

УДК: 621.791; 533.9

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

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

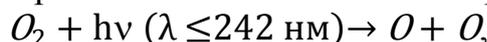
E-mail: dr.v.vishnyakov@gmail.com

### **Ингибирование процесса образования озона при электродуговой сварке металлов в защитном газе.**

*Экспериментально исследовано влияние компонентного состава защитного газа (Ar, CO<sub>2</sub> и смеси Ar + CO<sub>2</sub>), массового расхода и способа введения присадки калия в зону дуги на концентрацию озона в зоне дыхания сварщика при сварке/наплавке хромоникелевой стали в защитном газе. Установлено, что увеличение содержания CO<sub>2</sub> в защитном газе приводит к уменьшению концентрации токсичного озона, и при использовании только CO<sub>2</sub> в ~7 раз меньше, чем в аргоне. Для всех способов введения присадки калия в зону дуги увеличение массового расхода присадки калия в процессе сварки/наплавки хромоникелевой стали в аргоне приводит к уменьшению концентрации озона в зоне дыхания сварщика. Полученные результаты могут быть использованы для минимизации негативного влияния токсичного озона и при санитарно-гигиенической аттестации рабочих мест сварщиков.*

**Ключевые слова:** сварочный аэрозоль, озон, присадка калия.

Озон (O<sub>3</sub>) является одним наиболее токсичных газов, образующихся при электродуговой сварке плавящимся и неплавящимся электродами в защитном газе (ПДК=0,1 мг/м<sup>3</sup>). Озон образуется при воздействии ультрафиолетового излучения (УФИ) сварочной дуги с длиной волны менее 242 нм на кислород воздуха [1, 2]. Под действием коротковолнового УФИ кислород разлагается:

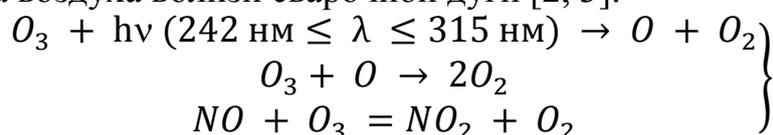


затем, в результате трёхчастичных столкновений образуется озон:



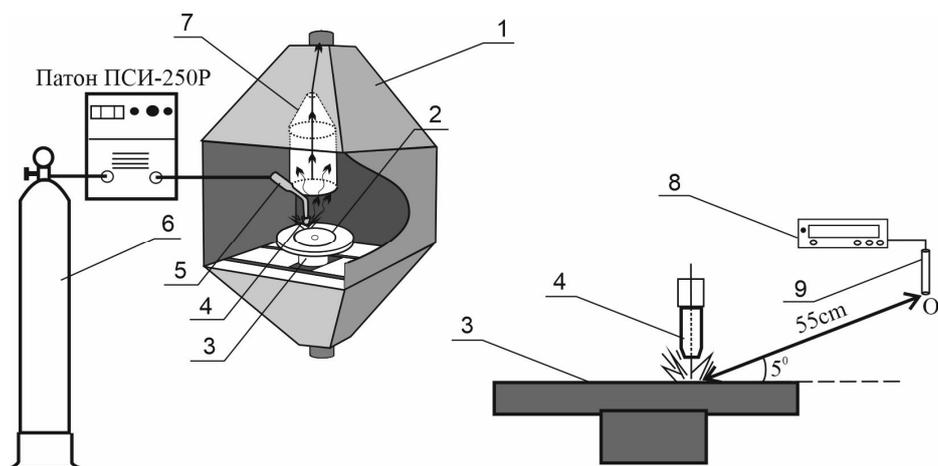
где  $M = O_2, N_2$  – третья молекула.

