

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЦИТОТОКСИЧНОСТІ ТВЕРДОЇ СКЛАДОВОЇ ЗВАРЮВАЛЬНИХ АЕРОЗОЛІВ ЗАЛЕЖНО ВІД ВМІСТУ ХРОМУ ШЕСТИВАЛЕНТНОГО

Демешька О. В.¹, Лук'яненко А. О.², Мовчан В. О.¹, Рязанов А. В.¹, Палійчук С. П.¹

¹Державна установа «Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва Національної академії медичних наук України», м. Київ

²Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України, м. Київ

Вступ. Незважаючи на постійне вдосконалення зварювальних матеріалів та технологій, у представників зварювальних професій продовжують реєструвати професійні захворювання. Зварники належать до групи високого ризику захворювання на рак, при цьому одним з найчутливіших параметрів для оцінки ризику є концентрація хрому шестивалентного (Cr (VI)) у зоні дихання зварника.

Мета дослідження – проаналізувати цитотоксичність твердої складової зварювальних аерозолів (ТСЗА), що утворилися при зварюванні високолегованими марками серійних та дослідних електродів, залежно від вмісту Cr (VI).

Матеріали та методи дослідження. Оцінено цитотоксичність ТСЗА, що утворилися при зварюванні високолегованими марками серійних електродів з рутіловим видом покриття (п'ять марок) і дослідними електродами з рутіловим видом покриття (п'ять марок) та різним типом зв'язуючого зі зниженим вмістом Cr (VI). Цитотоксичність оцінювали за допомогою способу експрес-оцінки токсичності зварювальних аерозолів *in vitro*.

Результати. Усі досліджувані зразки ТСЗА виявили цитотоксичну дію *in vitro*. Значення індексу токсичності зразка, який не містив Cr (VI) (дослідний електрод «14-32»), наближались до значення, при якому зразок вважається нетоксичним (66 % і 70–120 % відповідно).

Висновки. Зниження в покритті електродів для зварювання високолегованих хромонікелевих сталей вмісту Cr (VI) дозволяє зменшити рівень виділення в повітря високотоксичного Cr (VI), але суттєво не впливає на цитотоксичність ТСЗА.

Ключові слова: зварники, зварювальні аерозолі, хром шестивалентний, цитотоксичність

Вступ

Професія зварника є однією з найнебезпечніших. Зварювальний процес супроводжує комплекс несприятливих хімічних, фізичних і психофізіологічних чинників, які становлять небезпеку для здоров'я зварників [1]. При цьому складність аналізу наявної інформації щодо характеру та частоти професійної патології в зварників зумовлена розмаїттям і мінливістю умов праці, які суттєво розрізняються не тільки в різних галузях промисловості, але й на окремих ділянках певного підприємства. У той самий час провідна роль у розвитку патологічних змін в організмі зварників належить зварювальному аерозолі (ЗА). Як відомо, у 2017 році Міжнародна Агенція з Вивчення Раку (МАВР) класифікувала ЗА як канцероген I групи [2]. Ризик раку легенів у зварників збільшується як при зварюванні низьковуглецевої, так і нержавіючої сталі.

Незважаючи на постійне вдосконалення зварювальних матеріалів і технологій, а також засобів індивідуального захисту, у представників зварювальних професій продовжують реєструвати професійні захворювання.

Токсиколого-гігієнічні дослідження зварювальних аерозолів, проведені ДУ «Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва НАМНУ» у 1970–1980-х роках, сприяли розробці та впровадженню Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона НАНУ в зварювальне виробництво рутілових електродів зі зниженим вмістом марганцю (< 15 % порівняно з попередніми 20–30 %), що сприяло елімінації марганцевого паркінсонізму в зварників України на початку XXI століття. У 2016 році було розпочато серію токсиколого-гігієнічних досліджень дослідних електродів зі зниженим вмістом шестивалентного хрому (Cr (VI)).

