

Натурное исследование выбросов установок плазменной резки и сварки труб трубоэлектросварочного цеха Волжского трубного завода

Л.И. Хорзова, Д.В. Текушин, О.С. Власова, С.И. Голубева

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Целью натуральных исследований в условиях действующего трубоэлектросварочного производства являлось получение необходимого объема фактических данных, характеризующих особенности образования аэрозольных выделений, их локализации и очистки. При этом, рассматривались три основные группы факторов: технологических - уточняющих особенности технологического процесса производства труб; режимно-технологических - отражающих мощность, цикличность и состав аэрозольных выделений; аэродинамики функционирования вентиляционных систем локализации, отвода и очистки выбросов.

Ключевые слова: установки плазменной резки и сварки труб, газозвдушная смесь, дисперсный состава пыли, замерное сечение, плотность пыли, концентраций газовых примесей.

Целью натуральных исследований в условиях действующего трубоэлектросварочного цеха (ТЭСЦ) являлось получение необходимого объема фактических данных, характеризующих особенности образования аэрозольных выделений, их локализации и очистки. Основными операциями технологического процесса ТЭСЦ, на стадии которых происходит интенсивное выделение пыли и газов, являются поточно осуществляемая сварка под слоем флюса и плазменная обрезка торцевых сечений труб. Процессы сварки и плазменной резки труб осуществляются на технологических установках, работающих в полуавтоматическом режиме [1, 2].

Для натурального исследования параметров выбросов установки плазменной резки труб был выполнен следующий состав инструментальных замеров:

- определение объемного расхода газозвдушной смеси на основе измерения профиля скорости в сечении потока газозвдушной смеси, отводимой от источника выброса;

- определение пылесодержания (концентраций пыли) газовой смеси;
- определения плотности пыли;
- определение дисперсного состава пыли – твердодисперсной фазы газовой смеси;
- определение концентраций газовых примесей.

Все установки плазменной резки и сварки труб оборудованы местными отсосами локализации непосредственно зон активного выделения аэрозоля. в качестве характерных объектов анализа приняты источники, показанные в табл. 1

Таблица №1

Источники выделения

№№ пп	Наименование (шифр) источника выделения	Процесс образования аэрозоля
1	Стан №1	Сварка под флюсом
2	Трубообрезной стан ТОС 19*	Плазменная резка
3	Стан № 2520	Плазменная резка

Профиль скорости определялся по результатам прямого инструментального измерения ее значений в замерном сечении воздуховода аспирационной системы, выбираемом в максимальном приближении к местному отсосу плазморежущей установки [3, 4]. В соответствии с нормативными требованиями, замерное сечение воздуховода разделялось на условные кольца с равновеликими площадями, точки замеров принимались на середине ширины каждого условного кольца.

По локальным значениям скорости рассчитывалась величина осредненной скорости потока газовой смеси в замерном сечении:

$$\bar{g} = (g_1 + \dots + g_m) / n', \quad (1)$$

где g_1, \dots, g_m - значения локальной скорости в соответствующих контрольных точках замерного сечения, м/с.

По средней скорости газовой смеси замерного сечения определялся ее объемный расход:

$$L = 0,785 \times d^2 \times \bar{g}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

где d - диаметр воздухопровода в замерном сечении, м.

Для приведения результатов измерения к нормальным условиям ($t = 20^\circ\text{C}$; $P_{\text{ат}} = 760$ мм.рт.ст.) использовалось выражение:

$$L_n = \frac{0,36L(P_{\text{ат}} \pm P_{\text{см}})}{273 + t}, \text{ нм}^3/\text{с}, \quad (3)$$

где L - расход газовой смеси при замерных условиях, м³/с;

$P_{\text{ат}}$ - барометрическое давление, мм. рт. ст.;

$P_{\text{см}}$ - среднеарифметическое значение статического давления, принимаемое за весь период измерений, мм. рт. ст.;

t - температура газовой смеси, °С (среднеарифметическое значение, принимаемое за весь период измерений).

Концентрация пыли измерялась методом внешней фильтрации с отбором проб [5] (пылевых навесок) на аналитические фильтры типа АФА – 20. Отбор проб для определения концентрации пыли проводился с помощью пылезборных трубок конструкции НИИОГАЗ, укомплектованных набором сменных наконечников с диаметром входного отверстия от 4,2 до 12,2 мм. В качестве побудителя расхода исследуемой газовой смеси применялся ротационный аспиратор ПРУ – 4.

