

# САНІТАРНО-ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА ШУМУ ПРИ МЕХАНІЗОВАНОМУ АРГОНОДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ НЕПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

А.О. Лук'яненко, В.А. Кулешов, А.Г. Покляцький

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: kuleshovva@ukr.net

Важливим показником якості зварювальної технології є санітарно-гігієнічні показники і рівень шкідливих факторів. В роботі досліджені закономірності утворення такого шкідливого фактору, як акустичний шум, під час механізованого аргонодугового зварювання неплавким електродом (АДЗНЕ, зарубіжний аналог – TIG) алюмінієвих сплавів 1460 (Al–Cu–Li) та 1201 (Al–Cu) з метою створення рекомендацій для поліпшення санітарно-гігієнічних характеристик на робочому місці оператора-зварника. Встановлено, що величина зварювального шуму на робочому місці при силі зварювального струму в діапазоні номінальних величин 140...260 А значно перевищує гранично припустимий рівень шуму і досягає 99 дБА. Рівень шуму не залежить від хімічного складу і механічних властивостей алюмінієвих сплавів і також від способів обробки поверхні зразка. АДЗНЕ алюмінієвих сплавів 1460 і 1201 вимагає застосування спеціальних методів і засобів захисту від шуму. Бібліогр. 13, табл. 4, рис. 2.

*Ключові слова:* алюмінієві сплави 1460 та 1201, аргонодугове зварювання неплавким електродом, безпека праці, рівень акустичного шуму, захист від шуму

**Вступ.** Серед показників якості зварювальних технологій, від яких залежить їх конкурентоспроможність на світовому ринку, в наш час важливе значення мають і санітарно-гігієнічні показники [1]. Незадовільні умови праці при застосуванні деяких зварювальних технологій в значній мірі пов'язані з тим, що при удосконаленні цих технологій практично не враховувалися можливості зниження рівня шкідливих факторів у робочій зоні технологічними заходами, наприклад, вибором параметрів процесу зварювання, а також відсутністю ефективних санітарно-технічних засобів захисту.

Мета роботи – дослідити та порівняти закономірності утворення такого шкідливого фактору, як акустичний шум, під час механізованого аргонодугового зварювання неплавким електродом алюмінієвих сплавів 1460 (Al–Cu–Li) та 1201 (Al–Cu). Роботу можна розглядати як доповнення до публікації [2], в якій проведено, зокрема, порівняльне дослідження акустичного шуму під час АДЗНЕ та при зварюванні тертям з перемішуванням (зарубіжний аналог – FSW) сплаву 1460.

**Методика досліджень.** Дослідження санітарно-гігієнічних характеристик шуму на робочому місці проводилися у лабораторних умовах.

Механізоване аргонодугове зварювання неплавким електродом виконували за допомогою зварювальної головки АСТВ-2М від джерела живлення Magic Wave 450 австрійської фірми «Fronius» на змінному струмі частотою 200 Гц з прямокутною формою хвилі. В якості зварюваних матеріалів використовували високоміцні алюмінієві сплави 1460 та 1201, які широко застосовуються при виготовленні конструкцій відповідального призначення у різних галузях машинобудування [3, 4]. Хімічний склад і межа міцності сплавів наведені у табл. 1.

Листи завтовшки 6 і 10 мм відповідно завдовжки 400 мм і завширшки 200 мм розміщували таким чином, щоб зварні шви були орієнтованими вздовж напрямку їх прокату. Перед зварюванням проводили хімічне травлення листів по загальноприйнятій технології. Після чого здійснювали механічне зачищення торців зварюваних кромок та поверхневі шари завтовшки 0,10...0,15 мм, щоб уникнути утворення пор у зварних з'єднаннях. У ряді вимірювань змінювався спосіб обробки поверхні зразка перед зварюванням. Для зварювання (без повного проплавлення) використовували серійні неплавкі електроди марки ЕВЛ, до складу яких входить оксид лантану, діаметром 3 і 5 мм

Таблиця 1. Хімічний склад і границя міцності алюмінієвих сплавів 1460 та 1201 відповідно з ГОСТ 4784-97

