

ГІГІЄНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ СТВОРЕННЯ МАГНІТНИХ ПОЛІВ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

О.Г. Левченко¹, Ю.О. Полукаров¹, О.М. Гончарова², О.М. Безушко²

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». 03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37. E-mail: levchenko.opcb@ukr.net

²ІЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: goncharova.olga789@gmail.com

Визначено рівні та спектральний склад магнітних полів, що створюються обладнанням контактного зварювання різними способами, з метою оцінювання їх впливу на організм зварників. Аналіз літературних джерел щодо контактного зварювання засвідчив про майже повну відсутність інформації щодо електромагнітної безпеки зазначених способів зварювання. Наведено запропоновані методичні підходи до визначення рівнів магнітних полів, засобів їх вимірювань та методів оцінки їх впливу на організм зварника. На основі аналізу і обробки отриманих осцилограм та спектрограм магнітних полів виконано вимірювання їх частотних і кількісних характеристик. Для визначення загального рівня полічастотного магнітного поля, що виникає при контактному зварюванні, використано запропонований узагальнений показник рівня магнітного поля. Встановлено, що при контактному стиковому і конденсаторному точковому зварюванні перевищення допустимого рівня магнітного поля обумовлене формою зварювального струму та наявністю в їх спектрі потужних гармонічних сигналів у частотних діапазонах 50...1000 і 1000...10000 Гц. Показано, що спектральний склад та величина сигналу магнітного поля визначається, переважно, самим способом зварювання та вихідними параметрами джерел живлення. Показано, що контактне стикове та конденсаторне точкове зварювання можливе за умови його виконання стаціонарним способом з розміщення робочого місця (пульта керування) на певній відстані від зварювальних електродів. На відміну від цих способів з'єднання металів, контактне стикове зварювання оплавленням не становить небезпеки для зварників, проте при ручному зварюванні електродний кабель не повинен обвиватися навколо тіла зварника. Бібліогр. 14, табл. 3, рис. 2.

Ключові слова: контактне зварювання, магнітне поле, частота, напруженість, норматив, показники, рекомендації

Вступ. Серед відомих способів зварювання плавленням електричне контактне зварювання займає значне місце. Застосування цього способу з'єднання металів, відносна простота, відсутність будь-яких вимог до початкового стану зварювальних поверхонь дає можливість вирішувати багато складних технічних задач у різних галузях промисловості та будівництва. Цей технологічний процес можна використовувати для зварювання всіх металів і сплавів, які застосовуються в сучасній техніці. Проте, як показала практика, експлуатація електричного обладнання супроводжується генеруванням підвищених рівнів електромагнітних випромінювань, шкідливих, і, в певних випадках, небезпечних для організму людини [1, 2]. Тому питання електромагнітної безпеки виробничого обладнання, дії електромагнітних полів на організм людини, а також створення відповідних заходів та засобів захисту від них є актуальними [3, 4]. У залежності від способу зварювання, виду обладнання та відстані до нього зварника рівні магнітної складової електромагнітного поля, тобто напруженість магнітних полів (МП) може перевищувати гранично допустимі рівні. Такі МП можуть бути небезпечними для організму людини: можуть ви-

кликати захворювання центральної нервової та серцево-судинної систем, руйнують клітини тканини людини, мають канцерогенну дію тощо.

Тому на даний час виникла нагальна необхідність у проведенні досліджень рівнів МП при використанні зварювального обладнання різних видів з метою їх гігієнічної оцінки та розробки методів і засобів захисту зварників.

У сучасних дослідженнях щодо контактного зварювання, зазвичай, мова йде про оснащення зварювального обладнання спеціальними додатковими приладами для отримання поглиблених знань про процес і якість зварного шва [5]. Є роботи, що стосуються зварювання металів різних видів методом контактного стикового зварювання шляхом перемішування розплавлених металів [6], удосконалення техніки зварювання [7] та поліпшення якості зварних з'єднань [8]. Характерною особливістю сучасних досліджень є використання для контактного зварювання магнітної підтримки, тобто дії МП на створюваний зварний шов з метою поліпшення його якості [9]. При цьому викликає здивування те, що не зачіпаються важливі питання шкідливої дії МП, яке індукується під час зварювання, на організм оператора-зварника.

