерода и азота, а также озона и фтористых газов). Для этих целей разработаны газопылезащитные респираторы модели «Снежок-ГП». Их отличительными особенностями является наличие, кроме противоаэрозольного фильтра из материала типа ФП, дополнительного противогазового фильтра из комбинированного волокнистого материала ИВМ, а также возможность оснащения клапаном выдоха [123].

Инженерным центром «Экология в сварочном производстве» (ФХИЗОСич, г. Одесса) при участии ИЭС им. Е.О. Патона, Института охраны труда (г. Санкт-Петербург) и других организаций налажено серийное производство респираторов «Снежок ГП-В». Эти универсальные фильтрующие респираторы предназначены для индивидуальной защиты органов дыхания от аэрозолей и газообразных соединений (фтористого водорода и четырехфтористого кремния). Они могут применяться в условиях сварочного производства, особенно при работе с электродами и порошковыми проволоками фтористо-кальциевого типа, а также фторсодержащими флюсами, когда воздух загрязняется газообразными фтористыми соединениями [127].

В последнее время в ФХИЗОСич разработаны новые респираторы аналогичного назначения (для защиты от СА) с облегченными формированными полумасками «Снежок ФГП-В», а также «Снежок ГП-озон» и «Снежок ФГП-озон» [128–130]. В конструкциях последних двух марок респираторов используется катализатор низкотемпературного разложения озона. Поэтому такие респираторы могут применяться для защиты органов дыхания сварщиков, занимающихся аргонодуговой сваркой алюминиевых сплавов и другими способами сварки в защитных газах, при которых в воздухе рабочей зоны образуется озон.

1.6.3. Изолирующие защитные маски сварщиков

Шланговые и автономные изолирующие защитные маски имеют ряд преимуществ перед СИЗОД фильтрующего типа. Воздух подается в лицевую часть маски в количестве, обеспечивающем постоянное избыточное давление, что исключает подсос в зону дыхания воздуха, загрязненного токсическими веществами. При этом лицо работающего омывается струей чистого воздуха, что при высоких температурах обеспечивает требуемые микроклиматические условия для теплосъема. Отработанный воздух выходит наружу через неплотности. В отличие

от респираторов в подмасочном пространстве таких устройств отсутствует сопротивление дыханию, а содержание углекислого газа во вдыхаемом воздухе невелико. Подача свежего воздуха предупреждает запотевание стекол маски. Период действия этих средств защиты ничем не ограничивается, кроме физиологических возможностей работающих в них [123].

Конструктивные особенности масок сварщика с системой подачи чистого воздуха в зону дыхания predeterminedenы необходимостью защитить органы дыхания от вредных веществ СА, а глаза – от ультрафиолетового, видимого и инфракрасного излучений. Их основные параметры следующие: температура подаваемого воздуха – 12...25 °С; относительная влажность воздуха – 50...60 %; расход подаваемого воздуха – 100...200 л/мин [121, 124].

Составными частями таких устройств являются защитная маска сварщика, фильтрующий элемент, побудитель подачи воздуха и соединительный шланг.

По способу подачи воздуха в подмасочное пространство различают следующие системы: стационарные для очистки и подачи воздуха; портативные с вентилятором и фильтром, устанавливаемыми на поясе сварщика или на маске; централизованные, с подачей и очисткой воздуха от сети сжатого воздуха [131–148].

Маска должна иметь светофильтр, защищающий глаза от излучения сварочной дуги; причем в ее конструкции следует предусматривать возможность наблюдения за подготовительными операциями при выполнении сварки без подъема маски. В зависимости от этого разработаны такие виды масок: со светофильтром на жидких кристаллах с управляемой переменной оптической плотностью (автоматическое затемнение); со светофильтром на основе поликарбонатов с переменной оптической плотностью; с откидывающимся светофильтром постоянной оптической плотности [121, 124].

Рассмотрим отдельные типичные образцы указанных средств индивидуальной защиты. Наиболее эффективными и удобными в эксплуатации являются маски со светофильтром на жидких кристаллах с автоматической системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания. Общеизвестны маски «Speedglas Fresh Air» [131] фирмы «Hornell Speedglas Ins.» (США), «Airstream» [132] фирмы «Racal» (Великобритания), «Fresh Air Unit» [133] фирмы «Nederman» (Швеция) и др., обеспечивающие надежную защиту глаз, лица и органов дыхания сварщика. Принцип действия применяемого в таких масках светофильтра основан на изменении его коэффициента пропускания (прозрачности фильтра) при зажигании сварочной дуги [134, 135].

Что касается системы подачи чистого воздуха под маску, то наибольшее распространение за рубежом нашли автономные системы, крепящиеся на поясе сварщика. Такие системы состоят из электрического побудителя тяги, подающего воздух под маску, фильтрующего блока для очистки загрязненного сварочными аэрозолями воздуха, забираемого из рабочей зоны сварщика, и гибких шлангов, соединяющих систему очистки и подачи воздуха с защитной маской [133, 139].

Широко используются также маски, к которым поступает воздух от внутрицеховой компрессорной системы. Комплект включает герметичную маску; фильтр с активированным углем для очистки воздуха от примесей; редуктор, подсоединенный к магистрали со сжатым воздухом; предохранительный клапан, спускающий воздух из маски при его избыточном давлении; индикаторное устройство, позволяющее определять степень загрязнения активированного угля в фильтре, и поясной ремень, на котором смонтированы все перечисленные элементы [139, 143].

Анализ работ [149–152] дал возможность определить следующие основные требования к конструкции маски, применяемой в системах подачи воздуха в зону дыхания:

- струя воздуха под щитком должна распределяться симметрично относительно носа и рта сварщика;
- скорости воздушных струй, исходящих из различных точек воздухораспределительного устройства, должны быть одинаковыми во избежание эжекционного эффекта;
- для создания требуемого избыточного давления воздуха под маской, препятствующего проникновению под нее сварочного аэрозоля, расход подаваемого воздуха должен составлять не менее 200 л/мин. Однако с учетом физиолого-гигиенических требований к маске оптимальной является подача воздуха под маску со скоростью 100...200 л/мин [121].

По последним данным [153] Киевского института медицины труда АМН Украины для обеспечения норм микроклимата расход подаваемого воздуха должен составлять 30...40 л/мин. В зависимости от конструкции маски расход подачи воздуха в зону дыхания может быть и больше.

1.6.4. Перспективы развития средств индивидуальной защиты органов дыхания

Анализ литературы, посвященной СИЗОД сварщиков от СА, позволяет выделить два основных направления в решении этой проблемы: применение фильтрующих респираторов; использование масок сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания.

Первое из них – более простое, однако из-за не совсем удовлетворительных характеристик респираторов в физиологическом отношении (сопротивление дыханию) длительность их применения ограничена. Респираторы целесообразно использовать лишь в тех случаях, когда невозможно применять другие, более удобные средства защиты от СА.

Второе направление лишено этих недостатков. Применение защитной маски с системой подачи очищенного воздуха позволяет наиболее эффективно защищать органы дыхания от СА и обеспечивать необходимые физиологические требования к СИЗОД.

Фильтры, применяемые в таких системах, должны иметь низкое аэродинамическое сопротивление, очищать воздух как от твердых частиц СА, так и от вредных газообразных компонентов (оксидов углерода и азота, а также озона, фтористого водорода, тетрафтористого кремния и др.). Система подачи воздуха должна быть портативной и крепиться на поясе сварщика, иметь небольшую массу, значительную емкость фильтра, высокую производительность нагнетания воздуха и автономную систему электрического питания вентилятора. Что касается защиты органов зрения этими масками, то необходимы различные конструкции устройств: с подвижным и открывающимся светофильтром, с переменной оптической плотностью, с комбинацией темного и прозрачного светофильтра [121, 124].

Выводы по главе 1

Результаты изучения имеющейся литературы по проблемам защиты сварщиков и окружающей среды от воздействия СА позволяют сделать следующие выводы:

1. СА, представляющий опасность для здоровья работающих, образуется в результате испарения расплавленного металла и шлака, окисления и конденсации образовавшегося пара в твердые частицы при выносе его из зоны дуги в окружающую атмосферу, а также в результате образования газов из защитной атмосферы и воздуха при воздействии на них сварочной дуги.
2. Основным источником паров, из которых образуется ТССА, находится на торце электрода. Химический состав образующейся ТССА обусловлен испарением капель расплавленного металла, отрывающихся от торца электрода.
3. Скорость образования паров металла при высокой температуре зависит от упругости пара его компонентов, температуры поверхности испарения, а также от ее площади.
4. Состав пара зависит от вида испарения металла, определяемого характером переноса электродного металла через дуговой промежу-

- ток. Различают фракционный вид испарения, при котором образуется аэрозоль, состав которого определяется парциальными давлениями паров его компонентов и богат фракцией более летучих компонентов, а также нефракционный – когда состав аэрозоля не зависит от упругости паров компонентов и подобен составу применяемого электрода.
5. Количество выделений и химический состав аэрозоля в целом зависят от составов сварочного материала, защитной атмосферы и от режима сварки. Однако влияние этих параметров на состав СА изучено недостаточно.
 6. Наиболее простым способом уменьшения количества выделений СА является подбор соответствующего режима сварки. Однако до сих пор для электродуговой сварки слабо изучена количественная зависимость выделений СА от режима сварки. Отсутствуют физические объяснения влияния режима сварки и состава защитного газа на количество выделений СА.
 7. Имеющиеся литературные данные свидетельствуют об отсутствии надежной системы прогнозирования составов ТССА в зависимости от составов сварочных материалов и не установлены зависимости ее химического состава от режима сварки. Существующая математическая модель, основанная на избирательном испарении элементов расплава, довольно приблизительно описывает состав ТССА, поскольку не учитывает отличительные особенности испарения при дуговом процессе, т. е. фракционное и нефракционное испарение.
 8. Из обзора литературы следует, что процессы образования СА при дуговой сварке изучены недостаточно, а вытекающие из этого рекомендации по снижению выделений СА далеко не совершенны.
 9. Применяемое до настоящего времени отечественное вентиляционное оборудование имеет малую эффективность удаления загрязненного аэрозолем воздуха из производственных цехов, а применяемые в нем фильтрующие материалы не очищают воздух от вредных компонентов ГССА.
 10. Отсутствуют эффективные шланговые и автономные СИЗОД с принудительной подачей чистого воздуха под щиток сварщика, а также горелки с отсосом аэрозоля для сварочных полуавтоматов.
 11. Отсутствует классификация СА и способов сварки, при которых они образуются, по химическому составу, что не позволяет производить адекватный выбор соответствующих методов и средств нейтрализации СА.

Глава 2

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ниже изложены методики исследований, применявшиеся в работе для определения уровней выделений, химического состава СА, оценки фильтрующих характеристик материалов, применяемых в ФВА для очистки воздуха от СА, и для испытаний сварочных горелок с отсосом СА.

Исследование уровней выделения СА проводилось методом полного и частичного их улавливания на основе общепринятых методик [154, 155], усовершенствованных применительно к конкретным способам сварки, а также по новой ускоренной компьютеризованной методике.

2.1. Методика исследования уровней выделения и химического состава сварочных аэрозолей

Настоящая методика необходима для первичной гигиенической оценки сварочных материалов и способов сварки при выборе материала, обеспечивающего наиболее низкий уровень выделения вредных веществ СА в воздух рабочей зоны.

Согласно общепринятым методическим указаниям [154] уровни выделения СА характеризуются двумя показателями: интенсивностью образования аэрозоля и его удельным выделением. Под интенсивностью образования СА понимают интегральное количество компонентов ТССА и ГССА, отнесенное к длительности процесса сварки при условии полной локализации и улавливания этих составляющих. Удельное выделение СА характеризует общее количество ТССА и ГССА, отнесенное к массе израсходованного сварочного материала.

Принятые в настоящей методике обозначения приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Основные обозначения, принятые в настоящей методике

Обозначение	Единица измерения	Показатель
V_a	г/мин	– интенсивность образования ТССА;
G_a	г/кг	– удельное выделение ТССА;
V_i	г/мин	– интенсивность образования i -го элемента (компонента) СА;
G_i	г/кг	– удельное выделение i -го элемента (компонента) СА;

Обозначение	Единица измерения	Показатель
C_i	% мас.	– концентрация i -го элемента СА;
G_p	кг/мин	– производительность расплавления сварочного материала;
q	кг/м	– масса 1 м сварочной проволоки;
$V_{эл}$	м/ч	– скорость подачи сварочной проволоки;
t	с	– длительность процесса опытной сварки;
m_1	г	– масса фильтра до осаждения ТССА;
m_2	г	– масса фильтра после осаждения ТССА;
N_i	мг	– массовое количество i -го газа, поглощенного в жидкости-сорбенте
X_i	мг	– массовое количество i -го иона в поглотительном приборе
K_i	мг	– аналитически определенное количество i -го иона искомого вещества в растворе жидкости-сорбенте
V	см ³	– объем жидкости-сорбента в поглотительном приборе
a_i	см ³	– объем жидкости-сорбента, взятой для аналитического определения количества i -го иона в растворе
P_i	относительная единица	– коэффициент пересчета массового количества i -го иона на соответствующее соединение
W	м ³ /мин	– расход воздуха, удаляющего СА из зоны сварки
ω	м ³ /мин	– расход воздуха, пропускаемого через поглотительный прибор

Понятие химический состав СА включает в себя информацию о количественном содержании в аэрозоле отдельных химических элементов или соединений.

Определение интенсивности и удельного выделения ТССА осуществляется весовым методом. ТССА осаждается на фильтры при условии полной фильтрации отсасываемого из зоны сварки воздуха. Измерение интенсивности и удельного выделения ГССА осуществляется при отборе части потока воздуха, отсасываемого из зоны сварки, фильтрации его от частиц ТССА и поглощении ГССА в сорбентах, соответствующих определяемым газам (оксид углерода, озон, оксиды азота, фтористый водород, тетрафтористый кремний и др.).

Отбор проб СА

Определение интенсивности образования СА и его удельного выделения при сварке покрытыми электродами проводится с использованием поста ручной дуговой сварки, а при механизированной в защитных газах и под флюсом с использованием постов автоматической сварки, оборудованных специальными установками отбора проб (стендами).

Образующийся при сварке СА улавливается специальным вытяжным устройством и приспособлениями двух типов – для отбора проб ТССА и ГССА.

Стенды для отбора проб СА при ручной сварке покрытыми электродами (рис. 2.1), механизированной (автоматической) в защитных газах (рис. 2.2) и автоматической под флюсом (рис. 2.3) по общему устройству принципиально не отличаются, но приспособлены к соответствующему сварочному оборудованию. Они состоят из конусообразного заборного сопла (укрытия зоны сварки), камеры фильтродержателя, держателя фильтров АФА-ХА-18 (для химического анализа ТССА), воздухопроводов, фильтров из ткани ФПП и побудителя тяги.

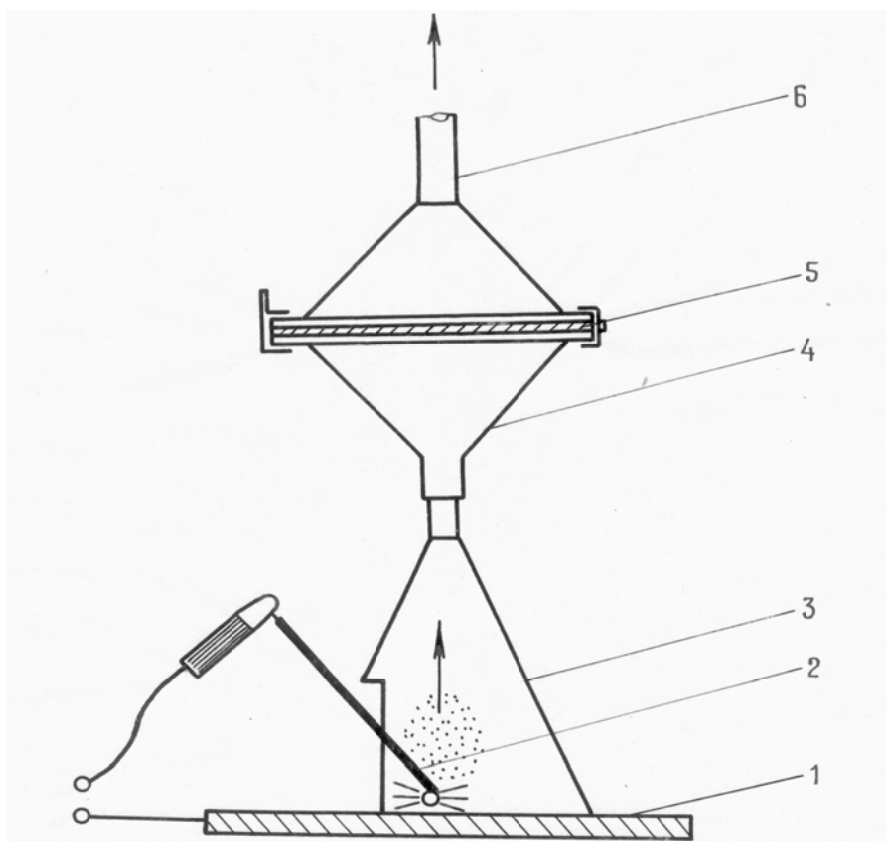


Рис. 2.1. Схема стенда для отбора проб СА при ручной сварке покрытыми электродами:

1 – свариваемый металл; 2 – сварочный электрод; 3 – укрытие зоны сварки; 4 – фильтродержатель; 5 – фильтр; 6 – патрубок к побудителю тяги

Пост ручной сварки покрытыми электродами включает источник питания, электрододержатель и укрытие зоны сварки. В состав постов автоматической сварки в защитных газах и под флюсом входят сварочные автоматы, к которым пристроены укрытия зоны сварки (рис. 2.2, 2.3), и источники питания. Поскольку сварка под флюсом отличается очень низкими количествами выделений ТССА (на 2 порядка меньше) по сравнению с ручной сваркой покрытыми электродами и механизированной в защитных газах, то во избежание потерь осаждающейся в воздуховодах ТССА, а также, учитывая рекомендации Международного института сварки, камера фильтродержателя в стенде сварки под флюсом установлена непосредственно на укрытии зоны сварки (рис. 2.3).

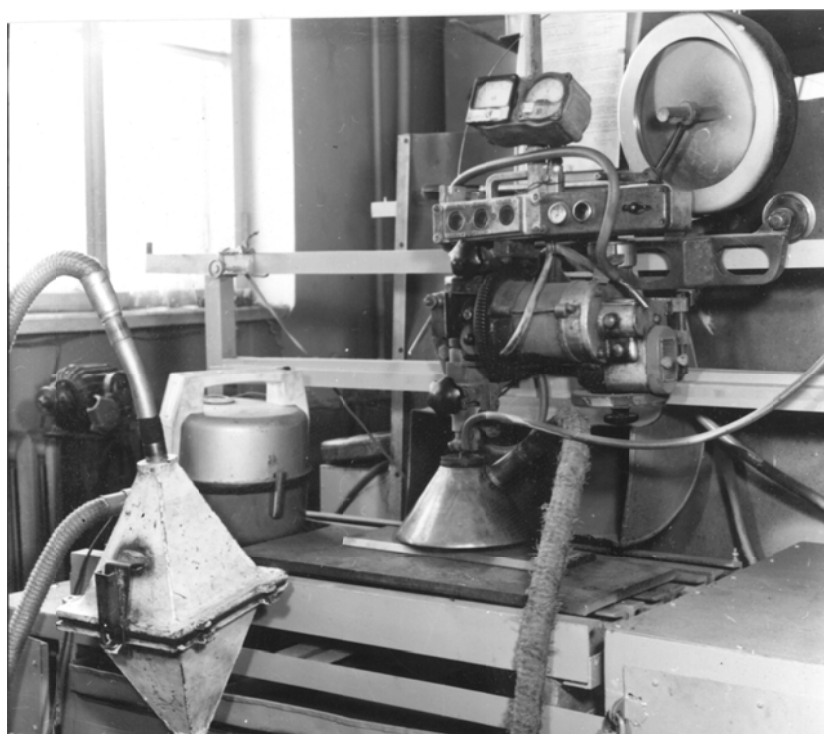


Рис. 2.2. Стенд для отбора проб СА при автоматической сварке в защитных газах

В качестве побудителя тяги используется пылесос мощностью 600...1000 Вт, обеспечивающий расход воздуха в пределах 800...1000 л/мин при разряжении воздуха не ниже 8000 Па.

Камера фильтродержателя представляет собой разъемную (раскрывающуюся) конструкцию из стали, состоящую из двух конусовидных частей, скрепленных между собой дверными петлями и закрывающихся специальным замком. Наружными опорными поверхностями конусов зажимается фильтр из ткани ФПП-15-1,5 (ФПП) размером 220×220 мм (при сварке под флюсом 150×150 мм).

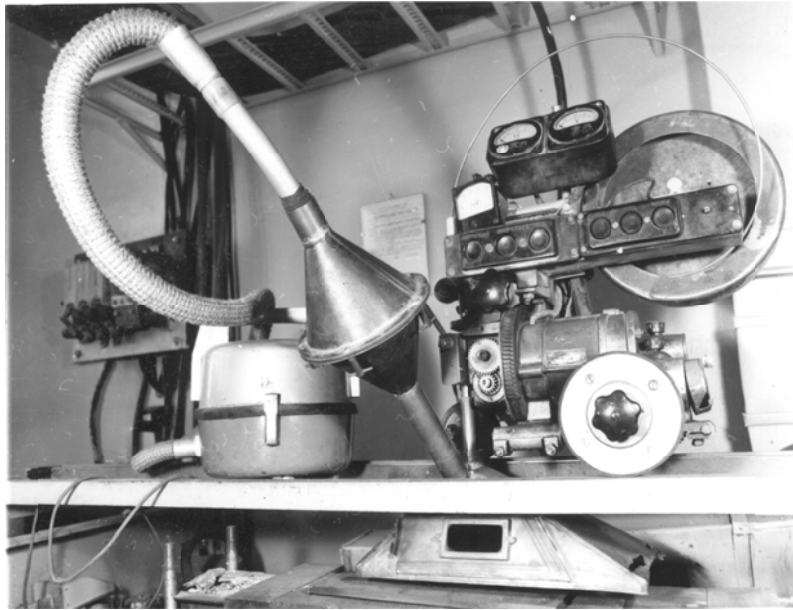


Рис. 2.3. Стенд для отбора проб СА при автоматической сварке под флюсом

При отборе проб ТССА отсасываемый воздух с аэрозолем проходит через заборное сопло, гибкий шланг, протягивается через фильтр ФПП, где ТССА осаждается, а затем удаляется через воздухопровод побудителя тяги. В случае отбора проб ТССА на химический анализ воздух с аэрозолем проходит через четыре фильтра АФА-ХА-18, установленные в держателе фильтров.

Установка отбора проб ГССА приспособлена к этим же стендам и дополнена измерительно-разделительной камерой, поглотительными приборами и сосудами (ампулами) для отбора проб газов, расходомерами, регуляторами расхода газа и аспиратором (рис. 2.4).

Измерительно-разделительная камера представляет собой вертикально расположенную трубку из оргстекла сечением 100 см^2 и длиной, примерно, $1000 \dots 1100 \text{ мм}$ с участками расширения и сужения, переходящими в патрубки. К патрубкам подсоединяется заборное сопло и побудитель тяги. В верхней части измерительно-разделительной камеры установлен анемометр. На расстоянии около 600 мм от нижнего расширения трубы в боковой стенке камеры встроена простая заборная трубка и патрон фильтродержателя с фильтром АФА-В-18. Поглотители и сосуды для отбора проб газа присоединяются короткими гибкими трубками сечением $1 \dots 2 \text{ см}^2$ к патрубку фильтродержателя АФА-В-18 и через расходомеры и регуляторы расхода к побудителю тяги. Улавливание газов для химического анализа производится поглотительными приборами в соответствии с общепринятыми методическими указаниями [155], основанных на известных методах аналитической химии [156]. Для определения расхода воздуха, протягиваемого через измерительно-

распределительную камеру, используется анемометр крыльчатый со счетным механизмом (АСО-3 ГОСТ 6376–74). В качестве расходомера используются ротаметры типа РМ ГОСТ 13045–67.

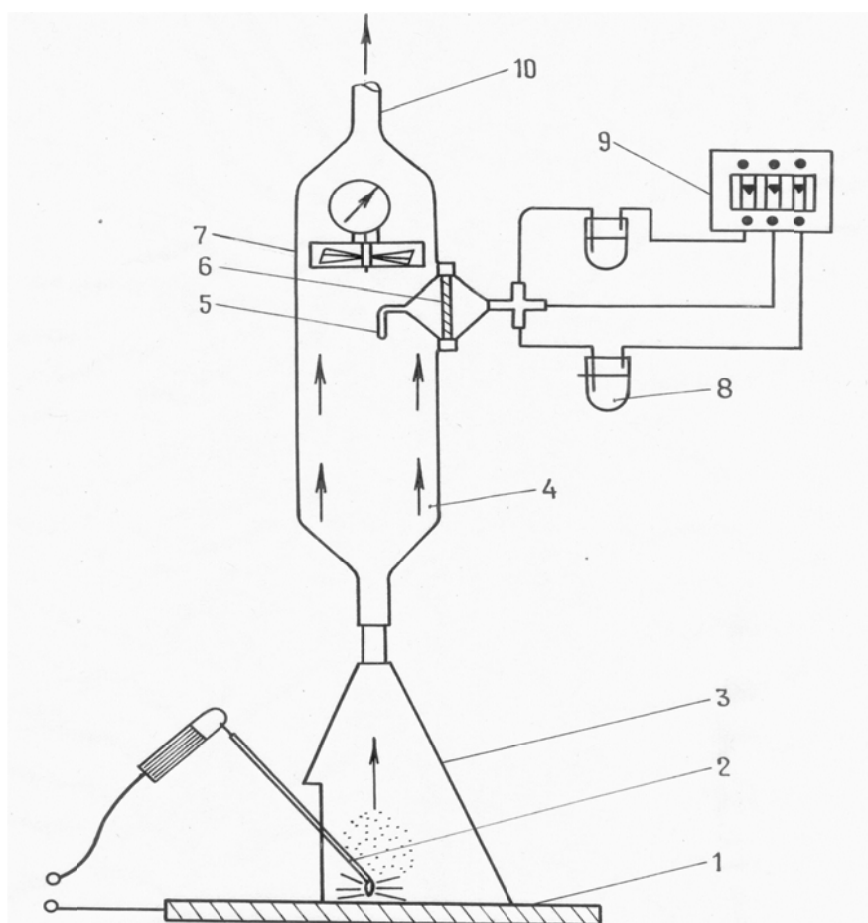


Рис. 2.4. Стенд для отбора проб ГССА:

- 1 – свариваемый металл; 2 – сварочный электрод;
3 – укрытие зоны сварки; 4 – измерительно-разделительная камера;
5 – заборная трубка; 6 – фильтр; 7 – анемометр; 8 – поглотитель газов;
9 – аспиратор; 10 – патрубок к побудителю тяги*

Сварку для отбора проб СА проводят на пластине из той стали, для которой предназначены используемые сварочные материалы (покрытые электроды, проволоки, флюсы). Толщина пластины – не более 22 мм. Размеры пластин – в пределах 160...200 × 330...450 мм. Перед наложением каждого последующего слоя пластину охлаждают до температуры ниже 100 °С.

Определение интенсивности выделения аэрозоля производят при сварке однопроходным швом на листовой стали. Пробы газов для анализа отбираются от потока воздуха, удаляющего СА из зоны сварки. Отбор части газового потока из измерительно-разделительной камеры прово-

дился через заборную трубку с соблюдением равенства скоростей газовых потоков в заборной трубке и разделительной камере (изокинетический принцип отбора проб). Измерение средней скорости потока в разделительной камере производят с использованием анемометра. Очистка газов от ТССА проводится с использованием фильтра АФА-ХА-18. Фильтр закрепляется в патроне, непосредственно присоединенном к заборной трубке. Химический состав ГССА определяется общепринятыми аналитическими методами, изложенными в руководствах [155, 156].

При определении показателей уровней выделений ТССА фильтры ФПП до сварки высушивают до постоянного веса в эксикаторе с хлористым кальцием. Исходными данными для расчета интенсивности образования ТССА являются соответственно масса фильтра ФПП до и после осаждения ТССА, длительность процесса сварки, производительность расплавления электродной проволоки, масса 1 м проволоки (удельная масса), скорость подачи проволоки.

Обработка результатов опытов

Расчет интенсивности образования ТССА производится по формуле:

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{t} \cdot 60. \quad (2.1)$$

Удельное выделение ТССА рассчитывается по соотношению:

$$G_a = V_a / G_p. \quad (2.2)$$

Производительность расплавления сварочной проволоки определяется как разность массы образца сварочного материала до и после экспериментальной сварки, которую относят к длительности сварки.

Возможно определение по соотношению:

$$G_p = \frac{qV_{эл}}{60}. \quad (2.3)$$

Интенсивность образования и удельное выделение элементов (компонентов) ТССА рассчитываются по формулам:

$$V_i = V_a C_b. \quad (2.4)$$

$$G_i = G_a C_i. \quad (2.5)$$

Расчет интенсивности образования компонентов ГССА производят, определяя их в поглотительных приборах:

$$X_i = \frac{K_i V}{a_i}. \quad (2.6)$$

Количество i -того компонента ГССА, поглощенного в жидкостно-орбенте, вычисляется по формуле:

$$N_i = X_i P_i. \quad (2.7)$$

Интенсивность образования i -того газа рассчитывается по зависимости:

$$X_i = \frac{N_i W 60}{\omega t}. \quad (2.8)$$

Удельные выделения i -того газа рассчитывается аналогично расчету выделения ТССА по соотношению:

$$G_i = V_i / G_p. \quad (2.9)$$

Оценка точности результатов измерений

Доверительные интервалы результатов измерений интенсивности образования СА определяют по формуле:

$$V_a = V_a \pm \sigma, \quad (2.10)$$

где

$$\sigma = t_{n-1}^p \sigma_n / n; \quad (2.11)$$

$$\sigma_n = \frac{\sum (V_{ai} - V)^2}{n(n-1)}; \quad (2.12)$$

V_a – интенсивность выделения СА, усредненная по числу единичных определений (параллельных проб); V_{ai} – интенсивность выделения СА в i -й пробе; t_{n-1}^p – коэффициент Стьюдента, находимый по таблицам для доверительной вероятности p и числа степеней свободы $(n - 1)$.

Если доверительные интервалы определений превышают допускаемые расхождения, то увеличивают число единичных определений до тех пор, пока не будет достигнута требуемая точность измерений [157].

Оценка точности результатов определения содержания отдельных компонентов СА проводится аналогично.

2.2. Новая компьютеризованная методика исследований уровней выделений сварочных аэрозолей

Одним из путей снижения поступлений вредных веществ СА в воздух рабочей зоны при сварке является гигиеническая оптимизация технологических параметров режимов сварки [158], т. е. выбор таких значений сварочного тока и напряжения дуги, при которых образуется минимальное количество СА и обеспечиваются требуемые сварочно-технологические параметры. Для получения таких данных необходимы

многочисленные определения уровней образования СА и установление их зависимостей от режимов сварки.

Определение уровней выделений СА обычно производится по общеизвестным методикам [154] путем полного или частичного улавливания выделяющегося в процессе сварки аэрозоля с помощью специальной установки (см. раздел 2.1). Существенным недостатком такой методики является ее трудоемкость, поскольку для выполнения определенного количества параллельных (повторных) измерений показателей уровней выделений требуется длительное время выполнения сварки, а, соответственно, и большое количество расходуемых сварочных материалов. Кроме того, требуется время на подготовку (взвешивание) фильтров до и после сварки. Также следует учесть высокую стоимость фильтров из ткани ФПП (фильтр И.В. Петрянова). Все эти недостатки делают труднодоступным проведение исследований зависимостей уровней выделений СА от режимов сварки и других технологических параметров.

Специалистами Киевского института медицины труда АМН Украины совместно с ИЭС им. Е.О. Патона, киевскими НПП «ЭЛЕКОМ» и «ФАРМА-РОБОТ» разработана новая ускоренная методика и установка для определения уровней образования ТССА, которая позволяет избегать всех вышеперечисленных недостатков [159, 160].

Для этого применяется компьютеризованная установка – анализатор выделения аэрозолей АВА-1, предназначенная для измерения уровней выделений СА в процессе сварки, наплавки, резки и применении других родственных технологий, связанных с образованием аэрозолей. Принцип действия установки АВА-1 основан на измерении суммарного электрического заряда потока частиц аэрозоля [159]. При этом регистрируется заряд частиц аэрозоля не одного определенного размера, а суммарный заряд частиц всех фракций. Величина электрического заряда потока выделяющегося аэрозоля имеет пропорциональную связь с интенсивностью его образования. Практически это реализовано в программном обеспечении АВА-1 путем введения в систему первичной обработки и отображения информации поправочных коэффициентов специально для ТССА. Градуировка шкалы интенсивности образования ТССА выполнена путем сопоставления данных по интенсивности выделения ТССА и электрического заряда его потока.

Для подтверждения достоверности результатов замеров приводим зависимость интенсивности образования ТССА от режима сварки, полученных общепринятой [154] и новой [160] методиками. На рис. 2.5 приведены указанные зависимости, полученные при механизированной сварке в углекислом газе [161]. Они свидетельствуют о том, что вид установленных зависимостей обеими методиками практически идентичен.

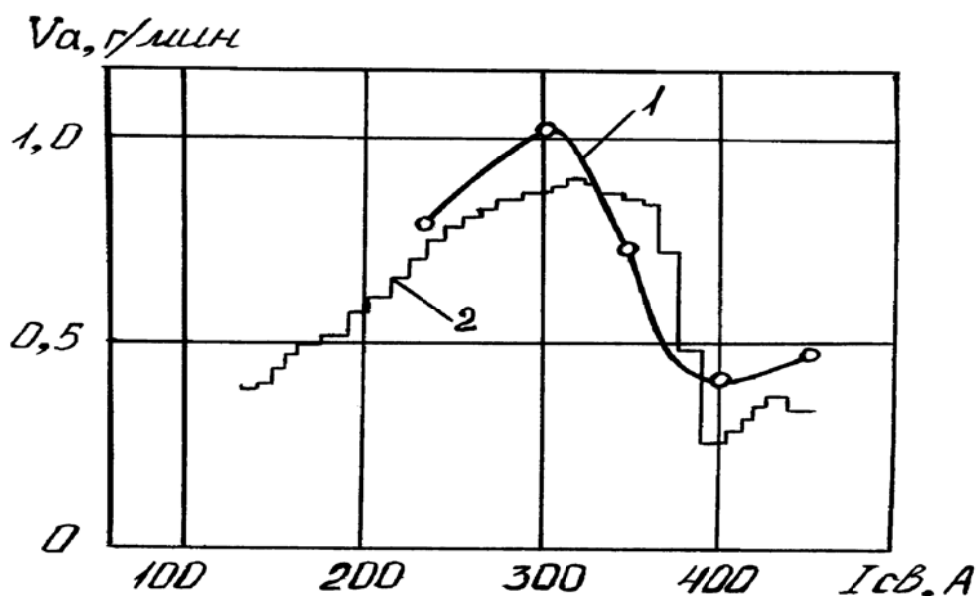


Рис. 2.5. Зависимость интенсивности образования ТССА от силы тока при сварке в CO_2 проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм: 1 – общепринятая методика (данные работы [161]); 2 – с использованием АВА-1

Программное обеспечение АВА-1 разработано в ИЭС им. Е.О. Патона совместно с НПП «ЭЛЕКОМ» таким образом, что позволяет регистрировать и записывать информацию в память ЭВМ в виде таблиц и графических зависимостей. Представляются графические зависимости от режима сварки следующих показателей: интенсивности, удельных выделений ТССА, а также дополнительно введенных предложенных нами новых показателей [162] – коэффициентов интенсивности и удельных выделений (г/кВт·ч и г/кВт·кг), соответственно. Кроме того, графически отображается вольтамперная характеристика процесса сварки. Программа обеспечивает съем информации, ее первичную обработку, отображение в табличной форме и графическую распечатку результатов измерений. Программное обеспечение работает в диалоговом режиме.

Устройство и принцип действия АВА-1

Используемый по данной методике анализатор АВА-1 выполнен в виде двух отдельных блоков настольного типа (рис. 2.6):

устройства, обеспечивающего локализацию аэрозолей; аэродинамической трубы; приборов отбора проб воздуха и счета твердых частиц, основанного на измерении его суммарного электрического заряда;

системы первичной обработки и отображения информации об основных технологических параметрах исследуемых процессов (сварочного тока, напряжения на дуге и др.) и скорости выделения аэрозолей, базирующейся на использовании ЭВМ.



Рис. 2.6. Анализатор выделений аэрозолей АВА-1

На рис. 2.7 представлена блок-схема устройства для гигиенической оценки сварочных материалов. Устройство содержит заборное сопло 3, в проеме которого установлен сварочный инструмент с испытуемым электродом 2, связанный с блоком управления режимом сварки 1. Заборное сопло 3 с помощью воздуховода 4 соединено с воздуховодом 5, в котором установлена пробозаборная трубка 6.

Воздуховод 5 через воздуховод 7 соединен с побудителем 8, на выходе которого установлен датчик 9 скорости потока воздуха.

К пробозаборной трубке 6 подсоединены последовательно ионизационная камера 10, ротаметр 11, фильтр 12, аспиратор 13. Выход ионизационной камеры 10 соединен, кроме того, с первым входом блока контроля и управления 14, выход которого связан с ЭВМ 15.

Работает описанное устройство следующим образом.

Одновременно с началом сварочного процесса, выполняемого испытуемым электродом 2, включают побудитель тяги 8 и аспиратор 13.

С помощью блока 1 управления режимом сварки изменяют плавно-ступенчато либо плавно режим сварки (силу сварочного тока).

Образующийся в процессе сварки под укрытием 3 СА, благодаря разрежению, создаваемому побудителем 8, транспортируется через воздуховоды 5, 7 и трубку 6, в которой создается ламинарное течение по-

тока воздуха. Ламинарное течение обеспечивается выбором соответствующего диаметра воздуховода либо расходом отсасываемого воздуха. Аспиратор 13 обеспечивает всасывание СА с воздухом через пробо-заборную трубку 6 и ионизационную камеру 10, в которой частицы СА ионизируются, а их суммарный электрический заряд пропорционален весовой концентрации СА в потоке воздуха, которая регистрируется на дисплее ЭВМ. Требуемый расход всасываемого аэрозоля через аспиратор 13 обеспечивается в автоматическом режиме при помощи датчика 9 скорости, установленного в потоке на выходе побудителя тяги 8. При работе в ручном режиме требуемый расход воздуха, содержащего СА, через аспиратор – 6 л/мин.

По значениям максимумов (минимумов) на кривой, отображаемой зависимость концентрации СА от силы сварочного тока, выбирается оптимальный в гигиеническом отношении режим сварки.

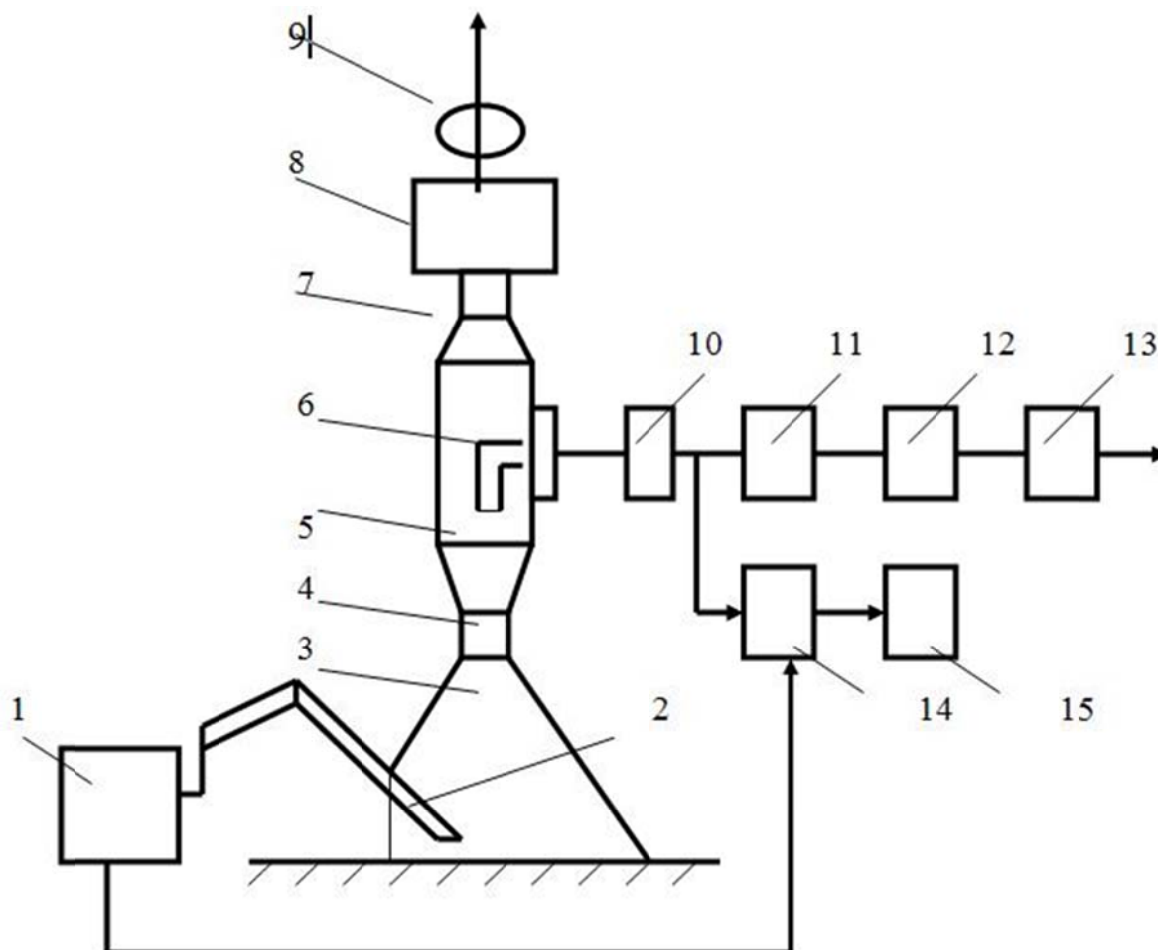


Рис. 2.7. Блок-схема анализатора выделений аэрозолей АВА-1 (обозначения см. в тексте)

Устройство и принцип действия блока контроля и управления анализатора выделения аэрозоля АВА-1

Блок контроля и управления (БКУ) предназначен для измерения режима сварки (сварочного тока и напряжения на дуге), количества выделений аэрозоля, для управления режимами работы измерительно-контрольного прибора ИКП-1 и обеспечения взаимодействия с ПЭВМ типа IBM-386.

Указанный БКУ выполнен в виде отдельного блока с отдельным питанием от сети (220 В, 50 Гц) и состоит из платы блока питания, обеспечивающего напряжение 5 В при прямой полярности, трех плат аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), платы интерфейса ПЭВМ и управления, шасси каркасного типа с размещенными на нем разъемами для установки плат, трансформатором питания и разъемами для подключения измерительных цепей и прибора ИКП-1.

Преобразование аналоговых сигналов, напряжения на электродах, напряжения, снимаемого с измерительного шунта и выходного сигнала с прибора ИКП-1, производится на платах аналогово-цифровых преобразователей (АЦП).

Управление работой прибора ИКП-1 производится при помощи герконовых электромагнитных реле, что обеспечивает изоляцию корпуса прибора ИКП-1 от общей шины ПЭВМ.

Питание платы интерфейса с ПЭВМ и управление осуществляется при помощи отдельной платы блока питания, на которой установлен сбалансированный источник питания + 5 В.

Платы АЦП получают питание от отдельных изолированных обмоток трансформатора питания. Выпрямители и стабилизаторы напряжений + 5 В и – 5 В реализованы на платах АЦП и являются отдельными для каждой платы.

Соединения блока контроля и управления с ПЭВМ выполнено при помощи ленточного кабеля с разъемами. Соединение блока с источниками сигнала выполняется экранированными кабелями большой длины в виниловой изоляции, что позволяет расположить блок контроля и управления на значительном расстоянии от рабочего места сварщика, в непосредственной близости от ПЭВМ.

Технические характеристики АВА-1

Количество каналов измерения параметров процесса
(сварочный ток, напряжение,
показатели уровней выделений ТССА)..... 3

Канал измерения сварочного тока:
диапазон, А 1...750

максимально допустимая погрешность измерений, % от измеряемого значения	± 5
Канал измерения напряжения:	
диапазон, В	1...100
максимально допустимая погрешность измерения, % от измеряемого значения	±5
Канал измерения выделения сварочного аэрозоля:	
диапазон измерения весовых концентраций ТССА, мг/м ³	0,1...500
диапазон интенсивности образования ТССА, мг/мин	1...10 000
максимально допустимая приведенная погрешность измерений относительно верхнего предела поддиапазона, %	±10
Потребляемая мощность, кВт	0,5
Побудитель тяги:	
непрерывная работа, мин	10
перерыв, мин	30

Комплект АВА-1

Рабочее место сварщика: стол сварщика, укрытие зоны сварки, главный побудитель тяги, аэродинамическая труба, измеритель концентрации ТССА типа ИКП-1, вспомогательный побудитель тяги, фильтродержатель, соединительные трубопроводы.

Рабочее место оператора: ПЭВМ типа «Нейрон», принтер Д-100, блок сопряжения, стол оператора.

Порядок проведения измерений

Датчик контроля сварочного тока включается в разрыв одного из токопроводов, соединяющих источник питания с электрододержателем при ручной сварке покрытыми электродами или подающим механизмом при механизированной сварке в защитных газах. Кабель контроля напряжения на дуге подсоединяется к выходным клеммам источника питания. В электрическую сеть включается ПЭВМ, печатающее устройство, блок контроля и управления, прибор ИКП-1 и побудитель тяги, а также сварочный источник питания. Настройка ИКП-1 выполняется в режиме «Калибровка», а затем переключается в режим «Измерение».

Загрузка управляющей программы, выбор рабочего файла и включение производятся в режиме «Измерение». Сварщик устанавливает необходимый режим и выполняет сварку в укрытии зоны сварки, а оператор фиксирует на ПЭВМ значения параметров режима сварки и показателей уровней выделения ТССА. В таблице фиксируются измеренные значения параметров и номер измерения. Изменяя режим свар-

ки, производят измерения новых параметров режима и уровня выделений ТССА. Количество измерений может быть не более 128. После окончания измерений производится сортировка накопленных данных по силе сварочного тока. Оператор может записать данные на диск, просмотреть результаты измерений, оформленные в виде таблицы или в графической форме. Возможно редактирование результатов измерений.

В графической форме результаты представляются следующими функциями:

- зависимости отдельных показателей уровня выделений ТССА от сварочного тока;
- зависимости всех показателей уровня выделений ТССА, совмещенных в единой системе координат, от сварочного тока;
- зависимость напряжения от сварочного тока (вольт-амперная характеристика).

Результаты могут иметь вид экспериментальных точек в системе координат. Может быть проведена интерполяция с выдачей кривых измерения параметров процесса. Выбор масштабов по осям координат в режиме просмотра производится автоматически, как и поиск минимального значения выделений аэрозоля. Результаты могут быть распечатаны в табличной или графической форме, или записаны на диск. Возможны загрузка с диска, просмотр или распечатка результатов проведенных ранее измерений.

2.3. Методика исследования характеристик фильтрующих материалов

С целью выбора оптимальных конструкционных параметров фильтрующих элементов с зернистыми материалами (цеолитами) исследуют кинетические закономерности фильтрования СА через зернистый насыпной слой из цеолита: зависимости перепада давления (аэродинамическое сопротивление) ΔP и коэффициента проскока K от размеров зерен цеолита, толщины (высоты) слоя фильтра (колонки) и скорости аэрозольно-воздушного потока, а также изменение сопротивления и проскока во времени.

В основу методики исследований положены принципы, изложенные в работе [163], на специальном стенде, разработанном в Институте электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины совместно с Физико-химическим институтом защиты окружающей среды и человека НАН и Министерства образования Украины (рис. 2.8).

Аэрозоль, образующийся при сварке в камере 1, протягивают компрессором 9 через колонку 3 с зернистым фильтрующим материалом 4 и трубу для отбора проб ТССА 2. Аэродинамическое сопротивление колонки с зернистым материалом ΔP , выраженное в Па, определяют по

манометру 5. Расход аэрозольно-воздушной смеси задают краном по ротаметру 8. Концентрацию ТССА в потоке воздуха до и после колонки с зернистым материалом определяют весовым методом путем отбора проб ТССА из труб, установленных на входе и выходе колонки. Аэрозоль протягивается аспиратором 7 через заборные трубки и осаждается на фильтрах 6.

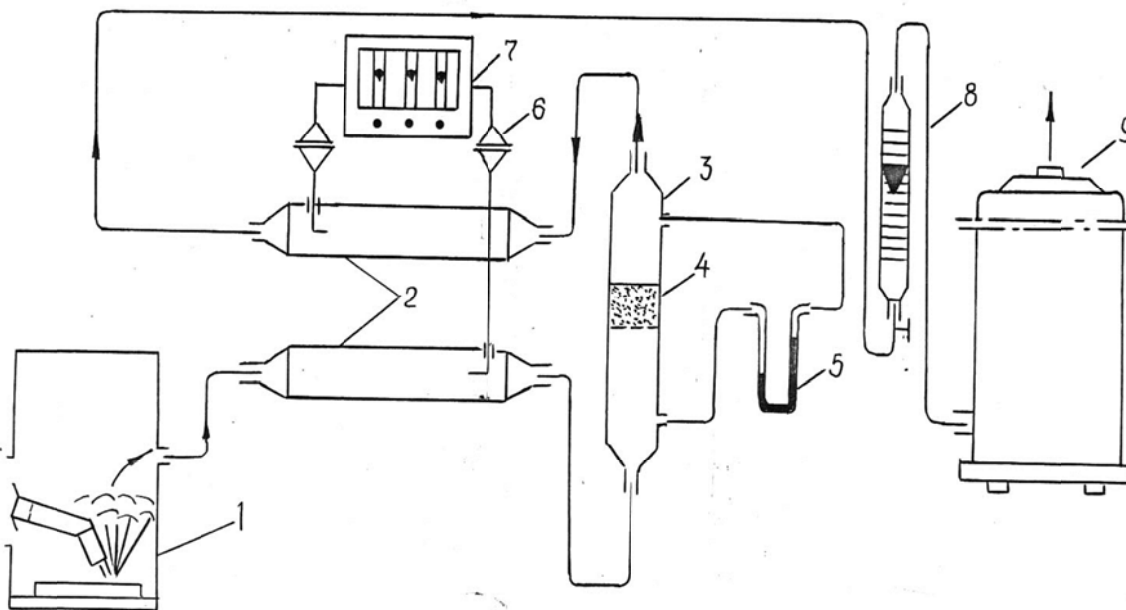


Рис. 2.8. Схема стенда для исследования характеристик фильтрующих материалов (обозначения см. в тексте)

Коэффициент проскока в массовых процентах вычисляется из соотношения

$$K = (Z_2 / Z_1) \cdot 100, \% \quad (2.13)$$

где Z_1 и Z_2 – содержание ТССА в потоке на входе и на выходе фильтра соответственно, мг/м³.

В качестве критериев оценки возможности применения зернистых фильтрующих материалов для очистки от ТССА учитывается их адсорбционная емкость и степень очистки.

На первом этапе работы проводится исследование адсорбции зернистыми материалами монооксида углерода, наиболее характерного компонента ТССА при сварке в углекислом газе.

Адсорбционную емкость зернистых фильтрующих материалов определяют на лабораторной установке путем моделирования процесса получения чистого монооксида углерода, насыщения им образца материала и определения количества поглощенного газа в результате десорбции.

Установка для получения монооксида углерода и насыщения им образца зернистого материала (рис. 2.9) состоит из электрической плитки 1, колбы с серной кислотой 2, мерной (капельной) воронки с муравьиной кислотой 3, соединительных трубок 4, промывной склянки с едким натром 5, трубки с цеолитом 6, мерного цилиндра 7 и банки с водой 8.

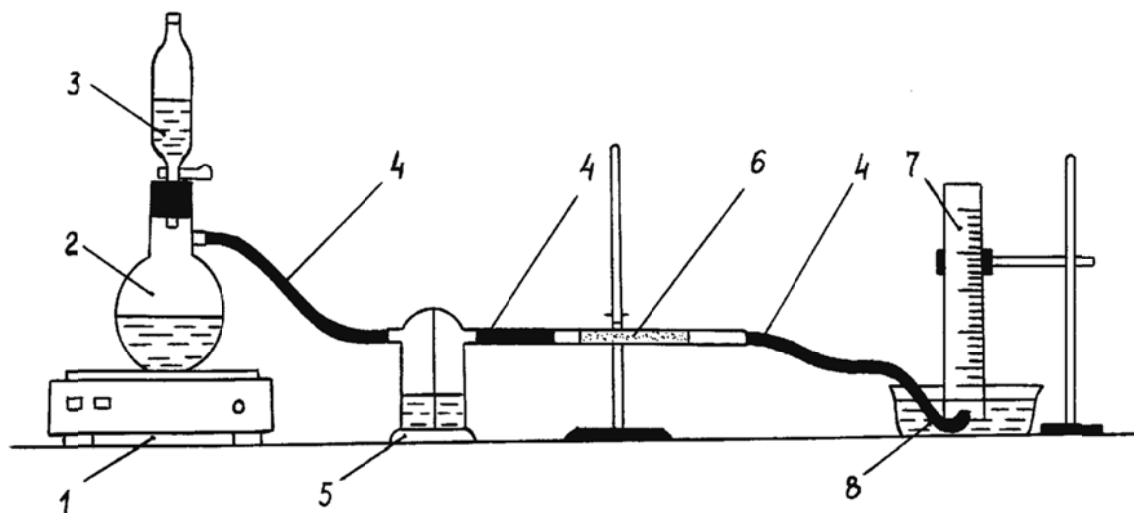
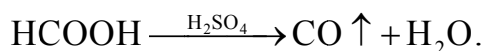


Рис. 2.9. Установка для получения монооксида углерода и насыщения им образца зернистого материала (обозначения см. в тексте)

Монооксид углерода получают в результате взаимодействия нагретой серной кислоты с муравьиной по реакции:



Серная кислота здесь выполняет роль водопоглощающего средства. В колбу 2, снабженную капельной воронкой 3 и газоотводной трубкой 4, наливают 20 мл концентрированной серной кислоты, нагревают на электрической плитке с магнитной мешалкой до 80...100 °С и поддерживают в этих пределах. Из капельной воронки в колбу постепенно прибавляют муравьиную кислоту. Скорость выделения газа регулируют количеством доливания муравьиной кислоты. Выделившийся монооксид углерода проходит через трубку 6 с зернистым материалом (цеолитом) и адсорбируется на нем.

Установка для десорбции монооксида углерода (рис. 2.10) состоит из трубчатой печи 1 и 2, трубки с цеолитом 3, резиновой трубки 4, заполненного водой мерного цилиндра 5 и банки с водой 6.

Трубку с зернистым материалом, насыщенным монооксидом углерода, помещают в печь и устанавливают нужную температуру. При 700 °С идет десорбция монооксида углерода, который поступает в мер-

ный цилиндр и вытесняет воду. По количеству вытесненной воды определяют количество десорбированного монооксида углерода.

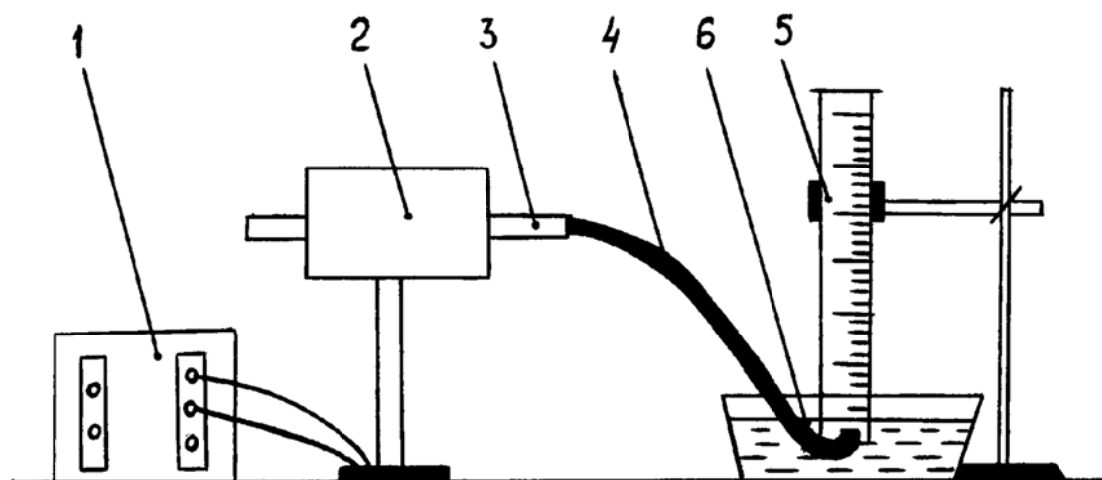


Рис. 2.10. Установка для десорбции монооксида углерода

На втором этапе работы исследуют адсорбцию зернистым материалом газов, образующихся непосредственно при сварке с помощью экспериментального стенда (рис. 2.8). Определение эффективности очистки зернистым фильтрующим материалом газо-воздушной смеси от монооксида углерода производят с помощью газоанализатора, путем замеров концентрации монооксида углерода в пробах, отбираемых до и после фильтра. При исследовании улавливания зернистым материалом оксидов азота и озона определяется содержание этих газов в пробах воздуха с аэрозолем, которые также отбирают до и после фильтра согласно методическим указаниям [155].