Марка сплаву	Масова частка хімічних елементів, % (основа – Al)												Межа міцності $\sigma_b$ , МПа	
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Li	Sc	Інші		
1460	0,10	0,15	2,6...3,3	0,1	0,1	0,05	0,25	0,01...0,06	0,06...0,15	2,0...2,5	0,05...0,14	0,008...0,1	Be	540
1201	0,20	0,30	5,8...6,8	0,2...0,4	0,2	–	0,1	0,02...0,10	0,10...0,25	–	–	0,05...0,15	V	440

Лук'яненко А.О. – <https://orcid.org/0000-0002-0632-4984>, Кулешов В.А. – <https://orcid.org/0000-0001-7518-7429>,

Покляцький А.Г. – <https://orcid.org/0000-0002-4101-2206>

© А.О. Лук'яненко, В.А. Кулешов, А.Г. Покляцький, 2024

в залежності від величини зварювального струму. В якості присадного матеріалу використовували серійний зварювальний дріт Зв1201 (Al–6 % Cu–0,1 % Ti–0,3 % Mn–0,2 % Zr) діаметром 1,6 мм і захисний інертний газ – аргон високої чистоти. Величина дугового проміжку знаходилася в межах 3...4 мм. Швидкість зварювання – 10...20 м/год (залежно від величини зварювального струму). Величину зварювального струму змінювали в межах 140...260 А, бо як правило, на такому струмі зварюють алюмінієві сплави середніх товщин (3...6 мм), які найчастіше застосовуються у виробництві [5].

Датчик шуму знаходився на відстані 0,55 м від центру місця зварювання. У процесі точка зварювання наближалася до датчика випромінювання, а потім – віддалялася. Дослідження проводилися у закритому приміщенні без витяжної вентиляції; відстань від підлоги до верху пластини становила 100 см; температура повітря ~ 15 °С при середній відносній вологості.

При вимірюванні шумових характеристик використовувався точний інтегруючий вимірювач рівня звуку: модель 2230 фірми Brüel & Kjær (Precision Integrating Sound Level Meter Type 2230) першого класу точності. Прилад дозволяє визначати еквівалентний рівень звуку, а також максимальний і мінімальний рівень звуку з точністю до 1 дБ.

Санітарно-гігієнічна оцінка шуму на робочому місці проводилася у відповідності до вимог ДСН 3.3.6.037-99 [6]. При всіх вимірах реєстрували рівні шуму з частотною корекцією А (дБА), необхідні для встановлення тимчасового характеру шуму та проведення санітарно-гігієнічної оцінки: еквівалентний рівень звуку  $L_{eq}$  (далі еквівалентний рівень шуму), максимальний  $L_{p\ max}$  та мінімальний  $L_{p\ min}$  рівні звукового тиску. Додатковим джерелом шуму під час проведення вимірювань було допоміжне устаткування: зварювальний апарат і джерело живлення. Оскільки у вимірюваному шумі  $L_{вим}$  поряд зі зварювальним шумом  $L_{зв}$ , який генерує зварювальний процес, був присутній і фоновий шум  $L_{фон}$ , для оцінки його внеску окремо проводилися вимірювання його акустичних характеристик.

### Результати та їх обговорення.

Дані про величини шуму, що генеруються при зварюванні на робочому місці зварника на відстані 0,55 м від електричної дуги в діапазоні номінальних величин зварювального струму 140...260 А наведено у табл. 2.

Проведемо аналіз даної серії вимірювань. Спочатку виконаємо класифікацію шуму за часовими характеристиками. Оскільки діапазон коливань рівня звуку за час вимірювання перевищує 5 дБА, шум є непостійним. Згідно зі встановленими нормами для визначення впливу непостійного шуму на робочий персонал достатньо двох вимірюваних величин: еквівалентного рівня звуку  $L_{eq}$  в дБА та максимального рівня звуку ( $L_{p\ max}$ ) в дБА [6]. Під час санітарно-гігієнічної оцінки непостійного шуму на робочому місці зварника прийнято, що у разі 8 годинної робочої зміни гранично припустимий рівень (ГПР) шуму дорівнює  $L_{eq} = 80$  дБА; максимальний рівень звуку не повинен перевищувати 110 дБА. Згідно результатів вимірювань на робочому місці зварника рівень шуму значно перевищує ГПР від 15 до майже 20 дБА, перевищення ж максимального рівня звуку не було.

