



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

О. Г. ЛЕВЧЕНКО, д-р техн. наук, А. О. ЛУКЪЯНЕНКО, инж.

(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

Ю. О. ПОЛУКАРОВ, канд. техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Представлены результаты исследований зависимости концентрации вредных веществ, поступающих в воздух рабочей зоны при ручной дуговой сварке электродами с рутил-целлюлозным покрытием, от расстояния до сварочной дуги в различных условиях вентилирования (с общеобменной вентиляцией, местной и без вентиляции). Получены аналитические зависимости концентрации вредных веществ в различных точках рабочей зоны от интенсивности образования сварочных аэрозолей и мощности сварочной дуги.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, покрытые электроды, сварочные аэрозоли, марганец, вентиляция, содержание сварочных аэрозолей в воздухе, прогнозирование

Одним из основных вредных производственных факторов в сварочном производстве является загрязнение воздуха рабочей зоны токсичными веществами в виде сварочных аэрозолей (СА), образующихся при электродуговом процессе. Защита сварщиков и производственной среды от действия СА осуществляется посредством различных систем вентиляции, которые должны обеспечить содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не выше предельно допустимой концентрации (ПДК). Для выбора необходимой системы вентиляции и повышения ее эффективности на рабочих местах сварщиков необходимы экспериментальные данные о содержании вредных веществ в воздухе рабочей зоны при различных условиях вентилирования. Получение этих данных по общепринятым методикам [1, 2] является довольно длительной и трудоемкой задачей. Так, отбор одной пробы СА только в одной точке воздушного пространства рабочей зоны сварщика при применении конкретной марки сварочного материала продолжается практически в течение одной рабочей смены. Допустимая относительная погрешность получаемых данных в соответствии с требованиями [3] при этом составляет  $\pm 25\%$ , что позволяет обеспечить избирательное определение содержания вещества на уровне не выше 0,5 ПДК. Учитывая то, что в настоящее время в сварочном производстве применяется большое количество отечественных и зарубежных марок сварочных материалов, такие данные проще прогнозировать по показателю ин-

тенсивности образования СА, для определения которой требуется отобрать на протяжении нескольких минут всего 3...5 проб СА [1].

Цель данной работы — экспериментальное исследование зависимости концентрации СА в воздухе в пределах рабочей зоны при дуговой сварке покрытыми электродами низкоуглеродистых сталей от интенсивности образования СА и (или) мощности дуги, расстояния до места сварки (сварочной дуги) и вида системы вентиляции.

Опыты выполняли в лабораторных условиях на типичном рабочем месте для ручной дуговой сварки при использовании общеобменной и местной вентиляции, а также без нее. Пробы СА отбирали вокруг дуги в трех точках на разном расстоянии от нее: 55 см — зона дыхания сварщика, 100 и 150 см — рабочая зона. С целью сравнения эффективности общеобменной и местной вентиляции ее производительность выбрали одинаковой — 1500 м<sup>3</sup>/ч. В системе общеобменной вентиляции использовали типичный осевой вентилятор, а в качестве местной вентиляции — стол сварщика со встроенным вытяжным устройством типа наклонная панель равномерного всасывания (рис. 1). Пробы СА и газов отбирали в процессе наплавки электродами с рутил-целлюлозным покрытием марки АНО-36 диаметром 4 мм на пластины из стали СтЗсп. При этом использовали постоянный ток обратной полярности. Для установления зависимости интенсивности выделения СА от мощности дуги сварочный ток изменяли в пределах  $I_{св} = 130...230$  А, напряжение на дуге —  $U_{д} = 24...40$  В. Отбор проб СА в воздухе рабочей зоны, определение содержания марганца как ведущего токсичного компонента в составе СА, об-

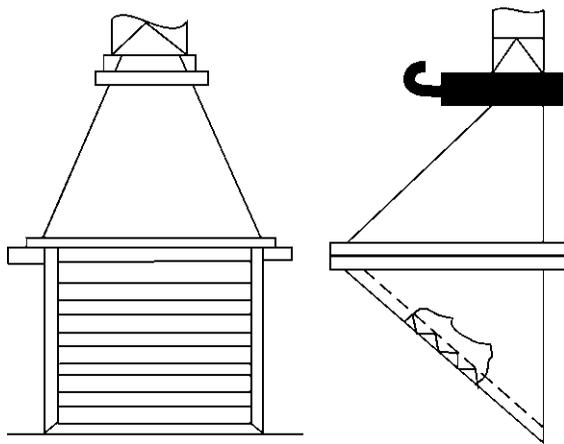


Рис. 1. Встроенное вытяжное устройство типа наклонная панель равномерного всасывания над рабочим столом сварщика

разрушающегося при сварке низкоуглеродистых сталей, и интенсивности образования СА выполняли по общепринятым методикам [1, 2]. Достоверность полученных экспериментальных данных проверяли в соответствии с принятыми методическими указаниями [3]. Аналитическую и статистическую обработку установленных математических зависимостей выполняли по разработанной в Национальном НИИ промышленной безопасности и охраны труда специальной программе с помощью заложенного в ней метода регрессионного анализа [4, 5].

