

DOI 10.29254/2077-4214-2021-3-161-111-116

УДК 613.632.2:621.791.011

¹Шаравара Л. П., ²Дмитруха Н. М., ¹Севальнев А. І.**ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ УЛЬТРАДИСПЕРСНИХ ЧАСТИНОК У ПОВІТРІ РОБОЧОЇ ЗОНИ
ЗВАРЮВАЛЬНИКА ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ЗВАРЮВАННЯ**¹Запорізький державний медичний університет (м. Запоріжжя, Україна)²ДУ «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва» НАМН України» (м. Київ, Україна)

saravalarisa@gmail.com

У статті наведені результати дослідження вмісту ультрадисперсних частинок у повітрі робочої зони зварювальників при різних способах зварювання на підприємствах машинобудування. Встановлено, що при всіх способах зварювання працівник піддається впливу зварювального аерозолу, який містить ультрадисперсні частинки розміром менше 100 нм, найбільша кількісна концентрація, площа поверхні, масова концентрація та об'єм наночастинок визначався під час механізованого зварювання електродом, що плавиться в середовищі захисного газу (вуглекислий газ): загальна концентрація наночастинок – 66000 частинок/см³, загальна площа поверхні – 3,4×10⁹ нм²/см³, загальний об'єм поверхні – 1,6×10¹¹ нм³/см³, загальна масова концентрація – 191,83 мкг/м³ та під час зварювання неплавким електродом (аргон): загальна концентрація наночастинок – 91000 частинок/см³, загальна площа поверхні – 2,8×10⁹ нм²/см³, загальний об'єм поверхні – 9,8×10¹⁰ нм³/см³, загальна масова концентрація – 117,97 мкг/м³. Найбільша питома вага кількості частинок при всіх видах зварювання спостерігалася серед наночастинок розміром від 27 до 50 нм. Визначено, що ультрадисперсні частинки з найменшим розміром (18 нм) знаходяться у повітрі робочої зони протягом всього процесу зварювання, наночастинки більшого розміру (35 та 52 нм) мають максимальну концентрацію безпосередньо під час плавки металу. Таким чином, існує необхідність подальшого дослідження вмісту ультрадисперсних частинок у повітрі робочої зони працівників даної категорії. Актуальним залишається питання проведення організації виробничого контролю на робочих місцях зварювальників та оцінки професійного ризику для здоров'я працюючих.

Ключові слова: ультрадисперсний аерозоль, наночастинки, повітря робочої зони, зварювальник, умови праці.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами. Проведена робота є фрагментом науково-дослідної роботи кафедри загальної гігієни та екології ЗДМУ «Наукове обґрунтування та управління ризиками в системі громадського здоров'я», № державної реєстрації 0117U006957.

Вступ. На сьогодні процеси зварювання широко використовуються при технологічних операціях у різних галузях промисловості таких як металургія, машинобудування, будівництво, гірничодобувна промисловість та інші.

Численні дослідження умов праці зварювальників підтверджують наявність на робочому місці

шкідливих факторів виробничого середовища різної природи, серед яких зварювальний аерозоль, інтенсивне випромінювання зварювальної дуги в оптичному діапазоні (ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання), шум, статичне напруження, шкідливі хімічні речовини та пил у повітрі робочої зони. Одним з небезпечних чинників виробничого середовища є зварювальний аерозоль (ЗА), який складається з твердих частинок та суміші газів. За механізмом утворення ЗА належить до аерозолів конденсації і являє собою дисперсну систему, в якій дисперсною фазою є дрібні тверді частинки – тверда складова аерозолу, а дисперсним середовищем – суміш газів. Численними дослідженнями, які були проведені українськими й закордонними вченими, визначено форму, структуру, кількісний і якісний склад твердої складової ЗА за умови різних видів зварювання і застосування зварювальних електродів [1-3].

Результати досліджень [2, 4] показали, що вміст респірабельної фракції пилу в зварювальному аерозолі може складати 3,3-86,3 мкг/м³, розмір частинок може коливатись від мкм до нм, при цьому нанорозмірні частинки (< 100 нм) можуть складати до 30% та виявляться через годину після припинення зварювальних робіт.

Дослідження вмісту пилу та шкідливих речовин у повітрі робочої зони зварювальників показали, що у більшості випадків вони не перевищують граничної допустимої концентрацію, але при аналізі професійної захворюваності встановлено, що 50% цієї патології складають хвороби органів дихання (пневмокози та пиловий бронхіт) та [5-8].

