



# САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ6

О. Г. ЛЕВЧЕНКО, д-р техн. наук, В. С. МАШИН, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены результаты исследования содержания вредных веществ в воздухе при сварке в инертных газах алюминиевого сплава. Предложены рекомендации по защите органов дыхания сварщиков.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, алюминиевый сплав, сварочные аэрозоли, условия труда, местная вентиляция, средства защиты

Сварка алюминиевых сплавов плавящимся электродом в инертных газах (способ МИГ) по сравнению со сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне (способ ТИГ) обеспечивает более высокую производительность процесса, уменьшение зоны термического влияния и снижение уровня остаточных деформаций изделий. Сварка способом МИГ позволяет выполнять многослойные швы в узкую разделку кромок и незаменима при изготовлении тавровых и нахлесточных соединений. При этом экономические показатели процесса улучшаются с увеличением толщины свариваемого металла.

К недостаткам сварки способом МИГ в аргоне следует отнести повышенную пористость швов, значительные потери легкоиспаряющихся легирующих элементов из электродного металла и большие выделения в воздух рабочей зоны вредных веществ в виде сварочного аэрозоля (СА), что требует применения специальных устройств местной вентиляции, а также (в некоторых случаях) средств индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков.

Более высокого качества швов достигают при сварке в гелии или гелий-аргоновых смесях. Применение защитных газов на основе гелия при сварке на повышенных токах (когда температура капель электродной проволоки достигает температуры кипения металла) приводит (по сравнению со сваркой в аргоне) к падению на 100...200 °С средней температуры электродных капель, уменьшению испарения легкокипящих легирующих элементов и, соответственно, снижению выделения продуктов горения дуги в окружающую атмосферу.

Цель работы — проведение сравнительных исследований санитарно-гигиенических условий труда операторов при сварке способами МИГ и ТИГ на повышенных токах толстолистового алюминиевого сплава марки АМГ6 и разработка рекомендаций по защите от СА.

Для опытов по отбору проб СА использовали плиты сплава АМГ6 (ГОСТ 4784-74) толщиной 25 мм, сварочную проволоку СвАМГ6 (ГОСТ

7871-75) диаметром 2,5 и 3,15 мм, аргон высшего сорта (ГОСТ 10157-79) и гелий марки Б (ТУ 51-940-80). Химический состав свариваемого металла и электродной проволоки приведен в табл. 1. Плиты и проволоку очищали в растворах щелочи и азотной кислоты. Перед сваркой кромки шабрили.

Одностороннюю сварку неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне осуществляли с помощью установки ПРС-630 на следующих режимах:  $I_{св} = 460...480$  А;  $U_{д} = 13...15$  В;  $v_{п.пр} = 50$  м/ч;  $v_{св} = 6$  м/ч;  $d_{эл} = 8$  мм;  $d_{пр} = 2,5$  мм;  $Q_{Ar} = 35$  л/мин. Ширина разделки с криволинейным скосом двух кромок составляла 26 мм, притупление — 5 мм.

Одностороннюю сварку плавящимся электродом в гелий-аргоновой смеси (50 % гелия) выполняли на аппарате А1431 от источника питания ВДУ-1201 на следующих режимах:  $I_{св} = 480...500$  А;  $U_{д} = 32...33$  В;  $v_{п.пр} = 280$  м/ч;  $v_{св} = 30$  м/ч;  $d_{пр} = 3,15$  мм;  $Q_{газа} = 70$  л/мин. Ширина раскрытия кромок с криволинейным скосом составляла 12 мм, притупление — 5 мм.

Соединения подвергали рентгеновскому просвечиванию, металлографическим исследованиям и механическим испытаниям.

Состояние воздушной среды оценивали путем отбора проб воздуха в зоне сварки на расстоянии 20 см от дуги. Для обеспечения достоверности результатов отбирали не менее шести проб. При определении содержания вредных веществ в воздухе, загрязненном СА, воздух аспирировали с помощью электроасpirатора модели 822 через предварительно взвешенные фильтры АФА-ВП-20 со скоростью 5...15 л/мин [1, 2].

Количество твердой составляющей СА (ТССА) в воздухе рабочей зоны определяли гравиметрическим методом [1]. Содержание компонентов ТССА (соединений алюминия, марганца, железа,

**Таблица 1. Химический состав свариваемого металла и электродной (присадочной) проволоки**

Объект исследования	Массовая доля элементов, %						
	Mg	Mn	Si	Fe	Ti	Cu	Zn
Сплав АМГ6	6,23	0,60	0,20	0,28	0,10	0,03	0,01
Проволока СвАМГ6	6,55	0,62	0,15	0,25	0,10	0,01	0,01

титана, меди) устанавливали, используя методику, описанную в работе [2].

Концентрацию компонентов газообразной составляющей СА (ГССА) (озона, монооксида углерода (угарного газа), оксида и диоксида азота) определяли с помощью колориметрических методов на приборе ГХ-4 [2].

