

УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

О. Г. ЛЕВЧЕНКО¹, А. Т. МАЛАХОВ¹, А. Ю. АРЛАМОВ²

¹ ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

² НТТУ «Киевский политехнический институт». 03056, г. Киев, просп. Победы, 37.

Сварочная дуга является источником интенсивного потока оптического излучения в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах, среди которых следует выделить наиболее жесткое УФ-С излучение с сильным вредным воздействием на органы зрения и кожные покровы человека. Цель настоящей работы состояла в комплексном исследовании интегральных характеристик УФ излучения при ручной дуговой сварке покрытыми электродами различных марок (МР-3, УОНИ-13/55, АНО-4, АНО-12, АНО-36) и видов покрытий (рутиловое, основное, рутил-целлюлозное), предназначенными для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Интенсивность УФ-С и УФ-А излучения измеряли дозиметром оптического излучения ДАУ-81 на расстояниях 0,55...1,5 м от точки сварки. Путем анализа и статистической обработки результатов измерений установлено, что на расстояниях 0,5...1,5 м, на которых обычно находятся сварщик и вспомогательный персонал при ручной дуговой сварке, интегральная интенсивность УФ-С излучения составляет 0,7...5 Вт/м², что в 700...5000 раз превышает нормативное значение 0,001 Вт/м², регламентируемое действующими в Украине санитарными нормами СН 4557–88 для работающих при наличии незащищенных участков поверхности кожи. При этом минимальные расстояния, на которых допустимо пребывание указанной категории работающих при прямой видимости места сварки, составляют от 25 до 65 м (в зависимости от марки электрода и силы сварочного тока). Интенсивность УФ-С излучения в первую очередь зависит от марки применяемых электродов, а не от вида их покрытия. Показано, что интенсивность УФ излучения обратно пропорциональна квадрату расстояния от сварочной дуги и существенно зависит от силы сварочного тока. Результаты работы могут быть использованы при санитарно-гигиенической аттестации рабочих мест сварщиков. Библиогр. 6, табл. 4.

Ключевые слова: ультрафиолетовое излучение, интегральные характеристики, безопасное расстояние, ручная дуговая сварка, покрытые электроды

Сварочная дуга является источником не только интенсивного потока света в видимом диапазоне и инфракрасного излучения, но и невидимого ультрафиолетового излучения (УФИ) с длиной волны 200...400 нм. По длине волны УФИ подразделяется на три диапазона УФ-А (315...400 нм), УФ-В (280...315 нм) и УФ-С (200...280 нм). Наиболее жестким является УФ-С излучение, обладающее сильным вредным воздействием на органы зрения и кожные покровы человека. Заметим, что в спектре солнечного излучения на земной поверхности УФ-С лучи практически отсутствуют, интенсивно поглощаясь в основном в верхнем озоновом слое атмосферы.

Несмотря на важность исследований УФИ при сварке для обеспечения безопасности персонала, публикации по этой тематике в странах СНГ практически отсутствуют. Публикации в странах ЕС, США и Японии имеют свою специфику, характеризующуюся санитарно-гигиенической направленностью в оценке излучения при сварке в соответствии с национальными нормами, отличающимися от действующих в Украине и странах СНГ.

Поэтому цель данной работы заключалась в комплексном исследовании интегральных характеристик УФИ при ручной дуговой сварке по-

крытыми электродами различных марок и видов покрытий, предназначенными для сварки углеродистых и низколегированных сталей.

Методика исследований. Исследования проводили при ручной дуговой сварке электродами диаметром 4 мм в нижнем положении сварного шва, в закрытом помещении при температуре воздуха 15...20 °С и средней относительной влажности воздуха с вытяжной вентиляцией над местом сварки. Источник питания — выпрямитель сварочный ВДУ-506. Сварочный ток фиксировали на значениях 150, 175 и 200 А, попадающих в диапазон рекомендованных режимов для электродов АНО-4, АНО-12, АНО-36, МР-3, УОНИ-13/55. Датчик УФ-С и УФ-А излучения одноканального автоматического дозиметра оптического излучения ДАУ-81 располагался на фиксированных расстояниях 0,55 (расстояние вытянутой руки), 1,0 и 1,5 м от точки сварки в направлении под углом 27...30° к горизонтальной сварочной поверхности. Датчики были направлены на точку сварочной дуги в условиях ее прямой видимости. Дозиметром в течение 30...60 с фиксировалось значение дозы облучения (Дж/м²). Значение средней интенсивности излучения (E , Вт/м²) получали путем деления дозы на время измерения. Для контроля это значение сверяли с показаниями стрелочного измерителя интенсивности излуче-

ния дозиметра ДАУ-81. Для повышения надежности результатов экспериментов измерения повторяли 2...3 раза в одинаковых условиях.