Знайдемо величину шуму, що створюється безпосередньо зварювальним процесом. Вимірюваний шум  $L_{вим}$  складається з двох частин: зварювального шуму  $L_{зв}$  і фонового шуму  $L_{фон}$ . Використовуючи принцип енергетичної адитивності шумових потоків в точці вимірювання [7], можна показати, що вимірюваний шум  $L_{вим}$  генерує виключно зварювальний процес, якщо  $L_{вим} - L_{фон} \geq 10$  дБА, тобто  $L_{зв} \approx L_{вим}$ . Зауважимо, якщо  $L_{вим} - L_{фон} = 10$  дБА, то помилка визначення еквівалентного рівня зварювального шуму таким чином не перевищує 0,5 дБА і знаходиться в межах інструментальної похибки 1 дБА. Порівняємо величини вимірюваного й фонового шумів у табл. 2. З даних таблиці випливає, що  $L_{вим} - L_{фон} \geq 32$  дБА й, таким чином, можна вважати, що вимірюваний шум при зварюванні сплавів 1460 та 1201 генерує виключно зварювальний процес.

Розглянемо характер впливу на шум іншого важливого змінного технологічного параметра

Таблиця 2. Параметри шуму під час механізованого аргонодугового зварювання алюмінієвих сплавів 1460 та 1201 при різних величинах зварювального струму

Зварювальний струм, А	$L_{вим}$		
	$L_{eq}$ , дБА	$(L_{p\ max})$ , дБА	$(L_{p\ min})$ , дБА
Параметри фонового шуму, що генерується допоміжним устаткуванням, при відсутності процесу зварювання			
0	62,7	68,3	60,4
Параметри зварювального шуму сплаву 1460			
140	94,7	97,8	90,9
200	96,8	98,5	93,2
260	98,1	101,1	94,8
Параметри зварювального шуму сплаву 1201			
260	99,3	101,7	96,5

сили зварювального струму  $I$  (табл. 2). Використовуючи засоби аналізу даних MS Excel, отримаємо лінійну залежність рівня шуму від величини зварювального струму (рис. 1), яка визначається наступним виразом:

$$L_{eq} = 0,0283 \cdot I + 90,867 \quad (1)$$

При цьому квадрат величини лінійної кореляції ( $R^2 = 0,98$ ) вказує на високу вірогідність такої залежності [8]. Відзначимо, що лінійно пропорційний характер залежності рівня шуму від струму при зварюванні неплавким електродом алюміній-літійового сплаву 1460 аналогічній залежності рівня шуму від струму при ручному дуговому зварюванні покритими електродами [9]. Таке співпадіння вказує на те, що фізичні механізми генерації шуму для зазначених вище зварювальних процесів тотожні й мають однакове джерело генерації шуму – електродугу. Слід помітити, що в роботі [10] при аргонодуговому наплавленні плавким електродом наведені дані, які, за словами авторів, «явно суперечать повсюдно прийнятій в цей час ідеї пропорційності». Причини такого протиріччя не пояснюються.

Відзначимо також слабку залежність рівня шуму від сили струму: при збільшенні сили струму майже вдвічі рівень шуму підвищився тільки на 4 %. Слід очікувати аналогічну залежність сили шуму від зварювального струму й при зварюванні сплаву 1201.

З порівняння даних випливає, що при однакових режимах зварювання ( $I_{зв} = 260$  А) рівні шуму у процесі зварювання сплавів 1460 та 1201 відрізняються в межах погрішності вимірів ( $L_{eq} = 99,5 \pm 1$  дБА для сплаву 1460 і  $L_{eq} = 99,3 \pm 1$  дБА для сплаву 1201). Отже, генера-

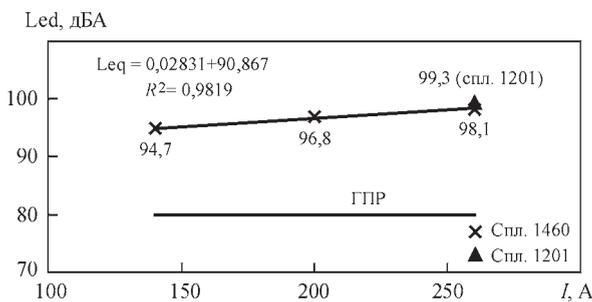


Рис. 1. Залежність рівня шуму від струму при зварюванні неплавким електродом сплавів 1460 та 1201: ГПР – гранично допустимий рівень шуму