На сьогодні одним з пріоритетних напрямків дослідження у різних країнах світу є саме вміст ультрадисперсних частинок розміром < 100 нм у повітрі робочої зони. За даними літератури ці частинки є більш токсичними, у порівнянні зі звичайними мікрочастинками, завдяки можливості проникати через клітинні бар'єри, накопичуватися та викликати патоморфологічні зміни у різних органах та тканинах [9]. Чисельні дослідження зварювального аерозолу на робочому місці зварювальників підтверджують наявність ультрадисперсних частинок (УЧ) чи наночастинок (НЧ) у повітрі робочої зони працівників цієї категорії при різних видах зварювання. Проте у результаті досліджень визначалась тільки кількісна концентрація УЧ та їх хімічний склад, не враховуючи інші важливі фізичні властивості, зокрема розмір УЧ аерозолу [10-13]. Оцінка потенційного ризику для здоров'я працюючих тільки за показниками масової концентрації є недостатньою, тому що токсичність

Таблиця 1 – Аналіз вмісту ультрадисперсних частинок промислового аерозолу нанометрового діапазону на робочому місці зварювальника при ручному дуговому зварюванні

	Кількість частинок (#/см ³)	Площа поверхні (нм ² /см ³)	Об'єм поверхні (нм ³ /см ³)	Масова концентрація (мкг/м ³)
Median (нм)	56.8595	240.3560	291.9127	291.9127
Mean (нм)	90.6676	235.9583	277.5219	277.5219
Geo. Mean (нм)	59.7157	208.7832	260.1387	260.1387
Mode (нм)	36.5174	365.1741	365.1741	365.1741
Geo. St. Dev.	2.5330	1.7394	1.4834	1.4834
Total Conc.	3.1×10 ⁴	1.5×10 ⁹	5.9×10 ¹⁰	71.0596

частинок нанометрового діапазону залежить не тільки від масової концентрації, а також в більшості випадків від їх числа, площі поверхні та об'єму [7].

Отже, існує необхідність проведення більш детального дослідження фізичних властивостей зварювального аерозолу з визначенням числа, розміру, площі поверхні, об'єму та масової концентрації присутніх в ньому УЧ на робочих місцях працівників цієї категорії.

Таблиця 2 – Питома вага ультрадисперсних частинок різного діаметру у промисловому аерозолі за фізичними властивостями при ручному дуговому зварюванні, %

Діаметр наночастинок, нм	Кількість частинок %	Площа поверхні %	Об'єм поверхні %	Масова концентрація %
11.5	3,29	0,03	0,001	0,001
15.4	7,35	0,11	0,007	0,007
20.5	8,15	0,22	0,019	0,019
27.4	10,87	0,53	0,06	0,06
36.5	10,89	0,94	0,15	0,15
48.7	9,41	1,44	0,29	0,29
64.9	8,43	2,29	0,63	0,63
86.6	8,89	4,31	1,58	1,58
115.5	9,2	7,92	3,88	3,88
154.0	8,49	12,99	8,48	4,48
205.4	6,98	18,99	16,53	16,53
273.8	4,99	24,18	28,07	28,07
365.2	3,03	26,04	40,31	40,31

Мета дослідження: дослідження вмісту та фізичних властивостей УЧ у повітрі робочої зони зварювальника при різних способах зварювання.

Об'єкт і методи дослідження. Дослідження вмісту УЧ промислового аерозолу у повітрі робочої зони проводилося за допомогою приладу NanoScan 3910 (США). Прилад дозволяє отримати інформацію щодо розподілу частинок згідно з розміром в інтервалі від 10 до 416 нм, межа вимірювання концентрації до 1 000 000 частинок на см³. Час вимірювання в одній точці 60 сек., об'єм повітря, яке пропускається 0,8 л/хв. NanoScan SMPS відображає кількість, площу поверхні, об'єм та концентрацію наночастинок у повітрі та за допомогою пакету програм «NanoScan Manag-

er» видає середньозважені данні про кількість, площу поверхні та масу наночастинок. Повний статистичний пакет розраховується по кожному набору даних автоматично.

У результаті дослідження було проведено 1014 вимірів числа (#/см³), площі поверхні (нм²/см³), об'єму (нм³/см³) та масової концентрації УЧ (μг/см³) на робочих місцях зварювальника підприємств машинобудування при використанні різних способів зварювання: (ручне дугове зварювання – 572, зварювання неплавким електродом в середовищі захисного газу (аргон) (апарат для аргонодугового зварювання «Fronius Magic Wave 2200») – 364, механізоване зварювання електродом, що плавиться в середовищі захисного газу (вуглекислий газ) (зварювальний полу автомат «ПДГ-216») – 78.