С целью соблюдения условий изокINETичности отбора проб, исходя из полученных значений локальной скорости, для контрольных точек замерного сечения отдельно определялся аспирационный объем отбираемой пробы газовой смеси:

$$L_i = 0,047 \times v_i \times d_{\text{пр}}^2, \text{ л/мин} \quad (4)$$

где v_i - значение локальной скорости газовой смеси в соответствующей контрольной точке замерного сечения, м/с;
 d_{mp} - диаметр входного отверстия сменного наконечника пылеотборной трубки, мм.

Исходя из полученных значений L_i для каждой контрольной точки, определялось время отбора достоверной пробы [6].

$$\tau_i = V / L_i, \text{ мин} \quad (5)$$

где V - объем аспирационного воздуха, обеспечивающий достоверность навески пыли на аналитическом фильтре, л.

В соответствии с условиями изокINETичности, пробы отбирались интегральным способом путем последовательного перемещения пылеотборной трубки по контрольным точкам замерного сечения воздухопровода. Суммарный привес пыли определялся по разности масс фильтра при взвешивании до и после отбора пробы. Концентрация пыли в исследуемой газовой смеси рассчитывалась по формуле:

$$C = \frac{\Delta M}{\sum V} = \frac{\Delta M}{V \times n'} \text{ мг/м}^3 \quad (6)$$

где ΔM - привес пыли на аналитическом фильтре, мг;

n' - число контрольных точек в замерном сечении, по которым осуществлялся отбор проб.

Определение плотности пыли осуществлялось пикнометрическим способом. В качестве пикнометрической жидкости использовался керосин с плотностью $\rho_{ж} = 0,792 \text{ г/см}^3$ при стандартных условиях. Измеряемая навеска исследуемой пыли готовилась путем длительного отбора пробы (не менее 2-х часов) в нулевой точке замерного сечения. Значение плотности исследуемой пыли вычислялось по формуле:

$$\rho_n = M_n \times \rho_{ж} / M_{ж}, \text{ г/см}^3 \quad (7)$$

где M_n - масса навески исследуемой пыли, г;

$\rho_{жс}$ - плотность пикнометрической жидкости, г/см³;

$M_{жс}$ - масса жидкости, вытесненной навеской пыли, г.

В соответствии с нормативными требованиями [7], определение плотности исследуемой пыли проводилось по результатам двух параллельных анализов, при условии, что их данные не расходились более чем на 1%.

Определение дисперсного состава (дисперсности) пылевых частиц аэрозолей проводилось на основе инструментального анализа проб пропускаемых через импактор модели КИ-4 конструкции НИИОГАЗ укомплектованный набором сменных наконечников [8]. В качестве заполнителя пробоотборных гнезд дисков импактора использовалась смазка из вазелинового масла и газовой сажи.

По результатам взвешивания ступеней и фильтра импактора до и после замера определялась масса осевшей пыли. Из условия, что суммарная масса осадка на всех ступенях составляет 100%, рассчитывалась интегральная кривая накопления осадка в процентах по ступеням. Для каждой из ступеней полученная величина указывала процентное содержание частиц диаметром более d_{50} данной ступени. С учетом измеренной инструментальным способом плотности пыли определялось действительное значение диаметра частиц d_{50} .

$$d'_{50} = d_{50i} \times \frac{\sqrt{\rho_э}}{\sqrt{\rho_д}}, \text{ мкм} \quad (8)$$

Где d'_{50} - таррировочное значение диаметра частиц осаждаемых на данной ступени импактора при эталонной плотности пыли и стандартных условиях таррирования, мкм;

$\rho_э$ - плотность эталонной пыли, г/см³ ($\rho_э = 1$ г/см³);

$\rho_д$ - плотность исследуемой пыли, г/см³.

За окончательный результат анализа принималось среднее арифметическое результатов двух параллельных определений, расхождение между которыми не превышало 3% [7].

