

О. Г. Левченко, д-р техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: levchenko.opcb@ukr.net

І. Р. Явдошин, канд. техн. наук

С. М. Степанюк, канд. техн. наук

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України

вул. Казимира Малевича, 11, Київ, 03650, Україна

РОЗЧИННІСТЬ ЗВАРЮВАЛЬНИХ АЕРОЗОЛІВ ЯК ПОКАЗНИК ЇХ ТОКСИЧНОСТІ

Наведено результати дослідження розчинності зварювальних аерозолів (ЗА), що утворюються при застосуванні електродів з рутиловим покриттям, в біологічних середовищах. Встановлено, що при збільшенні кислотності рутилового покриття і, відповідно, збільшенні сполук кремнію в ЗА їх розчинність знижується. Для електродів з більш високою основністю шлаку зі збільшенням у складі електродного покриття вмісту сполук калію розчинність ЗА у дистильованій воді та в імітаторі шлункового соку зростає. Розчиняються переважно сполуки калію і натрію.

Показано, що параметри розчинності ЗА в біологічних середовищах можуть бути використані для інтерпретації його токсичності на організм людини.

Ключові слова: електродугове зварювання, покриті електроди, склад покриття, зварювальні аерозолі, токсичність, розчинність аерозолів

О. Г. Левченко, д-р техн. наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»

просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: levchenko.opcb@ukr.net

И. Р. Явдошин, канд. техн. наук

С. М. Степанюк, канд. техн. наук

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

ул. Казимира Малевича, 11, г. Киев, 03650, Украина

РАСТВОРИМОСТЬ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ИХ ТОКСИЧНОСТИ

Приведены результаты исследования растворимости сварочных аэрозолей (СА), которые образуются при применении электродов с рутиловым покрытием в биологических средах. Установлено, что при увеличении кислотности рутилового покрытия и, соответственно, увеличении соединений кремния в СА их растворимость снижается. Для электродов с более высокой основностью шлака с увеличением в составе электродного покрытия содержания соединений калия растворимость СА в дистиллированной воде и в имитаторе желудочного сока растет. Растворяются преимущественно соединения калия и натрия.

Показано, что параметры растворимости СА в биологических средах могут быть использованы для интерпретации его растворимости на организм человека.

Ключевые слова: электродуговая сварка, покрытые электроды, состав покрытия, сварочные аэрозоли, токсичность, растворимость аэрозолей.

Актуальність роботи. Токсична дія зварювальних аерозолів (ЗА) залежить від їх хімічного складу і визначається переважно складом електродного покриття. Так само токсична дія ЗА на організм людини залежить від розчинності хімічних сполук, що входять до складу аерозолів [1]. Для отримання інформації про біологічний і токсичний вплив хімічних сполук, що входять до складу ЗА, на організм зварників, взаємозв'язок їх токсичності з фізико-хімічними властивостями ЗА необхідні дослідження розчинності ЗА в біологічних середовищах. У попередніх дослідженнях [2] було показано як розчинність ЗА залежить від вмісту в них та в покритті електродів, при зварюванні якими ці ЗА утворюються, фторидів та сполук лужних металів як обов'язкових компонентів покриття електродів.

Наступним етапом роботи було дослідження біологічної активності ЗА на основі впливу основності електродного покриття рутилового виду і вмісту в ньому сполук лужних металів на розчинність ЗА в біологічних середовищах.

Для дослідження розчинності ЗА використовували дистильовану воду та 0,3 % розчин HCl в якості аналога шлункового соку, як було показано в попередній роботі [2]. Для цього було розроблено та відпрацьовано спеціальну методику [3] порівняльних досліджень біологічної активності зварювальних аерозолів на організм людини шляхом визначення їх розчинності.

Дослідними електродами проводили зварювання і відбирали проби ЗА на паперовий фільтр за стандартною методикою [4]. Розчинність вивчали в імітаторі шлункового соку (0,3 % HCl) та дистильованій воді при 37 °С протягом 4 годин.