2.4. Методика испытаний горелок с отсосом аэрозоля для сварочных полуавтоматов

Испытания горелок (шланговых держателей) со встроенным отсосом для сварочных полуавтоматов проводятся в соответствии со специально разработанной в ИЭС им. Е.О. Патона совместно с ФХИЗО-СиЧ методикой.

В лабораторных условиях определяют эргономические характеристики горелок (габаритные размеры и массу горелок, нагрузку на руку сварщика, температуру рукоятки), объем отсасываемого воздуха и аэродинамическое сопротивление отсасывающих коммуникаций; в производственных – качество сварных швов (поскольку отсасывание СА из зоны дуги может приводить к срыву газовой защиты), эффективность работы отсоса СА, удобство при работе с горелкой (заклучение сварщиков).

Эффективность работы отсоса СА, качество сварного шва, температуру нагрева рукоятки определяют в процессе наплавки валиков (в нижнем положении) на очищенные пластины из стали. Длительность непрерывной наплавки составляет не менее 5 мин. В качестве побудителя тяги используется фильтровентиляционный агрегат УФП2-УХЛ4 [114] или другой аналогичный агрегат, обеспечивающий расход удаляемого воздуха около $100 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Внешний вид сварных соединений, полученных при включенном и выключенном отсосе, контролируют визуально, качество – по содержанию азота в металле шва, как рекомендовано в стандарте [164].

Определение содержания азота в металле шва производят по специальной методике, основанной на определении теплопроводности компонентов газовой смеси, которую получают в результате плавления анализируемого образца металла шва в графитовом тигле. Для этого используют анализатор газов TN-114 фирмы LECO (США). Образцы металла для анализа размером $5 \times 5 \times 5 \text{ мм}$ вырезают из сварного шва в количестве 3 штук.

Для определения эффективности работы отсоса горелок из подмачочного пространства (зоны дыхания сварщика) отбирают по две параллельные пробы воздуха. Отбор проб ТССА производят на фильтры АФА-ВП-20 согласно методике [155]. Используют аспиратор-пробоотборник марки «Тайфун». Фильтры для отбора проб ТССА устанавливают в зоне дыхания сварщика под защитным лицевым щитком ННП с помощью специального приспособления. Объемная скорость отбора проб ТССА составляет 5 л/мин.

Эффективность работы отсоса η рассчитывается по формуле

$$\eta = \frac{C_{\text{выкл}} - C_{\text{вкл}}}{C_{\text{выкл}}} \cdot 100, \% \quad (2.14)$$

где $C_{\text{выкл}}$ и $C_{\text{вкл}}$ – массовые концентрации ТССА в зоне дыхания сварщика при выключенном и включенном отсосе соответственно.

Объем отсасываемого воздуха и аэродинамическое сопротивление отсасывающих коммуникаций определяют при помощи трубки Прандтля, подключенной к микроманометру.

Температуру наружной поверхности рукоятки измеряют при помощи термомпары в течение всего периода сварки.

2.5. Объекты и объем исследований

При исследовании влияния режима сварки модулированным током в углекислом газе на уровень выделения ТССА выполнено 30 опытов (общепринятая методика) по определению интенсивности образования

ТССА при различных параметрах модуляции тока и 30 опытов по определению содержания марганца в составе ТССА.

Для исследования влияния состава защитного газа и режимов сварки на химический состав ГССА выполнено 30 экспериментов по определению интенсивности выделения монооксида углерода, оксидов азота и озона при автоматической сварке проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм в CO_2 , смеси 75 % Ar + 25 % CO_2 и 70 % Ar + 25 % CO_2 + 5 % O_2 на различных режимах (по 5 точек для каждого защитного газа).

Установление связи уровней выделений ТССА с размерами и формой сварочной ванны проводилось путем определения размеров макрошлифов швов, выполненных при сварке в CO_2 проволокой СВ-08Г2С диаметром 2 мм на режимах 200...500 А (5 опытов).

С применением новой компьютеризованной методики проведены исследования зависимостей интенсивности образования ТССА от режима сварки при применении покрытых электродов АНО-4, АНО-6, АНО-12 диаметрами 3, 4, 5 мм и УОНИ 13/45 диаметрами 4, 5 мм.

Для составления базы данных гигиенических характеристик сварочных материалов и способов сварки (компьютерной информационно-поисковой системы с рекомендациями по защите органов дыхания сварщиков и окружающей среды) проведены определения показателей уровней выделения и химического состава СА (по общепринятой методике) при ручной сварке покрытыми электродами (131 марка), механизированной в защитных газах (73 марки на различных режимах – всего 160 опытов) и автоматической под флюсами (28 марок на различных режимах – 37 опытов).

Проведены исследования адсорбционных (10 опытов) и фильтрационных (30 опытов) характеристик зернистых фильтрующих материалов для очистки воздуха от СА с целью применения в фильтровентиляционных агрегатах.

Проведены испытания сварочных горелок с отсосом аэрозоля марок ГСЛ-315-УЗ, ГСЛ-315-УЗМ и ГСД-315-УЗ (по 10 опытов на каждую горелку).

Выполнены работы по расчету и опытно-конструкторской разработке фильтровентиляционных агрегатов «Темп-2000», «Мрия-1М», вентиляционного агрегата «Шмель-2500», шланговых держателей ГСЛ и ГСД с отсосом СА для сварочных полуавтоматов, защитной маски сварщика с портативной системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-50», устройства очистки и подачи воздуха в зону дыхания сварщика «Шмель-40» и шланговой защитной маски с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания.

Выводы по главе 2

1. Разработана ускоренная компьютеризованная методика для определения уровней выделения сварочных аэрозолей и установления их зависимостей от технологических параметров режима сварки. По сравнению с общепринятой методикой новая позволяет существенно ускорить процесс определения уровней образования СА, сократить расходы сварочных материалов для экспериментов и повысить достоверность результатов опытов. Новая методика позволяет производить выбор режимов сварки, при которых выделяется минимальное количество СА, и использовать ее для гигиенической оптимизации технологических параметров процесса сварки при применении различных сварочных материалов, способов сварки и родственных технологий.

Разработаны установки для отбора проб СА при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, механизированной в защитных газах и автоматической под флюсом.

2. Разработана методика исследования фильтрующей способности зернистых фильтрующих материалов с целью их применения для очистки воздуха от ТССА и ГССА, которая заключается в определении закономерностей фильтрования воздуха от ТССА зернистыми слоями (зависимости аэродинамического сопротивления и коэффициента проскока от размеров зерен цеолита, толщины слоя фильтра и скорости аэрозольно-воздушного потока, изменение сопротивления и проскока во времени), адсорбции цеолитами монооксида углерода и компонентов ГССА.
3. Разработана методика испытаний горелок с отсосом аэрозоля для сварочных полуавтоматов, основанная на определении эргономических характеристик горелки, объема отсасываемого воздуха и аэродинамического сопротивление отсасывающих коммуникаций, эффективности работы отсоса, а также обеспечении качества сварных швов.

Глава 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СВАРКИ НА ВЫДЕЛЕНИЕ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

Для разработки гигиенических рекомендаций по снижению уровней выделения вредных веществ СА в воздух рабочей зоны технологическим путем необходимы данные о зависимостях уровней их выделений и химического состава от способа и режимов сварки. Химический состав СА определяется составами сварочного материала и защитной атмосферы, парциальным давлением испаряющихся компонентов и режимом сварки. Определение химического состава СА является весьма трудоёмкой операцией. Поэтому целесообразно разработать математическую модель количественного состава СА от состава сварочного материала и режима сварки. Наличие такой модели позволит существенно уменьшить объем экспериментов по определению составов СА, прогнозировать их состав при изменении отдельных параметров режима сварки или состава сварочного материала, а также уточнить понимание сущности процессов образования СА. Это необходимо для поисков новых технологических способов улучшения гигиенических характеристик СА.

3.1. Влияние режима сварки на выделение сварочного аэрозоля

Уровень выделения СА в значительной мере зависит от параметров режима сварки [27, 61]. При механизированной дуговой сварке в окислительных защитных газах (смесях) зависимость интенсивности выделения ТССА от значения сварочного тока имеет сложный экстремальный характер: есть максимум и минимум выделений [33]. Это, в свою очередь, определяется, как показано в работе [23], характером переноса электродного металла и, по нашему предположению, формой сварочной ванны. Подтверждению последнего и посвящен настоящий раздел [165].

Исследовали влияния режима сварки (сварочного тока и напряжения на дуге) на основные характеристики сварочной ванны: ширину v и глубину h проплавления, высоту c выпуклости шва, – а также связь этих характеристик с показателями уровня выделений ТССА.

Геометрические характеристики швов определяли на образцах, выполненных путем наплавки в углекислом газе проволокой марки Св-08Г2С диаметром 2,0 мм на пластину стали ВСт3сп толщиной 12 мм. Наплавку производили в тех же условиях, что и при исследованиях зависимости уровней выделений ТССА от режима сварки, проведенных ранее

[33]. Режимы наплавки следующие. Сварочный ток $I_{св}$ (постоянный при обратной полярности) изменялся в пределах от 200 до 500 А, напряжение на дуге U_d соответственно – от 23 до 36 В, скорость процесса сварки равнялась 16 м/ч, вылет электрода составлял 25 мм, расход углекислого газа 20 л/мин. Графики строили по средним значениям из 6 измерений на макрошлифах образцов, полученных на каждом режиме.

Показатели уровня образования ТССА (интенсивность образования V_a и удельное выделение G_a) определяли согласно методическим указаниям [154].

Таблица 3.1

Геометрические характеристики сварочной ванны

№ шва	$I_{св}$, А	U_d , В	b , мм	h , мм	c , мм
1	210	23,5	12,88	2,84	2,45
2	290	28,5	16,77	3,90	2,69
3	390	31,5	18,41	6,34	3,56
4	440	33,5	21,53	9,96	4,05
5	500	36,5	23,89	10,70	4,15

Изучение макрошлифов показало, что на всех образцах (в том числе и наплавленных на режиме, обеспечивающем минимальное выделение ТССА) имеют место благоприятные геометрические параметры шва (табл. 3.1). Это позволяет путем подбора параметров режима сварки обеспечить приемлемое сочетание требуемых геометрических параметров шва и минимальное выделение аэрозоля.

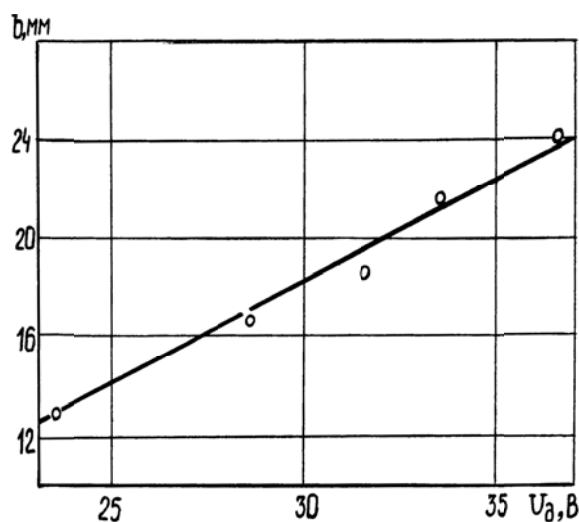


Рис. 3.1. Зависимость ширины b шва от напряжения на дуге U_d при сварке в CO_2 проволокой Св-08Г2С диаметром 2,0 мм ванны. Однако зависимость интенсивности образования ТССА от ширины проплавления имеет сложный вид с максимумом и минимумом выделений (рис. 3.2)

С повышением сварочного тока и напряжения на дуге глубина и ширина проплавления, а также выпуклость шва увеличиваются. Поскольку глубина проплавления в основном определяется значением сварочного тока, а ширина – напряжением на дуге, рассмотрим соответствующие зависимости.

Из рис. 3.1 видно, что при повышении напряжения на дуге ширина проплавления увеличивается по линейной зависимости, и это сопровождается соответствующим увеличением площади поверхности испарения сварочной.

Зависимость интенсивности выделений ТССА от глубины проплавления имеет аналогичный вид (рис. 3.3), что объясняется влиянием сварочного тока на глубину проплавления (рис. 3.4). Сопоставление зависимостей интенсивности образования ТССА и глубины проплавления от сварочного тока (рис. 3.5) показывает, что резкое снижение интенсивности выделения ТССА при повышении тока от 400 до 440 А соответствует резкому увеличению глубины проплавления металла. Это свидетельствует о том, что снижение интенсивности образования ТССА обусловлено погружением дуги в сварочную ванну в результате проплавления основного металла.

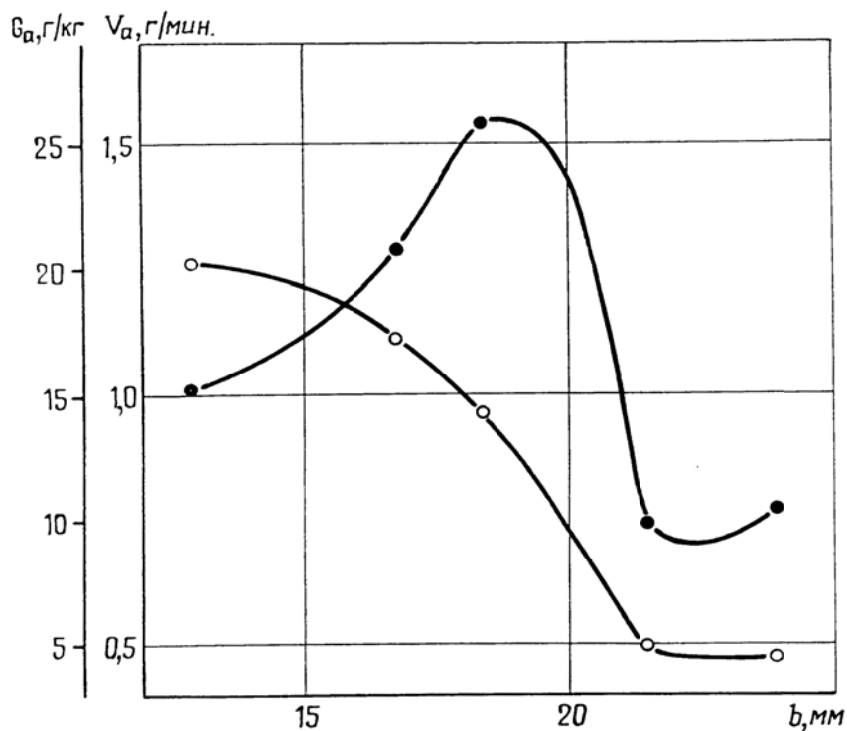


Рис. 3.2. Зависимость интенсивности V_a (●) и удельных выделений G_a (○) ТССА от ширины шва при сварке в CO_2 проволокой Св-08Г2С диаметром 2,0 мм

Таким образом, хотя уровень испарения металла и зависит от площади поверхности сварочной ванны, количество выбросов паров за пределы дуги определяется главным образом глубиной ее погружения в сварочную ванну, зависящей от глубины проплавления основного металла [165]. Глубина проплавления, в свою очередь, зависит от давления на поверхность сварочной ванны плазменных потоков и потоков паров металла, которые вытесняют жидкий металл из-под основания столба дуги. С возрастанием сварочного тока повышается давление дуги и увеличивается глубина проплавления [166]. При этом сварочная дуга углубляется в ванну; пары металла переносятся с электрода на основной металл через дуговой промежуток, заполненный парами металла, и большей частью конденсируются на основном металле [167]. Незначительная часть паров выносятся из ванны через промежуток между электродом и ванной в окружающую атмосферу [17]. Установлено, что интенсивное проплавление основного металла начинается при мощности дуги примерно 12,3 кВт и заканчивается при 14,4 кВт [165]. Дальнейшее повышение мощности погруженной дуги способствует уже увеличению объема проплавления вследствие хорошего контакта дуги с основным металлом и высокой теплоотдачи этому металлу, а следовательно, – и выходу паров из плавильного пространства в воздух. При этом интенсивность выделения ТССА снова начинает несколько увеличиваться (рис. 3.5). Для проволок диаметром 1,6...2,0 мм минимальные выделения отмечаются при мощности дуги 14,0...16,0 кВт [161].

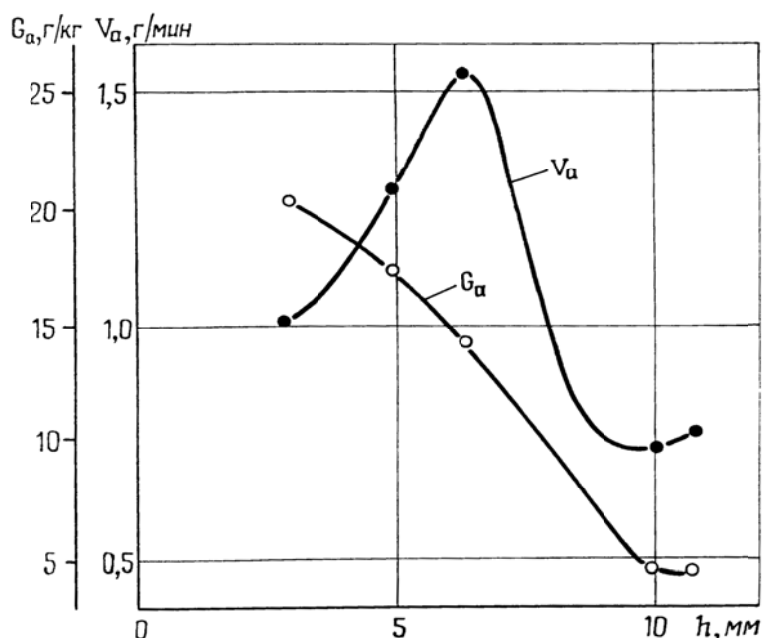


Рис. 3.3. Зависимость интенсивности и удельных выделений ТССА от глубины h проплавления при сварке в CO_2 проволокой Св-08Г2С диаметром 2,0 мм

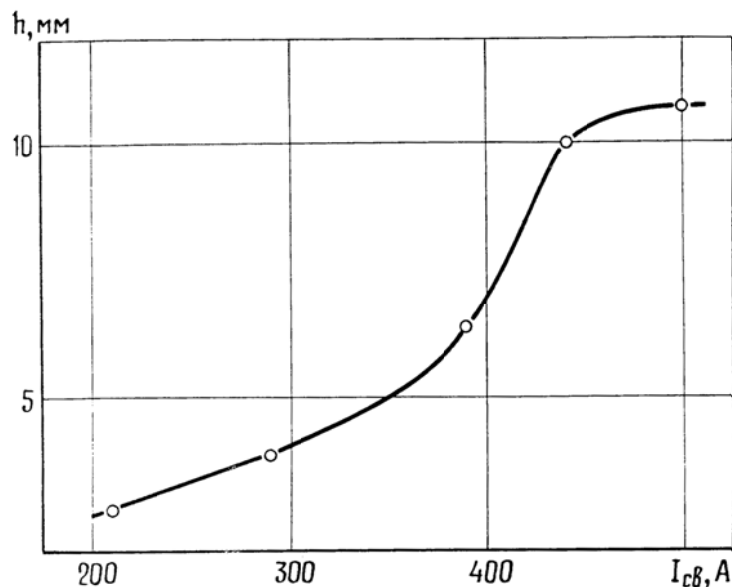


Рис. 3.4. Зависимость глубины проплавления от величины сварочного тока при сварке в CO_2 проволокой Св-08Г2С диаметром 2,0 мм

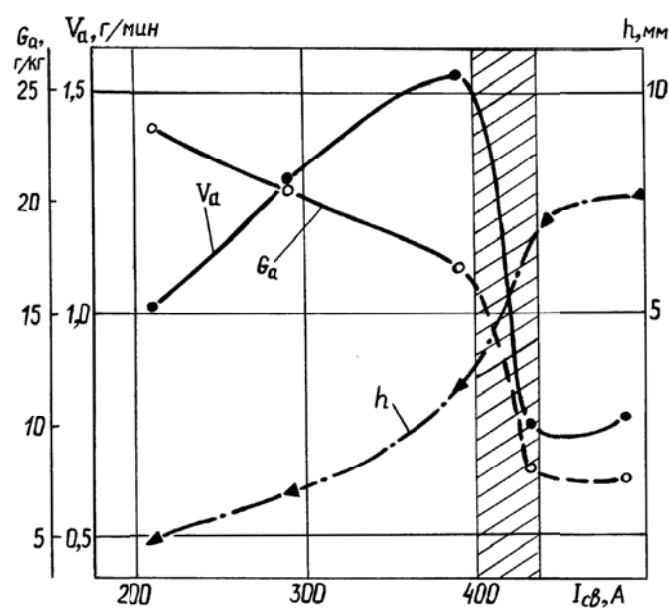


Рис. 3.5. Сопоставление интенсивности и удельных выделений ТССА с глубиной проплавления в зависимости от значения сварочного тока (Св-08Г2С, 2,0 мм)

Изучение зависимостей удельного выделения ТССА от режима сварки (см. рис. 3.2, 3.3, 3.5) свидетельствует о том, что этот гигиенический показатель, жестко связанный с интенсивностью образования ТССА, снижается при повышении сварочного тока, увеличении ширины шва и глубины проплавления. Причем максимальный темп уменьшения удельного выделения ТССА соответствует участку резкого увеличения

глубины проплавления основного металла при повышении сварочного тока (см. рис. 3.4, 3.5).

Для объяснения сложной зависимости интенсивности выделения ТССА от величины сварочного тока (см. рис. 3.5) рассмотрим её закономерный ход на каждом из трех характерных участков. Как показано в работах [23, 27, 33, 61], образование ТССА связано с определенными видами переноса металла через дуговой промежуток. В свою очередь характер переноса электродного металла зависит от состава защитного газа и режима сварки.

На первом участке кривой (см. рис. 3.5), где имеет место как перенос электродного металла с короткими замыканиями, так и смешанный (с замыканиями и без них) наблюдается увеличение интенсивности образования ТССА с ростом сварочного тока. Это объясняется как увеличением энергии дуги, так и повышением уровня разбрызгивания электродного металла [33, 50].

Главной причиной разбрызгивания в данном случае является электрический взрыв перемычки металла [26]. При сварке с короткими замыканиями взрыв перемычки между электродом и ванной приводит к выбросу ударной волной продуктов испарения металла за пределы дуги. При взрыве металлической перемычки некоторое ее количество мгновенно испаряется, увеличивая тем самым объем паров, идущих на образование ТССА. Кроме того, взрыв перемычки между проволокой сварочной ванны, или проволокой и каплей электродного металла приводит к выбросу струи перегретых капель, являющихся дополнительным источником паров металла и способствующих образованию ТССА. Брызги металла сначала летят в защитном газе, а затем попадают в окружающий воздух, где происходит их усиленное окисление, испарение и сгорание, дающее большое количество ТССА.

В инертных защитных газах и смесях на их основе испарение капель идет медленно, так как отсутствует интенсивное окисление. В окислительных газах (CO_2) капельки металла окисляются и частично сгорают с обильным образованием ТССА. Увеличение разбрызгивания и испарения способствует подбрасыванию капель вверх [18], отличающее перенос электродного металла при сварке в углекислом газе от переноса при сварке в окислительных аргоновых смесях. Добавка кислорода к защитной смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$, повышающая ее окислительную способность, также ведет к увеличению количества выделений ТССА. Можно сказать, что инертный газ (Ar) и смеси на его основе уменьшают возможность образования ТССА вследствие уменьшения окисления металла. Углекислый газ приводит к повышенному образованию ТССА по сравнению со смесями $\text{Ar} + \text{CO}_2$ и $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$. В общем такой эф-

фekt вызван усиленным окислением и испарением, а также увеличенным разбрызгиванием, зависящим от характера переноса электродного металла [33, 50].

На втором участке кривой (см. рис. 3.5) интенсивность выделений ТССА снижается. Это обусловлено изменением характера переноса электродного металла. При сварке в аргоновых смесях перенос становится мелкокапельным (струйным), а при сварке в углекислом газе – крупнокапельным, без коротких замыканий, с последующим погружением дуги в полость, выплавленную в основном металле (плавильном пространстве) [166]. По-видимому, отсутствие взрывов металлической перемычки, снижение разбрызгивания и погружение дуги в плавильное пространство снижает возможность выноса паров металла за пределы дуги. При сварке в аргоновых смесях снижение интенсивности выделения аэрозоля начинается при более низком токе, чем при сварке в углекислом газе [33]. Здесь вследствие уменьшения окислительной способности защитного газа, переход к капельному переносу без коротких замыканий начинается при более низких значениях сварочного тока. Однако максимальная интенсивность образования аэрозоля достигается при сварке примерно на одном и том же режиме.

Третий участок кривой (см. рис. 3.5) характеризуется возрастанием интенсивности выделения ТССА с повышением силы тока и напряжения дуги. Увеличение сварочного тока приводит к струйно-вращательному переносу, сопровождающемуся значительным разбрызгиванием электродного металла [18]. На этом участке длина дуги и площадь сварочной ванны увеличиваются, глубина погружения дуги уменьшается и образуется более свободный выход для паров металла в окружающее пространство.

Таким образом, режим сварки с минимальной интенсивностью образования ТССА, можно рекомендовать как наиболее гигиеничные. Такие режимы являются в то же время и технологичными, обеспечивают высокую производительность расплавления и низкий уровень разбрызгивания электродного металла. Интенсивность выделения ТССА при таких режимах (например, при 440 А, 32...34 В для проволоки Св-08Г2С диаметром 2 мм) меньше, чем во всем изученном диапазоне (см. рис. 3.5).

В отличие от интенсивности образования ТССА ее удельное выделение G_a с повышением сварочного тока снижается (см. рис. 3.5). Оно представляет собой отношение интенсивности образования ТССА к производительности расплавления сварочной проволоки (см. формулу 2.9). При увеличении сварочного тока темп роста производительности расплавления проволоки, в данном случае, опережает темп роста интенсив-

ности образования ТССА. Поэтому удельное выделение ТССА уменьшается. С одной стороны это приводит к снижению относительных потерь металла на испарение, с другой – к возрастанию интенсивности образования ТССА т. е. к повышению загрязнения воздушной среды. Поэтому для сравнительной гигиенической оценки технологий сварки (в данном случае режимов сварки) по показателям уровня выделений СА следует пользоваться интенсивностью образования СА. Удельное выделение СА в отечественной практике, как правило, используют для расчета требуемого объема воздухообмена общеобменной вентиляции.

Рассматривая образование (выделение) ТССА в целом можно сделать вывод, что этот процесс происходит в два этапа: испарение металла в зоне дуги и вынос образованных паров за пределы дуги с их конденсацией в виде твердых частиц. Выносу его из зоны дуги способствуют электрические взрывы перемычки металла, а препятствует погружение дуги в сварочную ванну. Поэтому не весь испаряющийся металл выходит за пределы дуги. При капельном переносе электродного металла без коротких замыканий отсутствие взрывов перемычки снижает возможность поступления паров металла из зоны дуги в окружающий воздух.

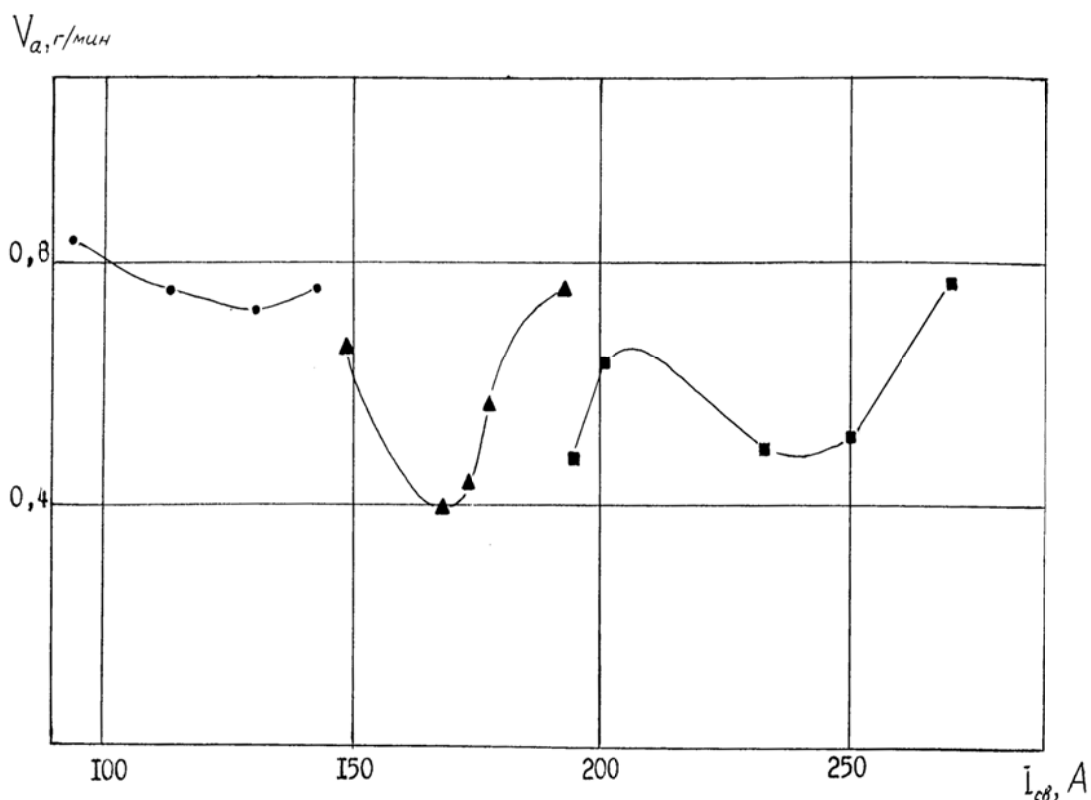
Таким образом, повышение мощности дуги вначале увеличивает испарение, а затем увеличивает проплавление основного металла. По мере погружения дуги в плавильное пространство все более затрудняется выход потока паров в окружающую атмосферу. При полном погружении дуги количество выделений аэрозоля снижается до минимума [165]. Поэтому сварка погруженной дугой является наиболее выгодным в гигиеническом отношении вариантом технологии. Увеличивается при этом и защита зоны сварки от доступа воздуха.

Исследования зависимостей интенсивности образования ТССА от режима сварки и диаметра электрода [63, 161] показали, что при использовании проволоки меньшего диаметра максимум и минимум выделений отмечаются при более низких значениях сварочного тока. Это объясняется влиянием на выделение аэрозоля изменений характера переноса электродного металла. При применении проволок меньшего диаметра эти изменения происходят при более низких сварочных токах.

Таким образом, можно утверждать, что для каждого диаметра электродной проволоки существуют области режимов сварки, при которых отмечаются повышенные и пониженные уровни выделений сварочного аэрозоля. Существенное влияние на интенсивность образования ТССА оказывает форма сварочной ванны (глубина проплавления основного металла), определяющая уровень испарения металла. Это необходимо учитывать при оптимизации технологических параметров режима сварки с целью снижения уровня выделений ТССА.

3.2. Исследование зависимостей уровней выделения сварочного аэрозоля от режима сварки покрытыми электродами с использованием компьютеризованной методики

Зависимость интенсивности образования ТССА от режима сварки определяли в процессе наплавки валиков на пластины из стали ВСтЗсп покрытыми электродами марок АНО-4, АНО-6, АНО-12 диаметрами 3, 4, 5 мм и УОНИ-13/55 диаметрами 4 и 5 мм в требуемых для каждой марки и диаметра электродов диапазонах сварочных токов (рис. 3.6–3.9).



а

Рис. 3.6. Зависимость интенсивности образования ТССА от сварочного тока при применении электродов АНО-4 диаметрами:
● — 3 мм; ▲ — 4 мм; ■ — 5 мм

Полученные результаты [160] свидетельствуют о том, что все исследованные зависимости имеют сложный вид, с максимумами и минимумами интенсивности выделения ТССА. По-видимому, это объясняется влиянием совокупности всех факторов на уровень образования ТССА, таких, как химический состав покрытия электродов, их диаметр, режим сварки, характер переноса электродного металла, мощность

и проплавливающая способность сварочной дуги, а также зависящие от перечисленных факторов геометрические характеристики образующейся сварочной ванны (глубина, ширина, площадь зеркала), длина дуги и глубина ее погруженности в основной металл [23, 33, 165].

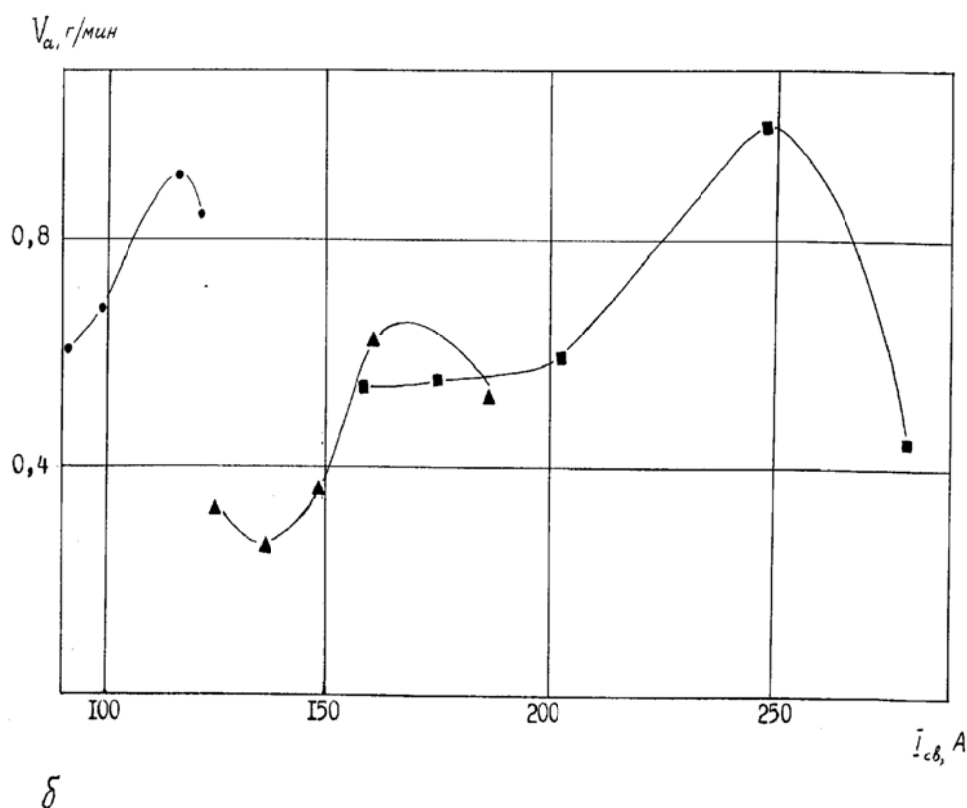
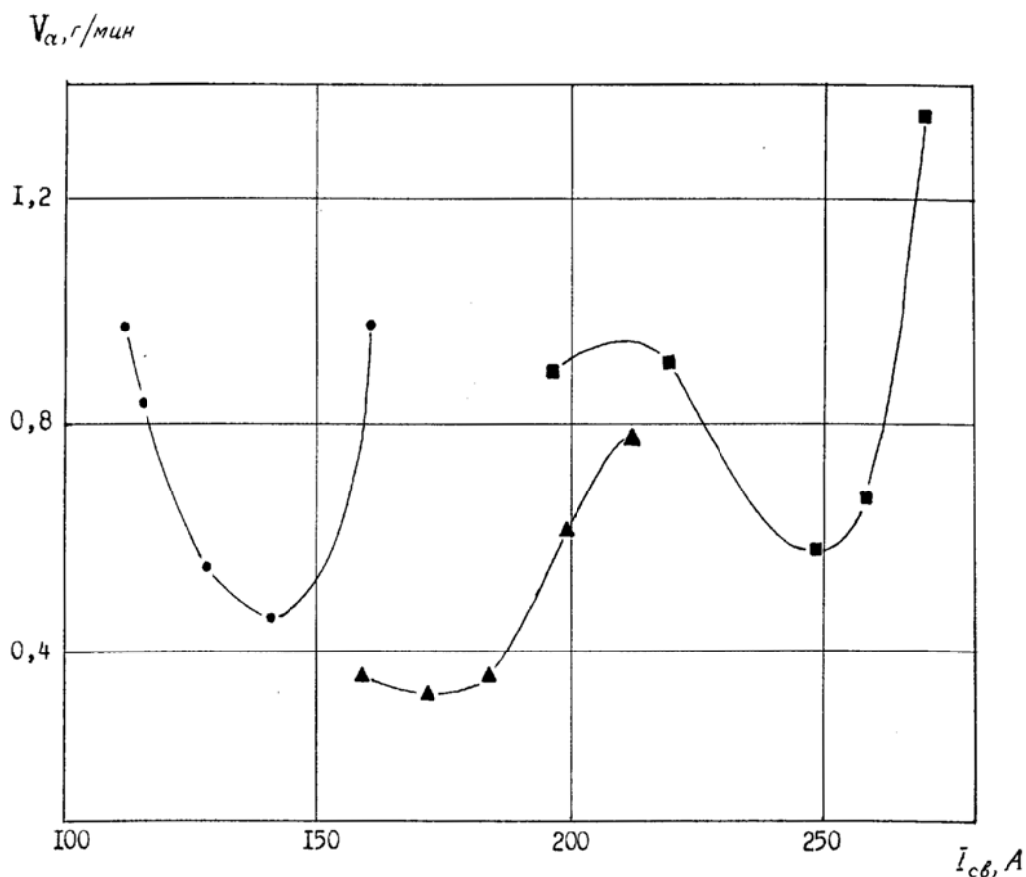


Рис. 3.7. Зависимость интенсивности образования ТССА от сварочного тока при применении электродов АНО-6 диаметрами:
● – 3 мм; ▲ – 4 мм; ■ – 5 мм

При объяснении указанных сложных зависимостей необходимо учитывать следующие особенности процесса [31]:

- при сварке покрытыми электродами возможны несколько типов переноса электродного металла: крупнокапельный, мелкокапельный, а также со взрывами перемычек;
- с увеличением сварочного тока диаметр капель электродного металла уменьшается при использовании электродов всех типов;
- размеры и частота переноса капель металла зависят от режима сварки;
- при сварке покрытыми электродами с увеличением тока перенос капель только с короткими замыканиями (малые токи) может переходить в процесс переноса без коротких замыканий (свободно летящие капли – большие сварочные токи).



b

Рис. 3.8. Зависимость интенсивности образования ТССА от сварочного тока при применении электродов АНО-12 диаметрами:

● — 3 мм; ▲ — 4 мм; ■ — 5 мм

От перечисленных особенностей в значительной мере зависит характер испарения электродного металла и уровень выделения ТССА. Так, зависимости частоты коротких замыканий от сварочного тока имеют ярко выраженный максимум, который определяется диаметром электрода. Зависимости длительности коротких замыканий, диаметра и массы капель также имеют экстремальный характер [31]. В целом все эти особенности сказываются и на зависимостях интенсивности выделения ТССА, которые имеют аналогичный вид.

Вместе с тем повышение сварочного тока и напряжения на дуге приводит к увеличению интенсивности испарения расплавляемого металла, что должно было бы соответственно повышать и уровень выделения образующегося из паров аэрозоля. Однако, как показано в работах [17, 165], не весь испаряющийся металл рассеивается за пределы дуги, где конденсируется в ТССА. Основная его часть все же оседает в сварочной ванне, а незначительная часть (1...3 % общей массы рас-

плавляемого электрода) переходит в аэрозоль. Объясняется это тем, что увеличение мощности дуги, начиная с определенного значения (в зависимости от химического состава и диаметра электрода), приводит к ее погружению в основной металл и уменьшению рассеивания паров из сварочной ванны в окружающую среду. Таким образом, для каждого диаметра электродов существуют значения сварочных токов при которых дуга максимально погружается в основной металл, обеспечивая тем самым минимальное выделение аэрозоля. Дальнейшее увеличение мощности дуги приводит к увеличению площади зеркала сварочной ванны (площади испарения) и, соответственно, к потерям металла, расходуемого на образование аэрозоля [165].

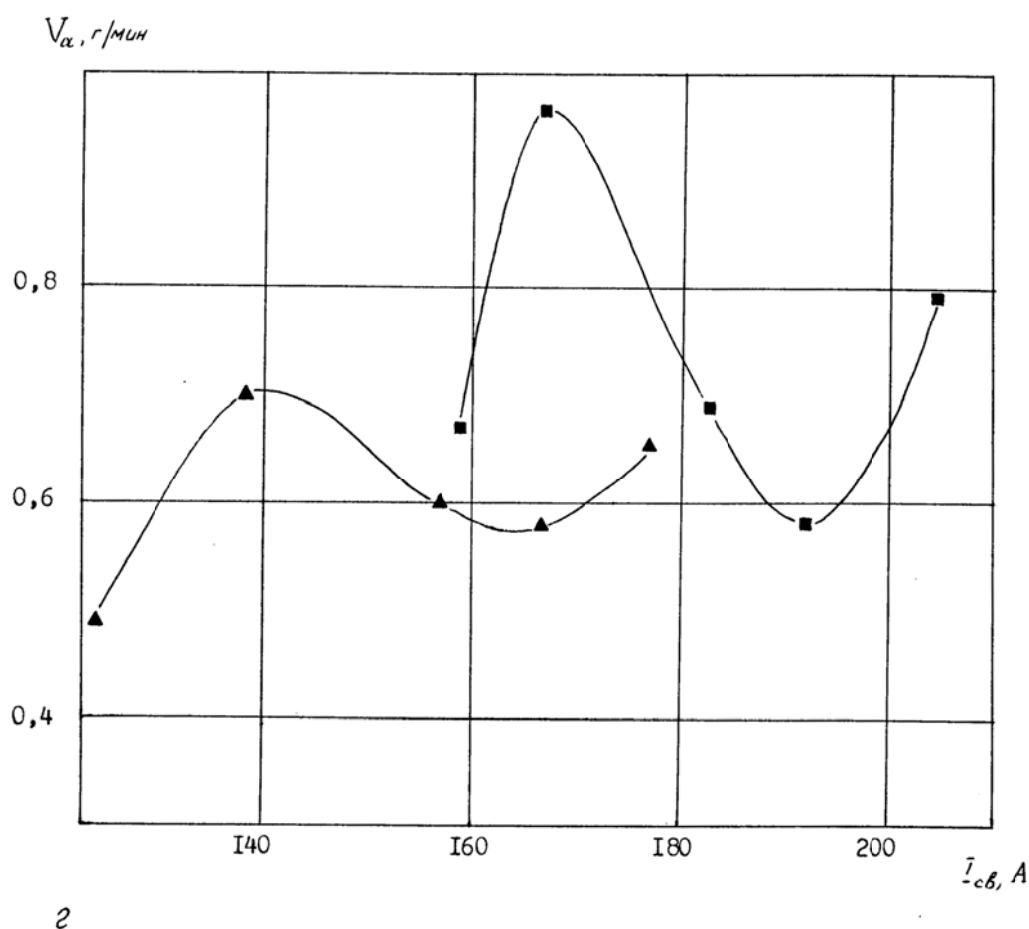


Рис. 3.9. Зависимость интенсивности образования ТССА от сварочного тока при применении электродов УОНИ-13/55 диаметрами: \blacktriangle – 4 мм; \blacksquare – 5 мм

Из результатов экспериментов следует, что выбор режима сварки, обеспечивающего минимальное выделение ТССА, позволяет снижать уровень загрязнения воздуха рабочей зоны примерно в 1,5...3,0 (в сред-

нем в 2) раза при применении электродов АНО-4, АНО-6, АНО-12 диаметрами 3...5 мм, и в 1,5 раза при использовании электродов УОНИ-13/55 диаметрами 4 и 5 мм. Это позволяет улучшить условия труда сварщиков, а также достигнуть экономического эффекта за счет уменьшения требуемых объемов воздухообмена вентиляции [158].

Для проверки достоверности новой методики приводим сопоставление результатов определений интенсивности образования ТССА по предлагаемой и общепринятой методике при сварке электродами АНО-4 и УОНИ 13/55 диаметром 4 мм (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Сопоставление результатов определений интенсивности образования ТССА по новой и общепринятой методике

Марка электродов	Сварочный ток, А	Интенсивность образования ТССА, г/мин		Относительная погрешность, %
		по общепринятой методике [154]	по новой методике	
АНО-4	190	0,60	0,72	20,0
УОНИ-13/55	130	0,63	0,55	12,7

Как следует из таблицы, относительная погрешность результатов экспериментов не превышает 20 %. Согласно требований ГОСТ 12.1.005–88, относительная погрешность измерений концентраций вредных веществ не должна превышать ± 25 %.

Необходимо отметить, что принцип, на котором основана предлагаемая методика, не вызывает сомнений, поскольку такие факторы, как физико-химические свойства и дисперсный состав аэрозолей не влияют на возможность регистрации их электрического заряда. Главным здесь является то, что при прохождении аэрозоля через электрическое поле малые частицы приобретают малый электрический заряд, большие – большой. Суммарный же заряд частиц аэрозоля всех размеров будет пропорционален их общей массе. Для регистрации электрического заряда анализатора АВА-1 использован известный прибор ИКП-1, предназначенный для аналогичных целей, который прошел соответствующую экспертизу.

Полученные графические зависимости интенсивности образования ТССА от сварочного тока позволяют выбирать режимы сварки, при которых выделяется минимальное количество аэрозолей. Для проведения таких исследований по новой методике необходимо израсходовать всего лишь 2–3 электрода одной марки и определенного диа-

метра. Для этого потребуется всего 1...2 мин и еще несколько минут для математической обработки экспериментальных данных и построения графических зависимостей. На выполнение подобной работы по общепринятой методике ушло бы не менее 50 электродов и в десятки раз больше времени на ведение сварочного процесса, на взвешивание фильтров с отобранными пробами ТССА, а также на математическую обработку результатов опытов.

Таким образом, применение новой компьютеризованной методики позволяет проводить исследования зависимостей уровней выделения ТССА от режима сварки для многих марок сварочных материалов, способов сварки и других родственных технологий.

3.3. Влияние режима сварки модулированным током на выделение сварочного аэрозоля

Одним из путей совершенствования гигиенических характеристик процессов дуговой сварки является применение специальных импульсных источников тока, позволяющих уменьшать избыточную энергию дуги, вызывающую интенсивное испарение плавящихся материалов, управлять переносом электродного металла и ослаблять его разбрызгивание [63]. Сварка модулированным током [169], благодаря периодическому изменению величины сварочного тока, позволяет улучшать гигиенические характеристики этого процесса по сравнению со сваркой непрерывным током [170].

Целью исследований, изложенных в настоящем разделе, явилось исследование гигиенических характеристик данного процесса сварки, а также определение возможностей снижения выделений ТССА путем выбора оптимального режима при механизированной сварке в углекислом газе [171]. Для этого были исследованы зависимости уровней выделений ТССА (интенсивность образования V_a , удельное выделение G_a) и содержания в ней марганца [Mn] от параметров режима сварки модулированным током (тока импульса $I_{и}$, напряжения импульса $U_{и}$, длительности импульса $\tau_{и}$). Сварка в CO_2 выполнялась на полуавтомате А-547Ум с низкочастотным модулятором СУ-256У3. Использовалась электродная проволока Св-08Г2С диаметром 1,2 мм; основной металл ВСт3сп. Режимы сварки модулированным током частотой 50 Гц приведены в табл. 3.3. При сварке постоянным непрерывным током обратной полярности (для сравнения) сварочный ток изменяли в пределах 150...255 А при напряжении дуги 26 В. Определение уровней выделений ТССА и содержания в ней марганца проводилось по общепринятым методикам (см. главу 2).

Таблица 3.3

Режимы сварки модулированным током

$I_{и}, А$	$I_{п}, А$	$U_{и}, В$	$U_{п}, В$	$\tau_{и}, с$
150	100	24	15	0,1
200	100	24	15	0,1
260	120	24	15	0,1
150	100	26	15	0,5
200	100	26	15	0,5
250	120	26	15	0,5
150	100	30	15	1
220	100	30	15	1
250	120	30	15	1

Результаты сравнительной гигиенической оценки сварки непрерывным и модулированным током показали, что при сварке на режимах с примерно равным средним током показатели уровня выделения ТССА и содержание в ней марганца ниже в случае применения модулированного тока (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Сравнительная характеристика выделений ТССА и содержания в ней марганца при сварке непрерывным и модулированным током при равном среднем токе

Постоянный ток без модуляции								
$I_{св}, А$	$U_{д}, В$	$V_{а}, г/мин$	$G_{а}, г/кг$	[Mn], % мас.				
150	26	0,51	15,8	8,9				
Модулированный ток								
$I_{и}, А$	$I_{п}, А$	$U_{и}, В$	$U_{п}, В$	$\tau_{и}, с$	$\tau_{п}, с$	$V_{а}, г/мин$	$G_{а}, г/кг$	[Mn], % мас.
220	100	26	15	0,5	0,5	0,48	12,4	5,7

При периодическом снижении силы модулированного тока в паузах (при равных непрерывном токе и токе импульса) сварка модулированным током обеспечивает меньшую интенсивность образования ТССА, кроме сварки постоянным током на режиме 255 А (рис. 3.10, а). Ясно, что уменьшение общей мощности дуги за счет пауз снижает избыток энергии, имеющий место при сварке непрерывным током и идущий на перегрев и испарение металла. Содержание марганца в составе ТССА при применении модулированного тока на различных режимах ниже, чем при сварке постоянным током (рис. 3.10, б).

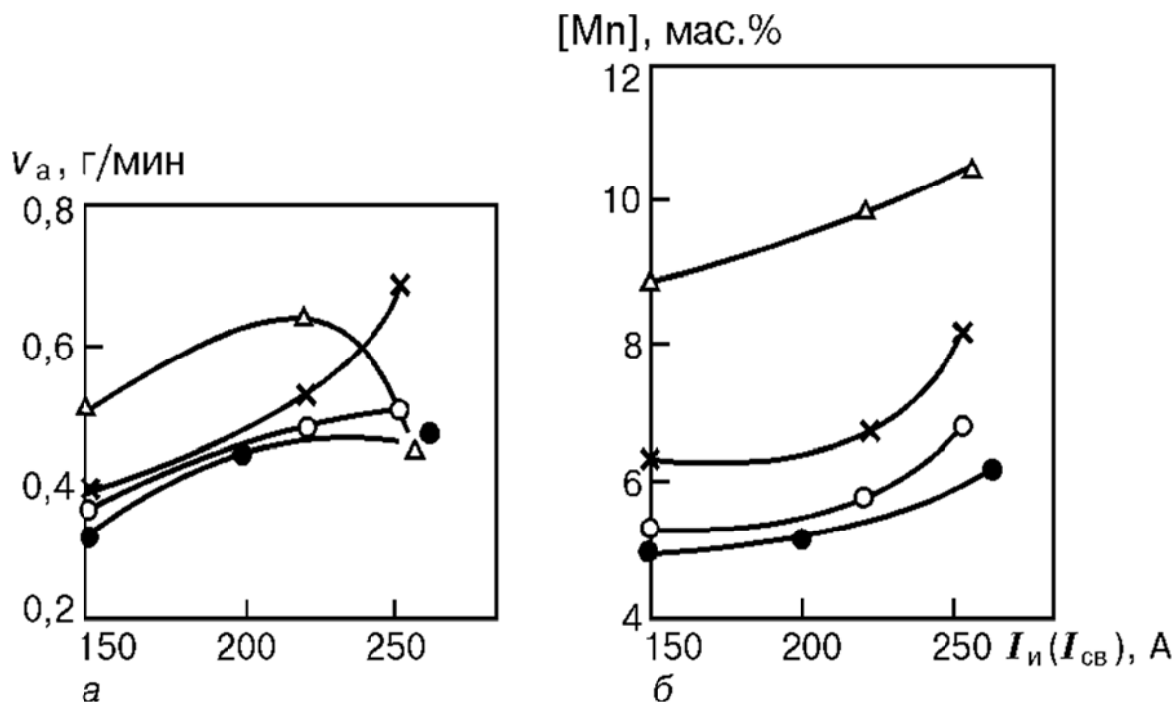


Рис. 3.10. Зависимость интенсивности образования ТССА (а) и содержания в ней марганца (б) от сварочного тока при сварке постоянным током (Δ) и модулированным с равной длительностью импульсов и пауз (\bullet – 1 с, \circ – 0,5 с, \times – 0,1 с)

При сварке постоянным током в защитном газе уровень выделений ТССА определяется не только мощностью дуги, но и характером переноса электродного металла. При этом зависимость валовых выделений от сварочного тока носит экстремальный характер [33]: имеются максимум, соответствующий наибольшему разбрызгиванию электродного металла, и минимум, соответствующий мелкокапельному переносу без коротких замыканий. При сварке на постоянном токе силой 255 А значение интенсивности выделения ТССА находится на участке снижения выделений (при повышении сварочного тока) и имеет наименьшую величину на этом режиме как при сварке непрерывным током, так и при сварке модулированным током с импульсом равным 250...260 А (рис. 3.10, а). При сварке модулированным током повышение тока импульса усиливает интенсивность образования ТССА (рис. 3.11, а). При этом имеет место перенос электродного металла с принудительными короткими замыканиями, а повышение тока импульса приводит к усилению взрывов перемычки металла в дуговом промежутке, а следовательно, к повышенному выбросу паров металла за пределы дуги. Повышение напряжения импульса также приводит к усилению выделения ТССА (рис. 3.11, б). При увеличении длительности одинаковых импульсов и пауз интенсивность выделения ТССА снижается (рис. 3.11, в).

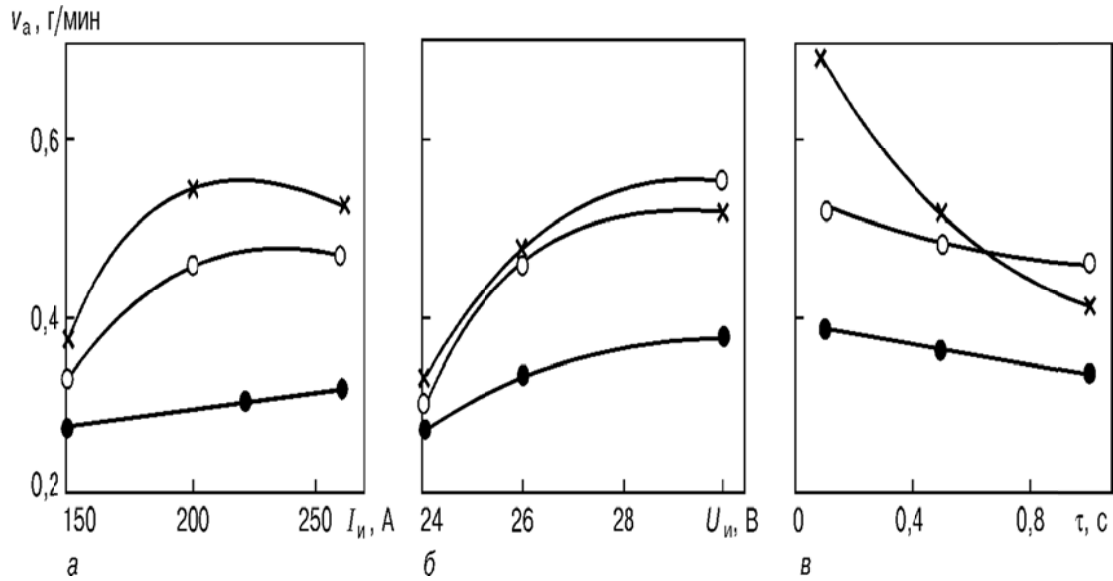


Рис. 3.11. Зависимость интенсивности образования ТССА:

а – от силы тока импульса при напряжениях импульса ● – 24 В, ○ – 26 В, × – 30 В;
 б – от напряжения импульса при токах импульсов ● – 150 А, ○ – 200...220 А,
 × – 260...270 А; в – от длительности равных импульсов
 при токах ● – 150 А, ○ – 200...220 А, × – 260...270 А

Исследования влияния параметров режима сварки модулированным током на содержание в ТССА марганца (рис. 3.12) свидетельствуют о том, что путем выбора режима модуляции выделение марганца можно снижать в широких пределах: например, с 11,3 % до 4,4 %, т. е. в 2,5 раза. Так, при сварке на низком напряжении импульса (24 В) с повышением тока содержание марганца в ТССА мало увеличивается – с 4,4 % до 6,1 %, а при высоком напряжении импульса (30 В) – с 7,5 % до 11,3 % (рис. 3.12, а, б). Рост напряжения дуги приводит к увеличению её длины, а следовательно и времени переноса и испарения капель электродного металла. Поскольку при сварке (тем более модулированным током) условия испарения в дуговом промежутке значительно отличаются от равновесного испарения, то содержание легколетучего марганца в аэрозоле также будет, в основном, определяться особенностями испарения при дуговом процессе [48]. Эти условия определяются длиной дуги, наличием коротких замыканий, их частотой, размером капель электродного металла и временем их существования и испарения. При сварке с короткими замыканиями испарение металла имеет взрывной характер и содержание летучего марганца в паре за короткое время взрыва металлической перемычки не успевает повыситься до равного парциальному давлению. С повышением напряжения дуги увеличивается длина дуги, размер капли, время её испарения и снижается частота коротких замыканий дугового промежутка, что способствует прибли-

жению условий испарения к равновесным, при которых содержание марганца в аэрозоле значительно повышается (стремится к расчетному).

