



## КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДА УГЛЕРОДА И ДИОКСИДА АЗОТА В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

О. Г. ЛЕВЧЕНКО, д-р техн. наук, А. О. ЛУКЪЯНЕНКО, инж.

(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

Ю. О. ПОЛУКАРОВ, канд. техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Представлены результаты исследований зависимостей концентраций вредных газов (оксида углерода и диоксида азота), поступающих в воздух рабочей зоны при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, от расстояния до сварочной дуги в различных условиях вентилирования (с общеобменной и местной вентиляцией и без нее). Получены соответствующие аналитические уравнения, позволяющие прогнозировать концентрации вредных газов в различных точках рабочей зоны в зависимости от мощности сварочной дуги.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, покрытые электроды, вредные газы, оксид углерода, диоксид азота, вентиляция, содержание газов в воздухе, прогнозирование

Одним из отрицательных следствий электродугового процесса является образование и накопление в воздухе рабочей зоны сварочных аэрозолей и газов. Защита работающих и производственной среды от их воздействия осуществляется с помощью различных видов систем вентиляции, которые должны обеспечить содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не выше предельно допустимой концентрации (ПДК). Для выбора необходимой вентиляции и повышения ее эффективности на рабочих местах сварщиков необходимы экспериментальные данные о содержании вредных веществ в воздухе рабочей зоны при различных видах вентиляции. В литературе имеется достаточно большое количество данных по исследованию загрязнения воздуха рабочей зоны вредными веществами в виде аэрозолей, образующихся при сварке покрытыми электродами (например, [1]), но данные по вредным газам отсутствуют. Это объясняется тем, что получение таких данных по общепринятым методикам [2, 3] является довольно длительной и трудоемкой задачей. Так, отбор одной пробы газов только в одной точке воздушного пространства рабочей зоны сварщика при применении конкретной марки сварочного материала длится практически в течение рабочей смены. При этом относительная погрешность получаемых данных в соответствии с требованиями [4] должна составлять  $\pm 25\%$ , что позволяет обеспечить избирательное определение содержания вещества на уровне не выше 0,5 ПДК. На сегодня надежные газоанализаторы газов, которые бы позволили обеспечить высокую достоверность определения их концентрации в воздухе

рабочей зоны, отсутствуют. Поэтому возникла необходимость в получении таких данных расчетным путем, основанным на экспериментальных данных.

К вредным газам, образующимся в атмосфере дуги при сварке покрытыми электродами, относят оксид углерода, диоксид азота, фтористый водород и озон. Состав образующихся газов в значительной мере определяется составом электродного покрытия [5]. Причиной образования ядовитого диоксида азота преимущественно является высокотемпературное и фотохимическое окисление азота воздуха [6]. Уровень образования этих газов зависит от мощности сварочной дуги.

Цель данной работы — исследование зависимостей концентраций оксида углерода и диоксида азота в различных точках воздуха рабочей зоны при дуговой сварке низколегированными покрытыми электродами от мощности сварочной дуги, расстояния до места сварки (сварочной дуги) и вида системы вентиляции.

Опыты выполняли в Институте электросварки им. Е. О. Патона на типичном рабочем месте ручной дуговой сварки с использованием общеобменной и местной вентиляции, а также без вентиляции. Пробы газов отбирали вокруг дуги в трех точках на разном расстоянии от дуги: 55 см (зона дыхания сварщика), 100 и 150 см (рабочая зона). Для сравнения эффективности как общеобменной, так и местной вентиляции ее производительность выбрали одинаковой —  $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$ . В системе общеобменной вентиляции использовали типичный осевой вентилятор, а в местной — типичный стол сварщика с смонтированным вытяжным устройством типа наклонной панели [1].

Пробы газов отбирали в процессе наплавки покрытыми электродами общего назначения марки АНО-36 диаметром 4 мм на пластины стали СтЗсп. Использовали постоянный ток обратной