Результаты обобщения расчетов величин секундных расходов выбросов, выполненные путем осреднения данных инструментальных измерений профилей скорости в замерных сечениях исследуемых потоков, приведены в табл. 2

Таблица № 2

Данные инструментальных измерений

№№ пп	Наименован ие источников выделения	Условия выделения (процесс)	Количе ство опытов	Секундный объем выброса, м ³ /с	Темпера тура выброса, °С	Концент- рация пыли, г/м ³
1	2	3	4	5	6	7
1	ТОС 19	Плазменная резка	1-3	1,73-1,78	41,3-42,9	0,69*-1,04
2	Стан 2520	Плазменная резка	1-3	6,63-6,81	40,3-41,4	0,64*-0,98
3	Стан №1	сварка	1-3	2,33-2,46	31,4-33,1	0,2*-0,66

Они представлены в форме предельных значений секундных расходов, совмещенных с предельными величинами концентраций пыли. Последние вычислены как среднеарифметические значения, измеренные с учетом особенностей кинетики потоков по контрольным точкам тех же замеренных сечений.

В пределах каждой из параметрических групп характеристик исследуемых источников (расход-температура-концентрация) связь их численных значений с видом источника выделения определенно проявляется

лишь для температур выбросов. Температура потока газозвдушной смеси, удаляемой от установок плазменной резки, варьируют, соответственно, в пределах от 42,1 (для ТОС 19) до 40,9°С (для стана 2520). Температура выбросов от источников выделения сварочного аэрозоля варьирует в пределах 31,4-33,1°С при среднем значении 32,3°С. Эти значения следовательно, могут оцениваться как характерные для температурного режима эксплуатации газоочистных установок выбросов и располагаются в диапазоне, ограниченном значениями температур. С учетом допустимости 20% отклонения параметров потока, принимаемых для отводящих элементов вентиляционных систем [9], при нормируемой степени надежности измерения контролируемого параметра $-0,99$, проектные значения соответственно нижнего (учитывая, что кристаллизация ЖТС составляемой на водной основе начинается при температуре $+4$ °С) и верхнего пределов рабочих температур должно составлять [10-12]:

$$T_{\text{мин}} = 4 + (4 \times 0,2) = 4,8 \approx 5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{макс}} = 100 - (100 \times 0,2) = 80^{\circ}\text{C}$$

Данные измерения секундных объемов выбросов позволяют считать, что из условия эффективной локализации выделяющегося аэрозоля аспирационными системы они могут быть объединены в группы с характерным расходом 5000-8000 м³/ч, 8000-15000 м³/ч, 20000-25000 м³/ч. Эти данные могут рассматриваться, как номинальные значения расходных характеристик при разработке газоочистных установок.

Результаты измерений и расчетов значений плотности по двум независимым измерительным сериям представлены в табл. 3.

Приведенные в табл. 3 данные показывают высокую сходимость результатов для соответствующих источников, что позволяет принять для

установок плазменной резки плотность пыли $\rho = 4,5 \text{ г/см}^3$, а для источников выделения сварочного аэрозоля $\rho_{\text{п}} = 4,32 \text{ г/см}^3$.

Таблица № 3

Результаты измерений и расчетов значений плотности

№ № ПП	Наименование источника выделения	Масса навес- ки пыли, г	Темпера- тура жидкос- ти, °С	Плотность жидкости, г/см ³	Масса вытеснен- ной жидкости , г	Плот- ность пыли, г/см ³
1	Плазменная резка (ТОС 19)	3,68	19,9	0,7924	0,6480	4,5000*
		3,96	19,9	0,7924	0,6975	4,4988
2	Плазменная резка (ТОС 17)	4,01	20,2	0,7896	0,7036	4,5001**
		3,27	20,2	0,7896	0,5738	4,4998
3	Сварка (стан №1)	3,82	20,1	0,7906	0,6991	4,3199***
		4,13	20,1	0,7906	0,7558	4,3201

* расхождение менее 0,03%; ** расхождение менее 0,007%; *** расхождение менее 0,005%

Результаты обработки данных определения дисперсного состава пыли представлены на рис. 1 и 2.

В результате обобщения данных натуральных исследований определены диапазоны характерных значений оцениваемых параметров: объемов отводимых газоздушных смесей, температур смесей, концентраций пыли – плотность пылей, дисперсного состава пылей. Выбросы от установок плазменной резки труб имеют следующие количественными характеристиками: мелкодисперсная пыль с доминированием оксидов железа и кремния ($d_{50} = 2,9 \text{ мкм}$, $\sigma = 2,15$), с плотностью $4,5 \text{ г/см}^3$ и начальной концентрацией $0,12\text{--}0,68 \text{ г/м}^3$, в которой массовая доля железа составляет 61-68%.