Таблиця 3. Параметри шуму під час механізованого аргонодугового зварювання неплавким електродом алюмінієвих сплавів 1460 та 1201 при зварювальному струмі 260 А при різних способах обробки поверхні зразків

Номер вимірювання	Спосіб обробки поверхні зразка	$L_{вим}$		
		$L_{eq}$ , дБА	$(L_p)_{max}$ , дБА	$(L_p)_{min}$ , дБА
Сплав 1460				
1	Травлення поверхні зразка	99,5	101,1	96,2
2	Травлення + зачищення поверхні зразка	98,8	100,4	96,5
Сплав 1201				
1	Травлення поверхні зразка із плакувальним шаром	99,3	101,7	97,5
2	Травлення + зачищення + травлення поверхні зразка із плакувальним шаром	98,4	100,0	97,2
3	Повне механічне видалення плакувального шару зразка	98,7	100,2	96,6

ція шуму не залежить від хімічного складу і міцності сплавів.

Розглянемо додатково вплив на рівень зварювального шуму стану поверхні кромки пластин, що зварюються (шорсткість, хімічна або структурна неоднорідність, оксидні плівки тощо), як одного з можливих зовнішніх факторів, що викликають нестабільне горіння електродуги, і, отже, посилення шуму. Поверхні пластин були оброблені різними способами, в яких використовувалися наступні операції та їх комбінації: травлення, зачистка та повна механічна зачистка поверхневого шару (для сплаву 1201 – видалення плакувального шару).

Дані про величину шуму, що генерується при зварюванні сплавів 1460 та 1201 на робочому місці зварника при різних способах обробки поверхні зразків, наведені в табл. 3.

З результатів вимірів випливає, що величини рівня шуму практично не залежать від розглянутих способів обробки поверхні зразка, оскільки відмінність отриманих результатів знаходиться в межах інструментальної похибки (рис. 2).

Таким чином, стан поверхні кромки пластин, що зварюються, не впливає на рівень зварювального шуму.

**Методи і засоби захисту від шуму.** Механізоване аргонодугове зварювання неплавким електродом алюмінієвих сплавів 1460 і 1201 вимагає застосування спеціальних методів і засобів захисту від шуму зварників та оточуючого персоналу, оскільки рівні шуму в робочій зоні вищі ГПР = 80 дБА і лежать у межах 94,7...99,3 дБА.

Засоби і методи зниження шуму поділяються на засоби і методи колективного захисту та засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) [1].

Засоби колективного захисту по відношенню до джерела збудження шуму поділяються на засоби, що знижують шум в джерелі його виникнення, і засоби, що знижують шум на шляху його поширення від джерела до об'єкта, що захищається.

Ми обмежимося розглядом кількох способів захисту від шуму, в першу чергу, незатратних, оскільки застосування більшості колективних засобів залежить від реальних умов проведення зварювальних робіт.

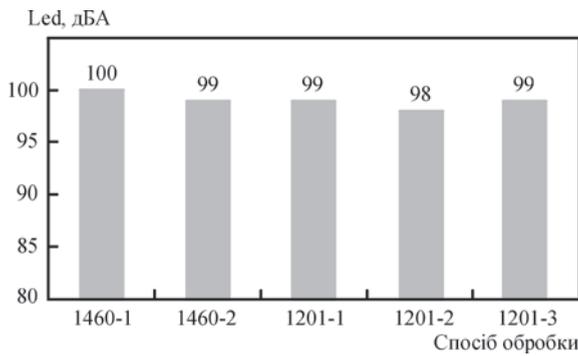


Рис. 2. Рівень шуму при аргонодуговому зварюванні неплавким електродом алюмінієвих сплавів 1460 та 1201 при струмі 260 А при різних способах обробки поверхні зразків: 1460-1 – травлення поверхні зразка 1460; 1460-2 – травлення + зачищення поверхні зразка 1460; 1201-1 – травлення поверхні зразка 1201 із плакувальним шаром; 1201-2 – травлення + зачищення + травлення поверхні зразка 1201 із плакувальним шаром; 1201-3 – повне механічне видалення плакувального шару зразка 1201

До організаційного способу колективного захисту від шуму відносяться, зокрема, два простих й незатратних способи боротьби з шумом – «захист часом» та «захист відстанню». Так званий спосіб «захист часом» дає можливість так організувати роботу, щоб сумарний шумовий вплив на працівника за робочу зміну був нешкідливим для його здоров'я. При «захисті відстанню» визначають безпечні по шуму зони. Це в край важливо при дистанційно керованих і механізованих зварювальних роботах.

