

ДИНАМІКА КОНЦЕНТРАЦІЇ УЛЬТРАДИСПЕРСНИХ ЧАСТИНОК ПРИ РУЧНОМУ ЗВАРЮВАННІ ЕЛЕКТРОДАМИ

Демешька О. В.¹, Леоненко О. Б.¹, Ткаченко Т. Ю.¹, Супрун В. І.²

¹ДУ «Інститут медицини праці НАМН України», м. Київ

²Комітет з питань гігієнічного регламентування МОЗ України, м. Київ

Проведено дослідження концентрації ультрадисперсних частинок на робочому місці зварника. Підтверджено, що під час зварювання утворюються та потрапляють у повітря робочої зони ультрадисперсні частинки діаметром від 1 до 100 нм. Показано, що концентрація ультрадисперсних частинок залежить від складу та діаметра зварювального електрода, а також відстані від зони укріття. Обґрунтовано доцільність проведення подальших досліджень щодо регламентації ультрадисперсних частинок, які утворюються при різних видах зварювання.

Ключові слова: ультрадисперсні частинки, зварювальні електроди, зварювальні аерозолі

Вступ

Якщо на початку розвитку нанотоксикології синонімом наночастинок був термін «ультрадисперсні» частинки, то сьогодні багато фахівців розділяє ці два терміни. Так, наночастинки — це частинки розміром від 1 до 100 нм, які спеціально отримано для тих чи інших потреб промисловості, медицини тощо. У свою чергу, ультрадисперсні частинки — це частинки розміром від 1 до 100 нм, які є «побічним» продуктом відомих технологічних процесів (зварювання, згорання дизельного пального, вибухові роботи, лазерна абляція та ін.), або входять до складу аерозолів у природному середовищі. Для деяких процесів та технологій, у яких відбувається створення ультрадисперсних частинок, зокрема при зварювальних роботах, застосовуються вже випробувані захисні заходи. Таким чином, весь регуляторний апарат у цій сфері має застосовуватися до появи нових даних. Відповідно до цього, пріоритетним завданням є оцінка ризику та створення регламентів для власне наночастинок [8, 9].

З іншого боку, незважаючи на те, що зварювальні аерозолі (ЗА) як професійна шкідливість вивчаються досить давно, дотепер не вирішено багато питань щодо залежності їхньої біологічної агресивності від основних фізико-хімічних властивостей. До останніх можна віднести дисперсність частинок твердої складової зварювальних аерозолів (ТСЗА), їхні структурні параметри, розчинність окремих сполук.

Слід відзначити, що серед сукупності шкідливих промислових факторів ЗА мають найбільш негативний вплив на організм людини. Біологічна активність сполук металів, які входять до складу

ЗА, залежить від їхньої здатності зв'язуватись з білками крові та тканин, підвищувати проникність клітинних мембран або пошкоджувати їх, блокувати внутрішньоклітинні та позаклітинні ферментні системи, що в кінцевому результаті призводить до розвитку патологічних змін в організмі.

Аналіз умов праці робітників, які зайняті різними способами зварювання, показує, що виконання таких робіт супроводжується утворенням шкідливих факторів хімічної природи, яку складають токсичні компоненти зварювальних аерозолів, а також пил флюсів, що, у свою чергу, залежать від методу зварювання, якісного складу металу та ін. Дослідження наявності шкідливих речовин у повітрі робочої зони й зоні дихання працюючих, що зайняті різними видами й способами зварювання, показали, що найнесприятливішим фактором є саме хімічний. Концентрація твердої складової та інших шкідливих речовин ЗА в зоні дихання зварників зростає пропорційно швидкості їхнього утворення в зоні дуги [7].

На сьогодні існують припущення, що високий рівень захворюваності електрозварників обумовлений не тільки токсичністю компонентів зварювального аерозолу, яким властива подразнююча та мутагенна дія, а також здатністю глибокого проникнення в тканини дрібних частинок, які, очевидно, викликаючи пошкодження, чинять патогенну дію.

