

СИСТЕМИ ГІГІЄНИЧНОЇ ОЦІНКИ ЗВАРЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ (Частина 2)

О.Г. Левченко¹, Ю.О. Полукаров¹, О.М. Безушко², О.М. Гончарова²

¹НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». 03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37.
E-mail: mail@kpi.ua

²Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua

Мета даної частини статті – обґрунтування порядку виконання процедур визначення гігієнічних характеристик зварювальних матеріалів у відповідності з Міжнародними стандартами серії ISO 15011 і, відповідно, з гармонізованими Національними ДСТУ ISO 15011. Показано сутність проблеми виконання коректної порівняльної гігієнічної оцінки зварювальних матеріалів шляхом удосконалення методики дослідження показників рівнів виділень та хімічного складу зварювальних аерозолів за рахунок застосування стандартів ДСТУ ISO 15011. Наведено особливості основних процедур гігієнічної оцінки зварювальних матеріалів, їх специфіку та послідовність, а також основні показники, за якими вона здійснюється. Бібліогр. 18, табл. 6, рис. 1.

Ключові слова: зварювальні матеріали, гігієнічна оцінка, зварювальний аерозоль, граничне значення зварювального аерозолу

Вступ. Останні публікації з дослідження умов праці під час дугового зварювання [1–3] свідчать про те, що питання шкідливої дії зварювальних аерозолів (ЗА) на організм зварника [4–6] та визначення їх граничного значення [7] залишаються актуальними і до цього часу. Важливою стороною таких досліджень є застосування відповідних міжнародних методик [8, 9] з урахуванням особливостей національних стандартів [10].

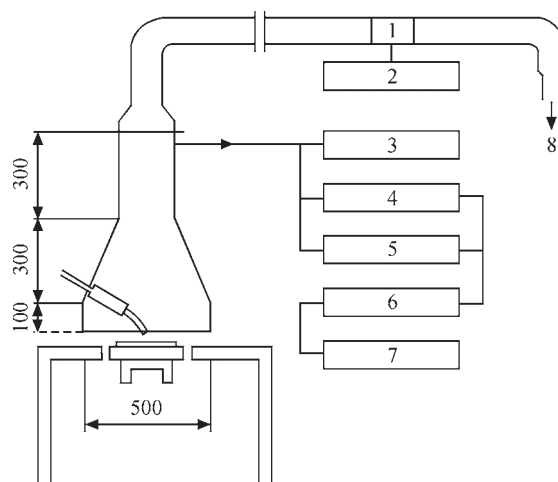
Виклад основного матеріалу. У відповідності до стандарту ДСТУ ISO 15011-2:2008 визначення інтенсивності утворення газів, що виділяються під час дугового зварювання, виконується у витяжній шафі для відбирання проб газів [8]. Вона повинна складатися з робочої камери, вузла вентиляційного отвору, що містить датчики для відбору газів і, якщо необхідно, вузла отвору для впускання повітря. Робоча камера повинна бути достатньо великою, щоб дозволити повністю зібрати виділені гази. Вентиляційний потік повітря в робочій камері повинен підсилювати тепловий повітряний рух, тобто вузол вентиляційного отвору повинен розташовуватися над процесом і під отвором для впускання повітря. На рис. 1 зображено приклади розміщення витяжної шафи для визначення рівня виділень газів, окрім озону, під час дугового зварювання.

Спочатку визначають концентрації газів шляхом відбирання проб з розчину, що міститься у барботері. При цьому дуже важливо точно виміряти швидкість потоку. Швидкість повітряного потоку у витяжній шафі може бути прямо виміряна, використовуючи витратомір або непрямо, помноживши швидкість повітря на об'єм вентиляційної труби.

Левченко О.Г. – <https://orcid.org/0000-0002-9737-7212>, Полукаров Ю.О. – <https://orcid.org/0000-0002-6261-3991>, Безушко О.М. – <https://orcid.org/0000-0002-6148-1675>, Гончарова О.М. – <https://orcid.org/0000-0002-5213-6300>
© О.Г. Левченко, Ю.О. Полукаров, О.М. Безушко, О.М. Гончарова, 2022

Відбирання зразків газу повинно виконуватися у вихідній секції витяжної шафи або на лінії вентиляції в місці, де гази перемішуються з повітрям до однорідного стану. Відстань для місця відбирання проб (від вихідного отвору витяжної шафи) повинна дорівнювати приблизно п'ятьом діаметрам цього вихідного отвору.

Датчики, лінії відбору, фільтри, фільтроутримувачі та з'єднувачі повинні бути виконані з інертних матеріалів, щоб запобігти поглинанню або хімічній реакції з газами, що будуть відбиратися. Зручним є трубопровід, виготовлений з полі-



Приклад схеми конструкції витяжної шафи для відбирання газів, що виділяються під час дугового зварювання: 1 – датчик потоку повітря; 2 – мікроманометр; 3 – трубки для відбирання зразків; 4 – аналізатор CO; 5 – аналізатор NO-NO₂; 6 – усереднювач сигналу; 7 – записуючий пристрій; 8 – отвір для видалення газів

вінілхлориду. Використання термостійких матеріалів не є, як правило, необхідним у лініях відбору і охолоджувальних пристроях для газу.

Перед тим, як ввести повітря до системи відбирання проб або вимірювання, необхідно вилучити тверді частинки ЗА з відібраного повітря за допомогою фільтрації. Для електронних пристроїв прямого зчитування з вбудованим внутрішнім фільтром така необхідність може бути відсутня.

У найкращому випадку фільтрування треба виконувати у точці відбору проб, але коли це неможливо фільтр необхідно розмістити на лінії відбирання між місцем відбирання проб і аналітичним обладнанням. В останньому випадку повинно проводитися регулярне очищення лінії відбирання проб та перевірка і калібрування інструмента.

Якщо необхідно визначити рівень виділень більш ніж одного газу, послідовні проби можна зняти з однієї лінії відбирання або виконати послідовні вимірювання на одній пробі. Якщо необхідно виконати одночасне відбирання проб, можна використовувати багаторазові або відвідні лінії відбирання, що виділяються з однієї лінії відбирання.

Довжина й внутрішній об'єм лінії відбирання проб та фільтроутримувачів, якщо вони використовуються, повинні бути мінімальними і час знаходження повітря у них не повинен перевищувати декількох секунд. Якщо відбирається дискретний об'єм повітря, об'єм лінії відбору плюс утримувача фільтру не повинен перевищувати 5 % об'єму дискретного відбору.

Електронний пристрій прямого зчитування включає внутрішню повітряну помпу для відбирання проб. Її необхідно використовувати згідно з інструкціями виробника.

Для інших методів рівень потоку під час відбирання проб повинен бути сумісним з пробовідбірником, що використовується. Рівень потоку необхідно вимірювати з похибкою 5 %, використовуючи відкалібрований інтегруючий газомір або, у разі вільної пульсації потоку, відкалібрований витратомір. Витратомір, вбудований в аспіратор відбирання проб, можна використовувати за умови, якщо він має достатню чутливість і відкалібрований згідно з первинним еталоном пробовідбірника на лінії.

Вимірювання концентрації окремих газів базується на різних принципах в залежності від досліджуваного газу [8].

Електронний пристрій прямого зчитування, який використовується для вимірювання чадного газу, працює за одним із принципів:

дисперсійне і недисперсійне інфрачервоне поглинання використовується з фільтрами або без них для зменшення впливу вуглекислого газу;

розсіювання чадного газу через напівпроникаючу мембрану, при швидкості пропорційній концентрації, з наступним електрохімічним окисленням газу на електроді з контрольованим потенціалом та вимірюванням струму, що виробляється;

хроматографія газу: пристрій повинен бути відкалібрований за допомогою перевіреної газової суміші з відомою концентрацією чадного газу (за наявності є відповідні концентрації чадного газу в повітрі і чадного газу в азоті).

Електронний пристрій прямого зчитування, що використовується для вимірювання концентрації вуглекислого газу, працює на недисперсійному інфрачервоному поглинанні. Він повинен бути відкалібрований за допомогою стандартної газової суміші з відомою концентрацією вуглекислого газу.

Оксид азоту і діоксид азоту розглядаються разом, оскільки вони виділяються одночасно під час дугового зварювання. Їх можна визначати окремо або разом, як оксиди азоту, використовуючи споріднені методи. Електронний пристрій прямого зчитування, який використовується для вимірювання оксиду і діоксиду азоту, працює за одним із принципів:

вимірювання хімічної люмінесценції, що виробляється внаслідок реакції між оксидом азоту і озоном. Присутність діоксиду азоту у зразку може бути визначена через різницю між концентрацією оксиду азоту до і після хімічного перетворення діоксиду азоту у оксид азоту в термоперетворювачі або термоперетворювачі з каталізатором;

вимірювання сигналу, що генерується внаслідок електрохімічної реакції оксиду азоту і діоксиду азоту на каталітично активних електродах з контрольованим потенціалом у водяному розчині сірчаної кислоти; використовуючи два зонди з відповідними потенціалами можна визначати кожний газ у присутності іншого.

Пристрій повинен бути відкалібрований за допомогою перевірених газових сумішей відомої концентрації (є проби з відповідними концентраціями оксиду азоту і діоксиду азоту).

Дані випробувань повинні бути записані за спеціальною формою [9]. Приклад протоколу випробувань наведено в табл. 1.

Під час проведення гігієнічної оцінки зварювальних матеріалів важливим питанням є визначення необхідної кількості відібраних проб ЗА з урахуванням режимів зварювання та діаметрів зварювальних матеріалів. Як відомо, рівень виділення ЗА зростає зі збільшенням величини струму, тобто для більшого діаметра електроду використовують більший струм. Залежність струму від діаметра є лінійна лише для ручного дугово-

Таблиця 1. Протокол випробувань

Дата випробування		Оператор					Посилання
Процес:		Тип витяжної шафи:					
Зварювальний матеріал:		Виробник/фірмова назва товару: Назва матеріалу для зварювання: Партія: Діаметр: Примітки:				Стандарт	
Зразок для випробування:		Основний метал: Розміри: Умови поверхні: Примітки:				Стандарт	
Захисний газ:		Торгова марка: Склад: Швидкість подачі: Примітки:				Стандарт	
Обладнання для зварювання і контролю:		Джерело струму: Торгова марка і джерело повного типу Записуюче обладнання:					
Деталі вимірювання:		Випробування 1	Випробування 2	Випробування 3	Випробування 4	Випробування 5	Вимірювання
Зварювання: ручне/механізоване							
Напруга дуги							В
Полярність							ПС(+) ПС(-) СД
Зварювальний струм							А
Імпульсний струм (де застосовується)							
Швидкість подачі дроту ^{*)}							м/хв
Виліт електрода ^{*)}							мм
Швидкість зварювання							см/хв
Час горіння дуги							с
Швидкість потоку повітря							л/хв
Газ, що підлягає вимірюванню	Методика вимірювання	Випробування 1	Випробування 2	Випробування 3	Випробування 4	Випробування 5	Одиниці вимірювання
СО							мл/хв
СО ₂							->-
NO _x							->-
							->-
Примітки:							
*)Якщо застосовується							

го зварювання [11]. Відповідно, для цього способу, дозволяється визначати рівень (інтенсивність) виділення аерозолі (FER, як прийнято у Міжнародному стандарті ISO 15011-4:2006 і відповідно в Національному ДСТУ ISO 15011-4:2008) для найбільшого і найменшого діаметра електрода у межах експерименту, і оцінювати FER інших діаметрів за допомогою інтерполяції. Для дугового зварювання металевим дротом суцільного перерізу в середовищі захисного газу взаємозв'язок між діаметром і FER не є лінійним [12], тому необхідно визначати FER для всіх необхідних діаметрів дроту. Діаметр зварювального матеріалу не впливає на хімічний склад ЗА, тому для визначення хімічного складу достатньо випробувати лише один діаметр [9].

Для зварювальних матеріалів, які застосовуються при ручному дуговому зварюванні, механізованому зварюванні дротом суцільного перерізу в середовищі захисного газу, механізованому зварюванні порошковим дротом та самозахисним, встановлюється струм відповідно до вказівок ви-

робника з точністю 90 % максимального діапазону. Хімічний склад ЗА дещо змінюється зі зміною струму, але ці зміни є незначними [9].

Для ручного дугового зварювання покритим електродом полярність не впливає на хімічний склад ЗА, але значною мірою впливає на рівень виділення ЗА [11]. При постійному струмі зворотної полярності (+), як правило рівень виділення ЗА більш високий, ніж при використанні змінного струму (-). Якщо зварювання виконується на постійному струмі прямої полярності (-), то значення FER буде значно нижче, ніж при застосуванні змінного струму. Для виконання експерименту обирають полярність, рекомендовану виробником, а якщо рекомендована більш ніж одна полярність, то приймається полярність, що використовуються зазвичай [9].

Зворотна полярність постійного струму завжди використовується при дуговому зварюванні дротом суцільного перерізу в середовищі захисного газу [12]. Що ж стосується зварювання по-

рошковим дротом в середовищі захисного газу, то виробники зварювальних матеріалів, як правило вказують полярність, рекомендовану для даного матеріалу. Якщо при використанні зварювального матеріалу дозволяється застосування більше ніж однієї полярності, тоді використовують ту полярність, за якої в процесі зварювання виділяється більша кількість аерозолі. Для дугового зварювання самозахисним порошковим дротом використовують ту полярність, яка рекомендована виробником для даного зварювального матеріалу [9].

При ручному дуговому зварюванні покритими електродами напруга впливає як на рівень виділення ЗА, так і на його хімічний склад. Зазвичай зварник встановлює оптимальну довжину зварювальної дуги і це визначає її напругу. Оптимальні умови зварювання не повинні значно коливатися у досвідченого зварника.

При дуговому зварюванні металевим дротом суцільного перерізу в середовищі захисного газу, порошковим та металевим самозахисним порошковим дротом напруга і режим переносу електродного металу впливають на FER і хімічний склад ЗА (СС за ДСТУ ISO 15011-4:2008). Найчастіше використовують рівномірний перенос металу. Як правило, зварник встановлює мінімальну напругу для забезпечення такого переносу металу. Для забезпечення рівномірного переносу електродного металу у зварювальну ванну при зварюванні у захисному газі CO_2 зварник має встановити оптимальну напругу, рекомендовану виробником матеріалів, які застосовуються [13].

Джерело струму обирається в залежності від виду зварювання та зварювального матеріалу. Для дугового зварювання металевим дротом в середовищі захисного газу тип зварювальної установки має великий вплив на рівень виділення ЗА. Припускається, що імпульсне зварювання буде мати нижче значення FER ніж традиційне зварювання, а хімічний склад ЗА при цьому буде однаковий.

Для дугового зварювання металевим дротом суцільного перерізу в середовищі захисного газу та порошковим дротом використовують рекомендований виробником тип газу. Якщо рекомендовано більш ніж один газ, використовуйте найбільш окиснюючу суміш [13]. Газова суміш з найбільш окиснюючою здатністю спричиняє найбільше виділення аерозолі. Хімічний склад ЗА змінюється в залежності від типу газу, але зміни незначні. Оптимальний потік газу визначається в залежності від діаметра і типу зварювального матеріалу (як правило, в діапазоні 15...20 л/хв). Однак потік газу не має значного впливу на FER чи хімічний склад ЗА.

Щодо швидкості зварювання, то вона не має значного впливу ні на рівень виділення ЗА, ні на його хімічний склад. FER збільшується при дуже

малих швидкостях зварювання, але це входить у межі оптимальних робочих умов. Тому краще виконувати експеримент, використовуючи оптимальну швидкість зварювання, яка встановлюється досвідченим зварником.

Зразок, який використовують у експерименті, може впливати на хімічний склад і, у деяких випадках, на рівень виділення зварювального аерозолі. Для отримання кращого результату необхідно використовувати зразок найбільш споріднений до складу досліджуваного матеріалу [9]. Відповідно до рекомендацій стандарту розмір зразка для випробовування повинен бути достатніх розмірів для того, щоб шов можна було безперервно наплавляти впродовж бажаного часу горіння дуги (наприклад, 50 мм шириною на 10 мм товщиною і на 250 мм довжиною для наплавлення лінійних швів). Рекомендується наплавлення валика на лист, оскільки таким чином забезпечується найбільше виділення ЗА та його уловлювання. Інші конфігурації, такі як наплавлення кільцевих швів на пластину, що обертається, або трубу відповідного розміру, можуть використовуватися за умови, що метал шва не наплавляється на гарячий метал. Поверхня, на якій здійснюють зварювання, повинна бути чистою, знежиреною та без покриття.

Для дугового зварювання металевим дротом в середовищі захисного газу або зварювання порошковим самозахисним дротом використовують пальник з водяним охолодженням і спеціально спроектованим для даного виду зварювання. При наплавленні валика на лист пальник розміщують під кутом 90° . Кут нахилу пальника впливає на рівень виділення ЗА. У протоколі експерименту необхідно зазначити як проводилось зварювання – методом штовхання чи тягнення.

У середовищі захисного газу при зварюванні дротом суцільного перерізу чи порошковим дротом встановлюють необхідну відстань між зварювальною пластиною та робочою частиною наконечника (табл. 2 і 3), а також встановлюють швидкість подачі дроту та напругу. Струм в даному випадку буде збільшуватися зі збільшенням швидкості подачі дроту. Така послідовність налаштування режиму зварювання для проведення експерименту непрактична, оскільки необхідно зазначити різні швидкості подачі дроту для одного діаметра зварювального матеріалу, типу матеріалу і захисного газу. В Європі при проведенні такого експерименту відстань між зварювальною пластиною та робочою частиною наконечника встановлюють згідно міжнародному стандарту ІЕС 60974-7 [14]. В Україні також відстань від сопла пальника до виробу встановлюється в залежності від діаметра дроту. Зі збільшенням цієї відстані можливе потрапляння кисню й азоту з по-

Таблиця 2. Рекомендовані відстані між деталлю, що наплавляється, і робочою частиною електрода для дугового зварювання дротом суцільного перерізу в середовищі захисного газу згідно міжнародним вимогам

Діаметр, мм	Відстані між деталлю і робочою частиною електрода, мм
0,6	8
0,8	10
1,0	15
1,2	18
1,6	22
2,0	26
2,4	28

Примітка. Відстані між деталлю і робочою частиною електрода для інших діаметрів дроту можуть бути визначені за допомогою інтерполяції.

вітря в наплавлений метал, що спричиняє утворення пор у зварному шві.

У залежності від діаметра дроту також встановлюють виліт (довжину відрізка електрода між його кінцем і виходом його з мундштука). Величина вильоту дуже впливає на стійкість процесу зварювання та якість зварного шва. Зі збільшенням вильоту погіршується стійкість горіння дуги й формування шва, а також збільшується розбризкування [15]. При зварюванні з дуже малим вильотом ускладнюється спостереження за процесом зварювання й часто підгорає контактний наконечник.

Для дугового зварювання самозахисним порошковим дротом співвідношення між швидкістю по-

Таблиця 3. Рекомендовані відстані між деталлю, що наплавляється, і робочою частиною електрода для дугового зварювання порошковим дротом в середовищі захисного газу

Діаметр, мм	Відстані між деталлю і робочою частиною електрода, мм
0,9	15
1,0	18
1,2	20
1,4	22
1,6	25
2,0	28
2,4	30

Примітка. Відстані між деталлю і робочою частиною електрода для інших діаметрів дроту можуть бути визначені за допомогою інтерполяції.

дачі дроту і струмом змінюється в залежності від складу порошку, конфігурації дроту і т. д. Таким чином, зазвичай, спочатку встановлюють відстань між зварювальною пластиною та робочою частиною наконечника, визначають струм, а потім записують швидкість подачі дроту. Як правило, виробник рекомендує величину відстані між зварювальною пластиною та робочою частиною наконечника.

Перед тим, як проводити дослідження виділення ЗА, необхідно проаналізувати та отримати інформацію про хімічний склад основних компонентів зварювальних аерозолів (табл. 4).

Гранично допустимі концентрації компонентів ЗА в повітрі згідно вітчизняних [10] або міжна-

Таблиця 4. Найбільш поширені компоненти зварювального аерозолу

Вид зварювання	Тип матеріалу для зварювання	Головні компоненти	Інші можливі головні компоненти	Визначальний компонент
Ручне дугове зварювання покритим електродом	Нелегована і легована сталь	Fe, Mn, Cr, Ni, Cu	F ⁻	Mn
	Високолегована сталь	Cr, Cr(VI), Fe, Mn, Ni,	F ⁻	Cr(VI) або Ni
	Чавун	Ni, Cu, Fe, Mn	Ba, F ⁻	Ni або Cu
	Поверхнєве зміцнення	Co, Cr, Cr(VI), Fe, Ni, Mn	V	Co, Cr, Cr(VI), Ni або Mn
	Механічне зміцнення	Fe, Mn, Cr		Mn
	З нікелевою основою	Cr, Cr(VI), Ni	Fe	Cr, Cr(VI) або Ni
	З мідною основою	Cu, Ni		Cu або Ni
Дугове зварювання металевим дротом суцільного перерізу в середовищі захисного газу Нелегована і легована сталь		Fe, Mn, Cr, Ni, Cu		Mn
	Високолегована сталь	Cr, Cr(VI), Fe, Mn, Ni		Cr або Ni
	Алюмінієві сплави	Al, Mg, Mn, Zn		Al, Mn або Zn
	З нікелевою основою	Cr, Cr(VI), Ni	Fe	Cr або Ni
	З мідною основою	Cu, Ni		Cu або Ni
Дугове зварювання порошковим дротом і дротом з металевим наповнювачем в середовищі захисного газу	Нелегована і легована сталь	Fe, Mn, Cr, Ni, Cu	F ⁻	Mn
	Високолегована сталь	Cr, Cr(VI), Fe, Mn, Ni	F ⁻	Cr(VI) або Ni
	Поверхнєве зміцнення	Co, Cr, Cr(VI), Fe, Ni, Mn	V	Co, Cr, Cr(VI), Ni або Mn
Дугове зварювання самозахисним порошковим дротом	Нелегована і легована сталь	Fe, Mn, Cr, Ni, Cu, Al	Ba, F ⁻	Mn
	Високолегована сталь	Cr, Cr(VI), Fe, Mn, Ni, Al	Ba, F ⁻	Cr(VI) або Ni
	Поверхнєве зміцнення	Co, Cr, Cr(VI), Fe, Ni, Mn, Al	V	Co, Cr, Cr(VI), Ni або Mn

Таблиця 5. Встановлення граничних значень для отриманих даних про хімічний склад ЗА

Граничне значення головного компонента, мг/м ³	Приклад граничного значення, мг/м ³	Встановлена границя головного компонента, % (масова частка)
≥ 1	2,5	< 1
≥ 0,1	0,5	< 0,1
≥ 0,01	0,05	< 0,01
≥ 0,001	0,002	< 0,001

родних вимог, а також розрахункові граничні значення ЗА, отримані після проведення експерименту, записують в табл. 5 (приклад).

Після встановлення хімічного складу ЗА визначаємо похибку вимірювання. Похибка вимірювання проводиться відповідно методичним вказівкам [16, 17]. В європейських країнах похибку вимірювання проводять згідно ISO GUM [18].

Після проведення хімічного аналізу проводять оцінку отриманих результатів. Загальним підходом до оцінки отриманих ЗА є визначення концентрації всіх хімічних компонентів, наявних в повітрі, яке вдихає зварник і порівняння отриманих результатів з відповідними граничними значеннями, встановленими законом тієї чи іншої країни. Однак хімічний аналіз є відносно дорогим, і вартість аналізу може бути високою для визначення значної кількості компонентів. Тому необхідну роботу для виконання хімічного аналізу можна скоротити, застосовуючи сумарне граничне значення [9], яке полягає у визначенні певної кількості компонентів ЗА і порівняння її з граничним значенням найтоксичнішого (головного) компонента ЗА.

Для розрахунку граничного значення ЗА (розрахункова гранично допустима концентрація ЗА) за одним визначальним компонентом ЗА використовують рівняння [9]:

$$LV_{WF(SC_i)} = \frac{LV_i}{i} \cdot 100, \quad (1)$$

де $LV_{WF(SC_i)}$ – граничне значення ЗА, розраховане за головним i -м компонентом ЗА, у мг/м³, тобто концентрація ЗА, за якої граничне значення для i -го головного компоненту аерозолі не повинно перевищуватись; LV_i – гранично допустима концентрація (ГДК) [9] для i -го головного компонента ЗА; i – частка i -го головного компонента ЗА в % (масова частка), як зазначено у формі для запису даних про аерозолі [9].

За отриманими розрахунками граничного значення ЗА за кожним із головних компонентів, наведених у табл. 4, обирають визначальний компонент, тобто компонент з найменшим значенням ГДК (серед речовин, що можуть входити до складу ЗА) відповідно до стандарту [9]. Так, для зварювання нелегованих і низьколегованих сталей визначальним компонентом є марганець, а для високолегованих сталей – шестивалентний хром або нікель (див. табл. 4). Визначену таким чином величину граничного значення ЗА необхідно округлити до найближчого значення 0,1 мг/м³. Граничні значення головних компонентів ЗА можуть відрізнятися в залежності від країни.

Для комплексних речовин, що є сумішами хімічних компонентів, до яких відноситься ЗА, розраховують сумарне граничне значення. Через відсутність інформації щодо загального впливу на здоров'я хімічних компонентів ЗА оцінка ризику виконується на основі впливу всіх компонентів, що входять у ЗА. У цьому випадку розрахунок граничного значення ЗА проводиться за наступним рівнянням:

$$LV_{WF(A)} = \frac{100}{\sum_1^n \frac{i}{LV_i} + \frac{(100 - \sum_1^n i)}{LV_{WF}}}, \quad (2)$$

де $LV_{WF(A)}$ – сумарне граничне значення ЗА, мг/м³; n – число основних компонентів ЗА; i – частка i -го головного компонента ЗА, %; LV_i – граничне значення (ГДК) для i -го головного компоненту ЗА, мг/м³; LV_{WF} – граничне значення для ЗА, що включає хімічні речовини з низькою та середньою токсичністю, якщо така границя була встановлена (мг/м³), або граничне значення пилу, що вдихається, якщо не було встановлено граничне значення ЗА (мг/м³).

У випадку зварювання нелегованих і низьколегованих сталей слід користуватись рівнянням (1),

Таблиця 6. Класифікація зварювальних матеріалів згідно з рівнем виділень ЗА і його розрахованого граничного значення

Граничне значення ЗА, мг/м ³	Рівень виділень ЗА, мг/с Класифікація зварювального матеріалу	< 3	Від 3 до 8	Від 8 до 15	Від 15 до 25	> 25
		a	b	c	d	e
> 4,5	5	5a	5b	5c	5d	5e
від 3,5 до 4,5	4	4a	4b	4c	4d	4e
від 2,5 до 3,5	3	3a	3b	3c	3d	3e
від 1,5 до 2,5	2	2a	2b	2c	2d	2e
від 0,5 до 1,5	1	1a	1b	1c	1d	1e
< 0,5	0	0a	0b	0c	0d	0e

оскільки в ЗА, що утворюються при їх зварюванні, присутній лише один визначальний компонент (марганець), а в інших випадках – рівняннях (2).

Оцінку ризику шкідливої дії ЗА на організм зварника виконують на основі класифікації зварювальних матеріалів, що застосовуються для зварювання, в залежності від рівня виділень і токсичності ЗА, які утворюються під час зварювання [9]. Нижче наведена система оцінки токсичності ЗА

(табл. 6), яка стосується усіх присаджувальних матеріалів, що використовуються при ручному, механізованому чи автоматизованому процесі для зварювання нелегованих сталей, легованих сталей і сплавів кольорових металів.

Літера у класифікації зварювальних матеріалів указує на рівень виділення ЗА («а» – найнижчий, «е» – найвищий). Число у класифікації зварювальних матеріалів указує на відповідну токсичність

Виробник/постачальник: Виробник зварювального матеріалу	Адреса: 10000 Covered Electrode Avenue Weld City, OH 44117, USA www.consumable.com
Дата підготовки або затвердження: 2004-01-14	
Торгівельна марка зварювального матеріалу: SS308L	Тип зварювального матеріалу: Електроди для ручного дугового зварювання
Стандарти, згідно з якими виготовлено зварювальний матеріал: AWS A5.4-92 E308L-17 EN 1600:1997 E 19 9 L R 3 2	
Випробувальна лабораторія: The Test House Metrology street Quality City, OH 44110 USA http://www.testhouse.com	Дата затвердження протоколу випробування: 2003-12-24 Спостереження випробувальної лабораторії: Номер партії, яка випробовувалася 91207-03

Умови випробування

Параметр	Умови випробувань
Діаметр зварювального матеріалу	3,2 мм
Струм	110 А
Напруга	23,5 В
Полярність	Постійний струм +
Швидкість зварювання	250 мм/хв
Матеріал зразка для випробувань	ASTM A238 клас С: 1.0037 S235JR
Джерело струму	Speedweld 1414, crisp arc

Рівень виділень і хімічний склад аерозолі згідно з ISO 15011-4

Рівень виділень аерозолі:	2,6 мг/с 9,4 г/год
Головні компоненти зварювального аерозолі	Хімічний склад, % (масова частка)
Cr	5,1
Cr(VI)	4,0
F ⁻	10
Fe	4,9
Mn	3,0
Ni	0,32

Необов'язковий додатковий варіант форми для запису даних про аерозолі

Граничне значення визначального компонента ЗА, мг/м ³	Визначальний компонент	Класифікація ЗА	Країни, де використовується
1,25	Cr (VI)	0a	Фінляндія ^{a)} , Великобританія ^{b)}
Сумарне граничне значення ЗА, мг/м ³	Класифікація ЗА	Країни, де застосовується	
0,5	0a	c)	
0,5	0a	d)	

Посилання

^{a)}НТР-arvot 2002 Sosiaali-ja terveystieteistie Tyosuojelusaadoksia 3, Tampere (2002)

^{b)}Управління охорони і безпеки праці. Нормативи професійного впливу EN 40/2002 HSE Books 2002 ISBN 0 7176 2083 2 (2002).

^{c)}Arbejdstilsynet Grænseværdier for stoffer og materialer At-anvisning No. 3.1.0.2 Arbejdstilsynet, Copenhagen (1996)

^{d)}AFS 2000:3 Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar (2000)

ЗА («0» – найнебезпечніший, «5» – найменш небезпечний) і безпосередньо вказує на приблизну концентрацію ЗА, яку не можна перевищувати (наприклад, «1» означає, що концентрація ЗА не повинна бути вища за 1 мг/м³).

Система класифікації зварювальних матеріалів, наведена в табл. 6, може використовуватися в таких випадках:

– у спрощеній формі для класифікації зварювальних матеріалів відповідно до їх токсичності;

– як основа для встановлення вимог до вентиляції. Однак це не завжди рекомендовано, оскільки контрольні вимірювання залежать від умов зварювання взагалі. Ризик шкідливої дії ЗА залежить не лише від рівня виділень, але також від інших факторів, таких як площа місця зварювання, час горіння дуги і положення зварника. Таким чином, необхідно проводити відповідні контрольні вимірювання з урахуванням усіх подібних факторів.

Приклад форми для запису даних про ЗА [9], що утворюються під час ручного дугового зварювання нержавіючих сталей покритими електродами, наведено вище.

Висновки

На основі введених в дію в Україні методичних стандартів серії ДСТУ ISO 15011:2008 створено цілісну систему гігієнічної оцінки зварювальних матеріалів, що дозволяє виконувати порівняльні випробування українських та імпортованих зварювальних матеріалів за показниками безпеки праці.

Згідно з ДСТУ ISO 15011-4:2008 для об'єктивної порівняльної гігієнічної оцінки зварювальних матеріалів користуються такими показниками:

- рівень виділень зварювального аерозолі FER (V_a), мг/с і г/год;
- хімічний склад аерозолі СС, % (масова частка);
- граничне значення зварювального аерозолі $LV_{WF(A)}$, мг/м³ (як міра токсичності аерозолі);
- клас зварювального аерозолі (як показник ризику дії аерозолі на організм людини на конкретному робочому місці за певних умов зварювання), має значення від 0 до 5 і позначку a, b, c, d, e.

Список літератури

1. Van der Mee V. (2021) Welding exposure scenarios. *Welding in the world*, 65(12), 2397–2401. <https://doi.org/10.1007/s40194-021-01182-4>
2. Sorochynska, O.L., Nezlina, O.A. (2019) Professional hazard research analysis during welding works. *Metallurgical & Mining Industry*, 1, 8–12.
3. Pinto Balthazar M.A., Andrade M., Ferreira de Souza D & de Souza Braga, A. L. (2018) Occupational risks, working conditions and health of welders. *Journal of Nursing UFPE/Revista de Enfermagem UFPE*, 12(4).
4. Dehghan, S.F., Mehrifrar, Y. (2019) Occupational exposure to fumes and gases during different arc welding processes.

International Journal of Occupational Hygiene, 11(2), 136–145.

5. Satheesh Kumar K.V., Selvakumar, P., Uvanshankar, K.R. et al. (2021) Investigation on the effect of technological Parameters on emission factor in 316L stainless steel Using gas metal arc Welding. *Archives of Metallurgy and Materials*, 66. DOI: 10.24425/amm.2021.135898
6. Березуцький В.В., Хондак І.І. (2020) Дослідження залежності утворення зварювального аерозолі під час електродугового зварювання з використанням електродів з основним, рутиловим та рутилово-целюлозним покриттям. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, (6), 10–28. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.241120.10.694>
7. Sjögren B., Albin M., Broberg K. et al. (2021) An occupational exposure limit for welding fumes is urgently needed. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 48(1), 1–3. DOI: 10.5271/sjweh.4002
8. (2011) ДСТУ ISO 15011-2:2008. *Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів, утворених під час дугового зварювання. Ч. 2. Визначення рівня виділень газів, за винятком озону. Переклад і наук.-техн. ред. О. Безушко, Ю. Бондаренко, О. Курочко, А. Левченко, О. Левченко. [Чинний від 2008-08-15]. Київ, Держспоживстандарт України, 10.*
9. (2011) ДСТУ ISO 15011-4:2008. *Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів, утворених під час дугового зварювання. Ч. 4. Форма для запису даних про аерозолі. Переклад і наук.-техн. ред. О. Безушко, Ю. Бондаренко, О. Курочко, А. Левченко, О. Левченко. [Чинний від 2008-08-15]. Київ, Держспоживстандарт України, 20.*
10. *Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони, N 741/35024. [Чинний від 03.08.2020 р].*
11. Походня І.К., Горпенюк В.К., Миличенко С.С. и др. (1990) *Металлургия дуговой сварки: процессы в дуге и плавление электродов*. Киев, Наукова думка.
12. Левченко О.Г. (2015) *Сварочные аэрозоли и газы: процессы образования, методы нейтрализации и средства защиты*. Киев, Наукова думка.
13. Howe, A.M., Carter, G.J. (2005) EN ISO150011-4: Round robin examination of fume emission rates from welding consumables. *Proceedings of an international. Conference on Health and Safety in Welding, Copenhagen*.
14. (2005) IEC 60974 Arc welding equipment. Part 7: Torches.
15. Потапьевский А.Г. (2007) *Сварка в защитных газах плавающим электродом. Ч. 1. Сварка в активных газах. Изд. 2-е, перераб.* Киев, Экотехнология, 192.
16. Катерман Г., Пийперс F.V. (1989) *Контроль качества химического анализа*; Пер. с англ. С.Л. Давыдовой, М.Ю. Антипина. Карпов Ю.А. (ред.). Челябинск, Металлургия, Челябинское отделение.
17. Поллард Дж. (1982) *Справочник по вычислительным методам статистики*; Пер. с англ. В.С. Занадворова; под ред. и с предисл. Е.М. Четыркина. Москва, *Финансы и статистика*.
18. (1993) ISO GUM [11] *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

References

1. Van der Mee V. (2021) Welding exposure scenarios. *Welding in the World*, 65(12), 2397–2401. <https://doi.org/10.1007/s40194-021-01182-4>
2. Sorochynska, O.L., Nezlina, O.A. (2019) Professional hazard research analysis during welding works. *Metallurgical & Mining Industry*, 1, 8–12.
3. Pinto Balthazar M.A., Andrade M., Ferreira de Souza D & de Souza Braga, A. L. (2018) Occupational risks, working conditions and health of welders. *J. of Nursing UFPE/Revista de Enfermagem UFPE*, 12(4).
4. Dehghan, S.F., Mehrifrar, Y. (2019) Occupational exposure to fumes and gases during different arc welding processes. *Int. J. of Occupational Hygiene*, 11(2), 136–145.