Результаты исследований. Обработку данных измерений проводили на ПК методом наименьших квадратов. В ходе измерений установлено, что интенсивность излучения существенно зависит от расстояния (d , м) до источника излучения (сварочная дуга) и от силы сварочного тока (I , А). Предварительно была выдвинута гипотеза о том, что на данных расстояниях интенсивность излучения подчиняется закону обратных квадратов ($E \sim 1/d^2$). При обработке результатов измерений эта зависимость подтверждена с высокой точностью. Отметим, что такая же зависимость получена в работе [1] при сварке в защитной среде CO_2 . С физической точки зрения это соответствует условиям свободного распространения оптического излучения от точечного источника и означает, что на исследуемом промежутке расстояний (0,55...1,5 м) сварочную дугу можно считать точечным источником, на распространение потока излучения от которого процессы поглощения, диффузионного рассеивания и отражения светового потока оказывают незначительное влияние. Это вполне ожидаемо в данных условиях сварки и измерений. После этого зависимость $E(d, I)$ запишем в виде

$$E = \frac{a + bI}{d^2}. \quad (1)$$

Коэффициенты a , b находили с помощью метода наименьших квадратов в матричной форме [2]. Такой подход позволил включить в обработку результаты измерений на различных расстояниях, что увеличило достоверность найденных коэффициентов за счет возрастания количества точек

измерения. Полученные значения коэффициентов приведены в табл. 1. Значения коэффициентов корреляции R^2 в таблице указывают на весьма высокую точность связи между факторным (сила тока) и результативным (интенсивность излучения) признаками.

Отметим, что аналогичная (1) зависимость эффективной интенсивности излучения от силы сварочного тока на фиксированном расстоянии от места сварки получена в работе [3]. Более широкий диапазон изменения сварочного тока (45...250 А) получен путем объединения результатов измерений при ручной дуговой сварке электродами различного диаметра.

Для сравнительной оценки влияния марки и вида покрытия электрода на интенсивность излучения составлена табл. 2, в которой приведены интенсивности излучения, рассчитанные по формуле (1) при различных значениях тока на расстоянии 1 м.

В этой таблице значения интенсивностей УФ-С излучения ранжированы по возрастанию при среднем значении сварочного тока 175 А. Как видно, примерно такое же ранжирование сохраняется и для тока 200 А. На нижней границе исследуемого диапазона при токе 150 А ранжирование существенно отличается. Вероятно, это связано с нестабильностью процесса горения дуги при таких режимах сварки электродами диаметром 4 мм.

Анализ табл. 2 показывает, что эмиссия УФ-С излучения при сварке определяется маркой электрода, а не видом его покрытия. Еще в большей мере эмиссия УФ-С лучей зависит от силы сварочного тока. Существенная зависимость от силы тока позволяет предположить, что интенсивность оптического излучения в основном зависит от

Таблица 1. Коэффициенты зависимости (1), полученные в результате обработки данных измерений

Марка электрода	Вид покрытия	УФ-С			УФ-А		
		a , Вт	b , Вт/А	R^2	a , Вт	b , Вт/А	R^2
УОНИ-13/55	Основное	-7,7275	0,0562	0,9736	-5,4838	0,0439	0,9645
АНО-12	-»-	-10,140	0,0719	0,9901	-7,4335	0,0530	0,9562
АНО-4	Рутильное	-6,0125	0,0459	0,9942	-9,1275	0,0682	0,9310
МР-3	-»-	-8,4850	0,0629	0,9683	-9,4144	0,0706	0,9322
АНО-36	Рутил-целлюлозное	-8,8575	0,0627	0,9686	-9,5375	0,0730	0,9627

Примечание. R^2 — статистический коэффициент корреляции.