Як відомо, особливістю шкідливої дії ЗА різного складу (марганець- залізо-, хром- нікельскладових) є досить специфічні взаємозв'язки токсикокінетичних і токсикодинамічних характеристик та проявів інтоксикації, які вказують на переважно хронічний перебіг патології навіть у випадках, коли дози важких металів,

які надходять інгаляційно, достатні для розвитку підгострих та гострих отруень. Порівняння фізичних (дисперсність, структура) та фізико-хімічних (елементний склад, розчинність у біологічних середовищах і розчинах-імітаторах біосередовищ) характеристик ТСЗА з проявами їхньої дії дають підстави для висунення гіпотези про те, що механізм впливу на організм ЗА та інших металомісуючих аерозолів може суттєво відрізнитися від існуючих наукових уявлень [1, 6].

Насамперед це стосується можливої здатності наночастинок твердих складових таких аерозолів безпосередньо проникати з альвеол через міжклітинні простори в кров'яне русло та впливати на органи та тканини, як завдяки їхній розчинній складовій, так і місцевій дії за рахунок малорозчинних інгредієнтів після інкорпорації й фіксації таких частинок в ендотелії та інших гістологічних структурах судин. Підтвердження існування такого механізму дії наночастинок може відкрити нові можливості для розробки методів і способів терапії та профілактики патологічних змін, які зумовлені субмікронними металомісуючими ЗА. Зокрема, відомо, що ішемічна хвороба серця (ІХС) у зварників характеризується деякими особливостями, зокрема, частим виникненням у людей молодого віку, не цілком типовою в більшості випадків локалізацією інфаркту міокарда в задній стінці лівого шлуночка серця, а також розвитком дрібновогнищевого інфаркту міокарда. Встановлено, що ІХС у зварників проявляється у вигляді раннього артеріосклерозу або васкуліту. Отже, було запропоновано гіпотезу виникнення ІХС у зварників на ґрунті ураження коронарних артерій хімічними речовинами — інгредієнтами ЗА з розвитком васкуліту та раннього артеріосклерозу через їхню загальну та кардіовазотоксичну дію, що є однією з особливостей патогенезу цих уражень [3, 5].

Також слід відмітити, що якщо зварювальний аерозоль містить значну кількість марганцю, то його наночастинок можуть потрапляти до мозку через нюховий нерв, обумовлюючи розвиток так званого марганцевого паркінсонізму.

Слід зазначити, що плотні дослідження підтвердили наявність наночастинок у зоні дихання зварювальника. Також було встановлено, що у виробничих приміщеннях, де постійно проводяться зварювальні роботи, наночастинок ЗА можуть знаходитися в повітряному середовищі ще довго після припинення робіт [4].

У попередні роки Л. М. Горбанем було показано, що частинки твердої складової зварювального аерозолу (ТСЗА), які утворюються при зварюванні низь-

ковуглецевої сталі електродами рутилового типу, мають розміри 0,1–0,4 мкм (100–400 нм) та складаються зі сполук виду $(\text{Fe}, \text{Mn}) \cdot (\text{OFe}_2\text{O}_3)$, а дрібніші частинки ТСЗА близько 10–15 % за масою і розмірами 0,01–0,02 мкм (10–20 нм) переважно складаються зі складних силікатів виду K-Na-Mn-SiOx [2]. В інших дослідженнях можна знайти наступні дані щодо розмірів частинок ТСЗА: перша група частинок має розміри 0,01–0,05 мкм (10–50 нм), друга — 0,2–0,3 мкм (200–300 нм) [5].

У той самий час дані щодо кількісного розподілу та динаміки існування в повітрі робочої зони частинок ЗА нанорозмірного діапазону під час зварювання відсутні.

Мета дослідження — вивчення концентрації ультрадисперсних частинок та їх розподілу за розмірами при зварюванні.

Матеріали та методи дослідження

Розмір частинок та їхню концентрацію досліджували за допомогою дифузійного аерозольного спектрометра ДАС-2 (Росія) з об'ємною витратою повітря 0,5 л/хв. Концентрацію ультрадисперсних частинок фіксували похвилинно після закінчення зварювання.

