

УЛЬТРАФІОЛЕТОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ МЕХАНІЗОВАНОМУ ЗВАРЮВАННІ СТАЛІ ПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ В СУМІШІ ЗАХИСНИХ ГАЗІВ

А.Т. Малахов, В.А. Кулешов

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 031050, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Приведено результати вимірювань характеристик ультрафіолетового випромінювання в УФ-С діапазоні при механізованому зварюванні сталі плавким електродом в суміші захисних газів. На основі цих досліджень надано рекомендації щодо захисту від дії УФВ зварників і допоміжного персоналу, а також персоналу, який не виконує безпосередньо зварювальні роботи. Зареєстровані величини інтенсивності випромінювання, відбитого від стінок зварювальної kabіни (0,03...0,17 Вт/м²), багаторазово перевищують ГДВ 0,001 Вт/м², регламентовану в СН 4557-88. Тому при роботі в зварювальній kabіні необхідно додатково вживати заходи щодо захисту потиличної частини голови і шиї від впливу відбитого випромінювання. Бібліогр. 8, табл. 3, рис. 1.

Ключові слова: механізоване дугове зварювання плавким електродом в захисних газах, ультрафіолетове випромінювання, безпечна відстань, заходи захисту

Підвищений рівень ультрафіолетового випромінювання (УФВ) є одним з основних шкідливих і небезпечних виробничих факторів впливу на робочий персонал при виконанні робіт, пов'язаних з електродуговим зварюванням, різанням і наплавленням металів. Специфічними рисами УФВ при дуговому зварюванні є його висока інтенсивність і відносно велика спектральна частка жорсткого УФ-С випромінювання з довжиною хвилі 200...280 нм, яке має сильну шкідливу дію на органи зору і шкірні покриви людини.

Ступінь шкідливого впливу можна оцінити, порівнявши допустимі рівні УФВ, що наведені, наприклад, в санітарних нормах СН 4557-88 [1]. Так, за певних умов допускається вплив УФ-С випромінювання інтенсивністю не більше 0,001 Вт/м², тоді як УФ-В (280...315 нм) – 0,05 Вт/м² і УФ-А (315...400 нм) – 50 Вт/м². Доречно відзначити, що в спектрі сонячного випромінювання на земній поверхні УФ-С промені практично відсутні, оскільки інтенсивно поглинаються в атмосфері (в основному – у верхньому озоновому шарі).

Незважаючи на важливість систематичних досліджень УФВ при зварюванні для забезпечення безпечних умов праці персоналу, є тільки незначна кількість публікацій з цієї тематики в Україні та країнах СНД (наприклад, [2, 3]). Публікації в розвинених зарубіжних країнах (ЄС, США, Японія та ін.) мають свою специфіку, яка полягає в спрямованості досліджень випромінювання при зварюванні згідно з прийнятими у них нормами безпеки, що відрізняються від діючих в Україні та країнах СНД.

В даній роботі проводилися вимірювання і досліджувалися характеристики УФВ при механізованому зварюванні сталі плавким електродом в суміші інертного і активного захисних газів (MIG/

MAG). Вимірювання проводилися в Міжнародному навчально-атестаційному центрі ІЕЗ ім. Є.О. Патона.

Методика дослідження. Вимірювання проводилися при наплавленні на зразки сталі Ст. 3 об'ємним дротом Sv08Г2С діаметром 1,2 мм в суміші захисних газів (82 % Ar + 18 % CO₂). Суміш в такій пропорції рекомендується в ЄС, щоб забезпечити краще формування шва, зменшити величину розбризкування електродного металу і підвищити циклічну довговічність зварних з'єднань.

Наплавлення здійснювалося на зразки сталі довжиною 150 мм і шириною 40 мм способом кутком назад для поліпшення видимості ділянки дуги. Швидкість подачі дроту регулювалася автоматично залежно від налаштованої спочатку величини струму. Механізм подачі – LF-72 фірми Lincoln Electric. Джерело живлення – зварювальний інвертор Invertec V350-PRO (Lincoln Electric). Зварювальний струм задавався в діапазоні від 85 до 250 А.

Умови зварювання: в зварювальній kabіні (горизонтальні розміри – 2,4×2 м, висота – 1,8 м) при температурі повітря ~ 20 °С і середній відносній вологості повітря з витяжною вентиляцією над місцем зварювання.