Отсюда можно сделать вывод, что применение сварки модулированным током позволяет значительно снизить выделение марганца в составе ТССА путем достижения процесса с принудительными короткими замыканиями, увеличения частоты замыканий, уменьшения длины дуги и размера капель.

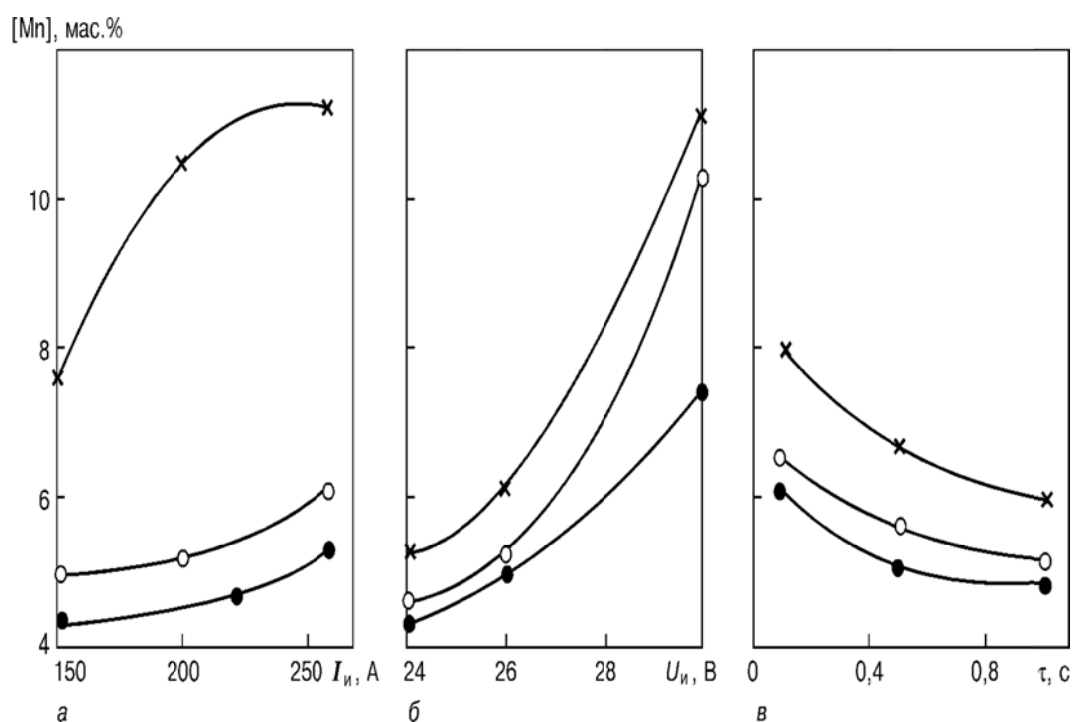


Рис. 3.12. Зависимость содержания марганца в ТССА:

- а – от силы тока импульса при напряжениях импульса ● – 24 В, ○ – 26 В, × – 30 В;
 б – от напряжения импульса при токах импульсов ● – 150 А, ○ – 200...220 А,
 × – 260...270 А; в – от длительности равных импульсов
 при токах ● – 150 А, ○ – 200...220 А, × – 260...270 А

Рост длительности импульсов приводит к снижению содержания марганца в ТССА (рис. 3.12, в), хотя средняя мощность дуги не изменяется. По-видимому, это обусловлено влиянием частоты импульсов на частоту коротких замыканий. Импульсы модулированного тока способствуют отрыву капли от электрода, но частота накладываемых импульсов не всегда совпадает с частотой переноса капли с электрода в ванну. С увеличением частоты импульсов содержание марганца в ТССА повышается – при сварке на непрерывном токе оно максимально (рис. 3.12, б). Это свидетельствует о том, что при увеличении частоты импульсов и при переходе к сварке на непрерывном токе воздействие импульсов на частоту переноса капель электродного металла снижается

и испарение приближается к равновесному. Поэтому снижать содержание марганца в ТССА можно регулированием частоты импульсов модулированного тока, способствующих лучшему отрыву капли от электрода и увеличению частоты их перехода в ванну [171].

3.4. Математическое моделирование химического состава твердой составляющей сварочного аэрозоля

Для разработки мероприятий по защите сварщиков и окружающей среды от аэрозолей, образующихся при электродуговой сварке, необходимы сведения об их химическом составе и уровнях выделений. Такие данные получают довольно трудоемким экспериментальным путем. Поэтому существует необходимость прогнозирования возможных составов и уровней выделений СА еще на стадии разработки сварочных материалов и при выборе оптимальных режимов сварки.

Цель настоящей части работы – поиск теоретических основ математического моделирования процесса формирования количественного состава ТССА и разработка соответствующей системы прогнозирования.

ТССА образуется преимущественно в результате испарения расплавленного материала на торце электрода, поскольку он имеет более высокую температуру, чем основной металл [9]. Поэтому химический состав ТССА на 80...90 % обусловлен составом сварочного электрода [40]. Таким образом, в общем виде процентное содержание компонентов в ТССА можно представить как функцию, зависящую от состава расплава материала электрода и от парциальных давлений испаряющихся компонентов

$$C_i^a = f(C_i^p, P_i), \quad (3.1)$$

где C_i^p – содержание i -го компонента в расплаве, %; P_i – парциальное давление пара i -го компонента, равное произведению давления пара чистого элемента на его молярную долю в расплаве [21]. Вместе с тем, учитывая особенности образования аэрозоля при дуговом процессе т. е. равновесное испарение и неравновесный (взрывной) переход компонентов расплава в аэрозоль, было предложено представлять состав ТССА в виде известного правила смешения [23]

$$C_i^a = \alpha C_i^p + (1 - \alpha) C_i^n, \quad (3.2)$$

где C_i^n – содержание i -го компонента в насыщенном паре над расплавом, %; α – коэффициент неравновесного образования аэрозоля, характеризующий долю нефракционной составляющей при формировании состава ТССА. Соответственно значение $1 - \alpha$ считается коэффициентом фракционного образования аэрозоля.

Нефракционное образование ТССА 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.

Поскольку соотношение равновесного и неравновесного испарения зависит от режима сварки, целесообразно установить вид этой зависимости. Такие исследования были выполнены для идеального случая – механизированной сварки в CO_2 низколегированными проволоками, содержащими железо, марганец и кремний [48].

Для этого на пластины из стали ВСтЗсп наплавляли валики. Сварочный ток (постоянный обратной полярности) изменяли от 200 до 440 А, напряжение на дуге – от 23 до 34 В, скорость сварки составляла 16 м/ч, расход углекислого газа – 20 л/мин. Применяли сварочную проволоку типа Св-08Г2С диаметром 2 мм, содержащую 1,00...1,98 % марганца, 0,50...0,81 % кремния и примерно 0,1 % углерода. Вылет электрода поддерживали равным 20 мм.

Значения коэффициента нефракционности α определяли из уравнения (3.2) при известных содержаниях компонентов в сварочной проволоке, насыщенном паре и ТССА:

$$C_i^a - C_i^n = \alpha C_i^p - \alpha C_i^n,$$

или

$$C_i^a - C_i^n = \alpha(C_i^p - C_i^n),$$

отсюда

$$\alpha = \frac{C_i^a - C_i^n}{C_i^p - C_i^n}. \quad (3.3)$$

Значение C_i^a определяют экспериментально; C_i^n – вычисляется по парциальным давлениям паров элементов, зависящим от температуры капель электродного металла [21]. Как известно, температура металла на торце электрода и части поверхности сварочной ванны (в анодном и катодном пятне) приближается к температуре кипения металла. При сварке стали средняя температура электродного металла в момент его

отрыва от торца электрода составляет 2000...2100 °С, а при его полете через дугу повышается до 2150...2900 °С [22]. Это свидетельствует о том, что при дуговой сварке значительная часть поверхности металла электродных капель и сварочной ванны находится в кипящем состоянии и выделяет в зону дуги большое количество паров металла, которое нам необходимо определить. Для этого сначала определяют температуру капель металла по их теплосодержанию. По данным [16] эту температуру можно рассчитать по величине сварочного тока:

$$T = 2510 + 0,900 I_{\text{св}}, \quad (3.4)$$

где $I_{\text{св}}$ – сварочный ток, А.

Упругость паров чистых элементов находят по известным термодинамическим уравнениям и константам [21]:

$$\lg P_i^{\text{I}} = -\frac{\Delta H}{19,15 T} + D, \quad (3.5)$$

где ΔH и D – экспериментальные константы.

Кроме того, для широко применяемой сварочной проволоки Св-08Г2С упругость паров можно находить по уравнениям [22]:

$$\lg P_{\text{Fe}}^{\text{I}} = \frac{20150}{T} - 1,27 \lg T + 13,98; \quad (3.6)$$

$$\lg P_{\text{Mn}}^{\text{I}} = \frac{15240}{T} - 3,04 \lg T + 19,44; \quad (3.7)$$

$$\lg P_{\text{St}}^{\text{I}} = \frac{1700}{T} - 1,022 \lg T + 12,31, \quad (3.8)$$

где P – упругость пара, мм рт. ст.; T – температура, К.

Упругость пара i -го элемента над расплавом рассчитывается по формуле

$$P_i = P_i^{\text{I}} N_i^{\text{P}}, \quad (3.9)$$

где N_i^{P} – молярная доля элемента в расплаве, которая рассчитывается по соотношению

$$N_i^{\text{P}} = \frac{C_i^{\text{P}} / A_i}{\sum C_i^{\text{P}} / A_i}, \quad (3.10)$$

где A_i – атомная масса элементов.

По упругостям паров вычисляли содержания элементов в паре [21]. Молярную долю элементов в паре определяли по формуле

$$N_i^{\text{п}} = P_i / \Sigma P_i, \quad (3.11)$$

где ΣP_i – общее давление насыщенного пара над многокомпонентным расплавом. Его можно выразить как сумму упругостей паров входящих в сплав компонентов (элементов) [22]

$$\Sigma P_i = P_1 N_1^{\text{п}} + P_2 N_2^{\text{п}} + P_3 N_3^{\text{п}} + \dots + P_i N_i^{\text{п}}, \quad (3.12)$$

где $P_{1,2,3,\dots,i}$ – упругости пара чистых элементов при данной температуре.

Молярная доля переводится в массовую по формуле

$$C_i^{\text{п}} = \frac{N_i^{\text{п}} A_i}{\sum N_i^{\text{п}} A_i}, \quad (3.13)$$

где A_i – атомная масса элемента.

Исследования и математическая обработка установленных зависимостей коэффициентов нефракционного образования ТССА от мощности дуги показали (табл. 3.5), что их можно представить в виде линейного уравнения [48]

$$\alpha_i = \alpha_{i0} - k_i I_{\text{св}} U_{\text{д}}, \quad (3.14)$$

где k_i – постоянная, характеризующая степень изменения коэффициента нефракционного образования ТССА; α_{i0} – начальное значение коэффициента α .

Эта закономерная связь облегчает моделировать химический состав ТССА в зависимости от состава сварочной проволоки и режима сварки. Подставив уравнение (3.14) в (3.2), получим следующую математическую модель:

$$C_i^{\text{а}} = 0,68 \{ C_i^{\text{п}} (\alpha_{i0} - k_i I_{\text{св}} U_{\text{д}}) + C_i^{\text{п}} [1 - (\alpha_{i0} - k_i I_{\text{св}} U_{\text{д}})] \} \quad (3.15)$$

Сомножитель 0,68 представляет собой коэффициент пересчета содержания элемента в ТССА с учетом возможного количества кислорода в соединениях с марганцем, кремнием и железом.

При разработке данной математической модели учитывалось, что ТССА 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 [27] (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 прово-

дили по парциальным давлениям марганца, кремния и железа без учета соединений с кислородом. Концентрации этих элементов в составе ТССА 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.

Сопоставим экспериментальные значения концентраций элементов в ТССА и их расчетные концентрации в насыщенном паре, из которого образуется данный аэрозоль.

Содержание марганца в ТССА (табл. 3.5) намного ниже, чем теоретически рассчитанное его содержание в паре. Кроме того, с увеличением сварочного тока концентрация марганца в ТССА увеличивается, а в паре снижается. Такое расхождение данных объясняется тем, что в паре над металлическим расплавом скорость роста давления паров железа больше, чем марганца (для расплава металла типа Св-08Г2С) [22]. Пониженное же содержание марганца в ТССА и его зависимость от сварочного тока свидетельствует о том, что условия образования аэрозоля при дуговом процессе значительно отличаются от нормальных (равновесных) условий испарения из расплава. Поэтому избирательное испарение компонентов расплава не оказывает большого влияния на формирование ТССА. Вследствие быстрого испарения из активного пятна дуги и взрывного образования аэрозоля содержание легколетучего марганца в ТССА намного ниже, чем должно было быть в паре, и при увеличении сварочного тока до 440 А оно приближается к содержанию марганца в паре.

Таблица 3.5

Экспериментальное содержание элементов в ТССА и расчетное в насыщенном паре

$I_{св}, А$	$U_{д}, В$	C_{Mn}^a	$C_{Mn}^п$	α_{Mn}	C_{Si}^a	$C_{Si}^п$	α_{Si}	C_{Fe}^a	$C_{Fe}^п$	α_{Fe}
200	23	8,45	25,51	0,72	6,16	2,54	-2,09	85,37	71,94	0,53
300	29	12,70	22,7	0,48	6,20	2,49	-2,20	81,09	74,63	0,28
400	32,5	15,66	19,2	0,20	7,54	2,67	-2,61	76,78	78,19	-0,07
440	34,0	17,65	18,6	0,03	7,90	2,83	-2,50	74,44	79,00	-0,25

В общем случае концентрации элементов в ТССА будут определяться соотношением фракционной и нефракционной их долей в составе аэрозоля. При изменении режима сварки (сварочного тока и напряжения на дуге) изменяется соотношение фракционной и нефракционной составляющих аэрозоля вследствие изменения характера переноса электродного металла. Для установления зависимости состава ТССА от режима сварки рассмотрим его влияние на коэффициент нефракционности.

Если ток равен 200 А фактическая концентрация марганца (без учета кислорода) в ТССА равна 8,45 %, а теоретическая (для пара) – 25,51 %. Это объясняется тем, что в данном случае перенос электродного металла происходит с короткими замыканиями, что обуславливает преимущественно нефракционное испарение элементов. Коэффициент нефракционности при этом максимален (см. табл. 3.5).

С увеличением силы тока, по мере перехода к капельному переносу электродного металла без замыканий, возрастает доля фракционной составляющей в аэрозоле, значение α уменьшается, содержание марганца в ТССА также растет. По-видимому, при прекращении взрывов перемычки металла создаются более благоприятные условия для равновесного испарения из капель и сварочной ванны. При этом в большей мере реализуется избирательное испарение, и состав ТССА приближается к составу насыщенного пара, однако не достигает его, так как нефракционное образование ТССА имеет место и при максимальных параметрах режимов сварки. Для кремния коэффициент α также уменьшается с повышением сварочного тока и имеет отрицательное значение, в отличие от коэффициента нефракционности марганца (см. табл. 3.5). В общем знак при коэффициенте нефракционности определяется выражением (3.3) и зависит от содержания элементов в проволоке, аэрозоле и от расчетного состава пара. Так, поскольку в проволоке содержание марганца (наиболее летучего компонента) низкое, то его фракционный переход в аэрозоль приводит к снижению концентрации марганца в ТССА по сравнению с ожидаемой концентрацией в паре, но не ниже его содержания в проволоке. Это обуславливает положительные значения α для марганца. Причиной отрицательных значений α для кремния является то, что концентрация кремния в ТССА больше, чем в проволоке, и превышает расчетное значение для пара. Повышение же содержания кремния в ТССА, по сравнению с ожидаемой концентрацией в паре, объясняется, по-видимому, присутствием его в аэрозоле в виде SiO – компонента более летучего, чем элементарный кремний [27].

Коэффициент нефракционности для железа с увеличением сварочного тока изменяется от 0,53 до –0,25 (табл. 3.5). Положительные значения α обусловлены повышенным переходом железа в ТССА за счет преимущественно нефракционного испарения марганца, отрицательные – пониженным переходом железа в аэрозоль за счет увеличения в нем фракционной составляющей марганца.

Вычисления коэффициентов нефракционности в зависимости от режима сварки показали, что они имеют линейный характер с перегибами, соответствующими изменению характера переноса электродного металла, т. е. одни значения при сварочных токах до 400 А и другие –

после 400 А. В табл. 3.6 приведены значения констант в уравнении (3.15) для низколегированных проволок, содержащих марганец, кремний и железо.

Таблица 3.6
Константы математической модели химического состава ТССА

Элементы	$I_{св}, А$	α_{i0}	k_i
Марганец	≤ 400	1,02	$0,633 \cdot 10^{-4}$
	> 400	1,34	$0,893 \cdot 10^{-4}$
Железо	≤ 400	0,87	$0,669 \cdot 10^{-4}$
	> 400	1,36	$0,105 \cdot 10^{-3}$
Кремний	–	-1,70	$0,614 \cdot 10^{-4}$

Точность расчетов по уравнению (3.15) была проверена с привлечением экспериментальных данных других авторов (табл. 3.7). Средняя относительная погрешность составляет 6 %, что позволяет рекомендовать данное уравнение для гигиенической оценки условий труда при сварке в углекислом газе низколегированными проволоками, а также при оптимизации составов разрабатываемых сварочных проволок и режимов сварки.

Таблица 3.7
Проверка точности расчетов

Источник	Марка проволоки	Содержание марганца в проволоке, %	Сварочный ток, А	Содержание марганца в ТССА, %		Относительная погрешность, %
				экспериментальные данные	расчетные данные автора по уравнению (3.15)	
[50]	Св-08Г2С	1,98	400	11,0	10,66	3,0
[29]	Св-08Г2С	1,8...2,1	400	11,6	10,63...10,94	8,3...5,6
[50]	Св-07Г	1,56	400	10,7	10,87	1,5
[48]	Св08ГС	1,90	410	12,3	10,95	10,9

Настоящая математическая модель [172] в комплексе с ранее предложенной моделью для расчета общих уровней выделений ТССА [162] позволяет прогнозировать как состав ТССА, так и уровни выделения компонентов аэрозоля.

Показатели уровней выделений ТССА определяются, прежде всего, мощностью сварочной дуги. Поэтому их целесообразно представлять как функцию от этой мощности

$$V_a = f(q_d), \quad (3.16)$$

$$G_a = f(q_d) \quad (3.17)$$

и исследовать первые производные этих показателей по мощности дуги

$$V'_a = \frac{dV_a}{dq_d}, \quad (3.18)$$

$$G'_a = \frac{dG_a}{dq_d}, \quad (3.19)$$

где V_a и G_a – интенсивность образования (г/мин) и удельное выделение (г/кг) ТССА соответственно; q_d – мощность сварочной дуги, кВт.

Таким образом, дифференцирование этих показателей по мощности дуги позволяет получить новые показатели уровней выделений сварочных аэрозолей – коэффициент интенсивности образования (удельная скорость образования) β_a с размерностью г/кВт·ч и коэффициент удельного выделения γ_a , выраженный в г/кВт·кг, которые определяются по формулам:

$$\beta_a = 6 \cdot 10^4 \frac{V_a}{I_{св} U_d}, \quad (3.20)$$

$$\gamma_a = 10^3 \frac{G_a}{I_{св} U_d}, \quad (3.21)$$

где $I_{св}$ – сварочный ток, А; U_d – напряжение дуги, В. Если β_a и γ_a известны, то интенсивность и удельное выделение рассчитываются по формулам:

$$V_a = 0,167 \cdot 10^{-4} \beta_a I_{св} U_d, \quad (3.22)$$

$$G_a = 10^{-3} \gamma_a I_{св} U_d. \quad (3.23)$$

Как показали исследования, удельная скорость образования ТССА β_a (при сварке в защитных газах) имеет закономерную пропорциональную связь с мощностью дуги [162]. Это позволяет выразить ее в виде линейного уравнения

$$\beta_a = \beta_{oa} - K I_{св} U_d, \quad (3.24)$$

имеющего различные значения постоянных для различных способов сварки, и, подставив его в выражение (3.22), получим уравнение расчета интенсивности образования ТССА в зависимости от режима сварки (мощности дуги)

$$V_a = 0,167 \cdot 10^{-4} I_{св} U_d (\beta_{oa} - K I_{св} U_d). \quad (3.25)$$

Удельное выделение ТССА можно рассчитать по выражению (3.23), если известен характер изменения γ_a , который можно установить аналогично определению β_a , или по формуле

$$G_a = V_a / G_p, \quad (3.26)$$

определив для этого вначале V_a по уравнению (3.22), где G_p – известная производительность расплавления сварочного материала, кг/мин.

На основе многочисленных опытов было установлено, что практически все экспериментальные точки уравнения (3.24) мало отклоняются от линейной зависимости. Поэтому для определения постоянных уравнения β_{oa} и K экспериментальные замеры можно производить только в крайних точках исследуемого диапазона режимов сварки.

Расчет интенсивности и удельного выделения отдельных компонентов ТССА производится путем объединения математических моделей химического состава ТССА (3.15) и их общих уровней выделения (3.25) и (3.26):

$$V_i = 0,01 C_i^a V_a, \text{ г/мин}; \quad (3.27)$$

$$G_i = 0,01 C_i^a G_a, \text{ г/кг}. \quad (3.28)$$

Полученные математические модели и алгоритмы расчетов реализованы в программной системе прогнозирования уровней выделений компонентов ТССА для персонального компьютера, блок-схема которой представлена на рис. 3.1.

Исходными данными для расчета является химический состав сварочного материала и диапазон режимов сварки (минимальные и максимальные значения сварочного тока и напряжения дуги, величина шага изменения режима сварки).

Вначале, по соотношению (3.10), C_i^p пересчитывается в мольную долю элемента в сварочном электроде N_i^p . По циклической программе, используя формулу (3.4), в зависимости от величины сварочного тока определяется температура капель расплавленного металла T , по которой, с использованием выражения (3.5), рассчитываются парциальные давления чистых элементов P_i^l . Затем по P_i^l и N_i^p , с помощью формулы (3.9), вычисляется упругость паров элементов над расплавом P_i , по соотношению (3.11) рассчитывается их молярная доля в паре N_i^n и по формуле (3.13) – концентрация C_i^n . По величине коэффициента α , с помощью математической модели (3.15), рассчитывается массовая концентрация элемента в ТССА C_i^a . Также, по циклической программе, в зависимости от величины сварочного тока и напряжения дуги, используя выражения (3.27, 3.28), вычисляются показатели уровней выделений ТССА V_a и G_a и, имея значения C_i^a , определяются (как процент

от числа) показатели уровней выделений компонентов ТССА V_i и G_i . В результате расчетов на печать выводятся данные по всем необходимым для полной характеристики ТССА показателям: содержанию компонентов в ТССА, общей интенсивности и удельному выделению ТССА, а также ее отдельных компонентов.

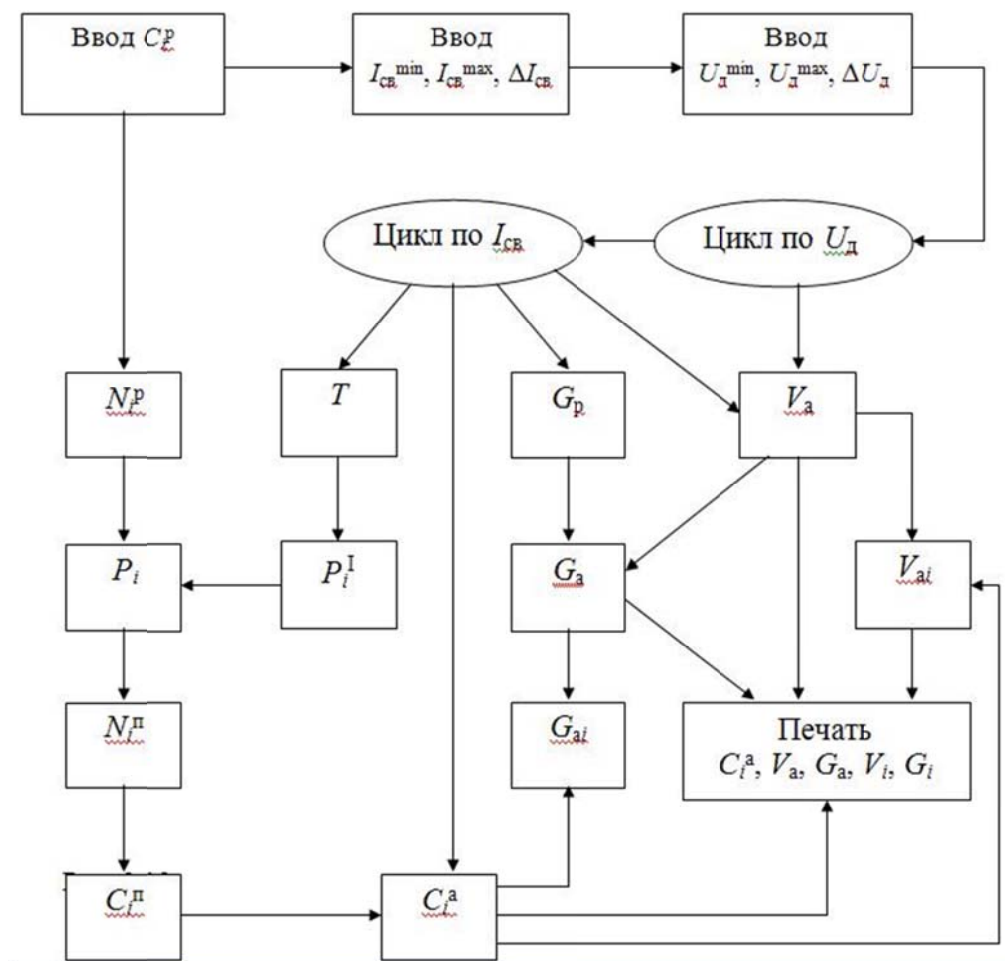


Рис. 3.13. Блок-схема программной системы прогнозирования уровней выделений компонентов ТССА

3.5. Исследование химического состава газообразной составляющей сварочного аэрозоля

Химический состав ТССА довольно подробно изучен и представлен в различных литературных источниках. Данные по составам ТССА немногочисленны и часто противоречивы. Согласно одним из них [6] обязательными компонентами ТССА, образующимися при сварке в среде защитных газов, являются озон (O_3), оксиды азота (NO_x) и монооксид углерода (CO). Результаты исследований уровней выделений этих веществ при применении различных защитных газов свидетельствуют

о том, что при сварке стали плавящимся электродом в углекислом газе они незначительны: примерно на порядок ниже, чем при сварке в аргоне с добавкой от 2 до 20 % углекислого газа [38]. Последние данные [173], основанные на использовании современным газоанализаторов, свидетельствуют о том, что механизм образования озона сложен и уровень его выделения зависит от способа сварки, основного металла, вида сварочного материала, величины тока, напряжения и длины дуги, химического состава защитного газа. Причем отмечено, что для различных способов сварки в защитных газах образование озона характерно только для сварки плавящимся и неплавящимся электродом в инертных газах, а монооксида углерода – для сварки плавящимся электродом в углекислом газе [174].

Цель исследований, изложенных в настоящей главе, заключалась в проверке с использованием общепринятых отечественных методик данных положений, а также в установлении зависимостей интенсивности образования компонентов ГССА при механизированной сварке в различных защитных газах от режима сварки [175].

Отбор проб компонентов ГССА, а также ТССА (для сопоставления) осуществляли в процессе автоматической наплавки валиков проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм на пластины из стали ВСтЗсп. Сварочный ток (постоянный обратной полярности) изменяли в пределах 225...450 А, напряжение дуги – 27...37 В, скорость подачи проволоки – 365...908 м/ч, скорость сварки составляла 16 м/ч, вылет электрода – 25 мм. В качестве газовой защиты использовали следующие защитные газы: CO₂, смеси 75 % Ar + 25 % CO₂ и 70 % Ar + 25 % CO₂ + 5 % O₂. Расход защитного газа составлял 20 л/мин.

Химический анализ и определение интенсивности образования ГССА проводили по общепринятым методикам (см. главу 2). Для определения концентрации оксидов азота в отбираемом воздухе использовали метод, основанный на реакции взаимодействия оксидов азота с реактивом Грисса-Илосвая [155]. Чувствительность метода составляет 0,65 мг/м³, что в пересчете на интенсивность образования оксидов азота при требуемой объемной скорости отбора проб воздуха (0,1 л/мин) составляет 6,5·10⁻⁵ мг/мин. Погрешность измерения не превышает ± 15 %. При определении содержания озона в воздухе использован метод, основанный на его взаимодействии с йодистым калием. Чувствительность – 0,05 мг/м³ (2,5·10⁻⁵ мг/мин при скорости отбора проб 0,5 л/мин), погрешность – не более ± 25 % [155].

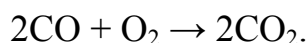
Результаты исследований (табл. 3.8) показали, что в составе ГССА содержатся монооксид углерода и оксиды азота, количество которых зависит от состава защитного газа и режима сварки; озон отсутствует.

Таблица 3.8

Интенсивность образования компонентов ГССА

№ ПП	Режим сварки		Компоненты ГССА	Размерность	Интенсивность образования ГССА при применении указанных защитных газов		
	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В			CO ₂	Ar + CO ₂	Ar + CO ₂ +O ₂
1	225	27	CO	г/мин	1,59±0,32	0,79±0,15	0,30±0,06
			NO ₂	мг/мин	2,03±0,18	3,80±0,31	5,10±0,44
2	300	31	CO	г/мин	0,89±0,19	0,29±0,07	0,17±0,44
			NO ₂	мг/мин	0,76±0,62	1,11±0,09	2,22±0,18
3	350	33	CO	г/мин	0,63±0,14	0,30±0,06	0,14±0,03
			NO ₂	мг/мин	4,25±0,31	4,57±0,38	5,07±0,42
4	390	35	CO	г/мин	1,52±0,34	0,58±0,12	0,16±0,03
			NO ₂	мг/мин	4,18±0,36	5,33±0,51	6,33±0,57
5	450	37	CO	г/мин	1,65±0,41	0,79±0,16	0,38±0,07
			NO ₂	мг/мин	4,31±0,35	6,34±0,48	10,15±0,83

При сварке в смеси Ar + CO₂ интенсивность образования CO в 2 раза ниже, чем при сварке в CO₂, а при использовании смеси Ar + CO₂ + O₂ – в пять раз. Поскольку источником образования CO является CO₂, диссоциирующий в результате горения дуги, то при уменьшении содержания CO₂ в защитном газе снижается и количество CO в сварочном аэрозоле. Замена части углекислого газа аргоном снижает образование при сварке токсичного монооксида углерода. При сварке в Ar + CO₂ + O₂ минимальное выделение монооксида углерода объясняется окислением его кислородом при высокой температуре дуги по реакции

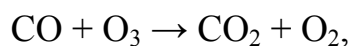


Таким образом, значительное уменьшение парциального давления CO (в 5 раз) при сварке в смеси Ar + CO₂ + O₂ объясняется наличием в ней аргона и кислорода.

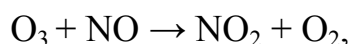
Кроме того, поскольку в процессе горения дуги может образоваться озон из кислорода воздуха и защитного газа под действием ультрафиолетового излучения дуги



то возможна реакция



что также снижает выделение монооксида углерода и, вместе с тем, озона. Подтверждением тому является отсутствие озона в составе ГССА при выполнении наших опытов. Это также подтверждается результатами работ [36, 37, 176], свидетельствующих, что в начальный момент сварки концентрация озона высокая, однако затем он реагирует с монооксидом азота, образуя диоксида азота и кислород

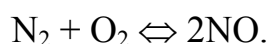


а также разлагается при воздействии на него излучения дуги

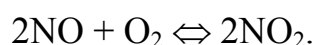


В общем, можно сделать вывод, что отсутствие в ГССА озона объясняется его быстрым разложением при взаимодействии с монооксидом углерода, монооксидом азота и излучением дуги. Вместе с тем полное отсутствие озона в наших опытах можно объяснить его разложением в процессе отбора проб аэрозолей при его движении по измерительно-разделительной колонне и шлангам до газоанализатора (см. рис. 2.4). В других опытах по определению содержания озона непосредственно в зоне дыхания при сварке в углекислом газе было установлено, что его содержание не превышает предельно допустимую концентрацию (менее $0,1 \text{ мг/м}^3$), иногда фиксируются лишь следы озона.

Монооксид азота появляется в результате высокотемпературного окисления азота воздуха, окружающего дугу



Под воздействием ультрафиолетового излучения дуги монооксид азота окисляется кислородом воздуха до ядовитого диоксида азота [37]:



При сварке в CO_2 дуга горит в атмосфере этого газа, поэтому интенсивность образования оксидов азота весьма невелика по сравнению с монооксидом углерода. Она в среднем на 3 порядка ниже, чем интенсивность образования монооксида углерода (см. табл. 3.8). При сварке в смесях $\text{Ar} + \text{CO}_2$ и $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ интенсивность образования оксидов азота больше, чем при сварке в CO_2 , что связано с ультрафиолетовой радиацией, повышающейся при сварке в смесях на основе аргона.

При увеличении сварочного тока интенсивность образования монооксида углерода и диоксида азота сначала снижается до определенного значения силы тока, а затем повышается (рис. 3.14, 3.15). Наличие минимума интенсивности образования этих газов связано с погружением дуги в основной металл [165] и уменьшением площади ее контакта

с окружающим воздухом и защитным газом. При дальнейшем повышении сварочного тока длина дуги над поверхностью основного металла возрастает, увеличивая тем самым площадь контакта дуги с воздухом и защитной средой.

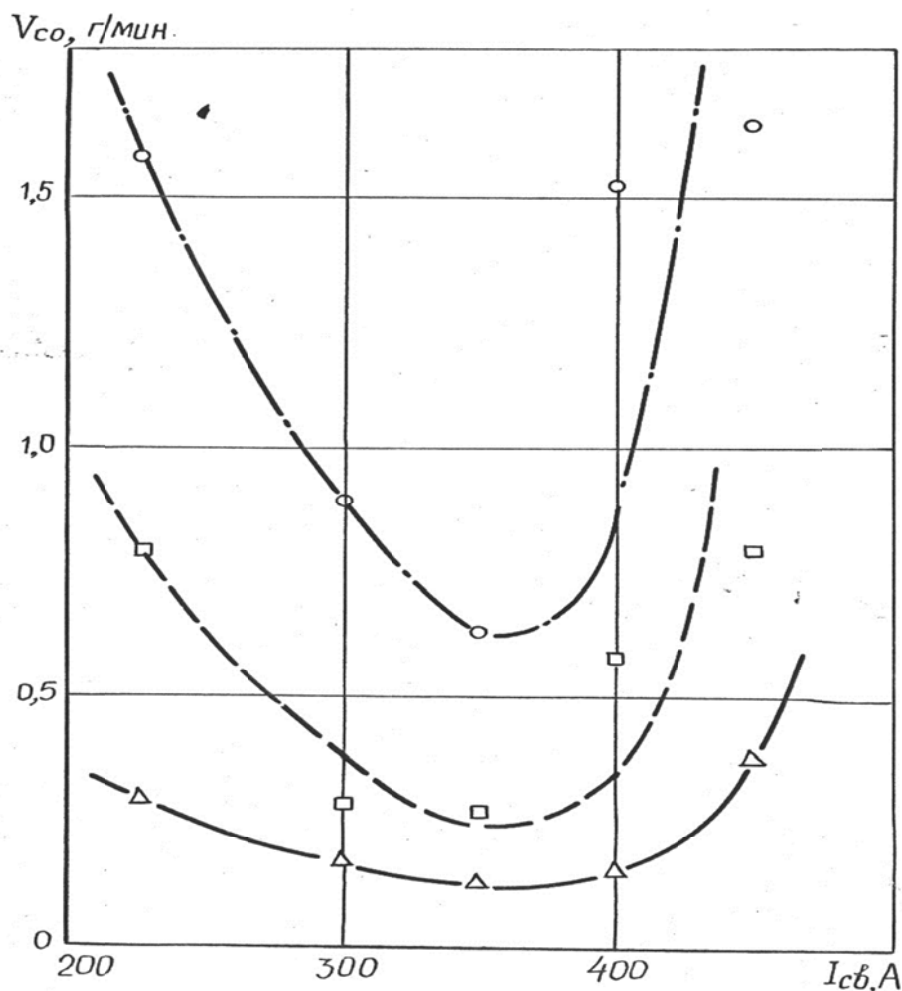


Рис. 3.14. Зависимость интенсивности образования монооксида углерода V_{CO} от сварочного тока при сварке проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм в защитных газах:
 \circ — CO_2 , \square — $Ar + CO_2$, Δ — $Ar + CO_2 + O_2$

Таким образом, как для ТССА [63, 165], так и для ГССА [175], имеются режимы сварки, обеспечивающие минимальный уровень их выделений. Так, при сварке на токе 350 А интенсивность образования монооксида углерода в 2...3 раза ниже, чем при сварке на минимальном (225 А) и максимальном (450 А) токах.

Исследования зависимостей интенсивности образования ТССА от сварочного тока, выполненные на тех же режимах сварки, что и при определении уровней выделений компонентов ГССА, показали, что они

имеют более сложную форму (рис. 3.16), однако также имеют минимум выделений, практически соответствующий режиму, при котором выделяется и минимальное количество ГССА.

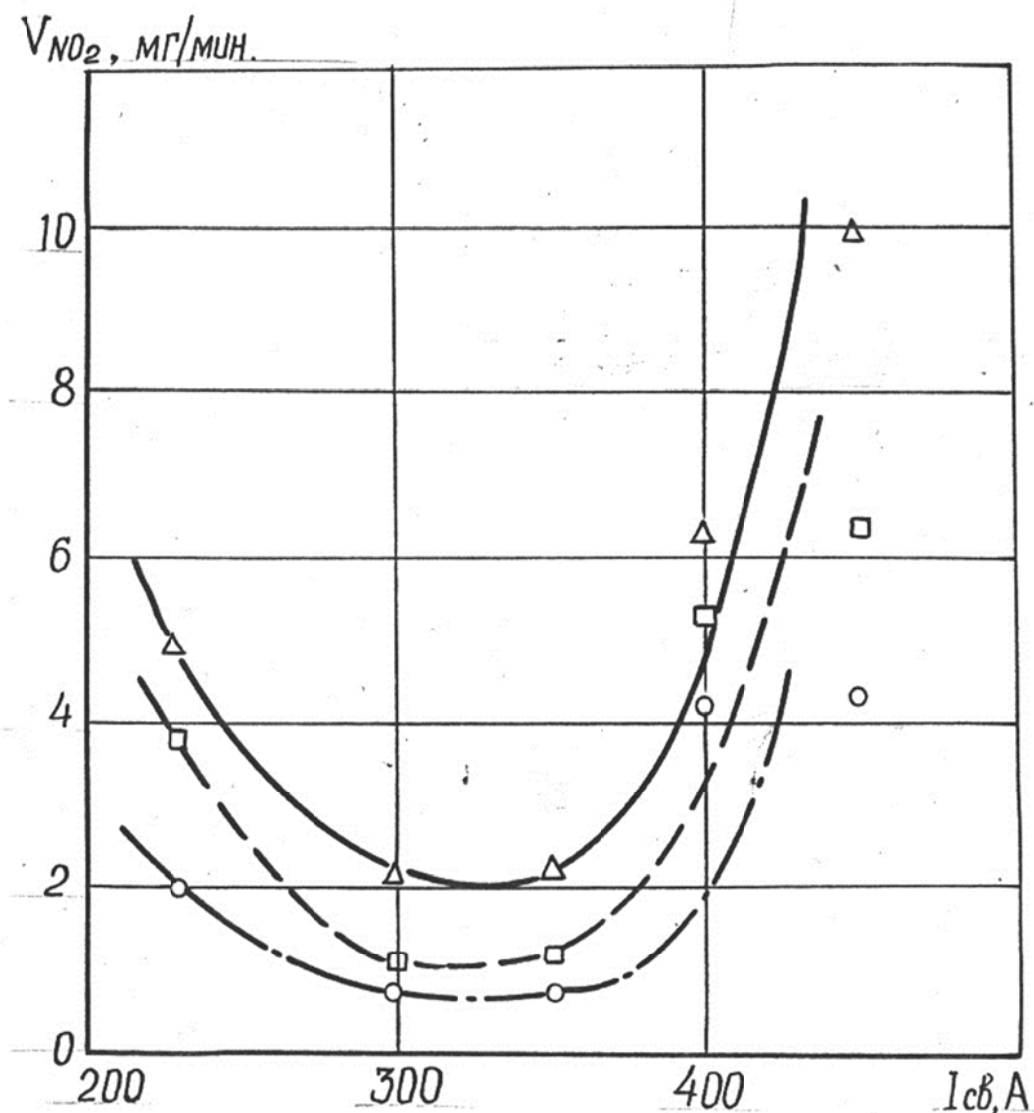


Рис. 3.15. Зависимость интенсивности образования диоксида азота V_{NO_2} от сварочного тока при сварке проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм в защитных газах:
 ○ – CO_2 , □ – $Ar + CO_2$, △ – $Ar + CO_2 + O_2$

Вместе с тем, данные результаты исследований показали, что снижение окислительной способности защитного газа (введение в состав смеси аргона) приводит к уменьшению интенсивности выделения монооксида углерода и ТССА, а также – к повышению количества выделений оксидов азота. Введение в состав защитной смеси кислорода также снижает выделение монооксида углерода, повышает интенсивность образования оксидов азота и ТССА.

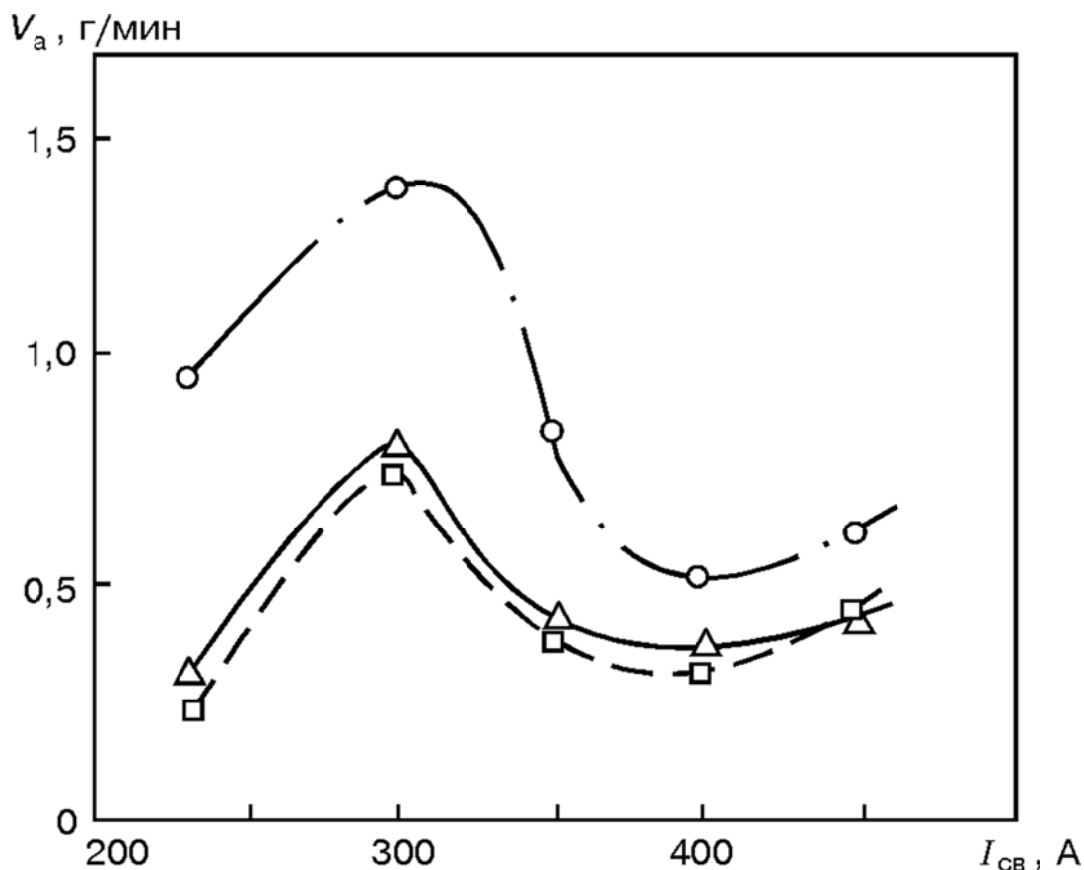


Рис. 3.16. Зависимость интенсивности образования ТССА V_a от сварочного тока при сварке проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм в защитных газах: \circ – CO_2 , \square – $Ar + CO_2$, Δ – $Ar + CO_2 + O_2$

Эти закономерности необходимо учитывать при выборе оптимальных параметров процесса сварки (составов защитных газов и режимов сварки) с целью улучшений условий труда сварщиков.

3.6. Новые технологические способы снижения уровня выделений сварочных аэрозолей

Технологические мероприятия по улучшению условий труда при дуговой сварке заключаются в выборе и применении малотоксичных сварочных материалов (см. главу 4), защитных газов и режимов сварки, обеспечивающих минимальные уровни выделений вредных веществ.

Наиболее простым способом снижать уровень выделений СА является выбор соответствующего режима сварки. Результаты работ [63, 160, 161] показали, что при ручной сварке покрытыми электродами и механизированной в защитных газах в пределах технологически допустимых режимов сварки существует область пониженного выделения СА, обусловленная характером переноса электродного металла, уровнем его разбрызгивания и погружением дуги в сварочную ванну. Как

видно из рис. 3.5 при механизированной сварке в углекислом газе проволокой Св-08Г2С диаметром 2 мм в интервале 400...430 А интенсивность образования ТССА снижается с 1,5 до 0,75 г/мин, а удельное выделение – с 14,0 до 4,5 г/кг. Таким образом, повышение сварочного тока с обычно применяемого режима (400 А) до рекомендуемого с гигиенических позиций (430 А) позволяет при сохранении производительности процесса снизить удельное выделение ТССА более чем в 3 раза и соответственно уменьшить требуемые объемы воздухообмена вентиляции.

При использовании в качестве защитного газа смесей углекислого газа с аргоном (до 70 %) и кислородом (5 %) интенсивность и удельное выделение ТССА при сварке током 400 А снижаются в сравнении со сваркой в углекислом газе примерно в 2 раза [63]. Причем область токов, отличающихся минимальными выделениями ТССА, при сварке в аргоновых смесях находится в пределах 370...500 А, а при сварке углекислом газе – в пределах 420...500 А. Благодаря тому, что область токов с минимальными выделениями ТССА при использовании аргоновых смесей начинается при более низких значениях сварочного тока, чем в случае сварки в углекислом газе, применение этих смесей расширяет возможности снижать выделение аэрозоля путем выбора оптимального режима сварки.

Изменение режима при сварке покрытыми электродами АНО-4, АНО-6, АНО-12 и УОНИ-13/45 диаметрами 4 и 5 мм на технологически допустимых режимах дает возможность снижать интенсивность образования ТССА до 2 раз [160].

При сварке в углекислом газе модулированным током с помощью выбора режима модуляции можно уменьшить интенсивность образования ТССА и содержание в ней марганца более чем в 2,5 раза [171].

Исследования зависимостей уровней выделений ТССА от режима сварки и диаметра сварочной проволоки [177] показали, что при использовании проволоки меньшего диаметра (1,6 мм) на обычно применяющихся режимах по сравнению со сваркой проволокой 2,0 мм интенсивность образования ТССА уменьшается примерно в 2 раза, удельное выделение – в 2,5 раза. При этом максимум и минимум интенсивности выделений ТССА отмечаются при более низких значениях сварочного тока, что объясняется влиянием на выделение аэрозоля изменений характера переноса электродного металла. При применении проволок меньшего диаметра эти изменения происходят при более низких сварочных токах.

Таким образом, применение для сварки проволок меньшего диаметра вместо больших позволяет существенно снизить уровень вредных выделений. С учетом гигиенически рекомендуемых режимов

сварки (для проволоки Св-08Г2С диаметром 1,6 мм это – 370...450 А, для 2,0 мм – 430...500 А) эти снижения еще более ощутимы [63, 177].

Установленные закономерности, позволяющие уменьшить выделения вредных веществ при сварке указанными сварочными материалами, не являются исключением. Поэтому при разработке и совершенствовании технологий сварки другими марками и видами сварочных материалов необходимы исследования зависимостей уровней выделений СА от режимов сварки, составов и диаметров сварочных материалов, составов защитного газа и других технологических параметров процесса сварки.

Рассмотренные в настоящей главе результаты исследований процессов образования СА позволяют предложить способы (рекомендации) снижения уровней вредных выделений путем изменения технологии сварки. При этом автор руководствовался следующими установленными закономерностями образования СА [63, 160, 161, 165, 171, 175, 177]:

1. Интенсивность образования ТССА зависит от мощности сварочной дуги, характера переноса электродного металла и степени его разбрызгивания, также зависящей от характера переноса электродного металла. Последний, в свою очередь, определяется режимом сварки, составами сварочных материалов (покрытых электродов, сварочных проволок) и защитного газа.
2. При сварке на режимах с короткими замыканиями дугового промежутка образованию и выделению ТССА в окружающую атмосферу способствуют резкое повышение давления в зоне дуги в результате взрыва перемычки электродного металла, являющегося причиной разбрызгивания, и дополнительное испарение из брызг этого металла.
3. Увеличение интенсивности образования ТССА с повышением сварочного тока и напряжения дуги наблюдается при переносе металла с короткими замыканиями. С переходом к капельному переносу без замыканий дугового промежутка или струйному переносу интенсивность образования ТССА начинает снижаться и достигает минимума при погружении дуги в сварочную ванну.
4. Для каждого диаметра сварочных материалов (покрытых электродов и сварочных проволок) существуют определенные значения сварочных токов, при которых выделяется максимальное количество ТССА, и область токов, обеспечивающая минимальную интенсивность образования аэрозоля. При механизированной сварке в защитных газах на оптимальных режимах уровень выделения ТССА уменьшается при использовании сварочных проволок меньшего диаметра.
5. При механизированной сварке в защитных газах повышение окислительной способности защитной среды увеличивает интенсив-

ность образования СА, в том числе монооксида углерода, и уменьшает интенсивность выделения оксидов азота. Введение в состав защитной смеси кислорода снижает выделение монооксида углерода, повышает интенсивность образования оксидов азота и ТССА.

6. При механизированной сварке в CO_2 , смесях $\text{Ar} + \text{CO}_2$ и $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ проволокой сплошного сечения основными компонентами ТССА являются монооксид углерода и оксиды азота. Зависимости интенсивности образования монооксида углерода и оксидов азота от сварочного тока при применении CO_2 , смесей $\text{Ar} + \text{CO}_2$ и $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ имеют вид парабол с минимумом, соответствующим режиму, при котором дуга максимально погружается в основной металл.
7. При выборе технологии сварки необходимо руководствоваться системой «состав–режим сварки», поскольку для каждой марки сварочных материалов (покрытых электродов и сварочных проволок) существуют определенные значения сварочных токов, обеспечивающие минимальное выделение аэрозоля.
8. При ручной сварке покрытыми электродами и механизированной в защитных газах модулированным током уменьшение общей мощности дуги за счет пауз снижает ненужный избыток энергии, имеющий место при сварке непрерывным током и идущий на испарение расплавляемых материалов. При этом уровень выделения ТССА и содержание в ней марганца определяется не только средней мощностью дуги, но и частотой импульсов. Уровни выделения ТССА и марганца снижаются с уменьшением тока и напряжения импульсов, а также с увеличением их длительности.
9. Снижение содержания марганца в аэрозоле при сварке модулированным током достигается вследствие наличия принудительных коротких замыканий дугового промежутка, обусловленных импульсной модуляцией тока.

С учетом вышеизложенного можно сформулировать следующие технологические рекомендации:

1. Для улучшения гигиенических характеристик сварочных процессов следует применять способы сварки, сварочные материалы и режимы сварки, обеспечивающие минимальное выделение СА.
2. При механизированных способах сварки для обеспечения минимального уровня выделения СА следует применять сварочные проволоки, содержащие минимальное количество токсичных веществ, и режимы, обеспечивающие минимальное выделение СА. Если требования к качеству сварного шва и технологии сварки не позволяют использовать режимы, обеспечивающие минимальное выделение аэрозоля, то,

по крайней мере, нужно избегать режимов, при которых выделяется повышенное количество СА. Для выбора оптимальных режимов можно использовать разработанную нами систему прогнозирования уровней выделения ТССА от режимов сварки и применять ускоренную компьютеризованную методику установления зависимостей интенсивности образования ТССА от режима сварки.

3. При сварке в защитных газах нужно уменьшать окислительную способность защитного газа (смеси), вводя в его состав инертный газ (аргон).
4. При механизированной сварке в защитных газах желательно применять сварочные проволоки малых диаметров.
5. Для снижения уровня выделений ТССА желательно использовать специальные источники тока (устройства модуляции тока), позволяющие управлять переносом электродного металла, ослаблять его разбрызгивание и уменьшать избыточную энергию дуги, вызывающую испарение.
6. Вместо сварки непрерывным током желательно применять сварку модулированным током, позволяющую снижать содержание марганца в составе ТССА за счет переноса электродного металла с принудительными короткими замыканиями дугового промежутка.

Для существенного снижения поступления СА в воздух рабочей зоны необходимо комплексное сочетание предложенных технологических и санитарно-технических мероприятий, а также применение новых СИЗОД (см. главу 5).

Выводы по главе 3

1. Исследована зависимость уровня выделений СА (ТССА и ГССА) от режима сварки, глубины и ширины сварочной ванны. Установлено, что сложные зависимости показателей уровня выделений СА от сварочного тока в основном обусловлены глубиной проплавления основного металла. Участок уменьшения интенсивности образования ТССА соответствует резкому увеличению глубины сварочной ванны. Минимальный уровень выделения СА отмечается при максимальном проплавлении основного металла.
2. С помощью компьютеризованной методики установлены зависимости интенсивности образования ТССА от силы тока при ручной сварке покрытыми электродами различных марок и диаметров. Полученные графические зависимости позволяют выбирать режимы сварки, при которых выделяется минимальное количество аэрозолей.