5. Satheesh Kumar K.V., Selvakumar, P., Uvanshankar, K.R. et al. (2021) Investigation on the effect of technological parameters on emission factor in 316L stainless steel using gas metal arc welding. *Archives of Metallurgy and Materials*, 66. DOI: <https://doi.org/10.24425/amm.2021.135898>
6. Berezutskyi, V.V., Hondak, I.I. (2020) Investigation of dependence of welding aerosol formation in electric arc welding using electrodes with basic, rutile and rutile-cellulose coating. *Visnyk Prydnipr. Derzh. Akademii Budivnytstva ta Arhitektury*, (6), 10–28. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.241120.10.694>
7. Sjögren B., Albin M., Broberg K. et al. (2021) An occupational exposure limit for welding fumes is urgently needed. *Scandinavian J. of Work, Environment & Health*, 48(1), 1–3. DOI: 10.5271/sjweh.4002
8. (2011) DSTU ISO 15011-2:2008. *Health and safety in welding and allied processes. Laboratory method for sampling fume and gases generated by arc welding. Pt 2: Determination of emission rates of gases, except ozone*. Ed. by O. Bezushko, Yu. Bondarenko et al. Valid from 2008.08.15. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 10 [in Ukrainian].
9. (2011) DSTU ISO 15011-4:2008. *Health and safety in welding and allied processes. Laboratory method for sampling fume and gases generated by arc welding. Pt 4: Fume data sheets*. Ed. by O. Bezushko, Yu. Bondarenko et al. Valid from 2008.08.15. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 20 [in Ukrainian].
10. *Hygienic regulations of chemical substances in working zone air*, No. 741/35024. Valid from 03.08.2020
11. Pokhodnya, I.K., Gorpenyuk, V.K., Milichenko, S.S. et al. (1990) *Metallurgy of arc welding: Processes in arc and melting of electrodes*. Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
12. Levchenko, O.G. (2015) *Welding fume and gases: Processes of formation, methods of neutralization and measures of protection*. Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
13. Howe, A.M., Carter, G.J. (2005) EN ISO150011-4: Round robin examination of fume emission rates from welding consumables. In: *Proc. of Intern. Conf. on Health and Safety in Welding*, Copenhagen.
14. (2005) IES 60974. Arc welding equipment. Pt 7: Torches.
15. Potapievsky, A.G. (2007) *Consumable electrode shielded-gas welding. Pt. 1: Welding in active gases. 2nd Ed.* Kyiv, Ekotekhnologiya, 192 [in Russian].
16. Katerman, G., Pijpers, F.V. (1989) *Quality control of chemical analysis*. Ed. by Yu.A. Karpov. Chelyabinsk, Metallurgiya [in Russian].
17. Pollard, J. (1982) *A handbook of numerical and statistical techniques*. Ed. by E.M. Chetyrkin. Moscow, Finansy i Statistika [in Russian].
18. (1993) ISO GUM [11] *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

SYSTEMS OF HYGIENIC EVALUATION OF WELDING MATERIALS (Part 2)

O.G. Levchenko¹, Yu.O. Polukarov¹, O.M. Bezushko², O.M. Goncharova²

¹NTUU «Igor Sikorskyi Kyiv Polytechnic Institute». 37 Peremohy Prosp., 03056, Kyiv. E-mail: mail@kpi.ua

²E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevykh Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

The aim of this part of the article is to substantiate the order of procedures for determining the hygienic characteristics of welding materials in accordance with the International Standards of ISO 15011 series and, accordingly, with the harmonized National DSTU ISO 15011. The essence of the problem of correct comparative hygienic evaluation of welding materials by improving the procedure of studying indices of the levels of emissions and chemical composition of welding fumes applying the standards of DSTU ISO 15011. The features of basic procedures of hygienic evaluation of welding materials, their specifics and order, as well as the main indices used for its performance are presented. 18 Ref., 6 Tabl., 1 Fig.

Key words: welding materials, hygienic evaluation, welding fume, threshold limit value of welding fume

Надійшла до редакції 06.05.2022

ПЕРЕДПЛАТА 2022

Журнали	Вартість передплати на друковані версії журналів*, грн.			
	місяць	квартал	півроку	рік
«Автоматичне зварювання», видається з 1948 р., 12 випусків на рік. ISSN 0005-111X. Передплатний індекс 70031.	240	720	1440	2880
«Сучасна електрометалургія», видається з 1985 р., 4 випуски на рік. ISSN 2415-8445. Передплатний індекс 70693.	–	240	480	960
«Технічна діагностика та неруйнівний контроль», видається з 1989 р., 4 випуски на рік. ISSN 0235-3474. Передплатний індекс 74475.	–	240	480	960
«The Paton Welding Journal»**, видається з 2000 р., 12 випусків на рік. ISSN 0957-798X. Передплатний індекс 21971.	520	1560	3120	6240

*Вартість з урахуванням доставки рекомендованою банделроллю.

** Журнал «The Paton Welding Journal» містить статті, отримані від авторів з усього світу і вибірково переклади на англійську мову статей з журналів «Автоматичне зварювання», «Сучасна електрометалургія», «Технічна діагностика та неруйнівний контроль».

Передплату на журнали можна оформити по каталогам передплатних агентцій «УКРПОШТА», «Преса», «Прес Центр», «АС Медіа» та у видавництві. Передплата через видавництво з любого місяця на любой термін, в т.ч. на попередні періоди та окремі статті, починаючи з першого року видання.

Передплата на електронну версію журналів.

Вартість передплати на електронну версію журналів дорівнює вартості передплати на друковану версію. Випуски журналу надсилаються електронною поштою у форматі pdf або для IP-адреси комп'ютера передплатника надається доступ до відповідних архівів журналу.

Передплата через сайт видавництва:

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/subscription>

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/sem/subscription>

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/tdnk/subscription>

<https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj/subscription>

На сайті видавництва у 2022 р. доступні для вільного копіювання випуски журналів з 2007 по 2020 рр.