Результаты исследований зависимостей концентрации СА в воздухе рабочей зоны от расстояния до сварочной дуги (рис. 2, а) показали, что она максимальная и снижается с увеличением расстояния до дуги при сварке без применения вентиляции; значительно ниже и увеличивается при наличии общеобменной вентиляции; минимальная и почти не изменяется при применении местной вентиляции. Указанное выше подтверждает тот факт, что наиболее эффективной является местная вентиляция, обеспечивающая также в данном случае снижение концентрации марганца ниже ПДК (не более 0,2 мг/м<sup>3</sup>) как в зоне дыхания

(на расстоянии 55 см от дуги), так и в других точках рабочей зоны (рис. 2, б). Это объясняется тем, что факел СА локализуется местным отсосом еще в зоне сварочной дуги и не распространяется в воздухе рабочей зоны.

При включении общеобменной вентиляции, всасывающее отверстие которой находится на определенном расстоянии от рабочего места сварщика, концентрация СА значительно выше, чем в предыдущем случае, и повышается еще больше с увеличением расстояния от места сварки. Это свидетельствует о том, что воздух, который загрязняется аэрозолем в зоне дуги, переносится по направлению места нахождения всасывающего отверстия системы общеобменной вентиляции. На незначительном (приблизительно до 70 см) расстоянии от дуги концентрация марганца в воздухе рабочей зоны ниже ПДК (рис. 2, б).

С целью прогнозирования содержания СА и, в частности, марганца как определяющего токсичного компонента, образующегося при сварке низкоуглеродистой стали электродами общего назначения, исследовали зависимость от интенсивности образования СА и содержания марганца на различном расстоянии от сварочной дуги и вида применяемой вентиляции (рис. 2). Для этого рассчитывали коэффициент пропорциональности (соотношения) для СА  $K_a$  и марганца  $K_{Mn}$  между концентрацией данных веществ во всех точках рабочей зоны, где отбирали пробы СА, и интенсивностью их выделения:

$$K_{a(Mn)} = C_{a(Mn)} / V_{a(Mn)} \quad (1)$$

где  $C_{a(Mn)}$  — концентрация в воздухе рабочей зоны соответственно СА и марганца, мг/м<sup>3</sup>;  $V_{a(Mn)}$  — интенсивность выделения СА и марганца соответственно 0,807 и 0,036 г/мин.

Обработка экспериментальных данных, приведенных на рис. 2, с помощью интерполяционной формулы Лагранжа [6] позволила получить следующую зависимость коэффициентов пропорци-

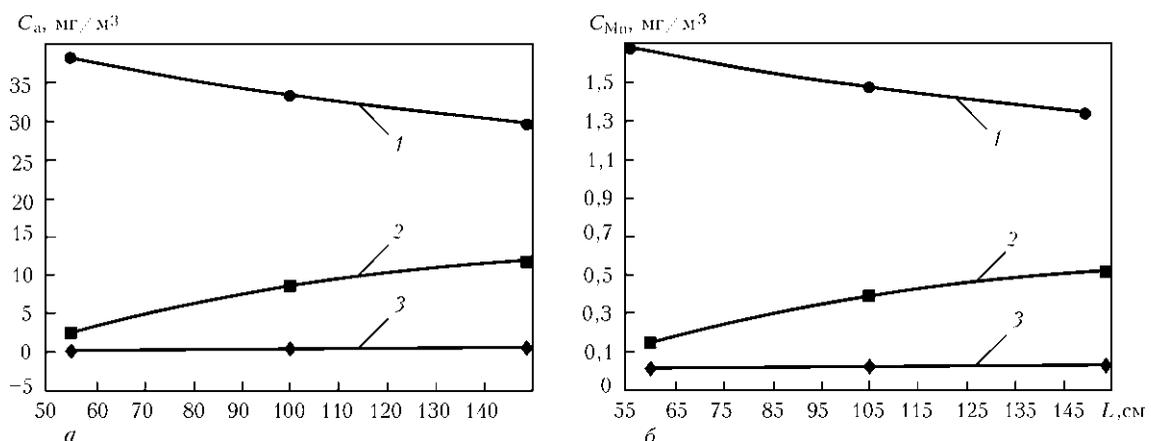


Рис. 2. Зависимость концентрации СА  $C_a$  (а) и марганца  $C_{Mn}$  (б) в воздухе рабочей зоны от расстояния до сварочной дуги  $L$  при дуговой сварке без вентиляции (1), с общеобменной (2) и местной (3) вентиляцией