Таблица 2. Расчетные значения интенсивности УФИ ($d = 1$ м)

Марка электрода	Вид покрытия	УФ-С, Вт/м ²			УФ-А, Вт/м ²		
		I , А			I , А		
		150	175	200	150	175	200
АНО-4	Рутильное	0,87	2,0	3,2	1,1	2,8	4,5
УОНИ-13/55	Основное	0,70	2,1	3,5	1,1	2,2	3,3
АНО-36	Рутил-целлюлозное	0,55	2,1	3,7	1,4	3,2	5,1
АНО-12	Основное	0,65	2,4	4,2	0,5	1,8	3,2
МР-3	Рутильное	0,95	2,5	4,1	1,2	2,9	4,7

мощности, выделяемой в зоне сварочной дуги, и в меньшей мере — от спектральных особенностей излучения, обусловливаемых маркой и видом покрытия электрода.

В соответствии с санитарными нормами СН 4557–88 [4] в производственных помещениях установлены следующие допустимые интенсивности УФИ:

допустимая интенсивность облучения работающих при наличии незащищенных участков поверхности кожи не более 0,2 Вт/м² и периода облучения до 5 мин, длительности пауз между ними не менее 30 мин и общей продолжительности воздействия за смену до 60 мин не должна превышать 50,0 Вт/м² для области УФ-А, 0,05 Вт/м² для области УФ-В и 0,001 Вт/м² для области УФ-С;

допустимая интенсивность УФИ работающих при наличии незащищенных участков поверхности кожи не более 0,2 м² (лицо, шея, кисти рук и др.), общей продолжительности воздействия излучения 50 % рабочей смены и длительности однократного облучения свыше 5 мин и более не должна превышать 10,0 Вт/м² для области УФ-А и 0,01 Вт/м² для области УФ-В; излучение в области УФ-С при указанной продолжительности не допускается.

С учетом этих норм определим безопасные расстояния d_s для работающих при наличии незащищенных участков поверхности кожи и находящихся в направлении прямой видимости места сварки. Предполагаем свободное распространение УФ лучей с обратно пропорциональной зависимостью интенсивности от квадрата расстояния $E \sim 1/d^2$. В этом случае величину d_s можно рассчитать по формуле

$$d_s = \sqrt{\frac{a + bI}{E_s}} \quad (\text{м}), \quad (2)$$

где a, b — коэффициенты, значения которых приведены в табл. 1; E_s — граничное допустимое значение интенсивности облучения, соответствующее нормам безопасности.

В табл. 3 приведены расчетные значения d_s при $E_s = 0,001$ Вт/м² для области УФ-С и $E_s = 50,0$ Вт/м² для области УФ-А.

Как видим, минимальные расстояния, на которых может находиться вспомогательный персонал при ручной дуговой сварке в направлении прямой видимости места сварки, довольно велики в случае воздействия УФ-С лучей. Для УФ-А излучения эти расстояния значительно меньше, поэтому определяющим безопасность участком спектра является УФ-С излучение. В случае необходимости пребывания вспомогательного персонала в довольно обширной зоне опасного воздействия не-

Таблица 3. Расчетные значения безопасных расстояний (d_s , м) при воздействии УФИ на вспомогательный персонал при ручной дуговой сварке

Марка электрода	УФ-С			УФ-А		
	I, А			I, А		
	150	175	200	150	175	200
АНО-4	30	45	57	0,15	0,24	0,30
УОНИ-13/55	27	46	60	0,15	0,21	0,26
АНО-36	24	46	61	0,17	0,25	0,32
АНО-12	26	49	65	0,10	0,19	0,25
МР-3	31	50	64	0,16	0,24	0,31

обходимо принимать меры по защите кожных покровов и глаз от данного излучения.

В табл. 3 безопасные расстояния даны для временных характеристик воздействия согласно действующим в Украине санитарным нормам СН 4557–88. В частности, за рабочую смену суммарное время воздействия УФ-С излучения не должно превышать 60 мин. В странах ЕС условия безопасности определяются Директивой 2006/25/ЕС [5]. В частности, предельная эффективная доза воздействия УФИ в течение рабочей смены (8 ч) ограничена значением $H_{es} = 30$ Дж/м². Зная значение интенсивности УФ-С излучения в определенных условиях, можно рассчитать допустимое время воздействия t_s путем деления H_{es}/E . В табл. 4 приведены расчетные значения безопасных расстояний при определенном времени воздействия УФ-С излучения. Для заданного времени воздействия t_s находилось допустимое значение $E_s = H_{es}/t_s$ и затем по формуле (2) вычислялась величина d_s .

