УДК 621.791: 614.8

ВПЛИВ ВИДУ ЕЛЕКТРОДНОГО ПОКРИТТЯ НА ГІГІЄНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЕРОЗОЛІВ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

О. Г. Левченко, докт. техн. наук (НТУУ «КПІ»), А. В. Булат, канд. техн. наук, О. М. Безушко, інж. (Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України)

Исследованиями электродов с покрытиями основного-, рутил-основного- и рутил-силикатного видов показано, что минимальный уровень выделения сварочных аэрозолей и наиболее токсичных соединений шестивалентного хрома достигается при сварке электродами с покрытием рутил-силикатного вида.

Ключевые слова: дуговая сварка, высоколегированные стали, покрытие электрода, сварочный аэрозоль, гигиенические характеристики, токсичность.

Дослідженнями електродів з покриттями основного-, рутил-основного- та рутил-силікатного видів показано, що мінімальний рівень виділення зварювальних аерозолів і найбільш токсичних сполук шестивалентного хрому досягається при зварюванні електродами з покриттям рутил-силікатного виду.

Ключові слова: дугове зварювання, високолеговані сталі, покриття електрода, зварювальний аерозоль, гігієнічні характеристики, токсичність.

Investigations of electrodes with coating of base, rutile-base and rutile-silicate types demonstrated that the minimum level of welding aerosols discharges and the most toxic six-valence chrome compounds is being achieved during the welding by means of electrodes with rutile-silicate type coating.

Key words: arc welding, highly alloyed steels, electrode coating, welding aerosol, hygiene characteristics, toxic level.

При виконанні монтажних і ремонтно-зварювальних робіт, особливо всередині закритих ємностей і апаратів з високолегованих сталей, коли застосування місцевої і загальнообмінної вентиляції ускладнене або неможливе, потрібно використовувати електроди, які мають найкращі гігієнічні характеристики. У зв’язку з цим очевидна актуальність поліпшення гігієнічних характеристик зварювальних електродів шляхом зміни складу покриття.

Стаття присвячена дослідженню впливу виду покриття зварювальних електродів на показники виділення, хімічний склад та токсичність зварювального аерозолю (ЗА).

Для досліджень впливу виду (хімічного складу) покриття електродів на їх гігієнічні показники було виготовлено три серії експериментальних електродів типу Э-10Х25Н13Г2 з покриттями трьох видів (табл. 1):

покриття основного (фтористокальцієвого) виду (газо-шлакоутворююча основа $CaCO_3$–CaF_2, серія В-1…У-3) зі змінним співвідношенням у покритті $CaCO_3/CaF_2$ (у межах 2…0,5) при незмінній системі розкислення–легування металу шва (Cr-Mn-Si);

покриття рутил-основного виду (газо-шлакоутворююча основа TiO_2–$CaCO_3$–CaF_2, серія R-1…R-4) з постійним співвідношенням $CaCO_3/CaF_2$ і вмістом TiO_2, що відрізняються системою розкислення–легування металу шва: Cr-Mn-Si, Cr-Mn-Al, Cr-Mn-Ti, Cr-Mn;

покриття рутил-силікатного виду (газо-шлакоутворююча основа TiO_2–SiO_2–CaF_2–$CaCO_3$, серія RC-1…RC-3) зі змінним співвідношенням у покритті TiO_2/SiO_2 (у межах 4…2), постійним співвідношенням $CaCO_3/CaF_2$ і однаковою системою розкислення–легування металу шва (Cr-Mn-Si).

Особливості покриття експериментальних електродів показано в табл. 1. Електродами здійснювали наплавлення в нижньому положенні на пластини з сталі 12Х18Н10Т постійним струмом зворотної полярності (сила зварювального струму становила 90...100 А) від зварювального випрямляча ВД-500. При цьому, відповідно до методичних вказівок [2, 3], ЗА осаджували на фільтрі з тканини ФПП-15-1,5 (для оцінки показників виділень ЗА) і на фільтри АФА-ХА-18 для хімічного аналізу відібраних проб. Отримані результати показників рівнів виділення, хімічного складу та токсичності ЗА відповідних проб наведено у табл. 1 і 2.