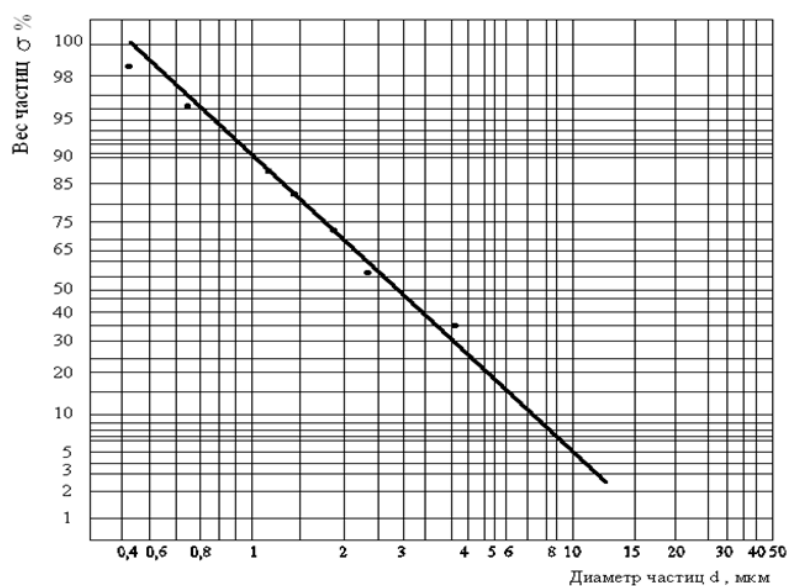


Рис. 1. Дисперсный состав частиц пыли в выбросах установок плазменной резки

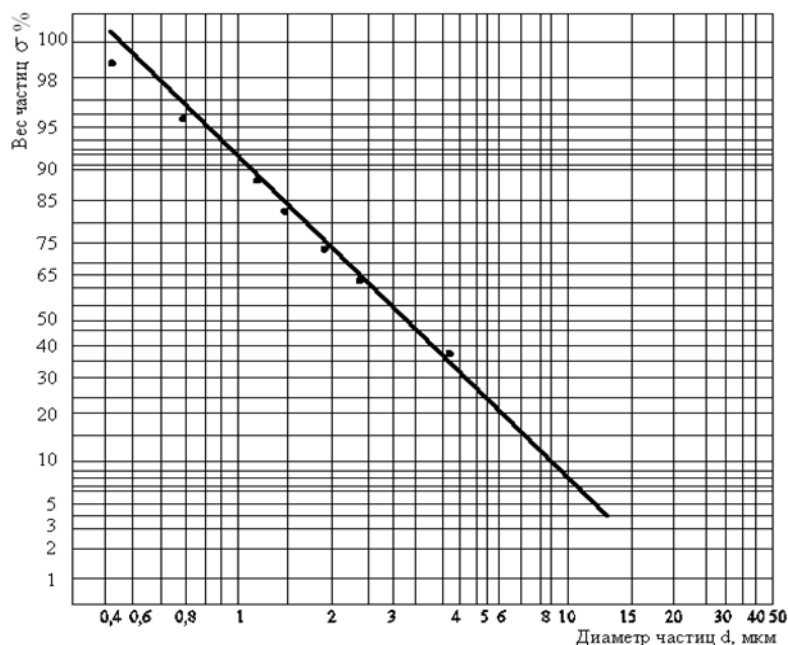


Рис. 2. Дисперсный состав частиц пыли в выбросах сварочных установок

Выбросы от сварочных установок имеют следующие характеристики: мелкодисперсная пыль с доминированием оксидов железа и кремния ($d_{50} = 3,2$ мкм, $\sigma = 2,3$), с плотностью $4,32$ г/см³ начальной концентрации $0,6-0,67$ г/м³, в которой массовая доля железа составляет $0,58-0,67\%$.

Анализ результатов измерений позволяют считать, что с учетом прогнозируемых объемов выбросов, класса опасности и компонентного состава они определяющим образом характеризуют уровень воздействия на экологическое состояние внутрицеховой атмосферы и окружающей среды.