Левченко О.Г. – <https://orcid.org/0000-0002-9737-7212>, Полукаров Ю.О. – <https://orcid.org/0000-0002-6261-3991>, Гончарова О.М. – <https://orcid.org/0000-0002-5213-6300>, Безушко О.М. – <https://orcid.org/0000-0002-6148-1675>

© О.Г. Левченко, Ю.О. Полукаров, О.М. Гончарова, О.М. Безушко, 2023

Є деякі вітчизняні публікації щодо дугового зварювання [10] і контактного [11, 12], які свідчать, що при експлуатації обладнання для контактного зварювання рівні МП значно вищі, ніж при дуговому.

У роботі [11], яка стосується контактної точкової зварювання, було встановлено значне перевищення рівня МП у широкому діапазоні частот і показано як його рівень знижується зі збільшенням відстані від зварювальних електродів.

Таким чином, аналіз цих малочисельних літературних джерел про дослідження МП, що створюються обладнанням контактної зварювання, свідчить про те, що ці питання залишаються не вирішеними і до цього часу.

Враховуючи вищезазначене, виникла необхідність у проведенні нових досліджень рівнів МП при використанні існуючого зварювального обладнання з метою їх гігієнічної оцінки та розробки методів і засобів захисту зварників.

Метою дослідження є визначення закономірностей створення МП при різних способах контактної зварювання для їх гігієнічної оцінки у відповідності з нормативами.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- визначити показники рівнів МП (напруженість в установлених діапазонах частот, загальний рівень МП та допустимий час роботи зварника при застосуванні різних способів контактної зварювання);

- дати гігієнічну оцінку МП у відповідності з новими нормативами для подальшого розроблення рекомендацій із захисту зварників від МП.

Методика досліджень. Гігієнічне оцінювання рівня МП полягає у вимірюванні напруженості МП і його порівняння з сучасними санітарними нормами [13].

Оцінка параметрів МП на робочому місці зварників виконувалась в такій послідовності:

- визначення зони можливого знаходження працюючого біля електричного обладнання під час проходження зварювального струму;

- виділення в цій зоні точок максимально наближених до джерела магнітного поля;

- визначення частотних діапазонів випромінювань і вимірювання напруженості магнітного поля в цих точках і діапазонах;

- визначення допустимого часу роботи зварника.

Для вимірювання напруженості МП використовували виносний датчик (перетворювач магнітного поля), інтегруючий RC-ланцюг і реєструючий пристрій, в якості якого використовували цифровий запам'ятовуючий осцилограф з функцією швидкого перетворювання Фур'є з блоком розширення. Застосовували такі прилади:

- датчик МП ДМП-1 (Україна);
- вимірювач індукції МП ГФІ-1 (Україна);
- вимірювач індукції МП ТП2-2У-01 (Україна);
- осцилограф PCS-500 з ПК (Velleman, Бельгія);
- осцилограф цифровий запам'ятовуючий ТДС 1002 (Tektronix, США).

Вимірювання рівнів МП виконувалось у всіх чутливих точках організму людини, які можуть піддаватись небезпечній та шкідливій дії МП. До них, переважно, належать такі точки: головний мозок, серце й легені (груди), сечостатеві органи (живіт), кисті рук. Оскільки електричний кабель може дотикатись до тіла зварника, на ньому також необхідно визначати напруженість МП [12].

У процесі вимірювань напруженості МП датчик вносили в поле, що досліджувалось, і орієнтували в просторі по максимуму показів реєструючого приладу. Виконували три виміри у вигляді коротких імпульсів з великим періодом тривалості. При цьому датчик розташовували поспідовно у трьох взаємно перпендикулярних площинах і реєстрували його показання в кожній площині. Амплітудне значення вектора напруженості МП визначали за формулою [13]:

$$H_m = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}, \quad (1)$$

де H_x, H_y, H_z – значення напруженості МП у кожній площині.

Сумарне значення напруженості магнітного поля H визначали за виразом [13]:

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 + \dots + H_n^2}, \quad (2)$$

де H_n – напруженість магнітного поля окремої гармоніки.