Експериментами із серії електродів з покриттям основного виду встановлено, що максимальний рівень виділення ЗА має місце у випадку максимальної основності покриття (електроди В-1, співвідношення $CaCO_3/CaF_2$ = 2:1), мінімальний – при найменшій основності (електроди В-3, співвідношення $CaCO_3/CaF_2$ = 1:2). Таке розходження, на нашу думку, обумовлене більш високою потужністю (напругою) дуги під час зварювання електродами В-1 і, як наслідок, більш інтенсивним плавленням та виділенням у дуговий проміжок CO_2, який розсіює в навколишній простір компоненти, що перебувають у пароподібному стані. Особливістю цієї серії електродів є те, що зниження ступеня основності покриття і зменшення рівнів виділення ЗА супроводжується збільшенням у складі ЗА вмісту шестивалентного хрому. Це можна пояснити зростанням інтенсивності випаровування хрому внаслідок збільшення тривало-сті існування краплі розплавленого електродного металу [4], а також високою пружністю пари хрому [5] при температурі металу на стадії існування краплі (рис. 1).

Серед електродів з покриттям рутил-основного виду (див. табл. 1) максимальні рівні виділення ЗА мають місце при використанні систем розкислення–легування Cr-Mn-Al, Cr-Mn-Ti та Cr-Mn-Si (електроди R-4, R-3 і R-1), а мінімальні – у випадку Cr-Mn (електроди R-2). Таке розходження може бути викликане тим, що в перших трьох варіантах реалізуються більше високі значення напруги (потужності) зварювальної дуги, що приводять до більш інтенсивного плавлення й випаровування електродного матеріалу. При цьому мінімальний вміст в аерозолі сполук шестивалентного хрому досягається при спільному розкисленні електродного металу марганцем і кремнієм (R-1) [6].

Таблиця 1. Вплив покриття зварювальних електродів типу Э-10Х25Н13Г2 на рівень виділення ЗА

Позначення електроду	Вид покриття	Фактори, які змінюються			Рівень виділення ЗА		Напруга на дузі, В
		співвідношення в покритті $CaCO_3/CaF_2$	система розкислення–легування	співвідношення в покритті TiO_2/SiO_2	г/хв	г/кг	
В-1	основний	2	Cr-Mn-Si	–	0,40	16,8	30-32
В-2		1			0,35	13,0	28-30
В-3		0,5			0,31	11,5	26-28
R-1	рутил-основний	1,5	Cr-Mn-Si	2	0,22	8,3	26-28
R-2			Cr-Mn		0,20	7,7	24-26
R-3			Cr-Mn-Ti		0,22	7,9	26-28
R-4			Cr-Mn-Al		0,27	9,8	28-30
RC-1	рутил-силікатний	1	Cr-Mn-Si	4	0,20	6,9	24-26
RC-2				3	0,22	8,5	26-28
RC-3				2	0,32	12,9	28-30

Примітки:

1. Покриття наносили на електродні стрижні діаметром 3 мм із сталі Св-07Х25Н13, при цьому діаметр покриття всіх експериментальних електродів становив 5,2 мм.

2. Співвідношення $CaCO_3/CaF_2$ змінювали за рахунок мармуру й плавиковошпатового концентрату при їх постійній сумарній концентрації в покриттях В-1…R-3.

3. Співвідношення TiO_2/SiO_2 змінювали за рахунок рутилового і польовошпатового концентратів при їх постійній сумарній концентрації в покриттях RC-1…RC-3.

Таблиця 2. Вплив покриття електродів типу Э-10Х25Н13Г2 на хімічний склад і токсичність ЗА

Позначення електрода	Вміст у складі ЗА, % мас.						TLV_f, мг/м^3	NHL, м^3/хв
	Cr^{6+}(в розрахунку на CrO_3)	Cr^{3+}(в розрахунку на Cr_2O_3)	Mn	Ni	$F_р$ *	$F_{нр}$ **		
B-1	3,86	0,85	4,70	0,64	6,04	6,53	0,209	1914
B-2	4,77	1,02	5,30	0,79	5,90	6,70	0,174	2011
B-3	5,04	1,12	5,05	0,54	5,82	7,01	0,168	1845
R-1	2,80	1,61	3,80	0,43	5,95	2,81	0,279	789
R-2	3,30	2,27	4,30	0,54	6,50	2,16	0,241	830
R-3	4,87	2,87	3,68	0,78	6,79	1,80	0,174	1264
R-4	4,73	3,15	4,51	0,91	5,93	1,75*	0,178	1517
RC-1	1,45	6,15	3,92	1,31	4,57	1,67	0,423	473
RC-2	2,80	5,97	3,97	1,97	5,83	1,25	0,256	859
RC-3	6,22	3,86	3,56	1,50	6,56	0,90	0,139	2302

