

ГІГІЄНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВІТРЯ РОБОЧОЇ ЗОНИ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ МІДІ ТА ЇЇ СПЛАВІВ (Огляд)

О. М. Безушко¹, О. Г. Левченко², Т. Б. Майданчук¹, А. О. Лук'яненко¹, О. М. Гончарова¹

¹ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського». 03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

E-mail: mail@kpi.ua

Приведено літературний огляд шкідливих речовин, що утворюються під час дугового зварювання міді та її сплавів. Розглянуто літературні дані про дослідження виділень зварювальних аерозолів при зварюванні міді та мідних сплавів. Показано, що для створення нових марок зварювальних матеріалів, які б задовольняли не тільки їх зварювально-технологічні, а й санітарно-гігієнічні характеристики, необхідно продовжити дослідження хімічного складу і рівнів виділень зварювальних аерозолів з використанням сучасних стандартизованих міжнародних методик. Бібліогр. 13, табл. 1.

Ключові слова: мідь, зварювання, латуні, бронзи, зварювальний аерозоль, шкідливі речовини, токсичність

За обсягом світового виробництва і споживання мідь та її сплави займає третє місце після заліза і алюмінію. Такий широкий попит пов'язаний з властивостями даного металу та його сплавів [1]. Мідь – пластичний метал з високою теплопровідністю і низьким електроопором, мідні сплави мають високі антифрикційні властивості, а також високу корозійну стійкість, в тому числі в морській воді. Це визначає широке застосування міді та її сплавів в електротехнічній та хімічній промисловості, в суднобудуванні і криогенній техніці, у приладобудуванні, металургійній промисловості та інших галузях виробництва. Найбільш широкоживаними способами зварювання та наплавлення міді та її сплавів є дугові види зварювання (ручне дугове зварювання покритими електродами (ММА), зварювання в захисних газах TIG та MIG, зварювання під флюсом SAW). Застосування даних процесів пов'язано з шкідливими та небезпечними виробничими факторами, які діють на зварника.

Незважаючи на значно нижчі показники виділень шкідливих речовин [2] при зварюванні в захисних газах TIG, MIG та особливо під флюсом (SAW), найчастіше в промисловості застосовується процес ручного дугового зварювання покритими електродами (ММА), який супроводжується значним виділенням зварювального аерозолу (ЗА) в зону дихання зварника (при ручному дуговому зварюванні покритими електродами алюмінієвої бронзи питомі виділення аерозолу вище в 2...4 рази, а вміст оксидів марганцю вище в 1,5...2,0 рази, ніж при механізованому зварюванні в середовищі аргону [3]). У ЗА можуть бути присутні такі хімічні елементи як мідь, оксиди марганцю, фториди,

алюміній, оксиди цинку, свинець, фосфор, аміак та інші. ЗА має подразнюючу дію на організм людини і в певних випадках може викликати онкологічні захворювання. Зокрема фториди та оксиди марганцю викликають запалення слизової оболонки та нервові розлади, свинець – нудоту, шлункові, кишкові, нервові та ниркові хвороби, мідь лихоманку металевого диму, оксиди алюмінію накопичуються в легенях, оксиди нікелю викликають рак дихальних шляхів [4].

Метою цієї роботи є аналіз існуючих даних про шкідливі речовини, що забруднюють повітря виробничих приміщень під час дугового зварювання і наплавлення міді та її сплавів покритими електродами.

Виконання заходів поліпшення умов праці робітників зварювального виробництва базується на аналізі даних про хімічний склад, рівні виділень і токсичність ЗА. Для цього проводиться первинна санітарно-гігієнічна оцінка зварювальних матеріалів методом уловлювання ЗА і визначення їх кількості та хімічного складу. При цьому використовують такі санітарно-гігієнічні показники, як інтенсивність утворення (г/хв) і питоме виділення ЗА (г/кг зварювального матеріалу). Крім того, для оцінювання токсичності ЗА чи ступеня впливу на організм використовують такі показники: гранична допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин, необхідний об'єм повітря для розбавлення до ГДК, виражений в м³/год (в одиницю часу) за міжнародною методикою [5]. У вітчизняній практиці використовують показник повітрообміну загальною обмінною вентиляції (тобто об'єм повітря, яке необхідно подати у виробниче приміщення