Для дослідження впливу складу електродного покриття рутилового виду на розчинність ЗА по аналогії з попередніми експериментами [2] було також підготовлено дві серії електродів з різною основністю і різним вмістом калію та натрію. Склад покриття дослідних електродів рутилового виду наведено в табл. 1. Основність шлаку [5] регулювали за рахунок зміни вмісту в покритті електродів мармуру (CaCO₃) та кварцового піску (SiO₂).

Перша серія (умовна назва РК) не містила кварцовий пісок, а частка мармуру становила 17 %. Друга серія (умовна назва РС) навпаки – не містила мармуру, а частка кварцового піску становила 17 %. Сполуки калію в кожній серії електродів вводили в покриття у вигляді карбонату калію (K₂CO₃) в кількості 0, 4 та 8 % мас. : РК-1, РК-2, РК-3 – для першої серії та РС-1, РС-2, РС-3 – для другої серії, відповідно. Для кожної серії також підготували дослідний зварювальний електрод без карбонату калію, але з додаванням в покриття 4 % соди: РК-4 і РС-4, відповідно.

Таблиця 1

**Склад покриття дослідних електродів рутилового виду
з різним вмістом калію та натрію**

Компоненти покриття	Масова частка, %							
	З мрамуром				З кварцовим піском			
	PK-1	PK-2	PK-3	PK-4	PC-1	PC-2	PC-3	PC-3
Мрамур	17	17	17	17	-	-	-	-
Рутил	50	50	50	50	50	50	50	50
Кварцовий пісок	-	-	-	-	17	17	17	17
Fe-Mn	15	15	15	15	15	15	15	15
Слюда	6	6	6	6	6	6	6	6
Fe-порошок	10	6	2	6	10	6	2	6
Целюлоза	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
КМЦ	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Поташ	-	4	8	-	-	4	8	-
Сода	-	-	-	4	-	-	-	4
Тип рідкого скла	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>Na</i>

Хімічний склад шлаків, що утворювались при зварюванні дослідними електродами обох серій (PK і PC) з покриттям рутилового виду (за результатами рентгенфлуоресцентного аналізу) та показник їх основності наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристика шлаків дослідних електродів з покриттям рутилового виду

Серія електродів	Масова частка, %									Основність шлаку
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CaO	
PK-1	1,20	0,09	2,36	12,98	2,48	48,70	12,02	8,17	12,01	0,70
PK-2	2,03	0,17	3,18	14,48	5,38	44,15	11,18	8,91	10,48	0,77
PK-3	0,86	0,06	2,04	14,22	7,69	41,97	12,94	11,03	9,48	0,80
PK-4	1,48	0,09	2,6	14,88	0,81	45,41	10,87	12,64	11,18	0,74
PC-1	0,81	0,04	2,06	24,03	2,09	45,89	12,02	12,11	0,92	0,46
PC-2	1,14	0,06	2,47	26,52	4,70	43,86	11,01	9,27	0,92	0,44
PC-3	1,32	0,09	2,77	26,41	6,71	41,44	11,68	9,01	0,78	0,50
PC-4	1,48	0,10	2,75	25,79	0,88	46,25	11,59	9,51	0,90	0,39

Як видно з таблиці, основність шлаку електродів серії РК знаходиться в межах 0,70...0,80, а електродів серії РС – в межах 0,39...0,50.

Отримані дані елементного складу фільтратів для серії РК наведено на рис. 1, а для серії РС – на рис. 2. Встановлено, що, як і у випадку з покриттям основного виду [2], розчинність ЗА електродів з покриттям рутилового виду в імітаторі шлункового соку значно вища, ніж у дистильованій воді а також суттєво залежить від вмісту сполук калію і зростає зі збільшенням частки поташу в покритті.