Примітка. * розчинні сполуки фтору (NaF, KF); ** нерозчинні сполуки фтору (CaF_2, MgF_2); TLV_f – гранично допустима концентрація ЗА; NHL – необхідна інтенсивність повітрообміну вентиляції

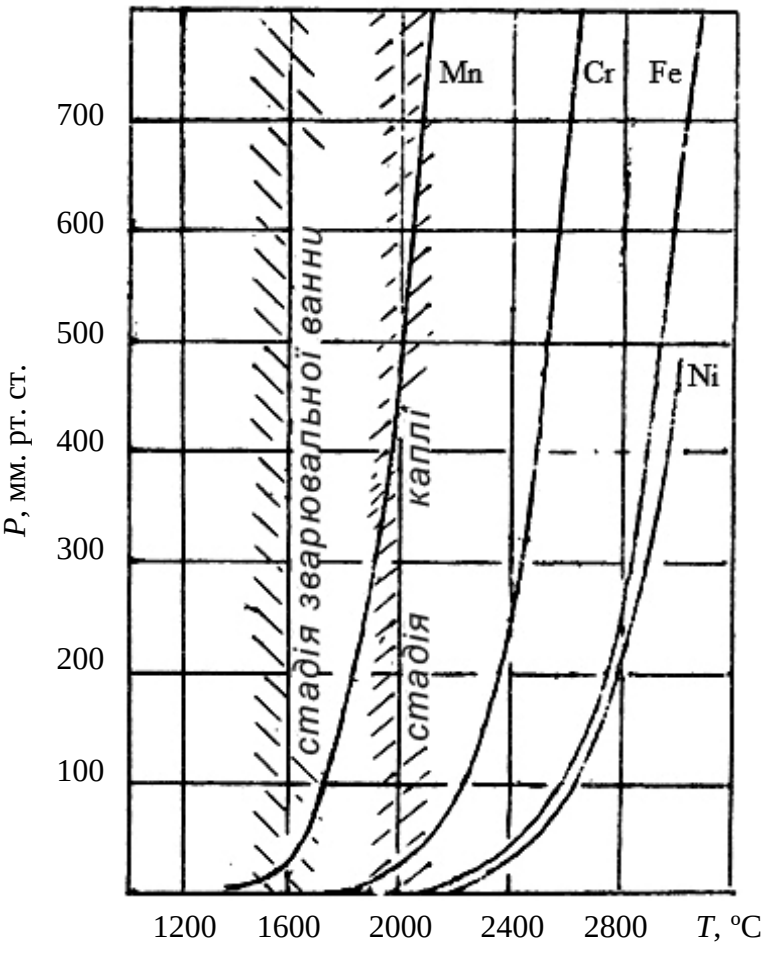


Рис. 1. Тиск пари елементів залежно від температури [6] і температурні режими металу на стадіях краплі й ванни при дуговому зварюванні покритими електродами [5]

У серії електродів рутил-силікатного виду зменшення в покритті співвідношення TiO_2/SiO_2 призводить до збільшення рівня виділень ЗА (див. табл. 2), що пояснюється підвищенням напруги (потужності) зварювальної дуги, інтенсивності плавлення й випаровування електродного матеріалу.

При цьому зростання рівня виділення ЗА супроводжується збільшенням в аерозолі вмісту сполук шестивалентного хрому (рис. 2). Можна припустити, що це пов'язано зі збільшенням окислювальної здатності покриття та активності кисню у шлаковій основі на стадії існування краплі розплавленого металу.

Для порівняння на рис. 3 наведено значення рівнів виділення найбільш токсичних сполук шестивалентного хрому кращих варіантів експериментальних електродів із зазначеними покриттями. Видно, що за інших однакових умов заміна електродів основного виду рутил-основними і далі рутил-силікатними дозволяє знизити рівні виділення шестивалентного хрому відповідно в 2 і 4 рази. Такий ефект обумовлений зниженням напруги (потужності) зварювальної дуги, надходженням у дуговий проміжок меншої кількості вуглекислого газу (через низький вміст мармуру в електродному покритті), а також зниженням окислювального потенціалу покриття й активності оксидів хрому в шлаковій основі на стадії краплі розплавленого металу.