Результати дослідження та їх обговорення. До функціональних обов'язків зварювальника відносяться виконання підготовчих операції, що передують зварюванню, а після її завершення проведення зачистки швів. Проведення перевірки працездатності зварювального обладнання, його налаштування. Виконання зварювальних робіт, прихватка елементів конструкцій, виплавка, дугове різання простих деталей, усування дефектів, що з'явилися зовні на металі за допомогою зварювання або зачистки. Контролювання відповідності конструкцій вимогам щодо геометричних розмірів, зазначених у виробничо-технологічних документаціях.

При зварюванні металів використовуються різні джерела енергії: електрична дуга, електричний струм, газове полум'я. В даний час розрізняють понад 150 видів і способів зварювальних процесів, розглянемо найпоширюваніші з них, які використовувалися в технологічному процесі на досліджуваному машинобудівному підприємстві.

Ручне дугове зварювання – це процес дугового зварювання, при якому використовується дуга, що горить між покритим електродом та зварювальною ванною. Покритий електрод являє собою металевий стрижень, на який нанесено покриття. Покриття може бути різним, проте більшу частину всіх покриттів становить залізна стружка або порошок.

Дослідження фізичних властивостей УЧ у повітрі робочої зони зварювальника при використанні методу ручного дугового зварювання представлено у таблиці 1 та 2.

Таблиця 3 – Аналіз вмісту ультрадисперсних частинок промислового аерозолу нанометрового діапазону на робочому місці зварювальника при зварюванні неплавким електродом

	Кількість частинок (#/см ³)	Площа поверхні (нм ² /см ³)	Об'єм поверхні (нм ³ /см ³)	Масова концентрація (мкг/м ³)
Median (нм)	41.6462	216.2760	268.2288	268.2288
Mean (нм)	70.0243	213.0402	260.4006	260.4006
Geo. Mean (нм)	50.2610	181.0172	241.2858	241.2858
Mode (нм)	36.5174	273.8420	273.8420	273.8420
Geo. St. Dev.	2.1308	1,9119	1,5439	1,5439
Total Conc.	9.1×10 ⁴	2.8×10 ⁹	9.8×10 ¹⁰	117.97

За даними досліджень встановлено, що на робочому місці зварювальника при використанні методу ручного дугового зварювання загальна концентрація УЧ становила 31000 частинок/см³, загальна площа поверхні – 1,5×10⁹ нм²/см³, загальний об'єм поверхні – 5,9×10¹⁰ нм³/см³, загальна масова концентрація – 71,1 мкг/м³. Встановлено, що найбільшу питому вагу за кількістю частинок мають наночастинки діаметром 27,4 та 36,5 нм, найбільшу масову концентрацію, площу та об'єм поверхні частинки діаметром 273,8 та 362,5 нм (табл. 2).

Зварювання неплавким електродом. У якості електроду використовується стрижень, виготовлений з графіту або вольфраму, температура плавлення якого вища за температуру до якого він нагрівається при зварюванні. Зварювання найчастіше проводиться в середовищі захисного газу (аргон, гелій, азот або їх суміші) для захисту шва та електрода від впливу атмосфери, а також для стійкості горіння дуги. При проведенні роботи по зварюванню нержавіючої сталі використовувалися вольфрамові електроди («WL-20», склад: 98% вольфрам, 2% лантан) та присадний прутко нержавіючий «ER 308L» до складу якого входить 20% хрому, 10% нікелю, 1,8% марганцю, 0,4% кремнію, по 0,3% молібдену та заліза. При зварюванні алюмінію використовувався присадний прутко алюмінієвий («ER 4047», який крім алюмінію містить 13% кремнію, 0,15% марганцю, 0,02% цинку, 0,5% заліза).

Дослідження фізичних властивостей УЧ у повітрі робочої зони зварювальника при використанні методу зварювання неплавким електродом представлено у таблиці 3.

За даними досліджень встановлено, що на робочому місці зварювальника при використанні методу зварювання неплавким електродом загальна концентрація УЧ становила 91000 частинок/см³, загальна площа поверхні – 2,8×10⁹ нм²/см³, загальний об'єм поверхні – 9,8×10¹⁰ нм³/см³, загальна масова концентрація – 117,97 мкг/м³. Встановлено, що найбільшу питому вагу за кількістю частинок мають наночастинки діаметром 27,4; 36,5 та 48,7 нм, найбільшу масову концентрацію та об'єм поверхні – частинки діаметром 273,8 та 362,5 нм, найбільшу площу поверхні – частинки діаметром 205,4 та 273,8 нм (табл. 4).

