

УДК: 621.791; 533.9

Вишняков В.И., Киро С.А., Опря М.В., Эннан А.А.-А.

Физико-химический институт защиты окружающей среды и человека, г. Одесса

Ультрафиолетовое излучение при электродуговой сварке металлов в защитном газе и способ его ослабления.

Представлены результаты измерений интенсивности ультрафиолетового излучения (УФИ) дуги при наплавке хромоникелевых сталей в защитном газе. Показаны зависимости интенсивности УФ-С (диапазон 200-280 нм) от состава защитного газа, массового расхода и способа введения присадки калия в зону дуги. Предложена физико-математическая модель ослабления УФ-С излучения атомами калия вне зоны столба дуги. Расчетные зависимости интенсивности УФ-С от массового расхода присадки калия хорошо коррелирует с полученными экспериментальными данными.

Ключевые слова: дуга, ультрафиолетовое излучение, сварочный аэрозоль, присадка калия.

Введение. Сварочная дуга является источником интенсивного ультрафиолетового излучения (УФИ), вредное воздействие которого на организм сварщиков и рабочих смежных профессий приводит к заболеваниям кожного покрова, а также органов зрения [1, 2]. Последствия УФ облучения сварщиков и рабочих смежных профессий зависят от длины волны излучения [2], и допустимые интенсивности УФИ на постоянных и непостоянных рабочих местах установлены для трех спектральных диапазонов (воздух непрозрачен для УФИ с длиной волны меньше 200 нм): УФ-А (315-400 нм), УФ-В (280-315 нм) и УФ-С (200-280 нм).

УФИ плазмы сварочной дуги – следствие рекомбинационных столкновений свободных электронов с ионами, приводящих к образованию нейтральных атомов в основном или возбужденном состояниях [3, 4]. При этом излучается энергия, равная разности энергий свободного и связанного электрона. Поскольку свободные электроны обладают непрерывным спектром энергий, то излучение в процессе рекомбинации имеет сплошной спектр, на который накладывается линейчатый спектр возбужденных атомов защитного газа и металлов [5,6]. Спектр УФИ в основном зависит от химического состава сварочных материалов, а интенсивность УФИ от способа и условий сварки, в частности, силы тока и напряжения дуги, диаметра проволоки/электрода, компонентного состава защитного газа; максимальные интенсивности УФИ фиксируются при сварке плавящимся и неплавящимся электродами в инертном газе, а минимальные – при сварке штучными электродами и порошковой проволокой [4-13]. Однако в большинстве исследований *данные об* интенсивности УФИ в разных диапазонах длин волн, необходимых для *оценки его* опасности на сварочных рабочих местах, не приводится. Сведения по этому поводу представлены только для случаев сварки/наплавки углеродистых и низколегированных сталей штучными электродами [12, 13].