Безушко О.М. – <https://orcid.org/0000-0002-6148-1675>, Левченко О.Г. – <https://orcid.org/0000-0002-9737-7212>

Майданчук Т.Б. – <https://orcid.org/0000-0002-2826-8514>, Лук'яненко А.О. – <https://orcid.org/0000-0002-0632-4984>

Гончарова О.М. – <https://orcid.org/0000-0002-5213-6300>

© О.М. Безушко, О.Г. Левченко, Т.Б. Майданчук, А.О. Лук'яненко, О.М. Гончарова, 2021

для розбавлення шкідливих речовин ЗА до ГДК), виражений в м³/кг зварювального матеріалу.

Відомості про виділення ЗА і газів при дугово-му зварюванні міді, бронзи, латуні, а також мідно-нікелевих сплавів дуже обмежені, а узагальнені дані відсутні. ГДК деяких шкідливих хімічних елементів, які можуть бути у складі ЗА, що утворюються при дуговому зварюванні міді та її сплавів, наведено в таблиці. Ці дані необхідні для розрахунків необхідного повітрообміну механічної вентиляції.

Покриті електроди для зварювання міді виготовляються з витягнутого (холоднодеформованого) дроту або круглих витягнутих і пресованих прутків. Хімічний склад зварювального дроту та прутків з міді й сплавів на мідній основі, що регламентуються стандартом [6], залежно від марки може мати різну кількість легуючих елементів та домішок (Si, Mn, Ag, Cr, Bi, Sb, As, Fe, Ni, Pb, Sn, Zn, S, P, O₂). При зварюванні міді найбільш широким застосуванням є електроди марки «Комсомолец-100». Основною токсичною складовою ЗА, яка визначає необхідний повітрообмін, є марганець. За ступенем впливу на організм людини марганець відноситься до 2-го класу небезпеки, тобто є високотоксичним. Вміст оксидів марганцю (в перерахунку на Mn) у ЗА при розплавлен-

ні електродів «Комсомолец-100» складає 3,9 г/кг, а гранично допустима концентрація в повітрі робочої зони – 0,3 мг/м³. Згідно з гігієнічними регламентами хімічних речовин у повітрі робочої зони [7] гранично допустима концентрація міді і її оксидів в повітрі на рівні органів дихання не повинна перевищувати 1 мг/м³. Кількість повітря, необхідного для розчинення аерозолу до ГДК при зварюванні електродами «Комсомолец-100» повинна бути не менше 13000 м³/кг.

Широке застосування в промисловості знаходять бронзи: алюмінієві (4,0...11,5 % Al), олов'яні (2...10 % Sn) [8, 9], марганцеві (4,5... 5,5 % Mn), кремнієві (0,5...3,5 % Si), берилієві (1,9...2,2 % Be) та хромисті (0,4...1% Cr).

У роботі [3] наведено результати випробувань електродів для зварювання складнолегованих бронз системи Cu–Al–Ni–Mn–Fe. Випробовувалися дві марки електродів ЛКЗ-АБ й ЛКЗ-АБН. Електроди марок ЛКЗ-АБ і ЛКЗ-АБН відрізняються між собою тим, що перші виготовляються зі стрижнями з катаних прутків бронзи БрАНМцЖ8-3-4-1, а другі зі стрижнями з дроту БрАМц9-2, при цьому легування наплавленого металу нікелем і залізом проводиться через покриття. Питомі виділення аерозолу при легуванні

ГДК шкідливих газів і аерозолів у повітрі зварювальних цехів при дуговому зварюванні міді та її сплавів [7]