Розглянемо спосіб «захисту часом». Якщо рівень шуму перевищує ГПР, то безпечні умови роботи зберігаються при відповідному скороченні часу перебування в такій шумовій обстановці. Допускається використовувати індивідуальні дозиметри шуму з параметром еквівалентності  $q = 3$  – число децибел, що додаються до рівня шуму, при зменшенні часу його дії у 2 рази для збереження тієї ж дози шуму [6]. Тому, наприклад, при рівні звуку 83,0 дБА тривалість безперервної роботи не повинна перевищувати 4 год.

Визначення межі, безпечної за рівнем шуму робочої зони можливо, але в даній роботі не проводилися. Для визначення дистанції від місця зварювання до межі безпечної зони проведемо її теоретичний розрахунок. Джерело шуму будемо розглядати як точкове, отже, звукову хвилю як сферичну, яка поширюється у вільному звуковому полі, де немає відбитків, і де немає дисипації звукової енергії. На дистанціях  $r_1$  та  $r_2$  від джерела шуму рівні шуму будуть  $L_1$  та  $L_2$ . З закону про збереження енергії звукової хвилі при  $r_1$  і  $r_2$  [7] отримуємо наступне співвідношення  $r_2 = r_1 \times 10^{(L_1 - L_2)/20}$ . Підставляючи у формулу максимальну виміряну величину шуму  $L_1 = 99,3$  дБА на дистанції  $r_1 = 0,55$  м та  $L_2 = 80$  дБА, знаходимо відстань до безпечної зони  $r_2 = 0,55 \times 10^{19,3/20} \approx 5$  м.

Розглянемо можливість скорочення величини  $r_2$ , комбінуючи ці два способи, «захист газом» та

«захист відстанню». У табл. 4 дані значення  $r_2$  при  $L_2$  рівному 83 і 86 дБА і допустимий час безперервної безпечної по шуму роботи  $t$ :

Для механізованого зварювання отримані цілком прийнятні величини для вибору у конкретних виробничих умовах.

Коли колективні методи не забезпечують безпечних рівнів звуку на робочому місці, застосовують ЗІЗ від шуму. Принцип дії ЗІЗ – захистити найбільш чутливий канал впливу шуму на організм людини – вухо, і, як стверджують їхні виробники, вони здатні ефективно знижувати шумовий вплив на орган слуху (дивіться, наприклад, [11]). Застосування ЗІЗ дозволяє запобігти розладу не тільки органів слуху, а й нервової системи від дії надмірного подразника. Рівень захисту визначається акустичною ефективністю SNR (Single Number Rating) та є основною характеристикою протишумних виробів. Акустична ефективність або заглушаюча здатність ЗІЗ це алгебраїчна різниця в децибелах між рівнем звукового тиску третьоктавної смуги, виміряним мікрофоном акустичного вимірювача в певному звуковому полі та певних умовах без протишуму і з протишумом. Для вибору ЗІЗ органів слуху з необхідним SNR спочатку оцінюють рівень шуму на робочому місці, а потім віднімають значення необхідного кінцевого рівня шуму. Рекомендується забезпечити кінцевий рівень шуму, що знаходиться в межах від 75 до 80 дБА. Кінцевий рівень шуму 70 дБА і нижче вважається зайвим глушенням звуку. ЗІЗ слуху дозволяють знизити рівні звукового тиску на 7–45 дБА. Вони бувають у вигляді протишумових навушників, які закривають зовні повністю вушну раковину [12], вкладишів (антифонів), які вставляють у слуховий канал [13], шоломів та касок, спеціальних костюмів. Вкладиші та навушники знижують шум на 20 ÷ 40 дБА. Протишумові шоломи і костюми застосовуються при дуже високих рівнях шуму до 120 дБА та знижують шум на 20 ÷ 45 дБА.

Ефективність ЗІЗ може бути забезпечена правильним підбором в залежності від рівнів та спектру шуму, а також контролем за умовами їх експлуатації. Бажано перевіряти ефективність конкретного ЗІЗ слуху під час використання конкретним працівником. Найефективніші ЗІЗ, зазвичай, у сфері високих частот. За потреби ЗІЗ можна використовувати разом з іншими засобами, забезпечуючи необхідний рівень безпеки під час роботи.