Сполуки Cr (VI) представляють собою велику групу хімічних речовин з різними властивостями,

областю застосування й рівнями впливу на робочому місці.

Cr (VI) використовується в багатьох галузях промисловості. Зокрема, його впливу можуть зазнавати зварники, що займаються зварюванням вуглецевої та нержавіючої сталі; сталевари на металургійних заводах; працівники, зайняті у гальванічних, консервних і фарбувальних галузях промисловості.

Cr (VI) шкідливий для очей, шкіри та органів дихання; він є добре відомим професійним канцерогеном, асоційованим із раком легенів, носа та носових пазух. Рівень впливу залежить від дози, тривалості та виконуваної роботи. При цьому зварники є одним з основних контингентів, що зазнають на робочому місці впливу високих концентрацій сполук Cr (VI).

У 1989 році МАВР дійшла висновку, що «у людей достатньо доказів канцерогенності сполук Cr (VI), який застосовується у виробництві хроматів, хромових пігментів та промислового хромування», і віднесла їх до канцерогенів групи 1. Сполуки Cr (VI) були підтверджені як канцероген групи I (орган-мішень – легені) у 2009 році [3]. При цьому так звані «незлюкисні» респіраторні ефекти сполук Cr (VI) включають подразнення, виразки або перфорації носової перетинки.

Епідеміологічні дослідження сполук хрому продемонстрували сильний зв'язок між впливом Cr (VI) і смертністю від раку легенів, а також позитивні асоціації з раком носа та носової порожнини [4]. Назальні симптоми, такі як подразнення носа, виразка та перфорація носової перетинки, а також гіпертрофія є важливими ознаками для ранньої діагностики раку легень, носа та носових пазух у осіб із професійним анамнезом експозиції Cr (VI).

Також було показано, що зварники належать до групи високого ризику захворювання на рак. Найчутливішими параметрами для оцінки ризику є концентрації хрому та нікелю в зоні дихання зварника. Статистично значущими детермінантами концентрацій Cr (VI), оксидів Ni та розчинного Ni є нержавіюча сталь як основний метал і присадні метали для зварювання (SMAW), а також зварювання неплавким вольфрамовим електродом у середовищі інертного газу (GTAW) [5].

Мета дослідження – проаналізувати цитотоксичність твердої складової зварювальних аерозолів (ТСЗА), що утворились при зварюванні високолегованими марками серійних і дослідних електродів, залежно від вмісту Cr (VI).

Матеріали та методи дослідження

Для відбирання проб ТСЗА використовували серійні та дослідні марки зварювальних електродів (надані виробниками для проведення токсиколого-гігієнічних досліджень). Досліджено ТСЗА, що утворилася при зварюванні високолегованими марками серійних електродів з рутиловим видом покриття (п'ять марок) та дослідними електродами з рутиловим видом покриття (п'ять марок) зі зниженим вмістом Cr (VI).

Відбирання проб ЗА для розчинення здійснювали згідно зі стандартом «ДСТУ ISO 15011-1:2008. Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів, утворених під час дугового зварювання. Частина 1. Визначення рівня виділень і відбір проб для аналізу мікрочастинок аерозолів» методом повного уловлювання аерозолу, що утворюється під час зварювання за допомогою спеціального стенду з фільтром ФПП, встановленого на шляху руху ЗА з укриття зони зварювання.

Цитотоксичність оцінювали за допомогою способу експрес-оцінки токсичності ЗА *in vitro* на підставі експериментально визначеного індексу цитотоксичності (I_t) за методикою експрес-оцінки токсичності ЗА *in vitro* на серійному аналізаторі АТ-05 [6].

Результати дослідження та їх обговорення

Усі досліджувані зразки ТСЗА виявили цитотоксичну дію *in vitro*. Значення I_t зразка, який не містив Cr (VI) (дослідний електрод «14-32») становило 66 %, що наближалось до значення, при якому зразок вважається нетоксичним (70–120 %) (табл. 1, 2).