Параллельно с образованием, озон расходуется в реакциях его фотолиза при воздействии УФИ с  $242 \leq \lambda \leq 315$  нм, взаимодействия с атомарным кислородом и оксидом азота NO, который образуется при высокотемпературном окислении азота воздуха вблизи сварочной дуги [2, 3]:



Следовательно, концентрация озона ( $C_{\text{озон}}$ ) на рабочем месте сварщика определяется балансом между образованием и расходом озона и зависит от интенсивности и спектрального состава УФИ. Озон образуется везде, где интенсивность УФИ с  $\lambda \leq 242$  нм превышает интенсивность УФИ с  $242 \leq \lambda \leq 315$  нм. Спектральный состав и интенсивность УФИ зависит от условий сварки, в частности, силы тока и напряжения дуги, диаметра проволоки, компонентного состава сварочных материалов и защитного газа [4, 5].

Для снижения  $C_{\text{озон}}$  в работах [4, 6] предложено добавлять небольшое ко-



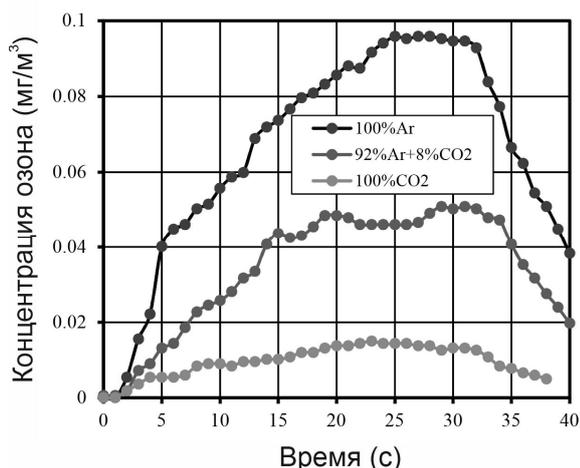
**Рис. 1.** Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – сварочная камера, 2 – валик наплавленного металла, 3 – вращающийся диск, 4 – сопло сварочной горелки, 5 – сварочная горелка, 6 – баллон с защитным газом, 7 – воздухозаборник, 8 – газоанализатор Элан-О<sub>3</sub>, 9 – пробоотборник.

личество (0.03 об.%) восстановительных газов NO или C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> в защитный газ Ar. Однако в результате химических реакций этих восстановительных газов с озоном, C<sub>озон</sub> значительно уменьшилась только в той области, где защитный газ смешивается с окружающим воздухом, то есть вблизи дуги, а в зоне дыхания сварщика (40-60 см от дуги) - не изменилась.

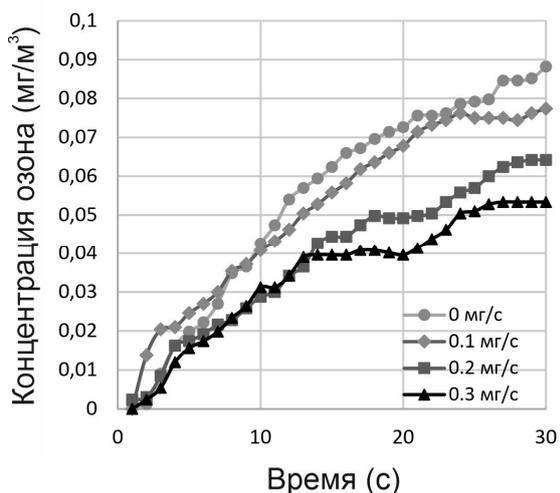
В настоящей заметке представлены результаты измерений концентрации озона в зоне дыхания сварщика при сварке хромоникелевой стали в защитном газе, а также зависимости C<sub>озон</sub> от компонентного состава защитного газа (Ar, CO<sub>2</sub> и смесь Ar+CO<sub>2</sub>) и массового расхода присадки калия, которая вводится в зону дуги. Низкий потенциал ионизации калия (4.3 eV) должен обеспечить поглощение УФИ с энергиями фотонов  $h\nu \geq 4,3$  эВ, что соответствует длине волны  $\lambda \leq 288$  нм.

Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Исследования проводили в сварочной камере с вытяжной вентиляцией над местом наплавки (расход удаляемого воздуха 1,7 м<sup>3</sup>/мин). Наплавку выполняли на вращающиеся (1об/мин) диски (диаметр 220 мм, толщина 15 мм) из хромоникелевой стали 08X18Н9 при помощи сварочной горелки, установленной вертикально так, что ее 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 стали 08X18Н9 проволокой Св04Х19Н9 диаметром 0,8 мм: напряжение дуги  $U=23$  В; сварочный ток (постоянный при обратной полярности)  $I = 90 \pm 5$  А; скорость подачи проволоки  $v = 10$  см/с; скорость наплавки 6,5 мм/с; защитный газ (Ar, CO<sub>2</sub> и смесь 92%Ar+8%CO<sub>2</sub>) со скоростью 12 л/мин подавался из баллонов. Измерения массовой концентрации озона с частотой 1 гц и относительной погрешностью 20% осуществляли газоанализатором непрерывного действия «Элан-О<sub>3</sub>» с электрохимическим детектором, через который пропускали до-



**Рис. 2.** Изменение показаний газоанализатора в процессе (продолжительность 30 с) и после прекращения наплавки



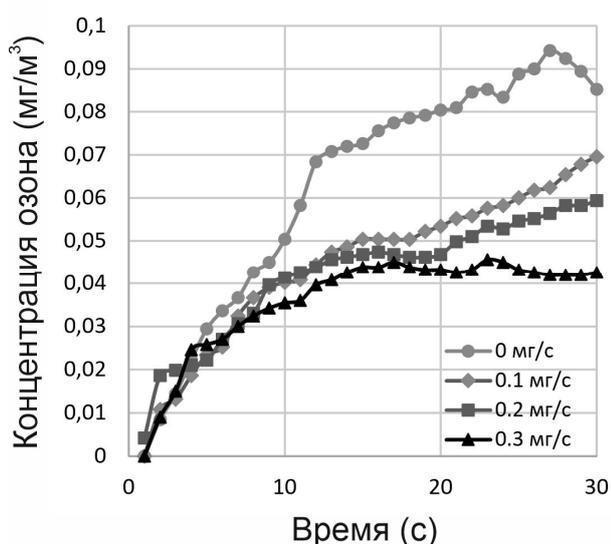
**Рис.3.** Изменение показаний газоанализатора в процессе (продолжительность 30 с) наплавки в зависимости массового расхода калия (способ №1).

зированный поток анализируемого воздуха. Для отбора проб воздуха с объёмной скоростью 0,3 л/мин использовали стеклянный пробоотборник с тефлоновыми соединительными трубками (PTFE 4/2), устойчивыми к воздействию озона и УФИ. Характерное время транспортного запаздывания изменения концентрации озона в детекторе ~2 с, а интервал времени, в течение которого показания газоанализатора достигают 90% значения концентрации в точке измерения ~20 с. Поэтому наплавка проводилась в течении 30 с, а массовую концентрацию озона определяли после стабилизации показаний газоанализатора ( $t \geq 25c$ ). Пробоотборник газоанализатора был установлен на высоте 1.5 м от пола, под углом  $\alpha = 5^\circ$  к поверхности вращающегося диска и на расстоянии 0.55 м от сварочной дуги (расстояние вытянутой руки сварщика).

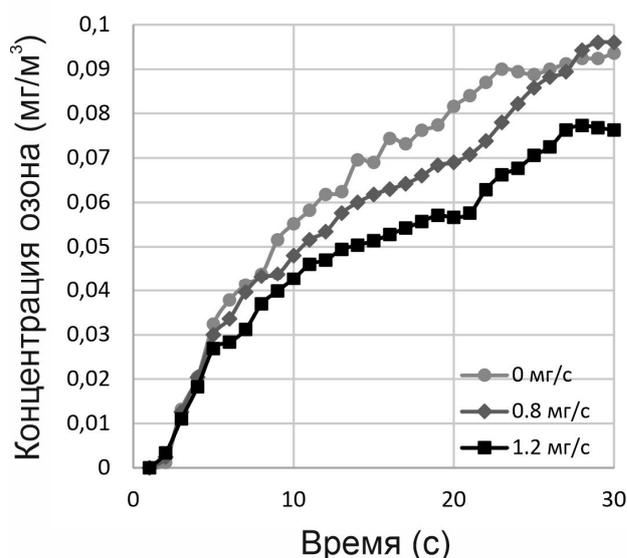
Введение присадки калия в зону дуги осуществляли тремя способами:

- 1) Водный раствор карбоната калия равномерно наносили на прогнозируемую поверхность наплавленного валика шва и вращающийся 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 (**способ №1**).
- 2) Водный раствор карбоната калия равномерно наносили на проволоку методом ее смачивания. Кювета с ватой, смоченной раствором, была установлена перед контактным наконечником сварочной горелки. Массовый расход калия определяли путем измерения изменения массы кюветы за время наплавки и скорости подачи проволоки (**способ №2**).
- 3) Введение калия в защитный газ (Ar) осуществлялось с помощью пневматического медицинского небулайзера (Vega Technologies Inc.) по методике [7] (**способ №3**).

Зависимость показаний газоанализатора «Элан-О3» от компонентного состава защитного газа в процессе (продолжительность 30 с) и после прекращения наплавки приведены на рис. 2.



**Рис.4.** Изменение показаний газоанализатора в процессе (продолжительность 30 с) наплавки в зависимости массового расхода калия (способ №2).



**Рис.5.** Изменение показаний газоанализатора в процессе (продолжительность 30 с) наплавки в зависимости массового расхода калия (способ №3).

**Таблица 1.** Массовая концентрация озона ( $C_{\text{озон}}$ ) в зоне дыхания сварщика в зависимости от массового расхода калия.

Массовый расход калия, мг/с	$C_{\text{озон}}$ , мг/м <sup>3</sup> (относительное уменьшение $C_{\text{озон}}$ )		
	способ №1	способ №2	способ №3
0	0.087 (1)	0.092 (1)	0.094 (1)
0.1	0.076 (1.1)	0.065 (1.4)	-
0.2	0.064 (1.4)	0.058 (1.6)	-
0.3	0.052 (1.7)	0.041 (2.2)	-
0.8	-	-	0.095 (1)
1.2	-	-	0.078 (1.2)

Как следует из рис. 2 массовая концентрация озона в зоне дыхания сварщика (после стабилизации показаний газоанализатора,) при наплавке хромоникелевой стали 08X18H9 проволокой Св04Х19Н9 составляет: - в Ar -  $C_{\text{озон}}=0,094$  мг/м<sup>3</sup>, в смеси 92% Ar+8% CO<sub>2</sub> -  $C_{\text{озон}}=0,048$  мг/м<sup>3</sup> и в CO<sub>2</sub> -  $C_{\text{озон}}=0,014$  мг/м<sup>3</sup>. Таким образом использование в качестве защитного газа смеси 92% Ar+8% CO<sub>2</sub> при сварке/наплавке хромоникелевой стали позволяет в 2 раза уменьшить концентрацию токсичного озона в зоне дыхания сварщика. Однако технологические возможности уменьшения концентрация озона путем изменения компонентного состава защитного газа ограничены - необходимо учитывать возможные изменения свариваемости металлов и качества сварных соединений.

Изменение показаний газоанализатора «Элан-О3» в зависимости от массового расхода калия в процессе (продолжительность 30 с) наплавки хромоникелевой стали 08X18H9 в Ar приведены на рис. 3-5, а массовая концентрация озона в зоне дыхания сварщика (после стабилизации показаний газоанализатора) в табл. 1.

Как следует из табл. 1 для всех способов увеличения массового расхода присадки калия в процессе аргонодуговой наплавки приводит к уменьшению концентрации озона в зоне дыхания сварщика. Наиболее эффективным способом (уменьшение в 2,2 раза) является введение присадки калия с массовым расходом 0,3 мг/с в зону дуги путем смачивания электродной проволоки водным раствором поташи. При этом присадка калия (0,3мг/с) не влияет на химический состав наплавленного металла и внешний вид наплавленного валика шва. Следует также отметить, что подача калия в аргон дает существенно меньший эффект, по сравнению с другими способами введения присадки калия в зону дуги, что связано с меньшей эффективностью поглощения УФИ калием в результате его перемешивания с защитным газом.