Динаміка концентрації УЧ частинок розміром 18 нм під час проведення зварювання неплавким електродом в середовищі захисного газу (аргон) знаходилась в межах від 1297,7 до 3,56×10³ (Mean 2131,6, Std.Dev. 435,5) і спостерігалася протягом всього часу зварювання (рис. 1).

Динаміка концентрації УЧ частинок розміром 35 нм під час зварювання даним способом знаходилась в межах від 1,2 ×10⁴ до 2,9×10⁵ (Mean 3,2×10⁴, Std.Dev. 4,5×10⁴), максимальна кількість частинок фіксувалася безпосередньо під час плавлення металу з подальшим падінням концентрації частинок після припинення процесу зварювання, що наглядно зображено на рисунку 2.

Таблиця 4 – Питома вага ультрадисперсних частинок різного діаметру у промисловому аерозолі за фізичними властивостями при зварюванні неплавким електродом, %

Діаметр наночастинок, нм	Кількість частинок %	Площа поверхні %	Об'єм поверхні %	Масова концентрація %
11.5	1,52	0,02	0,0011	0,0011
15.4	2,05	0,05	0,0036	0,0036
20.5	6,23	0,27	0,03	0,03
27.4	19,89	1,54	0,19	0,19
36.5	22,31	3,07	0,53	0,53
48.7	15,68	3,83	0,88	0,88
64.9	7,40	3,22	0,98	0,98
86.6	4,64	3,59	1,46	1,46
115.5	5,19	7,14	3,87	3,87
154.0	5,71	13,96	10,09	10,09
205.4	5,01	21,79	21,01	21,01
273.8	3,08	23,80	30,59	30,59
365.2	1,29	17,72	30,38	30,38

Схожа картина спостерігалася з концентрацією УЧ розміром 52 нм, а саме, підвищення концентрації частинок під час зварювання (Max 2,06×10⁵) та поступове зниження концентрації після припинення зварювання (Min 4716) (Mean 3,1×10⁴, Std.Dev. 4,4×10⁴) (рис. 3).

Механізоване зварювання електродом, що плавиться в середовищі захисного газу. При даному способі зварювання у якості електрода використовується металевий дріт певної марки, який через струмопровідний мундштук проводить струм. У процесі

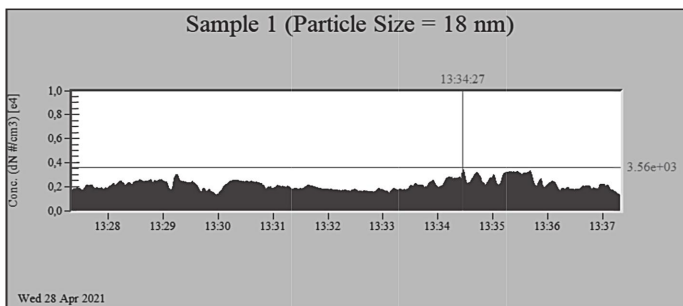


Рисунок 1 – Динаміка концентрації ультрадисперсних частинок діаметром 18 нм при зварюванні неплавким електродом в середовищі захисного газу (аргон).

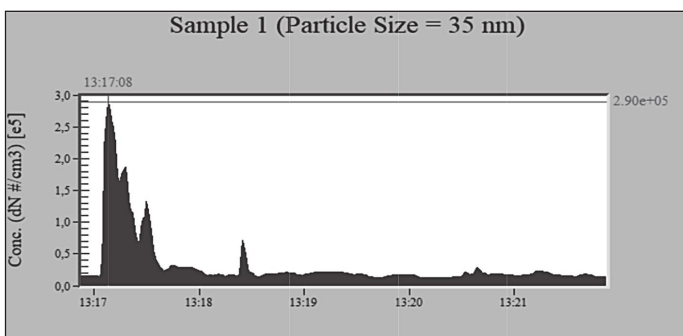


Рисунок 2 – Динаміка концентрації ультрадисперсних частинок діаметром 35 нм при зварюванні неплавким електродом в середовищі захисного газу (аргон).

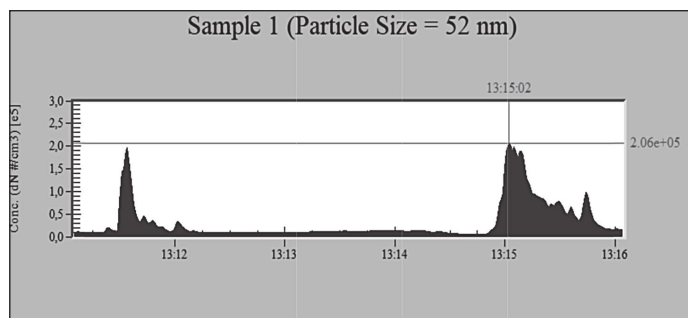


Рисунок 3 – Динаміка концентрації ультрадисперсних частинок діаметром 52 нм при зварюванні неплавким електродом в середовищі захисного газу (аргон).