На фіксованій відстані 0,68 м від точки зварювання на висоті 0,24 м над горизонтальною поверхнею зварювання (під кутом $\alpha = 21^\circ$ до поверхні) розташовувався УФ-С датчик одноканального дозиметра оптичного випромінювання ДАУ-81. Протягом 5 с фіксувалося середнє значення інтенсивності випромінювання (E , Вт/м²) при стаціонарному режимі зварювання.

Вимірювання проводилися тільки в діапазоні УФ-С випромінювання, яке має сильну шкідливу дію на органи зору і шкірні покриви людини. Як показано в ряді досліджень [2, 4, 5], спектральні ін-

Малахов А.Т. – <https://orcid.org/0000-0001-5186-4915>, Кулешов В.А. – <https://orcid.org/0000-0001-7518-7429>

© А.Т. Малахов, В.А. Кулешов, 2021

тенсивності УФВ зварювальної дуги в діапазонах А, В і С мають однаковий порядок величини. Допустима величина інтенсивності для УФ-С випромінювання становить всього 0,001 Вт/м², що значно менше аналогічних величин для УФ-В і УФ-А випромінювання. Тому оцінка безпечних умов впливу УФ-С випромінювання при дуговому зварюванні практично завжди збігається з оцінкою безпеки впливу в усьому діапазоні УФВ (200...400 нм).

Результати експериментів та їх обговорення. Обробка результатів вимірювань проводилася на ПК засобами програми Excel. Залежності, отримані при статистичній обробці методом найменших квадратів (МНК), представлено на рисунку.

Видно, що з досить високим ступенем достовірності ($R^2 = 0,943$) залежність інтенсивності E УФ-С випромінювання від зварювального струму I в діапазоні 85...200 А є лінійною. Коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,943$ показує, що варіація результативної ознаки E на 94,3 % обумовлена варіацією факторної ознаки I і на 5,7 % – варіацією інших неврахованих факторів.

Величина E зростає при збільшенні сили струму I . Така залежність спостерігається в більшості процесів дугового зварювання. Лінійна залежність виду

$$E = a + bI, \quad (1)$$

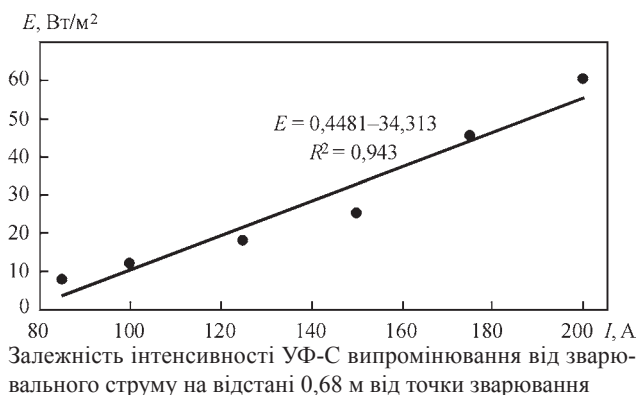
де a, b ($b > 0$) – коефіцієнти, отримана також в [2, 4]. Цю залежність можна записати у вигляді

$$E = b(I - I_0), \quad (2)$$

де $I_0 = -b/a$ – величина сили зварювального струму, починаючи з якої дугою генерується УФ-С випромінювання.

Показана на рисунку залежність запишеться у вигляді $E = 0,448(I - 77)$. Величина $I_0 = 77$ А, близька до рекомендованої нижньої величини зварювального струму (90 А) при застосуванні зварювального дроту Св08Г2С діаметром 1,2 мм.

Слід зазначити, що при подальшому збільшенні сили струму до 250 А зафіксовано значення інтенсивності 40 Вт/м², що нижче значення 60 Вт/м², зафіксованого при струмі 200 А. Це пов'язано з тим, що при струмі 250 А реалізується режим зварювання (наплавлення) зануреною дугою, при якому знижується інтенсивність оптичного випромінювання.



Відомо, що інтенсивність оптичного випромінювання суттєво залежить від відстані d до точкового джерела випромінювання (зварювальна дуга, точка зварювання). Знання залежності $E(d)$ необхідно для прогнозування інтенсивності випромінювання при його поширенні поза області вимірювання. Для знаходження цієї залежності були також проведені вимірювання на відстані $d = 0,55$ м, при цьому, як і раніше, датчик був направлений під кутом $\alpha = 21^\circ$ до горизонтальної поверхні зварювання. Кут α не змінювався, тому що в ряді робіт, наприклад, [5, 6] встановлено, що інтенсивність випромінювання в певній мірі залежить і від цього параметра. Зазвичай величина E зростає з ростом α . Спостережуване потім зниження інтенсивності автори пов'язують з затінюванням потоку випромінювання зварювальним обладнанням, розташованим в безпосередній близькості від дуги (сопло для подачі захисного газу та ін.).