3. Способ сварки модулированным током позволяет снизить интенсивность выделения ТССА и содержание в ней марганца по сравнению со сваркой непрерывным (постоянным) током. Уменьшение общей мощности дуги за счет пауз снижает ненужный избыток энергии, имеющий место при сварке непрерывным током и идущий на перегрев и испарение расплавляемых материалов. При сварке модулированным током уровень выделения ТССА и содержание в ней марганца определяется не только средней мощностью дуги, но и частотой импульсов. Уровни выделения ТССА и марганца снижаются с уменьшением тока и напряжения импульсов, а также с увеличением их длительности. Снижение содержания марганца в аэрозоле при сварке модулированным током достигается за счет неравновесного испарения металла вследствие наличия принудительных коротких замыканий дугового промежутка, обусловленных импульсной модуляцией тока.
4. Предложены математические модели химического состава и уровней выделений ТССА, основанные на следующих основных принципах: химический состав ТССА определяется составом сварочного материала, парциальными давлениями образующегося насыщенного пара и соотношением коэффициентов равновесного и неравновесного испарения при электродуговом процессе, а уровень выделения ТССА определяется мощностью сварочной дуги. На основании предложенных математических моделей разработана программная компьютерная система прогнозирования химического состава, уровней выделения ТССА и ее компонентов для механизированной сварки в защитных газах низколегированными проволоками. Предложенные основы математического моделирования и алгоритм расчета могут быть использованы при разработке аналогичных систем прогнозирования состава и уровней выделений ТССА для различных способов дуговой сварки и сварочных материалов.
5. Установлено, что при механизированной сварке в CO_2 , смесях $\text{Ar} + \text{CO}_2$ и $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ проволокой сплошного сечения основными компонентами газообразной составляющей сварочного аэрозоля являются монооксид углерода и оксиды азота. Снижение окислительной способности защитного газа (введение в состав смеси аргона) приводит к уменьшению уровня выделения монооксида углерода и увеличению оксидов азота. Введение в состав защитной смеси кислорода снижает выделение монооксида углерода, повышает интенсивность образования оксидов азота и ТССА. Зависимости интенсивности образования монооксида углерода и оксидов азота от сварочного тока при применении CO_2 , смесей $\text{Ar} + \text{CO}_2$

и $Ar + CO_2 + O_2$ имеют вид парабол с минимумом, соответствующим режиму, при котором дуга максимально погружается в основной металл.

6. Основные положения предложенных технологических рекомендаций по снижению поступлений вредных веществ в воздух рабочей зоны сводятся к следующему:

- при выборе технологии сварки необходимо руководствоваться системой «состав–режим сварки», поскольку для каждой марки сварочных материалов (покрытых электродов и сварочных проволок) существуют определенные значения сварочных токов, обеспечивающие минимальное выделение аэрозоля.
- при механизированных способах сварки для обеспечения минимального уровня выделения СА следует применять режимы, обеспечивающие минимальное выделение СА; если требования к качеству сварного шва и технологии сварки не позволяют использовать режимы, обеспечивающие минимальное выделение аэрозоля, то, по крайней мере, нужно избегать режимов, при которых выделяется повышенное количество СА.
- при сварке в защитных газах нужно уменьшать окислительную способность защитного газа (смеси), вводя в его состав инертный газ (аргон).
- вместо сварки непрерывным током желательно применять сварку модулированным током, позволяющую снижать содержание марганца в составе ТССА за счет переноса электродного металла с принудительными короткими замыканиями дугового промежутка; для снижения уровня выделений ТССА желательно использовать специальные источники тока (устройства модуляции тока), позволяющие управлять переносом электродного металла, ослаблять его разбрызгивание и уменьшать избыточную энергию дуги, вызывающую испарение.

Глава 4

РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ И ВЫБОР МЕТОДОВ ИХ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ

Правильный выбор методов и средств защиты сварщиков и окружающей среды от СА может быть осуществлен на основе знания их типичных составов. Для этого необходимо разработать классификацию СА и сварочных материалов, при применении которых они образуются, по химическому составу. Это позволяет определить методы нейтрализации СА определенных классов, выбрать соответствующие фильтрующие материалы и средства защиты, а также разработать новые.

Для проведения сравнительной гигиенической оценки сварочных материалов и способов сварки с целью выбора наименее вредных, установления закономерностей формирования составов и уровней выделения СА в зависимости от технологических параметров процесса сварки, а также для упрощения пользователю процедуры выбора средств вентиляции (по производительности и составу СА) и индивидуальной защиты органов дыхания необходима специальная компьютерная информационно-поисковая система. Этим вопросам и посвящена настоящая глава.

4.1. Классификация сварочных аэрозолей по химическому составу и выбор методов их нейтрализации

В настоящее время согласно требованиям защиты окружающей среды от промышленных выбросов, в том числе и от СА, к средствам вентиляции предъявляются не только гигиенические требования по защите органов дыхания, но и экологические, заключающиеся в необходимости защиты атмосферного воздуха от этих выбросов. Это существенно затрудняет создание соответствующих средств защиты, поскольку для этого необходимы специальные фильтрующие материалы, предназначенные для улавливания всех токсичных веществ, содержащихся в СА, в том числе и газообразных (HF, SiF₄, CO, NO, NO₂, O₃). Очистка воздуха от ГССА осуществляется относительно легко: для этого применяют механическую фильтрацию загрязненного воздуха через тканевые, бумажные, зернистые или электростатические фильтры. Для очистки воздуха от ГССА необходимо применять химические фильтры, причем предназначенные либо для избирательного улавливания определенных газов, либо комбинированные для нейтрализации всех компонентов ГССА. При создании последних имеются определенные сложно-

сти, обусловленные совмещением в одном фильтре различных методов нейтрализации вредных газов (сорбционного улавливания фтористых газов и оксидов азота, низкотемпературного каталитического окисления монооксида углерода и разложение озона) [178, 179]. Стоимость таких фильтров довольно высокая, а их срок службы не большой, поэтому применять их не всегда целесообразно.

Что касается существующих СИЗОД, то применяемые в них по соответствующей классификации фильтры марок А, В, Г, Е, КД, СО, М и БФК предназначены для улавливания определенных газов [180] и не могут использоваться для нейтрализации ГССА.

Известно, что состав ГССА непостоянен и зависит от вида применяемой сварочной технологии (способа сварки, марки сварочного материала, состава защитного газа и многих других факторов). В одних случаях в состав ГССА входит полный набор перечисленных газов, в других – только некоторые. В табл. 4.1 приведены данные о составе СА для различных способов сварки согласно Международному стандарту ISO 4063-78.

Таблица 4.1

*Характеристика химического состава СА
(Х – высокий, О – низкий уровень выделения компонентов СА)*

Способ сварки	Наличие компонентов СА в воздухе рабочей зоны					
	ТССА	HF	SiF ₄	CO	NO _x	O ₃
Ручная дуговая покрытым электродом						
• бесфтористое покрытие	X	X	X	O	O	
• фтористо-кальциевое покрытие	X				O	
Дуговая порошковой проволокой	X	X	X	O	O	
Дуговая под флюсом проволочным электродом	O	X	X			
Дуговая плавящимся электродом в инертных газах	X				O	X
Дуговая плавящимся электродом в активных газах	X			X	O	O
Дуговая порошковой проволокой в активных газах	X	X	X	X	O	O
Дуговая порошковой проволокой в инертных газах	X	X	X		O	X
Дуговая вольфрамовым электродом в инертных газах с присадочной проволокой или без нее	O				O	X
Плазменная сварка	X			O	O	X
Газовая сварка	O			X	O	

Таким образом, для выбора метода нейтрализации вредных веществ в разрабатываемом оборудовании по очистке воздуха от СА и СИЗОД, а также существующих средств защиты производственной и окружающей среды требуется дифференцированный подход. Для этого необходима классификация СА по химическому составу, из которой также логически вытекает соответствующая классификация сварочных технологий (сварочных материалов и способов сварки) по виду СА. Это позволит выбирать адекватные методы нейтрализации СА при применении конкретных сварочных технологий.

С этой целью на основе литературных [49, 52, 72, 174, 181–186] и собственных данных по химическому составу и уровню выделения СА, образующихся при различных способах сварки, выполнена их систематизация и выявлены характерные составляющие СА, которые определяют вид (класс) аэрозоля и способ сварки, при применении которого они образуются [187].

Анализ данных табл. 4.1 показывает, что для указанных способов сварки можно выделить 6 классов СА в зависимости от наличия в их составе токсичных компонентов ГССА, на которые необходимо ориентироваться при выборе соответствующих методов и средств защиты сварщиков и окружающей среды (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Характеристика классов СА и методы их нейтрализации

Номер класса СА	Название класса СА	Способы сварки	Методы нейтрализации СА
1	Бесфтористый	Ручная дуговая покрытыми электродами (кроме электродов с основным покрытием)	Механическая или электростатическая фильтрация воздуха от ТССА
2	Фтористый	Ручная дуговая электродами с основным покрытием; Порошковой проволокой; под флюсом	Механическая или электростатическая фильтрация от ТССА; сорбционно-фильтрующая нейтрализация HF и SiF ₄
3	Оксидоуглеродный	Дуговая плавящимся электро-дом в активных газах (СО ₂); газовая сварка	Механическая или электростатическая фильтрация от ТССА; низкотемпературное каталитическое окисление СО до СО ₂ или сорбционно-фильтрующая нейтрализация СО

Номер класса СА	Название класса СА	Способы сварки	Методы нейтрализации СА
4	Озоновый	Дуговая плавящимся электродом в инертных газах; дуговая вольфрамовым электродом в инертных газах; плазменная сварка	Механическая или электростатическая фильтрация от ТССА; низкотемпературное каталитическое разложение O_3
5	Фтористооксидоуглеродный	Дуговая порошковой проволокой в активном газе (CO_2)	Механическая или электростатическая фильтрация от ТССА; сорбционно-фильтрующая нейтрализация HF и SiF_4 ; низкотемпературное каталитическое окисление CO до CO_2 или сорбционно-фильтрующая нейтрализация CO ;
6	Фтористо-озоновый	Дуговая порошковой проволокой в инертных газах	Механическая или электростатическая фильтрация от ТССА; сорбционно-фильтрующая нейтрализация HF и SiF_4 ; низкотемпературное каталитическое разложение O_3

Для СА первого класса характерно наличие в воздухе рабочей зоны вредных веществ в составе ТССА и незначительного количества оксидов азота и монооксида углерода, как правило, не превышающего ПДК [181, 182]. Аэрозоли этого класса образуются при ручной дуговой сварке электродами с покрытием рутилового, кислого и окислительного типов, которые условно можно назвать бесфтористыми. При их применении необходима защита человека и окружающей среды в основном только от ТССА.

СА второго класса образуются при сварке электродами с покрытием основного (фтористо-кальциевого) типа, порошковыми проволоками и под флюсами. Кроме ТССА в их состав входят газообразные фтористый водород и тетрафтористый кремний [72, 182–184]. Именно эти газы и определяют токсичность СА, а также связанные с этим проблемы их нейтрализации средствами защиты окружающей среды, поскольку требуются дополнительные меры защиты от газообразных фторидов. Концентрации

оксидов азота и монооксида углерода в воздухе рабочей зоны при использовании этих сварочных материалов, как правило, ниже ПДК [72, 183].

Аэрозоли и сварочные материалы этого класса по наличию характерных вредных веществ можно назвать фтористыми.

Аэрозоли третьего класса образуются при дуговой сварке плавящимся электродом в активных газах (углекислом газе и смесях с ним), а также при газовой сварке, для которой характерно появление в СА, кроме ТССА, повышенного количества монооксида углерода (угарный газ), воздействие которого на организм человека может привести к отравлению. Содержание оксидов азота и озона в воздухе чаще всего в норме [49, 52]. В связи с этим возникают дополнительные проблемы, связанные с защитой сварщика и атмосферы в основном от монооксида углерода. Аэрозоли этого класса можно назвать оксидуглеродными.

Для СА четвертого класса характерно наличие в них высокого количества озона и относительно небольшого количества ТССА, оксидов азота и монооксида углерода [52]. Токсичность таких СА определяется озоном, образование которого характерно для дуговой сварки в аргоне плавящимся и неплавящимся электродами [174]. Озонсодержащие СА также образуются при плазменной сварке [186]. Для защиты от озоновых СА требуются особые меры, заключающиеся в разложении вредного озона.

Пятый класс СА представляет собой комбинацию второго и третьего. Такие СА образуются при сварке порошковой проволокой в углекислом газе и содержат в своем составе газообразные фториды, монооксид углерода и оксиды азота. Как правило, оксиды азота и озон образуются в количествах на порядок или два меньших, чем монооксид углерода [49, 52]. Для защиты органов дыхания и атмосферы от фтористо-оксидуглеродных СА требуются особые меры, а именно комбинированная очистка от фтористых газов и монооксида углерода.

СА шестого класса, содержащие в больших количествах ТССА, газообразные фториды и озон, а также небольшие количества оксидов азота и монооксид углерода, встречаются очень редко: при сварке порошковой проволокой в аргоне. Для защиты работающих и окружающей среды от фтористо-озоновых СА требуется комбинация различных методов.

Следует также учитывать, что практически все способы сварки сопровождаются образованием незначительного по сравнению с другими составляющими СА количествами оксидов азота (см. табл. 4.1). Поэтому в вентиляционных системах очистки воздуха с рециркуляцией (с возвратом очищенного воздуха обратно в помещение) и в ФВА необходимо предусмотреть очистку и от оксидов азота, что позволит избежать их накопление в помещении без общеобменной вентиляции. Вместе с тем, неправильный выбор ФВА может привести к тому, что одни

газы будут нейтрализованы, а другие в результате рециркуляции будут накапливаться в производственном помещении. Это может привести не к улучшению, а к ухудшению условий труда, что нередко и происходит на предприятиях, которые приобретают ФВА не по назначению. Причиной тому бывает отсутствие информации о составах СА в зависимости от применяемого способа сварки.

Предложенная классификация СА (см. табл. 4.2) позволяет присвоить каждому способу сварки, отмеченному в табл. 4.1 конкретное название по характерному для него составу СА и легко выбрать соответствующий метод нейтрализации вредных веществ СА. Так, для очистки воздуха от СА, образующегося при применении бесфтористых электродов, требуется всего лишь механическая или электростатическая его фильтрация только от ТССА. При сварке сварочными материалами, содержащими фториды, кроме фильтрации в средствах защиты необходимо применять метод сорбционно-фильтрующей нейтрализации фтористого водорода и тетрафтористого кремния на второй ступени специального химического фильтра. При дуговой сварке в углекислом газе и газовой сварке также требуется двухступенчатая очистка воздуха: на первой ступени – от ТССА и на второй – от токсичного монооксида углерода путем его низкотемпературного окисления с помощью специального катализатора до безвредного диоксида углерода (углекислого газа) [178]. Для аргонодуговых и плазменных способов сварки нужно применять двухступенчатые фильтры, очищающие воздух от ТССА и от озона путем его низкотемпературного разложения катализатором до кислорода [179].

Указанные способы сварки широко применяются в промышленности, чем и объясняется основная потребность в средствах защиты от СА первых четырех классов (см. табл. 4.2). Сварка порошковой проволокой в углекислом газе встречается не часто, а в аргоне вовсе редко. Методы нейтрализации образующихся при этих способах СА довольно сложные. Они требуют применения трехступенчатых фильтров, улавливающих ТССА, фтористые газы и монооксид углерода при применении углекислого газа, и аналогичных фильтров для нейтрализации ТССА, фтористых газов и озона в случае сварки в аргоне. В предлагаемой классификации учитываются и эти особенности.

Таким образом, по наличию характерных вредных веществ в СА, которые необходимо нейтрализовать, основные способы сварки можно разделить на следующие шесть типичных классов: бесфтористые, фтористые, оксидоуглеродные, озоновые, фтористо-оксидоуглеродные и фтористо-озоновые [187].

Отметим, что до настоящего времени решены только отдельные задачи по применению соответствующих конкретным способам сварки

адекватных средств нейтрализации СА, поскольку возможности создания этих средств защиты не всегда соответствуют требованиям конкретных сварочных технологий. Большинство ФВА и СИЗОД отечественного и зарубежного производства очищают воздух только от ТССА т. е. применимы только для бесфтористых СА. Имеются также ФВА типа «Мрія» [114] и фильтрующие респираторы для сварщиков «Снежок ГП-В» [130], предназначенные для нейтрализации фтористых СА, а также респираторы «Снежок ГП-Озон» [179] для улавливания озоновых аэрозолей. Известны универсальные ФВА фирмы «Экоюрус-Венто» [188] с комбинированным фильтром для улавливания всего комплекса газов СА (HF, CO, O₃, NO₂), которые не имеют конкретного назначения и их использование для определенных способов сварки не всегда экономически целесообразно. В ФВА известных фирм «PlymoVent», «Nederman», «Kemper» и др., насколько известно из рекламных проспектов, для улавливания газов используют угольные фильтры также универсального назначения. Фильтрующие материалы зарубежных фирм, применяемые в СИЗОД [189], в частности в защитной маске с поддувом очищенного воздуха, предназначены для нейтрализации органических, неорганических газов, хлоридов, аммиака и т. д., из чего следует, что они непригодны для типичных составов СА.

Таким образом, можно сделать вывод, что в сварочном производстве имеется острая потребность в ФВА и СИЗОД со специальными фильтрами для улавливания СА, разработка которых должна основываться на предлагаемой классификации. Главная задача заключается в разработке новых видов двухступенчатых фильтров, в которых вторая ступень предназначена для фтористых, оксидоуглеродных или озоновых СА. В свою очередь, комбинирование этих фильтрующих элементов позволит также получить фильтры для фтористо-оксидоуглеродных и фтористо-озоновых СА. Разработанные на этой основе новые виды средств защиты сварщиков и окружающей среды позволят повысить их эффективность и снизить стоимость за счет избирательного механизма улавливания конкретных вредных веществ, получить полный гигиенический и экологический эффекты за счет нейтрализации всего комплекса вредных веществ в составе ТССА и ГССА.

4.2. Выбор и исследование фильтрующих материалов для нейтрализации сварочных аэрозолей

Существенным недостатком практически всех ФВА, как зарубежных, так и отечественных, является то, что они не очищают воздух от вредных компонентов ГССА. Поэтому такие ФВА мало пригодны, или вовсе непригодны (в случае их применения без общеобменной вентиляции) при сварке способами, в результате которых образуются СА

фтористого, оксидоуглеродного, озонowego и комбинированных классов [187]. Для устранения этих недостатков необходимы новые фильтрующие материалы, которые бы улавливали как твердую, так и газообразную составляющие СА, т. е. зернистые адсорбирующие материалы, поглощающие указанные газы.

До настоящего времени решены только отдельные задачи по применению соответствующих конкретным способам сварки адекватных средств нейтрализации СА, поскольку возможности создания этих средств защиты не всегда соответствуют требованиям конкретных сварочных технологий согласно их классификации по химическому составу СА [187]. Большинство ФВА отечественного и зарубежного производства очищают воздух только от ТССА т. е. применимы только для бесфтористых СА.

Цель настоящего раздела – поиск и исследование фильтрующих материалов, пригодных для нейтрализации как ТССА, так и ГССА.

Анализ литературных данных [104, 105, 190–192] показывает, что наиболее подходящими материалами для нейтрализации характерных компонентов ГССА являются кристаллические алюмосиликаты – цеолиты с общей формулой $(R_2'R)O \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot xH_2O$, где $R' – K^+, Na^+, Li^+$; $R – Ca^{2+}, Mg^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}$. Пористые цеолиты или, как их еще называют «молекулярные сита», являются высокоэффективными адсорбентами, обладающими способностью поглощать вещества, критический размер молекул которых меньше диаметра входных отверстий в полости кристаллической структуры цеолита, а вещества с большим поперечником молекул адсорбируются ими в небольшой степени. Эти адсорбенты проявляют также высокое сродство к полярным и ненасыщенным соединениям. Они широко используются для очистки газов и сорбции вредных промышленных отходов, загрязняющих атмосферу.

Среди природных цеолитов особое место занимает клиноптилолит [192], материал, устойчивый к действию высоких температур и агрессивных сред. Добыча клиноптилолита из залежей примерно в 100 раз дешевле изготовления синтетического цеолита. Природные цеолиты являются наиболее дешевыми и достаточно эффективными адсорбентами, которые, как и в других отраслях, могут применяться в сварочном производстве для очистки воздуха от СА.

Проведены исследования адсорбционной способности клиноптилолита и морденита, большие запасы которых имеются в природных месторождениях Украины, а также синтетического цеолита марки NaX (для сравнения). В качестве критериев оценки возможности применения этих материалов учитывались следующие факторы: адсорбционная емкость, степень очистки и стоимость.

На первом этапе работы проводили исследование адсорбции цеолитами монооксида углерода, наиболее характерного компонента ГССА при сварке в углекислом газе. Перед испытаниями цеолиты подвергались помолу и просеву. Годной фракцией считался остаток на сите 04 (0,4...0,63 мм). Для удаления влаги проводили прокалку цеолитов в муфельной печи при температуре 400 °С в течение трех часов и затем охлаждали в эксикаторе.

Адсорбционную емкость цеолитов определяли на лабораторной установке путем моделирования процесса получения чистого монооксида углерода, насыщения им образца материала и определения количества поглощенного газа в результате десорбции (см. главу 2).

В результате опытов было установлено, что все исследованные образцы цеолитов являются хорошими адсорбентами монооксида углерода. Адсорбционная емкость синтетического цеолита NaX составляет 7,5 мл монооксида углерода на 1 г, морденита – 7,0 мл/г и клиноптилолита – 4,0 мл/г. Опыты показали, что наибольшей адсорбционной способностью обладает синтетический цеолит. Однако себестоимость его производства намного выше, чем стоимость природных цеолитов. Поэтому в ФВА и других системах очистки воздуха от СА мы рекомендуем использовать природные цеолиты: клиноптилолит, морденит и др.

Таким образом, результаты исследований адсорбции цеолитами монооксида углерода, а также литературные данные [104, 190, 193] об адсорбции оксидов азота, также присутствующих в СА, позволяют рекомендовать данные природные цеолиты применять как фильтрующие материалы в установках для очистки воздуха от ГССА. При этом необходимо помнить, что фтористый водород, присутствующий в СА фтористого класса, разрушает структуру цеолита, изменяя таким образом его адсорбционную способность по отношению к другим газам. Поэтому для обеспечения максимальной адсорбционной эффективности цеолита при применении его в качестве фильтра в ФВА его желательно использовать избирательно для очистки воздуха от СА отдельных классов: либо от СА оксидоуглеродного класса, либо фтористого.

На втором этапе работы исследовали адсорбцию клиноптилолитом газов, образующихся непосредственно при сварке. Опыты проводились при механизированной сварке в углекислом газе проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм на режиме 350 А, 33 В. В составе образующейся при этом ГССА содержались монооксид углерода с концентрацией 950 мг/м³ и диоксид азота с концентрацией 6,7 мг/м³. Аэрозоль улавливался укрытием зоны сварки, аспирировался по шлангам и попадал на фильтр из ткани ФПП, где осаждалась ГССА, а оставшаяся ГССА попадала в трубку с цеолитом и адсорбировалась на нем. Навес-

ку цеолита выбирали таким образом, чтобы обеспечить минимальное сопротивление потоку отсасываемого воздуха при полном улавливании компонентов ГССА. Она составляла 30 г. Очищенный воздух выбрасывался в атмосферу через aspirатор, на выходе из которого отбирались пробы воздуха для определения в нем содержания монооксида углерода, оксидов азота и озона.

Результаты исследований показали, что при пропуске сварочных газов приведенного выше состава через трубку с клиноптилолитом содержание всех контролируемых газов снижалось до 0. Полная очистка от монооксида углерода продолжалась в течение первых пяти минут; затем на выходе из aspirатора появлялось незначительное количество монооксида углерода, что свидетельствовало о насыщении навески цеолита газом. Поскольку в составе ГССА в наибольшем количестве содержатся монооксид углерода (в сотни раз, больше, чем содержание оксидов азота) то ясно, что насыщение цеолита происходит в основном за счет данного газа. Полученные результаты являются исходными для расчета времени работы и массы фильтра.

Таким образом, можно сделать вывод, что исследуемый клиноптилолит адсорбирует как чистый монооксид углерода, так и содержащийся в составе ГССА, а также оксиды азота и озон. Это подтверждают литературные данные [190], свидетельствующие о том, что цеолиты наиболее эффективно адсорбируют не чистые газы, а их примеси в воздухе с концентрацией до 3 % при температуре до 150 °С. В составе же СА, образующегося при сварке в углекислом газе, обычно содержится 0,07...0,16 % монооксида углерода и совсем незначительное количество оксидов азота. Температура улавливаемого на расстоянии 30 см от дуги воздуха не превышает 70 °С.

Резюмируя, следует отметить, что результаты исследований и литературные показывают, что наиболее подходящими адсорбентами вредных компонентов ГССА являются цеолиты. В качестве фильтрующего материала в ФВА целесообразно применять закарпатский клиноптилолит. Однако этот материал имеет относительно небольшую емкость по отношению к монооксиду углерода. Поэтому для оксидоуглеродных СА требуется увеличить адсорбционную емкость клиноптилолита.

С целью увеличения адсорбционной емкости природного клиноптилолита были проведены исследования для подбора соответствующей его модификации. Общим недостатком всех известных способов получения и использования сорбентов газов на основе природных цеолитов [193–196] является их низкая сорбционная емкость и необходимость периодической регенерации, при которой возникает проблема утилизации десорбированных газов.

Целью дальнейших исследований явилось повышение технологичности процесса получения фильтрующего материала на основе природного клиноптилолита и увеличение его адсорбционной емкости.

Поставленная цель была достигнута путем модификации природного клиноптилолита растворами солей – нитратов тяжелых металлов [197].

В известном способе [196] для достижения такого же результата нужна 12-ти кратная химическая обработка. Общая длительность подготовки зерен фильтра предлагаемым способом сокращается на 30...35 %.

Исследовали возможность поглощения монооксида углерода различными формами модифицированного клиноптилолита растворами солей меди, цинка, кобальта, железа, хрома и кадмия.

В лабораторных условиях модифицированный цеолит получали следующим образом. Измельченный до размера зерен 2...5 мм природный клиноптилолит промывали водой для удаления пылевидной фракции, сушили в течение 10 минут на сите, обрабатывали при комнатной температуре 2,0...2,5%-м раствором уксусной кислоты в течение 2-х часов при постоянном перемешивании для вымывания (освобождения) кристаллической структуры клиноптилолита от ионов щелочноземельных металлов. Концентрацию уксусной кислоты выбрали в пределах 2,0...2,5 % из тех соображений, что более концентрированные растворы могут привести к разрушению структуры вследствие dealюминирования цеолита, а менее концентрированные растворы требуют более длительной обработки цеолита, что усложняет технологический процесс подготовки сорбента. После обработки данным раствором материал промывали водой, снова сушили на сите в течение 10 минут и модифицировали в 1N растворе нитрата кобальта (или по второму варианту в растворе нитрата кадмия). Обработку вели в течение 2-х часов при перемешивании. Затем материал промывают водой, сушат при температуре 120...130 °С и прокаливают при 400 °С еще в течение 1 часа. Прокаленный материал охлаждают без доступа воздуха.

Сорбционная емкость клиноптилолита определялась весовым методом при постоянной скорости пропускания смеси, содержащей угарный газ, через образцы модифицированных форм клиноптилолита. Данные по улавливанию монооксида углерода модифицированным цеолитом представлены в табл. 4.3.

Полученные данные свидетельствуют, что сорбционная емкость клиноптилолита, обработанного по предлагаемому способу, увеличилась на 70...80 % по сравнению с клиноптилолитом Cu^+ -замещенной формы (прототипом). Время защитного действия цеолита увеличилось во много раз [198].

Таблица 4.3

*Влияние обработки клиноптилолита
на полноту улавливания монооксида углерода*

Адсорбент	Адсорбционная емкость, мл/г
Клиноптилолит Cu^+ – замещенная форма (по данным [196])	2,0
Клиноптилолит Co^{2+} – замещенная форма при обработке уксусной кислотой:	
2%-й	3,51
2,3%-й	3,50
2,5%-й	3,48
Клиноптилолит Cd^{2+} – замещенная форма при обработке уксусной кислотой:	
2%-й	3,60
2,3%-й	3,60
2,5%-й	3,61

С целью выбора оптимальных конструкционных параметров фильтрующих элементов с зернистым цеолитом исследовали зависимости его фильтрационных характеристик (аэродинамического сопротивления и коэффициента проскока) от размеров зерен цеолита, толщины (высоты) слоя фильтра (колонки) и скорости аэрозольно-воздушного потока, а также изменение сопротивления и проскока во времени [198]. В качестве фильтрующего материала использовали закарпатский клиноптилолит, запасы которого имеются в Украине. Низкая цена этого материала делает его доступным для одноразового использования, после чего он может утилизироваться или использоваться как добавка к строительным материалам.

Для исследований данных характеристик (по методике, приведенной в главе 2) использовался клиноптилолит трех фракций, полученных разделением с помощью сит: 1-я фракция с диаметром зерен 2...3 мм; 2 – я – 3...5 мм; 3 – я – 7...10 мм. Высота слоя колонки составляла 10, 50 и 100 мм, а скорость аэрозольно-воздушного потока – 1, 5 и 10 см/с. Показания приборов снимали через каждые 5 минут при пропускании воздуха со сварочным аэрозолем через колонку с цеолитом в течение 100 минут. Исследования проводились при механизированной сварке в углекислом газе проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм при силе тока 350 А и напряжении дуги 33 В.

Результаты исследований показали, что аэродинамическое сопротивление колонки с цеолитом повышается с уменьшением диаметра зерен, увеличением толщины слоя и скорости потока воздуха с аэрозолем (рис. 4.1–4.3).

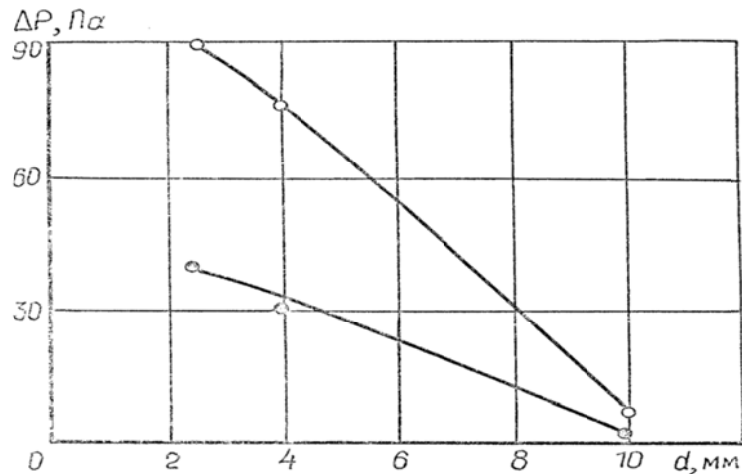


Рис. 4.1. Зависимость аэродинамического сопротивления колонки из клиноптилолита высотой 100 мм от диаметра:
 ○ – скорость воздушного потока через колонку – 0,1 м/с; ● – 0,05 м/с

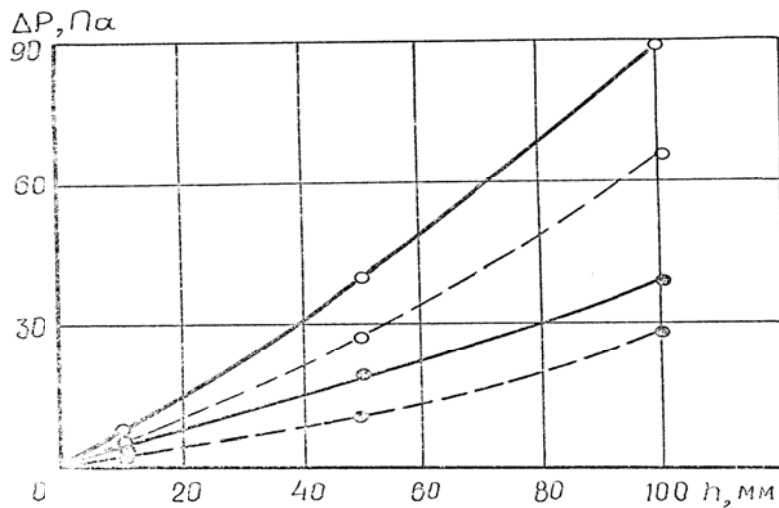


Рис. 4.2. Зависимость аэродинамического сопротивления от высоты слоя клиноптилолита:
 ● – скорость воздушного потока через колонку – 0,05 м/с,
 ○ – 0,1 м/с; — — диаметр зерен – 2...3 мм; - - - 3...5 мм

С увеличением скорости потока при высоте слоя 10 мм сопротивление мало повышается. При увеличении толщины слоя и уменьшении диаметра зерен цеолита угол наклона кривых роста сопротивления фильтра увеличивается (рис. 4.4–4.6). Ясно, что для полного улавливания ТССА необходимо подобрать такие размеры зерен и толщину слоя фильтрующего материала, которые бы обеспечивали минимальные аэродинамическое сопротивление и коэффициент проскока. Для повышения эффективности улавливания (снижения величины проскока аэрозоля через фильтр) необходимо применять цеолит с малым диаметром зерен, большой толщиной слоя и протягивать через него очищаемый

воздух с малой скоростью. Однако, все это увеличивает сопротивление фильтра. К тому же, повышение скорости потока в большей степени увеличивает сопротивление, чем уменьшает коэффициент проскока (рис. 4.3–4.8). Поэтому для снижения сопротивления, а, соответственно, повышения производительности очистки необходимо выбирать конструкцию и геометрические размеры фильтрующего элемента с возможно большей площадью, что обеспечивает малую скорость потока.

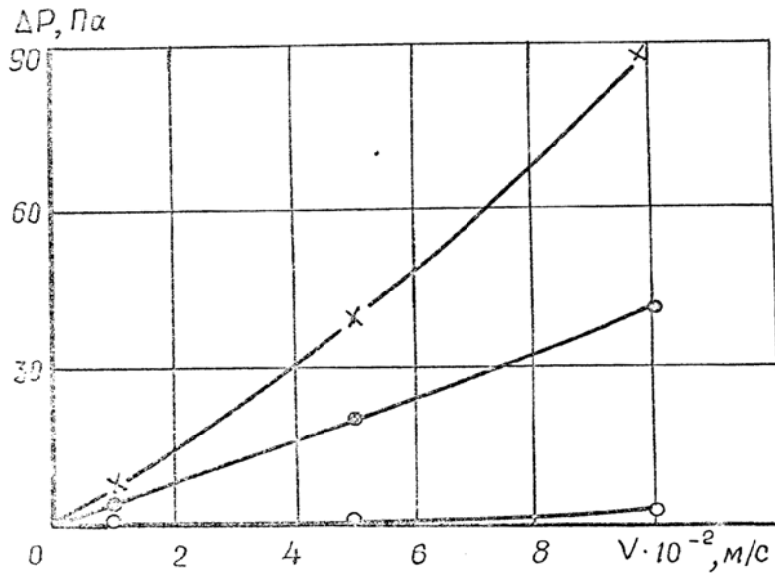


Рис. 4.3. Зависимость аэродинамического сопротивления колонки из клинцитолита (диаметр зерен – 2...3 мм) от скорости потока:
 ○ – высота слоя – 10 мм; ● – 50 мм; × – 100 мм

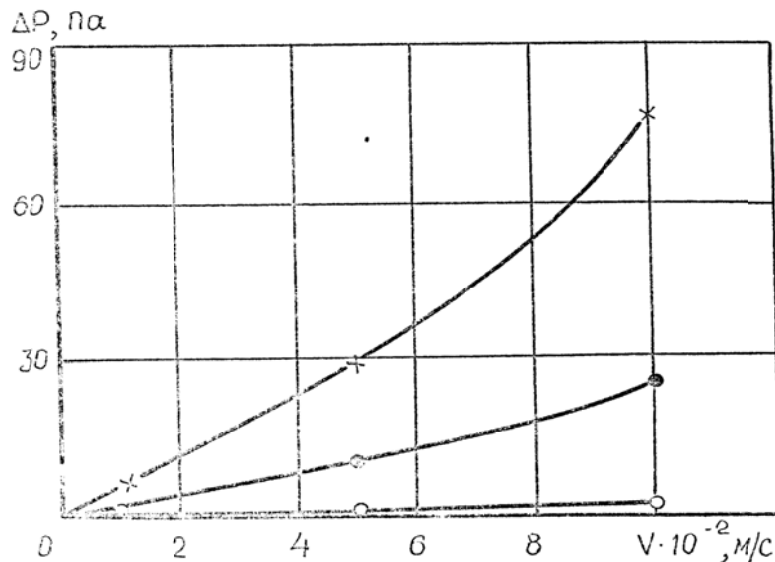


Рис. 4.4. Зависимость аэродинамического сопротивления колонки из клинцитолита (диаметр зерен – 3...5 мм) от скорости потока:
 ○ – высота слоя – 10 мм; ● – 50 мм; × – 100 мм

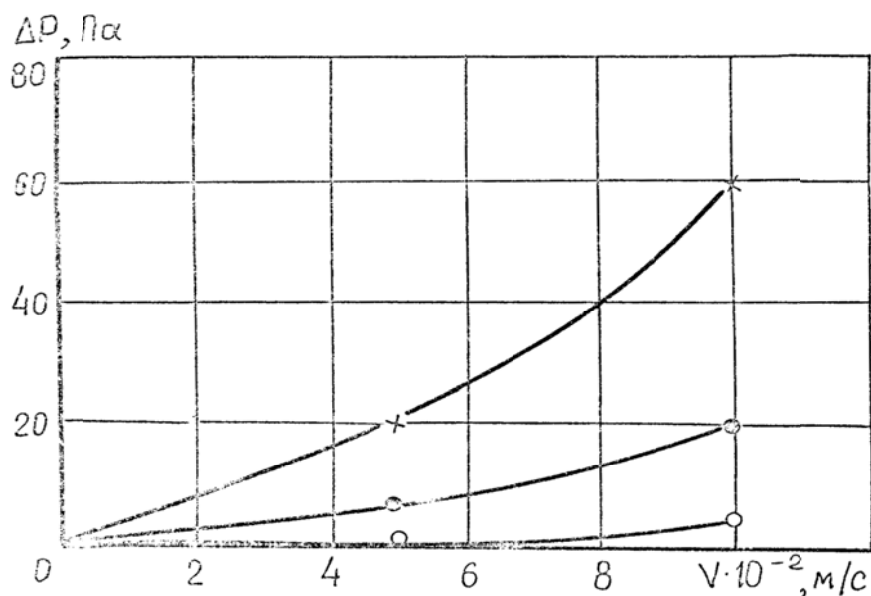


Рис. 4.5. Зависимость аэродинамического сопротивления колонки из клиноптилолита (диаметр зерен – 7...10 мм) от скорости потока:
 ○ – высота слоя – 10 мм; ● – 50 мм; × – 100 мм

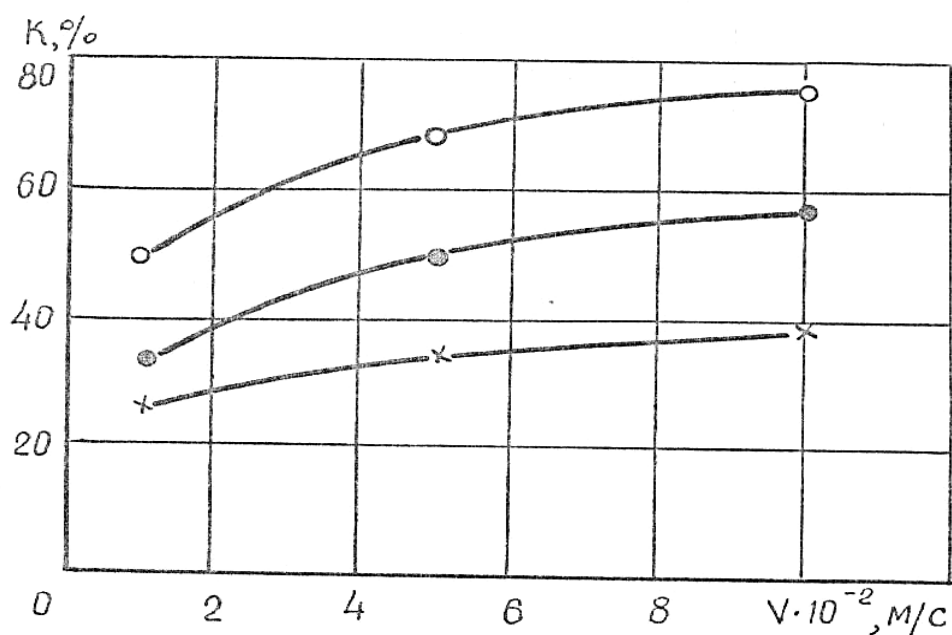


Рис. 4.6. Зависимость коэффициента проскока ТССА через слой из зерен клиноптилолита диаметром 2...3 мм от скорости потока:
 ○ – высота слоя – 10 мм; ● – 50 мм; × – 100 мм

Исследования изменений аэродинамического сопротивления и коэффициента проскока во времени показали, что сопротивление увеличивается постоянно (рис. 4.9) примерно линейно в течение всего времени.

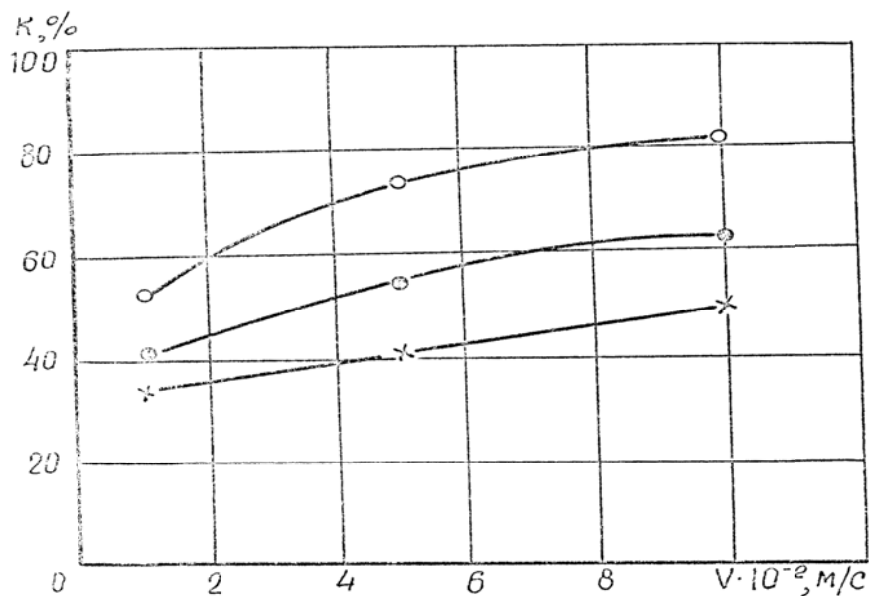


Рис. 4.7. Зависимость коэффициента проскока ТССА через слой из зерен клиноптилолита диаметром 3...5 мм от скорости потока:
 ○ – высота слоя – 10 мм; ● – 50 мм; × – 100 мм

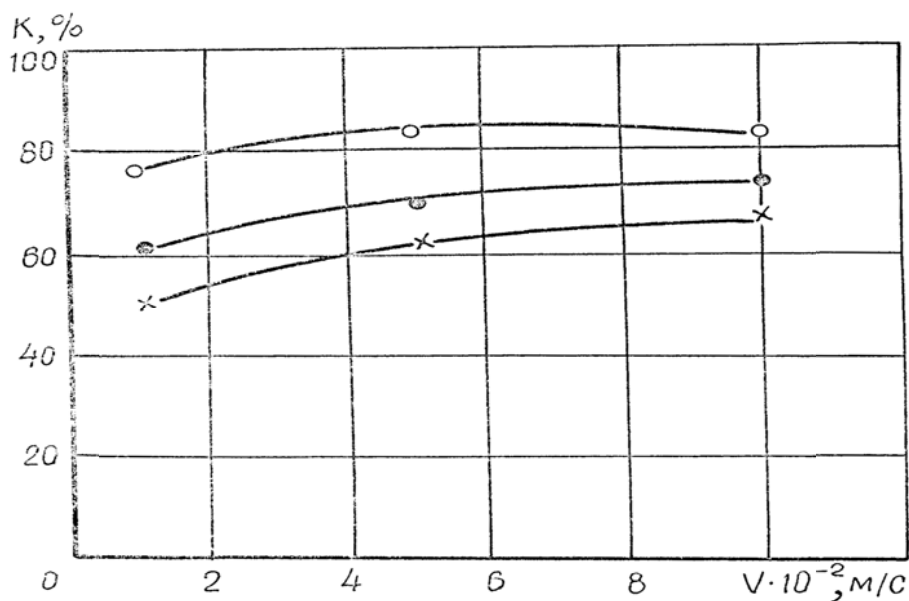


Рис. 4.8. Зависимость коэффициента проскока ТССА через слой из зерен клиноптилолита диаметром 7...10 мм от скорости потока:
 ○ – высота слоя – 10 мм; ● – 50 мм; × – 100 мм

Увеличение сопротивления объясняется тем, что с течением времени частицы ТССА осаждаются на зернах цеолита и уменьшают размеры пор между ними. Это приводит к более полному осаждению следующих порций пыли (нестационарная стадия). При заполнении промежутков между частицами пылью степень очистки быстро возрастает и в момент

образования сплошного первичного слоя (через 26 минут) улавливание ТССА становится практически полным. По мере увеличения заполнения пор пылью возрастает сопротивление движению газа через фильтр. Для снижения гидравлического сопротивления запыленного фильтрующего материала его.

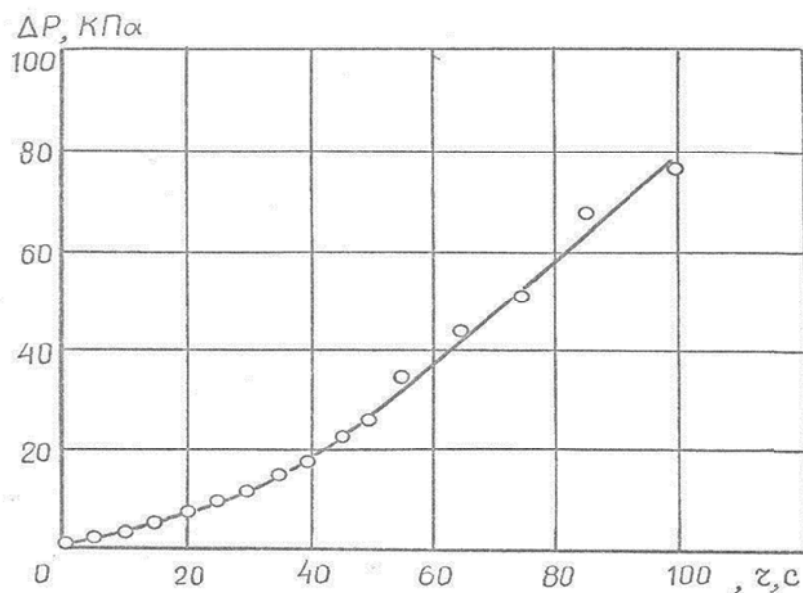


Рис. 4.9. Зависимость аэродинамического сопротивления зернистой колонки из клиноптилолита (диаметр зерен 2...3 мм) от времени работы использования (100 минут), а коэффициент проскока снижается с 48 % практически до 0 через 26 минут (рис. 4.10)

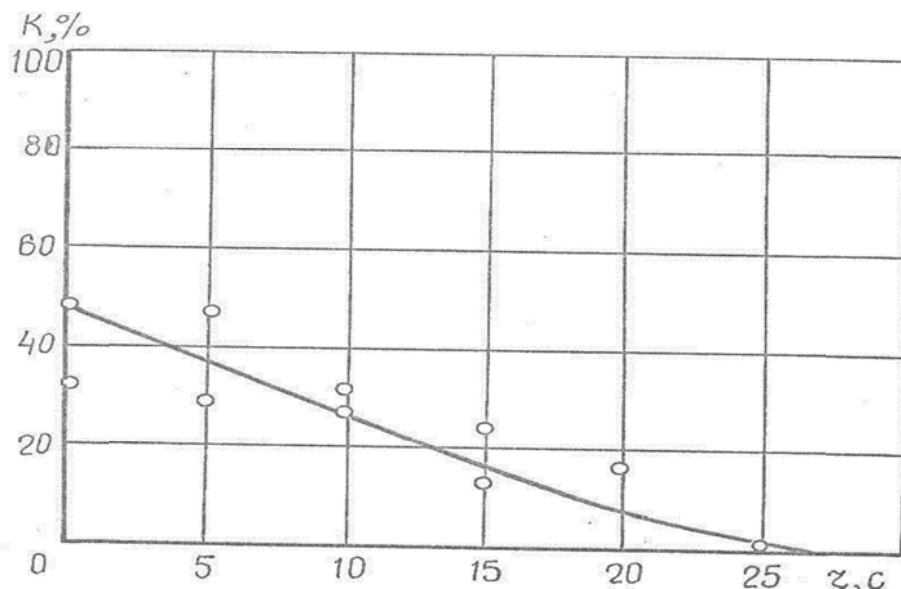


Рис. 4.10. Зависимость коэффициента проскока ТССА через зернистую колонку из клиноптилолита (диаметр зерен 2...3 мм) от времени работы необходимо регенерировать

Это осуществляется удалением пыли с поверхности материала путем механического встряхивания. При регенерации пыль отделяется от фильтрующего материала и гидравлическое сопротивление резко снижается. Характерно, что после каждой очередной регенерации фильтра его сопротивление не снижается до исходной величины, а становится большим вследствие дополнительного сопротивления, создаваемого частью неудаленной пыли. В данном случае предлагаемый в качестве фильтрующего материала цеолит обладает высокоразвитой пористой поверхностью зерен и хорошо удерживает пыль. Это способствует снижению проскока частиц ТССА. К тому же, увеличение толщины слоя фильтрующего материала способствует повышению его емкости.

Таким образом, результаты исследований фильтрующих характеристик клиноптилолита позволяют его рекомендовать в качестве одноступенчатого фильтрующего материала для очистки воздуха как от ТССА, так и от ГССА. При этом обеспечить высокую эффективность улавливания СА и низкое сопротивление фильтра можно путем выбора его оптимальных размеров – отношения площади к толщине слоя, размера зерен и скорости очищаемого потока воздуха.

Результаты настоящих исследований [198] могут быть использованы для технологических расчетов фильтрующих элементов ФВА и систем очистки воздуха от СА.

Предложенный фильтрующий материал из модифицированного клиноптилолита [197] использован в качестве второй ступени фильтра в ФВА типа «Мрія», системе очистки воздуха на ее основе для шланговой маски сварщика с подачей воздуха [199] и в одноступенчатом зернистом фильтре [200].

При использовании в фильтрующих элементах цеолита очистка от ТССА осуществляется путем фильтрации и осаждения пыли на зернах цеолита, а ГССА адсорбируется в их порах. Размеры пор цеолита не позволяют проникать твердым частицам СА вглубь зерен и последние осаждаются на их поверхности [198].

4.3. Разработка компьютерной информационно-поисковой системы гигиенических характеристик сварочных материалов

В соответствии с гигиеническими и экологическими нормами выполнение сварочных работ должно предусматривать защиту рабочих, производственной и окружающей среды от воздействия СА. Для этого применяются системы местной вентиляции, обеспечивающие улавливание аэрозолей непосредственно у источника их образования, или средства индивидуальной защиты органов дыхания сварщика. При выборе оборудования для защиты рабочего места от вредного воздействия СА, обеспе-

чивающих наиболее благоприятные условия труда, требуются данные о составе СА и их токсичности. Последние зависят от способа и режима сварки (наплавки), а также от применяемых сварочных материалов. Если учесть, что в современном сварочном производстве используются несколько десятков способов сварки и наплавки, а ассортимент сварочных (наплавочных) материалов приближается к тысяче, то количество разнообразных вариантов, которые необходимо принимать во внимание при проектировании систем обеспечения безопасных условий труда сварщиков, становится труднообозримым. В настоящее время информация о составе СА систематизирована в недостаточной мере и остается во многих случаях недоступной инженерно-техническим работникам предприятий, занимающихся организацией сварочного производства.

В связи с этим возникает задача сбора, систематизации и перевода на машинные носители данных о количестве и составе СА, образующихся при использовании различных технологий сварки и сварочных материалов. В настоящем разделе описывается разработанная в Институте электросварки им. Е.О. Патона компьютерная информационно-поисковая система «ECO-WELD», которая позволяет в простой и доступной форме получать информацию о СА для широкого спектра способов сварки, параметров режима и сварочных материалов, а также рассчитывать требуемую производительность вентиляции рабочего места сварщика и выбирать соответствующее вентиляционное оборудование или средства индивидуальной защиты органов дыхания сварщика. По сравнению с ранее разработанными системами [201–203] информационного обеспечения по гигиеническим характеристикам СА, в нашей компьютерной системе «ECO-WELD» [204] более полно представлена информация об условиях сварки, сварочных материалах, интегральных и удельных характеристиках СА, что позволяет для каждой марки сварочного материала провести гигиеническую оценку процесса сварки и дать рекомендации по применению средств защиты сварщиков и окружающей среды.

Анализ имеющихся в научной литературе данных о СА показывает, что в зависимости от способа сварки – ручная сварка покрытыми электродами, механизированная сварка в защитных газах и самозащитная сварка (проволоками сплошного сечения, порошковыми, активированными и порошковыми лентами, неплавящимся электродом), автоматическая сварка под флюсом (плавленые и керамические флюсы в комбинации с соответствующими проволоками) – информацию о СА целесообразно объединить в три группы и создать на этой основе базы данных СА [205] для покрытых электродов, сварочных проволок и флюсов соответственно. Эти базы данных содержат информацию о факторах, влияющих на химический состав и уровень выделений СА

(марка присадочного материала, диаметр и тип проволоки, способ и режим сварки, состав защитной смеси и др.), а также данные об уровнях выделения газообразных и твердых компонентов СА.

Для ручной сварки покрытыми электродами в базу данных заносится следующая информация об условиях сварки: марка электрода, его назначение (класс основного металла, для сварки которого эти электроды предназначены), вид покрытия электрода (основной, кислый, рутиловый, целлюлозный, рутилово-основной, кисло-рутиловый, кислородно-целлюлозный, рутил-целлюлозный), диаметр электрода, режим сварки (величина сварочного тока, напряжения дуги и род тока – постоянный прямой полярности, постоянный обратной полярности, переменный). В качестве основного металла при сварке электродами используются металлы следующих групп: углеродистые и низколегированные стали, легированные теплоустойчивые стали, высоколегированные теплоустойчивые стали, никелевые сплавы, алюминий и алюминиевые сплавы, медь и медные сплавы, чугун.

Исходной информацией для механизированной сварки являются: вид сварочного материала (проволока сплошного сечения, порошковая, активированная, порошковая лента, неплавящийся электрод), марка и диаметр сварочного материала, состав защитного газа, режим сварки. В качестве основного металла при механизированной сварке используются металлы следующих групп: углеродистые и низколегированные стали, легированные теплоустойчивые стали, высоколегированные теплоустойчивые стали, титан и титановые сплавы, алюминий и алюминиевые сплавы, медь и медные сплавы, чугун. При сварке в защитной среде используются следующие защитные газы и их смеси: углекислый газ; аргон; смесь аргона и углекислого газа; смесь аргона, кислорода и углекислого газа; другие газы.

При сварке под флюсом дополнительно вводятся данные о марке и виде флюса (плавленый или керамический), марке и диаметре применяемой сварочной проволоки. В качестве основного металла при сварке под флюсом используются металлы следующих групп: углеродистые и низколегированные конструкционные стали, легированные и высоколегированные марганцовистые стали, углеродистые, низколегированные термоупрочненные стали, нержавеющие кислотостойкие и жаропрочные стали, высоколегированные стали, медь и ее сплавы. Предлагается следующий список наиболее распространенных марок проволок, используемых при сварке под флюсом: Св-08, Св-08Г2С, Св-08ГСМТ, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2, Св-18ХГС, Св-08Х20Н9Г7Т, Св-01Х19Н9, Св-10Г2-Н2-СМТ, Св-08Х-19НФ2С2, Св-Х19П9Ф2С3. Ведущим полем, по которому в базах данных осуществляется поиск инфор-

мации о сварочных аэрозолях, является марка сварочного материала. Каждому сварочному материалу в базах данных соответствует несколько записей, содержащих информацию о гигиенических характеристиках материала для различных условий сварки, в том числе – для различных режимов сварки.

Состав ТССА для всех баз данных представлен следующими химическими элементами: Mn, Cr⁶⁺, Cr³⁺, Ni, Fe, Si, Cu, Al, фториды растворимые F_р и нерастворимые F_н, а ГССА – химическими соединениями: HF, SiF₄, CO, NO₂, O₃. При наполнении базы данных для одной и той же марки сварочного материала может вводиться информация о СА, выделяющихся при различных режимах сварки.

Благодаря детальному описанию условий сварки и уровней выделения СА, по результатам работы компьютерной системы можно осуществить гигиеническую оценку процесса сварки для каждой марки сварочного материала, дать конкретные рекомендации по применению соответствующих средств защиты сварщиков и провести полный анализ влияния всех факторов на количественный и качественный состав сварочного аэрозоля, а также на его токсичность. Последнее дает возможность проводить гигиеническую оптимизацию процесса и технологии сварки, оптимизировать состав сварочных материалов на стадии их разработки, а также выбирать среди имеющихся марок сварочных материалов менее токсичные.