Отметим, что полученные аналогичным методом расчетные значения безопасных расстояний [6] незначительно отличаются от значений, приведенных в табл. 4.

Сравнение значений в табл. 3 и 4 показывает, что при одинаковой интенсивности излучения санитарные нормы СН 4557–88 в отличие от норм ЕС накладывают более жесткие ограничения по допустимому времени воздействия. Кроме того,

Таблица 4. Расчетные значения безопасных расстояний (d_s , м) при воздействии УФ-С излучения на вспомогательный персонал при ручной дуговой сварке в зависимости от времени воздействия ($I = 200$ А)

Марка электрода	t_s , мин						
	1	10	30	60	120	240	480
	E_s , Вт/м ²						
	0,5	0,05	0,017	0,008	0,004	0,002	0,001
АНО-4	2,6	8,2	14	20	29	40	57
УОНИ-13/55	2,7	8,7	15	21	30	42	60
АНО-36	2,8	8,8	15	22	31	43	61
АНО-12	3,0	9,4	16	23	33	46	65
МР-3	2,9	9,2	16	23	32	45	64

нормы ЕС допускают воздействие УФ-С излучения с интенсивностью более $0,001 \text{ Вт/м}^2$, что записывается СН 4557–88. В этом плане нормы ЕС являются более детально разработанными, гибкими и обоснованными с физической точки зрения.

Выводы

1. Установлено, что на расстояниях от 0,5 до 1,5 м, на которых обычно находятся сварщик и вспомогательный персонал при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, интегральная интенсивность УФ-С излучения составляет от 0,7 до 5 Вт/м^2 , что в 700...5000 раз превышает нормативное значение $0,001 \text{ Вт/м}^2$, регламентируемое действующими в Украине санитарными нормами СН 4557–88 для работающих при наличии незащищенных участков поверхности кожи. При этом минимальные расстояния, на которых допустимо пребывание указанной категории работающих при прямой видимости места сварки, составляют

от 25 до 65 м (в зависимости от марки электрода и силы сварочного тока).

2. Установлено, что интенсивность УФ-С излучения в первую очередь зависит от марки применяемых электродов, а не от вида их покрытия (рутиловое, основное, рутит-целлюлозное). Показано, что интенсивность УФ-С обратно пропорциональна квадрату расстояния от сварочной дуги.

1. *Tsutomy Okuno, Jun Ojima, Hiroyuki Sayto.* Ultraviolet radiation emitted by CO_2 arc welding // *Ann. occup. Hyg.* – 2001. – 45, № 7. – P. 597–601.
2. *Магнус Я. Р., Катыхиев П. К., Пересецкий А. А.* Экономика: Начальный курс. – М.: Дело, 1998. – 248 с.
3. *Emission of UV radiation during arc welding / D. Schwass, M. Wittlich, M. Shmitz, H. Siekmann // IFA-Information (Dec. 2011).* – www.dguv.de/ifa. – P. 1–12.
4. *СН 4557–88.* Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях. – Введ. 1988-02-23. – М.: Минздрав СССР, 1988. – 3 с.
5. *Directive 2006/25/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure on workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation).*
6. *Terry L. Lyon.* Knowing the dangers of actinic ultraviolet emissions // *Welding J.* – 2002. – Dec. – P. 28–30.

Поступила в редакцию 09.04.2014

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ПАТОН»

www.patonpublishinghouse.com



СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. – Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2014. – 168 с. Мягкий переплет, 200×290 мм.

Сборник включает 28 статей, опубликованных в журнале «Автоматическая сварка» за период 2011–2013 гг., по проблемам разработки, изготовления и применения сварочных материалов, включая покрытые электроды, порошковые проволоки и ленты, сварочные флюсы, а также материалы для наплавки. Представлены обзоры состояния производства агломерированных флюсов, материалов для электродуговой сварки, газотермического напыления, наплавки лентами. Приведена справочная информация о производителях сварочных материалов в Украине. Сборник предназначен для научных сотрудников, инженеров и технологов, занимающихся сварочными технологиями и их применением.

Заказы на книгу просьба направлять в редакцию журнала «Автоматическая сварка»