Для об'єктивної оцінки загального енергетичного навантаження МП на організм людини необхідно врахувати всі гармонічні складові МП. Тому для діапазону частот ≤ 300 МГц, в яких працюють джерела МП і для яких встановлено різні гранично допустимі рівні (ГДР), необхідно дотримуватись наступних вимог [13]:

$$\frac{H_1^2}{H_{ГД1}^2} + \frac{H_2^2}{H_{ГД2}^2} + \dots + \frac{H_n^2}{H_{ГДn}^2} \leq 1, \quad (3)$$

де H_1, H_2, H_n – фактична напруженість МП у різних діапазонах частот, А/м; $H_{ГД1}, H_{ГД2}, H_{ГДn}$ – ГДР МП у відповідних діапазонах частот, А/м.

Це ж саме стосується і гармонічних складових МП одного джерела випромінювань. Тому, позначивши суму співвідношень виразу (3) як MFI (magnetic field indicator) [12], його можна представити в наступному вигляді:

$$MFI = \sum \frac{H_n^2}{H_{ГДn}^2} \leq 1 \quad (4)$$

Якщо даний показник перевищує одиницю, то він показує у скільки разів рівень МП перевищує нормативне значення енергетичного навантаження МП на організм зварника. Отже, це співвідношення є не що інше як узагальнений показник рівня магнітного поля MFI [12].

Таким чином, якщо $MFI > 1$, на робочих місцях повинні застосовуватися відповідні заходи захисту операторів контактного зварювання, які б забезпечували безпечні умови праці протягом восьмигодинної робочої зміни. Також, згідно установленому нормативу [13] можна застосовувати захист часом, тобто допустимий час роботи зварника ($T_{зв.доп.}$) можна зменшувати у відповідності з величиною MFI

$$T_{зв.доп.} = \frac{8}{MFI}, \text{ годин.}$$

(5)

Результати експериментів та їх аналіз. Досліди проводились у зварювальних лабораторіях Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона на типових робочих місцях. Виконували вимірювання напруженості МП при застосуванні наступних способів контактного зварювання: контактним стикового безперервним та пульсуючим оплавленням, дугового стикового, конденсаторного точкового.

У табл. 1–3 наведено результати вимірювань і розрахунку показника рівня МП MFI для кожного способу, режиму зварювання та частотного діапазону згідно вимог санітарних норм [13]. Разом з тим, застосування такого показника як допустимий час впливу МП на зварника ($T_{зв.доп.}$) дає можливість найбільш зручно для розумового сприйняття оцінювати рівень МП та його вплив на організм людини.

Таблиця 1. Результати визначення рівнів магнітного поля при контактному стиковому зварюванні безперервним і пульсуючим оплавленням

Зварювальне обладнання, способи зварювання, виріб	Характеристики зварювального процесу		Зона вимірювання МП	Діапазон частот, Гц	MFI	$T_{зв.доп.}$ години
	Тривалість процесу, с	Вид зварювального струму				
Стационарна машина для зварювання рейок К-1000, зварювання безперервним оплавленням	180,0	Змінний, 50 Гц, з амплітудною модуляцією	Зварювальний трансформатор розташований в машині на рівні живота. Відстань від корпусу машини: 0,25 м	5...50	<<1	6,6
				50...100	1,2	
			0,5 м (робоча зона)	5...50	<<1	8,0
				50...100	0,08	
Стационарна машина для зварювання рейок К-1000, зварювання пульсуючим оплавленням	Тривалість усього циклу 90: 30 – безперервним оплавленням (підігрів)	Змінний, 50 Гц	Зварювальний трансформатор та пульт керування машиною розташований на рівні живота. Відстань від машини: 0,25 м	5...50	<1	0,1
				50...100	85,0	
	60 – пульсуюче оплавлення (зварювання)	Змінний, 50 Гц, з амплітудною модуляцією	0,5 м (робоча зона)	5...50	<1	0,85
				50...100	9,23	
			1,0 м (робоча зона)	5...50	<<1	6,0
				50...100	1,33	
			1,5 м (робоча зона)	5...50	<<1	>8,0
				50...100	<1	

Таблиця 2. Результати визначення напруженості магнітного поля при контактному дуговому стиковому зварюванні