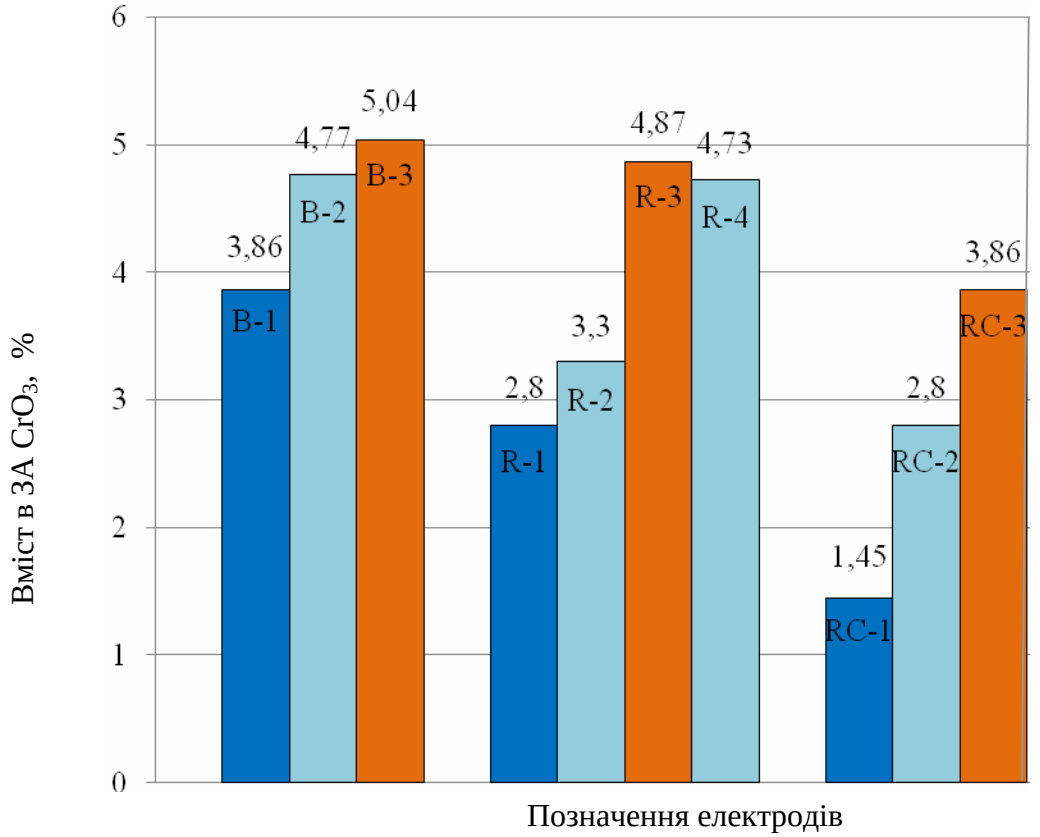


Рис. 2. Вплив складу покриття експериментальних електродів типу Э-10Х25Н13Г2 на вміст у ЗА шестивалентного хрому (в розрахунку на CrO_3)

Оцінка токсичності ЗА за показниками TLV_f (гранично допустима концентрація ЗА) і NHL (необхідна інтенсивність повітрообміну вентиляції)