Номер п/п	Назва речовини	Величина ГДК, мг/м ³	Переважаючий стан в умовах виробництва	Клас небезпеки	Особливості дії на організм
1	Діоксид азоту	2	п	3	О
2	Оксид азоту	5	п	3	О
3	Озон	0,1	п	1	О
4	Солі фтористоводневої кислоти (за F): фториди Al, Mg, Ca, Cu, Sr	2,5/0,5	а	3	
5	Марганець в ЗА при його вмісту:				
	а) до 20 %	0,2	а	2	
	б) від 20 %	0,1	а	2	
6	Оксиди марганцю (в перерахунку на MnO ₂):				
	а) аерозоль дизентиграції	0,3	а	2	
	б) аерозоль конденсації	0,05	а	1	
7	Нікель, оксиди нікелю, сульфід і суміші з'єднань нікеля	0,05	а	1	К, А
8	Фтористий водень (в перерахунку на F)	0,5/0,1	п	1	О
9	Мідь	1/0,5	а	2	
10	Оксид магнію	4	а	4	
11	Оксид цинку	0,5	а	2	
12	Алюміній та його сплави (в перерахунку на Al)	2	0	3	Ф
13	Берилій та його з'єднання (в перерахунку на Be)	0,001	а	1	К, А
14	Свинець і його неорганічні з'єднання (по свинцю)	0,01/0,005	а	1	

Примітка. 1. Якщо в графі «Величина ГДК» наведені дві величини, це означає, що в чисельнику максимальна, а в знаменнику – середньозмінна ГДК. 2. Умовні позначення: п – пари і/або газу; а – аерозоль; а+п – суміш парів і аерозолів. 3. О – речовини з гостро направленим механізмом дії, що потребують автомеханічного контролю за їх вмістом в повітрі. А – речовини, здатні викликати алергічні захворювання у виробничих умовах. К – канцерогени. Ф – аерозолі переважно фіброгенної дії.

наплавленого металу через покриття (електроди ЛКЗ-АБН) в 2 рази більше, ніж без легування (електроди ЛКЗ-АБ). Тому застосування електродів з легуючими покриттями при зварюванні і наплавленні бронз з санітарно-гігієнічного боку недоцільно. Випробовувалися також дві марки електродів: для зварювання бронзи «Ніколіум» (БрАНЖМц9-5-4-1,5) та для зварювання бронзи «Суперстон» (БрАМцЖН8-12-3-2). Стрижні електродів виготовлялися з прутків однакового складу з основним металом (відповідно), а на стрижні наносилось покриття основного виду. Слід зазначити, що незважаючи на наявне розходження в складі електродних стрижнів БрАНМцЖ8-3-4-1 й БрАНЖМц9-5-4-1,5 та застосованих режимів зварювання, отримані приблизно однакові середні значення загального виділення ЗА (21,3 та 25,0 г/кг).

Дослідження санітарно-гігієнічних характеристик електродів, розроблених Санкт-Петербурзьким державним технічним університетом для зварювання алюмінієвих складнолегованих бронз (марок ЛПІ-73, ЛПІ-48-АБ2, ЛПІ-13, ЛПІ-ЛКЗ-АЦ та ЛПІ-ЛКЗ-АЦК), проведені лабораторією гігієни праці та ергономіки Науково-дослідного інституту охорони праці [3]. Слід зазначити, що питомі виділення ЗА при зварюванні усіма випробуваними марками електродів складають 18...25 г/кг, тобто змінюються у відносно невеликих межах незважаючи на істотні відмінності у складі і виді покриттів, а також застосованих режимів зварювання. Виняток становлять електроди марки ЛКЗ-АБН, в яких легування наплавленого металу нікелем і залізом здійснюється через покриття, при цьому питомі виділення аерозолу досягають 40 г/кг, тобто збільшуються в 1,5...2,0 рази. Необхідність легування металу зварних швів і наплавлень через стрижні електродів, а не через покриття для зниження рівня утворення зварювального аерозолу та покращення санітарно-гігієнічних характеристик електродів для ручного дугового зварювання не тільки кольорових, але і чорних металів рекомендується в роботі [3].