Результати вимірювань наведено в табл. 1.

При статистичній обробці результатів вимірювань для залежності $E \sim 1/d^n$ отримана середня величина $n = 1,95$, що трохи нижче за показник ступеня загасання $n = 2$, характерний для вільного поширення в просторі випромінювання від точкового джерела.

На відстанях понад 20 см джерело випромінювання – зварювальну дугу з характерними розмірами до 20 мм можна вважати точковим джерелом. Умови вільного розповсюдження випромінювання (незначний вплив процесів поглинання, дифузійного розсіювання і відбиття світлового потоку) виконані, за винятком незначного впливу відбиття світлового потоку від поверхонь, розташованих поблизу напрямку поширення випромінювання від джерела до датчика. Тому деяке відхилення величини n від 2 можна пов'язати з падінням на датчик випромінювання, відбитого від стінок зварювальної kabini.

Також було проведено ряд вимірювань з метою оцінки інтенсивності E_r УФ-С випромінювання, відбитого від стінок зварювальної kabini. Для цього датчик випромінювання ($d = 0,68$ м) повертався в напрямку найближчої стіни зварювальної kabini під кутом близько 130° до напрямку на зварювальну дугу, що виключало потрапляння на датчик падаючих променів. Результати вимірювань наведено в табл. 2. Тут для порівняння представлені результати вимірювань інтенсивності E

Таблиця 1. Результати вимірювань інтенсивності УФ-С випромінювання (E , Вт/м²) від відстані d до зварювальної дуги

d , м	I , А		
	100	150	200
0,55	18	38	91
0,68	12	25	60
n	1,91	1,97	1,96

Таблиця 2. Результати вимірювань інтенсивності E_r УФ-С випромінювання, відбитого від стінок зварювальної kabіни

Показник	I, A		
	100	150	200
$E_r, \text{Вт/м}^2$	0,03	0,06	0,17
$E, \text{Вт/м}^2$	12	25	60
$p, \%$	0,25	0,24	0,28

падаючого випромінювання (див. табл. 1) і процентне відношення $p = \frac{E_r}{E} \cdot 100\%$.

Видно, що зафіксовані рівні випромінювання в 360...420 разів менше, ніж при вимірюваннях в напрямку дуги. Схожі результати отримано в [4], де в декілька відмінних умовах вимірювань при зварюванні ММА в діапазоні УФ-С були зафіксовані спектральні величини p в діапазоні 0,15...0,5 %.

Оцінка небезпеки впливу УФВ на зварювальників, заходи захисту. Як видно з рисунка та табл. 1, на відстанях від 0,55 до 0,68 м виміряні величини інтенсивності УФ-С випромінювання знаходяться в діапазоні 8...91 Вт/м², що багаторазово перевищує нормативну величину 1 Вт/м², регламентовану діючими в Україні санітарними нормами СН 4557-88 [1] для працюючих при використанні спеціального одягу та засобів захисту обличчя та рук.

Розрахунок з використанням залежності $E \sim 1/d^{1,95}$ показує, що гранична відстань, на якій досягається величина $E = 1 \text{ Вт/м}^2$, становить від 2,0 до 5,6 м в залежності від величини зварювального струму (85...200 А). Практично це означає, що всередині зварювальної kabіни (горизонтальні розміри 2,4x2,0 м) величина E перевищує нормативне значення 1 Вт/м².

Якщо інтенсивність УФ-С випромінювання більше 1 Вт/м², в СН 4557-88 зазначено, що «должны быть предусмотрены мероприятия по уменьшению интенсивности излучения источника или защите рабочего места от облучения (экранирование), а также по дополнительной защите кожных покровов работающих». В даному випадку найбільш підходящою мірою захисту зварників та допоміжного персоналу, які перебувають в зоні, де $E > 1 \text{ Вт/м}^2$, є використання спеціалізованого захисного одягу і масок, призначених для аргонодугового зварювання.

В роботі [3] з посиланням на ряд інших робіт, показано, що збільшення вмісту вуглекислого газу в суміші з аргоном призводить до зменшення інтенсивності УФВ. Однак рекомендувати такий захід для зменшення інтенсивності випромінювання не представляється можливим по ряду причин. По-перше, склад суміші Ar+CO₂ підбирається в першу чергу для найкращого формування шва з заданими робочими характеристиками; по-друге, навіть при використанні тільки CO₂ в якості захисного газу інтенсивність УФВ на робочому місці все одно може перевищувати нормативну

величину 1 Вт/м². Наприклад, в [6] зареєстровані величини ефективної інтенсивності УФВ до 8 Вт/м² на відстані 1 м від дуги.