Для формирования баз данных и их поддержания в актуальном состоянии в процессе эксплуатации компьютерной системы разработан редактор баз данных, который позволяет осуществлять первичное наполнение баз данных и их последующее редактирование путем удаления записей, касающихся сварочных материалов, вышедших из употребления, или корректировать имеющуюся в базах данных информацию по данным новейших исследований. Учитывая информационную неоднородность баз данных по каждому типу сварочных материалов, предусмотрена автоматическая настройка редактора на работу с каждой из баз данных.

Проиллюстрируем работу редактора на примере задания информации об условиях сварки и уровнях выделения сварочных аэрозолей для механизированной сварки. На рис. 4.11 представлено окно редактирования при первичном вводе данных. Пользуясь «меню», пользователь задает класс основного металла, вид проволоки, используемый защитный газ и вводит информацию о параметрах режима сварки, интенсивности образования аэрозоля V_a , производительности расплавления сварочного материала G_p , удельном выделении аэрозоля G_a и уровнях выделения газообразных и твердых компонентов (при этом имеется возможность задавать

данные о составах СА в различных размерностях). При необходимости для данного сварочного материала может быть введена информация об уровнях выделения СА для другого режима сварки. В режиме корректировки данных (при помощи кнопки «Следующий режим») осуществляется просмотр данных для различных режимов сварки и их последующее редактирование. Аналогичным образом организуется ввод и корректировка данных для других типов сварочных материалов.

Сварочный материал Св-10ХГ2СМА

ГРУППА ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА

- углеродистые, низколегированные стали
- легированные теплоустойчивые стали
- высоколегированные теплоустойчивые стали
- титан и титановые сплавы
- алюминий и алюминиевые сплавы
- медь и медные сплавы
- чугун

ЗАЩИТНЫЙ ГАЗ

- углекислый газ
- аргон
- смесь аргона и углекислого газа
- смесь аргона, кислорода и углекислого газа
- другие газы
- без газовой защиты

ВИД ПРОВОЛОКИ

- сплошного сечения
- порошковая
- активированная
- наплавочная лента

РЕЖИМ СВАРКИ

Диаметр проволоки, мм

Сварочный ток, А Напряжение дуги, В

Gr, кг/мин Ga, г/кг Va, г/мин

УРОВНИ ВЫДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТССА

г/кг %

Mn	Cr ⁶⁺	Cr ³⁺	Ni	Fe
<input type="text" value="9.97"/>	<input type="text" value="0.078"/>	<input type="text" value="7.47"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="4"/>
Si	Al	Cu	Ti	Fr
<input type="text" value="52.2"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

УРОВНИ ВЫДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ГССА

г/кг

HF	SiF ₄	CO	NO ₂	O ₃
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Рис. 4.11. Окно ввода и редактирования данных

Поиск информации в базах данных осуществляется по заданной марке сварочного материала, результат поиска оформляется в виде выходного документа (рис. 4.12), в котором отображаются данные об условиях сварки и гигиенических показателях, характеризующие химический состав, уровень выделений и токсичность СА, в том числе:

- интенсивность образования СА V_a (г/мин);
- удельное выделение СА G_a (г/кг);
- коэффициент интенсивности образования СА β_a (г/кВт·ч);
- коэффициент удельного выделения СА γ_a (г/кВ·ткг);
- содержание компонентов в составе СА C (% мас.);

- интенсивность образования компонента СА V_i (г/мин);
- удельное выделение компонента СА G_i (г/кг);
- коэффициент интенсивности образования компонента СА β_i (г/кВт·ч);
- коэффициент удельного выделения компонента СА γ_i (г/кВт·кг).

ПОКАЗАТЕЛИ ГИГИЕНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Марка электрода АНО-ТМ Вид покрытия электрода рутилово-основной
 Основной металл углеродистые, низколегированные стали

ПАРАМЕТРЫ СВАРОЧНОГО ПРОЦЕССА

Диаметр электрода, мм 5
 I св, А 300
 U дуги, В 25
 Род тока переменный

ПОКАЗАТЕЛИ УРОВНЕЙ ВЫДЕЛЕНИЯ ТССА			
Va, г/мин	Ga, г/кг	β_a , г/кВт.ч	γ_a , г/кВт.кг
0.469	10.80	3.759	1.440

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И УРОВНИ ВЫДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТССА

Показатель	Mn	Cr ⁶⁺	Cr ³⁺	Ni	Fe	Si	Al	Cu	Ti	Fp	Fн
С, %	5			0.010	27.79	5.400				2.200	9.800
V, г/мин	0.023			4.700	0.130	0.025				0.010	0.046
G, г/кг	0.540			0.001	3.002	0.583				0.237	1.058
β , г/кВт.ч	0.187			0.000	1.045	0.203				0.082	0.368
γ , г/кВт.кг	0.072			0.000	0.400	0.077				0.031	0.141

УРОВНИ ВЫДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ГССА

Показатель	HF	SiF ₄	CO	NO ₂	O ₃
G, г/кг	0.020				
γ , г/кВт.кг	0.002				

ТРЕБУЕМЫЙ ВОЗДУХООБМЕН ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Q _m , м ³ /кг	Q _t , м ³ /ч
2700	6966

Рис. 4.12. Выходной документ

По данным предельно допустимой концентрации вредных веществ СА рассчитывается воздухообмен общеобменной вентиляции Q_m и интенсивность воздухообмена Q_t . В отечественной практике этот показатель принято выражать в объеме воздуха общеобменной вентиляции, достаточном для разбавления вредных веществ сварочных аэрозолей до предельно допустимой концентрации при расходовании одного килограмма сварочного материала [154]. Q_m рассчитывается по каждому компоненту СА и его максимальное значение принимается за общий воздухообмен для всего аэрозоля. Стандартами Международного института сварки предусматривается оценка производительности вентиляции на основе показателя Q_t интенсивности воздухообмена, выраженного в м³/ч [45]. Компьютерная система позволяет оценивать

производительность общеобменной вентиляции по обоим показателям. Это дает возможность проводить сравнительную гигиеническую оценку отечественных сварочных материалов с зарубежными на основе международной классификации. Кроме известных гигиенических показателей [154] в настоящей компьютерной системе представлены предложенные в работе [206] другие характеристики уровней выделений СА (коэффициенты интенсивности и удельного выделения), позволяющие при сравнительной гигиенической оценке сварочных технологий учитывать мощность источника сварочного нагрева.

Сложность составления настоящей базы данных заключалась в том, что в нее вводились исходные данные из различных источников, как авторов базы (полученные в ИЭС им. Е.О. Патона), так и литературные. Данные представлены единой системой и содержат всю необходимую информацию, в том числе и дополнительные показатели (коэффициенты интенсивности и удельного выделения, уровни выделений компонентов СА, объем воздухообмена), рассчитанные с помощью разработанной нами компьютеризованной системы расчетов. Литературные же данные представлены отдельными показателями: в одних источниках только удельным выделением ведущих токсичных компонентов, хотя это трудно установить без данных о полном химическом составе СА, в других общим удельным выделением ТССА и процентным содержанием отдельных компонентов, что также не дает полной информации о токсичности СА. Это было учтено в специально разработанной системе расчетов недостающих гигиенических показателей и соответствующей компьютерной программе [207], что позволило привести все данные к единой системе.

Коэффициенты интенсивности образования СА β_a и удельного выделения γ_a рассчитывались по формулам:

$$\beta_a = 6 \times 10^4 V_a / I_{св} U_d, \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}; \quad (4.1)$$

$$\gamma_a = 10^3 G_a / I_{св} U_d, \text{ г/кВт}\cdot\text{кг}; \quad (4.2)$$

где $I_{св}$ – сварочный ток, А; U_d – напряжение дуги, В.

Если нет данных по V_a (литературные данные), то этот показатель рассчитывается по формуле:

$$V_a = G_a G_p, \quad (4.3)$$

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

Если имеются данные по процентному содержанию компонентов в составе СА C_i , то значения интенсивности образования компонентов СА V_i и удельного выделения G_i рассчитываются по формулам:

$$V_i = 0,01 V_a C_i, \quad (4.4)$$

$$G_i = 0,01 G_a C_i, \quad (4.5)$$

Если нет значения C_i , а есть G_i и G_a , как бывает в некоторых литературных источниках, то его рассчитывают по формуле

$$C_i = 10^2 G_i / G_a. \quad (4.6)$$

В том случае, если из литературных данных известно только G_i , как чаще всего и бывает, то V_i рассчитывается по формуле:

$$V_i = G_i G_p, \quad (4.7)$$

где G_p вводится в базу данных в виде исходной информации.

Требуемый воздухообмен общеобменной вентиляции Q_m по отечественной методике рассчитывается по формуле:

$$Q_m = 10^3 G_i / \text{ПДК}, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (4.8)$$

интенсивность воздухообмена Q_t по международной методике рассчитывается по формуле:

$$Q_t = 60 Q_m G_p, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (4.9)$$

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ СВАРЩИКОВ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ОТ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ**

ВЕНТИЛЯЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Фильтровентиляционный агрегат "Темп-2000"** с комбинированным фильтром из материалов 6В19-КТ и сорбционно-фильтрующего типа ЦМ

СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

- Устройство очистки и подачи воздуха под маску сварщика "Шмель-40 ФГП" с комбинированным фильтром из материалов НФП-50-0,6А и сорбционно-фильтрующего типа ЦМ
- Респиратор типа "Снежок ГП-В"

НАЗНАЧЕНИЕ

Агрегат предназначен для удаления сварочных аэрозолей из зоны сварки и очистки воздуха. Обеспечивает очистку воздуха от твердой составляющей сварочного аэрозоля, а также от токсичных газов (фтористого водорода, четырехфтористого кремния, оксидов азота, озона и др.)

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Производительность удаления воздуха, м³/ч 1500

? [Дополнительная информация](#) [← Назад](#)

Рис. 4.13. рекомендуемые средства защиты от СА (вентиляционное оборудование)

Значения воздухообмена рассчитываются для всех компонентов СА, а в базу данных согласно отечественной методике заносятся только максимальные значения, которые и определяют общий для всего СА воздухообмен.

В состав баз данных системы «ECO-WELD» входит также тексто-графическая база данных по средствам индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков и оборудованию, используемому для организации систем местной вентиляции. Наличие такой базы позволяет дать рекомендации по применению средств защиты сварщиков и окружающей среды от СА. При этом используется химическая классификация СА, предложенная в работе [187]. При реализации функции «Средства защиты» (см. рис. 4.12) на экране монитора отображаются (левая часть рис. 4.13, 4.14) возможные средства вентиляции, обеспечивающие требуемый воздухообмен, и средства индивидуальной защиты органов дыхания (маски сварщика с притоком очищенного воздуха, устройства очистки и подачи воздуха в зону дыхания, респираторы) с указанием их технических характеристик, внешнего вида, разработчика и поставщиков оборудования (правая часть рис. 4.13, 4.14).



Рис. 4.14. Рекомендуемые средства защиты от СА (индивидуальной защиты органов дыхания)

Компьютерная система функционирует в среде Windows 95, 98 и NT, для ее установки требуется не менее 12 МВ оперативной памяти и 10 МВ свободного дискового пространства. Разработанное программное обеспечение может быть использовано на предприятиях машиностроительного комплекса, в проектных организациях (проектирование систем вентиляции) и научно-исследовательских институтах гигиенического профиля и охраны труда.

4.4. Сравнительная гигиеническая оценка сварочных материалов и способов сварки

Выполнение мероприятий по оздоровлению условий труда рабочих сварочных профессий осуществляется по данным о химическом составе, уровнях выделений и токсичности СА. Для этого проводится первичная санитарно-гигиеническая оценка сварочных материалов, основанная на методах улавливания и определения количества и состава аэрозолей, образующихся при сварке. При этом пользуются такими санитарно-гигиеническими показателями как интенсивность образования СА (г/мин) и удельное выделение СА (г/кг сварочного материала) [154]. Для более объективной оценки, учитывающей мощность сварочной дуги, предложено пользоваться также двумя новыми показателями: коэффициентом интенсивности образования СА (г/кВт·ч) и коэффициентом удельного выделения СА (г/кВт·кг) [206]. Вместе с тем для оценки токсичности СА или степени воздействия на организм пользуются показателями предельно допустимой концентрации СА и лимитирующим количеством воздуха, необходимым для разбавления воздуха рабочей зоны до ПДК, выраженный в м³/ч (в единицу времени) по методике Международного института сварки [44, 45, 208]. В отечественной практике пользуются показателем воздухообмена общеобменной вентиляции, т. е. объем воздуха, который необходимо подать в производственное помещение чтобы разбавить вредные вещества СА до ПДК, выраженный в м³/кг сварочного материала [154].

Целью настоящего раздела – показать возможности проведения первичной санитарно-гигиенической оценки сварочных материалов и способов сварки по величине воздухообмена вентиляции с помощью разработанной информационно-поисковой системы «ECO-WELD» [204].

Исходными показателями, которые определяются экспериментально, является только интенсивность образования СА, все остальные показатели рассчитываются в процессе работы системы «ECO-WELD» по специальной программе. В основу системы положены данные по химическому составу и уровнях выделений СА, полученных экспериментальным путем в ИЭС им. Е.О. Патона за последние 20 лет, а также литературные данные.

Кроме проведения сравнительной санитарно-гигиенической оценки сварочных материалов система «ECO-WELD» позволяет провести обстоятельный анализ влияния всех факторов сварочного процесса на все необходимые, а также дополнительные гигиенические показатели, в том числе и требуемый воздухообмен вентиляции. Благодаря нашей информационной системе, было оценено влияние способа сварки, вида сварочного материала и класса легирования основного металла на воздухообмен вентиляции.

Результаты сравнительной гигиенической оценки способов сварки [209] по минимальным и максимальным значениям воздухообмена для различных марок сварочных материалов (табл. 4.4) свидетельствуют о том, что требуемый воздухообмен вентиляции для всех способов сварки увеличивается, во-первых, с повышением степени легирования стали, что объясняется наличием в СА токсичных веществ 1-го и 2-го классов опасности (ГОСТ 12.1.005–88): соединений канцерогенного шестивалентного хрома и никеля, соединений марганца, растворимых и нерастворимых фторидов, фтористого водорода и тетрафтористого кремния. В то же время воздухообмен вентиляции зависит и от способа сварки (судя по максимальным и минимальным значениям): максимальный при сварке покрытыми электродами, меньше при применении порошковых, затем активированных проволок, еще меньше при сварке проволоками сплошного сечения и минимальный при сварке под флюсами. Более точное сравнение зависит от конкретной марки сварочного материала и данная компьютерная система является инструментом для проведения таких сравнений в целях выбора наиболее благоприятного в гигиеническом отношении способа сварки и сварочного материала, если позволяют требования к сварке, например (рис. 4.15).

Таблица 4.4

Сравнительная гигиеническая характеристика способов сварки по величине воздухообмена вентиляции

№ п/п	Способы сварки	Требуемый воздухообмен вентиляции, м ³ /кг сварочного материала
Высоколегированные стали		
1	Покрытыми электродами с покрытиями: <ul style="list-style-type: none"> • основное • рутилово-основное • рутиловое 	11800...89000 13900...76000 4200...35000
2	Порошковой проволокой	5200...70200
3	Проволокой сплошного сечения в защитных газах	1300...28300

Окончание табл. 4.4

№ п/п	Способы сварки	Требуемый воздухообмен вентиляции, м ³ /кг сварочного материала
4	Под флюсом: <ul style="list-style-type: none"> • плавный • керамический 	80...1350 70...530
Легированные теплоустойчивые стали		
1	Покрытыми электродами с покрытиями: <ul style="list-style-type: none"> • основное • рутилово-основное 	7400...39000 3700...3900
2	Порошковой проволокой	3100...6100
3	Проволокой сплошного сечения в защитных газах	1100...5850
4	Под флюсом: <ul style="list-style-type: none"> • плавный • керамический 	90...570 400...550
Углеродистые и низколегированные стали		
1	Покрытыми электродами с покрытиями: <ul style="list-style-type: none"> • основное • рутилово-основное • кислое • ильменитовое (кисло-рутиловое) • рутиловое • целлюлозное • кисло-целлюлозное 	2200...24000 2400...11700 6200...11500 4000...9800 2400...9500 3000...3600 4100...4200
2	Порошковой проволокой	2300...21500
3	Активированной проволокой	2100...6500
4	Проволокой сплошного сечения в защитных газах	1100...5900
5	Под флюсом: <ul style="list-style-type: none"> • плавный • керамический 	30...570 30...550

Причиной повышенной токсичности аэрозолей, образующихся при сварке порошковыми проволоками по сравнению с проволоками сплошного сечения является наличие в них, кроме марганца, фторидов (флюорита и кремнефтористого натрия), именно их наличие в СА повышает требуемый воздухообмен вентиляции. Что касается покрытых электродов, то токсичность СА определяется видом покрытия электрода: максимальная токсичность у аэрозолей, выделяющихся при приме-

нении электродов с основным покрытием вследствие наличия в них фторидов, снижается при введении в покрытие рутила (рис. 4.16).

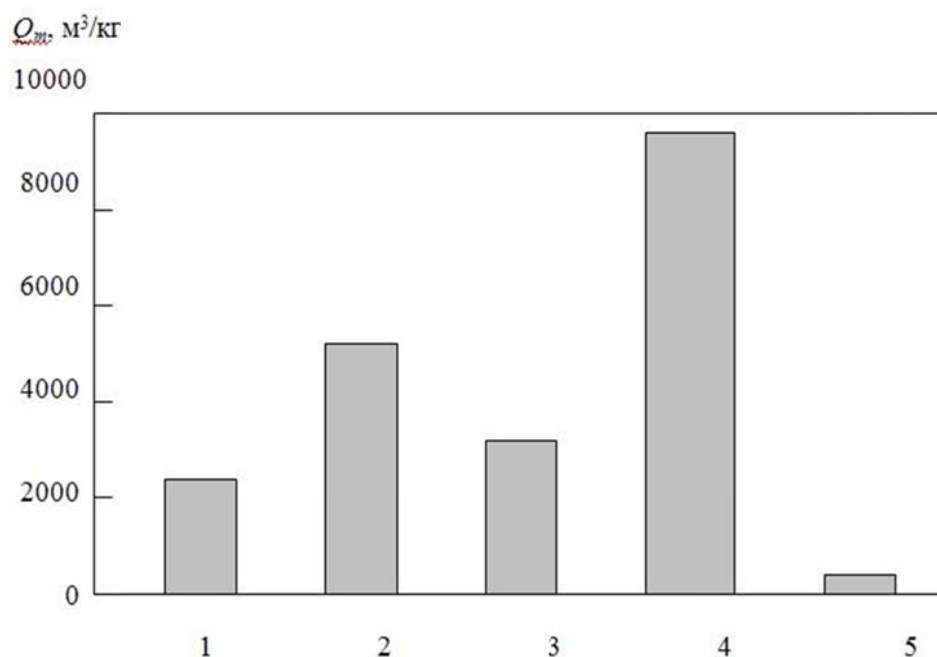


Рис. 4.15. Требуемый объем воздухообмена Q_v вентиляции при сварке: 1 – покрытыми электродами АНО-ТМ (4 мм); 2 – УОНИ-13/45СМ (4 мм); 3 – в CO_2 проволокой Св-08Г2С (2 мм); 4 – порошковой проволокой ПП-АН8 (2 мм); 5 – под флюсом АН-60 проволокой Св-08Г2С (4 мм) выделением угарного и углекислого газа, водорода и паров воды, однако содержание в аэрозоле веществ определяющих его токсичность незначительное

При механизированной сварке высоколегированных и легированных сталей наибольшую токсичность имеют СА, образующиеся при сварке порошковой проволокой (рис. 4.17), что объясняется наличием в них шестивалентного хрома в виде хроматов калия и натрия, которые образуются при взаимодействии хрома с соединениями калия и натрия, присутствующими в сердечнике проволоки. Естественно при сварке проволокой сплошного сечения хроматы калия и натрия в СА отсутствуют. Поэтому проволоки сплошного сечения имеют существенные преимущества перед порошковыми.

При сварке под флюсом воздухообмен вентиляции совсем незначительный (см. табл. 4.4) несмотря на наличие в них больших количеств марганца и фторидов. Это объясняется влиянием на выделение СА защитного слоя флюса, который, кроме своего прямого назначения, также выполняет роль зернистого фильтра, на котором осаждается выделяющийся из сварочной ванны аэрозоль. При применении керамического флюса уровень выделения аэрозоля несколько ниже (рис. 4.18), по-

скольку размеры зерен керамического флюса более мелкие и являются более эффективным фильтром, чем плавненный флюс.

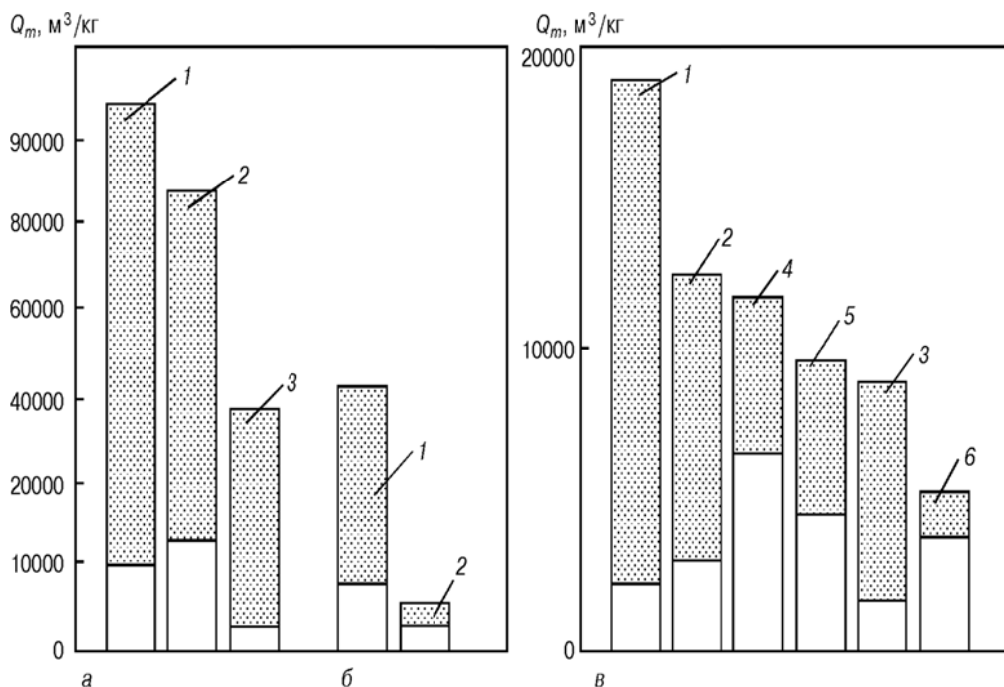


Рис. 4.16. Влияние вида покрытия электрода на объем воздухообмена вентиляции при сварке покрытыми электродами: а – высоколегированные; б – легированные; в – углеродистые стали; 1 – основное; 2 – рутилово-основное; 3 – рутиловое; 4 – кислое; 5 – ильменитовое; 6 – целлюлозное покрытия; здесь и на рис. 4.17, 4.18 заштрихованные части диаграмм – пределы изменения объемов воздухообмена для различных марок сварочных материалов

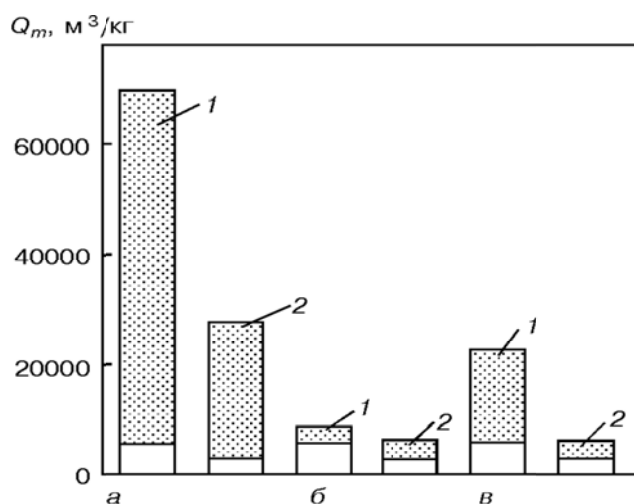


Рис. 4.17. Влияние вида сварочной проволоки на объем воздухообмена вентиляции: а – высоколегированные; б – легированные; в – углеродистые и низколегированные стали; 1 – порошковая проволока; 2 – проволока сплошного сечения

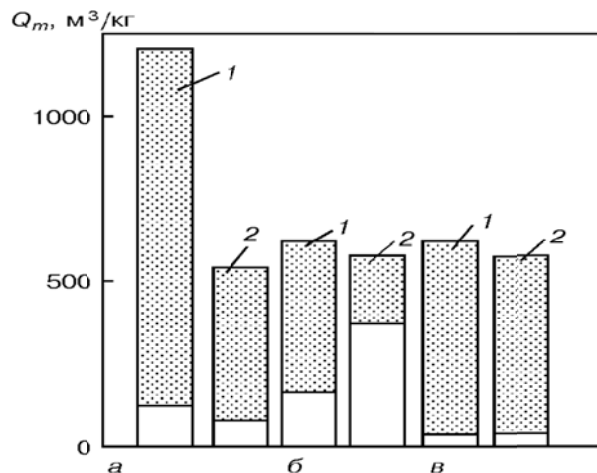


Рис. 4.18. Влияние вида флюса на объем воздухообмена вентиляции:
 а – высоколегированные; б – легированные;
 в – углеродистые и низколегированные стали;
 1 – плавленый; 2 – керамический флюс

Выводы по главе 4

1. Для выбора адекватных методов и средств защиты органов дыхания сварщиков при различных способах сварки предложена классификация СА и способов сварки, при которых они образуются по химическому составу. Согласно этой классификации все виды составов СА подразделяются на шесть типичных классов: бесфтористые, фтористые, оксидоуглеродные, озоновые, фтористо-оксидоуглеродные и фтористо-озоновые. Каждому классу соответствуют определенные способы сварки. Это дает возможность для каждого способа сварки определить методы нейтрализации СА с помощью специальных фильтрующих материалов, применяемых в средствах защиты окружающей среды и индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков.
2. В результате исследования адсорбционных свойств некоторых марок цеолитов (клиноптилолита, морденита и NaX) установлено, что они являются эффективными адсорбентами вредных веществ ГССА, в частности монооксида углерода и оксидов азота, и могут использоваться в качестве фильтрующих материалов в ФВА. На основе природного цеолита-клиноптилолита разработаны новые фильтрующие материалы – кобальт- и кадмий-замещенные формы клиноптилолита с повышенной емкостью и сроком службы по отношению к монооксиду углерода. Предложен способ получения зернистого фильтрующего материала из природного клиноптилолита.

Результаты исследований фильтрующих характеристик клиноптилолита позволяют его рекомендовать в качестве одноступен-

чатого фильтрующего материала для очистки воздуха как от ТССА, так и от ГССА. Обеспечить высокую эффективность улавливания СА и низкое сопротивление фильтра можно путем выбора его оптимальных размеров – отношения площади к толщине слоя, размера зерен и скорости очищаемого потока воздуха.

3. Разработана компьютерная информационно-поисковая система гигиенических характеристик СА «ECO-WELD», основанная на специально предложенной новой структуре и схеме функционирования, которые позволяют получать информацию о гигиенических показателях (химическом составе, уровнях выделений СА и величине воздухообмена вентиляции) при применении всех известных в Украине и СНГ сварочных материалов, проводить сравнительную гигиеническую оценку сварочных материалов и способов сварки, оценить влияние на характеристики СА технологических параметров процесса сварки, а также давать рекомендации по выбору средств вентиляции и индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков в зависимости от способа сварки и марки сварочного материала. Система состоит из трех отдельных баз данных: для покрытых электродов, сварочных проволок для механизированной сварки и флюсов в комбинации с соответствующими проволоками.

Глава 5

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ СВАРЩИКОВ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Из обзора литературы (см. главу 1) следует, что выпускаемые ранее ФВА и другие местные вытяжные устройства малоэффективны, не позволяют их применять при всех способах сварки и не могут использоваться в различных производственных условиях. Для выбора необходимой производительности и других технических характеристик этих средств местной вентиляции необходимо было усовершенствовать основы их расчета и на основе этого разработать новые высокоэффективные средства местной вентиляции. Для тех условий сварки, где применение этих средств вентиляции затруднительно или вовсе невозможно, необходимо было разработать новые высокоэффективные СИЗОД.

В данной главе приведены предложенные основы расчета местной вытяжной вентиляции и описание комплекса средств защиты органов дыхания и окружающей среды нового поколения.

5.1. Расчет местной вытяжной вентиляции

Основной задачей расчета местных вытяжных устройств для рабочих мест сварщиков, в том числе и к шланговым держателям для сварочных полуавтоматов, является определение расхода удаляемого от источника образования воздуха, обеспечивающего высокую (не менее 75 %) эффективность согласно требований [118]. При этом основным необходимым требованием к воздуху рабочей зоны (согласно ГОСТ 12.1.005–88) является снижение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны до предельно допустимых концентраций (ПДК). Для этого в зону сварки необходимо подать (и соответственно удалить) определенное количество чистого воздуха, которое рассчитывается (как принято в отечественной практике) по соотношению [154]

$$Q_m = \frac{G_i}{C_{\text{ПДК}}}, \text{ м}^3/\text{кг}, \quad (5.1)$$

где G_i – удельное выделение наиболее токсического компонента СА, мг/кг; $C_{\text{ПДК}}$ – его предельно допустимая концентрация, мг/м³. Расход воздуха Q_m выражается в м³ на килограмм сварочного материала (электродов, проволоки).

С учетом коэффициента улавливания местного вытяжного устройства и концентрации вредных веществ в приточном воздухе, а также,

применив в данной формуле вместо удельного выделения (как принято международным институтом сварки) более корректный показатель уровня выделений СА – интенсивность выделений, требуемый расход подаваемого и удаляемого воздуха Q_t , выраженный в м³ за час, можно определить по соотношению

$$Q_t = \frac{V_i \cdot (1 - \varepsilon)}{C_{\text{ПДК}} - C_{\text{ин}}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.2)$$

где V_i – интенсивность выделения наиболее токсичного компонента СА, мг/ч (как правило, вещества 1 и 2-го классов опасности согласно ГОСТ 12.1.005–88); $C_{\text{ин}}$ – концентрация вредного вещества в приточном воздухе, мг/м³; ε – коэффициент улавливания СА местным вытяжным устройством. Таким образом, если известен ε , то $(1 - \varepsilon)$ соответственно характеризует остальную часть воздуха, которая должна удаляться из рабочей зоны с помощью общеобменных вытяжных устройств в системах комбинированной вентиляции для полного разбавления вредных веществ до ПДК.

Для того, чтобы обеспечить эффективное удаление СА необходимо учитывать, что он зависит от геометрических характеристик отсоса (формы, условий входа воздуха во всасывающее отверстие), условий подтекания воздуха к отсосу (размеров и формы ограничивающих поверхностей) и расстояния отсоса до источника СА (сварочной дуги), а также от источника выделения вредных веществ (способа сварки, вида сварочного оборудования и марки сварочного материала). Кроме того, необходимо учитывать, что при сварочных процессах практически всегда осуществляется взаимодействие местного отсоса и конвективных потоков воздуха со сварочным аэрозолем со струей защитного газа. Для эффективного улавливания СА достаточно обеспечить в определенной расчетной точке требуемые скорости движения удаляемого воздуха всасывающим отверстием (кинетические характеристики). Таким образом, расчет местного отсоса сводится к определению скоростей в спектре всасывания, выбору расчетной точки (расстояния эффективного улавливания СА) и установлению в ней требуемой скорости [210]. Естественно эффективность улавливания СА повышается с увеличением скорости движения удаляемого воздуха. Выбор величины скорости в расчетной точке зависит от мощности сварочной дуги, наличия газовой защиты, ряда других факторов и колеблется, в зависимости от способа сварки, в пределах 0,2...0,5 м/с. Вместе с тем еще накладывается и требование санитарных правил [118], согласно которым скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выде-

ления вредных веществ, должна быть: при ручной сварке – не менее 0,5 м/с; механической в углекислом газе – не более 0,5 м/с. При этом считается допустимым, если эффективность локализации вредных веществ будет составлять не более 75 %. Остальное количество СА (25 %) должно разбавляться до ПДК с помощью общеобменной вентиляции.

Цель настоящего раздела – теоретические исследования зависимостей концентрации вредных веществ СА в зоне дыхания сварщика от расхода удаляемого местным вытяжным устройством воздуха, от расстояния до заборного сопла и выработка на этой основе оптимальных параметров для повышения эффективности средств местной вентиляции.

Расход воздуха вычисляется по формуле [210]

$$Q_{\text{им}} = 3600F_0 \frac{v_n}{v} \cdot \frac{1}{\Psi_{\text{п}} \Psi_{\text{в}}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.3)$$

где F_0 – площадь всасывающего отверстия отсоса, м^2 ; v_n – нормируемая скорость в расчетной точке, м/с; v – отношение скоростей в расчетной точке к скорости во всасывающем отверстии; $\Psi_{\text{п}}$ – коэффициент влияния ограничивающих поверхностей на количество удаляемого воздуха; $\Psi_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий влияние условий входа воздуха в отсос [211].

Для кольцевого вытяжного отверстия более удобным является расчет расхода воздуха по выражению [83]

$$Q_{\text{им}} = 4.1x^2 \frac{v_x}{K_x \Psi} \cdot 10^4, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.4)$$

где x – расстояние от всасывающего отверстия до рассматриваемой точки, м; v_x – заданная скорость в точке сварки, м/с; K_x – коэффициент, учитывающий влияние расстояния от всасывающего отверстия до рассматриваемой точки; Ψ – коэффициент, учитывающий влияние ограничивающей плоскости на скорость в спектре всасывания.

Для определения взаимозависимых параметров из формулы (5.4) приравняем ее с формулой (5.2) необходимым условием для обеспечения требуемого воздухообмена

$$\frac{V_i \cdot (1 - \varepsilon)}{C_{\text{ПДК}} - C_{\text{ин}}} = 4.1x^2 \frac{v_x}{K_x \Psi} \cdot 10^4. \quad (5.5)$$

При этом, если вместо $C_{\text{ПДК}}$ подставить реальную концентрацию вредного вещества в воздухе C_i и принять, что $C_{\text{ио}} = 0$ (как это практически и должно быть, поскольку приточный воздух очищается от СА), то можно записать

$$C_i = V_i \cdot (1 - \varepsilon) \left[4.1 \cdot 10^4 x^2 \frac{v_x}{K_x \Psi} \right]^{-1}. \quad (5.6)$$

Учитывая, что согласно санитарных требований [118] ε должна равняться 0,75, получаем

$$C_i = 0.25 V_i \left[4.1 \cdot 10^4 x^2 \frac{v_x}{K_x \Psi} \right]^{-1}, \quad (5.7)$$

откуда при известных V_i , v_x , K_x и Ψ можно вычислить C_i . Значение v_x задается согласно требований [118], K_x и Ψ определяется из методических указаний [83], а V_i определяется экспериментально или берется из банка данных гигиенических характеристик сварочных материалов [204]. Таким образом, выражение (5.7) позволяет вычислить концентрацию вредного вещества в любой точке зоны дыхания сварщика с учетом интенсивности образования этого вещества.

Вместе с тем из выражения (5.2) можно вычислить концентрацию вредного вещества при заданном расходе удаляемого воздуха:

$$C_i = \frac{V_i \cdot (1 - \varepsilon)}{Q_{\text{м}}}, \text{ мг/м}^3. \quad (5.8)$$

Расчеты и экспериментальные исследования показали, что основным необходимым условием для обеспечения эффективного улавливания СА местным вытяжным устройством является то, что расход воздуха, удаляемого воздуховодами диаметром 125...160 мм должен составлять 600...1000 м³/ч. При этом воздухоприемное устройство должно располагаться на расстоянии 25...50 см от источника выделения СА. Как показали расчеты это справедливо только для СА, содержащих марганец, который выделяется с интенсивностью не более 1,2 г/ч. Для аэрозолей, в составе которых имеется марганец и фториды, выделяющиеся с интенсивностью 1,38...1,62 г/ч соответственно (см. табл. 5.1), требуются более эффективные местные вытяжные устройства производительностью 1500...2000 м³/ч, а для замкнутых объемов небольших размеров – 2000...2500 м³/ч. Коэффициент улавливания СА ε такими устройствами, вычисленный из формулы (5.2), должен составлять не менее 0,81 для СА, содержащих фториды, и не менее 0,78 – для аэрозолей с марганцем [212].

Для установления концентраций вредных веществ в зоне дыхания сварщика в зависимости от расхода удаляемого воздуха (при требуемом ε) и расстояния от улавливающего отверстия до заданной точки бы-

ли проведены соответствующие вычисления этих концентраций по формулам (5.8) и (5.7) для ручной дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей (наиболее распространенный класс сталей) электродами с рутиловым покрытием (типичный представитель—АНО-ТМ), обеспечивающим минимальное выделение вредных веществ, и фтористо-кальциевым покрытием (УОНИ-13/45), характеризующимся наиболее высоким уровнем выделения СА. В данном случае определяющими воздухообмен компонентами были марганец и фториды [204]. Результаты расчетов показали, что концентрации вредных веществ на входе в улавливающее отверстие и соответственно в зоне дыхания сварщика, к которой это отверстие должно быть максимально приближено, снижаются с увеличением расхода удаляемого воздуха (рис. 5.1). При этом существуют определенные значения расхода воздуха, при которых концентрация вредного вещества равняется ПДК и, начиная с которых, увеличение расхода воздуха снижает содержание этих веществ в воздухе рабочей зоны ниже ПДК (рис. 5.1).

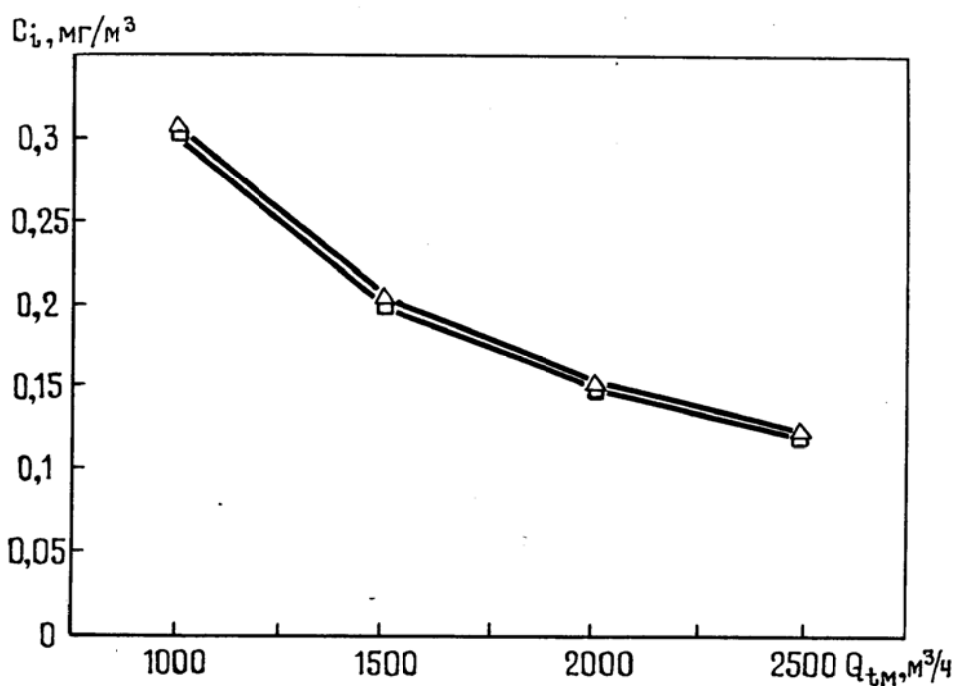


Рис. 5.1. Зависимость содержания ведущих токсичных веществ на входе в улавливающее отверстие от расхода удаляемого воздуха:

□ – марганца при ручной сварке электродами АНО-ТМ;

△ – растворимых фторидов при сварке электродами УОНИ-13/45

Таким образом, для требуемого улавливания СА, образующихся как при сварке электродами с рутиловым покрытием, так и фтористо-кальциевым необходимо обеспечить удаление воздуха местным отсосом

с расходом не менее 1500 м³/ч (для изучения выбран диапазон 1000...2500 м³/ч).

С увеличением расстояния от улавливающего отверстия содержание вредных веществ также снижаются (рис. 5.2), т. е. выделяющийся СА оказывается максимально сконцентрированным в области его движения из зоны сварочной дуги к улавливающему отверстию местного отсоса. Таким образом, чем дальше от этой зоны находится сварщик, тем меньше он подвержен вредному влиянию СА.

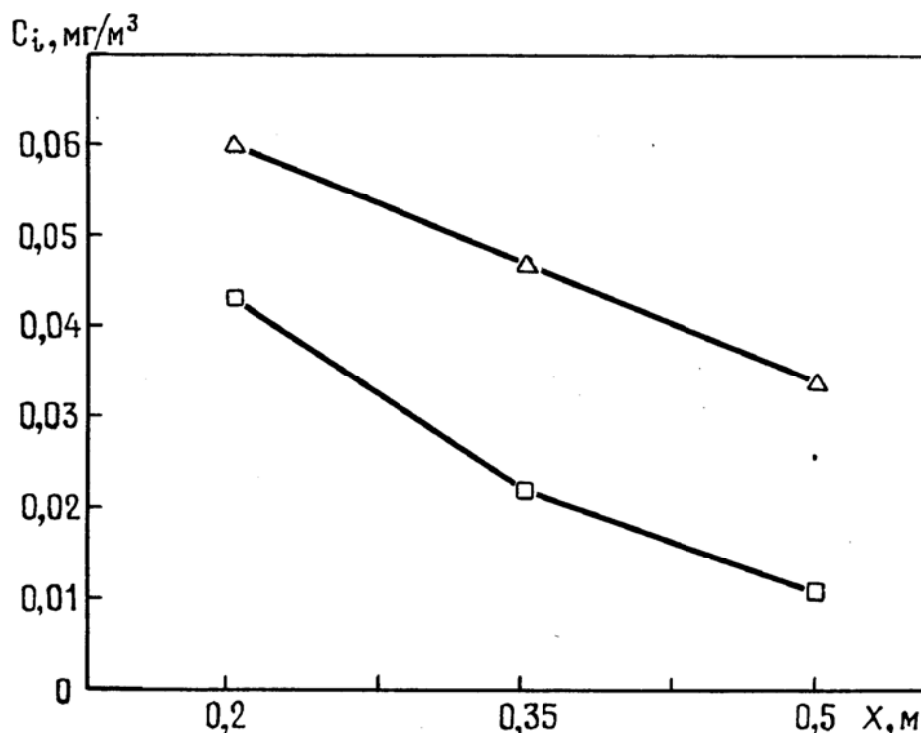


Рис. 5.2. Зависимость содержания ведущих токсичных веществ в воздухе рабочей зоны от расстояния до улавливающего отверстия:
 □ – марганца при сварке электродами АНО-ТМ;
 Δ – растворимых фторидов при сварке электродами УОНИ-13/45

Математическая обработка функций $C_i = f(Q_{тм})$, представленных на рис. 5.1, позволила установить, что они хорошо описываются обратно пропорциональной зависимостью

$$C_i = k / Q_t, \quad (5.9)$$

где k – коэффициент пропорциональности, учитывающий влияние расхода воздуха на C_i .

Установлено, что для электродов с рутиловым покрытием эта зависимость имеет вид

$$C_i = 304 / Q_t, \quad (5.10)$$

а для электродов с фтористо-кальциевым покрытием –

$$C_i = 307,8 / Q_i. \quad (5.11)$$

Функции $C_i = f(x)$, приведенные на рис. 5.2, можно представить в виде прямо пропорциональной зависимости

$$C_i = C_{i0} - n x, \quad (5.12)$$

где C_{i0} – постоянная уравнения (нулевое значение концентрации вредного вещества), n – коэффициент, учитывающий влияние расстояния от улавливающего отверстия на C_i .

Для электродов с рутиловым покрытием эта зависимость имеет вид

$$C_i = 0,047 - 0,072 x, \quad (5.13)$$

а для электродов с фтористо-кальциевым покрытием –

$$C_i = 0,066 - 0,035 x. \quad (5.14)$$

Поскольку с увеличением расстояния от улавливающего отверстия концентрация вредного вещества C_i снижается ее можно представить как $dC_i/dx = f(x)$ т. е. ΔC_i . Тогда C_i определяется по формуле

$$C_i = C_{iH} - \Delta C_i, \quad (5.15)$$

где C_{iH} – концентрация вредного вещества на входе в улавливающее отверстие (в начальной точке). Подставив в нее выражение (5.9), получим

$$C_i = k / Q_{iM} - \Delta C_i. \quad (5.16)$$

С учетом того, что зависимость ΔC_i от x представляет собой практически линейную зависимость (рис. 5.3) можно записать

$$C_i = k / Q_{iM} - (C_{i0} + m x), \quad (5.17)$$

где C_{i0} – постоянная уравнения, m – коэффициент пропорциональности, учитывающий влияние расстояния на C_i . Тогда можно записать:

для электродов с рутиловым покрытием

$$C_i = 304 / Q_{iM} - (0,18 + 0,006 x); \quad (5.18)$$

с фтористо-кальциевым покрытием

$$C_i = 307,8 / Q_{iM} - (0,145 + 0,006 x). \quad (5.19)$$

Таким образом, данные уравнения позволяют вычислить концентрации вредных веществ в различных точках рабочей зоны при применении местных вытяжных устройств производительностью от 1000

до 2500 м³/ч, что необходимо для выбора оптимальных параметров производительности этих устройств, их расположения, а также рабочего места сварщика с минимальным содержанием СА.

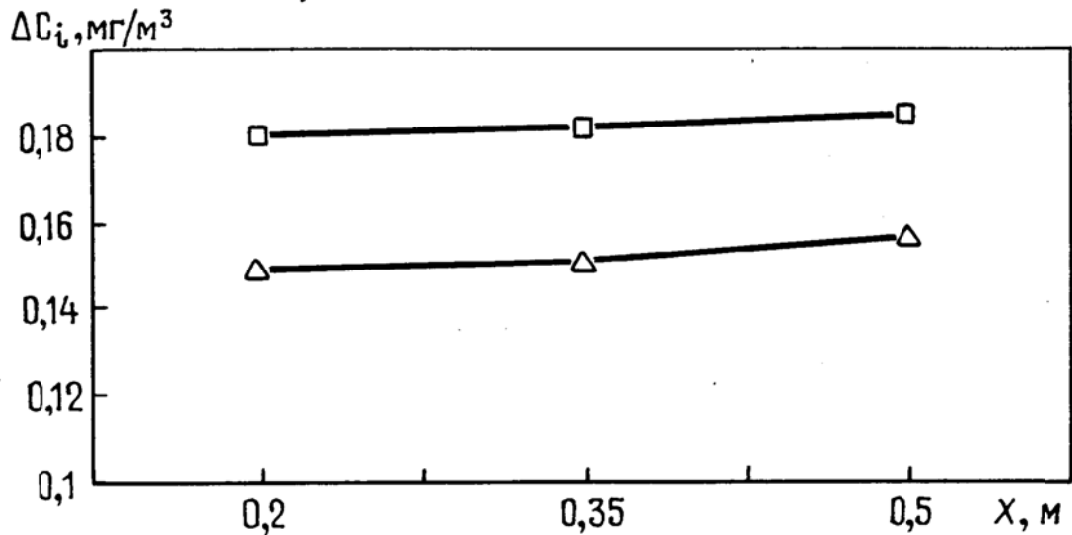


Рис. 5.3. Влияние расстояния до улавливающего отверстия на изменение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны:

□ – марганца при сварке электродами АНО-ТМ;

△ – растворимых фторидов при сварке электродами УОНИ-13/45

Применяемые до настоящего времени расчеты [83, 209] с использованием формулы (5.4) основаны только на геометрических и кинетических характеристиках вытяжных устройств местной вентиляции и не учитывают химического состава выделяющихся СА. Как видно из результатов настоящей работы, этот фактор также оказывает определенное влияние на требуемый расход удаляемого воздуха и должен учитываться в расчетах. Поэтому более точные расчеты можно выполнять по предложенной в настоящей работе системе [212].

Эти расчеты использованы при разработке фильтровентиляционного агрегата «Темп-2000» производительностью 1500...2000 м³/ч [213], вентиляционного агрегата «Шмель-2500» производительностью 2500 м³/ч [214] и других средств местной вентиляции [215, 216].

Расчетные данные (табл. 5.1) также показывают преимущества местной вентиляции по сравнению с общеобменной. Так, для снижения до ПДК содержания вредных веществ, образующихся при сварке указанными электродами, с помощью общеобменной вентиляции требуется удалять в четыре раза больше воздуха, чем при применении комбинированной вентиляции, т. е. местной ($\epsilon = 0,75$) и общеобменной одновременно.

Таблица 5.1

Содержание вредных веществ в зоне дыхания сварщика при применении местных вытяжных устройств различной производительности

Вид покрытия электродов	Максимальное значение V_i , г/ч	Q_i общеобменной вентиляции, м ³ /ч	Q_i при применении местной вытяжки, м ³ /ч ($\epsilon = 0,75$)	Заданный расход воздуха местной вытяжки $Q_{\text{мб}}$, м ³ /ч	ПДК _i , мг/м ³	C_i на входе в улавливающее отверстие, мг/м ³
Рутиловое	1,38 (марганец)	6900	1725	1000	0,2	0,304
				1500		0,200
				2000		0,152
				2500		0,121
Фтористо кальциевое	1,62 (растворимые фториды)	8100	2025	1000	0,2	0,308
				1500		0,205
				2000		0,154
				2500		0,123

Это позволяет соответственно снизить затраты на электроэнергию общеобменной вентиляции и на обогрев приточного воздуха в холодный период года. Если в качестве местного отсоса применять фильтровентиляционные агрегаты и возвращать очищенный воздух обратно в производственное помещение, то это также даст дополнительный экономический эффект за счет экономии энергии на вентилирование и обогрев воздуха. При этом окупаемость фильтровентиляционного агрегата типа «Темп» составляет около 9 месяцев [217].

5.2. Фильтровентиляционный агрегат «Темп-2000»

Существующие в настоящее время ФВА как отечественные, так и зарубежные имеют определенный недостаток, заключающийся в необходимости периодической очистки и замены применяемых в них фильтрующих материалов, что затрудняет работу сварщиков. Именно этот недостаток является одним из факторов, сдерживающих широкое применение ФВА в сварочном производстве России и стран СНГ. Кроме того, довольно высокая стоимость фильтрующих материалов (в основном импортных), небольшой срок их эксплуатации и необходимость регенерации вызывает дополнительные затраты в процессе эксплуатации. Известные украинские ФВА «Киев» производительностью 1000 м³/ч в настоящее время не выпускаются, аналогичные ФВА российской фир-

мы «СовПлим» и других зарубежных фирм имеют высокую стоимость. Поэтому проблема создания для сварщиков недорогой и удобной в пользовании конструкции ФВА с фильтром отечественного производства с повышенным сроком использования остается актуальной.

При улавливании СА наиболее эффективны одноразовые фильтры: бумажные, тканевые, из нетканых материалов и др. [199]. Высокую эффективность, но небольшой срок службы имеет известный фильтр типа ФПП, в котором использована ткань И.В. Петрянова [126]. Менее эффективны синтетические волокнистые материалы (лавсан, капрон, нитрон, ПВХ и др.), которые можно использовать для фильтрации воздуха от ТССА [106], и еще менее эффективны, но практически не требующие замены – электростатические фильтры [88, 103].

В ИЭС им. Е.О. Патона совместно с МНТЦ «Темп» разработана новая конструкция передвижного ФВА «Темп-2000» [213] с рукавным надувным фильтром и использованием метода ротационного осаждения твердых частиц СА. Личный вклад Левченко А.Г. заключался в расчете производительности ФВА (на основе предложенной теории [212]), выборе оптимальной конструкции ФВА нового поколения, применяемых в нем фильтрующих материалов отечественного производства и проведении лабораторных и производственных испытаний. Данная конструкция обеспечивает удобную очистку фильтра и довольно длительный срок его службы за счет сочетания метода ротационного осаждения твердых частиц аэрозоля с механической фильтрацией на тканевом фильтре. На основе этого ФВА также разработаны вентиляционный агрегат «Темп-2000М», который может устанавливаться на полу или крепиться на стене и стационарная настенная фильтровентиляционная система на различное количество рабочих мест [199].

Схема ФВА «Темп-2000» приведена на рис. 5.4, а его применение при сварке – на рис. 5.5. Он состоит из вентиляционного блока, тканевого рукавного фильтра, бункера для сбора осажденной ТССА, передвижной тележки и воздуховода с фиксирующим устройством.

Вентиляционный блок состоит из корпуса специальной конструкции, электродвигателя и радиального вентилятора.

Фильтр представляет собой цилиндрическую емкость (рукав) из ткани. В зависимости от назначения ФВА может укомплектовываться фильтрующими элементами из тканей различных марок. В одних случаях только для очистки воздуха от ТССА, в других – от ТССА и некоторых газообразных компонентов СА (фтористого водорода, тетрафтористого кремния, оксидов азота и озона). В качестве фильтрующего элемента для улавливания ТССА можно использовать ткань ФПП, технические фильтровальные ткани, лавсан и др. Для очистки воздуха

от газов используются специальные сорбционно-фильтрующие ионообменные волокнистые материалы в виде второй ступени (слоя) комбинированного фильтра. Фильтрующий элемент крепится к вентиляционному агрегату хомутом, позволяющим быстро производить его замену.

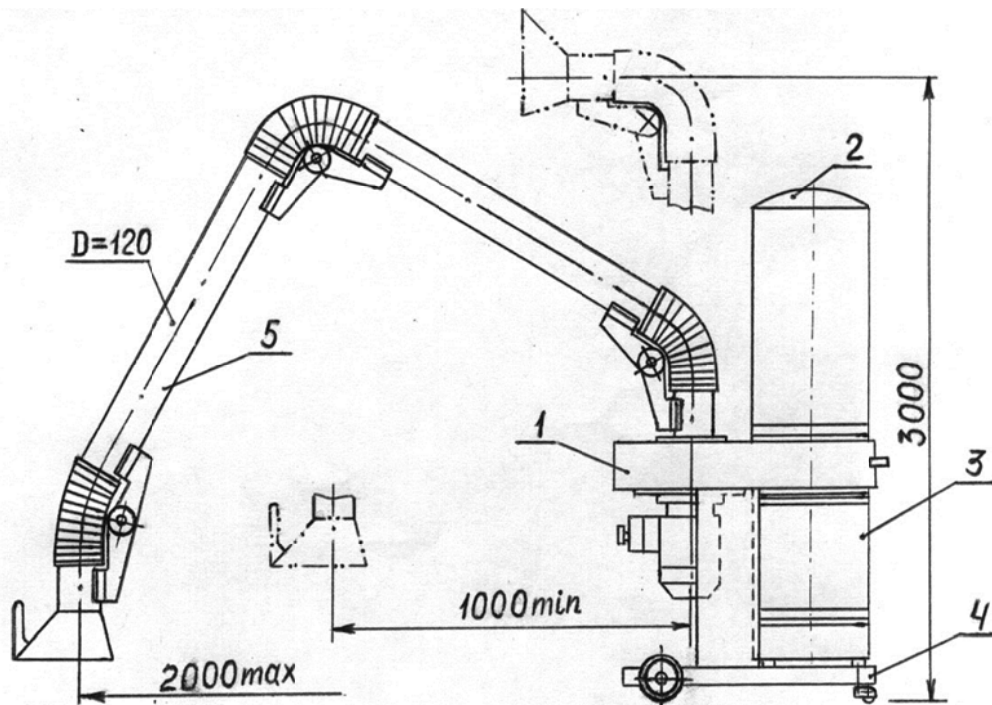


Рис. 5.4. Общий вид ФВА «Темп-2000»:

1 – вентиляционный блок; 2 – фильтр;
3 – бункер для сбора ТССА; 4 – тележка; 5 – воздуховод

Бункер для сбора осажденной ТССА представляет собой цилиндрическую емкость, нижняя часть которой состоит из металла, а верхняя – из тканевого фильтрующего материала, что позволяет увеличить площадь рабочей поверхности фильтрующего элемента и соответственно срок его службы.

Воздуховод для улавливания загрязненного воздуха состоит из приемной воронки, двух секций металлических труб диаметром 120 мм, соединенных между собой на изгибе гибким гофрированным шлангом и подвижных шарнирных устройств для фиксации воздуховода в различных положениях.

Корпус ФВА располагается на тележке с колесами для передвижения агрегата при изменении места сварки, что необходимо при сварке крупногабаритных конструкций.