Отримані результати гігієнічної оцінки електродів для зварювання алюмінієвих бронз з нелегуючим покриттям дозволяють зробити висновок, що середнє значення питомих виділень аерозолу становить 20 г/кг витрачених електродів. Великі розбіжності щодо концентрації зварювального аерозолу (ЗА) обумовлені різними місцями відбору проб (перед щитком і під щитком зварника), що робить їх несумісними.

За результатами гігієнічної оцінки електродів марки ЛПІ-73 на предмет обґрунтування гігієнічного сертифіката наведено такі дані по концентрації зварювального аерозолу в робочій зоні (мг/м³):

– при вимкненій вентиляції перед щитком зварника – 111,1, а під щитком зварника – 54,6;

– при роботі місцевої витяжної вентиляції перед щитком зварника – 15,7, а під щитком зварника – 3,1.

Порівняння результатів концентрації аерозолу, який виділяється при зварюванні електродами з бронз «Суперстон» і «Ніколіум», дозволяє припустити, що проби пилу відбиралися під щитком зварника при вимкненій витяжній вентиляції, при цьому отримані результати приблизно однакові (мг/м³): електроди ЛПІ-73 – 54,6; електроди «Суперстон» – 39,0; електроди «Ніколіум» – 41,0.

Дугове зварювання латуней покритими електродами відрізняється особливо несприятливими санітарно-гігієнічними умовами через випаровування цинку. За ступенем впливу на організм людини окис цинку відноситься до 2-го класу небезпеки, тобто є небезпечною речовиною. Відповідно до вимог гранично допустима концентрація ZnO в повітрі робочої зони не повинна перевищувати 0,5 мг/м³. Разом з цим питомі виділення аерозолів і газів при дуговому зварюванні латуней досліджені значно менше, ніж при зварюванні інших кольорових металів (наприклад, бронз і алюмінієвих сплавів) і такі дані в довідковій і технічній літературі практично відсутні. Відзначено, що сумарне виділення аерозолу при зварюванні латунними електродами, стрижні яких виготовлені з латуні марки ЛМцЖ55-3-1 досягає 211 г/кг розплавлених електродів (покриття і режим зварювання не вказані). Це в 5 разів більше, ніж при зварюванні сталей найбільш токсичними електродами з покриттями кислого виду (до 40 г/кг) та в 10...20 разів більше, ніж при зварюванні електродами з покриттями основного, целюлозного і рутилового видів (10...20 г/кг). Цілком очевидно, що це переважно обумовлено випаровуванням цинку, температура кипіння якого (907 °С) близька до температури плавлення латуні.

Висока частка участі оксидів цинку у складі ЗА, що утворюється при дуговому зварюванні латуні підтверджується даними роботи [3]. Навіть при азотно-дуговому зварюванні латуні Л90 з міддю М3р неплавким вольфрамовим електродом з використанням присадкового дроту БрКМц3-1 загальна кількість виділеного аерозолу склала 48 г/кг, а вміст оксиду цинку в ньому (ZnO) 13,9 г/кг, тобто 30 %. Слід враховувати, що така велика кількість ZnO у складі аерозолу утворилася при розплавленні тільки основного металу. За розрахунками авторів для доведення вмісту токсичних елементів до гранично допустимої концентрації, питомий повітрообмін у даному випадку повинен становити 27 200 м³/кг. При розплавленні латунних електродів і основного металу

загальна кількість, що утворюється, аерозолі і вміст у ньому ZnO збільшується в кілька разів. Тому відповідно слід збільшити необхідний повітрообмін припливно-витяжної вентиляції для забезпечення ГДК.

Проводились дослідження санітарно-гігієнічних характеристик електродів марок ЛПІ-ЛКЗ-АЦ та ЛПІ-ЛКЗ-АЦК, призначених для зварювання бронзи з високою демпфуючою здатністю системи $Cu-Al-Zn$ (БрАЦКЖ8-6-0,3-0,3). Стрижні електродів марки ЛПІ-ЛКЗ-АЦ виготовляються з прутків однакового складу з основним металом, що містить в середньому 6 % цинку. Стрижні електродів ЛПІ-ЛКЗ-АЦК виготовляються з бронзи БрАМц9-2, на які наноситься нелеговане покриття, а цинк вводиться в наплавлений метал через спіраль або оболонку з латуні Л63 або ЛК62-0,5, надіту на покриту частину електрода. Гігієнічна оцінка аерозолів обох марок електродів проводилася за вмістом в них оксидів міді і цинку (загальна запиленість не визначалась).