Таблиця 5 – Аналіз вмісту ультрадисперсних частинок промислового аерозолу нанометрового діапазону на робочому місці зварювальника при механічному зварюванні електродом

	Кількість частинок (#/см ³)	Площа поверхні (нм ² /см ³)	Об'єм поверхні (нм ³ /см ³)	Масова концентрація (мкг/м ³)
Median (нм)	48.2678	1.0000	1.0000	1.0000
Mean (нм)	82.1899	286.0197	325.2820	325.2820
Geo. Mean (нм)	47.2037	252.8972	311.6046	311.6046
Mode (нм)	15.3993	365.1741	365.1741	365.1741
Geo. St. Dev.	2,8117	1,7992	1,406	1,406
Total Conc.	6.6×10 ⁴	3.4×10 ⁹	1.6×10 ¹¹	191.83

зварювання електрична дуга призводить до розплавлення дроту, який для забезпечення постійної довжини дуги подається автоматично. При зварюванні для захисту від атмосфери використовуються захисні гази (аргон, гелій, вуглекислий газ і їх суміші), які подаються зі зварювального пальника разом з електродним дротом.

У процесі зварювальних робіт використовувався обміднений зварювальний дріт Св08Г2С до складу якого входить 0,08% вуглецю, 2% марганцю та не більше 1% кремнію.

За даними досліджень встановлено, що на робочому місці зварювальника при використанні методу механізованого зварювання електродом, що плавиться в середовищі захисного газу (вуглекислий газ) загальна концентрація УЧ становила 66000 частинок/см³, загальна площа поверхні – 3,4×10⁹ нм²/см³, загальний об'єм поверхні – 1,6×10¹¹ нм³/см³, загальна масова концентрація – 191,83 мкг/м³ (табл. 5).

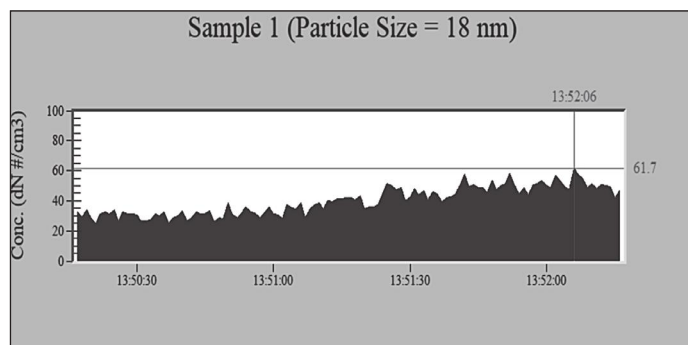


Рисунок 4 – Динаміка концентрації ультрадисперсних частинок діаметром 18 нм при механізованому зварюванні електродом, що плавиться в середовищі захисного газу (вуглекислий газ).

Найбільшу питому вагу за кількістю частинок у см³ мають УЧ діаметром 15,4 та 48,7 нм, найбільшу масову концентрацію, об'єм поверхні та площу поверхні – частинки діаметром 273,8 та 362,5 нм (табл. 6).

Встановлено, що динаміка концентрації УЧ частинок розміром 18 нм під час роботи зварювальника методом механізованого зварювання електродом, що плавиться в середовищі захисного газу (вуглекислий газ) знаходилась в межах від 24,5 до 61,7 #/см³, (Mean 39,7, Std. Dev.9,2) і також як й при попередньому дослідженні знаходилась у повітрі робочої зони протягом всього часу зварювання (рис. 4).

Таблиця 6 – Питома вага ультрадисперсних частинок різного діаметру у промисловому аерозолі за фізичними властивостями при механічному зварюванні електродом, %

Діаметр наночастинок, нм	Кількість частинок %	Площа поверхні %	Об'єм поверхні %	Масова концентрація %
11.5	12.14	0.10	0.004	0.004
15.4	15.79	0.23	0.01	0.013
20.5	3,74	0.09	0.007	0.007
27.4	3,97	0.19	0.02	0.02
36.5	9,25	0.76	0.097	0.098
48.7	12,78	1,88	0.32	0.3195
64.9	12.08	3.16	0.72	0.72
86.6	8,29	3,85	1.17	1.17
115.5	5,31	4,39	1,77	1,77
154.0	3,51	5.15	2,77	2,77
205.4	2,67	6,97	5.004	5.004
273.8	3,63	16.86	16.14	16.14
365.2	6,82	56.37	71.97	71.97

Динаміка концентрації УЧ частинок розміром 35 та 52 нм під час зварювання знаходилась в межах від 236,6 до 6,11×10⁴ #/см³ (Mean 9432,7, Std.Dev. 9,2) та від 1068,5 до 2,53×10⁵ (Mean 2,7×10⁴, Std.Dev. 5,03) відповідно, максимальна кількість частинок фіксувалась безпосередньо під час плавлення металу з подальшим падінням концентрації частинок після припинення процесу зварювання (рис. 5 та рис. 6).