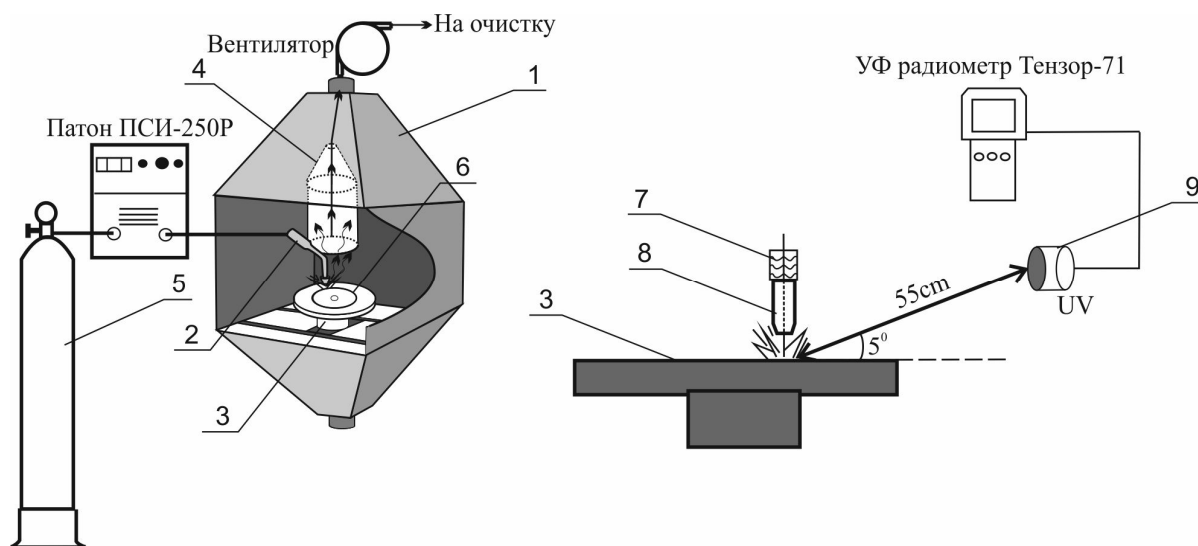


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – сварочная камера, 2 – сварочная горелка, 3 – вращающийся диск, 4 – воздухозаборник, 5 – баллон с защитным газом, 6 – валик наплавленного металла, 7 – ёмкость для смачивания, 8 – сопло сварочной горелки, 9 – УФ детектор.

Интенсивность УФ-дуги зависит от способа сварки и параметров процесса сварки (сила тока, напряжение и длина сварочной дуги, диаметр проволоки/электрода, состав защитного газа). Изменение любого из этих параметров в процессе сварки приводит к изменению УФИ. Тем не менее, технологические возможности для снижения УФИ ограничены необходимо учитывать возможные изменения свариваемости и качества сварного шва. По данным [14] даже сварщики, использующие спецодежду и средства защиты лица и рук подвергаются УФ-В+УФ-С облучению, интенсивность которого многократно превышает допустимое значение (1 Вт/м^2 [15]). Поэтому, возможность снижения интенсивности УФИ при введении следовых количеств веществ с низким потенциалом ионизации в плазму дуги представляет, как научный, так и технологический интерес в плане снижения вредного воздействия процесса сварки.

Методика проведения исследований. Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Исследования проводили в сварочной камере с вытяжной вентиляцией над местом наплавки (расход удаляемого воздуха $1,7 \text{ м}^3/\text{мин}$). Наплавку выполняли на вращающиеся (10 об/мин) диски (диаметр 220 мм , толщина 15 мм) из хромоникелевой стали 08X18Н9 при помощи сварочной горелки, установленной вертикально так, что её сопло находилось на расстоянии 13 мм от диска. В качестве источника питания сварочной дуги применяли инверторный цифровой выпрямитель Патон ПСИ-250Р.

Измерения проводили в диапазоне рекомендованных режимов наплавки хромоникелевой стали 08X18Н9 проволокой Св04X19Н9 диаметром $0,8 \text{ мм}$: напряжение дуги 23 В ; сварочный ток (постоянный при обратной полярности) $90 \pm 5 \text{ А}$; скорость подачи проволоки 10 см/с и скорость сварки $6,5 \text{ мм/с}$; защитный газ (Ar , CO_2 и смесь $92\% \text{ Ar} + 8\% \text{ CO}_2$) со скоростью 12 л/мин подавался из баллонов. Для измерения УФИ использовали УФ-радиометр ТЕНЗОР-71,

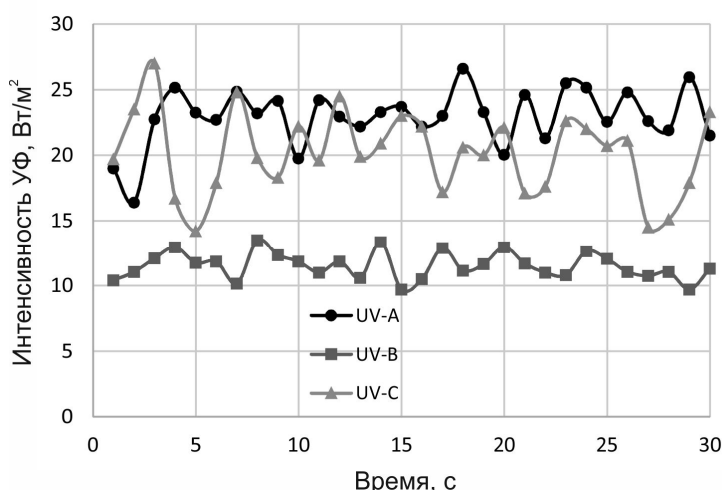


Рис.2. Примеры измеренных значений интенсивности УФ-излучения при наплавке в аргоне

укомплектованный калиброванными детекторами УФ-А, УФ-В и УФ-С, установленными под углом 5° к поверхности диска на расстоянии 0,55 м от сварочной дуги (расстояние вытянутой руки сварщика). Измерения проводились в течение 30 секунд продолжительности сварочного процесса с шагом в одну секунду.