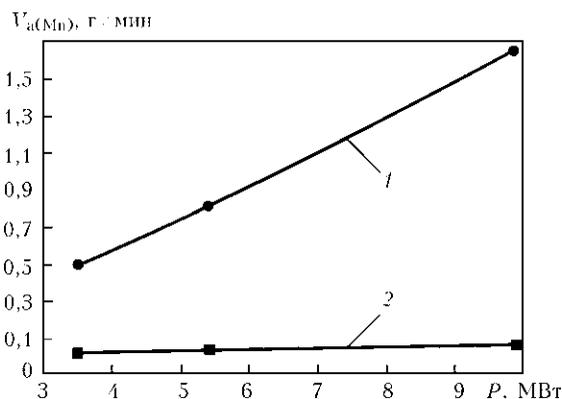


Рис. 3. Зависимость интенсивности выделения СА  $V_a$  (1) и  $V_{Mn}$  марганца (2) от мощности дуги  $P$

ональности от расстояния  $L$  до сварочной дуги при сварке

без вентиляции

$$K_{a(Mn)} = 0,0039L^2 - 0,019L + 0,0563, \quad (2)$$

с общеобменной вентиляцией

$$K_{a(Mn)} = -0,0085L^2 + 0,0295L - 0,011, \quad (3)$$

с местной вентиляцией

$$K_{a(Mn)} = -0,0005L^2 + 0,0014L - 0,0003. \quad (4)$$

Относительная погрешность полученных математических моделей составляет не более 1,8 %.

Из формулы (1) находим значения  $C_a$  и  $C_{Mn}$

$$C_{a(Mn)} = K_{a(Mn)} V_{a(Mn)}. \quad (5)$$

Подставив в формулу (5) зависимости (2)...(4), получим математические модели для прогнозирования концентрации СА и марганца в зависимости от интенсивности их выделения и расстояния до сварочной дуги при сварке

без вентиляции

$$C_{a(Mn)} = V_{a(Mn)}(0,0039L^2 - 0,019L + 0,056), \quad (6)$$

с общеобменной вентиляцией

$$C_{a(Mn)} = V_{a(Mn)}(-0,0085L^2 + 0,0295L - 0,011), \quad (7)$$

с местной вентиляцией

$$C_{a(Mn)} = V_{a(Mn)}(-0,0005L^2 + 0,0014L - 0,0003). \quad (8)$$

**Результаты проверки расчетных данных о содержании марганца в воздухе рабочей зоны при сварке электродами АНО-36**

Вид вентиляции	$L, м$	$C_{Mn}, мг/м^3$		Относительная погрешность, %
		расчетное	экспериментальное	
Без вентиляции	0,55	1,700	1,700	0
Общеобменная	1,00	0,360	0,380	5,3
Местная	1,50	0,024	0,023	4,3

Таким образом, по экспериментальным данным об интенсивности выделения СА или марганца, определение которых не представляет собой трудности [1, 2], можно легко и с высокой достоверностью рассчитать концентрацию этих веществ в различных точках рабочей зоны сварщика при наличии или отсутствии вентиляции. Если же получить эти данные не представляется возможным, то можно предложить другой менее точный метод, основанный на экспериментально установленной зависимости интенсивности выделения СА и марганца от мощности сварочной дуги (рис. 3). Аналитическая обработка этих данных методом регрессионного анализа позволила получить следующие зависимости:

$$V_a = -0,178 + 0,187I_{св} U_d, \quad (9)$$

$$V_{Mn} = 0,0014 + 0,0058I_{св} U_d, \quad (10)$$

где  $I_{св}$  — сварочный ток, А;  $U_d$  — напряжение на дуге, В. Относительная погрешность зависимостей (9) и (10) соответственно составляет 2,1 и 3,7 %; коэффициент суммарной корреляции — 0,999 и 0,994.

Проверка точности расчетных данных по сравнению с экспериментальными показала, что их относительная погрешность не превышает 5,3 % (таблица).