Таким чином, виконані дослідження дозволяють констатувати, що працівники підприємства машинобудування під час проведення зварювальних робіт піддаються впливу зварювального аерозолу, що містить частинки різної дисперсності, у тому числі нанорозмірного діапазону. дисперсний склад зварювального аерозолу залежав від способу зварювання Отримані результати кореспондують з даними інших дослідників (Р. Hewitt, І.Р. Явдошин), які також зазначали, що дисперсний склад зварювального аерозолу змінюється в залежності від способу зварювання.

Висновки. Встановлено, що при різних методах зварювання працівники підприємства машинобудування піддаються впливу зварювального аерозолу з ультрадисперсними час-

тинками розміром < 100 нм. Так найбільша кількісна концентрація (число), площа поверхні, масова концентрація та об'єм наночастинок характерна для зварювання методом механізованого зварювання електродом, що плавиться в середовищі захисного газу (вуглекислий газ) та для зварювання неплавким електродом (аргон), найменша при використанні ручного дугового зварювання. Найбільша питома вага кількості частинок ($\#/см^3$) при всіх видах зварювання спостерігалася саме серед наночастинок розміром від 27 до 50 нм.

При дослідженні динаміки кількості ультрадисперсних частинок на робочому місці розміром 18 нм, 35 нм та 52 нм встановлено, що при всіх видах зварювання наночастинок найменшого розміру (18 нм) були присутні впродовж всього процесу зварювання у невеликій кількості, наночастинок більш крупного діаметра мали найбільшу концентрацію безпосередньо під час самого процесу зварювання (плавлення металу).

Таким чином, актуальним залишається питання організації виробничого контролю за вмістом ультрадисперсних наночастинок у повітрі робочої зони зварювальників з подальшим використанням отриманої інформації для гігієнічної оцінки умов праці та оцінки професійного ризику для даної категорії працівників.

Перспективи подальших досліджень. Надалі планується провести дослідження хімічного складу ультрадисперсного промислового аерозолу

у повітрі робочої зони зварювальників та оцінити ризик їх негативного впливу на стан здоров'я працівників.

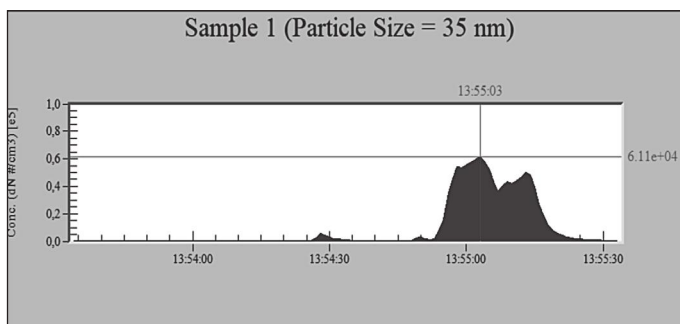


Рисунок 5 – Динаміка концентрації ультрадисперсних частинок діаметром 35 нм при механізованому зварюванні електродом, що плавиться в середовищі захисного газу (вуглекислий газ).

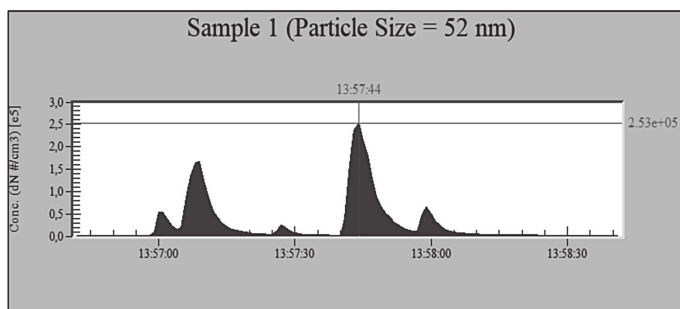


Рисунок 6 – Динаміка концентрації ультрадисперсних частинок діаметром 52 нм при механізованому зварюванні електродом, що плавиться в середовищі захисного газу (вуглекислий газ).