Введение присадки калия в зону дуги осуществляли тремя различными способами:

- 1) Водный раствор поташи равномерно наносили на проволоку методом ее смачивания. Массовый расход калия определяли путем измерения изменения массы ёмкости для смачивания за время наплавки и скорости подачи проволоки.
- 2) Водный раствор поташи равномерно наносили на прогнозируемую поверхность сварного шва и диск был высушен перед началом измерений. Расчет массового расхода калия в процессе наплавки проводили по данным о скорости наплавки, площади поверхности сварного шва и концентрации раствора.
- 3) Введение калия в защитный газ (Ar) осуществлялось путём пневматического распыления водного раствора поташи по методике [16].

Результаты измерений. В качестве примера на рис.2 приведены результаты измерений интенсивностей диапазонов УФИ.

На рис.3 представлены зависимости интенсивности УФ-излучения от состава защитного газа. Увеличение содержания углекислого газа в защитном газе приводит к уменьшению интенсивности УФ-излучения. Такие зависимости наблюдались ранее другими исследователями, например, в работах [4-7] и связаны, в первую очередь с температурой дуги, которая уменьшается при увеличении содержания углекислого газа в смесях Ar+CO₂ [17]. Поэтому средняя кинетическая энергия свободных электронов в аргонной дуге больше, соответственно увеличивается доля энергии, излучаемая в виде сплошного спектра, и интенсивность УФИ.

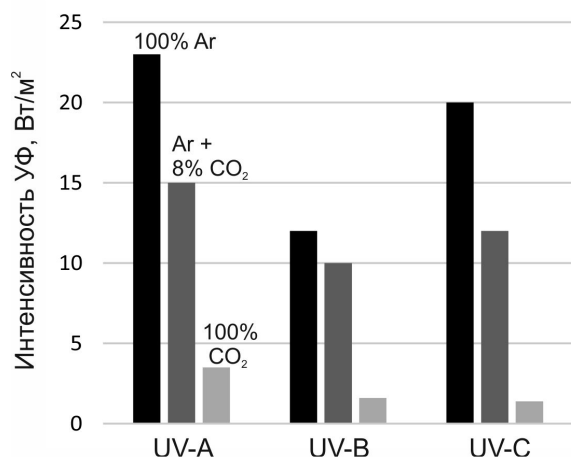


Рис.3. Интенсивность УФИ при различном составе защитного газа

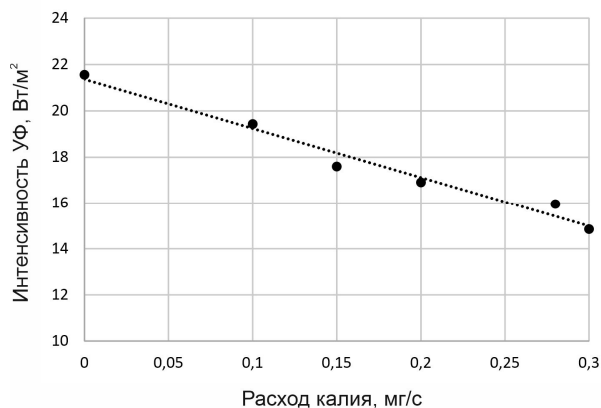


Рис.4. Зависимость интенсивности УФ-С от расхода калия при смачивании электродной проволоки

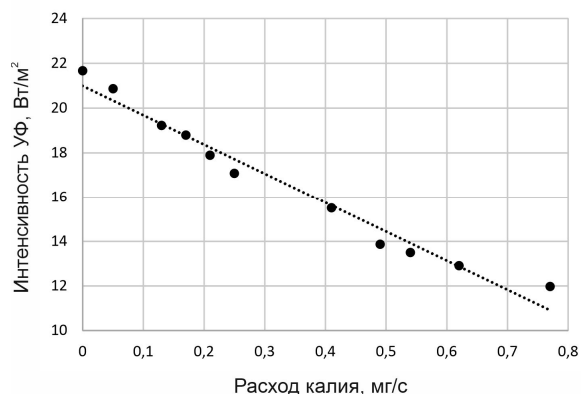


Рис. 5. Зависимость интенсивности УФ-С от расхода калия при смачивании прогнозируемой поверхности сварного шва