Оскільки досліджені зварювальні процеси генерують шуми не вище 20 дБА, було б доречно за-

Таблиця 4. Час безпечної роботи  $t$  в робочій зоні, розташованій на відстані  $r_2$  від місця зварювання, залежно від рівня шуму  $L$

$L$ , дБА	80	83	86
$r_2$ , м	5	3,6	2,5
$t$ , час	8	4	2

стосовувати протишумні ЗІЗ, такі, наприклад, як антифони або навушники, заглушуюча здатність яких сягає таких же меж або більше.

## Висновки

При виконанні досліджень встановлено, що:

1. Величини зварювального шуму на робочому місці зварника в процесі аргонодугового зварювання неплавким електродом (вольфрамовим) алюмінієвих сплавів 1460 і 1201 в діапазоні номінальних величин зварювального струму 140...260 А значно перевищують ГПР. При цьому джерелом шуму є тільки процес зварювання, шумом від допоміжного устаткування можна зневажити.

2. Залежність рівня шуму від величини зварювального струму лінійна і дуже слабка. Крім того, рівень шуму не залежить від хімічного складу і механічних властивостей алюмінієвих сплавів, а також від розглянутих способів обробки поверхні зварюваних листів.

3. Механізоване аргонодугове зварювання неплавким (вольфрамовим) електродом досліджуваних високоміцних алюмінієвих сплавів 1460 і 1201 вимагає застосування спеціальних методів і засобів захисту від шуму. Рекомендовано знижувати вплив шуму на робочий персонал до безпечної величини за допомогою колективних методів «захисту відстанню та часом», а також ЗІЗ слуху, навушників та вкладишів, що мають SNR не менше 20 дБА.

## Список літератури

1. Жидецький В.Ц. (2002) *Основи охорони праці*. Підручник. Львів, Афіша.
2. Lukinenko, A.O., Motrunich, S.I., Darko BajicDarko et al. (2021) Noise Level Assessment and Mechanical Properties of Welded Joints of Aluminium Alloys of the Al-Cu-Li System in FSW and TIG Welding. *FME Transactions*, 49, 1, 220–224.
3. Белецкий В.М., Кривов Г.А. (2005) *Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение) Справочник*. Фридландер И.Н. (ред.). Киев, КОМИНТЕХ.
4. Ищенко А.Я., Лабур Т.М. (2013) *Сварка современных конструкций из алюминиевых сплавов*. Киев, Наукова думка.
5. Mashin, V.S., Poklyatsky, A.G., Fedorchuk, V.E. (2005) Mechanical properties of aluminium alloys in consumable and nonconsumable electrode arc welding. *TPWG*, 9, 39–45.

## SANITARY AND HYGIENIC ASSESSMENT OF NOISE AT NONCONSUMABLE ELECTRODE MECHANIZED ARGON-ARC WELDING OF ALUMINUM ALLOYS

A.O. Lukyanenko, V.A. Kuleshov, A.G. Poklyatskyi

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

E-mail: kuleshovva@ukr.net

Sanitary and hygienic characteristics and level of harmful factors are an important indicator of welding technology quality. In the work, the regularities of formation of such a harmful factor as acoustic noise during nonconsumable electrode mechanized argon-arc welding (foreign analogue - TIG) of aluminium alloys 1460 (Al-Cu-Li) and 1201 (Al-Cu) were investigated, in order to develop recommendations for improvement of sanitary and hygienic characteristics at the operator-welder workplace. It was established that the magnitude of welding noise at the workplace at welding current in the range of nominal values of 140...260 A significantly exceeds the maximum permissible noise level and reaches 99 dBA. The noise level does not depend on the chemical composition and mechanical properties of aluminium alloys or on the methods of sample surface treatment. TIG welding of aluminium alloys 1460 and 1201 requires application of special methods and means of noise protection. 13 Ref., 4 Tabl., 2 Fig.

**Keywords:** aluminium alloys 1460 and 1201, nonconsumable electrode argon-arc welding, occupational safety, acoustic noise level, noise protection

Отримано 20.11.2023

Отримано у переглянутому вигляді 29.11.2023

Прийнято 14.12.2023