При работе агрегата на входе в воздуховод создается разрежение и выделяющийся СА улавливается воздухоприемной воронкой, установленной на минимальном расстоянии от источника его образования.

Специальная конструкция вентиляционного агрегата позволяет одновременно с перемещением загрязненного аэрозолем воздуха очищать его от крупных (более 5 мкм) частиц ТССА. В ней загрязненный воздух поступает во всасывающее отверстие воздуховода и проходит через межлопастные каналы всасывающего рабочего колеса. Частицы ТССА под действием центробежных сил прижимаются к поверхности колеса и проскакивают в полость между корпусом и рабочим колесом, попадая в кольцеобразный пылеприемник и далее в бункер для пыли. Более мелкие частицы ТССА (менее 5 мкм) с воздушным потоком поступают в верхнюю часть агрегата на рукавный тканевый фильтр, где происходит очистка воздуха и выброс в атмосферу. Применяемый в ФВА вентилятор с электродвигателем мощностью 1,1 кВт дает возможность удалять воздух в объеме 1500 м³/ч при расположении воздухоприемной воронки на расстоянии, не мешающем работе сварщика, что позволяет обеспечить практически полное улавливание СА.

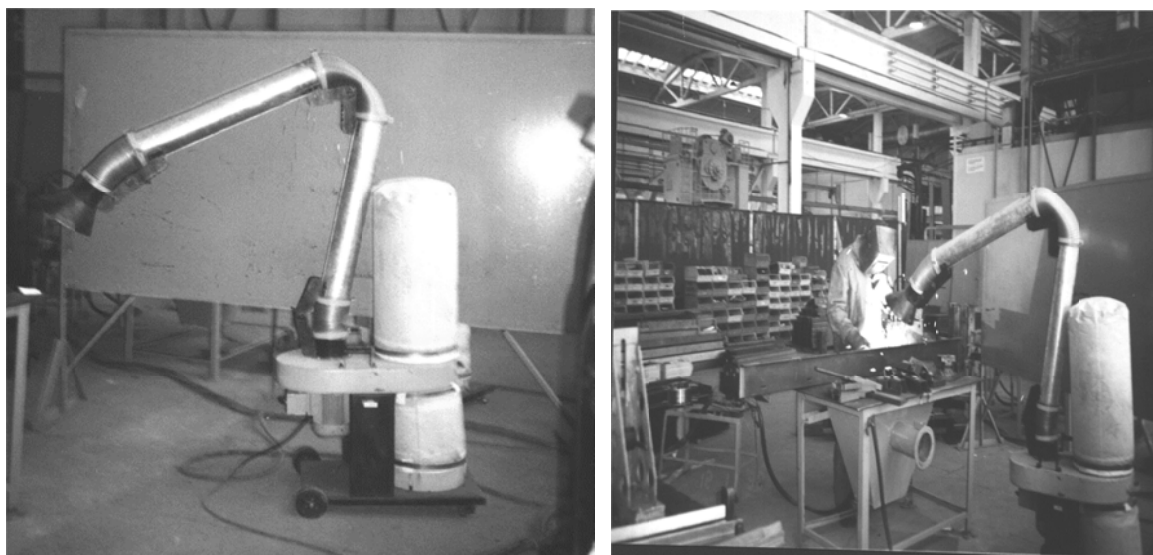


Рис. 5.5. Фильтровентиляционный агрегат «Темп-2000»

Регенерация (очистка) фильтрующего элемента от осажденной на нем пыли осуществляется автоматически в момент включения и выключения электрического питания агрегата. При этом резко снижается давление в рукавном фильтре, что приводит к его опусканию и сбрасыванию осажденной пыли в бункер. Противогазовый сорбционно-фильтрующий элемент не регенируется и требует его периодической замены вместе с противопылевым фильтрующим элементом после того, когда заметно снижается эффективность очистки воздуха.

Преимущество ФВА данной конструкции заключается в том, что применяемое в ней предварительное ротационное осаждение крупных

частиц ТССА частично исключает забивание мельчайших пор фильтра крупными частицами, резко снижающее фильтрационную способность (за счет повышения аэродинамического сопротивления). Поэтому емкость и срок службы рукавного фильтра повышается. Кроме того, мелкие частицы ТССА укрупняются еще в вентиляционном блоке за счет их коагуляции при прохождении зоны ротационного осаждения, что также уменьшает количество ТССА, поступающей на рукавный фильтр.

В комплект поставки входят запасные фильтры, обеспечивающие работу ФВА в течение года. Изготовитель по отдельным заказам обеспечивает поставленный им ФВА сменными фильтрами в потребляемых количествах.

Техническая характеристика ФВА «Темп-2000»

Производительность удаления воздуха, м ³ /ч	1500
Степень очистки воздуха (фильтр ФПП-15-1,5), %	не менее 99
Разрежение на входе в воздуховод, Па	1500
Мощность электродвигателя, кВт	1,1
Напряжение питания, В (трехфазное)	380
Площадь рабочей поверхности фильтрующего элемента, м ²	0,8
Срок службы фильтра (ФПП-15-1,5), мес,	1
Габаритные размеры (без воздуховода), мм	1000×750×500
Масса, кг	55

Испытания ФВА со штатными фильтрами ФПП-15-1,5 показали, что данные фильтры обеспечивают степень очистки воздуха не менее 99 %. При использовании в качестве фильтрующего элемента опытной технической фильтровальной ткани украинского производства степень очистки воздуха составляла 90 %. При этом срок службы фильтра увеличился примерно до 2 месяцев [213].

Особенностью вентиляционного агрегата «Темп-2000М» [215] является его универсальное крепление, позволяющее его устанавливать как на стационарных, так и на нестационарных сварочных постах на полу или на стене (рис. 5.6). Он имеет выходной патрубок для подключения к воздуховоду, отводящему выбрасываемый воздух за пределы цеха или в систему очистки.

На основе ФВА «Темп-2000» разработана стационарная настенная фильтровентиляционная система [199] на различное (по требованию заказчика) количество рабочих мест (рис. 5.7). Воздуховоды этой системы установлен в нижнем положении и имеет специальное фиксирующее шарнирное устройство, позволяющее его устанавливать в требуемом для полного улавливания СА положении.

Результаты производственных испытаний показали, что ФВА «Темп-2000» может применяться при сварке в цеховых условиях: полуавтоматической в защитных газах, ручной дуговой покрытыми электродами, особенно с фтористо-кальциевым покрытием, высоколегированных сталей, чугуна и цветных металлов.

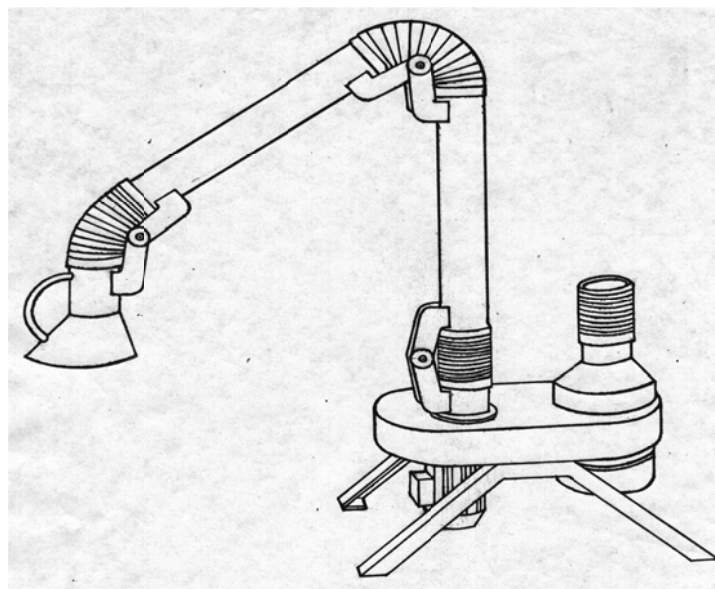


Рис. 5.6. Вентиляционный агрегат «Темп-2000М»



Рис. 5.7. Стационарная настенная фильтровентиляционная система на основе ФВА «Темп-2000» с нижним расположением воздуховодов

Окупаемость затрат за счет двух-, трехкратного снижения объемов вентиляции и связанной с этим экономией электроэнергии и тепла в зимний период составляет 5...12 месяцев в зависимости от вида сварки, применяемых материалов и интенсивности сварочных работ.

Серийное производство ФВА «Темп-2000» налажено в МНТЦ «Темп». Изготовление и монтаж стационарных фильтровентиляционных систем на различное количество сварочных постов осуществляется по заявкам предприятий.

1.3. Переносной вентиляционный агрегат «Шмель-2500»

При сварочных работах в цехах, оборудованных общеобменной вентиляцией, концентрации вредных веществ СА в воздухе рабочей зоны обычно превышают ПДК. При сварке в замкнутых объемах, особенно в трюмах судов, цистернах и других стесненных условиях, где невозможно применение общеобменной или местной вентиляции, содержание вредных веществ значительно выше. Поэтому при таких условиях сварки необходимо применять вентиляционные агрегаты с пылегазоприемным устройством, устанавливаемом непосредственно на минимальном расстоянии от источника образования СА. При сварке на нестационарных местах пылегазоприемник должен иметь устройство фиксации на свариваемой конструкции, позволяющее легко перемещать и закреплять его.

Следует учесть, что во время горения сварочной дуги образуется факел (тепловой поток), поднимающий конвективными потоками СА вверх. В этом случае целесообразно всасывающее сопло пылегазоприемника направлять навстречу потоку СА. В случаях, когда сварщик работает, склонившись над дугой, верхние отсосы, расположенные над головой сварщика, мало эффективны, так как загрязненный воздух, поднимаясь вверх, проходит через зону дыхания сварщика (попадает под щиток) и лишь после этого улавливается местным отсосом. Лучше применять пылегазоприемники, отклоняющие поток загрязненного воздуха в сторону от головы рабочего.

Местные отсосы должны обеспечивать определенную производительность вентилирования воздуха. Если при установке пылегазоприемника диаметром 125...160 мм в верхнем положении (над сварочной дугой) требуется удалять с места сварки 600...1000 м³/ч воздуха [88], то для эффективного бокового отсоса через такие же пылегазоприемники, устанавливаемые на расстоянии не более 20 см от сварочной дуги, как показали расчеты [212] и экспериментальные исследования, требуется отсасывать 2500...3000 м³/ч.

В ИЭС им. Е.О. Патона совместно с СКТБ с ОП ФХИ им. А.В. Богатского НАН Украины по заказу АСК «Укрречфлот» разработан малогабаритный переносной вентиляционный агрегат (ПВА) «Шмель-2500» [214]. Проведены исследования по определению требуемых технических характеристик агрегата и выполнены его производственные испытания в трюмах судов «Укрречфлота».

Основное назначение ПВА «Шмель-2500» – вентиляция трюмов судов, цистерн и других стесненных замкнутых пространств при выполнении в них сварочных работ (рис. 5.8, а), а также подача свежего воздуха в помещения (рис. 5.8, б).

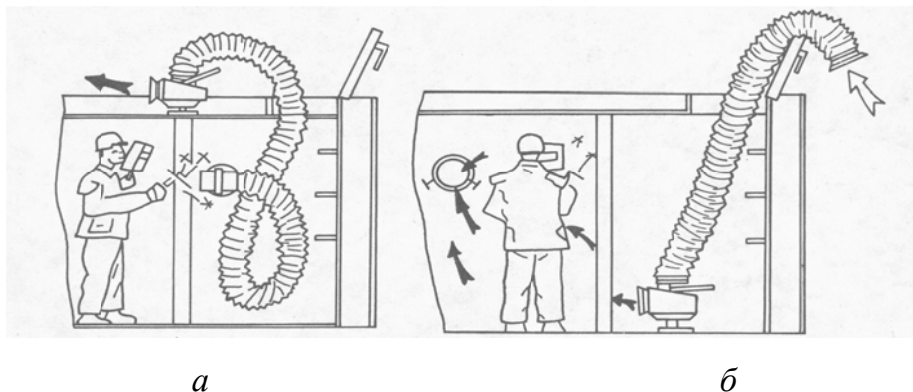


Рис. 5.8. Применение ПВА «Шмель-2500» при сварке в трюмах судов:
а – для удаления СА; б – для подачи чистого воздуха

В состав ПВА «Шмель-2500» (рис. 5.9) входят центробежный вентилятор (рис. 5.10), воздуховод с электромагнитным держателем (рис. 5.11), воздуховод из четырех секций с хомутами для их скрепления между собой, блок питания (рис. 5.12) и электрический кабель.

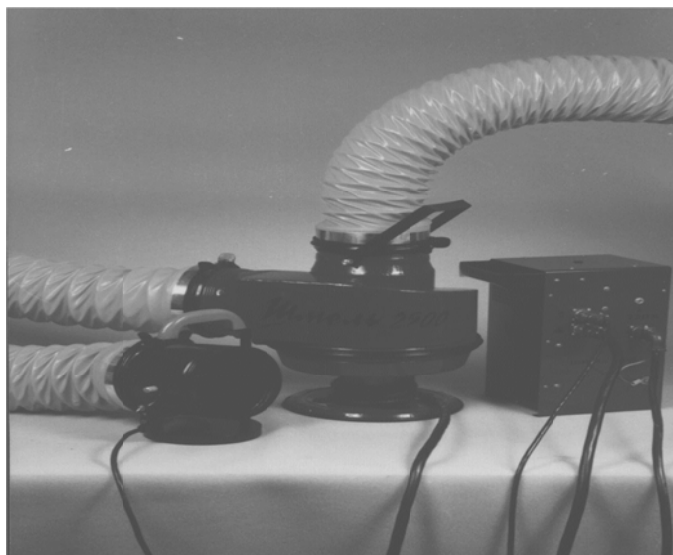


Рис. 5.9. ПВА «Шмель-2500»

Поскольку ПВА «Шмель-2500» в основном предназначен для работы в трюмах судов, относящихся к категории особо опасных помещений, то в его конструкции учтены также характерные для этих помещений требования электробезопасности. С этой целью вентилятор и электромагнитный держатель питаются от специального блока – вы-

прямителя постоянного тока напряжением 12 В. Блок питания работает от сети переменного тока напряжением 220 В и устанавливается за пределами зоны возможного поражения электрическим током.

Центробежный вентилятор агрегата представляет собой сварной корпус, выполненный в виде «улитки», в котором размещен электродвигатель (рис. 5.10). На валу последнего закреплено многолопастное рабочее колесо. Корпус имеет входной и выходной патрубки для подключения воздухопроводов, а также крышку, которая одновременно выполняет функции подставки и катушки для намотки кабеля электрического питания при транспортировке агрегата. На корпусе вентилятора имеется ручка для его переноски с шарнирным креплением.

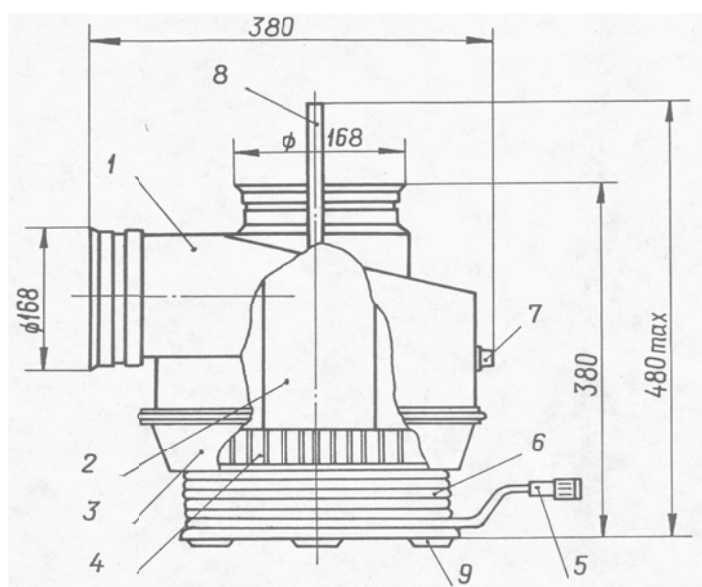


Рис. 5.10. Центробежный вентилятор агрегата «Шмель-2500»:

- 1 – корпус; 2 – электродвигатель; 3 – крышка; 4 – рабочее колесо;
 5, 7 – разъемы электрического питания; 6 – кабель;
 8 – ручка для переноски; 9 – амортизатор

Входной воздухопровод состоит из гибкого рукава, с одной стороны которого закреплен металлический патрубок с электромагнитным держателем, предназначенным для крепления его в зоне сварки, а с другой – фланец, позволяющий наращивать количество секций воздуховода для увеличения его длины (рис. 5.11). Секции воздуховода выполнены из термостойкой ткани и снабжены концевыми фланцами для стыковки с входным воздухопроводом и друг с другом.

Блок электрического питания (рис. 5.12) имеет металлический корпус, в котором смонтированы силовой трансформатор, выпрямитель, автомат включения питания и разъемы для подключения вентилятора и электромагнитного держателя.

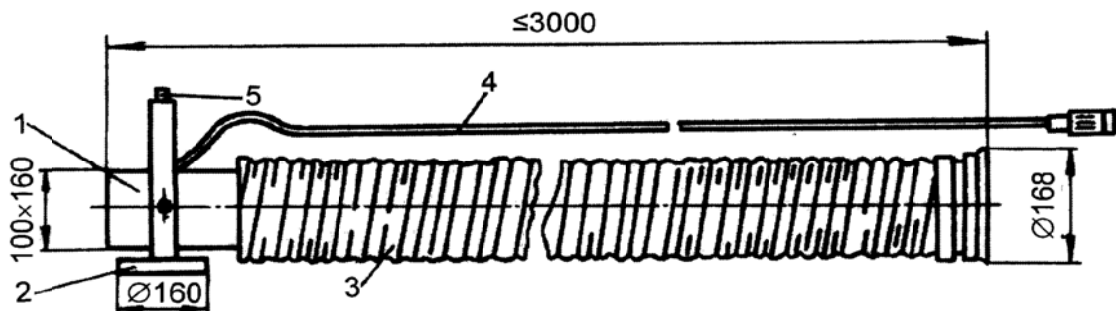


Рис. 5.11. Секция воздуховода с электромагнитным держателем ПВА «Шмель-2500»:
 1 – входной патрубок; 2 – электромагнитный держатель; 3 – гибкий рукав;
 4 – кабель питания; 5 – тумблер для включения электромагнитного держателя

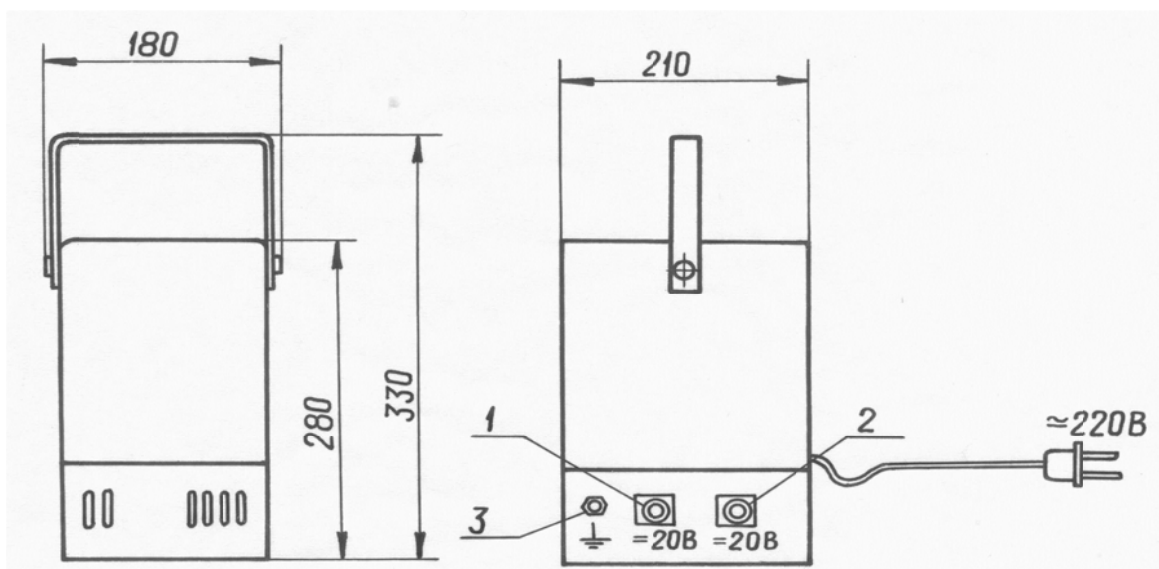


Рис. 5.12. Блок электрического питания:
 1, 2 – разъемы для подключения вентилятора и электромагнитного держателя, соответственно; 3 – болт заземления

Техническая характеристика ПВА «Шмель-2500»

Производительность удаления воздуха при длине воздуховода 20 м, м ³ /ч	2500
Разрежение на входе в воздуховод, Па.....	1500
Напряжение питания, В.....	220
Напряжение питания электродвигателя и электромагнитного держателя, В.....	12
Мощность электродвигателя, кВт.....	1,5
Потребляемая мощность электромагнитного держателя, Вт.....	200
Усилие на отрыв электромагнитного держателя, Н.....	не менее 200
Длина воздуховода, м.....	20

Масса составных частей агрегата, кг:

вентилятора	12
воздуховода с электромагнитным держателем	7
секции воздуховода	2
блока электрического питания	25

Габаритные размеры вентиляционного агрегата «Шмель-2500» показаны на рис. 5.10–5.12.

ПВА «Шмель-2500» выпускается серийно опытным производством СКТБ при ФХИ им. А.В. Богатского НАН Украины.

1.4. Фильтровентиляционный агрегат «Мрія-1М»

Существенным недостатком ФВА, выпускаемых в 80-х годах («Киев», «Бриз»), было то, что они очищали воздух только от ГССА и не улавливали токсичные компоненты ГССА (фтористые газы, монооксид углерода, оксиды азота и озон). Поэтому они не защищали сварщиков, использующих сварочные материалы, при применении которых эти газы образуются. Некоторые преимущества в этом отношении имеет ФВА типа «Мрія» [114]. Он очищает воздух от фтористого водорода и тетрафтористого кремния. Однако, как было задумано, этот агрегат должен был применяться в комплекте с горелкой со встроенным отсосом при сварке в углекислом газе и смесях с аргоном, когда образуется монооксид углерода, оксиды азота и озон. Для решения проблемы нейтрализации этих газов предложено усовершенствование ФВА «Мрія-1» путем дополнительной установки на него второй ступени фильтра из зернистого цеолита (см. главу 4) [198].

Принципиальная схема усовершенствованного ФВА «Мрія-1М» представлена на рис. 5.13. Он состоит из цилиндрического корпуса 1, крышки 2, в которой встроен побудитель тяги 3 воздушного типа (эжектор) и инерционного пылепоглотителя, совмещенного с бункером 4. Внутри корпуса размещен сильфонообразный сменный фильтрующий элемент из ткани ФПП (первая ступень фильтра) 5, который крепится верхним краем к крышке, а нижним – к воздухонепроницаемой тарелке 6, кинематически связанной с крышкой с помощью штока 7, на конце которого закреплена рукоятка 8. В верхней крышке фильтра с четырьмя отверстиями дополнительно установлены четыре патрона 9 с цеолитом, являющихся второй ступенью фильтра для улавливания газообразных компонентов СА.

Установка работает следующим образом. Аспирируемый эжектором загрязненный СА воздух через всасывающий патрубок 10 поступает в инерционный пылеуловитель, где осаждаются крупные частицы.

Далее, проходя через тканевый фильтр, воздух очищается от ГССА, поступает в патрон с цеолитом, где очищается от ГССА (CO , NO , NO_2 , O_3 , HF , SiF_4) и выбрасывается в атмосферу через выхлопной патрубок эжектора. Периодически регенерация тканевого фильтра от пыли осуществляется его встряхиванием путем сообщения штоку возвратно-поступательных движений. При этом скоагулировавшаяся пыль падает в бункер. Цеолитовые фильтры после их насыщения газами регенерируют прокалкой патронов в муфельной печи при температуре $400\text{ }^\circ\text{C}$ в течение трех часов. Вновь активированный таким образом цеолит годен к многократной повторной работе. Следует также отметить, что ввиду низкой стоимости и наличия больших запасов закарпатского клиноптилолита он может использоваться один раз.

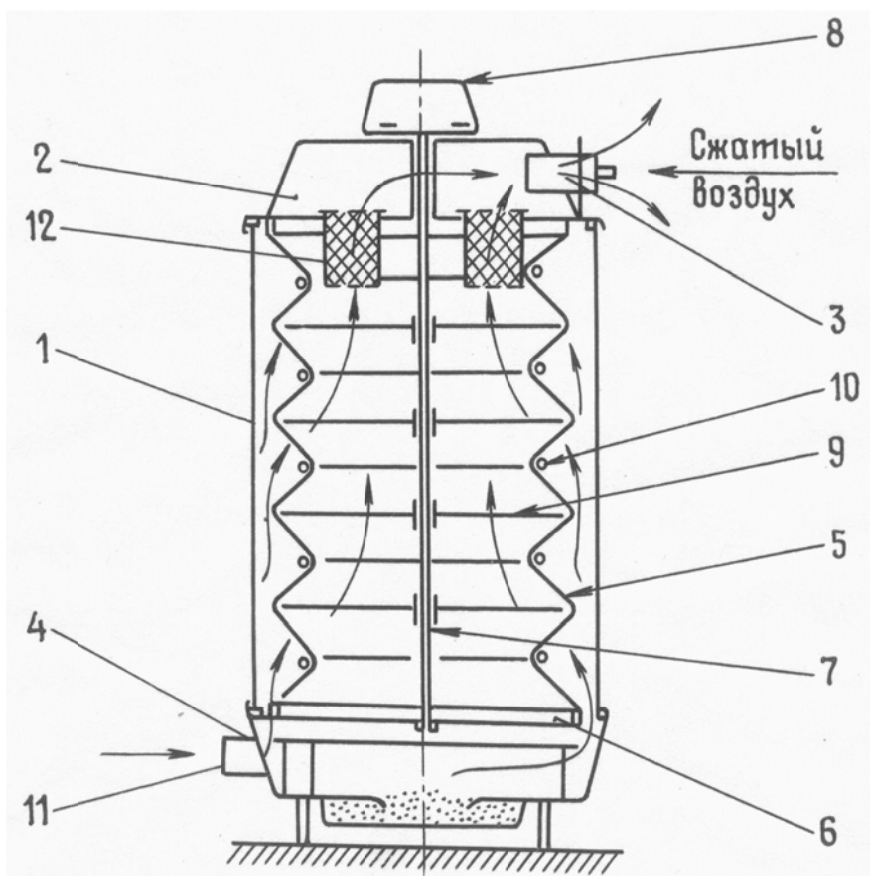


Рис. 5.13. Принципиальная схема усовершенствованного ФВА «Мрія-1М» (обозначения см. в тексте)

Срок действия цеолитового фильтра определяется его емкостью и регулируется изменением массы цеолита в патроне. При этом учитывается сменная потребность и обеспечение более низкого сопротивления фильтра прохождению воздуха, что зависит от количества цеолита и размера его зерен (см. главу 4).

Время работы фильтра рассчитывается по опытным данным следующим образом. Установлено, что время насыщения навески клиноптилолита массой 30 г при сварке составляет 5 минут. Применяемые в ФВА «Мрія-1М» патроны фильтра вмещают до 2 кг клиноптилолита, что соответственно обеспечивает непрерывную работу фильтра в течение 6 часов. При 8 часовой рабочей смене это более чем достаточно, учитывая остановки работы, связанные с подготовкой к сварке.

Литературные данные [218] подтверждают данные расчеты. Так, при адсорбционной емкости цеолита типа NaA равной 0,11 г монооксида углерода на 1 г, и при реальной интенсивности его образования при сварке в CO₂ составляющей 0,6 г/мин, время работы фильтра массой 2 кг составляет 6 ч 10 мин. Это мало отличается от времени, определенному опытным путем.

Техническая характеристика ФВА «Мрія-1М»

Производительность удаления воздуха, м ³ /ч	130
Разрежение на входе в воздуховод, кПа	не менее 20
Степень очистки воздуха от СА, %	не менее 98,0
Давление сжатого воздуха для эжектирования, кПа.....	не менее 300
Площадь поверхности 1-й ступени фильтра, м ²	0,6
Вес 2-й ступени фильтра, кг	2
Габариты, мм:	
высота.....	850
диаметр	470
Масса, кг	14

ФВА «Мрія-1М» может использоваться не только для удаления СА из зоны сварки, но и в качестве системы очистки и подачи воздуха в зону дыхания в комплекте со шланговой защитной маской сварщика [199].

1.5. Новые горелки с отсосом аэрозоля для сварочных полуавтоматов

Радикальным способом улучшения состояния воздушной среды является применение оборудования со встроенными и приспособленными отсосами, использование которых позволяет с минимальными энергозатратами улавливать СА непосредственно в зоне образования (на минимальном расстоянии от сварочной дуги).

Реализация этой идеи возможна при проектировании шланговых держателей (горелок) для механизированной дуговой сварки в среде защитных газов с улучшенными эргономическими (масса, изгибающий момент, действующий на кисть сварщика, зона обзора сварного шва) и технологическими (отсутствие газовой защиты) характеристиками.

Целью данного раздела работы является обзор эффективных горелок со встроенными местными отсосами аэрозоля для сварочных полуавтоматов, отвечающих перечисленным требованиям.

В настоящее время для локализации и удаления СА из зоны сварочной дуги разработано свыше 20 моделей горелок со встроенными отсосами [219], отличающихся конструктивными особенностями отсосов, взаимным расположением сопел для подачи защитного газа и отсосов, компоновкой шлангов и электрических коммуникаций. Как видно из рис. 5.14, образующийся СА, удаляется из зоны дуги через отсос 1, смещенный по отношению к срезу сопла 2, через которое подается защитный газ, и далее поступает в установку для очистки воздуха от СА, снабженную электрическим либо пневматическим побудителем тяги.

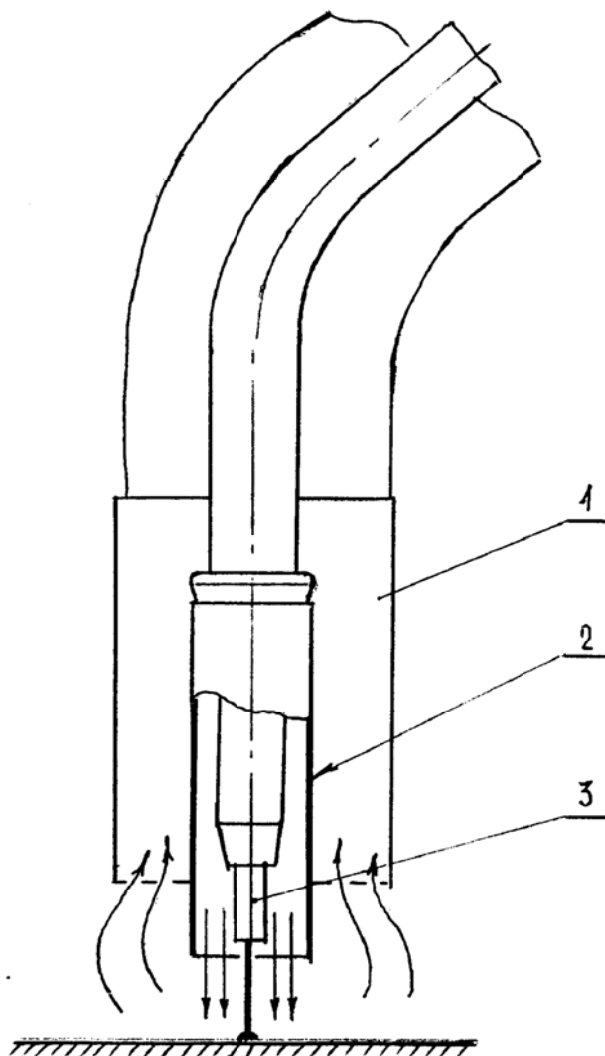


Рис. 5.14. Принципиальная схема локализации СА:
1 – патрубок отсоса; 2 – сопло защитного газа; 3 – токосъемный наконечник
(стрелками показано направление подачи защитного газа и удаляемого воздуха)

Первые горелки с отсосом были разработаны и внедрены в 1960-е годы за рубежом, отечественные – в начале 1970-х годов. Однако большинство публикаций по этому поводу [116, 117, 220–229] имеет информативно-рекламный характер. Лишь в работах [116, 225, 226] сделаны первые попытки теоретически обосновать возможности расчета отсосов приведены элементы теории расчета отсосов.

Проведенные в ИЭС им. Е.О. Патона по единой методике испытания более двух десятков отечественных и зарубежных образцов сварочных горелок с отсосами [219] показали, что все они имеют существенные недостатки. В частности, отечественные горелки с коаксиальным расположением отсоса не нашли широкого применения, поскольку из-за малой надежности не обеспечивают необходимую локализацию сварочного факела и коэффициент удаления СА из зоны сварочной дуги без нарушения газовой защиты сварных швов, создают повышенную нагрузку на руку сварщика, что приводит к ухудшению технологических показателей.

Наиболее распространенные схемы компоновки горелок с отсосом представлены на рис. 5.15. Конструктивные особенности и расположение отсосов относительно сопел, через которые подается защитный газ, обуславливаются следующими требованиями:

- при использовании отсоса необходимо обеспечить газовую защиту шва и максимальную локализацию факела СА;
- отсос не должен существенно уменьшать зону обзора сварного шва и увеличивать массу горелки.

Кроме того, с точки зрения эргономики существенным моментом является компоновка отсоса и воздухоотсасывающего шланга с конструктивными элементами горелки. На рис. 5.16 представлены основные варианты компоновки:

I – воздухоприемник устанавливается на сопло серийной горелки и к нему перед рукояткой подключается воздушный шланг, который крепится хомутами к сварочным коммуникациям (рис. 5.16, а);

II – воздухоприемник горелки насаживается на рукоятку горелки, имеющей полость, а воздушный шланг крепится к рукоятке, так что сварочные коммуникации располагаются вне шланга (рис. 5.16, б);

III – воздухоприемник присоединяется к рукоятке горелки, сварочные коммуникации располагаются внутри воздушного шланга (рис. 5.16, в).

Простота изготовления отсосов и монтажа горелок по варианту I (отсос с отводом) позволяет в минимальный срок оборудовать горелками с отсосом большое количество сварочных постов и быстро заменять вышедшие из строя отсосы и шланги. Аэродинамическое сопротивление при использовании шлангов с внутренним диаметром 20...25 мм и длиной 3 м составляет 13...15 кПа.

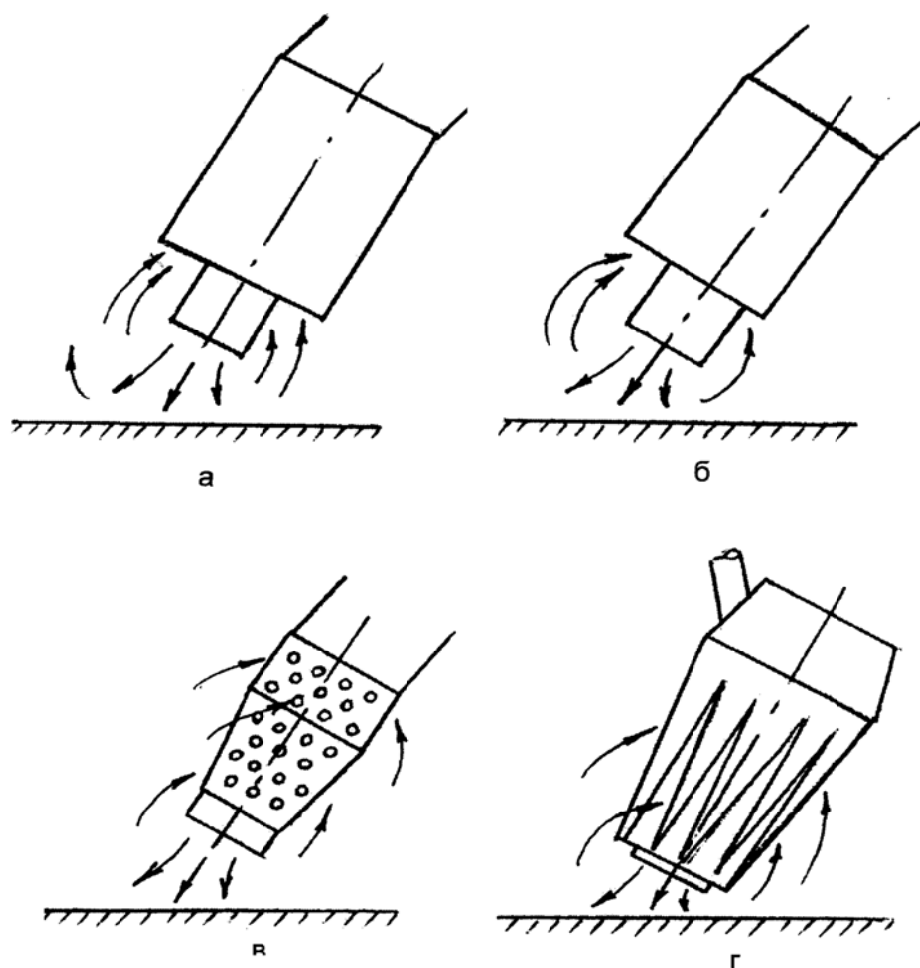


Рис. 5.15. Конструктивные особенности местных отсосов и типичные схемы их расположения относительно сопел для подачи защитного газа:
 а – цилиндрический (коаксиальное расположение);
 б – цилиндрический (аксиальное); в – конусный перфорированный (коаксиальное);
 г – конусный щелевой (коаксиальное)

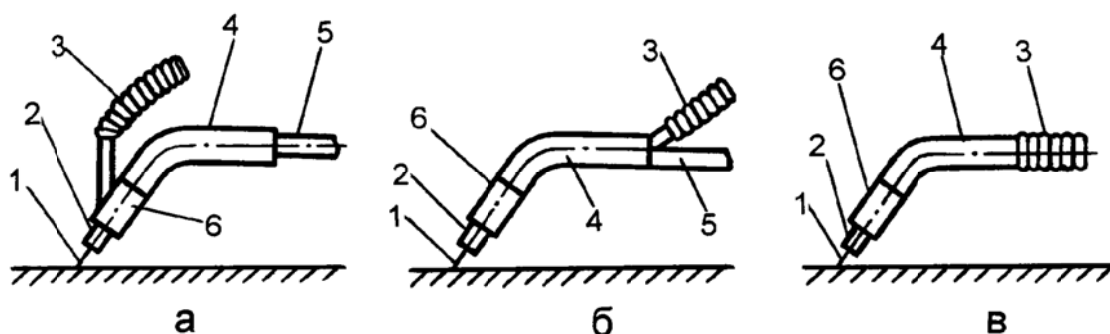


Рис. 5.16. Схема компоновки отсосов, электро- и воздухоотсасывающих коммуникаций горелок:
 1 – сварочная проволока; 2 – сопло для подачи защитного газа;
 3 – воздухоотсасывающий шланг; 4 – рукоятка;
 5 – сварочные коммуникации; 6 – отсасывающий патрубок

Компоновка горелок по вариантам II и III требует изготовления специальных рукояток с воздухопроводящим каналом, что неизбежно приводит к увеличению габаритов и массы горелки с воздушной полостью. Аэродинамическое сопротивление такой горелки соответственно увеличивается, а температура поверхности рукоятки снижается. Последнее позволяет увеличить продолжительность непрерывной сварки.

По мнению специалистов, сварщики быстрее приспособляются к горелке по варианту III, поскольку она похожа на стандартную. Однако для устранения обнаруженных неисправностей требуется практически ее полная разборка. При использовании воздушного шланга диаметром 36...38 мм длиной 3 м аэродинамическое сопротивление горелки составляет 20...25 кПа.

С учетом вышеизложенного, а также на основании многочисленных лабораторных исследований и производственных и испытаний в ФХИЗОСич Минобразования и НАН Украины с участием специалистов ИЭС им. Е.О. Патона, разработаны горелки ГСЛ (рис. 5.17) и ГСД (рис. 5.18) [230]. Они отличаются от известных размещением отсоса над соплом, подающим защитный газ. Это позволило без уменьшения эффективности локализации и отсоса СА сократить расход защитного газа, расширить зону обзора сварного шва, интенсифицировать процесс сварки. Разработанные горелки отличаются лишь компоновкой коммуникаций. В горелках типа ГСЛ коммуникации, обеспечивающие сварочный процесс и отсасывающие СА, совмещены (рис. 5.17), а в горелках ГСД, наоборот, разделены и конструктивно связаны между собой рукояткой (рис. 5.18). Очевидно, что последние более ремонтпригодны, так как легко разбираются.

Указанные горелки имеют устройства регулировки интенсивности отсасывания СА. В горелках типа ГСЛ регулируется размер байпасного отверстия, в ГСД отсос специальной конструкции перемещается вдоль сопла защитного газа.

Обе горелки предназначены для сварки на максимальном токе 315А электродной проволокой диаметрами 1,0...1,4 мм. Длина шлангового провода горелок составляет 2,5 м, ПВ при цикле 5 мин – 60 %, объемный расход удаляемого воздуха – 50...60 м³/ч, газодинамическое сопротивление воздушного тракта горелки при расходе удаляемого воздуха 50...60 м³/ч – не более 6,0 кПа, масса горелок с подводными магистралями – не более 4,0 кг. Устройство регулирования производительности отсоса позволяет ее снижать до 25 %. Стоимость разработанных горелок значительно меньше зарубежных аналогов.

Испытания горелок проводили в соответствии с разработанной методикой (см. главу 2).

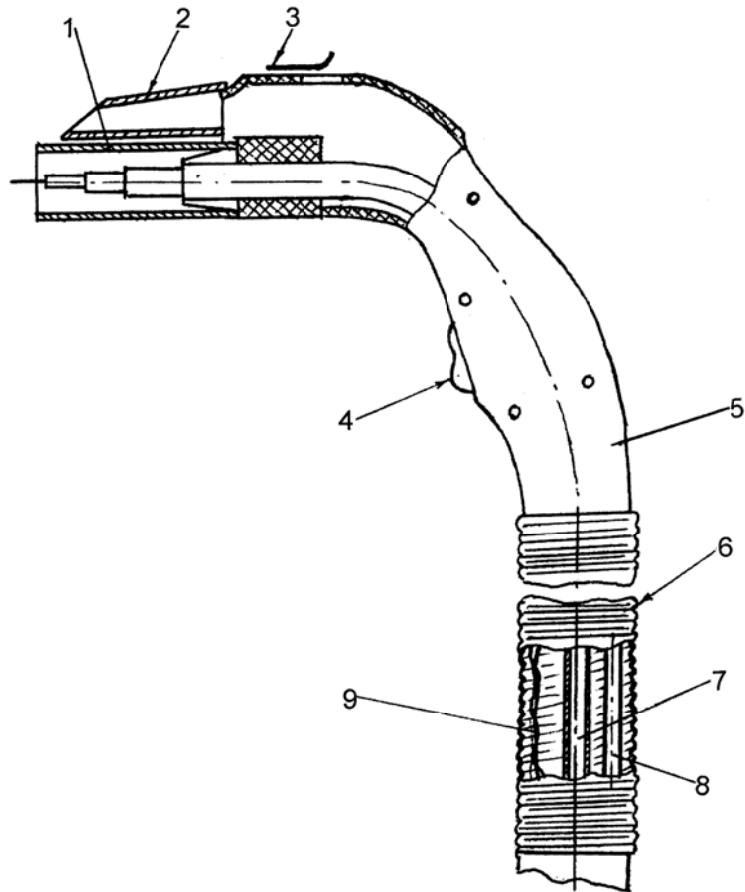


Рис. 5.17. Сварочная горелка ГСЛ:

*1 – сопло для подачи защитного газа; 2 – отсасывающий патрубок;
3 – регулятор расхода отсасываемого воздуха; 4 – кнопка микропереключателя;
5 – рукоятка; 6 – воздухоотсасывающий шланг; 7 – сварочные коммуникации;
8 – трубка для подачи защитного газа; 9 – электрический кабель*

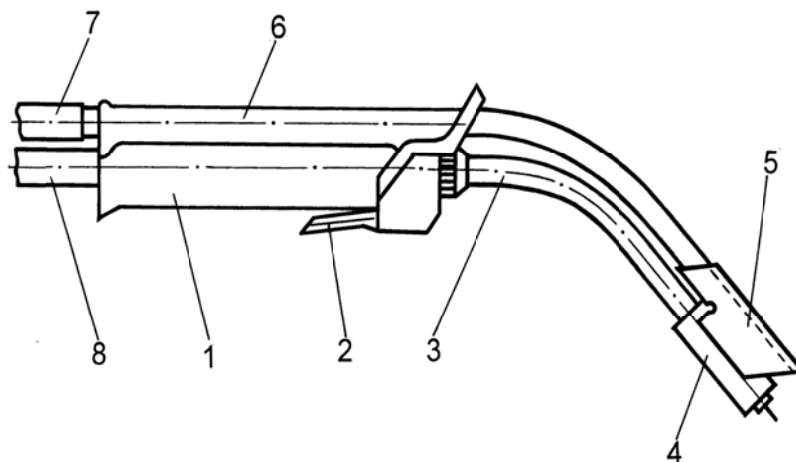


Рис. 5.18. Сварочная горелка ГСД:

*1 – рукоятка; 2 – выключатель; 3 – мундштук;
4 – сопло для подачи защитного газа; 5 – отсасывающая насадка;
6 – трубка для отвода СА; 7 – шланг для отвода СА; 8 – электрический кабель*

Эффективность работы отсоса СА, качество сварного шва, температуру нагрева рукоятки определяли в процессе наплавки валиков (в нижнем положении) на очищенные пластины из стали Ст3 толщиной 10 мм проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. Длительность непрерывной наплавки составляла 5 мин; режим сварки: $I_{св} = 180...200$ А, $U_{д} = 24...25$ В; применялся постоянный ток обратной полярности; расход защитного газа (CO_2) – 12 л/мин. Горелки подключались к полуавтомату А-547, в качестве источника питания использовался преобразователь тока ВС-300Б. В качестве побудителя тяги использовался фильтровентиляционный агрегат УФП2-УХЛ4 [114].

Технические характеристики и результаты испытаний разработанных горелок приведены ниже.

Технические характеристики горелок

	ГСЛ-315-У3	ГСЛ-315-У3М	ГСЛ-315-У3
Длина горелки с коммуникациями, м.....	2,4	2,4	2,6
Масса горелки, кг	3,2	3,4	3,9
Нагрузка на руку сварщика, Н	15,7	16,7	18,6
Максимальная температура рукоятки, °С	40	42	44
Содержание азота в сварном шве (качество сварки), %	0,018	0,010	0,012
Номинальная эффективность отсоса СА, %	87,5	85,3	82,2

Как следует из технической характеристики, нагрузка на руку сварщика, температура рукоятки у горелки ГСД-315-У3 несколько выше, чем у горелок типа ГСЛ. Это связано главным образом с применением не только более тяжелого токовода из кабеля марки КПЭС (в отличие от токоведущей оплетки в случае горелок типа ГСЛ), но и капрона для изготовления рукоятки горелок.

Горелка ГСЛ-315-У3М в отличие от базовой ГСЛ-315-У3 имеет более удобную удлиненную рукоятку с шарнирным соединением для подключения отсасывающего шланга.

В результате визуального осмотра валиков, а также анализов на содержание азота в металле сварных швов видимых наружных дефектов (пор, трещин) не обнаружено. В процессе эксплуатации всех испытанных горелок существенного срыва газовой защиты не зафиксировано: в металле наплавленных валиков азота содержится ненамного больше, чем в исходной свариваемой стали (0,01 %). Различия параметров технических характеристик обусловлены конструктивными особенностями отсосов ис-

пытаных горелок. При сварке с использованием горелок ГСД-315-У3 и ГСЛ-315-У3-2М содержание азота в металле сварных швов увеличилось незначительно, не ухудшая при этом их качества. Максимальное содержание азота в металле шва (0,018 %) отмечалось при сварке горелкой ГСЛ-315-У3, обеспечивающей наиболее высокую эффективность отсоса (87,5 %). Это свидетельствует, все-таки, о некотором влиянии отсоса на эффективность газовой защиты. Поэтому в конструкциях предлагаемых горелок предусмотрено устройство регулирования производительности отсоса, позволяющее ее снижать, и соответственно уменьшать содержание азота в металле сварного шва до того же уровня, что и при сварке обычной горелкой без отсоса. Применение же разработанных горелок гарантирует аспирацию из зоны дуги 80...87 % СА, что на 10...17 % превышает регламентируемую санитарными правилами [118].

Аэродинамическое сопротивление горелки ГСЛ-315-У3 составляет 9 кПа при расходе воздуха 50 м³/ч, ГСД-315-У3 – 11 кПа при расходе воздуха 25 м³/ч (рис. 5.19). Основная составляющая (около 70 %) аэродинамического сопротивления газовому потоку в этой горелке приходится на метровый участок тонкого шланга, прилегающего к рукоятке.

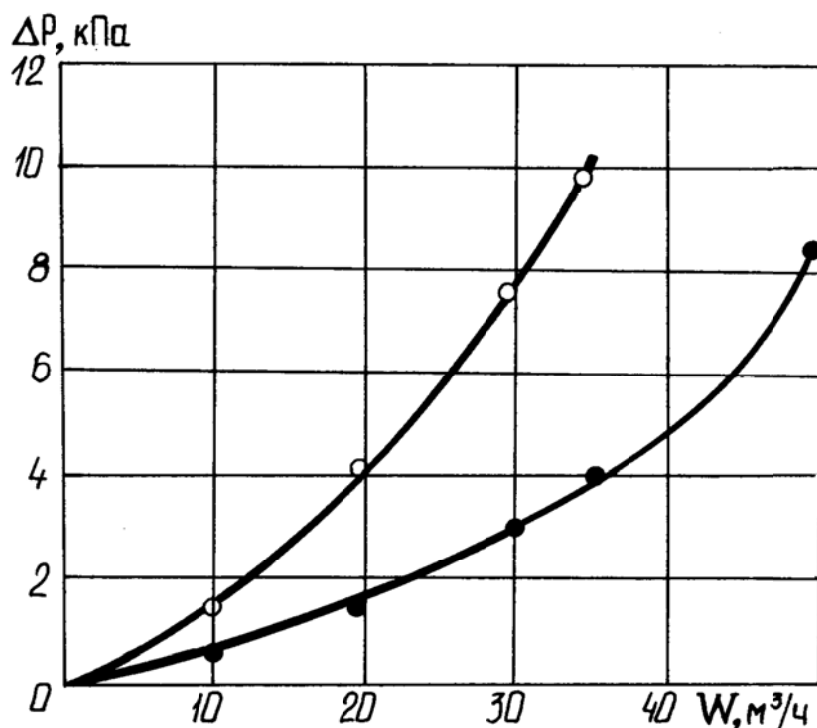


Рис. 5.19. Зависимость аэродинамического сопротивления ΔP горелки ГСД-315-У3 (○) и ГСЛ-315-У3-2М (●) от расхода отсасываемого воздуха W

Сопоставление результатов исследований эффективности работы отсосов горелок и качества сварных швов показало, что оптимальный

объем отсасываемого воздуха для горелок типа ГСЛ составляет 40...50, ГСД – 25...30 м³/ч. При этом аэродинамическое сопротивление горелок не превышает 8 кПа (рис. 5.19), что позволяет использовать их в комплексе с серийно выпускаемыми отечественными и зарубежными фильтровентиляционными агрегатами.

Согласно отзывам сварщиков, разработанные горелки удобны в эксплуатации, обеспечивают хорошее качество сварных соединений и эффективно удаляют токсичные вещества из зоны сварки.

В настоящее время ведется подготовка к серийному производству указанных горелок.

1.6. Защитная маска сварщика с портативной системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-50»

Как правило, в зарубежных защитных масках сварщика с притоком чистого воздуха для защиты глаз от излучений используются светофильтры с автоматическим затемнением (с переменной оптической плотностью), что обеспечивает непрерывное наблюдение за рабочей зоной до и после начала сварки при зажигании дуги и после ее погасания без подъема и опускания маски. Для маски с принудительной подачей воздуха это позволяет повысить ее герметичность за счет подпора очищенного воздуха и тем самым надежную защиту органов дыхания за счет изоляции от окружающей среды. Такие маски очень дорогие, поэтому для стран СНГ пока более выгодно было бы использовать отечественные разработки с ручным механическим перемещением светофильтра.

Учитывая вышеизложенное, в ИЭС им. Е.О. Патона совместно с СКТБ Физико-химического института им. А.В. Богатского НАН Украины разработана маска сварщика с принципиально новой портативной системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания, получившая название «пояс-фильтр» марки «Шмель-50» (рис. 5.20, 5.21) [231]. Соискателем выработаны гигиенические и технические требования к данной системе, разработана ее схема и выбраны фильтрующие материалы, применяемые в поясе-фильтре для очистки воздуха от СА.

В качестве маски использован модифицированный щиток с подвижным светофильтром, разработанный В.Т. Дзюбенко [232, 233]. Щиток изготовлен из термостойкой пластмассы и снабжен съемным блоком с подвижным светофильтром постоянной оптической плотности с увеличенными размерами, улучшающими обзор. Механизм открывания и закрывания смотрового окна, в котором перемещается светофильтр, имеет плечевой рычаг и срабатывает при повороте головы. Для повышения коэффициента защиты органов дыхания от поступления

в них вредных веществ из окружающей среды маска снабжена герметизирующим кожухом (воздушный подпор) из термостойкой ткани, который удерживает под маской чистый воздух с небольшим избыточным давлением и препятствует проникновению под нее СА. Подвод воздуха к маске осуществляется через патрубок, закрепляемый с помощью шарнирного вращающегося устройства, на боковой стенке маски (рис. 5.20).



Рис. 5.20. Защитная маска сварщика с портативной системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания (пояс-фильтр) «Шмель-50»

Система очистки и подачи воздуха под маску (турбоблок) выполнена в виде блока из искусственной кожи, который закрепляется на поясе и включает в себя центробежный вентилятор, электродвигатель, электронный блок управления с зарядным устройством, аккумуляторную батарею, фильтр и кожух (рис. 5.21).

Центробежный вентилятор выполнен в виде крыльчатки полуоткрытого типа диаметром 50 мм, которая закреплена на валу электродвигателя ДПМ-25 и установлена в улитке корпуса системы.

Электронный блок управления с зарядным устройством состоит из преобразователя напряжения и устройства, предохраняющего аккумуляторную батарею от перезарядки и глубокого разряда. При достижении напряжения на клеммах аккумуляторной батареи равного 12 В, последняя автоматически отключается от электронного блока.

Зарядное устройство состоит из емкостного преобразователя напряжения 220/12 В с электронным предохранителем, включающим в себя транзистор, стабилитрон и плавкий резистор.

На верхней крышке корпуса турбоблока смонтированы регулятор количества подаваемого воздуха и индикаторы красного и зеленого цветов.

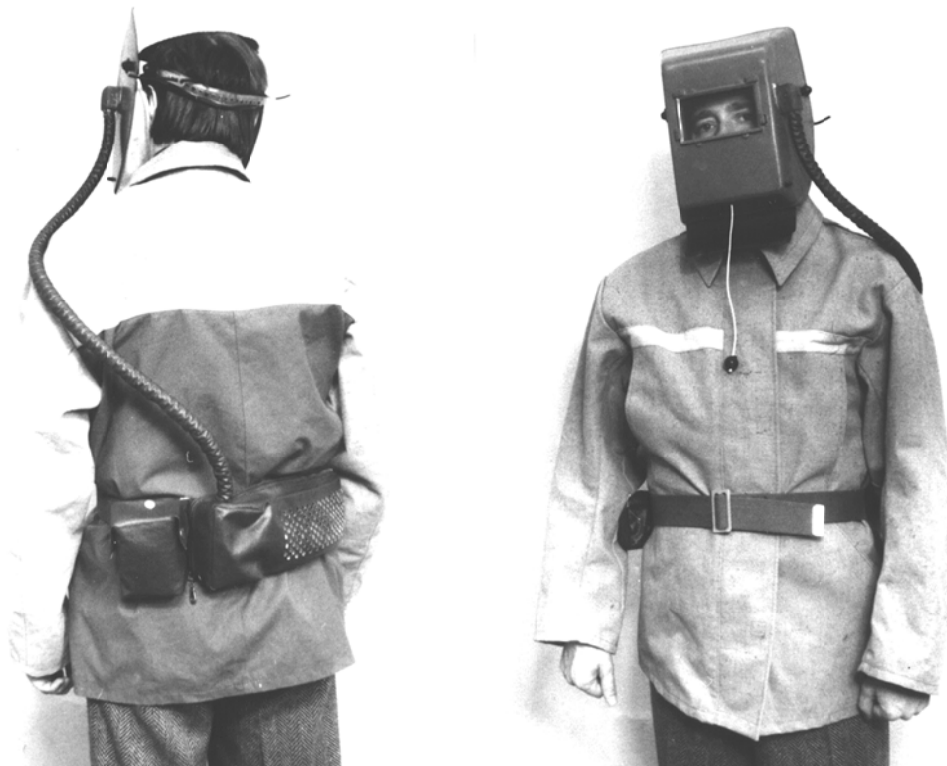


Рис. 5.21. Защитная маска сварщика с поясом-фильтром «Шмель-50»

Регулятором плавно устанавливается нужный расход подаваемого воздуха. При нормальной работе зарядного устройства в процессе подзарядки батареи горит зеленый индикатор. Загорание красного индикатора свидетельствует о неисправностях в низковольтной цепи питания электродвигателя или о перегоревшем предохранителе-резисторе.