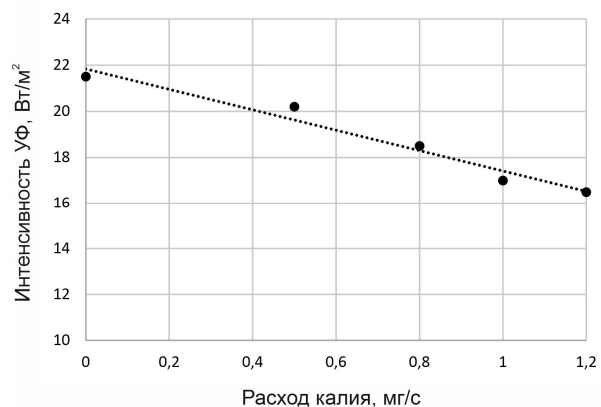


Рис.6. Зависимость интенсивности УФ-С от расхода калия при введении присадки калия в защитный газ (аргон)

На рис.4-6 представлены зависимости интенсивности УФ-С для различных способов введения присадки калия в зону дуги (защитный газ Ar).

Судя по приведенным данным введение присадки калия в зону дуги приводит к уменьшению интенсивности УФ-С, эффективность которого линейно зависит от массового расхода калия. Введение калия путем смачивания электродной проволоки или прогнозируемой поверхности сварного шва приводят к близким результатам. Однако введение калия в защитный газ оказывает более слабое влияние.

Теоретическая модель. Измеренное значение интенсивности излучения в УФ-С диапазоне на расстоянии 55 см от дуги составляет $\sim 20 \text{ Вт/м}^2$ при использовании аргона в качестве защитного газа. Измерения также показали, что интенсивность УФ-С обратно пропорциональна квадрату расстояния от сварочной дуги (при прямой видимости места сварки), то есть дуга может рассматриваться как точечный источник, для описания которого можно использовать закон Планка:

$$R_{ph} = \frac{2\pi(kT_{eff})^4}{c^2h^3} \int_{x_1}^{x_2} \frac{x^2}{\exp x - 1} dx, \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана, T_{eff} – эффективная температура источника излучения, h – постоянная Планка, c – скорость света. Пределы интегрирования $X_{1,2} = hv_{1,2}/kT_{eff}$ определяются диапазоном измеряемого излучения: $hv_1 = 4,4$ эВ и $hv_2 = 6,2$ эВ.

Уравнение (1) дает измеренное значение интенсивности излучения на расстоянии 55 см от дуги 20 Вт/м² при эффективной температуре $T_{eff} = 8000$ К. Соответственно, плотность потока фотонов УФ-С диапазона составляет $j_{ph} = 2,5 \times 10^{21}$ см⁻²с⁻¹ на границе столба дуги и $j_{ph} = 7 \times 10^{15}$ см⁻²с⁻¹ на расстоянии 55 см от дуги.

Присутствие атомов с низким потенциалом ионизации (например, калия) в слое вокруг столба дуги может поглотить часть УФ-С излучения. Калий, испаряемый с поверхности электродной проволоки или с наплавляемой поверхности, смешивается с парами металлов и защитным газом и в составе смеси выходит за пределы столба дуги. Испарение калия с поверхности электродной проволоки может быть рассмотрено как поток от точечного источника в ламинарном потоке защитного газа [18]:

$$v_{sg} \frac{\partial n_K}{\partial z} = D_K \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial n_K}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 n_K}{\partial z^2} \right], \quad (2)$$

где $v_{sg} = 4J_{sg} / \pi d_{torch}^2$ – скорость потока защитного газа, $J_{sg} = 12$ л/мин – расход защитного газа, $d_{torch} = 15$ мм – диаметр горелки, n_K – концентрация атомов калия, D_K – коэффициент диффузии калия, z – координата, направленная от электродной проволоки к сварочной ванне, r – радиус-вектор поперек столба дуги $r^2 = x^2 + y^2$. Решением (2) является функция

$$n_K(z, r) = \frac{J_{mK}}{4\pi m_{aK} D_K \sqrt{r^2 + z^2}} \exp \left[-\frac{v_{sg}}{2D_K} \left(\sqrt{r^2 + z^2} - z \right) \right], \quad (3)$$

где m_{aK} – масса атома калия, J_{mK} – массовый расход калия (0.1; 0.2 и 0.3 мг/с).

Коэффициент диффузии

$$D_K = \frac{1}{3} \lambda_{aK} \sqrt{\frac{8kT_{arc}}{\pi m_{aK}}} \sim 10 \frac{\text{см}^2}{\text{с}},$$

где $\lambda_{aK} \sim 1$ мкм – длина свободного пробега атомов калия в дуге, $T_{arc} \sim 15000$ К – температура дуги при плотности тока 10^7 А/м² [19].