У дослідженні використовували електроди МР-3, ЦНИИН-4 і НЖ-13.

Електроди МР-3 діаметром 4 мм (ГОСТ 9466-75, ТУУ 14288312.001-96) з рутиловим видом покриття призначені для зварювання конструкцій із низьковуглецевих сталей із вмістом вуглецю до 0,25 %.

Електроди ЦНИИН-4 діаметром 4 мм (ГОСТ 10051-75, ТУ У 24369810.001-97) з основним покриттям призначені для наплавлення і заварки дефектів залізничних хрестовин, рейок і стрілочних перекладів. Придатні для заварки дефектів литва та наплавлення деталей із високомарганцевистих сталей типу 110Г13Л.

Електроди НЖ-13 діаметром 3 мм (ГОСТ 9466-75, ТУ 1273-023-17360331-98) з основним покриттям, призначені для зварювання відповідальних металоконструкцій з корозійностійких хромонікельмолібденових сталей марок 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х21Н6М2Т, і подібних до них, що працюють в агресивних середовищах при температурі до 350 °С.

Дослідження виконано в зварювально-затравлювальному комплексі ДУ «Інститут медицини праці НАМН України».

Результати дослідження та їх обговорення

Використання дифузійного аерозольного спектрометра дозволило визначити загальну концентрацію частинок від 0 до 100 нм у приміщенні зварювального комплексу, яка до початку зварювальних робіт становила 8677 частинок/см³.

Проведення зварювальних робіт із використанням електродів МР-3 (час зварювання 75 с, струм 150 А, напруга 36 В) призводило до різкого зростання концентрації ультрадисперсних частинок, яка вже за 2 хв становила 48284 частинки/см³. Ще за 2 хв їх концентрація становила 57808 частинок/см³. Вимірювання здійснювали на відстані 2 м від зони дуги.

У свою чергу, при вимірюванні концентрації ультрадисперсних частинок на відстані 1 м від зони дуги, загальна концентрація ультрадисперсних частинок становила 140426 частинок/см³, тобто була майже втричі більшою, ніж у попередньому дослідженні (рис. 1). У першу хвилину після зварювання електродом МР-3 було зафіксовано велику кількість частинок найменших розмірів у: 0–5 нм – 5581, 5–10 нм – 20796, 10–15 нм – 27122, 15–20 нм – 21335, 20–25 нм – 16166 частинок/см³.

У наступні 2 хв концентрація ультрадисперсних частинок різко впала та становила 10564–12315 частинок/см³, при цьому не було зафіксовано частинок розмірами до 50 нм включно. У той самий час зафіксовано значну кількість частинок розміром від 100 до 200 нм (на 2-й хв – 80228 частинок/см³, на 3-й хв – 99782 частинок/см³). Останнє може бути зумовлено тим, що під час зварювання пари металу, нагріті до високої температури, компоненти електродного покриття або інших зварювальних матеріалів піднімаються над місцем зварювання та потрапляють у зону, температура якої відповідає температурі навколишнього повітря, тому пари швидко конденсуються та твердіють.

Але вже за 4 хв після зварювання концентрація ультрадисперсних частинок сягнула 97571 частинок/см³, при цьому було виявлено значну кількість частинок найменших розмірів (рис. 2). У свою чергу, концентрація частинок від 100 до 200 нм суттєво зменшилася та становила 28796 частинок/см³.

З цього моменту концентрація ультрадисперсних частинок починає зменшуватися – спочатку різко, потім повільно з деякими коливаннями. Так, якщо на 7-й хв після зварювання концентрація вже становить 27889 частинок/см³, то на 9-й вона підвищується до 58016 частинок/см³. Протягом усього