Таким образом, для улучшения условий труда сварщика при аргонодуговой сварке металлов можно рекомендовать вводить присадку калия (~0,04 масс. %) в состав электродной проволоки на этапе её производства.

#### Литература:

1. *Lunau F.W.* Ozone in Arc Welding // *Annals of Occupational Hygiene.* – 1967. – Vol.10, № 3. – P. 175–188.
2. *Dohan J.M., Masschelein W.J.* The photochemical generation of ozone: Present state-or-the-art // *Ozone: Science and Engineering.* – 1987 – Vol. 9, № 4. – P. 315-334.
3. *Matsumi Y., Kawasaki M.* Photolysis of atmospheric ozone in the ultraviolet region // *Journal of Chemical Reviews.* – 2003. – Vol. 103, № 12. – P. 4767-4781.
4. *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.
5. *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.
6. *Dennis J.H., French M.J., Hewitt P.J., Mortazavi S.B., Redding C.A.J.* Control of exposure to hexavalent chromium and ozone in gas metal arc welding of stainless steels by use of a secondary shield gas // *Annals of Occupational Hygiene.* – 2002. – Vol. 46, №. 1. – P. 43–48.
7. *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.

**Вишняков В. І., Кіро С. А., Опря М. В., Еннан А. А.**  
**Інгібування процесу утворення озону при електродуговому зварюванні металів в захисному газі.**

**АНОТАЦІЯ**

*Експериментально досліджено вплив компонентного складу захисного газу (Ar, CO<sub>2</sub> та суміші Ar+CO<sub>2</sub>), масової витрати і способу введення присадки калію в зону дуги на концентрацію озону в зоні дихання зварника при зварюванні/наплавленні хромонікелевої сталі в захисному газі. Концентрацію озону вимірювали газоаналізатором безперервної дії «Елан-О3» з електрохімічним детектором на відстані 0,55 см від точки зварювання (відстань витягнутої руки зварника). Встановлено, що збільшення вмісту CO<sub>2</sub> в захисному газі призводить до зменшення концентрації токсичного озону, і при використанні тільки CO<sub>2</sub> в ~ 7 разів менше, ніж - Ar. Для всіх способів введення присадки калію у зону дуги збільшення масової витрати присадки калію в процесі зварювання/наплавлення хромонікелевої сталі у Ar призводить до зменшення концентрації озону в зоні дихання зварника. Ефективність способів введення присадки калію в зону дуги збільшується в наступному порядку: при пневматичному розпорошенні розчину поташу в Ar << при нанесенні розчину на прогнозовану поверхню зварного шва < при змочуванні розчином електродної проволочки. Отримані результати можуть бути використані з метою мінімізації негативного впливу токсичного озону і при санітарно-гігієнічній атестації робочих місць зварників.*

**Ключові слова:** зварювальний аерозоль, озон, присадка калію.

**Vishnyakov V.I., Kiro S.A., Oprya M.V., Ennan A.A.**  
**Inhibition of ozone formation in gas metal arc welding.**

**SUMMARY**

*The influence of shielding gas component composition (pure Ar, pure CO<sub>2</sub> and mixture Ar + CO<sub>2</sub>), mass rate of potassium additional agent and its injecting method on the ozone concentration in breathing zone are studied experimentally during the gas metal arc welding. 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. Gas analyzer with electrochemical detector ELAN-O<sub>3</sub> was used for the measurement of ozone mass concentration in air with relative error 20%. The air sampler was located on the distance of 55 cm from arc. It was detected that increase of CO<sub>2</sub> content in shielding gas leads to decrease of ozone concentration down to 7 times, when pure CO<sub>2</sub> is used. The increase of potassium additional agent injecting mass rate leads to decrease of ozone concentration in breathing zone for any method of potassium injection. The effect of potassium influence is different for the different injecting methods. Addition of potassium via wetting the electrode wire or workpiece by aqueous solution of potassium carbonate is more effective than via its premix with shielding gas. These results can be used for minimization of ozone hazard during the gas metal arc welding.*

**Key words:** welding aerosol, ozone, potassium additional agent.