Слой, обогащенный калием, расположен вокруг столба дуги, диаметр которого составляет ~ 3 мм. Граница столба дуги расположена на расстоянии $r_b = 1.5$ мм от его оси. Распределения концентрации атомов калия вдоль дуги (3) в тонком слое на расстоянии от оси 1.5 мм и 4 мм представлены на рис.7 для различных значений расхода калия.

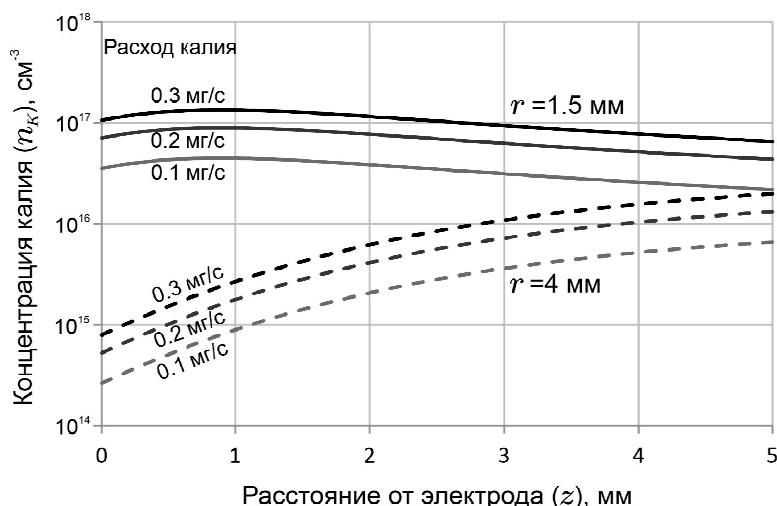


Рис.7. Распределение концентрации атомов калия вдоль дуги.

Следует отметить, что коэффициент диффузии вне дуги отличается от его значения внутри дуги, так как температура защитного газа меняется в зависимости от удаления от дуги:

$$T(r) = T_{sg} + (T_b - T_{sg}) \exp \frac{r_b - r}{l_{mix}}, \quad (4)$$

где $T_{sg} = 300$ К – начальная температура защитного газа, $T_b = 3000$ К – температура защитного газа на границе с дугой, $l_{mix} \sim 10$ мм – длина смешения, которая определяется экспериментально [20].

Среднее значение концентрации калия вдоль дуги, как функция расстояния от нее, может быть определена в виде

$$n_{avK}(r) = \frac{1}{l_{arc}} \int_0^{l_{arc}} n_K(z, r) dz, \quad (5)$$

где $l_{arc} \sim 6$ мм – длина дуги.

Интенсивность фотоионизации атомов калия в УФ-С диапазоне может быть определена в приближении Крамерса-Гейзенберга [21] следующим уравнением

$$\left. \frac{dn_{e(i)}}{dt} \right|_{ph} = \frac{n_a 16 I_K^3}{3\sqrt{3}\pi^2 c^3 e^2 m_e^2} \int_{X_K}^{X_2} \frac{dx}{x(\exp x - 1)} = \frac{n_a}{\tau_{UV}}, \quad (6)$$

где n_e , n_i , n_a – концентрации электронов, ионов и атомов, соответственно, причем $n_a = n_{avK} - n_i$, e – заряд электрона, m_e – масса электрона, $X_K = I_K / kT_{eff}$, $\tau_{UV} \sim 10$ мкс – постоянная времени фотоионизации.

Таким образом, интенсивность фотоионизации, определяющей поглощение фотонов, прямо зависит от концентрации ионизируемых атомов n_a . При этом следует учитывать, что кроме фотоионизации существует другой механизм – ударная ионизация.

Интенсивность ударной ионизации

$$\left. \frac{dn_{e(i)}}{dt} \right|_{col} = n_e n_i k_{ion}, \quad (7)$$

где $k_{ion} = \pi r_{aK}^2 v_{Te}$ – константа ионизации [15], r_{aK} – радиус атома калия, $v_{Te} = \sqrt{8kT / \pi m_e}$ – тепловая скорость электронов.

Постоянная времени ударной ионизации составляет $1 / n_e k_{ion} \sim 0.02$ мкс, что значительно меньше постоянной времени фотоионизации. Это означает, что при расчете ионизационного равновесия фотоионизацией можно пренебречь. Поэтому ионизационное равновесие определяется уравнением Саха [22]:

$$\frac{n_e n_i}{n_a} = 2 \frac{g_e}{g_i} \left(\frac{2\pi m_e kT}{h^2} \right)^{3/2} \exp \frac{-I_K}{kT} \equiv K_S, \quad (8)$$

где g_i и g_a – статистические веса ионов и атомов, K_S – константа Саха.