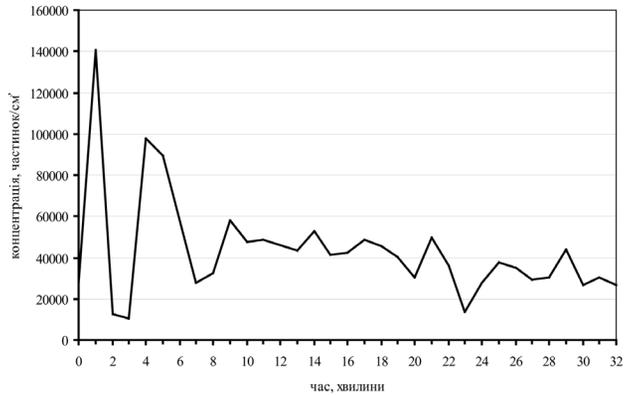


Рис. 1. Динаміка концентрації ультрадисперсних частинок після зварювання електродом МР-3.

періоду падіння концентрації в повітрі робочої зони відсутні частинки до 20 нм, а концентрація частинок від 20–25 нм, 25–30, 30–35 нм є вкрай низькою. Однак незначне збільшення концентрації частинок найменших розмірів спостерігалось на 14-й, 17-й, 21-й та 29-й хв після зварювання.

При зварюванні електродом ЦНІІН-4 (час зварювання 85 с, струм 200 А, напруга 26 В) на відстані 1 м від зони дуги максимальна концентрація ультрадисперсних частинок становила на 1-й хв після зварювання 82526 частинок/см³, на 5-й хв після зварювання – 87339 частинок/см³ (фонова концентрація становила 16520 частинок/см³), отже перевищувала фонову майже в 5 разів (рис. 3).

При цьому, якщо протягом 20 хв після зварювання частинки найменших розмірів були майже відсутні в повітрі робочої зони, то в наступні 10 хв навіть із поступовим падінням загальної концентрації частинок розмірами 1–100 нм стабільно фіксувалися частинки розмірами від 1 до 20 нм.

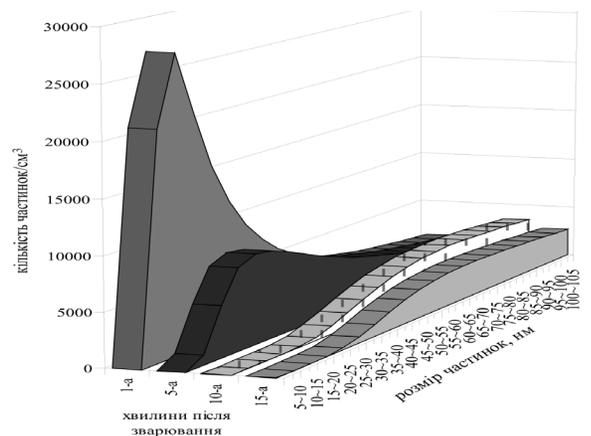


Рис. 2. Розподіл частинок від 1 до 100 нм за розміром після зварювання електродом МР-3.

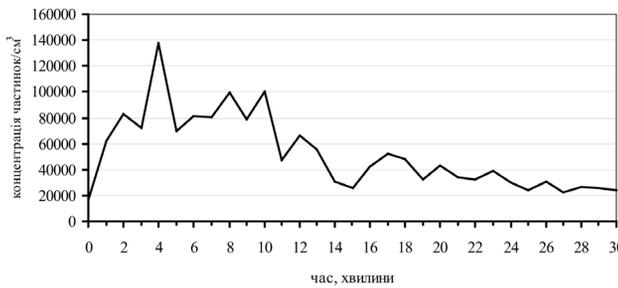


Рис. 3. Динаміка концентрації ультрадисперсних частинок після зварювання електродами ЦНИИН-4.

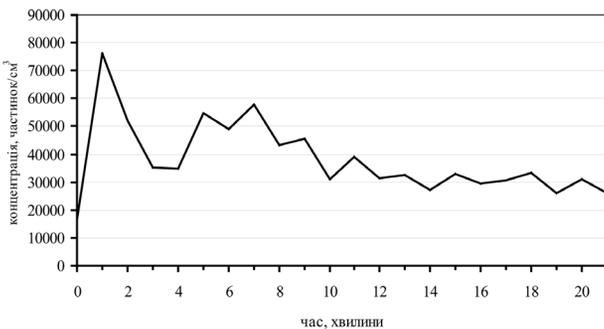


Рис. 4. Динаміка концентрації ультрадисперсних частинок після зварювання електродами НЖ-13.