Литература

1. Buchta M., Kiesswetter E., Otto A., Schaller K.H., Seeber A., Hilla W., Windorfer K., Stork J., Kuhlmann A., Gefeller O., Letzel S. Longitudinal study examining the neurotoxicity of occupational exposure to aluminium-containing welding fumes // International Archives of Occupational and Environmental Health. 2003. № 76(7) P. 539-548.
2. Hewett P. Particle size analysis of welding fumes and prediction of regional pulmonary deposition. 1992, URL: doi.org/10.1080/15428119591017169
3. Сергина Н.М. О применении вероятностного подхода для оценки эффективности многоступенчатых систем пылеулавливания // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n3y2013%20/1866/.
4. Голубева С.И., Хорзова Л.И. Обобщение режимных условий работы каплеуловителей интенсивных аппаратов мокрой газоочистки // Инженерный вестник Дона, 2021, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6883/.
5. Методика определения концентрации пыли в промышленных выбросах (Эмиссия). М.: НИИОГАЗ, 1970. 32 с.
6. Ойхер И.А. А.С. SU571287A1 Гидродинамический пылегазоуловитель, опубл. 05.09.1977, URL: patents.google.com/patent/SU571287A1/ru
7. Коузов П.А., Скрыбина Л.Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. Л.: Химия, 1983. 138 с.
8. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельчённых материалов. 3-е изд. перераб. Л.: Химия, 1987. 264 с.

9. Квашнин И.М. Расчеты выбросов в атмосферу при вентиляции промышленных зданий // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. АВОК, 2005. № 3. С. 26-29.

10. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. М.: Metallurgiya, 1986. 543 с.

11. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: в 2 т. / под ред. С.В. Калверта, Г.М. Инглунда. М.: Metallurgiya, Т.1, 1988. 760 с.

12. Голубева С.И., Власова О.С., Хорзова Л.И. Факторы, определяющие условия реализации сепарационного процесса в инерционных жалюзийных сепараторах // Инженерный вестник Дона 2021, №5 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6990/.

References

1. Buchta M., Kiesswetter E., Otto A., Schaller K.H., Seeber A., Hilla W., Windorfer K., Stork J., Kuhlmann A., Gefeller O., Letzel S. International Archives of Occupational and Environmental Health. 2003. № 76(7) pp. 539-548.

2. Hewett P. Particle size analysis of welding fumes and prediction of regional pulmonary deposition. 1992, URL: doi.org/10.1080/15428119591017169.

3. Sergina N.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n3y2013%20/1866/.

4. Golubeva S.I., Khorzova L.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6883/.

5. Metodika opredeleniya kontsentratsii pyli v promyshlennykh vybrosakh (Emissiya) [Method of determining dust concentration in industrial emissions (Emission)]. Moskva: NIIOGAZ, 1970. 32 p.

6. Oyker I.A. Avtorskoe svidetelstvo SU571287A1. Gidrodinamicheskyy pylegazoulovitel [Authorship certificate SU571287A1. Hydrodynamic dust and gas collector]. Published 05.09.77. URL: patents.google.com/patent/SU571287A1/ru.



7. Kouzov P.A., Skryabina L.Ya Metody opredeleniya fiziko-khimicheskikh svoystv promyshlennykh pyley [Methods of determining the physico-chemical properties of industrial dusts]. Leningrad: Khimia, 1983. 138 p.
8. Kouzov P.A. Osnovy analiza dispersnogo sostava promyshlennykh pyley i izmelchennykh materialov. 3-e izd. pererab. [Fundamentals of analysis of the size distribution of industrial dusts and milled materials. 3rd Ed. rev.]. Leningrad: Khimia, 1987. 264 p.
9. Kvashnin I.M. Ventilation. Heating. Air Conditioning. ABOK. 2005. № 3 pp. 26-29.
10. Aliev G.M. Tekhnika pyleulavlivaniya i ochistki promyshlennukh gazov [Technique of dust collection and industrial gases treatment]. Moskva: Metallurgy, 1986. 543 p.
11. Zashchita atmosfery ot promyshlennykh zagryaneniy: v 2 t. pod red. S. Calvert, H.M. Englund [Handbook of air pollution technology: in 2 vol. Ed. S. Calvert, H.M. Englund]. Moskva: Metallurgy, V.1, 1988. 760 p.
12. Golubeva S.I., Vlasova O.S., Khorzova L.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021