Условие нейтральности

$$n_e = n_i = n_0, \quad (9)$$

где n_0 – невозмущенная концентрация носителей заряда, которая зависит от расстояния до оси столба дуги, так как температура и начальная концентрация атомов калия зависят от r ,

$$n_0(r) = \frac{K_S(r)}{2} \left(\sqrt{1 + 4 \frac{n_{avK}(r)}{K_S(r)}} - 1 \right). \quad (10)$$

Интенсивность фотоионизации (6) описывает появление электронов и ионов в результате поглощения фотонов

$$\left. \frac{dn_{e(i)}}{dt} \right|_{ph} = \frac{n_{avK}(r) - n_0(r)}{\tau_{UV}} = -\frac{dn_{ph}}{dt} = -\frac{dj_{ph}}{dr}. \quad (11)$$

Следовательно, поток фотонов, поглощенный атомами калия в результате фотоионизации равен

$$j_{ph}^*(r) = \int_{r_b}^r \frac{n_{avK}(r) - n_0(r)}{\tau_{UV}} dr, \quad (12)$$

и, соответственно, интенсивность излучения с учетом его поглощения в слое толщиной $r - r_b$, обогащенном атомами калия равна:

$$R_{ph}^*(r) = R_{ph} \frac{j_{ph} - j_{ph}^*(r)}{j_{ph}}. \quad (13)$$

Ослабление интенсивности излучения в диапазоне УФ-С в результате поглощения атомами калия представлено на рис.8а. Основное поглощение происходит в слое толщиной 4 мм, где локальная концентрация атомов калия максимальна.

Ослабление излучения при нанесении поташа на наплавляемую поверхность происходит также, как описано выше. Однако введение поташа в защитный газ приводит к иному распределению концентрации атомов калия:

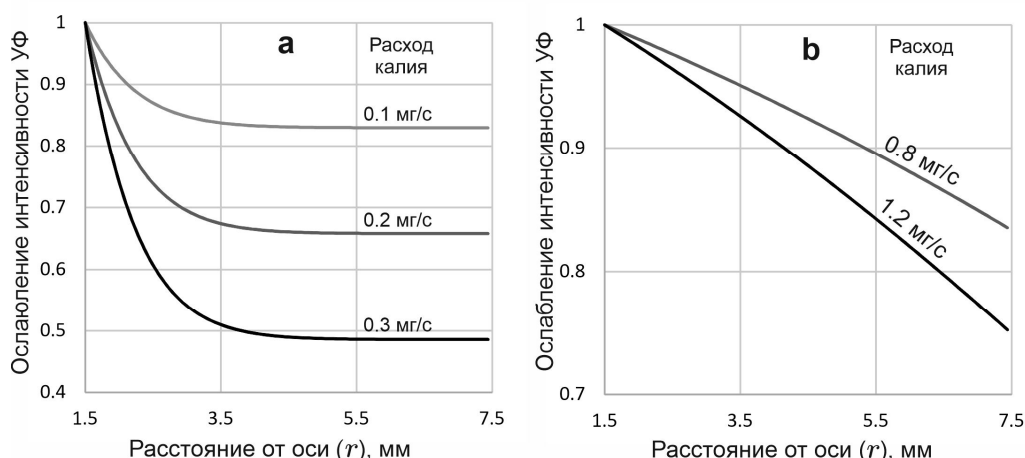


Рис.8. Зависимость ослабления интенсивности УФ-С излучения от толщины слоя поглощения атомами калия: а- при смачивании электродной проволоки, б- при введении присадки калия в защитный газ.

$$n_K^{sg}(r) = \frac{J_{mK}}{J_{msg}} \frac{P}{kT(r)}, \quad (14)$$

где J_{mK} – массовый расход калия (0,8 и 1,2 мг/с), $J_{msg} = 350$ мг/с – массовый расход защитного газа, P – атмосферное давление, $T(r)$ – температура в слое (4). Ослабление излучения в этом случае описывается следующим образом

$$\frac{R_{ph}^*(r)}{R_{ph}} = 1 - \frac{1}{j_{ph} \tau_{UV} n_b} \int_0^r [n_K^{sg}(r) - n_0(r)] dr. \quad (15)$$

Результаты расчета по уравнению (15) представлены на рис.8б. В этом случае атомы калия распределены в слое более равномерно с меньшим значением концентрации, что приводит к меньшему ослаблению УФ излучения.