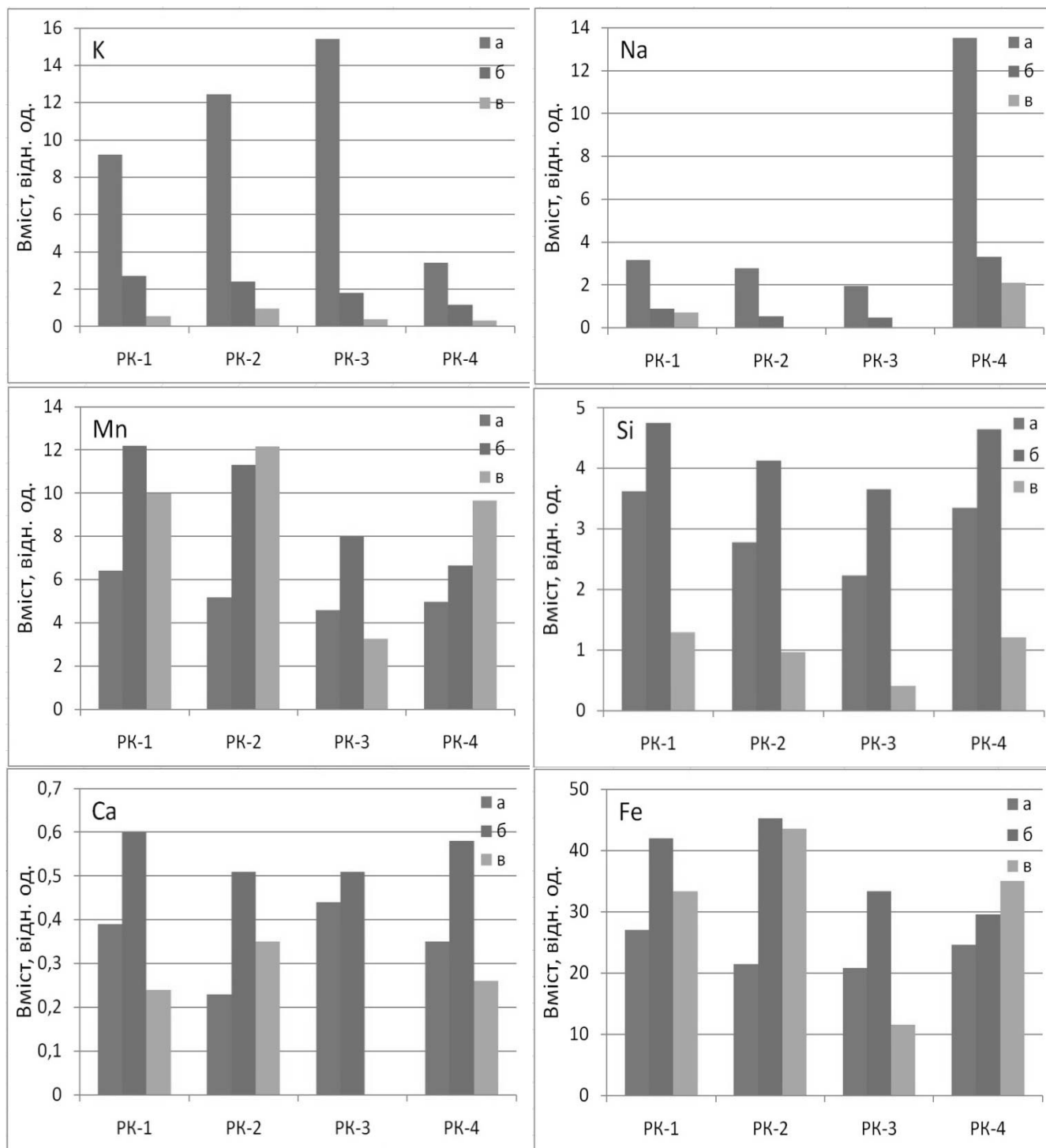


Рис. 1. Вміст елементів в нерозчинному залишку ЗА залежно від виду використаного розчинника для електродів серії РК-1–РК-4: а – вихідний стан, б – дистильована вода, в – 0,3 % розчин HCl

Встановлено, що для електродів варіантів РК-3 (8 % поташу) та РК-4 (4 % соди) фільтрати перебувають у колоїдному стані. Це унеможливило точне визначення величини розчинності. Для серії РС (із додаванням кварцового піску) ситуація ще складніша, оскільки у всіх дослідах з дистильованою водою фільтрати колоїдні з осадом, а в той же час у всіх дослідах із 0,3 % розчином НСІ фільтрати прозорі, тобто розчинні. При цьому розчинність ЗА в імітаторі шлункового соку для електродів серії РС (з кварцовим піском) майже в два рази нижча, ніж для електродів серії РК (з додаванням мармуру).