У свою чергу, при зварюванні електродами НЖ-13 (час зварювання 45 с, струм 100 А, напруга 32 В) концентрація ультрадисперсних частинок була найменшою з усіх використаних електродів, — у першу хвилину досягла свого максимуму та становила 76227 частинок/см³ (рис. 4).

Наявність частинок найменших розмірів було зафіксовано на 1-й, 5-й та 7-й хв після зварювання. Слід звернути увагу на той факт, що діаметр даних електродів був найменшим серед досліджених матеріалів.

Взагалі, динаміку концентрації ультрадисперсних частинок під час зварювання з розподілом за розміром у режимі реального часу можна окреслити таким чином: протягом перших хвилини після зварювання було продемонстровано різке збільшення концентрації ультрадисперсних частинок, після чого починається її поступове падіння з відновленням фонових рівнів за 20–30 хв після зварювання в залежності від марки електрода та діаметра.

Слід зазначити, що окремою проблемою є питання регламентації вмісту частинок нанодіапазону в повітрі робочої зони. Інститут професійної безпеки та здоров'я Німеччини (IFA), а також Національний Інститут професійної безпеки та здоров'я США (NIOSH), базуючись на власному досвіді розрахун-

ків, запропонували тимчасові контрольні рівні для повітря робочої зони при застосуванні нанотехнологій. Зокрема, для металів, оксидів металів та інших біологічно стійких дисперсних наноматеріалів із щільністю > 6000 кг/м³, кількісна концентрація частинок у діапазоні 1–100 нм у повітрі робочої зони не повинна перевищувати 20000 частинок/см³ [9].

З іншого боку, для біологічно стійких дисперсних наноматеріалів із щільністю < 6000 кг/м³, кількісна концентрація частинок у діапазоні 1–100 нм у повітрі робочої зони не повинна перевищувати 40000 частинок/см³.

Отже, для електродів МР-3, які не містять важких металів, рекомендованим рівнем є 40000 частинок/см³. Виходячи з отриманих даних, концентрація ультрадисперсних частинок досягає рекомендованого рівня на 21–22-й хв після зварювання.

У свою чергу, для електродів ЦНИИН-4 та НЖ-13, які містять Сг та Ні, доцільно застосовувати гранично допустимий рівень 20000 частинок/см³. Після зварювання ЦНИИН-4 концентрація ультрадисперсних частинок знижується до граничного рівня приблизно за 28–30 хв.

Висновки

1. Підтверджено, що під час зварювання електродами з рутиловим та карбонатно-флюоритним видом покриття утворюється та потрапляє в повітря робочої зони значна кількість ультрадисперсних частинок розмірами від 1 до 100 нм. Для повітря робочої зони отримано дані про динаміку зміни в часі після зварювання кількості частинок ТСЗА в різних діапазонах їх розмірів від 1 до 100 нм.
2. Концентрація ультрадисперсних частинок залежить від марки та діаметра зварювального електрода, а також відстані від зони зварювання. Зі збільшенням відстані від місця відбору проб до зони зварювання концентрація частинок зменшується.
3. У приміщенні, де проводилися зварювальні роботи, протягом щонайменше 20–30 хв необхідно використовувати засоби індивідуального захисту або забезпечувати достатній рівень вентиляції.
4. Отримані результати свідчать про необхідність проведення подальших досліджень щодо регламентації в повітрі робочої зони вмісту ультрадисперсних частинок, які утворюються при різних видах зварювання.

