



ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГАЗООБРАЗНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ АЭРОЗОЛЯ ПРИ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

О. Г. ЛЕВЧЕНКО, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

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 приводит к уменьшению интенсивности выделения монооксида углерода и увеличению оксидов азота. Введение в состав защитной смеси кислорода снижает выделение монооксида углерода за счет его окисления и повышает интенсивность образования оксидов азота. Даны объяснения механизмам образования газообразных компонентов сварочного аэрозоля и зависимости интенсивности их выделений от режима сварки.

Ключевые слова: механизированная сварка, защитные газы, сварочный аэрозоль, токсичные компоненты, режимы сварки

Дуговая сварка сопровождается выделением в воздух вредных веществ сварочного аэрозоля, имеющего твердую и газообразную составляющие. Химический состав твердой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА) довольно тщательно изучен и подробно представлен в различных литературных источниках. Данные же о составе газообразной составляющей сварочного аэрозоля (ГССА) немногочисленны и нередко противоречивы. Так, согласно работе [1] обязательными компонентами ГССА, образующимися при сварке в защитных газах, являются озон (O_3), оксиды азота (NO_x) и монооксид углерода (CO). Результаты исследований интенсивности выделений этих веществ, полученные при использовании различных защитных газов, показали, что в случае сварки стали плавящимся электродом в CO_2 они незначительны (примерно, на порядок ниже, чем при сварке в аргоне с добавкой от 2 до 20 % углекислого газа) [2]. Последние данные [3], полученные при использовании современных газоанализаторов, свидетельствуют о том, что механизм образования озона сложен и интенсивность его выделения зависит от способа сварки, основного металла, вида сварочного материала, сварочного тока $I_{\text{св}}$, напряжения $U_{\text{д}}$, длины дуги, а также химического состава защитного газа. Причем в работе [3] отмечается, что при различных способах сварки в защитных газах образование озона наблюдается при сварке плавящимся и неплавящимся электродом только в инертных газах, а появление монооксида углерода характерно для сварки плавящимся электродом в углекислом газе [4].

Целью настоящей работы являлась проверка указанных выше положений с помощью общепринятых отечественных методик, а также установление зависимости интенсивности образования ГССА и ТССА при механизированной сварке в различных защитных газах от ее режимов.

Исходные материалы и методики исследования. Отбор проб сварочных аэрозолей осуществляли в процессе автоматической наплавки валиков проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм на пластины из стали ВСтЗсп на следующих режимах: сварочный ток (постоянный при обратной полярности) 225... 450 А; напряжение дуги 27... 37 В; скорость подачи проволоки 365... 908 м/ч; скорость сварки 16 м/ч; вылет электрода 25 мм. В качестве газовой защиты использовали защитные газы: CO_2 , смеси 75 % $\text{Ar} + 25$ % CO_2 и 70 % $\text{Ar} + 25$ % $\text{CO}_2 + 5$ % O_2 . Расход защитного газа составлял 20 л/мин.

Химический состав и интенсивность образования ГССА определяли по общепринятым методикам [5, 6] на специальном стенде (рис. 1). Весь поток аэрозоля улавливали с помощью специального забор-