Як видно (див. табл. 2), зареєстровані величини інтенсивності E_r УФ-С випромінювання, відбитого від стінок зварювальної kabіни, багаторазово перевищують допустиму величину 0,001 Вт м², регламентовану в СН 4557-88, для працюючих при наявності незахищених ділянок поверхні шкіри не більше 0,2 м². Тому при роботі в зварювальної kabіни необхідно вживати заходів щодо захисту потиличної частини голови і шиї від впливу відбитого випромінювання.

При виконанні зварювальних робіт без всебічного огороження місця зварювання захисними екранами практичний інтерес представляє визначення безпечних відстаней d_s для працюючих при наявності незахищених ділянок поверхні шкіри, які знаходяться в напрямку прямої видимості місця зварювання.

Припускаємо вільне поширення УФВ з обернено пропорційною залежністю інтенсивності від квадрата відстані ($E \sim 1/d^2$). В цьому випадку величину d_s в метрах можна розрахувати за формулою:

$$d_s = d \sqrt{\frac{E_d}{E_s}}, \quad (3)$$

де E_d – інтенсивність УФВ на відстані d (виміряна або обчислена); E_s – гранична допустима величина (ГДВ) інтенсивності випромінювання, що відповідає нормам безпеки.

Виконаємо розрахунок безпечних відстаней для УФ-С випромінювання ($E_s = 0,001 \text{ Вт/м}^2$ згідно з СН 4557-88) в залежності від величини зварювального струму I при $d = 0,68 \text{ м}$, використовуючи отриману залежність $E_d = 0,448(I - 77)$. У цьому випадку формула для розрахунку набуває вигляду: $d_s = 0,68 \sqrt{448(I - 77)}$. Результати розрахунку наведено в табл. 3.

Як видно, інтенсивність УФ-С випромінювання досягає безпечних значень на значних відстанях від місця зварювання при прямій видимості зварювальної дуги. Схожі результати за порядком величини d_s отримані, наприклад, в [7]. У цій роботі для зварювання GMAW с захисним газом Ar при $I = 150 \text{ А}$ дається значення безпечної відстані 70 м, на якій за 8 год роботи величина ефективної дози діючого УФВ досягає ГДВ 30 Дж/м². Розходження з нашими результатами (123 м) пов'язані з тим, що в США, ЄС та інших розвинених країнах використовуються інші норми безпеки, які в цілому накладають менш суворі обмеження на допустимі параметри УФВ. В директиві ЄС [8] наве-

Таблиця 3. Граничні безпечні відстані d_s при впливі УФ-С випромінювання на працюючих при наявності незахищених ділянок шкіри площею до 0,2 м²

Показник	I, A				
	90	120	150	180	200
$d_s, \text{м}$	52	94	123	146	160

дені мінімальні обмеження на рівні безпечної дії УФВ, причому держави мають право встановлювати у себе більш суворі обґрунтовані обмеження.

Враховуючи значну величину безпечних відстаней (десятки і більше метрів), при виконанні зварювальних робіт в цехових і польових умовах найбільш раціональним методом захисту персоналу, який не виконує безпосередньо зварювальні роботи, є огороження місця зварювання стаціонарними або мобільними захисними екранами. При роботі в місцях прямої видимості зварювальної дуги слід використовувати захисний одяг і маски зі спеціально підібраними світлофільтрами.

Висновки

1. Експериментально встановлено, що на відстані $d = 0,55$ м від зварювальної дуги інтенсивність E УФ-С випромінювання в залежності від величини зварювального струму (85...200 А) змінюється від 18 до 91 Вт/м², а на відстані 0,68 м – від 12 до 60 Вт/м². Виміряні величини багаторазово перевищують ГДВ 1 Вт/м², регламентовану діючими в Україні санітарними нормами СН 4557-88 для працюючих при використанні спеціального одягу та засобів захисту обличчя та рук. При статистичній обробці результатів отримана залежність інтенсивності випромінювання від відстані, яка має вигляд $E \sim 1/d^{1,95}$. Розрахунок з використанням цієї залежності показує, що гранична відстань, на якій досягається нормативна величина $E = 1$ Вт/м², становить від 2,0 до 5,6 м в залежності від зварювального струму. В цьому випадку найбільш підходящою мірою захисту зварників та допоміжного персоналу, які перебувають в зоні, де $E > 1$ Вт/м², є використання спеціалізованого захисного одягу і масок, призначених для аргонодугового зварювання.