Відносно низькі температури плавлення і кипіння цинку при дуговому зварюванні покритими електродами (420 та 907 °С відповідно) призводять до його втрат на ЗА і розбризкування на стадії краплі від 30 до 60 %. Це обумовлено високим вмістом оксиду цинку в ЗА (9...11 г/кг), що утворюється. При цьому вміст оксидів міді в ЗА при зварюванні електродами марок ЛПІ-ЛКЗ-АЦ та ЛПІ-ЛКЗ-АЦК становить 6,1...6,5 г/кг, тобто знаходиться на рівні вмісту оксидів міді в аерозолі, що виділяється при зварюванні електродами марок ЛКЗ-АБ та ЛКЗ-АБН (5,25...7,55 г/кг).

У технічній літературі мало інформації про санітарно-гігієнічні характеристики дугового зварювання олов'яних бронз. В ІЕЗ ім. Е.О. Патона розроблено електроди марки АНБО [10–12]. Їх покриття має специфічний склад, пов'язаний з наявністю в ньому хімічно активних по відношенню до зв'язуючого (рідкого скла) складових солей натрію (гексафторсілікату, гексафторалюмінату та фторидів), а також нетрадиційних металевих складових (олов'яних, мідно-фосфористих порошоків). Для дослідження було підготовлено стандартні (натрієві, калієві й змішані натрієві і калієві) дослідні літійвмісні зразки рідкого скла, які надають унікальних властивостей деяким типам електродів [10, 13]. Санітарно-гігієнічні характеристики електродів оцінювали за інтенсивністю утворення V_a і питомим виділенням G_a ЗА. Визначення інтенсивності утворення і питомого виділення ЗА проводили гравіметричним методом. Найбільш низькі рівні виділення ЗА досягаються при зварюванні електродами, виготовленими із застосуванням натрій-літійового скла ($V_a = 0,393$ г/хв, $G_a = 8,71$ г/кг). Близькі до них за виділенням ЗА

електроди, виготовлені на натрієво-калієвому і літійовому зв'язуючому. Найбільш сприятливими за санітарно-гігієнічним показникам є електроди на калій і калій-літійовому зв'язуючому. Так, наприклад, інтенсивність утворення і питомі виділення у електродів, виготовлених на калієвому зв'язуючому, відповідно на 22,0 та 23,6 % вище, ніж у електродів на натрій-калієвому склі. Електроди, виготовлені на $K-Na$ і Na зв'язуючих, за санітарно-гігієнічними властивостями займають проміжні положення між двома крайніми групами електродів [4].

Санітарно-гігієнічні характеристики електродів для зварювання мідно-нікелевих сплавів в технічній літературі відсутні.

У берилієвій бронзі найбільш токсичний елемент – це берилій, його ГДК становить 0,001 мг/м³, а клас небезпеки –1, тому її можна зварювати тільки в закритих камерах із витяжною вентиляцією зі швидкістю руху повітря в робочому отворі камери не менше 1 м/с, а вихідні отвори вакуумних насосів необхідно приєднувати до місцевої вентиляції. Після зварювання берилієвої бронзи камеру очищають 5 % розчином соляної кислоти із увімкненою місцевою витяжною вентиляцією і використанням респіратора «Лепесток».

Щоб знизити концентрацію ЗА в зоні дихання зварника місцеві пило- та газоприймачі необхідно розміщувати безпосередньо на робочому місці, а продуктивність стаціонарних або пересувних пристроїв вентиляції має бути не менша 1000 м³/год [2].

Як показав літературний огляд, дугове зварювання міді та її сплавів супроводжується значним виділенням зварювального аерозолі в робочу зону зварника. Дані щодо дослідження токсичності ЗА для дугових способів зварювання практично відсутні.