Зокрема, відсутня як лінійна, так і експоненціальна залежність I_t ТСЗА дослідних зразків від вмісту Cr (VI) (рисунок). Слід зазначити, що застосування даного скринінгового методу в практиці санітарно-гігієнічної оцінки зварювальних електродів не дозволяє зробити однозначний висновок щодо залежності токсичності ТСЗА від вмісту в покритті Cr (VI), оскільки на токсичність ТСЗА також впливають й інші складові покриття електродів (нікель, марганець, розчинні фториди тощо). Зокрема, Cr (VI), нікель та інші компоненти ТСЗА можуть незалежно вносити вклад в надлишковий ризик раку легенів, пов'язаний зі зварюванням, однак кількісна оцінка впливу залишається складним завданням [7].

Таблиця 1

Гігієнічна характеристика зварювальних аерозолів, що утворюються в разі застосування серійних електродів для зварювання високолегованих сталей, та індекс токсичності твердої складової зварювальних аерозолів (I_t , %)

| Марка електрода | I_t , % | Масова частка основних компонентів зварювальних аерозолів, % | | | | | |
|-----------------|-----------|--------------------------------------------------------------|------------------|------|------|-----------------|-----------------|
| | | Cr ⁶⁺ | Cr ³⁺ | Ni | Mn | F _{p-} | F _{H-} |
| ОЗЛ-8 | 51,0 | 3,80 | 4,25 | 0,49 | 3,30 | 4,94 | 5,70 |
| АНВ-66 | 49,0 | 3,45 | 4,52 | 0,50 | 4,16 | 6,96 | 3,41 |
| ОЗЛ-6 | 46,9 | 4,01 | 4,30 | 0,90 | 2,36 | 5,57 | 4,50 |
| ЭА-400/10у | 42,7 | 3,92 | 2,40 | 1,44 | 4,14 | 4,41 | 5,59 |
| ЦУТ-11 | 33,3 | 4,61 | 2,49 | 2,44 | 2,93 | 4,77 | 4,87 |

Таблиця 2

Гігієнічна характеристика зварювальних аерозолів, що утворюються в разі застосування електродів для зварювання високолегованих сталей, та індекс токсичності твердої складової зварювальних аерозолів (I_t , %)

| Марка електрода | I_t , % | Масова частка основних компонентів зварювальних аерозолів, % | | | | | |
|-----------------|-----------|--------------------------------------------------------------|------------------|------|------|-----------------|-----------------|
| | | Cr ⁶⁺ | Cr ³⁺ | Ni | Mn | F _{D-} | F _{H-} |
| 14-25 | 31,3 | 1,96 | 2,62 | 1,47 | 4,81 | 11,68 | 1,30 |
| 14-26 | 18,8 | 1,77 | 2,67 | 1,38 | 5,27 | 10,24 | 1,69 |
| 14-27 | 22,8 | 1,44 | 2,82 | 1,29 | 5,69 | 10,35 | 1,88 |
| 14-30 | 29,0 | 0,89 | 3,04 | 1,62 | 5,73 | 11,65 | 1,34 |
| 14-32 | 66,2 | не виявл. | 3,91 | 1,39 | 5,20 | 5,76 | 1,56 |

Натепер ЗА не мають межі професійного впливу [8]. На робочому місці головний наголос робиться на регулювання впливу найтоксичніших металів, що містяться в ТСЗА (тобто, хрому або нікелю).