Аккумуляторная батарея состоит из 12 последовательно соединенных никель-водородных герметичных элементов, изготовленных согласно ТУ У 88.05378295-96. Отдельные гальванические элементы батареи размещаются в каналах корпуса турбоблока. Для подключения аккумуляторной батареи к сети 220 В при ее подзарядке на верхней крышке под кожухом находится специальный шнур с вилкой.

Сменный фильтрующий элемент представляет собой емкость в виде рукава из фильтрующего материала, формируемой с помощью специальной пружины. Для увеличения площади поверхности фильтрации фильтрующий элемент имеет большое количество складок.

Фильтрующий элемент системы состоит из двух ступеней: первая – из ткани ФПП 15-1,5 или трехслойного фильтрующего материала из полипропилена НФП-50-0,6А (ТУ У 13486464-003-96) для улавливания ТССА, вторая – из сорбционно-фильтрующего материала для очистки воздуха от ГССА. Площадь фильтрующей поверхности данного элемента примерно в 25 раз больше, чем зарубежные аналоги, что значительно

увеличивает срок его службы. В зависимости от требований заказчика предусмотрено изготовление двух типов фильтров различной емкости: рукавного и сиффонообразного (см. техническую характеристику).

Кожух системы изготовлен из плотного дерматинового материала и защищает фильтр от механических повреждений. В ляжки кожуха продевается поясной ремень, с помощью которого система крепится на поясе сварщика.

Для замены отработанного фильтра, проведения обслуживания вентилятора и аккумуляторной батареи (ее зарядки) кожух снабжен замком типа «молния», с помощью которого он легко разъединяется на две половины.

Устройство работает следующим образом. После закрепления фильтра на пружине корпуса системы, а шланга на нагнетательном патрубке вентилятора, кожух соединяется «молнией» в одно целое и система закрепляется на ремне на поясе сварщика в удобном для него положении. Проверив регулятором работу вентилятора, одевают маску и включают вентилятор. Загрязненный воздух, проходя через отверстия в кожухе, очищается на фильтре и через воздухопровод подается под маску. После завершения работ поворотом регулятора отключается вентилятор и прекращается поступление воздуха в полумаску.

Подготовка устройства к работе сводится к регулярной подзарядке аккумуляторной батареи. Для этого после окончания каждой рабочей смены необходимо вытащить из кожуха шнур с вилкой, установить переключатель на панели кожуха турбоблока в положение «выкл» и вставить вилку в розетку от сети 220 В. Загорание зеленого индикатора на крышке корпуса турбоблока свидетельствует о нормальной работе зарядного устройства и, следовательно, о начавшемся процессе подзарядки батареи. По прошествии 10 часов шнур вытаскивается из розетки и прячется в кожух. Кожух застегивается «молнией». Устройство готово к работе.

Техническая характеристика маски с поясом-фильтром «Шмель-50»

Номинальная объемная скорость подачи воздуха под маску, л/мин	50
Масса маски, кг	0,6
Масса пояса-фильтра, кг	1,6
Габаритные размеры пояса-фильтра, мм.....	410×100×60
Площадь фильтра, м: рукавного.....	0,25
сиффонообразного.....	0,5
Мощность электродвигателя центробежного вентилятора, Вт.....	20
Напряжение аккумулятора, В.....	6

Продолжительность зарядки аккумулятора, час не менее 6
Напряжение питания,
подаваемое на зарядное устройство, 220
Продолжительность непрерывной
работы до разрядки аккумулятора, час..... не менее 8

Проведены сравнительные производственные испытания защитной эффективности маски с поясом-фильтром. Они выполнены при ручной дуговой сварке покрытыми электродами марки АНО-24 диаметром 4 мм на токе 180...200 А. В результате установлено, что при применении обычного защитного лицевого щитка типа НН-С-705 У1 (ГОСТ 12.4.035–78) средняя концентрация СА под щитком составляла 0,472 мг/м³, при использовании предлагаемой маски с поясом-фильтром она снизилась до 0,022 мг/м³, т. е. более, чем в 21 раз. Таким образом, коэффициент защитной эффективности маски с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания составлял 95,3 %.

Маска с поясом фильтром внедрена на различных предприятиях и используется при выполнении ремонтных сварочных работ в трюмах судов и барж.

5.7. Устройство очистки и подачи воздуха в зону дыхания сварщика «Шмель-40»

На основе пояса-фильтра разработана еще одна модификация системы очистки и подачи воздуха с дыхательной полумаской [199]. Такая система позволяет наиболее эффективно защищать органы дыхания, а также применять защитные щитки или маски различных конструкций без специального их подключения к системе очистки и подачи воздуха. Предложенное устройство получило название «Шмель-40».

В отличие от ранее предложенной защитной маски сварщика с поясом-фильтром [231], в новой системе очищенный воздух подается по воздуховоду, соединенному не со щитком сварщика, а с резиновой полумаской (рис. 5.22).

Это обеспечивает полное изолирование органов дыхания от загрязненного аэрозолем воздуха при минимальной подаче воздуха (30...40 л/мин) – в 3...5 раз меньше по сравнению с общепринятой схемой [234]. Кроме того, данная система может использоваться в комплекте с защитным щитком любой марки специально не приспособленным для подключения к поясу-фильтру.

Данное устройство состоит из системы очистки и подачи воздуха (турбоблок), резиновой полумаски с клапаном выдоха и оголовьем, соединительного воздуховода и поясного ремня (рис. 5.22).



Рис. 5.22. Устройство очистки и подачи воздуха в зону дыхания сварщика «Шмель-40»

Турбоблок состоит из корпуса, центробежного вентилятора, электродвигателя, электронного блока управления с зарядным устройством, аккумуляторной батареи, фильтра и кожуха.

Сменный фильтрующий элемент выполнен в виде кубической емкости из фильтрующего материала, которая устанавливается на корпус турбоблока и закрепляется под верхней крышкой корпуса с помощью резинки вшитой по периметру емкости. Для увеличения площади поверхности фильтрации фильтрующий элемент имеет большое количество складок.

Фильтрующий элемент системы состоит из двух ступеней: первая – из ткани ФПП 15-1,5 или трехслойного фильтрующего материала из полипропилена НФП-50-0,6А (ТУ У 13486464-003-96) для улавливания ТССА, вторая – из сорбционно-фильтрующего материала для очистки воздуха от ГССА.

Кожух турбоблока, который устанавливается на корпус, изготовлен из плотного дерматинового материала и защищает фильтр от механических повреждений. В ляжки кожуха продевается поясной ремень, с помощью которого турбоблок крепится на поясе сварщика рис. 5.23.

Для замены отработанного фильтра, проведения обслуживания вентилятора и аккумуляторной батареи (ее зарядки) кожух снабжен замком типа «молния», с помощью которого он легко разъединяется на две половины.

В качестве полумаски, куда подается очищенный воздух, используется стандартная резиновая полумаска ПР7. Клапан выдоха может крепиться на ней как в нижней части, так и в центре. В первом случае подача очищенного воздуха осуществляется через специальное

устройство, позволяющее шлангу-воздуховоду свободно вращаться вокруг клапана выдоха, не стесняя движений рабочего. Избыточное давление подаваемого воздуха позволяет работать без плотного прилегания обтюрационной части полумаски к лицу рабочего, что повышает комфортность в работе с устройством.

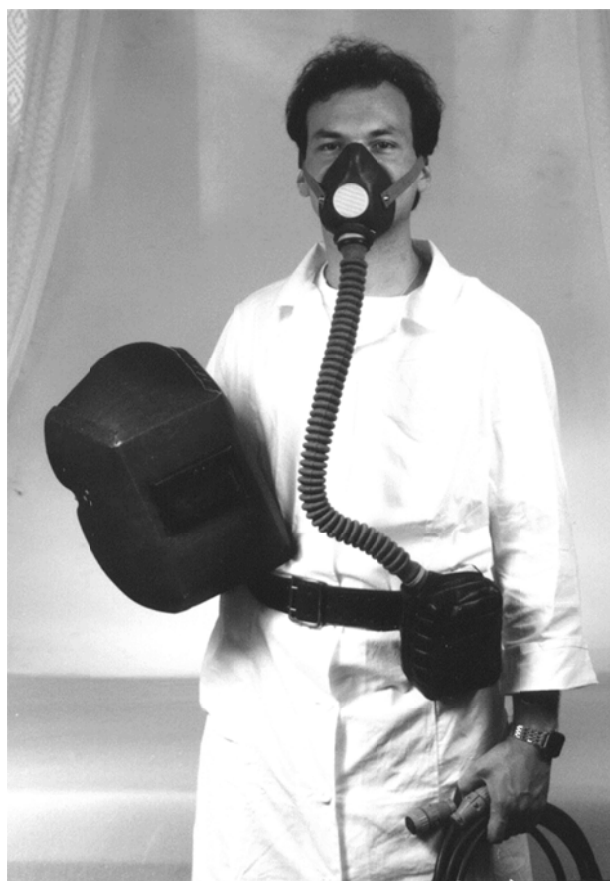


Рис. 5.23. Устройство «Шмель-40»

В качестве воздуховода используется гибкий резиновый гофрированный шланг диаметром до 30 мм от обычного противогаса.

Устройство работает следующим образом. После закрепления фильтра на корпусе турбоблока, а шланга на нагнетательном патрубке вентилятора, кожух закрывается «молнией», а турбоблок закрепляется на ремне на поясе сварщика в удобном для него положении. Проверив регулятором работу вентилятора, с помощью оголовья подганяют полумаску так, чтобы она свободно без натяжения прилегала к лицу. Включают вентилятор и регулятором устанавливают желаемый расход воздуха. Загрязненный воздух, проходя через отверстия в кожухе, очищается на фильтре и через воздуховод подается в полумаску. После завершения работ поворотом регулятора отключается вентилятор и прекращается поступление воздуха в полумаску.

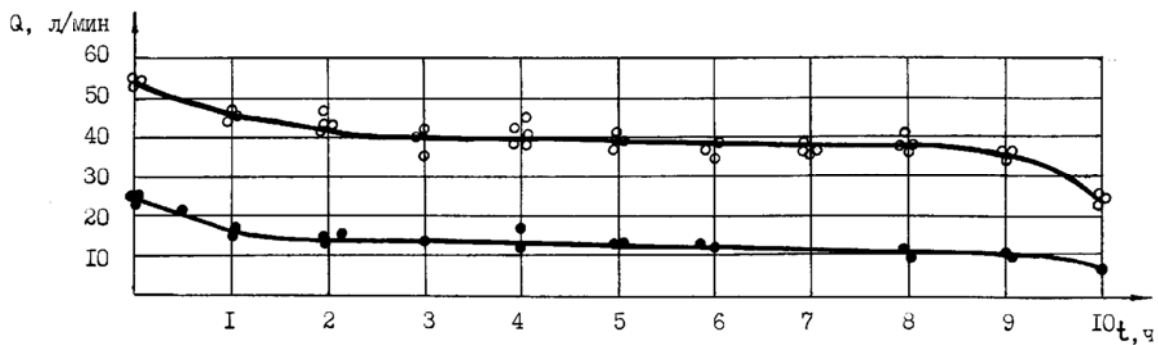
*Техническая характеристика устройства очистки
и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-40»*

Объемная скорость подачи воздуха
в дыхательную полумаску, л/мин:

минимальная.....	15
максимальная	40
Давление на выходе из турбоблока при 40 л/мин, Па.....	100
Площадь поверхности фильтра, м ²	0,2
Время непрерывной работы до разрядки аккумуляторной батареи, ч	8,5
Время подзарядки аккумуляторной батареи после полной разрядки, ч.....	10
Количество подзарядок аккумулятора, раз, не менее	800
Ток зарядки аккумулятора, мА, не более	100
Емкость аккумуляторной батареи, А·ч.....	1,0
Мощность, потребляемая электродвигателем вентилятора, Вт.....	2,5
Напряжение питания электродвигателя, В	12
Напряжение подзарядки аккумуляторной батареи, В	220±5 %
Габаритные размеры турбоблока, мм	130×100×80
Масса системы, кг.....	1,2

Характер изменения объемной скорости подачи воздуха в дыхательную полумаску во времени (рис. 5.24) [234] показывает стабильную работу устройства в течение рабочей смены.

Серийное производство устройства очистки и подачи воздуха в зону дыхания сварщика налажено на опытном производстве СКТБ при ФХИ им. А.В. Богатского НАН Украины.



*Рис. 5.24. Характер изменения объемной скорости подачи воздуха в полумаску при непрерывной работе в течение смены:
○ – максимальная; ● – минимальная подача воздуха*

5.8. Шланговая защитная маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания

Для стационарных рабочих мест или когда сварщик не передвигается на большие расстояния в процессе работы в ИЭС им. Е.О. Патона разработана шланговая маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в подмасочное пространство (рис. 5.25, 5.26) [199]. Левченко А.Г. разработаны схема данной системы, конструкции воздухораспределительного устройства и шлема для маски, регулятора расхода воздуха, второй ступени фильтра для улавливания ГССА и на основе проведенных исследований (см. главу 4) – используемый в ней фильтрующий элемент из модифицированного клиноптилолита.

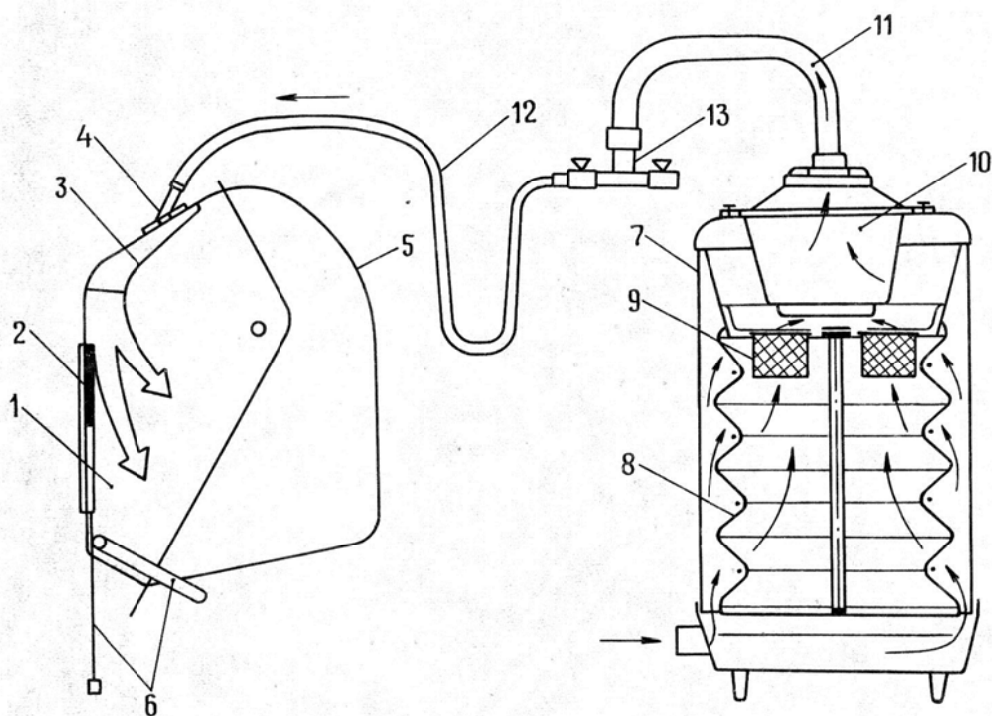


Рис. 5.25. Принципиальная схема шланговой маски сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания:

- 1 – защитная маска; 2 – подвижный светофильтр;
- 3 – воздухораспределительное устройство; 4 – патрубок подвода воздуха;
- 5 – шлем; 6 – устройство передвижения светофильтра;
- 7 – нагнетатель воздуха (ФВА «Мрия – 2М»); 8 – фильтрующий элемент (1-я ступень); 9 – фильтрующий элемент (2-я ступень);
- 10 – электрический побудитель тяги; 11, 12 – воздуховоды;
- 13 – регулятор расхода воздуха

В качестве маски использован усовершенствованный щиток с подвижным светофильтром [233]. Маска дополнена шлемом из несгорае-

мой ткани, препятствующим проникновению под маску СА и удерживающим под ней чистый воздух с небольшим избыточным давлением. В верхней части маски установлено воздухораспределительное устройство специальной конструкции. Оно обеспечивает симметричное распределение потока воздуха вдоль защитного стекла, исключая, таким образом его запотевание. Поток чистого воздуха, направленный сверху вниз против конвективных потоков загрязненного аэрозолеом воздуха, препятствует его проникновению под маску, а затем в органы дыхания. Требуемый защитный эффект маски достигается при подаче воздуха с производительностью 150...200 л/мин. Подвод воздуха к маске осуществляется через патрубок, расположенный в верхней части маски под углом 45° к основанию, что исключает перегиб применяемых в данном случае медицинских шлангов.

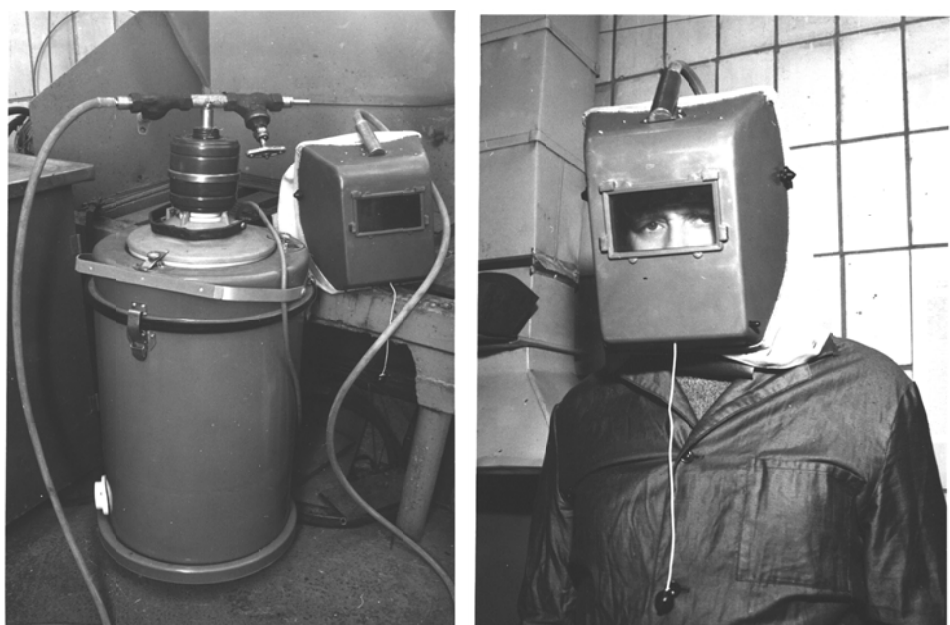


Рис. 5.26. Шланговая маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания

Для очистки и подачи воздуха под маску предусмотрено два варианта. В первом подача воздуха производится от сети сжатого воздуха через регулировочное устройство и фильтрующий блок. Во втором для очистки и подачи воздуха использован ФВА УФП2-УХЛ4, укомплектованный специально разработанной второй ступенью фильтра для очистки воздуха от вредных компонентов ГССА (CO , NO , NO_2 , HF , SiF_4) и регулятором расхода подаваемого под маску воздуха. Таким образом данная установка очищает забираемый из производственного помещения воздух как от ТССА, так и от всех вредных компонентов ГССА. Это позволяет ее использовать в качестве нагнетателя воздуха под маску

практически при всех способах сварки. Срок службы фильтров, применяемых в ФВА УФП2-УХЛ4, в этом случае достигает примерно один год, т. к. они имеют очень большую емкость (по сравнению с портативными системами очистки воздуха) и, кроме того, забор воздуха производится не на месте сварки, а на определенном расстоянии, где концентрации СА значительно ниже.

Физиолого-гигиеническая оценка данной маски, проведенная в Киевском институте медицины труда, показала, что ее конструкция не оказывает выраженного отрицательного действия на основные физиологические системы организма; параметры микроклимата подмасочного пространства соответствуют допустимым нормам. Субъективная оценка маски испытателями удовлетворительная.

Шланговая защитная маска сварщика с усовершенствованным ФВА УФП2-УХЛ4 внедрена при наплавке внутри гидротурбин на Воткинской ГЭС (г. Чайковский, Россия), при ремонтных сварочных работах в камерах для сжигания отходов на киевском заводе «Энергия», при сварке внутри котлов на Монастырищенском машиностроительном заводе.

При работе в условиях с нормальными (допустимыми) параметрами микроклимата воздуха рабочей зоны, регламентируемыми требованиями ГОСТ 12.1.005, указанные СИЗОД практически удовлетворяют предъявляемым требованиям. Однако при сварке в условиях повышенных или пониженных температур, что нередко для сварочного производства, эффективность существующих СИЗОД недостаточна, т. к. ни одно из них не предусматривает регулирование температуры воздуха в зоне дыхания сварщика.

Этого недостатка позволяет избежать система [235], которая обеспечивает очистку и подачу под маску сварщика воздушного потока с заданной температурой от внешнего источника, не связанного с атмосферой, где производится сварка. Система разработана специалистами Харьковского авиационного института и АО «Ремез» (г. Севастополь) совместно с ИЭС им. Е.О. Патона. Выработаны гигиенические и технические требования к системе, обоснованы требования параметров микроклимата подмасочного пространства и предложена конструкция защитной маски.

Новая система кондиционирования маски сварщика (рис. 5.27), кроме обычно применяемых элементов – самой маски с воздухораспределительным блоком [236], блока редуцирования, фильтров-маслоотделителей, осушительных патронов с активированным углем и многослойных фильтров из ткани ФПП-Д для очистки воздуха от аэрозолей – включает специальное устройство кондиционирования воздуха в виде вихревой трубки [237], закрепленной на поясе сварщика.

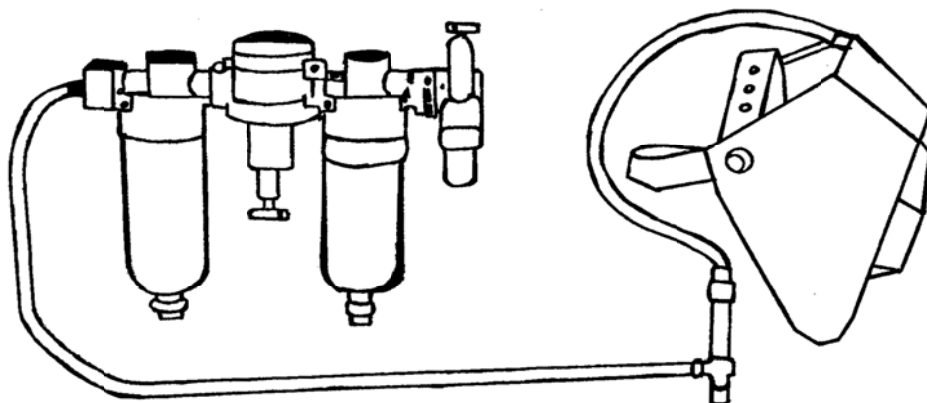


Рис. 5.27. Система кондиционирования маски сварщика

Сжатый воздух от промышленной сети или индивидуального компрессора очищается в фильтре грубой и тонкой очистки производства завода «Пневматика», г. Симферополь (ТУ 2-053-1358-78). Степень очистки составляет 99,9 %. Редукционный пневмоклапан обеспечивает поддержание постоянного давления в системе потребителя. Реле давления отключает потребителя при падении давления воздуха ниже допустимого.

Очищенный воздух подается в вихревую трубу по коммутационным соединениям. В вихревой трубе воздух вращается и разделяется на охлажденную и нагретые части по разные стороны трубы. Температура и расход воздуха регулируются дроссельным вентилем.

*Техническая характеристика системы кондиционирования
маски сварщика*

Регулирование температуры воздуха по отношению к температуре окружающей атмосферы, °С	±12
Давление сжатого воздуха на выходе из источника, Мпа.....	0,3...0,7
Расход сжатого воздуха, л/мин.....	до 160
Объемная скорость подачи воздуха в зону дыхания, л/мин	60...150
Избыточное давление воздуха в зоне дыхания сварщика (под маской), МПа	0,001
Масса вихревой трубы, кг	0,125
Общая масса системы кондиционирования без коммутационных соединений, кг.....	4,5

Подготовленный воздух поступает в воздухораспределительный блок, смонтированный в маске сварщика. Маска, разработанная специально для работы с системой кондиционирования, имеет глубокий охват головы сварщика для исключения проникновения вредных примесей из атмосферы. Блок подвижного светофильтра имеет внутреннее защит-

ное оргстекло, защищающее от поступления сварочного аэрозоля в органы дыхания и от попадания окалины или шлака в глаза. Подвижный светофильтр позволяет выполнять подготовительные операции перед сваркой и после нее без поднимания маски.

Предлагаемая система подачи воздуха под маску с кондиционированием особенно полезна при работе сварщика в замкнутых объемах, а также при повышенных или пониженных температурах окружающего воздуха.

Контроль состояния воздуха в зоне дыхания сварщика (под маской) показал, что новая система подготовки воздуха значительно улучшает условия труда сварщиков. Так, при ручной дуговой сварке электродами АНО-4 содержание сварочного аэрозоля под маской составляет $1 \dots 2 \text{ мг/м}^3$, в то время как вне маски его концентрация достигает 39 мг/м^3 . Содержание соединений марганца, монооксида углерода и диоксида азота под маской ниже предельно допустимых концентраций.

Серийное производство системы кондиционирования воздуха для маски сварщика налажено на Севастопольском ремонтно-механическом заводе (ЗАО «РЕМЕЗ»).

5.9. Рекомендации по применению средств защиты сварщиков и окружающей среды от сварочных аэрозолей

Исследованные в результате выполнения настоящей работы средства местной вентиляции и СИЗОД [238–241] позволяют решить практически все проблемы защиты от СА, образующихся при применении различных способов сварки и в различных производственных условиях. Выбор средств защиты сварщиков и окружающей среды производится согласно разработанной химической классификации СА (см. главу 4) [187] в зависимости от способа сварки и вида сварочного материала в соответствии с табл. 5.2. Выбор пользователем этих средств защиты упрощает разработанная компьютерная информационно-поисковая система гигиенических характеристик СА «ECO-WELD» [204].

5.9.1. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами (кроме электродов с основным покрытием)

Химический состав и уровни выделений СА, образующихся при сварке покрытыми электродами, определяются видом покрытия, диаметром электродов и режимом сварки. При применении электродов с рутиловым и кислым покрытиями аэрозоль содержит соединения марганца, железа, кремния и незначительные количества оксидов азота и монооксида углерода. При сварке электродов с основным покрытием

в СА кроме указанных соединений присутствуют растворимые и нерастворимые фториды, фтористый водород и тетрафтористый кремний. Применение электродов с целлюлозным покрытием сопровождается выделением соединений марганца, железа, кремния, незначительного количества оксидов азота и более высокого, по сравнению с электродами указанных видов, количества монооксида углерода. Наиболее вредные аэрозоли выделяются при сварке высоколегированными электродами, содержащими, кроме указанных веществ, шести- и трехвалентный хром в виде хроматов, а также никель [242]. Эти сведения необходимо учитывать при проведении инвентаризации источников вредных выбросов с целью выполнения экологических мероприятий и для выбора средств нейтрализации вредных веществ в системах промышленной вентиляции, фильтровентиляционных агрегатах и средствах индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков.

Таблица 5.2

Рекомендации по применению средств защиты сварщиков и окружающей среды

Способ сварки	Средства защиты
Сварка покрытыми электродами кроме электродов с основным покрытием	Фильтровентиляционный агрегат (ФВА) производительностью не менее 1000 м ³ /ч: <ul style="list-style-type: none"> • ФВА «Темп-2000» с фильтром 6В19-КТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД): <ul style="list-style-type: none"> • Устройство очистки и подачи воздуха под маску сварщика «Шмель-40 ФП»; • Маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-50 ФП».
Сварка покрытыми электродами с основным покрытием и порошковой проволокой	ФВА производительностью не менее 1000 м ³ /ч: <ul style="list-style-type: none"> • ФВА «Темп-2000» с комбинированным фильтром из материалов 6В19-КТ и ЦМ; • Зернистый фильтр с фильтрующим материалом из природного цеолита-клиноптилолита. СИЗОД: <ul style="list-style-type: none"> • Устройство очистки и подачи воздуха под маску сварщика «Шмель-40 ФГП» (с комбинированным фильтром из материалов НФП-50-0,6А и ЦМ); • Маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-50 ФГП»; • Шланговая маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания.

Способ сварки	Средства защиты
Сварка в защитных газах (кроме аргона) проволокой сплошного сечения	ФВА производительностью не менее 1000 м ³ /ч или комплект ФВА производительностью 100 м ³ /ч с горелкой со встроенным отсосом: <ul style="list-style-type: none"> • ФВА «Темп-2000» с фильтром 6В19-КТ; • Зернистый фильтр с фильтрующим материалом из модифицированного клиноптилолита; • ФВА «Мрия-1М» с горелкой со встроенным отсосом типа ГСД и ГСЛ (ФХИЗОСиЧ). СИЗОД: <ul style="list-style-type: none"> • Устройство очистки и подачи воздуха под маску сварщика «Шмель-40 ФГП»; • Шланговая маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания.
Сварка в аргонеплавящемся и неплавящемся электродом	ФВА производительностью не менее 100 м ³ /ч: <ul style="list-style-type: none"> • ФВА «Мрия-1М» с фильтром из природного клиноптилолита; • Зернистый фильтр с фильтрующим материалом из природного клиноптилолита СИЗОД: <ul style="list-style-type: none"> • Шланговая маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания.
Сварка под флюсом	ФВА производительностью не менее 100 м ³ /ч: <ul style="list-style-type: none"> • ФВА «Мрия-1М» с фильтром из природного клиноптилолита; • Зернистый фильтр с фильтрующим материалом из природного клиноптилолита. СИЗОД: <ul style="list-style-type: none"> • Устройство очистки и подачи воздуха под маску сварщика «Шмель-40 ФГП» с комбинированным фильтром из материалов НФП-50-0,6А и ЦМ); • Маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-50 ФГП»; Шланговая маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания.

Примечания:

- ФВА применяются в комбинации с общеобменной вентиляцией производительностью 25 % от расчетной;
- СИЗОД применяются если невозможно использовать ФВА и вентиляцию;
- обозначение ФП – одноступенчатый противопылевой фильтр (для улавливания ТССА), ФГП – двухступенчатый противогазовый и противопылевой фильтр (для улавливания ГССА и ТССА).

Для удаления СА из рабочей зоны в помещениях следует устанавливать устройства местной вытяжной вентиляции, производительность которых рассчитывается согласно методическим указаниям по проектированию местных вытяжных устройств к оборудованию для сварки и резки металлов [83].

Воздух, удаляемый из производственных помещений в атмосферу, должен очищаться от вредных твердых и газообразных веществ СА согласно закону РФ о защите атмосферного воздуха.

Скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выделения вредных веществ (возле сварочной дуги) при ручной сварке покрытыми электродами согласно требований санитарных правил при сварке, наплавке и резке металлов [118], должна быть не менее 0,5 м/с. Традиционные устройства местной вентиляции (поворотно-подъемные наклонные панели, наклонно-щелевые и нижние подрешеточные отсосы) обеспечивают удаление СА в количестве не более 75 %, вытяжные шкафы – 90 %. Оставшийся аэрозоль (10–25 %) нужно разбавлять до ПДК с помощью общеобменной вентиляции [118]. Поэтому кроме местных вытяжных устройств производственные помещения должны быть оборудованы общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией, соответствующей СНиП 2.04.05. Расчетные значения требуемого воздухообмена вентиляции содержатся в нашей компьютерной информационно-поисковой системе гигиенических характеристик СА «ECO-WELD» [204]. Объем воздухообмена общеобменной вентиляции следует рассчитывать на разбавление вредных веществ, не уловленных местными вытяжными устройствами, до уровней ПДК. При этом количество подаваемого приточными системами воздуха регламентируется санитарными правилами [118]. Подачу приточного воздуха следует осуществлять в рабочую зону в направлении этой зоны. Температура подаваемого вентиляционными установками воздуха должна быть не ниже 20° С. Эти же требования относятся и к современным фильтровентиляционным агрегатам.

Выбор фильтровентиляционных агрегатов следует осуществлять по виду покрытия применяемых сварочных электродов. Фильтровентиляционные агрегаты с механическими или электростатическими фильтрами, очищающие воздух только от ТССА, можно применять лишь в комплексе с общеобменной вентиляцией пониженной производительности, составляющей 25–30 % от расчетного необходимого воздухообмена, что обеспечит удаление не уловленной фильтрами газообразной составляющей СА (СО, NO_x, HF, SiF₄ и др.). Для улавливания СА, выделяющегося при сварке электродами с покрытием основного вида, необходимо применять ФВА с двухступенчатыми фильтрами, которые

очищают воздух от ТССА механическим фильтром, а газообразные фтористый водород и тетрафтористый кремний – второй ступенью из сорбционно-фильтрующего материала.

При ручной дуговой сварке электродами с рутиловым, кислым и органическим покрытиями в производственных помещениях для защиты сварщиков и окружающей среды рекомендуется применять фильтровентиляционные агрегаты производительностью не менее 1000 м³/ч. Мы предлагаем применять разработанные нами ФВА «Темп-2000» и их модификации [213, 215]. В качестве фильтрующих материалов для нейтрализации в основном ТССА, образующихся при применении электродов этих видов можно применять синтетические полиэфирно-полиамидные ткани 6В19-КТ (ТУ 17 УССР 3677-84). Для удаления СА из замкнутых объемов (цистерн, трюмов судов и т. п.), где невозможно применять никакие средства вентиляции, в том числе и ФВА «Теми-2000», остается возможным применение ПВА «Шмель-2500» [214].

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны при применении указанных средств вентиляции не должно превышать ПДК, регламентированных ГОСТ 12.1.005–88. При превышении ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны (в условиях, где невозможно организовать эффективную вентиляцию) для защиты органов дыхания нужно применять СИЗОД. Автор рекомендует применять наиболее эффективные СИЗОД – разработанные нами устройство очистки и подачи воздуха под маску сварщика «Шмель-40» [234] или маску сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-50» [231], в которых используется одноступенчатый фильтр из полипропилена НФП-50-0,6А (ТУ У 13486464.003-96).

5.9.2. Сварка порошковой проволокой и электродами с основным покрытием

Для нейтрализации СА, образующихся при сварке электродами с основным покрытием и порошковой проволокой, которые, кроме ТССА, содержат также фтористый водород и тетрафтористый кремний, необходимо пользоваться такими же ФВА как и при использовании электродов с покрытиями других видов (см. раздел 5.9.1), однако, с двухступенчатыми фильтрами – первая из ткани 6В19-КТ для очистки воздуха от ТССА и вторая из сорбционно-фильтрующего ионообменного волокнистого материала типа ЦМ (ЦМ-А1Н и ЦМ-А1НД), изготавливаемого по ТУ 61-4706391-87, для нейтрализации газообразных фторидов (HF, SiF₄). При механизированной сварке порошковой проволокой на токах до 315 А целесообразно пользоваться горелками

со встроенным отсосом СА марок ГСД или ГСЛ в комплекте с ФВА «Мрия-1М» с двухступенчатым фильтром.

В качестве СИЗОД (при превышении ПДК) на нестационарных рабочих местах можно использовать устройство очистки и подачи воздуха под маску сварщика «Шмель-40 ФГП» [234] или маску сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-50 ФПГ» [231], с двухступенчатым фильтром из волокнистых материалов НФП-50-0,6А и ЦМ. Для стационарных сварочных постов, когда сварщик находится на одном месте, органы дыхания наиболее эффективно защищать с помощью шланговой маски сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания с трехступенчатым фильтром из волокнистых материалов ФПП-15-1,5, (для очистки воздуха от ТССА), ЦМ (для улавливания HF и SiF₄ [127]) и зернистого природного или модифицированного клиноптилолита (для нейтрализации CO и NO_x [198]).

5.9.3. Сварка в защитных газах (кроме аргона) проволокой сплошного сечения

Химический состав и уровни выделений СА при механизированной сварке в защитных газах в основном зависят от состава и диаметра сварочной проволоки, вида защитного газа и режимов сварки.

Механизированная сварка плавящимся электродом в углекислом газе сопровождается выделением в воздух соединений металлов в составе ТССА, входящих в состав проволоки и основного металла (железа, марганца, кремния, хрома, никеля, меди, алюминия и др.), монооксида углерода, оксидов азота и незначительного количества озона. При использовании в качестве защитного газа аргона в СА увеличивается концентрация озона. Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом в инертных газах (аргон) отличается образованием высокого количества озона. При сварке порошковой и активированной проволокой, как правило содержащие фториды, с газовой защитой и без нее в СА появляются газообразные фтористый водород и тетрафтористый кремний [187, 243].

Наплавочные работы с применением стальных проволок сплошного сечения в углекислом газе, а также под флюсом (см. раздел 5.9.5) необходимо выполнять в соответствии с требованиями безопасности и защиты окружающей среды, изложенными в разработанном автором разделе технических условий на эти проволоки [244].

Для наиболее полного удаления СА из рабочей зоны необходимо применять эффективные местные вытяжные устройства (горелки со встроенным отсосом, фильтровентиляционные агрегаты и вентиляторы с гибкими воздуховодами) в комбинации с общеобменной вентиляцией. Скорость движения воздуха, создаваемого местными отсосами у

источников выделения СА при сварке в углекислом газе, должна быть 0,2...0,5 м/с [118]. Рекомендуем применять сварочные горелки с отсосом ГСД и ГСЛ, которые могут работать от централизованной системы вентиляции или в комплекте с ФВА «Мрія-1М».

Защита от СА при сварке в защитных газах, кроме сварки в аргоне, осуществляется путем применения ФВА «Темп-2000» в комплексе общеобменной вентиляцией, зернистого фильтра [200] из модифицированного клиноптилолита [198] или комплекта ФВА «Мрія-1М» с горелками с отсосом для полуавтоматов ГСЛ или ГСД [230]. Эти средства вентиляции обеспечивают очистку воздуха не только от ТССА, но и от монооксида углерода. Для удаления СА из замкнутых пространств и труднодоступных мест нужно пользоваться ПВА «Шмель-2500».

Из СИЗОД (при превышении ПДК) на нестационарных рабочих местах можно применять устройство очистки и подачи воздуха под маску сварщика «Шмель-40 ФГП» с двухступенчатым фильтром из волокна НФП-50-0,6Ф и зернистого кадмий- или кобальт-модифицированного клиноптилолита [198]. Для стационарных сварочных постов более эффективным СИЗОД будет шланговая маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания [199] с дополнительной степенью фильтра из модифицированного клиноптилолита.

5.9.4. Сварка в аргоне плавящимся и неплавящимся электродом

При сварке в аргоне плавящимся и неплавящимся электродом, характеризующейся низким уровнем выделения ТССА, достаточно применять ФВА производительностью не более 100 м³/ч пылегазоприемником, устанавливаемым на минимальном расстоянии от сварочной дуги. Однако, поскольку этот способ сварки характеризуется высоким уровнем выделения озона, необходимо применять ФВА «Мрія-1М» с дополнительным фильтром из природного клиноптилолита, разлагающим озон, или зернистый фильтр с этим материалом. Скорость движения воздуха, вызванного местными отсосами у источников выделения СА при сварке в инертных газах, должна быть 0,15...0,3 м/с [118].

В качестве СИЗОД годится только шланговая маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания с таким же фильтром. Другие СИЗОД не очищают воздух от озона.

Нужно отметить, что вследствие высокой интенсивности ультрафиолетового излучения сварочной дуги при применении аргоновой защитной среды озон образуется не только в дуговом промежутке, но и на некотором расстоянии от дуги. Поэтому для полной локализации озона целесообразно использовать местные вытяжные устройства в комплексе с общеобменной вентиляцией, а также СИЗОД.

5.9.5. Сварка под флюсом

Гигиеническими преимуществами автоматической сварки под флюсом является низкая интенсивность образования ТССА – на 2 порядка ниже, чем при ручной сварке покрытыми электродами. Вместе с тем обязательными компонентами СА при применении этого способа сварки являются фтористый водород и тетрафтористый кремний [245]. Поэтому для улавливания ТССА, а также фтористого водорода и тетрафтористого кремния достаточно применять ФВА производительностью не более 100 м³/ч с помощью пылегазоприемника, устанавливаемого с помощью постоянного магнита непосредственно на сварочной головке автомата. Для этого наиболее подходящей ФВА является «Мрия-1М» с дополнительной ступенью фильтра из природного клиноптилолита или зернистый фильтр из этого же материала.

Для индивидуальной защиты органов дыхания, в случае необходимости, можно пользоваться устройством очистки и подачи воздуха под маску сварщика «Шмель-40 ФГП» с комбинированным фильтром из материалов НФП-50-0,6А и ЦМ), маской сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-50 ФГП» или шланговой маской сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания с фильтром из природного клиноптилолита.

5.9.6. Утилизация и применение сварочных аэрозолей

При применении ФВА и очистных устройств в системах общеобменной вентиляции важной задачей является утилизация уловленных на фильтрах вредных веществ СА. Она производится в соответствии с требованиями санитарных правил № 3209, устанавливающих предельное количество накопления токсичных отходов на территории предприятия и № 3183, регламентирующих порядок накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов.

Образующаяся при сварке ТССА может накапливаться в фильтрующих элементах ФВА, а также, наряду с другими аэрозолями дезинтеграции (пылями) и аэрозолями конденсации, в пылеочистном оборудовании систем общеобменной вентиляции сборочно-сварочных цехов. При накоплении предельного количества ТССА в фильтрующем элементе, согласно инструкции его эксплуатации, он подлежит очистке (регенерации). Эта ТССА должна помещаться в бумажные или полиэтиленовые мешки, которые подлежат взвешиванию, внесению в журнал учета отходов, а затем доставке на промышленную площадку для дальнейшей транспортировки на полигон захоронения или на повторное использование в качестве шихтового материала. Обезвреживание ТССА

должно производиться на специальных полигонах захоронения в соответствии с требованиями санитарных правил № 3283.

Если для очистки от токсичных компонентов ГССА в ФВА применяется разработанный нами фильтрующий элемент из клиноптилолита, то по мере его насыщения вредными газами он может быть вторично использован в качестве добавок к строительным материалам. Использованный фильтрующий элемент из клиноптилолита, сберегаемый до его повторного применения или утилизации, при температурах до 400 °С не является источником выделения адсорбированных вредных газов.

Благодаря ценному комплексу физико-химических свойств ТССА, аналогично металлургическим шлакам, могут найти применение в производстве строительных материалов, дорожном строительстве, в качестве пигментов для строительных отделочных материалов, в сельском хозяйстве (для раскисления почв, получения минеральных удобрений и др.) Наличие в составе ТССА металлов и оксидов переходных металлов должны обуславливать ее сорбционно-каталитическую активность по отношению к ряду газов и паров. Как известно, ТССА является достаточно эффективным хемосорбентом фторосодержащих газообразных соединений (150 мг F/г пыли). В принципе ТССА должна сорбировать и остальные кислые газы: при взаимодействии оксидов металлов с кислыми газами в присутствии паров воды протекают реакции кислотно-основного взаимодействия с образованием соответствующих солей.

С другой стороны, наличие на поверхности ТССА оксидов кремния открывает широкие возможности модифицирования их поверхности путем введения различных функциональных групп и получения сорбентов с заданными свойствами для внедрения в различных областях химии, медицины, промышленности.

Для дуговой сварки плавлением, которая имеет широкое применение во многих отраслях хозяйственной деятельности, характерен высокотемпературный нагрев сопровождающийся испарением некоторой части основного и электродного материала. В результате рассеяния образующейся газопаровой смеси из высокотемпературной зоны дугового разряда в окружающую среду с более низкой температурой происходит конденсация паровой фазы с образованием мельчайших твердых частиц, взвешенных в потоке газов.

Установлено, что при сварке покрытыми электродами испаряется 1...3 % электродного материала. Интенсивность испарения металлического и шлакового расплавов, образующихся при плавлении электрода и основного металла, зависит от режимов сварки, техники сварки, пространственного положения сварки, составов электродного покрытия, основного и присадочного металлов. Эти же факторы оказывают боль-

шое влияние и на состав СА. Скорость испарения однофазного расплава определяется площадью его свободной поверхности и давлением насыщенного пара. Чем меньше теплота испарения вещества и больше температура его нагрева, тем интенсивнее идет процесс испарения.

При сварке, как правило, расплавляются не чистые металлы, а сплавы сложного состава. В этих случаях пар представляет собой смесь паров компонентов сплава, причем элементы с более низкой теплотой испарения будут составлять относительно большую часть (давление) паров. Избирательность является важнейшей особенностью испарения многокомпонентных систем. Например, из железомарганцевых расплавов при нагреве испаряется прежде всего марганец, причем этот процесс развивается тем интенсивнее, чем выше содержание марганца в расплаве.

Пар, образующийся преимущественно при испарении составляющих покрытия и стержня электрода, под воздействием плазменных потоков и давления дуги вытесняется из нижней зоны столба дуги в окружающее пространство с более низкой температурой. Здесь происходит конденсация паровой фазы и окисление некоторых продуктов конденсации (металлов и низших оксидов).

В процессе сварки в паровую фазу могут попадать многие элементы, входящие в состав электрода и свариваемого металла. В результате конденсации пара образуются твердые частицы сложного состава – 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) элементы. Содержание основных элементов колеблется от нескольких десятых до десятков процентов в зависимости от типа сварочного материала. В табл. 5.3. приведены данные о пределах изменения состава ТССА при сварке покрытыми электродами.

Содержание той или иной фазы ТССА зависит от состава сварочного материала, температуры и окислительного потенциала атмосферы дуги, давления паров элементов и их соединений при температуре плавления сварочной проволоки или электрода.

Неоднородность фазового состава частиц СА связана с тем, что высокотемпературный пар имеет сложный состав и отдельные его составляющие конденсируются при различной температуре. В первую очередь происходит конденсация элементов с более низким давлением пара ($P_{1040\text{K}}^{\text{Mn}} = 0,215 \text{ Па}$, $P_{1052\text{K}}^{\text{Fe}} = 0,148 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$), а затем элементов с более высоким давлением пара ($P_{1196\text{K}}^{\text{Na}} = 31,02 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $P_{1053\text{K}}^{\text{K}} = 30,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$).

Компоненты ТССА, аналогично металлургическим шлакам, находят применение в производстве строительных материалов, дорожном строительстве, в качестве пигментов для строительных отделочных материалов, в сельском хозяйстве (для раскисления почв, получения минеральных удобрений и др.)

Таблица 5.3

Значения состава ТССА при сварке покрытыми электродами, масс. %

Состав ТССА	Вид покрытия				
	Ильмени- товое	Рутилове	Целлюлозное	Основное	Специальное для сварки нержавеющих сталей
SiO ₂	18,0...27,0	17,0...36,0	10,0...12,0	3,8...11,5	1,4...16,5
TiO ₂	0,6...4,9	0,6...5,5	1,9...1,5	0,1...0,93	0,3...46,7
Al ₂ O ₃	0,1...0,54	0,1...1,4	0,1...0,6	0,1...2,2	0,7...4,4
Fe ₂ O ₃	24,3...50,6	24,0...53,8	42,0...80,0	10,5...35,2	1,9...31,3
MnO	5,3...11,2	4,7...10,2	5,0...5,5	2,5...8,2	1,0...15,8
CaO	0,1...1,89	0,1...1,8	0,2...0,3	1,5...17	3,9...57,0
MgO	0,4...3,0	0,1...2,5	до 0,7	0,1...15,0	0,12...2,67
K ₂ O	4,6...11,2	3,0...11,4	0,4...5,2	1,9...33,6	0,3...24,5
Na ₂ O	2,7...12,7	5,0...10,8	3,3...7,5	1,0...30,3	2,3...29,9
F	–	–	–	11,4...23,5	2,5...32,7
Cr ₂ O ₃	–	–	–	–	1,0...34,5
Ni	–	–	–	–	0,01...1,30

Применение ТССА возможно так же непосредственно при изготовлении отдельных узлов сварочной аппаратуры и приспособлений. Так при эксплуатации сварочной горелки используемой для механизированной сварки в среде защитных газов применяются текстолитовые втулки, изолирующие сопло от токоведущих частей. Эти втулки являются слабым звеном конструкции держателя, так как быстро выходят из строя: они сгорают за 4...4,5 часа работы полуавтомата. Поэтому при эксплуатации горелки такие втулки расходуются в больших количествах. Втулки из асбестового полотна, склеенного жидким стеклом, дешевле, стойкость их дольше (112...115 ч.), но технология их изготовления сложна.

С целью увеличения стойкости и упрощения технологии изготовления для облегченного держателя возможно применение конструкции металлокерамической втулки (рис. 5.28.) состоящей из стального корпуса 1, стальной втулки с резьбой 2 и изолятора 3, изготовленного из смеси следующего состава: ТССА, силикат натрия, каолин, бура и борная кислота.

Изготовление изоляционных втулок достаточно просто и не требует дорогостоящей оснастки.

Стальные детали втулки I (рис. 5.29) устанавливаются на медную оправку 2 и прижимаются направляющим цилиндром 3, в полость которо-

го засыпается определенное количество порошкообразной смеси. Пуансоном 4 за один ход поршня прессы смесь спрессовывается. Затем цилиндр и пуансон снимают, а изоляционную втулку с помощью медного кольца 5 и клина 6 закрепляют на оправке и помещают в электропечь, где при температуре 850...900 °С ее спекают в течение 30 мин. После остывания на воздухе изоляционную втулку снимают с оправки и калибруют в ней резьбу.

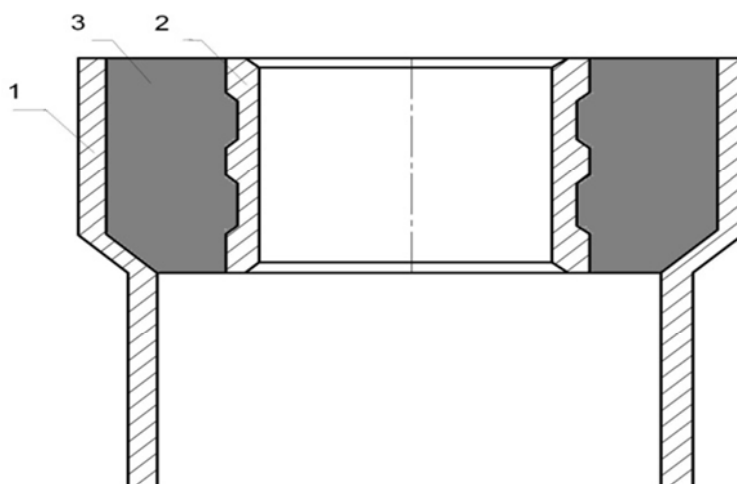


Рис. 5.28. Металлокерамическая изоляционная втулка

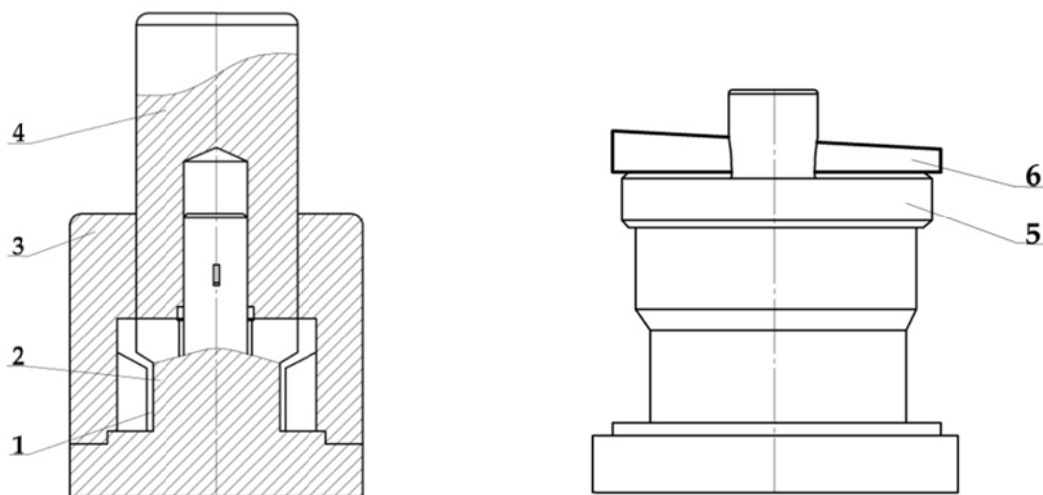


Рис. 5.29. Приспособление для изготовления изоляционных втулок

Рабочее место по изготовлению металлокерамических втулок должно быть оснащено 15...20 оправками, направляющим цилиндром, пуансоном, прессом небольшой мощности и электропечью МП-2У.

Производственные испытания металлокерамических изоляционных втулок на горелках полуавтоматов, выполняющих сварку на форсированных режимах проволокой диаметром 1,6 мм, показали их высокие

изоляционные свойства и хорошую огнеупорность. Стойкость каждой втулки достигает 1800...2000 ч. ТССА так же применяют как добавку в синтетические композиционные материалы (КМ). Метод получения КМ, названный полимеризационным наполнением, теоретически обоснован в работах. Синтетические КМ получали полимеризацией этилена в суспензионном режиме на поверхности частиц ТССА в среде деароматизированного бензина при давлении этилена 0,3...1,0 МПа, температуре 60...80 °С, времени контакта – 30...60 мин.

В связи с тем, что собственный каталитический ресурс ТССА оказался недостаточным для полной конверсии мономера в полимер, поверхность частиц ТССА дополнительно активировали комплексными металлоорганическими катализаторами $TiCl_4$ и $Al(изо-C_4H_9)_3$. Содержание $TiCl_4$ составляло 2 ммоль/л, мольное соотношение Al/Ti равно 1,5...2,0.

Деформационно-прочностные характеристики синтетических и смесевых композитов ПЭСВМ-ТССА, содержащих до 30 масс.% ТССА, практически одинаковы. С увеличением степени наполнения синтетические КМ имеют более высокие показатели деформационно-прочностных свойств, по-видимому, вследствие уменьшения агрегации и равномерного распределения частиц ТССА в полимерной матрице.

Смесевые и синтетические КМ на основе полиэтилена, наполненные ТССА (20...40 масс.%), могут быть использованы в качестве конструкционных материалов для изготовления продукции бытового и специального назначения.

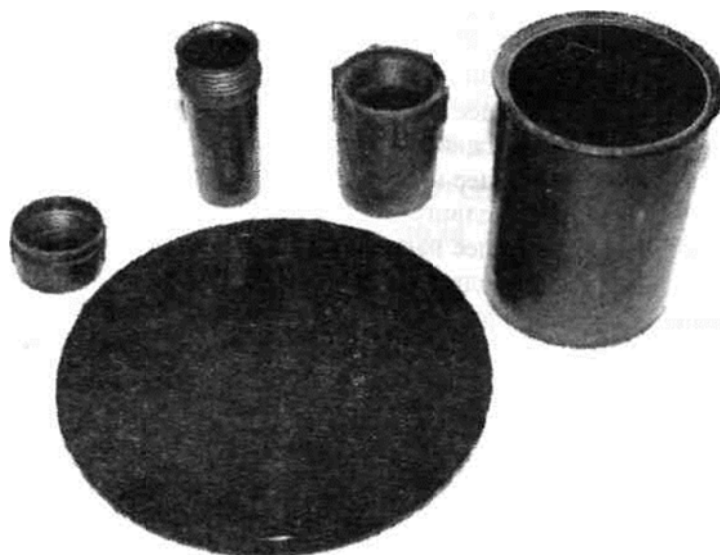


Рис. 5.30 Образцы изделий бытового и специального назначения, изготовленные из КМ на основе полиэтилена, наполненного ТССА (20...40 масс.%)

На рис. 5.30 представлены образцы изделий технического назначения – пенал с завинчивающейся крышкой для хранения сыпучих материалов, декоративная пластинка – облицовочный материал, фрагмент трубы (для подземных канализационных коммуникаций).