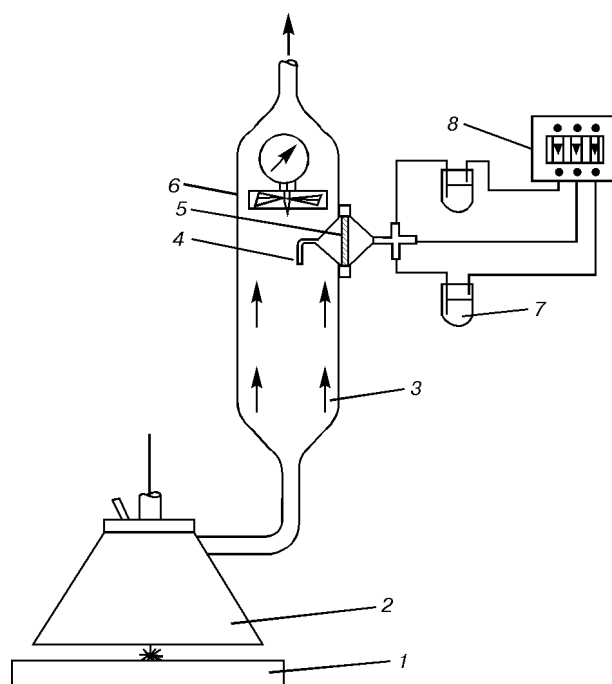


Рис. 1. Схема стенда для отбора проб ГССА: 1 — основной металл; 2 — заборное сопло; 3 — измерительно-разделительная камера; 4 — заборная трубка; 5 — фильтр; 6 — анемометр; 7 — поглотители; 8 — аспиратор

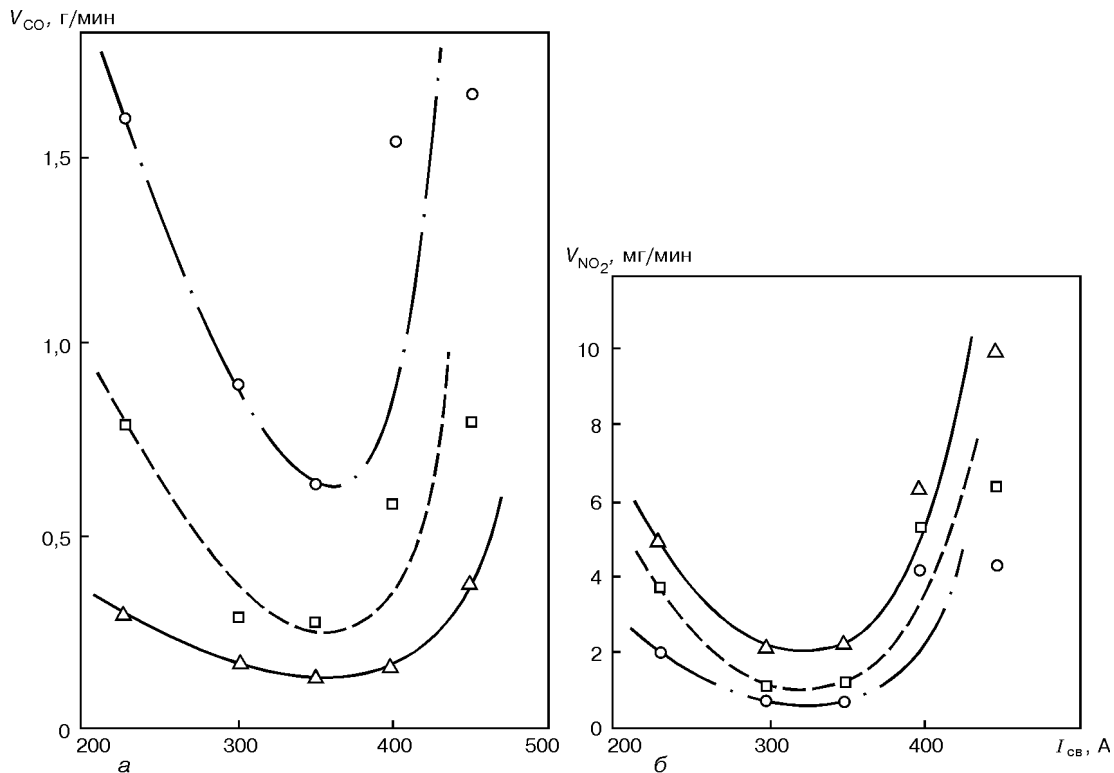


Рис. 2. Зависимость интенсивности образования монооксида углерода V_{CO} (а) и диоксида азота V_{NO_2} (б) от сварочного тока при сварке проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм в защитных газах: \circ — CO_2 ; \square — $Ar + CO_2$; Δ — $Ar + CO_2 + O_2$

ного сопла, затем побудителем тяги протягивали через измерительно-разделительную колонну, из которой часть потока отбирали аспиратором в поглотители для определения содержания оксидов азота и озона, содержание монооксида углерода исследовали с помощью газоанализатора ГХ-4. Интенсивность образования ТССА изучали согласно методикам [6, 7]. При каждом режиме сварки отбирали по 5 проб аэрозолей.