Внесок хрому в зоні дихання зварника проявляється не тільки загальнотоксичними порушеннями в організмі, але й змінами імунологічної реактивності, сенсibiliзацією організму, а також канцерогенними ефектами. На підставі результатів кількісної оцінки ризиків Національний Інститут профе-

сійної безпеки та здоров'я (NIOSH) США рекомендує обмежити вплив усіх сполук Cr (VI) у повітрі до концентрації 0,2 мкг/м³ для 8-год щоденної експозиції протягом 40-год робочого тижня [9]. Рекомендований рівень впливу (REL) призначений для зменшення ризику розвитку раку легенів у працівників, що пов'язаний із професійним впливом сполук Cr (VI) протягом 45-річного стажу. Загалом, ризик смерті від раку легенів протягом життя становить 6 на 1000 працівників у разі вмісту Cr (VI) у

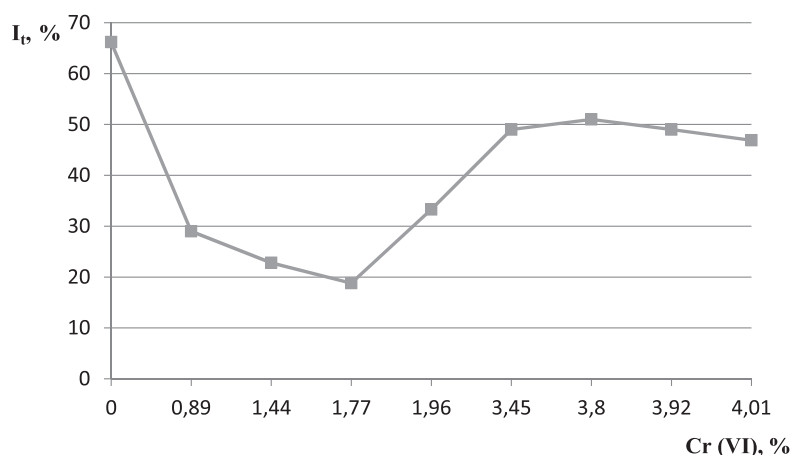


Рисунок. Залежність показника індексу токсичності (I_t) від масової частки хрому шестивалентного Cr (VI)

повітрі робочої зони на рівні 1 мкг/м^3 (попередній рівень експозиції, рекомендований NIOSH), та приблизно 1 на 1000 працівників у разі $0,2 \text{ мкг/м}^3$ (переглянутий рівень експозиції, рекомендований NIOSH) [10].

Очікується, що зниження концентрації Cr (VI) у повітрі робочої зони також сприятиме зменшенню частоти незлоякісних респіраторних ефектів сполук хрому, у тому числі виразки або перфорування носових перегородок та інших потенційних несприятливих наслідків для здоров'я.

При цьому NIOSH рекомендує продовжувати зусилля щодо зниження впливу сполук Cr (VI) нижче REL [9]. Також NIOSH рекомендує роботодавцям вжити заходів для захисту здоров'я працівників, які зазнали впливу сполук Cr (VI), у рамках комплексної програми безпеки та гігієни праці, включаючи інформування про небезпеку, програми захисту органів дихання, припинення куріння та медичний моніторинг.

В Україні ГДК для сполук Cr (VI) (у перерахунку на CrO_3) у повітрі робочої зони залишається $0,01 \text{ мг/м}^3$. При цьому хромати та біхромати відносяться до I класу небезпеки, а за особливістю дії на організм – алергенами та канцерогенами. Встановлено, що при ручному дуговому зварюванні

високолегованих і неіржавіючих сталей електродами астенітного типу вміст Cr (VI) у зоні дихання може досягати $0,3 \text{ мг/м}^3$ і більше (ГДК $0,01 \text{ мг/м}^3$), Cr (III) – 5 мг/м^3 (ГДК 1 мг/м^3) [1].

Вочевидь, роботодавцям необхідно постійно контролювати повітря робочої зони, зокрема, зону дихання зварника, за необхідності застосовуючи такі методи управління ризиком, як виробнича вентиляція, зменшення часу роботи, використання засобів індивідуального захисту.

Висновки

Зниження вмісту Cr (VI) у покритті електродів для зварювання високолегованих хромонікелевих сталей дозволяє зменшити рівень виділення в повітря Cr (VI), що має сприяти зниженню професійного ризику розвитку онкологічної патології в електрозварників. У той самий час не виявлено прямої залежності між індексом цитотоксичності ТСЗА та вмістом Cr (VI) у покритті електродів для зварювання високолегованих хромонікелевих сталей. При цьому слід враховувати, що на цитотоксичність ТСЗА також можуть впливати й інші складові покриття зварювальних електродів (нікель, марганець, розчинні фториди тощо).

21/01, G01N 33/48; заявл. 29.03.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20.

7. Pesch B., Kendzia B., Pohlabeln H., Ahrens W. Exposure to Welding Fumes, Hexavalent Chromium, or Nickel and Risk of Lung Cancer. *Am J Epidemiol*. 2019. V. 188 (11). P. 1984–1993. <https://doi.org/10.1093/aje/kwz187>.

8. Falcone L. M., Erdely A., Salmen R., Keane M. Pulmonary toxicity and lung tumorigenic potential of surrogate metal oxides in gas metal arc welding-stainless steel fume: Iron as a primary mediator versus chromium and nickel. *PLoS One*. 2018. V. 13 (12): e0209413. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209413>.

9. Criteria for a Recommended Standard. Occupational Exposure to Hexavalent Chromium. DHHS (NIOSH) Publication No. 2013–128 (Revised with minor technical changes) September 2013. URL: https://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-128/pdfs/2013_128.pdf (дата звернення 02.03.2020).

10. Park R. M., Bena J. F., Stayner L. T. et al. Hexavalent chromium and lung cancer in the chromate industry: a quantitative risk assessment. *Risk Anal*. 2004. V. 24 (5). P. 1099–1108. <https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00512.x>.

Література

1. Лубянова И. П. Избыточное железо и патология у рабочих сварочных профессий; за ред. Ю. И. Кундиева. Киев : ВД «Авіцена», 2013. 238 с.

2. Guha N., Loomis D., Guyton K. Z. et al. Carcinogenicity of welding, molybdenum trioxide, and indium tin oxide. *The Lancet Oncology*. 2017. V. 18 (5). P. 581–582. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30255-3](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30255-3).

3. Straif K., Benbrahim-Tallaa L., Baan R. et al. A review of human carcinogens-Part C: metals, arsenic, dusts, and fibres. *The Lancet Oncology*. 2009. V. 10 (5). P. 453–454. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(09\)70134-2](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(09)70134-2).

4. Yatera K., Morimoto Y., Ueno S. et al. Cancer Risks of Hexavalent Chromium in the Respiratory Tract. *J UOEH*. 2018. V. 40 (2). P. 157–182. <https://doi.org/10.7888/juoh.40.157>.

5. Yang S. Y., Lin J. M., Lin W. Y., Chang C. W. Cancer risk assessment for occupational exposure to chromium and nickel in welding fumes from pipeline construction, pressure container manufacturing, and shipyard building in Taiwan. *J Occup Health*. 2018. V. 60 (6). P. 515–524. <https://doi.org/10.1539/joh.2018-0075-FS>.

6. Спосіб експрес-оцінки токсичності зварювальних аерозолів *in vitro*. Пат. 110801Україна : МПК: G01N

Демешкая А. В.¹, Лукьяненко А. А.², Мовчан В. А.¹, Рязанов А. В.¹, Палийчук С. П.¹

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЦИТОТОКСИЧНОСТИ ТВЕРДОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ХРОМА ШЕСТИВАЛЕНТНОГО

¹Государственное учреждение «Институт медицины труда имени Ю. И. Кундиева Национальной академии медицинских наук Украины», г. Киев

²Институт электросварки им. Е. А. Патона Национальной академии наук Украины, г. Киев

Введение. Несмотря на постоянное совершенствование сварочных материалов и технологий, у представителей сварочных профессий продолжают регистрировать профессиональные заболевания. Сварщики относятся к группе высокого риска заболевания раком, при этом одним из самых чувствительных параметров для оценки риска является концентрация хрома шестивалентного (Cr (VI) в зоне дыхания сварщика.

Цель исследования – проанализировать цитотоксичность твердой составляющей сварочных аэрозолей (ТСЗА), образовавшихся при сварке высоколегированными марками серийных и опытных электродов, в зависимости от содержания Cr (VI).

Материалы и методы исследования. Оценена цитотоксичность ТСЗА, образовавшихся при сварке высоколегированными марками серийных электродов с рутиловым видом покрытия (пять марок) и опытными электродами с рутиловым видом покрытия (пять марок) и различным типом связующего с пониженным содержанием Cr (VI). Цитотоксичность оценивали с помощью метода экспресс-оценки токсичности сварочных аэрозолей *in vitro*.

Результаты. Все исследуемые образцы ТСЗА обнаружили цитотоксическое действие *in vitro*. Значение индекса токсичности образца, который не содержал Cr (VI) (опытный электрод «14–32»), приближалось к значению, при котором образец считается нетоксичным (66 % и 70–120 % соответственно).

Выводы. Снижение содержания Cr (VI) в покрытии электродов для сварки высоколегированных хромоникелевых сталей позволяет уменьшить уровень выделения в воздух высокотоксичного Cr (VI), но существенно не влияет на цитотоксичность ТСЗА.

Ключевые слова: сварщики, сварочные аэрозоли, хром шестивалентный, цитотоксичность

Demetska O. V.¹, Lukyanenko A. O.², Movchan V. A.¹, Ryazanov A. V.¹, Palichuk S. P.¹

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF CYTOTOXICITY OF SOLID COMPONENT OF WELDING FUMES, DEPENDING ON THE HEXAVALENT CHROMIUM CONTENT

¹State Institution «Kundiiev Institute of Occupational Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv

²E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Introduction. Despite the continuous improvement of welding materials and technologies, occupational diseases continue to be registered in representatives of welding professions. Welders are at high risk for cancer and, in this, one of the most sensitive parameters for risk assessment is the concentration of chromium hexavalent (Cr (VI) in the breathing zone of welders.

The purpose of the research – to analyze the cytotoxicity of a solid component of welding fumes (SCWF) in welding with high-alloyed grades of serial and tested electrodes, depending on the Cr (VI) content.

Materials and methods of the research. The cytotoxicity of SCWF formed in welding with high-alloyed grades of serial electrodes with a rutile coating (five marks) and experimental electrodes with a rutile coating (five marks) and different type of a binder with the reduced content of Cr (VI) was evaluated. It was assessed by the method of rapid assessment of the toxicity of welding fumes *in vitro*.

Results. All samples of welding fumes' solid component showed cytotoxic effects *in vitro*. The toxicity index value of a sample that did not contain Cr (VI) (test electrode «14–32»), approached the value in which the sample was considered non-toxic (66 % and 70–120 % respectively).

Conclusion. The decrease of Cr (VI) content in the coating of electrodes for welding with high-alloyed chromium-nickel steels allows to reduce the level of the release of highly toxic Cr (VI) in the air, but does not significantly affect the cytotoxicity of SCWF.

Key words: welders, welding fumes, hexavalent chromium, cytotoxicity

References

1. Lubyanova I. P. (2013), Izbytochnoye zhelezo i patologiya u rabochikh svarochnykh professiy [Excess iron and pathologies in welding professions], Avicenna, Kiev, Ukraine.

2. Guha N., Loomis D., Guyton K. Z. et al. (2017), «Carcinogenicity of welding, molybdenum trioxide, and indium tin oxide», *The Lancet Oncology*, 18 (5), 581–582. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30255-3](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30255-3).

3. Straif K., Benbrahim-Tallaa L., Baan R. et al. (2009), «A review of human carcinogens-Part C: metals, arsenic,

dusts, and fibres», *The Lancet Oncology*, 10 (5), 453–454. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(09\)70134-2](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(09)70134-2).