Особый научный и практический интерес представляет использование ТССА для изготовления блочно-сотовых керамических катализаторов.

Кроме того, ТССА можно использовать как наполнитель *реактопластов*. При отверждении полиэтиленполиамином олигомеров – эпоксидиановой смолы ЭД-20 (50 масс.%) и эпоксикремнийорганической смолы Т-111 (50 масс.%), наполненных ТССА, в зависимости от степени наполнения (a , %) определены [5] следующие значения физико-механических параметров сшитых реактопластов:

- при $a=38$ % разрушающее напряжение при сжатии – 69 МПа, напряжение при сдвиге – 5,5 МПа, термостойкость 120°C;
- при $a=40$ % разрушающее напряжение при сжатии – 75 МПа, напряжение при сдвиге – 7,0 МПа, термостойкость 270°C;
- при $a=45$ % разрушающее напряжение при сжатии – 80 МПа, напряжение при сдвиге – 7,5 МПа, термостойкость 270°C.

Выводы по главе 5

1. На основе современных представлений о способах улавливания вредных веществ, загрязняющих воздух производственной среды при электросварке, получили дальнейшее развитие основы расчетов устройств местной вытяжной вентиляции в системах очистки воздуха. Предложена система математических уравнений для расчета требуемой производительности местных вытяжных устройств, учитывающих не только их геометрические и кинетические характеристики, как практиковалось ранее, но также химический состав выделяющихся сварочных аэрозолей. С учетом необходимого условия обеспечения нормируемого содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны сварщика выведены уравнения, позволяющие определять их содержание в различных точках этой зоны в зависимости от расхода удаляемого воздуха. Результаты расчетов по данному уравнению показали, что концентрации вредных веществ на входе во всасывающее отверстие местного вытяжного устройства и соответственно в зоне дыхания сварщика снижаются с увеличением расхода удаляемого воздуха. Установлено, что существуют определенные значения расхода воздуха, при которых концентрации вредных веществ равняются ПДК и, начиная с которых, увеличение расхода воздуха снижает содержание этих веществ в воздухе рабочей зоны ниже ПДК. С увеличением рас-

стояния от всасывающего отверстия содержание вредных веществ снижается. Максимальная концентрация СА имеет место в области его движения из зоны сварочной дуги ко всасывающему отверстию местного вытяжного устройства; чем дальше от этой зоны находится сварщик, тем меньше он подвержен вредному влиянию СА.

2. Исследован комплект средств местной вентиляции и индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков нового поколения, а также предложены рекомендации по их применению при различных способах и условиях сварки:

- ФВА «Темп-2000» и модификации на его основе – для ручной дуговой сварки покрытыми электродами в производственных помещениях;
- ПВА «Шмель-2500» – для сварки различными способами в замкнутых объемах;
- горелки с отсосом СА марок ГСЛ-315-УЗ, ГСЛ-315-УЗМ и ГСД-315-УЗ – для механизированной сварки в защитных газах в производственных помещениях;
- защитная маска сварщика с портативной системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-50», устройство очистки и подачи воздуха в зону дыхания сварщика «Шмель-40» и шланговая защитная маска с системой очистки и подачи воздуха – для сварки в труднодоступных и недостаточно вентилируемых помещениях или в условиях, где невозможно применять никакие средства вентиляции.

Усовершенствована ФВА «Мрія-1» путем установки второй ступени фильтра из модифицированного кадмий- или кобальт-замещенного клиноптилолита для очистки воздуха от вредных газов СА.

3. ФВА «Темп-2000» обеспечивает эффективное улавливания СА, очистку воздуха и повышенный срок использования фильтра за счет применения рукавного фильтра, обеспечивающего его удобную регенерацию.

4. Особенностью ПВА «Шмель-2500», кроме высокой эффективности удаления СА, является обеспечение требований электробезопасности при работе в замкнутых помещениях с повышенной опасностью.

5. Предлагаемые сварочные горелки с отсосом марок ГСЛ 315-УЗ, ГСЛ-315-УЗМ и ГСД-315-УЗ имеют высокую эффективность удаления СА. Применение для механизированной сварки в углекислом газе указанных горелок с отсосом не оказывает отрицательного влияния на качество сварных швов: швы не имеют дефектов, содержание азота в них повышается незначительно. Воздушный тракт указанных горелок имеет более низкое аэродинамическое сопротивление по сравнению с анало-

гичными ранее созданными, что позволяет использовать их в комплекте с серийно выпускаемыми отечественными и зарубежными фильтровентиляционными агрегатами.

6. Защитная маска сварщика с портативной системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-50» обеспечивает удобство при выполнении сварки на нестационарных рабочих местах.

Шланговая защитная маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха обеспечивает наиболее эффективную защиту органов дыхания при работе на стационарных сварочных постах.

Устройство очистки и подачи воздуха в зону дыхания сварщика «Шмель-40» позволяет эффективно защищать органы дыхания при относительно небольшом расходе подаваемого воздуха по сравнению с защитной маской с аналогичной системой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации по диагностике и профилактике профессиональных заболеваний у электросварщиков. – Киев: Министерство здравоохранения УССР, 1980. – 26 с.
2. Горбань Л.Н., Лубянова И.П. Интенсификация процессов дуговой сварки и проблемы сохранения здоровья сварщика // Сварочное производство. – 1991. – № 3. – С. 33–34.
3. Kundiev Yu., Gorban L. Some approaches to the establishment of permissible levels of welding aerosol in the air. – Int. Conf. On Health Hazards and Biological Effects of Welding and Gases, – Copenhagen, February 1985. – Ed. R.M.Stern et al. – Publ. Excerta Medika, Amsterdam, 1986. – P. 583–586.
4. Stern R.M. Assessment management and reduction of risk for welder (Denmark) // Institute International Welding (IIW) Doc. VIII-1309-86. – 31 p.
5. Health effects of occupational exposure of welder to chromium. Health Aspects of Chemical Safety. Interim Document 8. Monitoring and Epidemiology. World Health Organization Regional office for Europe, Copenhagen. IIW Doc. VIII-1095-83.– P. 43–53.
6. Горбань Л.Н., Краснюк Е.П., Факторов И.Е. Влияние условий труда на состояние здоровья и заболеваемость работающих в сварочном производстве // Гигиена труда: Респ. межвед. сб. – 1983. – вып. 19. – С. 40–49.
7. Гигиеническая оценка воздушной среды при сварочных работах / Киреев В.И., Мосолов Н.И., Головатюк А.П., Супрун С.А. // Методы оценки производственной среды промышленных предприятий. – М.: Медицина, 1980. – С. 91–100.
8. Мигай К.В. Гигиена труда, заболеваемость и оздоровительные мероприятия при электросварке в судостроении // Гигиена труда и техника безопасности при электросварочных работах. – М., 1962. – С. 19–27.
9. Quelques considerations sur le mecanisme de formation des fumees de soudage / M. Kobayashi, S. Maki, V. Hashimoto, T. Suga // Soudage et technique connexes. – 1979. – № 3 / 4. – P. 124–131.
10. Алов А.А. Основы теории процессов сварки и пайки. – М.: Машиностроение, 1964. – 272 с.
11. Фролов В.В. Физико-химические процессы в сварочной дуге. – М.: Машгиз, 1954. – 131 с.
12. Хренов К.К. Электрическая сварочная дуга. – М.: Машгиз, 1949. – 140 с.
13. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.
14. Рабкин Д.М. Энергетическое исследование приэлектродных областей мощной сварочной дуги // Автоматическая сварка. – 1951. – № 2. – С. 3–25.
15. Фрумин И.И., Походня И.К. Исследование средней температуры сварочной ванны // Там же. – 1955. – № 4. – С. 13–30.

16. Походня И.К. Газы в сварных швах. – М.: Машиностроение, 1972. – 256 с.
17. Ерохин А.А. Кинетика металлургических процессов дуговой сварки. – М.: Машиностроение, 1964. – 256 с.
18. Петров В.А. Перенос металла в дуге и проплавление основного металла при сварке в среде защитных газов // Автомат. сварка. – 1957. – № 4. – С. 19–28.
19. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением: Физико-химические закономерности. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
20. Эрман М.И., Потапьевский А.Г., Бучинский В.Н. Некоторые пути уменьшения пылевыделения при сварке плавящимся электродом в защитных газах // Свароч. пр–во. – 1972. – № 3. – С. 51–52.
21. Кох Б.А. Основы термодинамики металлургических процессов сварки. – Л.: Судостроение, 1975. – 240 с.
22. Новожилов Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в газах. – М.: Машиностроение, 1979. – 231 с.
23. Gray C.N., Hewitt P.J., Dare P.R. M. New approach would help control weld fume at source. Part two: MIG fumes // Weld. and Met. Fabrication. – 1982. – № 10. – P. 393–397.
24. Заруба И.И. Механизм разбрызгивания металла при дуговой сварке // Автомат. сварка. – 1970. – № 11. – С. 12–16.
25. Заруба И.И. Факторы, определяющие разбрызгивание металла при сварке с короткими замыканиями // Там же. – 1974. – № 8. – С. 71.
26. Заруба И.И. Электрический взрыв как причина разбрызгивания металла // Там же. – 1970. – № 3. – С. 14–18.
27. Heile R.P., Hile D.C. Particulate fume generation in arc welding processes // Weld. J. – 1975. – № 7. – P. 201–210.
28. Исследование химических соединений в твердой фазе сварочных аэрозолей / Т.С. Вебляя, А.П. Головатюк, Н.П. Харченко, Л.А. Шевченко // Комплексные средства защиты оператора при дуговой сварке и перспективные направления работ в этой области. – М.: Информэлектро, 1978. – 11 с.
29. Morita N., Tanigaki T. Investigation on welding fumes from covered electrode and development of low fume electrodes // IIW Doc. II-818-77. – 7 p.
30. Металлургия дуговой сварки: Процессы в дуге и плавление электродов / И.К. Походня, В.Н. Горпенюк, С.С. Миличенко и др. // Под ред. И.К. Походни. – Киев: Наук. думка, 1990. – 224 с.
31. Voitkevich V. Welding fumes. Formasion, properties and biological effects. – Abington publishing, 1995. – 120 p.
32. Левченко О.Г. Влияние состава защитного газа и режимов сварки на валовые выделения сварочного аэрозоля // Автомат. сварка. – 1986. – № 1. – С. 73–74.
33. Чигарев В.В., Швец Т.Н. Санитарно-гигиеническая оценка процессов сварки и наплавки // Вестник Приазовского технического университета. – 1995. – № 1. – С. 161–164.
34. Терехин А.С., Мосолов Н.И. Безопасность труда электросварщика. – М.: Машиностроение, 1990. – 99 с.

35. Окислы азота: Гигиенические критерии состояния окружающей среды. – Вып. 4. – Женева: Всемир. орг. здравоохранения, 1981. – 91 с.
36. Press H. Formation des oxydes d'azote lors du soudage aux gaz. – Mesures pour la prevention d'atteintes a la sante // Soudage et techniques connexes. – 1981. – № 516. – P. 207–212.
37. Sipek L. Emission of gases pollutants during GTA Welding of Yorcalbro Brass // IW Doc. VIII-1443-88. – 16 p.
38. Sipek L., Smars E. Ozone and nitrogen oxides in gas shielded arc welding // IW Doc. VIII-1486-89. – 21 p.
39. Гуревич С.М. Справочник по сварке цветных металлов. – Киев: Наук. думка, 1981. – 608 с.
40. Левченко О.Г. Процессы образования сварочного аэрозоля (Обзор). – Автомат. сварка. – 1996. – № 4. – С. 17–22.
41. Мазель А.Г. Технологические свойства электросварочной дуги. – М.: Машиностроение, 1969. – 178 с.
42. Suga T., Kobayashi M. Fume generation in CO₂ arc welding by flus-cored wire. Quarterly // J. Jap. Soc. – 1984. – № 4. – P. 68–75.
43. Особенности испарения натрия, калия, магния и кальция из сварочных шлаков, содержащих двуокись титана / Походня И.К., Булат А.В., Явдошин И.Р. и др. // Автомат. сварка. – 1986. – № 3. – С. 27–29.
44. Criteria for classification of MMA welding electrodes regarding fume // IW Doc. II-E-820-77. – 9 p.
45. Magnusson E.J., Rosendahl C.H. Studies of the possibilities of classifying welding electrodes according to fume generation. IW Colloquium on «Welding and health» // IW Doc. II-E-301-80. – 8 p.
46. Мигай К.В., Тимофеева О.Н., Юштин Е.И. Техника безопасности при электросварочных работах в судостроении. – Л.: Судостроение, 1964. – 64 с.
47. Степанов А.Г., Головатюк А.П. Охрана труда сварщика. – Киев: Общество «Знание», УССР, 1978, – 20 с.
48. Подгаецкий В.В., Головатюк А.П., Левченко О.Г. О механизме образования сварочного аэрозоля и прогнозировании его состава // Автомат. сварка. – 1989. – № 8. – С. 9–12.
49. Эрман М.И. Некоторые гигиенические аспекты дуговой сварки в среде углекислого газа // Оздоровление условий труда при сварочных работах: Сб. материалов науч.-техн. конференции по вопросам гигиены труда и техники безопасности при сварочных работах (Москва, 26–28 марта 1968 г.) – М., 1968. – С. 141–144.
50. Левченко О.Г., Дяченко А.С., Ульянов В.И. Валовые выделения сварочных аэрозолей, образующихся при применении кремнемарганцевых сварочных проволок // Автомат. сварка. – 1984. – № 10. – С. 76–78.
51. Левченко О.Г. Образование аэрозолей при дуговой сварке стали в защитных газах и способы снижения их выделений. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.03.06 / ИЭС им. Е.О. Патона. – К., 1988. – 16 с.

52. Мигай К.В. Гигиеническая оценка условий труда при электросварке в среде защитных газов // Оздоровление условий труда при сварочных работах: Сб. материалов науч.-техн. конференции по вопросам гигиены труда и техники безопасности при сварочных работах (Москва, 26–28 марта 1968 г.). – М., 1968. – С. 113–115.
53. Оноприенко Е.Н. Гигиеническая оценка сварочных порошковых проволок: Автореф. дис... канд. мед. наук: 14.00.07 / Киевск. НИИ гигиены труда и проф. заболеваний. – К., 1982. – 19 с.
54. Походня И.К., Супрун С.А., Оноприенко Е.Н. Зависимость токсичности сварочной пыли от содержания в ней фтора и марганца // Гигиена труда: Респ. междувед. сб. – 1983. – Вып. 19. – С. 20–24.
55. Методические указания по профилактике заболеваний у рабочих при новых методах сварки и наплавки с использованием новых сварочных материалов. – Киев, 1976. – 23 с.
56. Алексеева И.С., Норкин Ю.И. Гигиена и безопасность труда при электросварочных и плазменных работах в судостроении. – Л.: Судостроение, 1984. – 112 с.
57. Корюкаев Ю.С. Производственная санитария в судостроении. – Л.: Судостроение, 1969. – 78 с.
58. Головатюк А.П. Система оздоровительных мероприятий при сварке // Оздоровление условий труда на предприятиях машиностроения. – Киев, 1975. – С. 4–7.
59. Метлицкий В.А., Левченко О.Г., Гурешидзе В.А. Работы ИЭС им. Е.О. Патона по оздоровлению условий труда сварщиков // Автомат. сварка. – 1994. – № 5–6. – С. 41–44.
60. Эрман М.И., Кабасин С.Г. Сравнительная гигиеническая оценка полуавтоматической сварки в аргоно-кислородной смеси, углекислом газе и смесях с CO₂ // Автомат. сварка. – 1971. – № 4. – С. 69–70.
61. Press H., Florian W. Formation of toxic substances in gas shielded arc welding. Part 2: Amount of toxic substances formed in the gas shielded welding processes MAG, MIG and GTA // IW Doc. VIII-880-80. – 57 p.
62. Чигарев В.В., Алистратов В.Н. Влияние режима наплавки бронзы порошковой лентой на производительность и пылевыведение // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 1998. – № 6. – С. 196–198.
63. Левченко О.Г. Технологические способы снижения уровня образования сварочного аэрозоля (Обзор) // Свароч. пр-во. – 1998. – № 3. – С. – 32–38.
64. Gray C.N., Hewitt P.J., Dare P.R. M. New approach would help control weld fume at source. Part three: MMA fumes // Weld. and Met. Fabrication. – 1983. – № 1 / 2. – P. 52–55.
65. Исследование химических соединений в твердой составляющей сварочных аэрозолей методами ИК-спектроскопии и рентгенофазового анализа / Т.С. Вебляя, О.Г. Левченко, Н.П. Харченко, Л.А. Шевченко // Гигиена труда: Респ. междувед. сб. – 1983. – Вып. 19. – С. 86–90.

66. Применение физических методов для изучения состава твердой составляющей сварочных аэрозолей / А.П. Головатюк, О.Г. Левченко, Т.С. Вебляя и др. // Свароч. пр-во. – 1984. – № 3. – С. 37–38.
67. Gray C.N., Hewitt P.J., Goldstone A. The evolution of hexavalent chromium in metallic aerosols // Am. Ind. Hyg. Ass. – 1983. – № 44. – P. 384–389.
68. Воронцова Е.И., Карачаров Т.С. Гигиеническая оценка рутиловых электродов марки ЦМ-9 // Свароч. пр-во. – 1959. – № 6. – С. 40.
69. Походня И.К., Бейниш А.М., Марченко А.Е. Высокопроизводительные низкотоксичные электроды АНО-1 // Автомат. сварка. – 1962. – № 3. – С. 19–26.
70. Походня И.К., Марченко А.Е., Явдошин И.Р. Универсальные низкотоксичные электроды АНО-3 и АНО-4 // Автомат. сварка. – 1964. – № 8. – С. 11–18.
71. Головатюк А.П., Липодаев В.Н., Захаров Л.С. Сравнительная гигиеническая оценка электродов для сварки высоколегированных сталей // Автомат. сварка. – 1976. – № 3. – С. 61–63.
72. Походня И.К., Супрун С.А., Шлепаков В.Н. Порошковая проволока ПП-АН9 с улучшенными гигиеническими характеристиками // Свароч. пр-во. – 1973. – № 1. – С. 48–49.
73. Буки А.А., Фельдман А.М., Ерохин А.А. О потерях легирующих элементов при сварке в защитных газах // Свароч. пр-во. – 1973. – № 3. – С. 9–11.
74. Буки А.А., Степанов В.В., Фельдман А.М. Математическая модель испарения легирующих элементов при сварке // Физика и химия обработки материалов. – 1975. – № 5. – С. 110–117.
75. Буки А.А., Фельдман А.М. О прогнозировании состава аэрозолей при сварке в защитных газах // Свароч. пр-во. – 1980. – № 2. – С. 6–8.
76. Фельдман А.М. Исследование испарения и окисления легирующих элементов при автоматической сварке в защитных газах: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.04.05 / Уральск. политехн. ин-т. – Свердловск, 1980. – 23 с.
77. Двуокись титана в высококремнистых марганцевых флюсах / Галинич В.И., Подгаецкий В.В., Бендер В.С. и др. // Автомат. сварка. – 1968. – № 8. – С. 76.
78. Разработка сварочных флюсов пониженной токсичности общего назначения / В.И. Галинич, В.С. Бендер, В.В. Подгаецкий и др. // Сварочные материалы. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1972. – С. 50–57.
79. Рекомендации по проектированию отопления и вентиляции заготовительных и сборочно-сварочных цехов. – М.: Госстрой СССР. – 1971. – 29 с.
80. Проволока с улучшенными гигиеническими характеристиками для дуговой сварки чугуна / Метлицкий В.А., Горбань Л.Н., Рязанов А.В. и др. // Автомат. сварка. – 1985. – № 6. – С. 72–73.
81. Метлицкий В.А., Горбань Л.Н., Рязанов А.В. Технологические и гигиенические характеристики электродных проволок сплошного сечения для сварки чугуна // Свароч. пр-во. – 1992. – № 9. – С. 13–15.

82. Ways of improving labour conditions and protecting the health of Ukrainian welders / V.A. Metlitsky, L.M. Lobanov, A.A. Masur, L.N. Gorban, E.P. Krasnyuk // Proc. Int. conf. «Health and safety in welding and related process» (23–24 march 1993, Pretoria, South Africa, 1993. – 12 p.
83. Местные вытяжные устройства к оборудованию для сварки и резки металлов: Методические указания по проектированию. – Л.: ВЦСПС, 1980. – 52 с.
84. Левченко О.Г., Метлицкий В.А. Современные средства защиты органов дыхания сварщиков. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1993. – 20 с.
85. Писаренко В.Л., Рогинский М.Л. Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве. – М.: Машиностроение, 1981. – 121 с.
86. Гримитлин М.И. Пути дальнейшего повышения эффективности вентиляции и экологической безопасности сварочного производства // Актуальн. пробл. вентиляции и экологич. безопасности в свароч. пр-ве: Материалы науч.-техн. семинара. (Ленинград, 5–6 июля 1990 г.). – Л.: ЛДНТП, 1990. – С. 3–10.
87. Улучшение состояния воздушной среды в сборочно-сварочных цехах / М.И. Гримитлин, С.Ю. Кондрашов, И.С. Алексеева и др. // Охрана труда в условиях интенсификации производства. – Л., 1987. – С. 40–61.
88. Дж. Плимут АБ. Чистый свежий воздух: Каталог. – Мальме (Швеция), 1988. – 30 с.
89. Экономическая эффективность применения фильтровентиляционных установок в электросварочном производстве / Ю.И. Кундиев, Л.Н. Горбань, А.А. Мазур, Е.П. Тупчий // Новые процессы сварки, наплавки и газотермических покрытий в машиностроении: Тез. докл. всесоюз. науч.-техн. конф. (Таганрог, окт. 1986 г.). – Таганрог: Дом техники, 1986. – С. 83–88.
90. Кундиев Ю.И., Мазур А.А., Горбань Л.Н. Гигиенический и экологический аспекты проблемы борьбы со сварочными аэрозолями // Свароч. про-во. – 1987. – № 3. – С. 1–3.
91. Мазур А.А., Горбань Л.Н., Эннан А.А. Экономика оздоровления воздушной среды при сварке // Экологич. пробл. свароч.пр-ва: I Междун. семинар (Гливице, Польша, 13–15 окт. 1992 г.). – Гливице: МАС, 1992. – С. 37–39.
92. Гримитлин А.М., Левченко О.Г. Вентиляционное оборудование НПП «Экоюрус-Венто» для сварочных цехов // Сварщик. – 2000. – № 1. – С. 25–27.
93. Verkort abe van lasvookafzuiging // Lastechnik. – 1986. – 52, N 6. – S. 135–136.
94. Левченко О.Г., Метлицкий В.А. Современные средства вентиляции при сварке (Обзор) // Автомат сварка. – 1995. – № 3. – С. 40–48.
95. Чистый свежий воздух: Прайслист. – Л.: Совплим, 1991. – 16 с.
96. Schweisstrauch: Eine Gefahr fur die Gessuvdheit // Blech Rohre Profile. – 1991. – 30, № 5. – S. 433.
97. Schweisstrauch beseitigen // Bus-Faahrt. – 1990. – 38, № 11. – С. 54.

98. Андрианов Ю.И., Вейцман Б.А., Опаренко Ф.О. Обобщенный критерий оценки конструкции фильтровентиляционных агрегатов, применяемых для улавливания сварочного дыма // Экологич. пробл. свароч. пр-ва: I Междунар. семинар (Гливице, Польша, 13–15 окт. 1992 г.) – Гливице: МАС, 1992. – С. 30–31.
99. Регенерация формовочного материала и обезвреживание отходящих газов в производстве литья по пенополистироловым моделям / Хвастухин Ю.И., Когута Н.К., Глухоманюк А.М. и др. // Литейное производство. – 1991. – № 1. – С. 20–21.
100. Хвастухин Ю.И., Когута Н.К., Глухоманюк А.М. Установки для обезвреживания выбросов производства литья по газифицируемым моделям // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1994. – № 3. – С. 34–40.
101. Хвастухин Ю.И., Шуляк В.С., Шинский О.И. Экологические аспекты литья по газифицируемым моделям // Литейное производство. – 1998. – № 7. – С. 17–19.
102. Лапшин О.Є., Бондарчук О.М. Знепилення на діючих шламосховищах // Охорона праці. – 2001. – № 7. – С. 30–31.
103. Лапшин О.Є. Ефективність осадження пилу в умовах гірничих виробок шахт // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу. – Кривий Ріг: НДІБПГ. – 2000. – С. 49–57.
104. Высокоэффективная очистка воздуха / Под ред. П. Уайта и С. Смита. – М.: Атомиздат, 1967. – 312 с.
105. Волокнистые фильтрующие материалы ФП / И.В. Петрянов, В.И. Козлов, П.И. Басманов, Б.И. Огородников. – М.: О-во «Знание», 1968. – 80 с.
106. Питрунов А.И. Обеспыливание воздуха. – М.: Стройиздат, 1981. – 296 с.
107. Фуке К.А. Механика аэрозолей. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 352 с.
108. Соколов В.А. Молекулярные сита и их применение. – М.: Наука, 1964. – 149 с.
109. Мирский Я.В. Новые адсорбенты – молекулярные сита. – М.: Наука, 1964. – 112 с.
110. Эннан А.А., Туманов Э.В., Федорович А.Ю., Привалов В.Д. Синтетические фильтрующие среды для улавливания твердой составляющей сварочного аэрозоля // Автомат. сварка. – 1997. – № 7. – С. 54–55.
111. Roder M. Entwicklung eines mobilen Gerstes zur Schweissraucherfassung und abschlidung im Umlift-betrieb // Umweltgestalt. Productionsbereich. – Leipzig, 1986. – S. 116–119.
112. Гримитлин К.М., Матвеев Ю.Т. Снижение загрязнения атмосферного воздуха при сварочных работах // Современные способы очистки вредных выбросов в атмосферу: Материалы науч.-техн. семинара, (Ленинград, 5–6 июля 1990). – Л. ЛДНТП, 1991. – С. 62–64.
113. Fahrezeng + Kaposs. – 1989. – 42, № 12. – S. 15.
114. Установка фильтр-поглотительная УФП2-УХЛ4 / А.А. Эннан, А.Н. Бутвин, В.М. Солодов и др. – Киев, 1989. – 2 с. – (Информ. письмо / АН УССР, Институт электросварки им. Е.О. Патона); № 61.

115. Тупчий Е.П., Лорберг П.И. Разработка и изготовление местных вытяжных устройств и ФВА // Актуальн. пробл. вентиляции и экологич. безопасности в свароч. пр-ве: Материалы науч.-техн. семинара (Ленинград, 5–6 июля 1990 г.). – Л.: ЛДНТП, 1990. – С. 33–35.
116. Рябинин А.Д., Голуб В.П. Разработка горелки со встроенным вытяжным устройством для полуавтоматической сварки в углекислом газе // Актуальн. пробл. вентиляции и экологич. безопасности в свароч. пр-ве: Материалы науч.-техн. семинара (Ленинград, 5–6 июля 1990 г.). – Л.: ЛДНТП, 1990. – С. 46–50.
117. Гешлин Л.А. Расширять применение сварочных горелок со встроенным отсосом при механизированной сварке // Свароч. пр-во. – 1988. – № 8. – С. 42–43.
118. Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов. – М.: Минздрав СССР, 1973. – 28 с.
119. Голуб В.П., Рябинин А.Д., Федоренко Г.А. Разработка и опыт эксплуатации экологической горелки со встроенным вытяжным устройством для полуавтоматической сварки в среде CO₂ в комплекте с фильтровентиляционной установкой // Экологическ. пробл. свароч. пр-ва: I Междунар. семинар (Гливице, Польша, 13–15 окт. 1992 г.). – Гливице: МАС, 1992. – С. 13–14.
120. ЭКСВАР: Физико-химический институт защиты окружающей среды и человека. – Одесса, 1993. – 10 с.
121. Левченко О.Г., Метлицкий В.А. Современные средства вентиляции рабочих мест и индивидуальной защиты сварщиков (Обзор). – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1997. – 32 с.
122. Методические рекомендации по применению средств индивидуальной защиты органов дыхания. – Л.: ВНИИОТ ВЦСПС, 1982. – 44 с.
123. Каминский С.Л., Басманов П.И. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. – М.: Машиностроение, 1982. – 128 с.
124. Левченко О.Г., Метлицкий В.А. Современные средства индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков (Обзор) // Автомат. сварка. – 1995. – № 7. – С. 45–50.
125. Общие требования к фильтрующим респираторам / С.Н. Шатский, С.Л. Каминский, П.И. Басманов и др. // Методико-технические проблемы индивидуальной защиты человека. – М.: Медицина, 1977. – С. 85–91.
126. «Лепесток» (Легкие респираторы) / И.В. Петрянов, В.С. Кошечев, П.И. Басманов и др. – М.: Наука, 1984. – 216 с.
127. Фильтрующий газопылезащитный респиратор «Снежок ГП-В» / А.А. Эннан, В.И. Байденко, В.Г. Шнейдер и др. – Киев, 1990. – 2 с. – (Информ. письмо / АН УССР, Институт электросварки им. Е.О. Патона); № 33.
128. Высокоэффективные средства защиты органов дыхания. Фильтровентиляционные установки: Проспект МПЦ «Антарес». – Одесса, 1993. – 4 с.
129. Эннан А.А., Шнейдер В.Г., Байденко В.И. Универсальная маска для защиты сварщика // Автомат. сварка – 1995. – № 3. – С. 57–58.

130. Эннан А.А., Большаков Д.А., Горбань Л.Н. Облегченные респираторы типа «Снежок» // Сварщик. – 1999. – № 1. – С. 32–33.
131. Speedglas-Schweisshelm // Ind.-Anz. – 1991. – 113, № 11. – S. 36.
132. Racial powered respiratory protection for comfort / Racial Health and Safety. – Frederick (USA), 1989. – 4 p.
133. Weldomatic and fresh air: Products for high performance welding // Nederman (Sweden). – 1994. – № 60. – 8 p.
134. Пат. 52-52143 Японии, МКИ А 61 9/06. Сварочная маска со светофильтром на жидких кристаллах. – Оpubл. 26.04.47. – 3 с.
135. Пат. 4039803 США, МКИ² В 23 К 9/32. Электрооптическая система сварочного шлема. – Оpubл. 02.08.77. – 2 с.
136. Automatischer Schweißschutzschirm auf Flussig-Kristalbasis / Ind. Rept. – 1983. – № 5. – S. 238.
137. Пат. 4293757 США, МКИ³ В 23 К 9/32. Автоматическая сварочная маска с вентиляцией. – Оpubл. 06.10.81. – 3 с.
138. Пат. 31081487 ФРГ, МКИ³ А 42 В 3/00. Защитный шлем для сварочных работ. – Оpubл. 30.09.82. – 2 с.
139. Wiligen S. De arbo-wet tn het lasrookprobleem // Lastechnick. – 1986. – 52, № 6. – S. 128–130.
140. Casque de soudore // Nauri., Ports et Chant. – 1985. – 36, № 25. – P. 568–569.
141. Schweisser-Schutzfilter-Schutzfilter // Giesser.–Prax. – 1982. – № 5–6. – S. 97.
142. Omni-View-Schweisser-Schutzfilter nach DIN // Stahlban. – 1982. – 51, № 2. – S. 7.
143. Frembeluftetes Schweisser-Atrmschutzset // Tierarztliche. Umschau. – 1982. – 23, № 2. – S. 80–81.
144. Пат. 2368265 Франция, МКИ² А 61 9/06. Усовершенствование маски электросварщика. – Оpubл. 19.05.78. – 2 с.
145. Schweisserschutzschild saugt Schweissrauch an der Entstehungsstelle ab // Maschinenmarkt. – 1982. – 88, № 8. – S. 132.
146. Schweisserschutzschild-Absaugung // Merallhandwerk Techn. – 1988. – 90, № 3. – S. 239.
147. Пат. 91313 ГДР, МКИ¹ А 61 9/06. Защитный щиток для электросварочных работ. – Оpubл. 12.07.72. – 2 с.
148. Водак А.А. Переносной пост индивидуальной защиты органов дыхания // Свароч. пр–во. – 1989. – № 7. – С. 10–11.
149. Шлем: А. с. 1207476 СССР, МКИ⁴ А 62 В 18/02 / В.П. Голуб, А.Д. Рябин, Л.И. Чашников. – Оpubл. 30.01.86; Бюл. № 4. – 2 с.
150. Маска защитная: А. с. 1258407 СССР, МКИ⁴ А 61 Г 9/06 / В.А. Щелкунов, Л.Д. Ревва, Н.И. Бычихина, А.П. Синчиков. – Оpubл. 23.09.86; Бюл. № 35. – 2 с.
151. Щиток электросварщика с устройством для равномерной подачи воздуха / А.В. Вихлянцев, С.Л. Каминский, А.А. Романов, П.М. Сунгуров // Технический прогресс и охрана труда. – М.: Профиздат, 1986. – С. 77–80.

152. Исследование опытных конструкций воздухораспределительных устройств для щитка электросварщика / Н.И. Никифоров, С.Л. Каминский, А.В. Вихлянцев и др. // Комплексное решение вопросов охраны труда. – М.: Профиздат, 1982. – С. 40–45.
153. Артамонова А.В., Горбань Л.Н., Кучерук Т.К. Разработка эффективных средств защиты органов дыхания сварщиков // Гигиена труда: Сборник научных трудов. – Киев.: Здоров'я, 1993. – С. 31–36.
154. Гигиеническая оценка сварочных материалов и способов сварки, наплавки и резки металлов: методические указания. – М.: Минздрав СССР, 1980, № 1924–78. – 15 с.
155. Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы) – М.: Минздрав СССР, 1990, № 4945–88. – 150 с.
156. Перегуд Е.Л. Химический анализ воздуха. – М.: Химиздат, 1977. – 308 с.
157. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. – 957 с.
158. Горбань Л.Н., Мазур А.А. Экономический эффект уточнения ПДК марганца в сварочном аэрозоле и гигиенической оптимизации режимов сварки // Свароч. пр–во. – 1988. – № 8. – С. 16–17.
159. Способ гигиенической оценки сварочных материалов и устройство для его осуществления: А.с. 1558602 СССР, МКИ⁵ В 23 К 9/14, 9/23, G 01 N 15/02 / Л.Н. Горбань, П.И. Лорберг, Ю.В. Пивень и др. – Оpubл. 23.04.90; Бюл. № 15. – 2 с.
160. Левченко О.Г., Метлицкий В.А. Ускоренная оценка уровней выделения сварочных аэрозолей // Автомат. сварка. – 1997. – № 4. – С. 40–45.
161. Головатюк А.П., Левченко О.Г. Гигиена труда при сварке в защитных газах. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона АН УССР. – 1990. – 24 с.
162. Головатюк А.П., Левченко О.Г. Показатели валовых выделений сварочных аэрозолей и их применение на практике // Свароч. пр–во. – 1985. – № 10. – С. 40–41.
163. Красовицкий Ю.В., Дуров В.В. Обеспыливание газов зернистыми слоями. – М.: Химия, 1991. – 192 с.
164. ГОСТ 17745–90. Стали и сплавы. Методы определения газов. – Введ. 01.07.91. – 16 с.
165. Левченко О.Г. Влияние технологических режимов сварки в CO₂ конструкционных сталей на выделение аэрозоля // Автомат. сварка. – 1992. – № 9–10. – С. 31–33.
166. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
167. Потапьевский А.Г., Лаврищев В.Я. Сварка в углекислом газе погруженной дугой на форсированных режимах // Автомат. сварка. – 1968. – № 1. – С. 50–52.
168. Мирлин Г.А., Агеев В.И., Барашев В.В. Дуговая сварка модулированным током. // Свароч. пр–во. – 1980. – № 8. – С. 16–17.

169. Интенсивность образования аэрозолей при ручной сварке модулированным током / Головатюк А.П., Сидорук В.С., Левченко О.Г., Зацерковный С.А., Тараборкин Л.А. // Автомат. сварка. – 1985. – № 2. – С. 39–40.
170. The intensity of aerosol formation in modulated-current arc welding / Golovatyuk A.P., Sidoruk V.S., Levchenko O.G., Zatserkovny S.A., Taraborkin L.A. // IIW Doc. VIII-1284-85. – 6 p.
171. Левченко О.Г. Образование аэрозолей при сварке в CO₂ модулированным током // Автомат. сварка. – 2000. – № 8. – С. 48–50.
172. Левченко О.Г. Математическое моделирование химического состава и уровня выделения сварочного аэрозоля // Сварочное пр-во. – 2001. – № 7. – С. 25–28.
173. Jolanta Matusiak. Powstawanie ozonu przy procesach spawania i cięcia metali / Biuletyn instytutu spawalnictwa w gliwicach. – 1999. – N 5. – S. 142–147.
174. Evaluating Contaminants in the Welding Environment A Sampling Strategy Guide. – AWS F1.3-83. – Miami: American Welding Society. – 1983. – 16 p.
175. Левченко О.Г. Химический состав газообразной составляющей аэрозоля при сварке в защитных газах // Автомат. сварка. – 2001. – № 3. – С. 25–28.
176. Smars E., Sipek L. Ozon in welding // IIW Doc. VIII-1485-89. – 28 p.
177. Golovatyuk A.P., Levchenko O.G. Welding aerosols: formation processes in gas-shielded welding, estimation criteria, recommendation on improving working conditions // IIW Doc. VIII-1579-91. – 8 p.
178. Эннан А.А., Ракитская Т.Л., Паина В.Я. Катализаторы низкотемпературного окисления монооксида углерода для очистки сварочных аэрозолей // Автомат. сварка. – 1997. – № 2. – С. 42–44, 47.
179. Ракитская Т.Л., Эннан А.А., Бандурко А.Ю. Углеродные волокнистые материалы для респиратора «Снежок ГП-Озон» // Там же. – 1995. – № 7. – С. 62–64.
180. Средства индивидуальной защиты: Справочник / С.Л. Каминский, К.М. Смирнов, В.И. Жуков, Н.А. Краснощеков. – Л.: Химия, 1989. – 400 с.
181. Гигиеническая оценка условий труда при ручной дуговой сварке рутиловыми электродами / Воронцова Е.И., Кочеткова Т.А., Кузьмина В.К., Мосолов Н.И. // Оздоровление условий труда при сварочных работах: Сборник материалов науч.-техн. конференции по вопросам гигиены труда и техники безопасности при сварочных работах (Москва, 26–28 марта 1968 г.). – М., 1968. – С. 44–54.
182. Науменко И.М. Гигиеническая характеристика электродов на рутиловой основе // Там же. – С. 55–60.
183. Мигай К.В. Гигиена труда при электросварке, резке и воздушно-дуговой строжке спецсталей хромоникелевыми электродами // Там же. – С. 23–28.
184. Гигиеническая оценка условий труда, заболеваемость при автоматической сварке под флюсом труб большого диаметра / Кузнецова Н.А., Самарова Л.П., Елецкова А.С., Клебанова Н.М. // Там же. – С. 101–105.
185. Горбань Л.Н. Гигиеническая оценка электродов фтористо-кальциевого типа и влияния на организм аэрозолей, образующихся при их использо-

- вании: Автореф. дис... канд. мед. наук: 14.00.07 / Киевск. НИИ гигиены труда и проф. заболеваний. – К., 1977. – 21 с.
186. Временные правила техники безопасности и гигиены труда при процессах плазменной обработки металлов. – Л.: ВНИИОТ ВЦСПС, 1984. – 30 с.
 187. Левченко О.Г. Классификация сварочных аэрозолей и выбор методов их нейтрализации // Автомат. сварка. – 1999. – № 6. – С. 38–41.
 188. Чистота воздуха в цехах промышленных предприятий: Экоюрус-венто. – Санкт-Петербург, 1997. – 16 с.
 189. Arets: Arbeitsschutz-Katalog 96. – Bochum: F. Aretz Schweisstechnik, 1996. – 48 s.
 190. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
 191. Пигузов Л.И. Высококремнистые цеолиты и их применение в нефтепереработке и нефтехимии. – М.: Химия, 1974. – С. 12–13.
 192. Чеменцев Н.Ф., Беренштейн Б.Г. Клиноптилолит (Обзор). – Серия IV. – М.: ВИЭМС, 1974. – 46 с.
 193. Способ получения поглотителя окислов азота и окиси углерода: А. с. 1189491 СССР, МКИ В01 Д53/02 / Ш.И. Сидамонидзе, Г.В. Цицишвили, Д.М. Шавиадзе и др. – Опубл. 07.11.85, Бюл. № 41. – 2 с.
 194. Способ получения адсорбента: А. с. 552102 СССР, МКИ В01 Д53/02, В01Г1/22 / В.А. Астахов, Л.А. Меерсон, А.М. Глинштейн и др. – Опубл. 30.03.77, Бюл. № 12. – 2 с.
 195. Способ адсорбционной очистки газовых смесей от окиси углерода: А. с. 679228 СССР, МКИ В01 Д53/02 / К.В. Днепренко, Н.Е. Щербатюк, М.А. Пионтковская и др. – Опубл. 15.08.79, Бюл. № 30. – 2 с.
 196. Способ получения адсорбента из природного цеолита: А. с. № 715124 СССР, МКИ В01 Д53/02, С01В 17/60 / С.А. Акуров, Н.В. Кильцев, Н.С. Торочешников и др. – Опубл. 15.02.80, Бюл. № 6. – 2 с.
 197. Способ получения сорбента для очистки газов от монооксида углерода: А.с. № 1549583 СССР, МКИ В01 Д53/02 / Л.А. Шевченко, А.А. Пашенко, Ю.И. Андрианов, А.П. Головатюк, О.Г. Левченко, К.А. Погребняк, Т.В. Верхошапова (СССР). – № 4386776; Заявлено 03.03.88; Опубл. 15.03.90, Бюл. № 10. – 2 с.
 198. Сербін В.П., Левченко О.Г., Шевченко Л.А. Застосування кліноптилоліту для очищення повітря від зварювального аерозолію // Наукові вісті НТТУ «КПІ». – 2000. – № 6. – С. 111–117.
 199. Левченко О.Г., Метлицкий В.А. Новые средства защиты от сварочных аэрозолей. – Киев: Экотехнология, 1999. – 48 с.
 200. Зернистый фильтр: А. с. № 1393455 СССР, МКИ В01 Д23/10 / А.А. Эннан, А.Н. Бутвин, А.Ф. Квасенко, О.Г. Левченко (СССР). – № 4090030; Заявлено 07.07.86; Опубл. 07.05.88, Бюл. № 17. – 3 с.
 201. Kosnac L. Catalogue of solid and gaseous substances formed during brazing, welding and cutting // IIW VIII-973-81. – 4 p.

202. Katalog charakterystyk materialow spawalniczych pod wzgledem emisji zanieczyszczen / S. Machaczek, J. Matusiak. Gliwice: Instytut spawalnictwa, 1994. – 63 s.
203. Programy komputerowe dla potrzeb spawalnictwa: Seminariu. Gliwice: Instytut spawalnictwa, 1994. – 40 s.
204. Информационно-поисковая система гигиенических характеристик сварочных аэрозолей / Демченко В.Ф., Левченко О.Г., Метлицкий В.А., Козлитина С.С. // Свароч. пр-во. – 2001. – № 8. – С. 41–45.
205. Банк данных сварочных аэрозолей / Демченко В.Ф., Левченко О.Г., Метлицкий В.А., Козлитина С.С. // Сварщик. – 2000. – № 4. – С. 29.
206. Golovatyuk A.P., Levchenko O.G. Indices of bulk amount of welding aerosol and their practical application // IW Doc. VIII – 1348 – 86. – 8 p.
207. Расчетно-информационная система гигиенических характеристик сварочных аэрозолей / Демченко В.Ф., Левченко О.Г., Метлицкий В.А., Козлитина С.С. // Международная конференция «Сварные конструкции»: Тезисы стендовых докладов (Октябрь, 2000 г., Киев). – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 2000. – С. 88–89.
208. Kosnac L. Hygienicka klasifikacia zvaracich procesov a dymove triedy // Zvaranie. – 1983. – Sv. 33, № 4. – S. 125–128.
209. Левченко О.Г. Совершенствование методов и средств защиты от сварочных аэрозолей // Автомат. сварка. – 2001. – № 6. – С. 27–33.
210. Гримитлин М.И., Лифшиц Г.Д., Позин Г.М. Теоретические основы расчета местных вытяжных устройств в сварочном производстве. – Актуальные проблемы вентиляции и экологической безопасности в сварочном производстве: Материалы краткосрочного семинара 5–6.07.1990 г. – Л.: Общество «Знание» РСФСР, 1990. – С. 12–19.
211. Позин Г.М., Посохин В.Н. Методы расчета полей скоростей, образуемых целевыми отсосами в ограниченном пространстве. – Безопасность и гигиена труда: Сборник. – М.: ВЦНИИОТ, 1980. – С. 52–57.
212. Левченко О.Г. Теоретические основы расчета местной вытяжной вентиляции в сварочном производстве // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 4. – С. 71–75.
213. Фильтровентиляционный агрегат «Темп-2000» / Левченко О.Г., Метлицкий В.А., Рудой В.Д., Агасьян Н.Ю. // Автомат. сварка. – 1999. – № 5. – С. 64–66.
214. Переносной вентиляционный агрегат для удаления сварочного аэрозоля из замкнутых объемов / Ильинский Н.И., Андрианов Ю.И., Левченко О.Г., Метлицкий В.А., Кравченко В.Н. // Свароч. пр-во. – 1995. – № 9. – С. 35–36.
215. Новые средства местной вентиляции для сварщиков / Левченко О.Г., Метлицкий В.А., Агасьян Н.Ю., Рудой В.Д., Ильинский Н.И., Андрианов Ю.И. // Сварщик. – 1999. – № 4. – С. 30–31.
216. Ильинский Н.И., Левченко О.Г. Фильтровентиляционный агрегат «Шмель-1500» // Сварщик. – 2000. – № 6. – С. 37.

217. Мазур А.А., Яковлев Г.М. Учет экономических факторов при выборе способов дуговой сварки // Сварщик. – 1999. – № 1. – С. 28–29.
218. Жданов С.П., Хвощев С.С., Самулевич Н.К. Синтетические цеолиты. – М.: Наука, 1981. – 128 с.
219. Решение всесоюзного семинара «Применение сварочных горелок на 315 и 500 А со встроенным отсосом» (19–28 сент. 1983 г., Киев). – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1990. – 4 с.
220. Гайтулин Р.Т. Отсос газов при сварке порошковой проволокой // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 1986. – № 4. – С. 25–26.
221. Тимофеева О.Н. Вентиляция при сварке в среде защитных газов: Научные работы ИОТ ВЦСПС. – М.: Профиздат, 1972. – С. 3–8.
222. Мудров Н.В., Петерман А.Г. Методы и средства защиты сварщиков при изготовлении корпусных турбинных конструкций: Обзор. – М.: НИИЭИинформэнергомаш, 1981. – 35 с.
223. Петерман А.Г. Горелка со встроенным отсосом // Машиностроитель. – 1977. – № 6. – С. 20.
224. Киперник Е.Г. Сварочные горелки со встроенными дымоотсосами // Автомат. сварка. – 1984. – № 1. – С. 74–75.
225. Пустовойтов А.В. Определение режимных параметров отсасывающих устройств полуавтоматических сварочных горелок // Там же – С. 50–55.
226. Improved welding gun with built-in fume-extractor / Bengtsson G, Bach J, Dahlgvist P, Severisson K. // IIW Doc. VIII-1404-88. – 8 p.
227. Cullison Andrew. Take a Look at Fume Extraction Welding Guns // Welding journal. – 1994. – N 9. – С. 35–37.
228. TWA fume extraction torches. // TB Welding products. – 1993. – 18 с.
229. MIG / MAG Rauchgas-Absangbrenner RAB 36 KD «Vario». – Alexanler Binzel // Schweiss Technik. – 1993. – 4 с.
230. Шланговые держатели с отсосом аэрозоля для сварочных полуавтоматов / Эннан А.А., Бутвин А.Н., Прокопьев И.А., Левченко О.Г., Метлицкий В.А. // Автомат. сварка. – 1998. – № 8. – С. 39–43.
231. Защитная маска сварщика с портативной системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания / Левченко О.Г., Метлицкий В.А., Ильинский Н.И., Андрианов Ю.И., Кравченко В.Н. // Свароч. пр–во. – 1996. – № 7. – С. 32–33.
232. Защитная маска электросварщика: А.с. 988286 СССР, МКИ А 6 19/06 / В.Т. Дзюбенко, С.М. Сангович, Ю.Ф. Яров и др. – Оpubл. 23.02.83; Бюл. № 2. – 2 с.
233. Защитная маска электросварщика: А. с. 1428376 СССР, МКИ А 61 9/06 / В.Т. Дзюбенко, Ф.Х. Бийцев, В.И. Кошкалда и др. – Оpubл. 07.10.88; Бюл. № 37. – 2 с.
234. Средства защиты органов дыхания сварщиков при работе в помещениях небольшого объема с недостаточной или отсутствующей вентиляцией / Ю. Андрианов, Н. Ильинский, О. Левченко, В. Метлицкий // Welding. Technologies, equipment: International conference. Reports and theses. MET-97. (Riga, October 16–17, 1997). – Riga, 1997. – С. 74–85.

235. Система кондиционирования воздуха для маски сварщика / Левченко О.Г., Метлицкий В.А., Сафонов В.А., Круть А.А. // Автомат. сварка. – 1998. – № 12. – С. 54.
236. Пат. 2028134 РФ, МКИ А 61 F9/06. Защитная маска / А.А. Круть, Б.М. Зильберварг, Ю.В. Чижиков и др. – Оpubл. 9.2.95; Бюл. № 4. – 2 с.
237. Пат. 2004880 РФ, МКИ F 24 F1/04. Индивидуальный кондиционер / А.А. Круть, Б.М. Зильберварг, Ю.В. Чижиков. – Оpubл. 15.12.93; Бюл. № 45–46. – 2 с.
238. Левченко О.Г., Метлицкий В.А. Новые разработки средств защиты органов дыхания сварщиков // Повышение эффективности сварочного производства: Международная конф. (г. Липецк, 17–18 октября 1996 г.). – Липецк: ЛГТУ, 1996. – С. 146–149.
239. Левченко О.Г. Комплекс новых средств защиты органов дыхания сварщиков // Свароч. пр–во. – 1999. – № 10. – С. 42–45.
240. Левченко О.Г., Метлицкий В.О. Засоби захисту зварників для роботи у стиснених умовах // Міжнародна науково-технічна конф. «Зварювання в енергетиці» (Київ, 2–3 жовтня 1996 р.): Тези доповідей. – Київ: ІЕЗ ім. Є.О. Патона, Німецьке зварювальне товариство, 1996. – С. 32–33.
241. Левченко О.Г., Метлицкий В.А. Современные средства защиты сварщиков. – Киев: Экотехнология, 2001. – 84 с.
242. Левченко О.Г., Метлицкий В.А. Требования безопасности при сварке покрытыми электродами // Сварщик. – 1998. – № 3. – С. 32–33.
243. Левченко О.Г., Метлицкий В.А. Улучшение условий труда при механизированной сварке в защитных газах // Сварщик. – 1998. – № 4. – С. 32–33.
244. ДСТУ 3671–97 (ГОСТ 10543–98) Дріт сталевий наплавний. Технічні умови (Проволока стальная наплавочная. Технические условия). – На заміну ГОСТ 10543–82; Введ. 12.10.98 / Розробники Л.М. Лобанов, В.Г. Ігнат'єв, П.В. Гладкий, І.О. Кондратьєв, О.Г. Левченко. – Київ: Держстандарт України, 1999. – 4 с.
245. Левченко О.Г., Метлицкий В.А. Пути оздоровления условий труда при сварке под флюсом // Сварка под флюсом сегодня и завтра: Тез. докл. Международ. науч.-техн. семинара. (Запорожье, 3–6 сент. 1998 г.). – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1998. – С. 41–42.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ УЛУЧШЕНИЯ	5
1.1. Состояние вопросов по исследованию процессов образования сварочных аэрозолей	5
1.2. Гигиеническая характеристика сварочных материалов и способов дуговой сварки	13
1.2.1. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами	13
1.2.2. Сварка под флюсом	17
1.2.3. Механизированная сварка	18
1.2.4. Состояние воздушной среды при сварке	20
1.3. Мероприятия по снижению вредного влияния сварочных аэрозолей на организм	21
1.4. Технологические способы снижения уровня образования сварочного аэрозоля	22
1.4.1. Влияние химического состава сварочных материалов на образование сварочного аэрозоля	23
1.4.2. Влияние способа сварки на образование сварочного аэрозоля	26
1.4.3. Влияние вида сварочного оборудования на образование сварочного аэрозоля	28
1.5. Проблемы вентиляции в сварочном производстве	29
1.5.1. Системы вентиляции при сварке	30
1.5.2. Виды вентиляционного оборудования	31
1.5.3. Перспективы развития средств вентиляции	36
1.6. Проблемы индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков	37
1.6.1. Назначение и классификация средств индивидуальной защиты органов дыхания	37
1.6.2. Фильтрующие средства индивидуальной защиты органов дыхания	38

1.6.3. Изолирующие защитные маски сварщиков	39
1.6.4. Перспективы развития средств индивидуальной защиты органов дыхания	41
Выводы по главе 1	42
ГЛАВА 2. МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ	44
2.1. Методика исследования уровней выделения и химического состава сварочных аэрозолей	44
2.2. Новая компьютеризованная методика исследований уровней выделений сварочных аэрозолей	51
2.3. Методика исследования характеристик фильтрующих материалов	58
2.4. Методика испытаний горелок с отсосом аэрозоля для сварочных полуавтоматов	61
2.5. Объекты и объем исследований	62
Выводы по главе 2	64
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СВАРКИ НА ВЫДЕЛЕНИЕ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ	65
3.1. Влияние режима сварки на выделение сварочного аэрозоля	65
3.2. Исследование зависимостей уровней выделения сварочного аэрозоля от режима сварки покрытыми электродами с использованием компьютеризованной методики	73
3.3. Влияние режима сварки модулированным током на выделение сварочного аэрозоля	78
3.4. Математическое моделирование химического состава твердой составляющей сварочного аэрозоля	83
3.5. Исследование химического состава газообразной составляющей сварочного аэрозоля	92
3.6. Новые технологические способы снижения уровня выделений сварочных аэрозолей	98
Выводы по главе 3	102

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ И ВЫБОР МЕТОДОВ ИХ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ	105
4.1. Классификация сварочных аэрозолей по химическому составу и выбор методов их нейтрализации	105
4.2. Выбор и исследование фильтрующих материалов для нейтрализации сварочных аэрозолей	111
4.3. Разработка компьютерной информационно-поисковой системы гигиенических характеристик сварочных материалов	122
4.4. Сравнительная гигиеническая оценка сварочных материалов и способов сварки	131
Выводы по главе 4	136
ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ СВАРЩИКОВ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	138
5.1. Расчет местной вытяжной вентиляции	138
5.2. Фильтровентиляционный агрегат «Темп-2000»	146
1.3. Переносной вентиляционный агрегат «Шмель-2500»	152
1.4. Фильтровентиляционный агрегат «Мрія-1М»	156
1.5. Новые горелки с отсосом аэрозоля для сварочных полуавтоматов	158
1.6. Защитная маска сварщика с портативной системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания «Шмель-50»	166
5.7. Устройство очистки и подачи воздуха в зону дыхания сварщика «Шмель-40»	170
5.8. Шланговая защитная маска сварщика с системой очистки и подачи воздуха в зону дыхания	174
5.9. Рекомендации по применению средств защиты сварщиков и окружающей среды от сварочных аэрозолей	178
5.9.1. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами (кроме электродов с основным покрытием)	178
5.9.2. Сварка порошковой проволокой и электродами с основным покрытием	182

5.9.3. Сварка в защитных газах (кроме аргона) проволокой сплошного сечения	183
5.9.4. Сварка в аргоне плавящимся и неплавящимся электродом	184
5.9.5. Сварка под флюсом	185
5.9.6. Утилизация и применение сварочных аэрозолей	185
Выводы по главе 5	191
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	194

Научное издание

ГРИШАГИН Виктор Михайлович

**СВАРОЧНЫЙ АЭРОЗОЛЬ:
ОБРАЗОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ,
ЛОКАЛИЗАЦИЯ, ПРИМЕНЕНИЕ**

Монография

Научный редактор
*доктор технических наук,
профессор В.А. Портола*

Редактор *Л.А. Холопова*
Компьютерная верстка *Е.В. Лытягин*
Дизайн обложки *Л.В. Миськевич*


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 09.06.2011. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 12,39. Уч.-изд. л. 11,2.
Заказ 858-11. Тираж 500 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru