

ПРОБЛЕМИ ОКСИДІВ ВУГЛЕЦЮ ПІД ЧАС ЗВАРЮВАННЯ (Огляд)

*Левченко О. Г., д.т.н., проф., зав. каф. ОПЩБ КПІ ім. Ігоря Сікорського;
Березуцький В. В., д.т.н., проф., зав. каф. «Безпека праці та навколишнього середовища»
НТУ «ХП»;*

*Полукаров Ю. О., к.т.н., доц. (каф. ОПЩБ КПІ ім. Ігоря Сікорського);
Хондак І. І., к.т.н., доц. (каф. «Безпека праці та навколишнього середовища» НТУ «ХП»)*

Анотація. Наведено огляд літературних даних з дослідження забруднення повітря виробничих приміщень монооксидом вуглецю в процесі ручного електродугового зварювання покритими електродами. Наведено класифікацію різних видів електродів, показано як вони впливають на гігієнічні характеристики процесу зварювання та здоров'я зварників.

Ключові слова: дугове зварювання, електроди, покриття, робоча зона, повітря, аерозолі, газ.

Abstract. A review of literature data on the study of air pollution of industrial premises by carbon monoxide in the process of manual electric arc welding with covered electrodes is given. The classification of various types of electrodes is given, and how they affect the hygienic characteristics of the welding process and the health of welders is shown.

Keywords: arc welding, electrodes, coating, working area, air, aerosols, gases.

Без застосування зварювальних технологій неможливо уявити розвиток будь-якої галузі промислового виробництва. Певним недоліком зварювання є утворення та забруднення повітря робочої зони шкідливими речовинами, які негативно впливають на здоров'я працівників, а саме призводять до виникнення таких професійних захворювань дихальних шляхів, як пневмоконіоз, професійний бронхіт, гіперчутливий пневмоніт, бронхіальна астма. Інтенсивність праці та параметри мікроклімату також впливають на стан людини, що працює в запиленому та загазованому приміщенні. При цьому посилена дихальна діяльність призводить до поглинання підвищених доз повітря, а разом з ним шкідливих речовин; високі температури повітря посилюють шкідливу дію хімічних речовин на організм людини [1].

Хімічний склад забруднень, залежить переважно від складу матеріалів, за допомогою яких відбувається процес зварювання (дроту, покриттів, флюсів) і в меншій мірі від складу металів, які зварюються [2]. При виборі електродів є безліч нюансів, які враховують при виборі, а саме: положення зварювання, тип металу зварюваного виробу і його товщину, вимоги до міцності, тип зварювального струму, просторове положення зварюваного шва, вид покриття електродів та багато іншого. У процесі ручного дугового зварювання використовують штучні електроди, які повинні відповідати встановленим нормативними документами санітарно-гігієнічним вимогам.

Характерною рисою зварювальних робіт є мала відстань джерела шкідливих речовин від робочого місця зварювальника, особливо при ручному дуговому зварюванні, за якого безпосередньо зона дихання зварювальника перебуває на

відстані приблизно 50-55 сантиметрів від зварювальної дуги. Ці обставини зумовлюють вкрай незадовільні умови праці для здоров'я працівників [3].

Вчені усього світу займаються вивченням питань щодо пошуку новітніх технологій, які забезпечують ефективну роботу із таким же ефективним захистом здоров'я працівників. У наукових роботах [4-6] розглядаються умови праці зварювальників та заходи щодо їхнього поліпшення.

Однак, дослідженням кількісних характеристик токсичних речовин в аерозолі, а особливо чадному газу, при зварюванні різними електродами на підприємствах приділяють ще мало уваги.

З усіх зварювальних матеріалів покриті електроди за обсягом застосування займають понад дві третини металоконструкцій.

За хімічним складом металеві стрижні електродів, які виготовляються із зварювального дроту, поділяються на низьковуглецеві, леговані та низьколеговані. До складу дроту входять різні метали, зокрема, шкідливі для організму людини. Дуже токсичними є сполуки марганцю, хрому і нікелю [3].

На сьогоднішній день існує великий різновид електродів, залежно від призначення, а саме [7]:

1. неметалеві (які не плавляться) – графітні, вугільні;
2. металеві:
 - 1) які не плавляться (вольфрамові, торовані, лантановані, ітрировані);
 - 2) які плавляться:
 - покриті (сталеві, чавуні, мідні, алюмінієві, бронзові);
 - непокриті (використовувались на ранніх стадіях розвитку технологій зварювання, зараз застосовуються у вигляді неперервної технології для зварювання у вигляді захисних газів).

У вітчизняній і зарубіжній практиці ручного дугового зварювання використовуються електроди з наступними типами покриття (табл. 1 [8]):

Таблиця 1

Відповідність маркувань електродів за типом покриття

Тип покриття	Позначення за ДСТУ EN ISO 2560:2014	Міжнародне позначення за ISO 2560-A
Кисле	А	А
Основне	Б	В
Рутилове	Р	R
Целюлозне	Ц	С
Змішані покриття		
Рутилово-кисле	АР	AR
Рутилово-основне	РБ	RB
Рутилово-целюлозне	РЦ	RC
Рутилово з залізним порошком	РЖ	RR

Якщо виділити основні компоненти, які входять до складу покриття електродів для зварювання, то отримаємо наступне [9]:

- Кисле – титан, кремній, марганець, окис заліза;
- Основне – карбонат кальцію і фтористий калій;
- Целюлозне – мука, целюлоза, органічні речовини;
- Рутилове – рутил, мінерали і органічні компоненти.

Кислі. Електроди з кислим покриттям. Покриття складається з таких компонентів як кремнезем, феромарганець, марганцева руда, гематит. На даний момент виробництво електродів з кислим покриттям скоротилося, оскільки наявність в їх складі оксидів заліза та феромарганцю сприяє виділенню токсичних газів. Це робить електроди з кислим покриттям небезпечними для здоров'я зварника. Тому чисто кислі покриття використовують у наш час обмежено, їх заміняють змішаним типом, а саме рутилово-кислими (RA). Електроди з кислим покриттям не рекомендують застосовувати для роботи в замкнутому просторі.

Рутилові. Рутилове покриття складається із титанових сполук (ільменіт, рутил, титановий концентрат) та целюлози, мармуру, крейди, декстрину. Таке покриття гарантує стабільне горіння дуги на постійному та змінному струмі, якісне формування шва, хороше відділення шлаку, невеликі витрати металу на розбризування. Рутилові покриття менш шкідливі для здоров'я зварника, ніж інші.

Целюлозні. Целюлозне покриття складається з таких органічних сполук як целюлоза, харчове борошно, крохмаль, декстрин. Електроди цього виду застосовуються при зварюванні на змінному та постійному струмі в усіх положеннях. Недоліками целюлозного покриття є швидке вигорання компонентів та великі витрати металу на розбризування.

При зварюванні електродами з целюлозним покриттям виділяються такі гази: CO, CO₂, H₂.

Основні (фтористокальцієві). Електродні покриття основного виду складаються з польового шпату, магнію та карбонатів кальцію. До них додають в якості розчинника шлаку плавиковий шпат (CaF₂).

Такі електроди використовуються для зварювання товстих металів, що мають підвищений вміст фосфору та сірки, а також для зварювання жорстких конструкцій та відповідальних виробів. Газове середовище, яке утворюється при зварюванні електродами основного виду, складається переважно з монооксиду (CO) і діоксиду (CO₂) вуглецю.

Покриття з залізним порошком. Іноді в покриття вводять залізний порошок. А також використовують змішані види покриття: рутилово-кислі (ільменітові), рутилово-целюлозні, рутилово-основні, рутилові з залізним порошком.

Результати досліджень рівнів виділень ЗА, виконані в різних країнах, показують, що найбільші виділення аерозолі характерні для електродів:

- 1) з целюлозним покриттям;
- 2) з покриттям основного виду;

3) з кислим, рутиловим і ільменітовим покриттям за рівнем виділення ЗА розрізняються між собою незначно, а порівняно з електродами з целюлозним та основним покриттям характеризуються значно меншим виділенням аерозолу.

Високий рівень виділень ЗА при зварюванні електродами з целюлозним покриттям обумовлено виділенням у великих кількостях газів: CO, CO₂, H₂, які утворюються при згорянні органічних складових целюлозного покриття, надходженням у розплавлену краплю на торці електрода вуглецю, що утворюється в результаті розкладання целюлози в покритті, і підвищенням інтенсивності виділення ЗА через підсилення інтенсивності вибуху рідких крапель внаслідок окиснення вуглецю та утворення CO.

У наукових статтях зустрічаються суперечливі думки стосовно ЗА, які супроводжують зварювальні роботи. В одній статі наведено, що аналіз даних щодо визначення хімічного складу ЗА показує, що при зварюванні електродами з рутиловим і кислим покриттям утворюються ЗА, близькі за хімічним складом. Основою ЗА є оксиди заліза. При ручному дуговому зварюванні електродами з покриттям рутилового та кислого видів CO у складі зварювального аерозолу, як правило не перевищує ГДК [10]. В іншій статті, наведено, що високий рівень виділення ЗА при зварюванні електродами з основним покриттям обумовлено наявністю в покритті летучих сполук фтору (CaF₂, Na₂SiF₆) і високою основністю шлакової фази, яка сприяє більш інтенсивному надходженню в ЗА сполук лужних металів. При використанні основного виду електродів CO, як правило нижчі за ГДК [11]. Таким чином наведені джерела інформації показують, що немає остаточної думки щодо небезпеки використання вказаних типів електродів та треба продовжувати проводити дослідження.

Особливу увагу слід звернути на роботу зварювальників в замкнутому просторі і надходженню чадного газу в робочу зону, а також методам його нейтралізації. Щороку на виробництві трапляються важкі нещасні випадки, у тому числі із смертельним наслідком, через те, що працівники перебувають у замкнутому просторі без проведення необхідної попередньої перевірки середовища або без відповідного захисного та рятувального спорядження. Досить часто спроби порятунку призводять до трагедій, коли одночасно гинуть працівник та погано екіпірований рятувальник. Зокрема, впродовж 2017 року на території України під час виконання робіт у замкнутих просторах сталось 18 нещасних випадків, внаслідок яких загинуло 19 працівників [12].

За наявності токсичних чи горючих газів може утворитися небезпечне повітряне середовище в замкнутому просторі. Замкнуті простори є дуже небезпечними, оскільки вони, як правило, зовсім не призначені для роботи. Зазвичай вони мають зменшений отвір (люк) і характеризуються певним обсягом повітрообміну із зовнішнім середовищем, який буває або дуже низьким, або ж зовсім відсутнім. Через недостатній вміст кисню можна втратити свідомість, а отруйні гази здатні додатково викликати почуття запаморочення та нудоти [12].

Зробивши аналіз зварювальних робіт в умовах замкнутого простору можна виділити основні ризики: обмежений вхід або вихід з місця виконання робіт; довготривале перебування працівника при виконанні робіт в замкнутому

просторі; обмеження в русі при переміщенні людей; недостатній або ускладнений повітрообмін; наявність загазованості в замкнутому просторі; пожежа, вибух, займання легко займистих речовин; вплив шкідливих і забруднюючих речовин; складності екстреного покидання робочої зони; складності комунікації з групою зовні; падіння з висоти [12].

Однією з найважливіших причин, що призводить до нещасних випадків є не проведення відповідними приладами перевірки повітряного середовища при виконанні газонебезпечних робіт, у тому числі і на вміст СО. У зв'язку з цим виникають додаткові проблеми захисту зварника та атмосфери від чадного газу.

При різних технологіях зварювання виникають шкідливі речовини у формі газу, насамперед, оксид вуглецю, оксид азоту, діоксид азоту, озон. Найбільшу небезпеку становить оксид вуглецю, особливо якщо це стосується виконання робіт у замкнутому просторі. Зварювання в замкнутому просторі відносять до газонебезпечних робіт, тому що під час їх проведення висока ймовірність виділення в робочу зону вибухонебезпечних чи шкідливих газів, аерозолів та інших речовин, здатних викликати вибух, або загоряння в обсягах, що перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК) [13].

Наочним прикладом замкнутого простору може служити закрита ємність з вузьким отвором для проходу. До таких просторів можна віднести оглядові колодязі, каналізаційні колектори, траншеї, трубопроводи, повітроводи, закриті підвали та інші місця де відсутня або недостатня вентиляція. При недостатності кисню в повітрі робочого приміщення (ємності) або за наявності токсичних чи горючих газів, може утворитися небезпечно для зварювальника повітряне середовище, в якому він працює [14].

Під час зварювання кількість ЗА в зоні дихання зварника, що працює без місцевої вентиляції, складає в середньому 25 мг/м³, а в закритих приміщеннях невеликого обсягу (цистерни, баки) може досягати 300 мг/м³, що в 75 разів перевищує гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у складі ЗА. Під час зварювальних робіт на заводах (металоконструкцій) в зоні дихання зварника (під маскою) концентрація ЗА в 6-12 разів перевищує ГДК. Кількість повітря, що видаляється при витраті електродів 1 кг/год становить не менш 5-7 тис. м³/год, але у зв'язку з відсутністю ефективних місцевих відсмоктувачів та пилегазоуловлювачів це не забезпечує належних санітарних норм у робочій зоні [15].

Монооксид вуглецю (чадний газ) є дуже отруйним. Чадний газ утворюється під час зварювання електродом, що плавиться в середовищі активних газів (MAG) в процесі розщеплення вуглекислого газу.

Монооксид вуглецю, який утворюється в результаті відновлення його діоксиду ($\text{CO}_2 \leftrightarrow \text{CO} + 1/2 \text{O}_2$) чи неповного окислення вуглецю, що міститься в металі [16].

Чадний газ, потрапляючи в організм людини, зупиняє процес збагачення крові киснем [17]. Наявність у повітрі високих концентрацій монооксиду вуглецю може бути причиною як гострого, так і хронічного отруєння.

Гранично допустима концентрація окису вуглецю в повітрі робочої зони дорівнює 20 мг/м^3 . При роботі не більше 1 год дозволяється перевищення ГДК до 50 мг/м^3 , при роботі не більше як 30 хв – до 100 мг/м^3 , не більше 15 хв – до 200 мг/м^3 . Максимальна разова ГДК в атмосферному повітрі 6 мг/м^3 , середньодобова – 1 мг/м^3 . Для жилих приміщень ГДК становить 2 мг/м^3 [18].

Вирішення проблеми утворення монооксиду вуглецю в процесах зварювання і його впливу на зварювальника у виробничому середовищі є важливим питанням, яке потребує більш детального вивчення. На сьогоднішній день немає статистики з дослідження кількості CO, який потрапляє до організму зварювальника в процесі праці, тому дослідження впливу технології ручного електродугового зварювання на утворення чадного газу в робочій зоні та навколишньому середовищі є актуальним [13].

На теперішній час вже виконано багато досліджень з цього питання, але цю проблему не вирішено. Відповідно, це має певний негативний вплив на професійні захворювання працівників [13]. Можливість хронічних отруєнь оксидом вуглецю одні дослідники заперечують, інші вважають результатом багаторазових легких гострих отруєнь. Хворі скаржаться на головний біль, шум у голові, запаморочення, підвищену втомлюваність, роздратованість, поганий сон, погіршення пам'яті, короткочасні розлади орієнтації, серцебиття, задишку, стани неприємності, розлади шкірної чутливості, слуху, зору. Спостерігаються функціональні розлади центральної нервової системи – астенія, вегетативна дисфункція з ангіодистонічним синдромом, схильність до судинних спазмів, гіпертензії з подальшим розвитком гіпертонічної хвороби [18].

Певний «внесок» до цієї проблеми робить той факт, що багато зварювальників нехтують засобами захисту або використовують не достатньо ефективні з них, які не можуть забезпечити їх належний захист, особливо органів дихання. Не достатньо висвітлені питання охорони праці зварювальників у замкнутих просторах, де є джерела утворення монооксиду вуглецю, який призводить до отруєння і загибелі людей [13].

Зварювальні роботи та емісії речовин та/або газів, які їх супроводжують, впливають на стан робочого середовища та на здоров'я працівників [19].

Виходячи із вище вказаного, а також враховуючи застосування різних видів електродів при зварюванні, що, в свою чергу, вимагає аналізу їх за токсичністю для зварювальників та середовища що оточує, необхідне приведення у відповідність рівня токсичності та засобів захисту, які використовуються.

Обсяги використання зварювального обладнання у світі значні, тому що практично на кожному підприємстві є ремонтні ділянки, є спеціалізовані підрозділи із виконання зварювальних робіт та окрім цього, такими видами робіт займаються на побутовому рівні [19]. Поруч із зварювальним обладнанням знаходяться працівники, на яких негативно впливають гази й аерозолі, які потрапляють у повітря.

Результати останньої роботи [20] показали, що найбільшу кількість монооксиду вуглецю при силі струму 200 А виділяють електроди з рутилово-целюлозним покриттям, на другому місці – електроди з основним покриттям, а

на третьому – з рутиловим. Але через проміжок часу при електричному струмі 100 А, через 300 с більше СО утворюється при використанні основних електродів.

На основі аналізу основних видів електродів визначено, що питання використання електродів, їх шкідливість знаходяться в протиріччі, тому треба обов'язково зважувати на час, величину струму, умови використання і проводити комплексну оцінку при виборі виду електродів.

На зварювальних дільницях обов'язково треба враховувати і прогнозувати забруднення повітря електродами з різними видами покриття і обирати електроди з найменшими показниками шкідливості.

Для запобігання отруєння чадним газом під час виконання зварювальних робіт особливо в замкнутих просторах необхідно забезпечити постійний контроль повітряного середовища за допомогою контрольно-вимірювальних приладів та сигналізаторів, які реагують на появу в робочій зоні монооксиду вуглецю, а також засобами індивідуального захисту на основі фільтрів-сорбентів.

Для видалення і розрідження небезпечних газів та забезпечення припливу свіжого повітря повинна бути влаштована система примусової вентиляції не лише витяжної, а й припливної. Контроль стану повітряного середовища має здійснюватись на протязі всієї роботи.

Технології захисту від отруєння зварювальними аерозолями повинні удосконалюватись, відповідно до видів електродів, які використовуються на виробництві. Цей процес повинен відбуватись постійно і своєчасно. На теперішній час це не має системного підходу, а тому відбувається хаотично. Основним захисним засобом для працівників залишається щиток зварювальника, який не може забезпечити належний рівень захисту. Для того щоб виправити цю ситуацію, необхідно виконати системний аналіз отриманих здобутків, що до типів електродів, які використовуються, та виконати оцінку на майбутній розвиток виробництв та технологій захисту органів дихання зварювальників. Тому питання подальших докладних досліджень процесів утворення зварювальних аерозолів і газів від виду зварювального матеріалу, їх залежностей від технологічних параметрів процесу зварювання залишаються актуальними.

Література

1. Левченко А. О. Властивості шкідливих речовин, що утворюються при зварюванні, та методи їх нейтралізації // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Серія “Гірництво”: Зб. наук. пр. 2007, Вип. 15, С. 138-147.
2. Левченко О. Г., Демецька О. В., Лук'яненко А. О. Цитотоксичність зварювальних аерозолів, що утворюються під час зварювання покритими електродами // Український журнал з проблем медицини праці. 2016, № 3, С. 30–35.