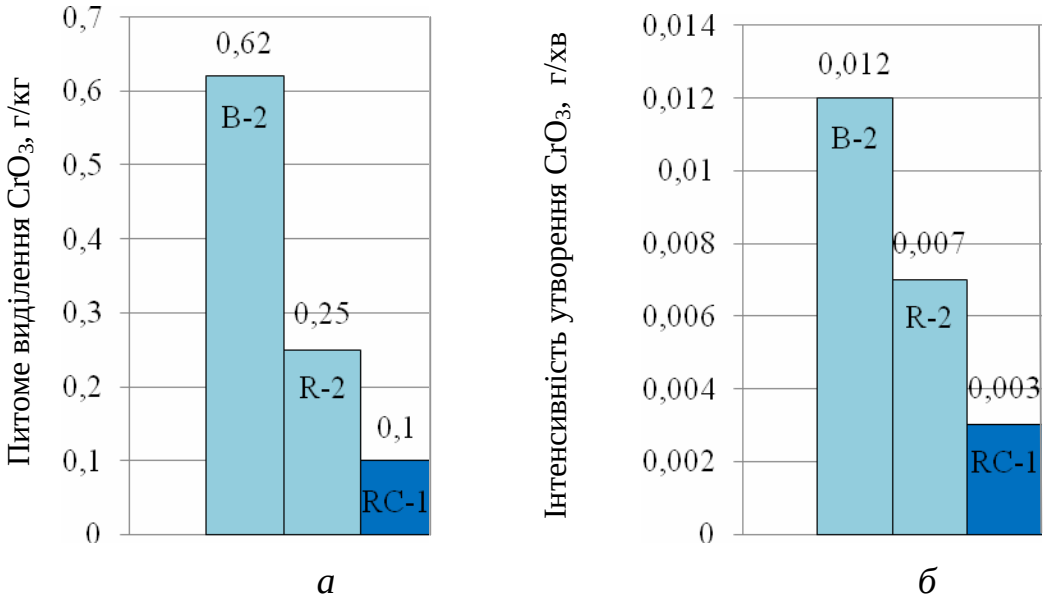
[7, 8] (див. табл. 2) показала, що мінімальна токсичність ЗА забезпечується у випадку використання електродів з покриттям рутил-силікатного виду RC-1. Разом з тим, вона може досягати максимального рівня при використанні електродів RC-3 з покриттям аналогічного виду завдяки максимальному вмісту шестивалентного хрому у складі ЗА. Токсичність ЗА знижується зі збільшенням в електродних покриттях співвідношень TiO_2/SiO_2 і $CaCO_3/CaF_2$, а також з використанням марганцю або марганцю разом з кремнієм для розкислення електродного металу.

Таким чином, при зварюванні високолегованих сталей для мінімізації виділення сполук шестивалентного хрому у складі ЗА і зниження їх токсичності доцільно:

у рецептурах покриття основного виду забезпечити співвідношення $CaCO_3/CaF_2 > 1$;

для електродів з покриттям рутил-основного виду для розкислення електродного металу використовувати марганець або суміш марганцю з кремнієм;

в електродних покриттях рутил-силікатного виду реалізувати співвідношення $TiO_2/ SiO_2 > 3$.



а *б*

Рис. 3. Вплив виду покриття експериментальних електродів на рівень виділення шестивалентного хрому (в розрахунку на CrO_3) у складі ЗА: *а* – питоме виділення ЗА; *б* – інтенсивність утворення

Мінімальне виділення в повітря робочої зони сполук шестивалентного хрому та зменшення токсичності ЗА можуть бути забезпечені шляхом використання електродів з покриттям рутил-силікатного виду.

1. *ССБТ. Вредные вещества.* Классификация и общие требования безопасности: ГОСТ 12.1.007-76 − [Действующий от 1976-03-10] – М.: Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР – № 579. – 6 с.

2. *Гигиеническая оценка* сварочных материалов и способов сварки, наплавки и резки металлов. – Методические указания: [МУ 1927-78]. – М.: Минздрав СССР, 1980. – 15 с.

3. *Методические указания* по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы): [МУ № 4945-88]. – М: Минздрав СССР, 1990. – 150 с.

4. *Походня И. К.* Металлургия дуговой сварки. Процессы в дуге и плавление электродов / И. К. Походня. – К.: Наук. думка, 1990. – 224 с.

5. *Походня И. К.* Газы в сварных швах / И. К. Походня. – М.: Машиностроение, 1972. – 256 с.

6. *Изыскание путей* улучшения гигиенических характеристик электродов с покрытием рутилового вида / И. К. Походня, И. Р. Явдощин, А. В. Булат и др. // Гигиена труда. – К., 1983. – № 19 – С. 3–9.

7. *Санитарно-гигиенические характеристики* покрытых электродов для сварки высоколегированных сталей / К. А. Ющенко, О. Г. Левченко, А. В. Булат [и др.] // Автоматическая сварка. – 2007. – № 12. – С. 44–47.

8. *Criteria for classification* of MMA welding electrodes regarding fume // IIW Doc. II-E-820-77, II-E-256-78. – 13 p.