Для определения концентрации оксидов азота в отбираемом объеме воздуха использовали метод, основанный на реакции взаимодействия оксидов азота с реактивом Грисса-Илюсовой [5]. Чувствительность метода — $0,65 \text{ мг/м}^3$, что в пересчете на интенсивность образования оксидов азота при скорости отбора проб воздуха $0,1 \text{ л/мин}$ составляло $6,5 \cdot 10^{-5} \text{ мг/мин}$.

Интенсивность образования компонентов ГССА при использовании различных защитных газов*

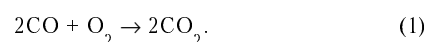
Режим сварки			CO_2	$Ar + CO_2$	$Ar + CO_2 + O_2$
$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	$v_{св}$, М/ч			
225	27	365	$1,59 \pm 0,32$	$0,79 \pm 0,15$	$0,30 \pm 0,06$
			$2,03 \pm 0,18$	$3,80 \pm 0,31$	$5,10 \pm 0,44$
300	33	459	$0,89 \pm 0,19$	$0,29 \pm 0,07$	$0,17 \pm 0,43$
			$0,76 \pm 0,62$	$1,11 \pm 0,09$	$2,22 \pm 0,18$
350	33	583	$0,63 \pm 0,14$	$0,30 \pm 0,06$	$0,14 \pm 0,03$
			$4,25 \pm 0,31$	$4,57 \pm 0,38$	$5,07 \pm 0,42$
400	35	754	$1,52 \pm 0,34$	$0,58 \pm 0,12$	$0,16 \pm 0,03$
			$4,18 \pm 0,36$	$5,33 \pm 0,51$	$6,33 \pm 0,57$
450	37	908	$1,65 \pm 0,41$	$0,79 \pm 0,16$	$0,38 \pm 0,07$
			$4,31 \pm 0,35$	$6,34 \pm 0,48$	$10,15 \pm 0,83$

* В числителе приведены значения CO (г/мин), в знаменателе — NO_2 (мг/мин).

Погрешность измерения не превышала $\pm 15 \%$. Содержание озона в воздухе определяли методом, основанным на взаимодействии этого элемента с йодистым калием. Чувствительность метода составляла $0,05 \text{ мг/м}^3$ (интенсивность образования оксидов азота равна $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ мг/мин}$ при скорости отбора проб $0,5 \text{ л/мин}$), погрешность измерения была не более $\pm 25 \%$ [5].

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

При сварке в смесях $Ar + CO_2$ и $Ar + CO_2 + O_2$ интенсивность образования CO соответственно в 2 и 5 раз ниже, чем в случае сварки в CO_2 . Поскольку источником образования CO является CO_2 , диссоциирующий в результате горения дуги [8], то с уменьшением содержания CO_2 в защитном газе снижается содержание CO в сварочном аэрозоле. Замена части углекислого газа аргоном уменьшает образование при сварке токсичного монооксида углерода. При использовании смеси $Ar + CO_2 + O_2$ наблюдается минимальное выделение монооксида углерода из-за окисления его при высокой температуре дуги:



Таким образом, значительное (в 5 раз) уменьшение парциального давления CO при сварке в смеси $Ar + CO_2 + O_2$ объясняется наличием в ней аргона и кислорода. Кроме того, поскольку в процессе горения дуги из кислорода воздуха и защитного газа под действием ультрафиолетового излучения дуги может образовываться озон

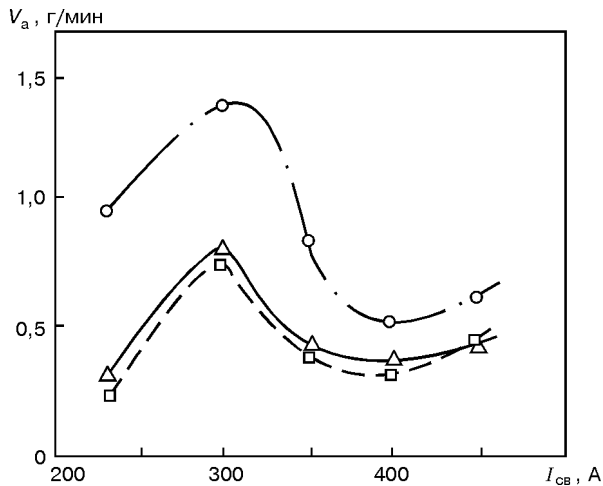
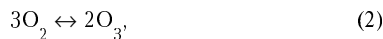
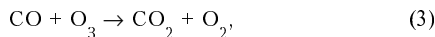