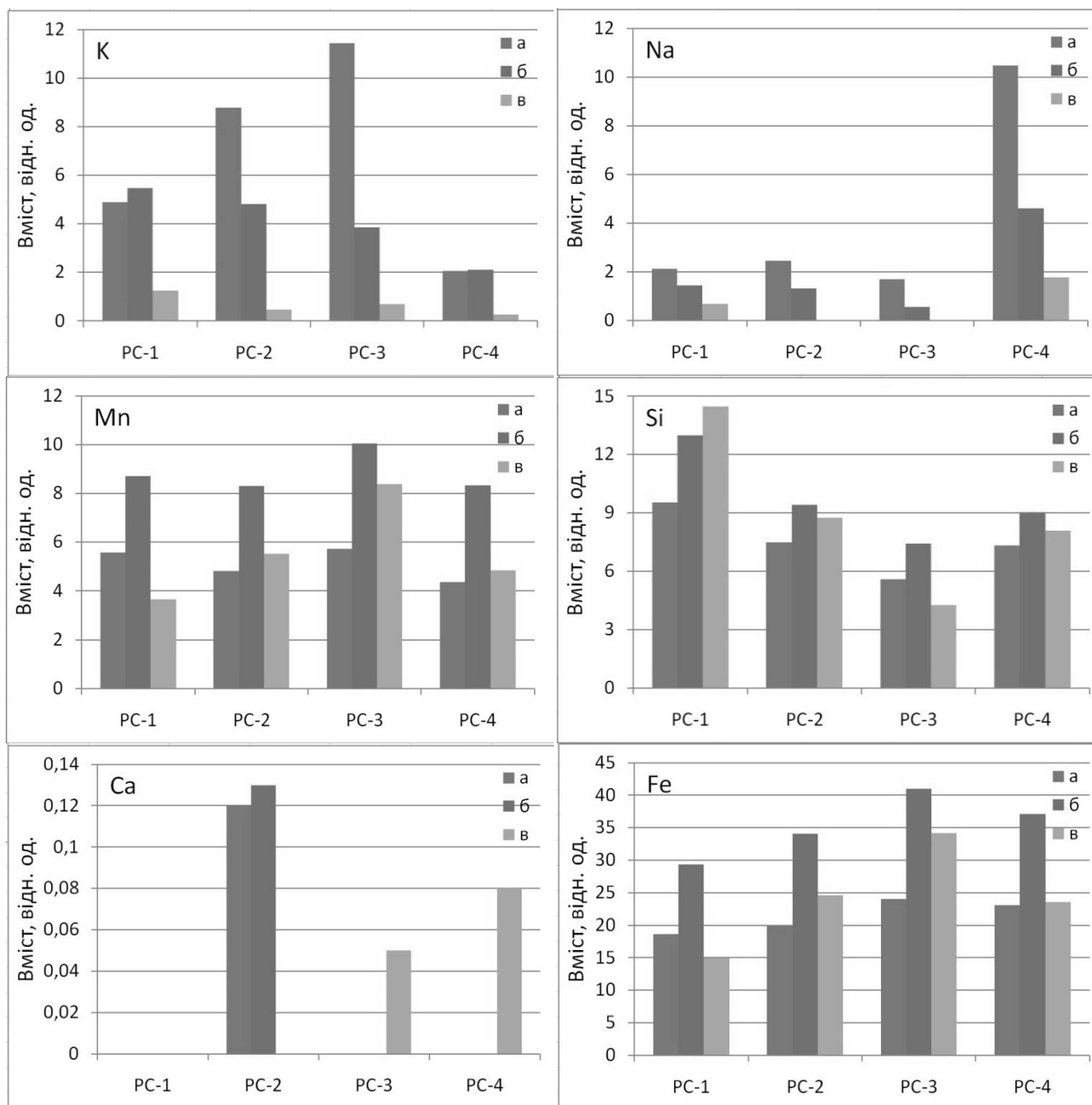


Рис. 2. Вміст елементів в нерозчинному залишку ЗА залежно від виду використаного розчинника для електродів серії РС-1–РС-4: а – вихідний стан, б – дистильована вода, в – 0,3 % розчин НСІ

Варто також зазначити, що взагалі розчинність ЗА електродів з покриттям рутилового виду в обох середовищах дещо нижча, ніж у електродів основного виду [2], особливо в імітаторі шлункового соку.