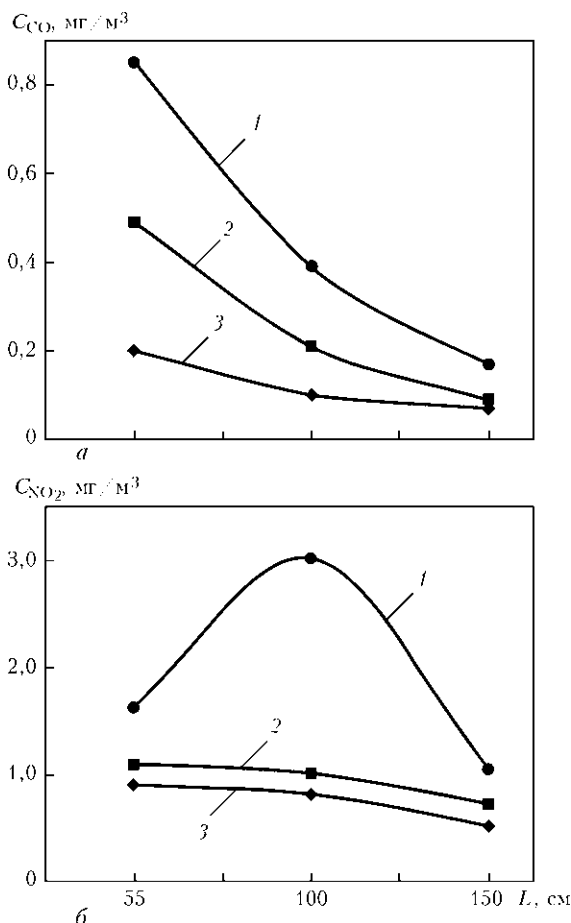
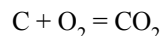


Рис. 1. Зависимость концентрации оксида углерода  $C_{CO}$  (а) и диоксида азота  $C_{NO_2}$  (б) в воздухе рабочей зоны от расстояния  $L$  к сварочной дуге при сварке без вентиляции (1), с общеобменной (2) и местной (3) вентиляцией

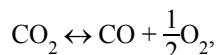
полярности. Для установления зависимости концентрации газов в воздухе рабочей зоны сварочный ток изменяли в пределах 130...230 А, напряжение дуги — 24...40 В. Определение концентраций оксида углерода СО в воздухе рабочей зоны выполняли с помощью газоанализатора «Аквилон-1-1», диоксида азота  $NO_2$  — «Аквилон-1-2». Достоверность полученных экспериментальных данных проверяли в соответствии с принятыми методическими указаниями [4]. Аналитическую и статистическую обработку установленных зависимостей выполняли с использованием разработанной в Национальном НИИ промышленной безопасности и охраны труда специальной программы с помощью заложенного в ней метода регрессионного анализа [7, 8].

Исследования зависимостей концентраций оксида углерода от расстояния до сварочной дуги (рис. 1, а) свидетельствуют о том, что они максимальны при сварке без вентиляции, минимальны при местной вентиляции и уменьшаются с увеличением расстояния к дуге, но во всех случаях не превышают ПДК ( $20 \text{ мг/м}^3$ ). Причиной образования оксида углерода во время сварки покрытыми электродами преимущественно является

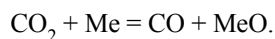
окисление углерода, который содержится в металле и покрытии электродов, кислородом воздуха на первой стадии



и диссоциация диоксида углерода в результате высокой температуры сварочной дуги на второй стадии

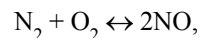


а также восстановление углерода из его диоксида металлом

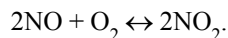


Кроме того, источником образования оксида углерода в незначительных количествах может быть наличие диоксида углерода в атмосферном воздухе в количестве 0,03...0,04 % [9], который разлагается при высокой температуре дуги до оксида углерода в результате химической реакции (2). Поэтому низкая суммарная концентрация оксида углерода в воздухе рабочей зоны объясняется незначительным содержанием углерода в составе свариваемого металла и атмосферном воздухе. При сварке электродами с целлюлозным или карбонатсодержащим покрытием оксид углерода также образуется в результате термической диссоциации этих газшлакообразующих компонентов покрытия. В этих случаях в воздух рабочей зоны поступает повышенное количество оксида углерода.

Зависимости концентрации диоксида азота в воздухе рабочей зоны от расстояния до сварочной дуги имеют более сложный вид, особенно при сварке без вентиляции (рис. 1, б). Это объясняется последовательным окислением азота воздуха по двум стадиям. Сначала в ближней зоне в результате высокотемпературного окисления азота воздуха, окружающего дугу, появляется оксид азота



затем под влиянием ультрафиолетового излучения дуги оксид азота со временем и отдалением от дуги окисляется кислородом воздуха до ядовитого диоксида азота [6, 10]



Поэтому на определенном расстоянии от дуги (около 1 м) при сварке без вентиляции концентрация диоксида азота вследствие его накопления в воздухе увеличивается, а с дальнейшим отдалением от дуги (до 1,5 м) вследствие рассеивания уменьшается.

Следует отметить, что при применении как местной, так и общеобменной вентиляции концентрации диоксида азота в рабочей зоне не превышают ПДК ( $2 \text{ мг/м}^3$ ). Во время сварки без вен-



тиляции на расстоянии приблизительно от 80 до 130 см к сварочной дуге концентрация диоксида азота превышает ПДК (см. рис. 1, б).