2. Також виміряні значення інтенсивності УФ-С випромінювання (12...91 Вт/м²) в 12...91 тис. разів перевищують ГДВ 0,001 Вт/м², регламентовану в СН 4557-88 для працюючих при наявності незахищених ділянок поверхні шкіри не більше 0,2 м². Розрахунок з використанням залежності інтенсивності випромінювання від відстані $E \sim 1/d^2$ показує, що гранична відстань, на якій досягається величина $E = 0,001$ Вт/м², становить від 41

до 160 м в залежності від зварювального струму (85...200 А). Враховуючи значну величину безпечних відстаней, при виконанні зварювальних робіт в цехових і польових умовах найбільш раціональним методом захисту персоналу, який не виконує безпосередньо зварювальні роботи, є огороження місця зварювання стаціонарними або мобільними захисними екранами. При роботі в місцях прямої видимості зварювальної дуги слід використовувати захисний одяг і маски зі спеціально підібраними світлофільтрами.

3. Зареєстровані величини інтенсивності УФ-С випромінювання, відбитого від стінок зварювальної kabіни (0,03...0,17 Вт/м²), багаторазово перевищують ГДВ 0,001 Вт/м², регламентовану в СН 4557-88. Тому при роботі в зварювальній kabіні необхідно вживати заходів щодо захисту потиличної частини голови і шиї від впливу відбитого випромінювання.

Список літератури/References

- (1988) СН 4557-88. Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях. Москва, Минздрав СССР.
- (1988) SN 4557-88: Sanitary standards of ultraviolet radiation in industrial premises. Moscow, Minzdrav USSR [in Russian].
- Левченко О.Г., Малахов А.Т., Арламов А.Ю. (2014) Ультрафиолетовое излучение при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. *Автоматическая сварка*, **6-7**, 155–158.
- Levchenko, O.G., Malakhov, A.T., Arlamov, A.Yu. (2014) Ultraviolet radiation in manual arc welding using covered electrodes. *The Paton Welding J.*, **6-7**, 151-154.
- Вишняков В.И., Киро С.А., Опря М.В., Эннан А.А. (2020) Ультрафиолетовое излучение при электродуговой сварке металлов в защитном газе и способ его ослабления. *Фізика аеродисперсних систем*, **58**, 137–147.
- Vishnyakov, V.I., Kiro, S.A., Oprya, M.V., Ennan, A.A. (2020) Ultraviolet radiation in shielded arc welding of metals and method of its attenuation. *Fizyka Aerodyspersnykh System*, **58**, 137–147 [in Russian].
- Schwass, D., Wittlich, M., Shmitz, M., Siekmann, H. (2011) Emission of UV radiation during arc welding, *IFA-Information*, www.dguv.de/ifa, 1–12.
- Nakasima, H., Utsunomiya, A., Fujii, N., Okuno, T. (2016) Hazard of ultraviolet radiation emitted in gas tungsten arc welding of aluminum alloys. *Industrial Health*, **54**, 149–156.
- Okuno T., Ojima J., Sayto, H. (2001) Ultraviolet radiation emitted by CO₂ arc welding. *Ann. Occup. Hyg.*, **45**, 7, 597–601.
- Lyon, Terry L. (2002) Knowing the dangers of actinic ultraviolet emissions. *AWS Welding Journal*, 28–30.
- (2006) Directive 2006/25/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure on workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation).

ULTRAVIOLET RADIATION IN CONSUMABLE ELECTRODE MECHANIZED WELDING OF STEEL IN A MIXTURE OF SHIELDING GASES

A.T. Malakhov, V.A. Kuleshov

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

E-mail: office@paton.kyiv.ua

The paper gives the results of measuring the characteristics of ultraviolet radiation in UV-C range at consumable electrode mechanized welding in a mixture of shielding gases. These studies were the base for issuing recommendations on protection of welders and auxiliary personnel, as well as personnel not performing welding operations directly. Recorded values of the intensity of radiation, reflected from the welding booth walls (0.03...0.17 W/m²), exceed the TLV of 0.001 W/m², specified in SN 4557-88. Therefore, when working in a welding booth, it is necessary to take additional measures for protection of the back of the head and neck from exposure to reflected radiation. 8 Ref., 3 Tabl., 1 Fig.

Keywords: gas-shielded consumable electrode mechanized arc welding, ultraviolet radiation, safe distance, protection means

Надійшла до редакції 14.09.2021