Література

- Gorban LN, Kucheruk TK. Nekotoryye aktualnyye voprosy meditsyny truda v svarochnom proizvodstve Ukrainy. Meditsina truda i prom. ekologiya. 1999;4:36-40. [in Russian].
- Hewitt PJ. Strategies for risk assessment and control in welding: challenges for developing countries. Fnn. Occup. 2001;45(4):295-298.
- Lubyanova IP, Kundiev YUI. Izbytochnoye zhelezo i patologiya u rabochikh svarochnykh professiy. Kyiv: VD «Avytsena»; 2013. 240 s. [in Ukrainian].
- Kucheruk TK, Demchenko VF, Andrusishina IM. Pidkhydy do otsinky vmistu chastynok nanodindyapazonu v povitri robochoyi zony. Ukrayinskyy zhurnal z problem medytsyny pratsi. 2010;1 (21):36-41. [in Ukrainian].
- Tsymbal BM, Polupan VA. Identyfikatsiya ta poperedzhennya profesiynykh ryzykiv zvaryvalnyka. Materialy mizhnarod. nauk.-prakt. konf. molodykh uchenykh. Problemy ta perspektyvy zabezpechennya tsyvilnoho zakhystu; 2020; Kharkiv. Kharkiv: NUTSZU; 2020. s. 275. [in Ukrainian].
- Bystryakov VP, Nevar EA. Soderzhaniye vrednykh veshchestv v vozdukhie rabochey zony metalloobrabatyvayushchikh predpriyatiy. VIsnik VDU. 2020;1(106):60-67. [in Ukrainian].
- Gindyuk AV, Kosyachenko GE, Klebanov RD, Tishkevich GI. Sovremennyye podkhody k gigiyenicheskoy otsenke vrednykh veshchestv v vozdukhie rabochey zony v Respublike Belarus. Materialy X Yubil. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Aktualnyye problemy okhrany truda i bezopasnosti proizvodstva; 2017 Noyab 14-15; Perm. Perm: Perm. nats.-issl. politekhn. un-t; 2017. s. 199-205. [in Russian].
- Petryayeva YuS, Yermolayeva SV. Sostoyaniye vozdukhie rabochey zony svarochnogo proizvodstva na primere Ulyanovskogo avtomobilnogo zavoda. Ulyanovskiy mediko-biologicheskyy zhurnal. 2020;2:134-144. [in Russian].
- Leonenko NS, Demetskaya AV, Leonenko OB. Dinamika kontsentratsiy nanorazmernykh chastits v vozdukhie rabochey zony v proizvodstvennykh usloviyakh. Suchasniy zhurnal suchasnikh problem toksikologii. 2019;1:53-60. [in Ukrainian].
- Gomes JF, Albuquerque PC, Miranda RM, Vieira MT. Determination of airborne nanoparticles from welding operations. J Toxicol Environ Health A. 2012;75(13-15):747-55.
- Leonenko OB, Leonenko NS, Movchan VO, Lukyanenko AO. Tsitotoksichnist nanochastinok zvaryvalnykh aerezoliv (ohlyad literatury). Suchasni problemy toksikologii, kharchovoyi ta khimichnoyi bezpeky. 2018;1:28 -38. [in Ukrainian].
- Demetska OV, Leonenko OB, Tkachenko TYu, Suprun VI. Dynamika kontsentratsiyi ultradyspersnykh chastynok pry ruchnomu zvaryuvanni elektrodami. Ukrayinskyy zhurnal z problem medytsyny pratsi. 2012;1(29):3-7. [in Ukrainian].
- Demetska OV, Leonenko OB, Tkachenko TYu, Leonenko NS. Do problemy rehlamentatsiyi nanomaterialiv. Suchasni problemy toksykologii. 2012;1:52-56. [in Ukrainian].

ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ УЛЬТРАДИСПЕРСНИХ ЧАСТИНОК У ПОВІТРІ РОБОЧОЇ ЗОНИ ЗВАРЮВАЛЬНИКА ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ЗВАРЮВАННЯ

Шаравара Л. П., Дмитруха Н. М., Севальнев А. І.

Резюме. На сьогодні процеси зварювання широко використовуються при технологічних операціях у різних галузях промисловості. Одним з небезпечних чинників виробничого середовища зварювальників є зварювальний аерозоль, який може містити ультрадисперсні частинки нанорозмірного діапазону, які є більш агресивними і токсичними, у порівнянні з звичайними мікрочастинками.