4. Yatera K., Morimoto Y., Ueno S. et al. (2018), «Cancer Risks of Hexavalent Chromium in the Respiratory Tract», *J UOEH*, 40 (2), 157–172. <https://doi.org/10.7888/juoeh.40.157>.

5. Yang S. Y., Lin J. M., Lin W. Y., Chang C. W. (2018), «Cancer risk assessment for occupational exposure to chromium and nickel in welding fumes from pipeline construction, pressure container manufacturing, and shipyard building in Taiwan», *J Occup Health*, 60 (6), 515–524. <https://doi.org/10.1539/joh.2018-0075-FS>.

6. Sposib ekspres-otsinky toksychnosti zvaryuvavlynykh aeroliziv *in vitro* (2016), [Method for express evaluation of toxicity of inert aerosol in vitro] State Register of Patents of Ukraine, Kyiv, Pat. No. 110801 Ukraine: IPC: G01N 21/01, G01N 33/48; declared 03/29/2016; publ. 10/25/2016, Bull. Number 20.

7. Pesch B., Kendzia B., Pohlabeln H., Ahrens W. (2019), «Exposure to Welding Fumes, Hexavalent

Chromium, or Nickel and Risk of Lung Cancer», *Am J Epidemiol*, 188 (11), 1984–1993. <https://doi.org/10.1093/aje/kwz187>.

8. Falcone L. M., Erdely A., Salmen R., Keane M. (2018), «Pulmonary toxicity and lung tumorigenic potential of surrogate metal oxides in gas metal arc welding-stainless steel fume: Iron as a primary mediator versus chromium and nickel», *PLoS One*, 13 (12): e0209413. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209413>.

9. Criteria for a Recommended Standard. Occupational Exposure to Hexavalent Chromium. (2013), DHHS (NIOSH) Publication No. 2013–128 (Revised with minor technical changes). URL: https://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-128/pdfs/2013_128.pdf

10. Park R. M., Bena J. F., Stayner L. T. et al. (2004), «Hexavalent chromium and lung cancer in the chromate industry: a quantitative risk assessment», *Risk Anal*, 24 (5), 1099–1108. <https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00512.x>.

ORCID ID співавторів та їхній внесок у підготовку та написання статті:

- Демецька О. В. (ORCID ID 0000-0002-8174-7813) – ідея дослідження, аналіз результатів дослідження, висновки;
Лук'яненко А. О. (ORCID ID 0000-0002-0632-4984) – відбір зварювальних електродів для дослідження, аналіз результатів дослідження, висновки;
Мовчан В. О. (ORCID ID 0000-0002-6712-7976) – оцінка цитотоксичності зразків ТСЗА на аналізаторі АТ-05, аналіз результатів дослідження;
Рязанов А. В. (ORCID ID 0000-0003-1389-7665) – оцінка цитотоксичності зразків ТСЗА на АТ-05, аналіз результатів дослідження;
Палійчук С. П. (ORCID ID 0000-0001-9906-6525) – відбір проб ЗА та визначення рівня виділень, аналіз результатів дослідження.

Інформація щодо джерел фінансування дослідження: дослідження виконано в рамках НДР «Розробка наукових підходів щодо експрес-оцінки небезпеки нанорозмірних складових зварювальних аерозолів», № держреєстрації 0119U100267.

Надійшла: 6 березня 2020 р.

Прийнята до друку: 20 квітня 2020 р.

Контактна особа: Демецька Олександра Віталіївна, лабораторія медико-біологічних критеріїв професійних впливів та гігієни праці у зварювальному виробництві, ДУ «Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва НАМНУ», буд. 75, вул. Саксаганського, м. Київ, 01033. Тел. : + 38 0 50 637 81 08. Електронна пошта: dalexandra@ukr.net