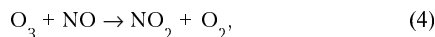
Рис. 3. Зависимость интенсивности V_a образования ТССА от $I_{св}$ при сварке проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм в защитных газах (см. обозначения рис. 2)



то возможна реакция



что также снижает выделение монооксида углерода и озона. Подтверждением изложенного выше является отсутствие озона в составе ГССА, выявленное при выполнении наших опытов. Полученные результаты исследований [3, 8, 9] показали, что в начальный момент сварки содержание озона высокое. Затем он реагирует с монооксидом азота, образуя диоксиды азота и кислород

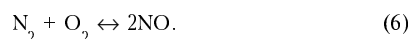


а под воздействием на него излучения дуги разлагается

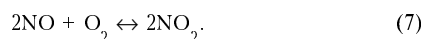


Отсюда можно сделать вывод, что отсутствие в ГССА озона объясняется его быстрым разложением при взаимодействии с монооксидом углерода, монооксидом азота и под воздействием излучения дуги. Вместе с тем, полное отсутствие озона в наших опытах объясняется его разложением в процессе отбора проб аэрозолей при движении озона по измерительно-разделительной колонне и шлангам до газоанализатора (см. рис. 1). В ходе других опытов по определению содержания озона непосредственно в зоне дыхания при сварке в CO_2 было установлено, что его содержание не превышает предельно допустимую (менее $0,1 \text{ мг/м}^3$) концентрацию, а иногда фиксируются лишь следы озона.

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



Под воздействием ультрафиолетового излучения дуги монооксид азота окисляется кислородом воздуха до ядовитого диоксида азота [10, 11]:



При сварке в CO_2 дуга горит в атмосфере этого газа, поэтому интенсивным образованием оксидов

азота весьма невелика по сравнению с монооксидом углерода. Она в среднем на три порядка ниже, чем интенсивность образования монооксида углерода (см. таблицу). При сварке в смесях $Ar + CO_2$ и $Ar + CO_2 + O_2$ интенсивность образования оксидов азота больше, чем при сварке в CO_2 , что связано с ультрафиолетовым излучением, которое становится более интенсивным при сварке в смесях на основе аргона.

С увеличением сварочного тока интенсивность образования монооксида углерода и диоксида азота сначала снижается до определенного значения силы тока, а затем снова повышается (см. рис. 2). Минимальный уровень интенсивности образования этих газов соответствует моменту погружения дуги в основной металл [12] и уменьшению площади ее контакта с окружающим воздухом и защитным газом. При дальнейшем повышении сварочного тока длина дуги над поверхностью основного металла возрастает и соответственно увеличивается площадь контакта дуги с воздухом и защитной средой.

Таким образом, для ТССА [12, 13] и для ГССА существуют определенные режимы сварки, обеспечивающие минимальный уровень их выделений. Так, при сварке на токе 350 А интенсивность образования монооксида углерода в 2...3 раза ниже, чем в случае использования минимального ($I_{св} = 225 \text{ А}$) и максимального ($I_{св} = 450 \text{ А}$) сварочного тока.

Исследования зависимости интенсивности образования ТССА от сварочного тока, выполненные на тех же режимах сварки, что и при определении интенсивности выделений компонентов ГССА, показали, что полученные зависимости имеют более сложную форму по сравнению с ГССА (рис. 3), а также отражают минимум выделений ТССА.

Выводы

1. Установлено, что при механизированной сварке в CO_2 , смесях $Ar + CO_2$ и $Ar + CO_2 + O_2$ проволокой сплошного сечения основными компонентами газовой составляющей сварочного аэрозоля являются монооксид углерода и оксиды азота.