Порівняльна гігієнічна оцінка способів зварювання виконувалася за величиною повітрообміну вентиляції (м³/кг). Але ця величина не є об'єктивною і не дає нам повної картини про токсичність ЗА.

Згідно з міжнародними стандартами ДСТУ ISO 15011 зварювальні матеріали постійно повинні контролюватися за показниками безпеки праці (хімічний склад, рівень виділень, токсичність і гігієнічний клас зварювальних аерозолів). Тому для створення нових марок зварювальних матеріалів, які б задовольняли не тільки їх зварювально-технологічні, а й санітарно-гігієнічні характеристики, необхідно продовжити дослідження хімічного складу і рівнів виділень зварювальних аерозолів з використанням сучасних стандартизованих міжнародних методик ДСТУ ISO 10882-1:2008, ДСТУ ISO 10882-2:2008, ДСТУ ISO 15011-1:2008, ДСТУ ISO 15011-2:2008 та ДСТУ ISO 15011-4:2008.

Список літератури

1. Осинцев О.Е., Федоров В.Н. (2004) *Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки. Справочник*. Москва, Машиностроение.
2. Биковський О.Г. (2011) *Зварювання та різання кольорових металів. Довідковий посібник*. Київ, Основа.
3. Закс И.А. (1999) *Электроды для дуговой сварки цветных металлов и сплавов*. Стройиздат, Санкт-Петербург.
4. Levchenko, O.G., Lukianenko, A.O., Demetska, O.V., Arlamov, O.Y. (2018) Influence of Composition of Binder of Electrodes Coating on Cytotoxicity of Welding Aerosols. *Materials Science Forum*, 927, 86–92.
5. (2011) ДСТУ ISO 15011-4:2008. *Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів. Частина 4. Форма для запису даних про аерозолі* (Переклад і наук.-техн. ред. О. Безушко, Ю. Бондаренко, О. Курочко, А. Левченко, О. Левченко). [Чинний від 2008-08-15]. Київ, Держспоживстандарт України.
6. (1979) ГОСТ 859-2014. *Медь. Марки*. [Действующий от 1979-01-01] Группа В51. Москва, Межгосударственный стандарт.
7. (2020) *Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони. № 1596 від 14.07.2020 р.* МОЗ України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text>.
8. Пономаренко О.И., Шинский И.О., Моргун Н.Н. (2004) Литье по газифицируемым моделям бронзовых сплавов. *Литейное производство*, 11, 30.
9. Пономаренко О.И., Лысенко Т.В., Становский А.Л., Шинский О.И. (2012) *Управление литейными системами и процессами*. Харьков, НТУ «ХПИ».
10. Майданчук Т.Б., Скорина Н.В. (2014) Улучшение технологичности изготовления и сварочных свойств электродов для сварки и наплавки оловянных бронз. *Автоматическая сварка*, 6-7, 176–181.
11. Ілюшенко В.М., Аношин В.А., Скорина Н.В., Майданчук Т.Б. (2013) Выбор шлакообразующей основы покрытия электродов для дуговой сварки и наплавки литейных оловянных бронз. *Сварка и родственные технологии: Материалы VII науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов (22–24 мая 2013 г., г. Киев)*. Киев, ИЭС им. Е.О. Патона, сс. 155.
12. Ілюшенко В.М., Аношин В.А., Бондаренко А.Н. др. (2013) *Разработка электродных материалов для сварки и наплавки сложнолегированных бронз. Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее: Сб. тез. стенод. докл. Междунар. конф. (25–26 ноябр. 2013 г.)*. Киев, ИЭС им. Е.О. Патона, сс. 72–73.
13. Скорина Н.В., Кисилев М.О., Пальцевич А.П., Левченко О.Г. (2011) Свойства литийсодержащих жидких стекол для производства сварочных электродов. *Сб. докл. IV Междунар. конф. по сварочным материалам стран СНГ. Краснодар*, сс. 75–82.