Заключение. Измерения показали, что введение присадки калия с массовым расходом $\sim 0,3$ мг/с в зону дуги путем смачивания электродной проволоки или прогнозируемой поверхности сварного шва водным раствором поташи является эффективным способом уменьшения (~ 2 раза) интенсивности УФ-С излучения при сварке/наплавке хромоникелевых сталей в Аг. Как следует из расчетов такие способы введения присадки калия в зону дуги обеспечивают высокую локальную концентрацию атомов калия вблизи границы столба дуги и основное поглощение УФ-С происходит в слое толщиной 4 мм. При введении присадки калия в защитный газ концентрация атомов калия вблизи границы столба дуги существенно меньше и, соответственно, ослабление УФ-С излучения незначительно.

Полученные результаты могут быть использованы с целью минимизации негативного воздействия УФИ на сварщиков и рабочих смежных профессий.

Литература:

1. Emmett E.A., Buncher C.R., Suskind R.B., Rowe K.W. Jr Skin and eye diseases among arc welders those exposed to welding operations // Journal of Occupational Medicine. – 1981. – Vol. 23, № 2. – P. 85–90.
2. ГКСОС 160: Ультрафиолетовое излучение. - Всемирная организация здравоохранения, 1995. – 410 с.
3. Фролов В.В. Теория сварочных процессов. – М.: Высшая школа. 1988. – 559с.
4. Ioffe I., Koss V, Perelman N., Hilton D. UV radiation of the GTA welding plasma versus shielding gas composition // Journal of Physics D: Applied Physics. – 1997. – Vol. 30. – P. 793–797.
5. Okuno T. Spectra of optical radiation from welding arcs // Industrial Health. – 1985. – Vol. 23. – P. 53-70.
6. Okuno T. Measurement of ultraviolet radiation from welding arcs // Industrial Health. – 1987. – Vol. 25. – P. 147-156.
7. Dennis J.H., Mortazavi S.B., French M.J., Hewitt P.J., Redding C.R. The effects of welding parameters on ultra-violet light emissions, ozone and Cr(VI) formation in MIG welding // Annals of Occupational Hygiene. – 1997. – Vol. 41. – P. 95-104.
8. Okuno T., Ojima J., Sayto H. Ultraviolet radiation emitted by CO₂ arc welding // Annals of Occupational Hygiene. – 2001. – Vol. 45, № 7. – P. 597–601.
9. Gursel A., Kurt A. The effect of materials on radiation exposure during the GTAW process // Welding Journal. – 2014. – Vol. 93, № 11. – P. 439–442.
10. Nakashima H., Utsunomiya A., Takahashi J., Fujii, N, Okuno T. Hazard of ultraviolet radiation emitted in gas metal arc welding of mild steel // Journal of Occupational Health. – 2016. – Vol. 58. – P. 452-459.
11. Bauer S., Janßen M., Schmitz M., Ott G. Mathematical modeling of optical radiation emission as a function of welding power during gas shielded metal arc welding // Health Physics. – 2017. – Vol. 113, № 5. – P. 335-346.
12. Peng C., Liu H, Chang C, Shieh J, Lan C. Evaluation and monitoring of UVR in shield metal arc welding processing // Health Physics. – 2007. – Vol. 93, № 2. – P. 101–108.
13. Левченко О. Г., Малахов А. Т., Арламов А. Ю. Ультрафиолетовое излучение при ручной дуговой сварке покрытыми электродами // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6-7. – С. 155–158.
14. Tenkate, T.D.; Collins, M.J. Personal ultraviolet radiation exposure of workers in a welding environment // American Industrial Hygiene Association Journal. – 1997. – Vol. 58. – P. 33–38.
15. СН 4557–88 (ДНАОП 0.03-3.17-88). Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях. – Введ. 1988-02-23. – М.: Минздрав СССР, 1988. – 3 с.
16. Vishnyakov V.I., Kiro S.A., Oprya M.V., Shvets O.I., Ennan A.A. Nonequilibrium ionization of welding fume plasmas; Effect of potassium additional agent on the particle formation // Journal of Aerosol Science. – 2017. – Vol. 113. – P. 178-188.