Состояние воздушной среды производственного помещения оценивали в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005–88.

Для обеспечения достоверности полученных данных использовали методы математической статистики [3]. Было отобрано 114 проб воздуха из зоны дыхания оператора, выполнено 120 химических анализов и 78 экспресс-анализов.

Результаты рентгеновского просвечивания погонной длины 1,6 м многопроходных швов показали, что при сварке неплавящимся электродом в них обнаружены единичные поры диаметром 0,5... 2,5 мм, вольфрамовые включения размерами 0,5... 1,5 мм и оксидные пленки длиной 5... 12 мм. При сварке плавящимся электродом в металле швов обнаружены только единичные поры диаметром 0,5... 1,5 мм.

Значения прочности металла швов и сварных соединений, полученных сваркой способами МИГ и ТИГ, находятся в среднем на одном уровне (в обоих случаях образцы вырезали из бездефектных участков). Коэффициент прочности сварных соединений, выполненных способами ТИГ и МИГ, составлял соответственно 0,91... 0,92 и 0,94... 0,95 прочности основного металла в состоянии поставки ( $\sigma_b = 338$  МПа).

Результаты определения концентрации вредных веществ в зоне дыхания оператора (на расстоянии 20 см от сварочной дуги) и в нейтральной точке (на расстоянии 4 м от дуги) представлены в табл. 2. Как следует из данных таблицы, при использовании плавящегося электрода концентрация ТССА в зоне дыхания оператора намного выше, чем неплавящегося электрода. Это объясняется тем, что главным источником образования ТССА являются испарения из торца плавящегося электрода, имеющего более высокую температуру по сравнению с основным металлом [4]. Поскольку неплавящийся (вольфрамовый) электрод не вносит свою долю в образование ТССА, а производительность расплавления присадочной проволоки намного ниже, то и количество испаряемого металла при этом процессе меньше, чем при применении плавящегося электрода.

Основным токсичным компонентом ТССА является марганец. Химический анализ отобранных проб ТССА (табл. 2) свидетельствует, что средняя концентрация этого компонента составляла  $2,42 \pm 0,13$  мг/м<sup>3</sup>, что примерно в восемь раз выше предельно допустимой концентрации (ПДК).

Что касается соединений алюминия и магния, то их концентрации превышали ПДК соответственно в 85 и 24 раза. Концентрация оксидов железа не превышала установленных норм. Соединения титана и меди не были обнаружены ни в одной пробе.

Таблица 2. Содержание вредных веществ в воздухе при сварке

Место отбора проб СА	Наименование компонентов СА	Количество определений	Концентрация компонентов СА, мг/м <sup>3</sup>		
			Разбег значений	Среднее значение	
<i>Способ МИГ</i>					
0,20 м от дуги	TССА	10	126,3...740,6	318,9 ± 65,41	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10	69,3...329,9	169,7 ± 27,8	
	MgO	10	5,6...44,8	21,4 ± 4,17	
	MnO <sub>2</sub>	10	2,0...3,17	2,42 ± 0,13	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10	2,0...5,0	3,5 ± 0,32	
	O <sub>3</sub>	6	0,13...0,22	0,17 ± 0,016	
	CO	6	6,25...6,25	6,25 ± 0,0	
4 м от дуги	NO	6	6,7...10,0	8,9 ± 0,58	
	TССА	4	1,0...1,4	1,3 ± 0,12	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4	1,2...1,6	1,4 ± 0,12	
	MgO	4	0,27...0,35	0,32 ± 0,002	
0,2 м от дуги	O <sub>3</sub>	4	0,03...0,05	0,04 ± 0,006	
	<i>Способ ТИГ</i>				
	TССА	6	1,4...4,1	2,5 ± 0,47	
	O <sub>3</sub>	6	0,010...0,026	0,016 ± 0,003	
0,2 м от дуги	CO	6	12,5...12,5	12,5 ± 0,0	
	NO	6	2,7...4,7	3,7 ± 0,35	

Из токсичных ГССА, образующихся при сварке алюминия способом МИГ, наиболее опасным является озон, концентрация которого превышала ПДК в 1,7 раза. Токсичный диоксид азота не обнаружен, а концентрация оксида азота превышала нормы в 1,8 раза. Концентрация монооксида углерода не превышала ПДК.

Результаты оценки состояния воздушной среды на расстоянии 4 м от дуги показали, что по мере удаления от нее концентрация ТССА резко снижается (в 250 раз). Естественно, концентрации входящих в ее состав компонентов также снижаются (в данном случае ниже ПДК), а железо, марганец, титан и медь в отобранных пробах отсутствуют. Из газообразных компонентов был обнаружен только озон в количестве, не превышающем ПДК (табл. 2).