References

1. Osintsev, O.E., Fedorov, V.N. (2004) *Copper and copper alloys. National and foreign grades: Refer. book*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
2. Bykovskiy, O.G. (2011) *Welding and cutting of nonferrous metals: Refer. book*. Kyiv, Osnova [in Ukrainian].
3. Zaks, I.A. (1999) *Electrodes for arc welding of nonferrous metals and alloys*. Saint-Petersburg, Strojizdat [in Russian].
4. Levchenko, O.G., Lukianenko, A.O., Demetska, O.V., Arlamov, O.Y. (2018) Influence of composition of binder of electrodes coating on cytotoxicity of welding aerosols. *Mat. Sci. Forum*, 927, 86–92.
5. (2011) DSTU ISO 15011-4:2008. *Health and safety in welding and allied processes. Laboratory method for sampling aerosols and gases. Pt 4: Form for recording data on aerosols*. Ed. by O.Bezushko, Yu. Bondarenko et al. Valid from 2008.08.15. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
6. (1979) GOST 859-2014: *Copper. Grades*. Valid from 1979.01.01. Group V51. Moscow, Interstate standard [in Russian].
7. (2020) *Hygiene chemicals regulations in the air of the working zone. Law 1596 of 14.07.2020*, Ministry of Health of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text>.
8. Ponomarenko, O.I., Shinsky, I.O., Morgun, N.N. (2004) Casting by consumable patterns of bronze alloys. *Litejnoe Proizvodstvo*, 11, 30 [in Russian].
9. Ponomarenko, O.I., Lysenko, T.V., Stanovsky, A.L., Shinsky, O.I. (2012) *Control of casting systems and processes*. Kharkov, NTU KhPI [in Russian].
10. Majdanchuk, T.B., Skorina, N.V. (2014) Improvement of adaptability to fabrication and welding properties of electrodes for tin bronze welding and surfacing. *The Paton Welding J.*, 6-7, 176–181.
11. Ilyushenko, V.M., Anoshin, V.A., Skorina, N.V., Majdanchuk, T.B. (2013) Selection of slag-forming base of electrode coating for arc welding and surfacing of cast tin bronzes. *In: Proc. of 7th Sci.-Techn. Conf. of Young Scientists and Specialists on Welding and Related Technologies (22-24 May 2013, Kiev, Ukraine)*. Kiev, PWI, 155.
12. Ilyushenko, V.M., Anoshin, V.A., Bondarenko, A.N. et al. (2013) Development of electrode materials for welding and surfacing of complexly-alloyed bronzes. *In: Proc. of Abstracts of Int. Conf. on Welding and Related Technologies – Present and Future (25-26 November 2013, Kiev, Ukraine)*. Kiev, PWI, 72–73.
13. Skorina, N.V., Kisilev, M.O., Paltsevich, A.P., Levchenko, O.G. (2011) Properties of lithium-containing liquid glasses for production of welding electrodes. *In: Proc. of 4th Int. Conf. on Welding Consumables of CIS countries*. Krasnodar, pp. 75-82.

HYGIENIC CHARACTERISTICS OF AIR IN THE WORKING ZONE DURING ARC WELDING OF COPPER AND ITS ALLOYS (Review)

O.G. Levchenko, O.M. Bezushko, T.B. Maidanchuk, A.O. Lukyanenko, O.M. Goncharova

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

E-mail: office@paton.kiev.ua

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», 37 Peremohy Ave., 03056, Kyiv, Ukraine.

E-mail: mail@kpi.ua

A literature review of harmful substances formed during arc welding of copper and its alloys is presented. Literature data on studying emissions of welding aerosols in welding of copper and copper alloys are considered. It is shown that to create new grades of welding materials that would satisfy not only their welding technology, but also sanitary and hygienic characteristics, it is necessary to continue the study of chemical composition and levels of emissions of welding aerosols using modern standardized international procedures. 13 Ref., 1 Tabl.

Key words: copper, welding, brass, bronze, welding aerosol, harmful substances, toxicity

Надійшла до редакції 3.12.2020