2. Снижение окислительной способности защитного газа (введение в состав смеси аргона) приводит к уменьшению интенсивности выделения монооксида углерода и увеличению оксидов азота. Введение в состав защитной смеси кислорода также снижает выделение монооксида углерода в результате его окисления и активизирует образование оксидов азота.

3. Зависимости интенсивности образования монооксида углерода и оксидов азота от сварочного тока при использовании CO_2 , смесей $Ar + CO_2$ и $Ar + CO_2 + O_2$ имеют вид парабол с минимумом, соответствующим режиму, при котором дуга имеет максимальное погружение в основной металл.

4. Эти закономерности следует учитывать при выборе оптимальных параметров процесса сварки (составов защитных газов и режимов сварки) для улучшения условий труда сварщиков.

1. Горбань Л. Н., Красюк 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.



2. *Sipek L., Smars E.* Ozone and nitrogen oxides in gas shielded arc welding. — *IIW VIII-1486-89.* — 21 p.
3. *Matusiak J.* Powstawanie ozonu przy procesach spawania i ciecicia metali // *Biuletyn Instytutu spawalnictwa w Gliwicach.* — 1999. — № 5. — S. 142-147.
4. *AWS F1.3-83.* Evaluating contaminants in the welding environment a sampling strategy guide. — Miami: American Welding Society, 1983. — 16 p.
5. *МУ № 4945-88.* Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы). — Введ. 22.12.88. — М.: Минздрав СССР, 1990. — 150 с.
6. *МУ № 1924-78.* Гигиеническая оценка сварочных материалов и способов сварки, наплавки и резки металлов. — Введ. 29.09.78. — М.: Минздрав СССР, 1980. — 15 с.
7. *Методика* первичной санитарно-гигиенической оценки порошковых проволок / И. К. Походня, В. Н. Шлепаков, С. А. Супрун др. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1983. — 28 с.
8. *Muzaj K. B.* Гигиена и безопасность труда при электросварочных работах в судостроении. — Л.: Судостроение, 1975. — 128 с.
9. *Press H.* Formation des oxydes d'azote lors du soudage aux gaz. Mesures pour la prevention atteintes a la sante // *Soudage et techniques connexes.* — 1981. — № 516. — S. 207-212.
10. *Sipek L.* Emission of gases pollutants during GTA welding of yorcal bro brass. — *IIW VIII-1443-88.* — 16 p.
11. *Окислы азота:* Гигиенические критерии состояния окружающей среды. — Женева: ВОЗ, 1981. — Вып. 4. — 91 с.
12. *Левченко О. Г.* Влияние технологических режимов сварки в CO_2 конструкционных сталей на выделение аэрозоля // *Автомат. сварка.* — 1992. — № 9/10. — С. 31-33.
13. *Левченко О. Г.* Технологические способы снижения уровня образования сварочного аэрозоля (Обзор) // *Свароч. пр-во.* — 1998. — № 3. — С. 32-38.

Carbon monoxide and nitrogen oxides are found to be the main gaseous components of a welding aerosol in mechanized CO_2 welding performed in $\text{Ar} + \text{CO}_2$ and $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}$ mixtures. Decrease in the oxidizing capacity of a shielding gas leads to a decrease in the intensity of evolution of carbon monoxide and increase in nitrogen oxides. Addition of oxygen to the shielding gas mixture causes a decrease in evolution of carbon monoxide due to its oxidation and an increase in the intensity of formation of nitrogen oxides. Explanations are given to the mechanisms of formation of gaseous components of a welding aerosol and dependencies of the intensity of their evolution upon the welding conditions.

Поступила в редакцию 29.06.2000

**Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
объявляет ежегодный набор в**

АСПИРАНТУРУ по специальности:

- сварка и родственные технологии
- автоматизация технологических процессов
- металловедение и термическая обработка металлов
- металлургия высокочистых металлов и специальных сплавов

ДОКТОРАНТУРУ по специальностям:

- сварка и родственные технологии
- Автоматизация технологических процессов
- металлургия высокочистых металлов и специальных сплавов

Прием в аспирантуру проводится дважды в год (апрель, сентябрь)

Контактный телефон: 227-89-54

Документы направлять по адресу:

03680, Украина, Киев-150, МПС, ул. Боженко, 11,

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, аспирантура