3. Куровець Я. В. Гігієнічна характеристика електродів з фтористокальцієвим покриттям та розрахунок системи автоматичного керування їх подаванням // [Нафтогазова енергетика](#), 2010, № 1(12).
4. Ракитская Т. Л., Труба А. С., Эннан А. А, Опря М. В. Физико-химические свойства твердой составляющей сварочного аэрозоля // Вісник ОНУ. Хімія. 2014, Том 19, вип. 1(49), С. 6-13.
5. Сербін В. П., Шевченко О. Г., Шевченко Л. А. Застосування кліноптилоліту для очищення повітря від зварювального аерозолю // Наукові вісті. – К.: НТУУ «КПІ», 2000, № 6, С. 111-117.
6. Левченко, О. Г., Безушко О. М. Математическое моделирование химического состава сварочного аэрозоля при ручной дуговой сварке высоколегированными электродами // Автоматическая сварка. 2017, № 1, С. 35–38.
7. Гуменюк І. В., Іваськів О. Ф. Технологія електродугового зварювання, К.: Грамота, 2006, 512 с.
8. Технічні характеристики зварювальних матеріалів URL: http://www.mbm.ua/files/img/novyuy_katalog_2018.pdf.
9. 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; АН УССР. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. – Киев: Наук. думка, 1990, 224 с.
10. Раков Ю. В., Смолина А. С., Кузнецов Д. А., Игнатова А. М., Файнбург Г. З. О классификации и некоторых физико-химических свойствах производственной и сварочной пыли и аэрозолей // Master's Journal. 2014 (1), С. 53–61.
11. Левченко О. Г. Сварочные аэрозоли и газы: процессы образования, методы нейтрализации и средства защиты. – Киев: Наукова думка, 2015, 248 с.
12. Безпечно виконання робіт у замкнутому просторі залежить від організованих дій персоналу // Охорона праці і пожежна безпека, за матеріалами Управління Держпраці у Хмельницькій області. Україна. 2018.
13. V. Berezutskyi, I. Hondak, N. Berezutska, V. Dmitrik, V. Gorbenko, V. Makarenko // Assessment and prevention of the propagation of carbon monoxide over a working area at arc welding, 3/10 (99), 2019, p. 38-48.
14. Є. І. Марчишина, Особливості безпечного проведення робіт у закритих просторах//БЕЗПЕКА ПРАЦІ №11 (120) листопад 2012 ст. 29-31.
15. Денисова Н. М. Шляхи зниження забрудненості повітря робочої зони зварювальних дільниць // Вісник Чернігівського державного технологічного університету, серія Технічні науки. Чернігів: ЧНТУ, 2012, №3 (59). С. 208-213.
16. Левченко О. Г. Методи нейтралізації шкідливих речовин, що забруднюють повітря під час зварювання // Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки збірник матеріалів десятої всеукраїнської науково-методичної конференції (з участю студентів) програма та наукові праці учасників конференції 13-15 травня 2014 р. Київ «Основа».

17. Вредные условия производства при выполнении сварочных работ, рекомендации и меры повышения безопасности // www.nisa.net.ua.

18. Костюк І. Ф., Капустник В. А. Професійні хвороби: Підручник. – 2-е вид., переробл. і доп. - К.: Здоров'я, 2003. 582с.

19. Березуцький В. В., Хондак І. І. Зварювання металевих виробів та безпека Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії, 2018, № 41(1317).

20. Березуцький В. В., Левченко, О. Г., Хондак І. І., Пятова А. В. Вплив типів електродів на утворення оксиду вуглецю в процесі зварювання. Проблеми охорони праці в Україні, 2023, 39(1–2), С. 21–27. <https://doi.org/10.36804/nndipbop.39-1-2.2023.21-27>.