Марка обладнання, спосіб зварювання, вид струму	Режим зварювання (час циклу, с)	Діапазон частот, Гц	Напруженість МП, А/м	Показник рівня МП MFI	Допустимий час роботи зварника, години (хвилини)	Зона вимірювань МП
Пістолет для приварки шпильок «ELOTOP-502» фірми «Koster», дуго-стикове, постійний імпульсний струм	0,28 (імпульс постійного струму), джерело струму – трифазний трансформатор з тиристорним випрямлячем і електронним блоком керування	0...5	90...192	0,004	≈ 8	Ноги, кисті рук
		5...50	18...129	0,032		
		50...1000	8...81	1,01		

Таблиця 3. Результати визначення напруженості магнітного поля при контактному конденсаторному зварюванні

Марка обладнання, спосіб зварювання, вид струму	Режим зварювання (час циклу)	Діапазон частот, Гц	Напруженість МП, А/м	Показник рівня МП MFI	Допустимий час роботи зварника, години (хвилини)	Зона вимірювань МП
МТК-2201, стационарна машина для точкового конденсаторного зварювання, постійний струм	Напряга – 700 В, час циклу зварювання – 10 мс	50...1000	6...50	0,002	0,6 (36)	Груди
		1000...10000	8...34	0,54		
		50...1000	30...201	0,005		Ноги, кисті рук
		1000...10000	8...112	14,1		

Розглянемо отримані результати для кожного способу контактного зварювання.

Контактне стикове зварювання безперервним та пульсуючим оплавленням виконували в робочій зоні оператора (хоча в промисловості оператор, як правило, повинен знаходитися на відстані 5 м від зварного стику). Виконували зварювання залізничних рейок Р65 на змінному струмі частотою 50 Гц. Визначення рівнів МП здійснювали на різних відстанях від машини.

Спочатку аналізували отримані осцилограми (рис. 1) та спектрограми (рис. 2) МП, вимірювали показники їх рівнів і зводили в табл. 1.

Результати досліджень дали можливість виявити наступні характерні закономірності.

Для цього способу зварювання характерно, що на оптимальній швидкості оплавлення металу в кожному напівперіоді змінного струму має бути більша кількість рідких перемичок розплавленого металу між торцями зварюваних деталей, необхідних для утворення зварного з'єднання. Руйнування цих перемичок характеризується відповідними кидками (змінками) струму та напруги. Зазвичай, при стійкому процесі оплавлення відбувається чотири-сім таких кидків (тобто з основними гармоніками 400...800 Гц), які значно перевищують напругу холостого ходу зварювального трансформатора. Це і призводить до виникнення підвищеного рівня МП.

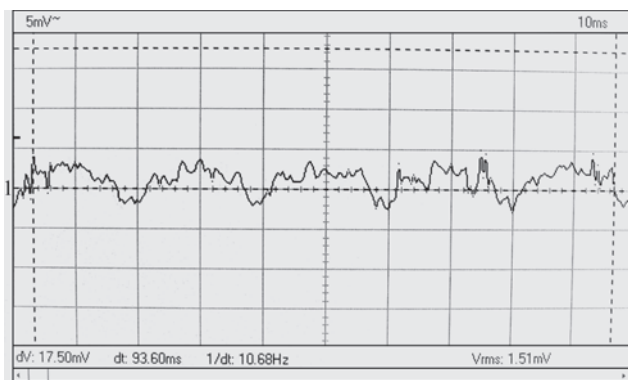


Рис. 1. Осцилограма магнітного поля контактного стикового зварювання безперервним оплавленням (умови вимірювання наведено в табл. 1)

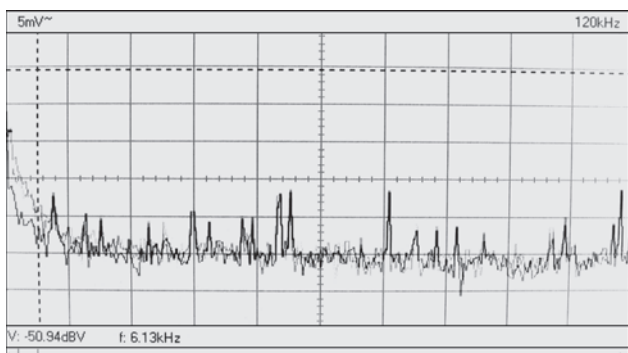


Рис. 2. Спектрограма магнітного поля контактного стикового зварювання безперервним оплавленням

Отримано наступні результати вимірювань рівнів МП у різних точках робочої зони зварника в різних діапазонах частот. У ділянці живота зварника на відстані 0,25 і 0,5 м MFI відповідно становить 1,2 і 0,08, а $T_{зв,доп}$ збільшується з 6,6 до 8 год. Тобто, на цій відстані стає можливим тривалість роботи зварника протягом 8 годин.