Обобщение наших экспериментальных и литературных данных [7] свидетельствуют о том, что при сварке электродами с рутиловыми покрытиями интенсивность выделения СА не превышала примерно 0,4, а с целлюлозными — 1,0 г/мин. При этом содержание оксидов марганца в СА, образующихся при сварке электродами с рутиловыми покрытиями, составляло не более 10,2, а с целлюлозными — 5,5 %. Экспериментальная часть данной работы выполнена на примере широко применяемых в настоящее время электродов с рутил-целлюлозным покрытием. При этом интенсивность выделения СА на оптимальном режиме ( $I_{св} = 180 А, U_d = 30 В$ ) составляла 0,81 г/мин (больше чем для рутиловых покрытий, но меньше чем для целлюлозных), содержание марганца — 4,45 % (не более чем в работе [7]). Учитывая, что относительная погрешность содержания СА в воздухе рабочей зоны в соответствии с требованиями [3] составляет  $\pm 25 \%$ , полученные математические модели можно применять для приблизительной оценки загрязнения воздуха рабочей зоны марганцем при сварке низкоуглеродистых сталей с использованием электродов различных марок с рутиловым и рутил-целлюлозным покрытиями.

Таким образом, с учетом того, что при ручной дуговой сварке электродами с рутил-целлюлозными покрытиями низкоуглеродистых сталей ос-



новным вредным компонентом в составе СА, определяющим условия труда, является марганец, для принятия решения о выборе вида вентиляции (местной или общеобменной) необходимо использовать данные о концентрации марганца в воздухе рабочей зоны, а для расчета производительности вентиляции — интенсивности его выделения.

Результаты выполненных исследований подтвердили, что местная вентиляция значительно эффективнее, чем общеобменная. Она позволяет снизить концентрацию марганца в зоне дыхания сварщика и рабочей зоне производственного помещения ниже ПДК (см. рис. 2).

Прогнозирование содержания СА и марганца в воздухе рабочей зоны с целью выбора вида вентиляции и ее оптимальных параметров можно осуществлять по формулам (6)...(8), сначала определив экспериментальным путем интенсивность их выделения [1, 2] или рассчитав ее в зависимости

от режима сварки (сварочного тока и напряжения дуги) по выражениям (9) и (10).

1. *Методические указания* 1924–78. Гигиеническая оценка сварочных материалов и способов сварки, наплавки и резки металлов. — М.: Минздрав СССР, 1980. — 15 с.
2. *Методические указания* по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы), № 4945–88. — М.: Минздрав СССР, 1990. — 150 с.
3. *Методические указания* 3936–85. Контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны. — М.: Минздрав СССР, 1985. — 18 с.
4. *Орловский П. Н.* Системный анализ: Учеб. пособие. — Киев: Ин-т содержания и методов обучения. — 1996. — 358 с.
5. *Ферстер Е., Ренц Б.* Методы корреляционного и регрессионного анализа. — М.: Финансы и статистика, 1987. — 365 с.
6. *Мышкис А. Д.* Элементы теории математических моделей. — М.: КомКнига, 2007. — 191 с.
7. *Металлургия* дуговой сварки. Процессы в дуге и плавление электродов / И. К. Походня, В. Н. Горпенюк, С. С. Миличенко и др.; Под ред. И. К. Походни. — Киев: Наук. думка, 1990. — 224 с.

Investigation results are presented on dependence of the concentration of harmful materials in the work zone air in manual rutile-cellulose electrode welding upon the distance to the welding arc under different ventilation conditions (general, local and without ventilation), as well as analytical dependencies of the concentration of harmful materials at different points of the work zone upon the intensity of formation of welding fumes and power of the welding arc.

Поступила в редакцию 23.04.2009

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ НАУЧНОГО, РЕСУРСНОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

### **10-я Юбилейная международная промышленная конференция и блиц-выставка**

18–22 февраля 2010

п. Славское, Карпаты

Конференция включает обзорные доклады ученых и специалистов металлургической, горнодобывающей, газовой, нефте- и горноперерабатывающей промышленности, строительного, транспортного, инструментального и другого машиностроения, научно-исследовательских, проектных, конструкторских организаций, а также презентации ведущих фирм.

**В рамках конференции состоятся семинары:**

1. Оборудование. Инструменты, Оснастка. Перспективные металлические и неметаллические материалы. Технологии. Наноматериалы и нанотехнологии. Научный руководитель — Коваленко В. С., НТУУ «КПИ», г. Киев.
2. Современные технологии ремонтно-восстановительных работ в промышленности. Научный руководитель — Лобанов Л. М., ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев.
3. Перспективы развития автомобильной отрасли. Строительные материалы. Научный руководитель — Богомолов В. В., Харьковский НАДУ (ХАДИ).
4. Теоретические и прикладные проблемы трибологии. Защита материалов от коррозии. Научные руководители — Похмурский В. И., Широков В. В., ФМИ НАН Украины, г. Львов.
5. Горнодобывающая промышленность: технология, оборудование, безопасность и экология. Научные руководители — Духовский А. Ю., директор НПП «Интрон-СЭТ», г. Донецк.

УИЦ «Наука. Техника. Технология»

Тел./факс: +38(044) 573 30 40, моб.: +38 067 708 93 95