17. Бабкин А.С., Голубев В.А., Рощупкин В.Н., Гончаров А.Н. Исследование влияния состава газовых смесей на температуру плазмы сварочной дуги // Сварочное производство. – 2008. – №7. – С. 3-9.
18. Socolofsky S. A., Jirka G. H. Environmental Fluid Mechanics Part I, Mass Transfer and Diffusion. // Lecture notes, Institute for Hydromechanics, University of Karlsruhe, Germany. (2002)
19. Khrabry A., Kaganovich I., Nemchinsky V., Khodak A. Investigation of the short argon arc with hot anode. I. Numerical simulation of non-equilibrium effects in the near-electrode region.// Physics of Plasmas. – 2018. – V.25. – P. 013521 (1-7).
20. Vishnyakov V.I., Kiro S.A., Oprya M.V., Chursina O.D., Ennan A.A. Numerical and experimental study of the fume chemical composition in gas metal arc welding // Aerosol Science and Engineering – 2018. – Vol.2. – P. 109-117.
21. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений, Т.1. – М.: Наука, 1966. – 688 с.
22. Mitchner M., Kruger C.H. Partially ionized gases. New York: Wiley. 1973.

Вишняков В. І., Кіро С. А., Опря М. В., Еннан А. А.

Ультрафіолетове випромінювання при зварюванні металів у захисному газі і спосіб його ослаблення.

АНОТАЦІЯ

Представлені результати вимірювань залежності інтенсивності ультрафіолетового випромінювання дуги (УФВ) від компонентного складу захисного газу, масової витрати і способу введення присадки калію в зону дуги при зварюванні/наплавленні хромонікелевої сталі 08X18H9в захисному газі. Для вимірювання УФВ у трьох спектральних діапазонах УФ-А (315-400 нм), УФ-В (280-315 нм) і УФ-С (200-280 нм) використовували УФ-радіометр ТЕНЗОР-71, укомплектований каліброваними детекторами УФ-А, УФ-В і УФ-С, встановленими під кутом 5° до поверхні наплавляемого диска на відстані 0,55 м від зварювальної дуги. Встановлено, що інтенсивність УФВ зменшується при збільшенні концентрації CO₂ в захисному газі (Ar+CO₂). Для всіх способів введення присадки калію у зону дуги збільшення масової витрати присадки калію в процесі зварювання/наплавлення хромонікелевої сталі у Ar призводить до лінійного зменшення інтенсивності УФ-С. Введення калію з витратою $\geq 0,3$ мг/с шляхом змочування електродної проволочки або прогнозованої поверхні зварного шва водним розчином поташу є ефективним способом зменшення (>1,5-2 раз) інтенсивності УФ-С в процесі аргондугового зварювання, а шляхом пневматичного розпорошення розчину в Ar справляє суттєво менший ефект. Запропоновано фізико-математична модель ослаблення УФ-С випромінювання атомами калію поза зоною стовпа дуги. Розрахункові залежності інтенсивності УФ-С від масової витрати присадки калію добре корелюють з експериментальними даними. Отримані результати можуть бути використані з метою мінімізації негативного впливу УФВ на зварників і робочих суміжних професій.

Ключові слова: дуга, ультрафіолетове випромінювання, зварювальний аерозоль, присадка калію.

Vishnyakov V.I., Kiro S.A., Oprya M.V., Ennan A.A.
Ultraviolet radiation during gas metal arc welding and method of its attenuation.

SUMMARY

The dependencies of measured ultraviolet radiation intensity on the shielding gas composition, mass rate of potassium additional agent and its injecting method during the gas metal arc welding are presented. The UV radiometer-dosimeter Tenzor-71 was used for radiation intensity determination. The UV radiation intensity was measured in three spectrum diapasons: UV-A with wavelengths 315-400 nm, UV-B with wavelengths 280-315 nm, and UV-C with wavelengths 200-280 nm. Potassium injection into the arc zone was carried out in three different ways: via wetting the electrode wire or welding disk by aqueous solution of potassium carbonate, or by premix of the droplets of such a solution with shielding gas. The increase of CO₂ content in shielding gas leads to decrease of UV radiation. The increase of potassium additional agent injecting mass rate also leads to decrease of UV radiation for any method of potassium injection. Theoretical model for UV radiation attenuation under potassium presence in shielding gas demonstrates well coincidence with experimental data: using the wetting of electrode wire provides the high local potassium concentration in the welding fume near arc column boundary and basic absorption of radiation occurs in the layer with thickness of 4 mm. The premix of potassium with shielding gas leads to its more uniform distribution in the gas layer around arc column with smaller concentration and provides weaker radiation absorption. These results can be used for minimization of UV radiation hazard during the gas metal arc welding.

Keywords: *arc, ultraviolet radiation, welding fumes, potassium additional agent.*