Для обох серій електродів також характерними є такі результати:

- в електродах із більш високою основністю шлаку (серія РК) із зростанням вмісту сполук калію в ЗА (з 9,2 % до 15,4 %) розчинність зростає як у дистильованій воді (з 29–30 % до 53–56 %), так і в імітаторі шлункового соку (з 66–67 % до 90–92 %);

- при зменшенні рівня основності (серія РС) із зростанням вмісту сполук калію в ЗА (з 4,89 % до 11,43 %) розчинність нижча, хоча зростає також з 23–24 % до 39–44 % в дистильованій воді, а в імітаторі шлункового соку з 26–29 % до 67–72 %;

- розчиняються переважно сполуки калію та натрію;

- збільшення сполук натрію в ЗА підвищує розчинність у дистильованій воді та трохи знижує в імітаторі шлункового соку;

- при збільшенні кислотності рутилового покриття (звідси і при збільшенні сполук кремнію в ЗА) розчинність в дистильованій воді та імітаторі шлункового соку дещо знижується, хоча при цьому зберігаються закономірності, наведені вище.

Висновки

Для розроблення нових низькотоксичних покритих зварювальних електродів можна користуватись результатами досліджень розчинності ЗА в імітаторі шлункового соку та дистильованій воді як одним із показників токсичності ЗА.

Отримані результати показують, що розчинність ЗА, які утворюються при зварюванні електродами з покриттям рутилового та основного видів, коливається в широких межах в залежності від складу електродного покриття і від хімічного складу самого ЗА. При цьому необхідно враховувати, що з підвищенням вмісту сполук лужних металів у складі ЗА, особливо сполук калію, розчинність ЗА зростає як у воді, так і в імітаторі шлункового соку. Для електродів з більш високою основністю шлаку зі збільшенням у складі електродного покриття вмісту сполук калію, розчинність ЗА, що утворюються при застосуванні цих електродів, зростає як у дистильованій воді, так і в імітаторі шлункового соку. При зменшенні рівня основності покриття із зростанням вмісту сполук калію в ЗА розчинність нижча, хоча також зростає в дистильованій воді та в імітаторі шлункового соку. Розчиняються переважно сполуки калію і натрію. Збільшення сполук натрію в ЗА підвищує розчинність у дистильованій воді і трохи знижує в імітаторі шлункового соку. При збільшенні кислотності рутилового покриття і, відповідно, при збільшенні сполук кремнію в ЗА розчинність в дистильованій воді та імітаторі шлункового соку дещо знижується.

Список літератури

1. Походня И. К., Супрун С. А., Оноприенко Е. Н. Зависимость токсичности сварочной пыли от содержания в ней фтора и марганца. *Гигиена труда: Респ. межведомств. сб.* 1983. Вып. 19. С. 20–24.
2. Левченко О. Г., Явдошин І. Р., Степанюк С. М. Дослідження впливу фторидів та сполук лужних металів у електродному покритті основного виду на розчинність зварювальних аерозолів. *Проблеми охорони праці в Україні*. Київ : ДУ «ННДІПБОП». 2017. Вип. 33. С. 50–56.
3. Левченко О. Г., Степанюк С. М. Розроблення методики дослідження розчинності зварювальних аерозолів з метою зменшення професійної захворюваності. *Проблеми охорони праці в Україні*. Київ : ДУ «ННДІПБОП». 2016. Вип. 31. С. 120–127.
4. ДСТУ ISO 15011-1:2008. Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів, утворюваних під час дугового зварювання. Частина 1. Визначення рівня виділень і відбір проб для аналізу мікрочастинок аерозолів. [Чинний від 2008-08-15]. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 8 с.
5. Подгаецкий В. В., Кузьменко В. Г. Сварочные шлаки. Київ : Наукова думка, 1988. 256 с.