При применении местной или общеобменной вентиляции повышенное содержание диоксида азота в ближней к сварочной дуге зоне объясняется более активным окислением азота, чем в отдаленной от нее зоне. Это и приводит к образованию в зоне дыхания большего количества оксидов азота, а с увеличением расстояния от сварочной дуги интенсивность окисления азота воздуха, естественно, снижается.

Из зависимости содержания оксида углерода и диоксида азота в воздухе рабочей зоны от мощности сварочной дуги видно, что концентрации этих газов в воздухе увеличиваются с повышением мощности дуги (рис. 2).

Аналитическая и статистическая обработка установленных зависимостей (см. рис. 1) с учетом влияния расстояния до сварочной дуги и ее мощности (рис. 2), выполненная с помощью метода регрессионного анализа [7, 8], позволила получить следующие зависимости:

зависимость концентрации СО ( $C_{CO}$ ) от мощности ( $I_{св} U_{д}$ ) сварочной дуги и расстояния до дуги  $L$  (м) при сварке

без вентиляции

$$C_{CO} = -0,197 + 2,178 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} + 0,071L - 1,192 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} L, \quad (1)$$

с общеобменной вентиляцией

$$C_{CO} = -48,099 \cdot 10^{-2} + 2,929 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} + 34,679 \cdot 10^{-2} L - 3,268 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} L + 0,902 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} L^2, \quad (2)$$

с местной вентиляцией

$$C_{CO} = -2,657 \cdot 10^{-2} + 0,439 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} - 0,857 \cdot 10^{-2} L - 0,177 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} L; \quad (3)$$

зависимость концентрации  $NO_2$  от мощности сварочной дуги и расстояния до дуги при сварке

без вентиляции

$$C_{NO_2} = -4,991 \cdot 10^{-2} + 0,414 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} + 0,942 \cdot 10^{-2} L - 0,11 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} L, \quad (4)$$

с общеобменной вентиляцией

$$C_{NO_2} = 1,344 \cdot 10^{-2} + 0,209 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} - 4,014 \cdot 10^{-2} L, \quad (5)$$

с местной вентиляцией

$$C_{NO_2} = 2,195 \cdot 10^{-2} + 0,162 \cdot 10^{-4} I_{св} U_{д} - 4,182 \cdot 10^{-2} L. \quad (6)$$

Значения относительных погрешностей и коэффициентов суммарной корреляции полученных зависимостей представлены в табл. 1. Как видно из таблицы, значения относительных погрешностей не превышают установленного методическими указаниями значения (25 %) [4]. Коэффициенты суммарной корреляции данных зависимостей имеют значения от 0,940 до 1,0 (см. табл. 1), что свидетельствует о том, что полученные математические зависимости можно использовать для вычисления содержания оксида углерода и диоксида азота в зоне дыхания сварщика и в рабочей зоне с целью санитарно-гигиенической оценки условий труда.

С целью проверки корректности математических зависимостей (1)–(6) для других марок электродов, отличающихся составом покрытия, были проведены сравнительные исследования концентрации данных газов в различных точках пространства при сварке другими известными марками электродов без применения вентиляции. Эти результаты показали, что среди указанных в табл. 2 и 3 марок электродов средние концентрации определяемых газов не выходят за пределы допустимой погрешности (25 %) только при сварке электродами АНО-4. Таким образом, можно сделать вывод, что математические зависимости (1)–(6) можно использовать для прогнозирования загрязнения воздуха рабочей зоны, по крайней мере,

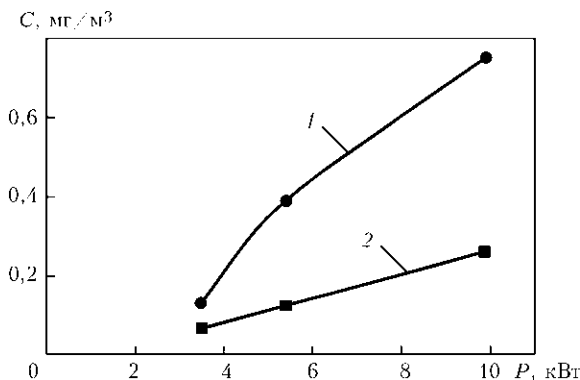


Рис. 2. Зависимость концентрации газов оксида углерода (1) и диоксида азота (2) в воздухе рабочей зоны на расстоянии 100 см до сварочной дуги от мощности дуги

Таблица 1. Значения относительных погрешностей и коэффициентов суммарной корреляции зависимостей (1)–(6)