При исследовании состава воздушной среды зоны дыхания сварщиков, использующих неплавящийся (вольфрамовый) электрод, установлено, что этот процесс сопровождается значительно меньшими выделениями ТССА и газов (табл. 2). В связи с незначительной запыленностью воздуха не предоставлялось возможным определить содержание компонентов, входящих в состав сплава АМг6 (соединения алюминия, марганца, титана, железа и меди). В составе газов, выделяющихся в процессе сварки, обнаружены оксиды углерода и азота, а также озон в незначительных количествах, не превышающих ПДК.

Таким образом, установлено, что при сварке способом МИГ алюминиево-магниевого сплава АМг6 воздух рабочей зоны загрязняется СА сложного химического состава, содержащим ряд ток-



сичных компонентов в составе твердой составляющей (до 50 % оксида алюминия, 6,3 % оксида магния, 0,7 % диоксида марганца, около 1 % оксидов железа) и газообразной составляющей (озон, монооксид углерода и оксид азота).

Одной из самых простых гигиенических рекомендаций при автоматической сварке способом МИГ является увеличение расстояния от сварочной дуги, где концентрация вредных веществ ниже.

Наиболее эффективными средствами защиты органов дыхания являются устройства местной вытяжной вентиляции, позволяющие улавливать СА непосредственно возле источника их выделений [5]. Для способа МИГ рекомендуется применять передвижные или стационарные вентиляционные или фильтровентиляционные агрегаты производительностью не менее 1000 м<sup>3</sup>/ч [6]. Чтобы обеспечить максимальную локализацию выделяющегося факела СА воздухоприемные воронки этих агрегатов с гибкими воздуховодами следует устанавливать непосредственно на сварочных головках автоматов или возле них на минимальном расстоянии от дуги. В фильтровентиляционных агрегатах необходимо применять фильтры, очищающие удаляемый с места сварки воздух не только от ТССА, но и от ГССА (озона, монооксида углерода и оксида азота) [7].

В случае, когда невозможно применять предложенные средства местной вентиляции или при наличии малоэффективной вентиляции, т. е. при превышении ПДК, необходимо использовать средства индивидуальной защиты органов дыхания — фильтрующие респираторы с соответствующими фильтрами [7, 8].

1. № 1924–78. Гигиеническая оценка сварочных материалов и способов сварки, наплавки и резки металлов: методические указания. — М.: Минздрав СССР, 1980. — 15 с.
2. № 4945–88. Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы). — М.: Минздрав СССР, 1990. — 150 с.
3. Чарыков А. К. Математическая обработка результатов химического анализа. — Л.: Химия, 1984. — 168 с.
4. *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.
5. Левченко О. Г., Метлицкий В. А. Современные средства вентиляции при сварке (Обзор) // *Автомат. сварка*. — 1995. — № 3. — С. 40–48.
6. Левченко О. Г., Метлицкий В. А. Современные средства защиты сварщиков. — Киев: Экотехнология, 2001. — 84 с.
7. Левченко О. Г. Классификация сварочных аэрозолей и выбор методов их нейтрализации // *Автомат. сварка*. — 1999. — № 6. — С. 38–41.
8. Ракитская Т. Л., Эннан А. А., Бандурко А. Ю. Углеродные волокнистые материалы для респиратора «Снежок ГП-озон» // *Там же*. — 1995. — № 7. — С. 62–64.

Results of investigations of the content of harmful materials in air in inert-gas welding of aluminium alloys are given. Recommendations on protection of welder's respiration organs are offered.

Поступила в редакцию 15.08.2002,  
в окончательном варианте 04.09.2002

**Труды 1-й Международной научно-практической конференции «Защита окружающей среды, здоровье, безопасность в сварочном производстве» (11–13 сент. 2002 г., г. Одесса) / Физ.-хим. ин-т защиты окр. среды и человека. — Одесса: Астропринт, 2002. — 728 с.**

Труды 1-й Международной  
научно-практической конференции

**Защита окружающей среды,  
здоровье, безопасность  
в сварочном производстве**

11 - 13 сентября 2002 г.  
г. Одесса



Труды содержат материалы 81 доклада, отражающие состояние НИОКР в области экологии сварочного производства, включая физико-химические основы улавливания, нейтрализации, утилизации сварочных аэрозолей; технологические и технические возможности уменьшения выбросов, а также медицинские, экономико-правовые аспекты защиты сварщиков и окружающей среды от воздействия сварочных аэрозолей. Книга может быть полезна инженерно-техническому персоналу, научным работникам, а также аспирантам и студентам.

Заказы на книгу просьба направлять по адресу:  
65026, г. Одесса, ул. Преображенская, 3, ФХИЗОСич

Справки по тел.: 23-75-61, 23-11-16,  
e-mail: [eksvar@ukr.net](mailto:eksvar@ukr.net), [eksvar@hotmail.ru](mailto:eksvar@hotmail.ru)