Метою роботи було дослідження вмісту та фізичних властивостей УЧ у повітрі робочої зони зварювальника при різних способах зварювання. Дослідження вмісту УЧ промислового аерозолу у повітрі робочої зони

проводилося за допомогою приладу NanoScan 3910, який дозволяє оцінити кількість, площу поверхні, об'єм та концентрацію УЧ у повітрі. Отримана інформація стосовно наявності УЧ у повітрі робочої зони зварювальників при різних видах зварювання: ручне дугове зварювання – загальна концентрація УЧ – 31000 частинок/см³, загальна площа поверхні – 1,5×10⁹ нм²/см³, загальний об'єм поверхні – 5,9×10¹⁰ нм³/см³, загальна масова концентрація – 71,1 мкг/м³; зварювання неплавким електродом (аргон) – загальна концентрація УЧ – 91000 частинок/см³, загальна площа поверхні – 2,8×10⁹ нм²/см³, загальний об'єм поверхні – 9,8×10¹⁰ нм³/см³, загальна масова концентрація – 117,97 мкг/м³; метод механізованого зварювання електродом, що плавиться в середовищі захисного газу (вуглекислий газ) – загальна концентрація УЧ – 66000 частинок/см³, загальна площа поверхні – 3,4×10⁹ нм²/см³, загальний об'єм поверхні – 1,6×10¹¹ нм³/см³, загальна масова концентрація – 191,83 мкг/м³.

Встановлено, що при всіх досліджуваних методах зварювання у повітрі робочої зони утворюються частинки нанорозмірного діапазону. УЧ з найменшим розміром (18 нм) знаходяться протягом всього процесу зварювання, наночастинки більшого розміру (35 та 52 нм) мають максимальну концентрацію безпосередньо під час плавки металу.

Ключові слова: ультрадисперсний аерозоль, наночастинки, повітря робочої зони, зварювальник, умови праці.

RESEARCH OF ULTRAFINE PARTICLES CONTENT IN THE AIR OF THE WELDER WORKING AREA AT DIFFERENT WELDING WAYS

Sharavara L. P., Dmitrukha N. M., Sevalnev A. I.

Abstract. Today welding processes are widely used in technological operations in various industries. One of the dangerous factors in the production environment of welders is the welding aerosol, which may contain ultrafine particles that are more toxic than conventional microparticles.

The aim of the work was to study the content and physical properties of ultrafine particles in the air of the welder's working area for different welding methods. The study of the ultrafine particles content of industrial aerosol in the air of the working area was performed using the NanoScan 3910, which allows to estimate the amount, surface area, volume and concentration of the ultrafine particles in the air.

The obtained data on the presence of ultrafine particles in the air of the working area of welders for different types of welding are as follows: manual arc welding – total concentration of ultrafine particles – 31000 particles/cm³, total surface area – 1.5×10⁹ nm²/cm³, total surface volume – 5.9×10¹⁰ nm³/cm³, total mass concentration – 71.1 μg/m³; welding with a non-fusible electrode (argon) – the total concentration of ultrafine particles – 91000 particles/cm³, the total surface area – 2.8×10⁹ nm²/cm³, the total surface volume – 9.8×10¹⁰ nm³/cm³, the total mass concentration – 117,97 μg/m³; method of mechanized welding with an electrode that melts in a protective gas (carbon dioxide) – the total concentration of ultrafine particles – 66000 particles/cm³, the total surface area – 3.4×10⁹ nm²/cm³, the total surface volume – 1.6×10¹¹ nm³/cm³, the total mass concentration is 191.83 μg/m³.

It has been established that at all investigated methods of welding in air of a working zone the particles of the nanosized range are formed. Ultrafine particles having the smallest size (18 nm) are present during the entire welding process, the larger nanoparticles (35 and 52 nm) have the maximum concentration directly during metal melting.

Key words: ultrafine aerosol, nanoparticles, air of working zone, welder, working conditions.

ORCID кожного автора та їх внесок до статті:

Sharavara L. P.: 0000-0001-9102-3686^{BCD}

Dmitrukha N. N.: 0000-0001-9161-3889^{AEF}

Sevalnev A. A.: 0000-0002-2559-5501^{AEF}

Конфлікт інтересів:

Автори підтверджують, що в даній статті відсутній конфлікт інтересів.

Адреса для кореспонденції

Шаравара Лариса Павлівна

Запорізький державний медичний університет

Адреса: Україна, 69061, м. Запоріжжя, пр. Маяковського 26

Тел.: 099-271-77-57

E-mail: saravalarisa@gmail.com

А – концепція роботи та дизайн, **В** – збір та аналіз даних, **С** – відповідальність за статичний аналіз, **Д** – написання статті, **Е** – критичний огляд, **Ф** – остаточне затвердження статті.

Рецензент – проф. Катрушов О. В.

Стаття надійшла 05.02.2021 року

Стаття прийнята до друку 07.08.2021 року