Література

1. Горбань Л. Н. О связи канцерогенной активности никельсодержащих сварочных аэрозолей с наличием в их составе соединений меди и марганца / Л. Н. Горбань, Н. Л. Новиченко, А. В. Рязанов, В. М. Чередниченко // Гигиена труда и профзаболевания.– 1989.– № 8.– С. 27–31.
2. Горбань Л. Н. Материалы по обоснованию ПДК в воздухе рабочей зоны сварочного аэрозоля, содержащего марганец, хром и никель / Л. Н. Горбань, В. А. Прилипко, В. М. Чередниченко, В. И. Киреев // Гигиена труда и проф. заболевания.– 1985.– № 5.– С. 26–29.
3. Демецкая А. В. Возможная роль наночастиц твердой составляющей сварочных аэрозолей в развитии профессионально обусловленной патологии / А. В. Демецкая, Т. К. Кучерук, Н. А. Сальникова // Актуальні проблеми гігієни праці, професійної патології і медичної екології Донбасу.– Збірник статей.– 2005.– С. 193–196.
4. Кучерук Т. К. Підходи до оцінки вмісту частинок нанодіапазону в повітрі робочої зони / Т. К. Кучерук, В. Ф. Демченко, І. М. Андрусішина [та ін.] // Укр. журн. з пробл. медицини праці – 2010.– № 1(21).– С. 36–42.
5. Мацко Н. В. Фактори професійного ризику та особливості формування в перебігу ішемічної хвороби серця у зварювальників сталей.– Дис. на здобуття наук. ступеня канд. мед. наук.– Львів, 2000.– С. 14–94.
6. Dasch J. Physical and chemical characterization of airborne particles from welding operations in automotive plants / J. Dasch, J. D'Arcy // J. Occup. Environ. Hyg.– 2008.– V. 5, № 7.– P. 444–454.
7. Hovde C. A. Effects of voltage and wire feed speed on weld fume characteristics / C. A. Hovde, P. C. Raynor // J. Occup. Environ. Hyg.– 2007.– V. 4, № 12.– P. 903–912.
8. Schulte P. Occupational risk management of engineered nanoparticles / P. Schulte, C. Geraci, R. Zumwalde // J. Occup. Environ. Hyg.– 2008.– V. 5, № 239–249.
9. <http://www.dguv.de/ifa/en/fac/nanopartikel/beurteilungsmassstaebe/index.jsp>

Демецкая А. В.¹, Леоненко О. Б.¹, Ткаченко Т. Ю.¹, Супрун В. И.²

ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ РУЧНОЙ СВАРКЕ ЭЛЕКТРОДАМИ

¹ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины», г. Киев

²Комитет по вопросам гигиенического регламентирования МЗ Украины, г. Киев

Проведено исследование концентрации ультрадисперсных частиц на рабочем месте сварщика. Подтверждено, что при сварке образуются и попадают в воздух рабочей зоны ультрадисперсные частицы диаметром от 1 до 100 нм. Показано, что концентрация ультрадисперсных частиц зависит от состава и диаметра сварочного электрода, а также расстояния от зоны укрытия. Обоснована целесообразность проведения дальнейших исследований по регламентации ультрадисперсных частиц, которые образуются при различных видах сварки.

Ключевые слова: ультрадисперсные частицы, сварочные электроды, сварочные аэрозоли

Demetska O. V.¹, Leonenko O. B.¹, Tkachenko T. Yu.¹, Suprun V. I.²

DYNAMICS OF THE CONCENTRATION OF ULTRAFINE PARTICLES IN MANUAL WELDING WITH ELECTRODES

¹SI «Institute for Occupational Health of NAMS of Ukraine», Kiev

²Hygienic Regulation Committee of MH of Ukraine, Kyiv

The concentration of ultrafine particles at welder's workplace was investigated. It is confirmed that ultrafine particles with diameters < 100 nm are generated in welding and enter the workplace zone. Also, it is found that the concentration of ultrafine particles depends on the composition and diameter of a welding electrode as well as on the distance from the welding shelter zone. It is advisable to continue studies on the regulation of ultrafine particles, generated in welding of different types.

Key words: ultrafine particles, welding electrode, welding aerosol

Надійшла: 24.01.2012 р.

Контактна особа: Демецька О. В., ДУ «Інститут медицини праці НАМН України», вул. Саксаганського, 75, м. Київ, 01033. Тел.: (44) 289-43-66.