O. Levchenko, Doctor of Technical Sciences

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
prosp. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: levchenko.opcb@ukr.net

I. Yavdoshchyn, PhD

S. Stepaniuk, PhD

The National Academy of Sciences of Ukraine, Ye. O. Paton Electric Welding Institute
vul. Kazimir Malevich, 11, Kyiv, 03650, Ukraine

SOLUBILITY OF WELDING AEROSOLS AS AN INDICATOR OF THEIR TOXICITY

Purpose. The toxic effects of welding aerosols (WA) on the human body depends on their chemical composition are formed predominantly with the composition of the electrode coating and depends on the solubility of the chemical compounds which are contained in aerosols. **Originality.** The influence of the basicity of the rutile species electrode coating and the content of alkali metal compounds in it on the solubility of WA in biological environments have been studied. **Methodology.** A special methodology of biological activity comparison studies of welding aerosols on the human body has been developed and worked out to investigate solubility of WA. Samples of WA were collected on a paper filter. Solubility was studied in a simulant of gastric juice (0.3% hydrochloric acid) and distilled water at 37 °C. for 4 hours. To do this, two types of electrodes with different

basicity and different contents of potassium and sodium were prepared. **Results.** The obtained results show that the solubility of WA, which is formed while welding with electrodes that has coating of rutile and base types varies widely, depend on the composition of the electrode coating and the chemical composition of the WA itself. It's necessary to keep in mind that with increasing content of alkali metal compounds in the composition of WA, especially potassium compounds, WA solubility increases both in water and in the simulator of gastric juice. It was established that with decreasing of the coating basicity level and with increasing of potassium compounds content in WA, its solubility is decreasing. Mostly only potassium and sodium compounds are dissolved. Increasing of sodium compounds in WA increases its solubility in distilled water and slightly decreases in the simulator of gastric juice. When increasing the acidity of the rutile coating and, accordingly, increasing the silicon compounds content in WA, its solubility in distilled water and the simulator of gastric juice is slightly reducing. The results of the WA solubility can be used to develop new low-toxic coated welding electrodes. It is shown that WA solubility parameters in biological environments can be used to interpret its toxicity effects on human organism.

Key words: welding, coated electrodes, composition of the coating, welding aerosols, toxicity, solubility of aerosols.

REFERENCES

1. Pokhodnia Y. K., Suprun S. A., Onopryenko E. N. (1983). Zavysymost toksychnosti svarочноi pyly ot soderzhaniya v nei ftora y marhantsa. *Hyhyena truda: Resp. mezhvedomstv. sb.*, 19, 20-24 [in Russian].

2. Levchenko O. G., Yavdoshchyn I. R., Stepaniuk S. M. (2017). Doslidzhennia vplyvu ftorydiv ta spoluk luzhnykh metaliv u elektrodnomu pokrytti osnovnoho vydu na rozchynnist zvariuvalnykh aeroliziv [Investigation of the influence of fluorides and alkali metal compounds in the electrode coating of the main form on the solubility of welding aerosols]. *Problemy okhorony pratsi v Ukraini*. Kyiv : DU «NNDIPBOP», 33, 50-56 [in Ukrainian].

3. Levchenko O. G., Stepaniuk S. M. (2016). Rozroblennia metodyky doslidzhennia rozchynnosti zvariuvalnykh aeroliziv z metoiu zmenshennia profesiinoi zakhvoriuvanosti [The research and development of the analysis methods of the welding fumes solubility]. *Problemy okhorony pratsi v Ukraini*. Kyiv : DU «NNDIPBOP», 31, 120-127 [in Ukrainian].

4. DSTU ISO 15011-1:2008 (2011). Okhorona zdorovia ta bezpeka u zvariuvani ta sporidnenykh protsesakh. Laboratornyi metod vidbyrannia aeroliziv i haziv, utvoriuvanykh pid chas duhovoho zvariuvani. Chastyna 1. Vyznachennia rivnia vydilen i vidbir prob dlia analizu mikrochastynok aeroliziv [Chynnyi vid 2008-08-15]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 8 [in Ukrainian].

5. Podhaetskyi V. V., Kuzmenko V. H. (1988). Svarochnye shlaky. Kyiv : Naukova dumka, 256 [in Russian].

Дата подання статті до збірника – 16.05.2018