Зависимость	Относительная погрешность, %	Коэффициент суммарной корреляции
(1)	18,0	0,940
(2)	18,2	0,986
(3)	19,2	0,939
(4)	5,00	1,00
(5)	10,0	0,074
(6)	11,5	0,960



**Таблица 2. Концентрация оксида углерода в воздухе рабочей зоны**

Марка электрода	Расстояние до места сварки L, м		
	0,55	1,00	1,50
	Минимально и максимально возможная концентрация CO, мг/м <sup>3</sup>		
	0,64...1,06	0,29...0,49	0,13...0,21
АНО-36	0,85	0,39	0,17
АНО-4	0,65	0,43	0,13
АНО-24	0,40	0,22	0,10
УОНИ-13/55	1,23	0,29	0,50
АНО-6	1,19	0,02	0,73

при сварке электродами с рутиловым и рутилцеллюлозным покрытием.

Результаты исследований зависимостей концентраций оксида углерода и диоксида азота при ручной дуговой сварке покрытыми электродами должны учитываться при проведении санитарно-гигиенической оценки условий труда. При этом необходимо руководствоваться требованиями ГОСТ 12.1.005–88 [11], согласно которому для предупреждения возможности превышения ПДК в воздухе рабочей зоны для веществ одностороннего действия учитывается их суммарное действие на организм человека. Поэтому, учитывая, что оксид углерода и диоксид азота имеют одностороннее общетоксическое действие [11], гигиеническая оценка воздуха рабочей зоны и выбор системы вентиляции в данном случае должны проводиться с соблюдением следующего условия:

$$\frac{C_{CO}}{ПДК_{CO}} + \frac{C_{NO_2}}{ПДК_{NO_2}} \leq 1. \quad (7)$$

Расчеты, полученные по формуле (7) на основании данных рис. 1, показали, что в зависимости от условий выполнения сварочных работ (наличия или отсутствия вентиляции), расстояния до сварочной дуги и режима сварки результат суммарного действия оксида и диоксида азота может принимать различные значения, т. е. может быть

The paper presents the results of investigations of dependencies of concentrations of noxious gases (carbon oxide and nitrogen dioxide) released into work zone air in coated-electrode manual arc welding, on distance to welding arc under different ventilation conditions (with general ventilation, local ventilation and without ventilation). Respective analytical equations are derived that allow forecasting noxious gas concentrations in different points of the work zone, depending on welding arc power.

**Таблица 3. Концентрация диоксида азота в воздухе рабочей зоны**

Марка электрода	Расстояние до места сварки L, м		
	0,55	1,00	1,50
	Минимально и максимально возможная концентрация NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>		
	1,22...2,04	2,26...3,78	0,79...1,31
АНО-36	1,63	3,02	1,05
АНО-4	1,56	2,60	1,23
АНО-24	0,85	1,42	1,37
УОНИ-13/55	2,34	1,58	1,33
АНО-6	2,40	1,78	1,98

больше или меньше 1, что и является основанием для выбора вида и производительности вентиляции.

1. Левченко О. Г., Лукьяненко А. О., Полукаров Ю. О. Экспериментальное и расчетное определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны при дуговой сварке покрытыми электродами // Автомат. сварка. — 2010. — № 1. — С. 31–34.
2. МУ 1924–78. Гигиеническая оценка сварочных материалов и способов сварки, наплавки и резки металлов. — М.: Минздрав СССР, 1980. — 15 с.
3. МУ 4945–88. Определение вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы). — М.: Минздрав СССР, 1990. — 150 с.
4. МУ 3936–85. Контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны. — М.: Минздрав СССР, 1985. — 18 с.
5. Походня И. К. Газы в сварных швах. — М.: Машиностроение, 1972. — 225 с.
6. Press H. Formation des oxydes d'azote lors du soudage aux gaz. Mesures pour la prevention d'atteintes a la sante // Soudage et techn. connexes. — 1981. — № 516. — P. 207–212.
7. Орловский П. Н. Системный анализ. — Киев: Изд. Минва образования Украины, 1996. — 360 с.
8. Ферстер Е., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. — М.: Финансы и статистика, 1987. — 365 с.
9. Основи охорони праці / М. П. Купчик, М. П. Гандзюк, І. Ф. Степанець та ін. — К.: Основа, 2000. — 416 с.
10. Sipek L. Emission of gases pollutants during GTA welding of yorcalbro brass. — [1988]. — 16 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. VIII-1443–88).
11. ГОСТ 12.1.005–88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. — Введ. 01.01.89.

Поступила в редакцию 07.04.2010