Процес контактного стикового зварювання пульсуючим оплавленням рейок Р65 (табл. 1) складався з двох етапів:

- підігрівання торців рейок безперервним оплавленням протягом 30 с;

- зварювання пульсуючим оплавленням протягом 60 с.

Гігієнічні показники всього процесу визначались саме другим етапом зварювання (60 с) – пульсуючим оплавленням.

В умовах проведення експериментів, наведених в табл. 1, отримано такі результати вимірювання рівнів МП. У ділянці живота на відстані від машини:

- на відстані 0,5 м від машини (робоча зона):

$MFI \ll 1$ – діапазон частот 5...50 Гц;

$MFI = 9,23$ – діапазон частот 50...1000 Гц, $T_{зв,доп} \approx 0,85$ год (50 хв);

- на відстані 1,0 м від машини (робоча зона):

$MFI \ll 1$ – діапазон частот 5...50 Гц;

$MFI = 1,4$ – діапазон частот 50...1000 Гц, $T_{зв,доп} \approx 5,7$ год;

- на відстані 1,5 м від машини (робоча зона):

$MFI \ll 1$ – діапазон частот 5...50 Гц;

$MFI < 1$ – діапазон частот 50...1000 Гц, $T_{зв,доп} = 8$ год.

Таким чином, мінімальний допустимий час, який визначає тривалість роботи зварника, відноситься до частотного діапазону 50...1000 Гц і становить 0,85 год (50 хв).

Враховуючи, що гігієнічні вимоги до рівня напруженості МП у даному випадку визначаються тільки другим етапом процесу (пульсуючим оплавленням), загальний допустимий час зварювання (з урахуванням безпечного першого етапу) складає $T_{зв,доп} = \frac{90}{60} \cdot T_{зв,доп(0,25)} = 1,275$ год.

Якщо ж робочою зоною вважати, наприклад, відстань від машини 0,25 м (див табл. 1), $T_{зв,доп} = \frac{90}{60} \cdot T_{зв,доп(0,25)} = 1,154$ год. Це дає можливість зварювати всього 6 стиків за робочу зміну.

Результати виконаних досліджень показали, що в даному випадку визначальним санітарно-гігієнічним фактором є магнітне випромінювання в діапазоні частот 50...1000 Гц, а не 1000...10000 Гц. Ці закономірності, в загальному, відносяться також до процесу стикового зварювання пульсуючим оплавленням. Спектри МП, що створюють-

ся під час стикового зварювання пульсуючим оплавленням з амплітудною модуляцією зварювального струму, відрізняються від дискретних спектрів МП процесів безперервного оплавлення перехідним характером і великою інтенсивністю спектральних складових (на однакових відстанях від джерела МП), а також наявністю окрім основних гармонік, додаткових сигналів модулюючої частоти. При зварюванні рейок амплітуди основних гармонік приблизно на 6 дБ менші від амплітуд основних гармонік, що відповідає коефіцієнту модуляції 100 % і складає приблизно половину їх величини. Це суттєво збільшує нормовані параметри при розрахунку енергетичного балансу спектра МП та погіршує гігієнічні показники процесу. Разом з тим ускладнюється методика вимірювання, приладна база і працездатність обробки результатів, але значно підвищується вірогідність оцінки спектра за рахунок значної стабілізації зварювального процесу (його системності, наближення до локально-стаціонарної моделі) та повторюваності спектрів (як і якості зварювання).

Встановлено, що осцилограми і спектри МП одних і тих же процесів стикового зварювання на різних зварювальних машинах можуть суттєво відрізнятися. Це пояснюється їх конструктивними особливостями та індуктивністю зварювальних трансформаторів, розмірами й просторовим розміщенням зварювальних (силових) контурів, конфігурацією зварюваних деталей, роботою приводних гідравлічних пристроїв тощо. При цьому найбільш небезпечні для зварників МП, гармоніки яких знаходяться в межах діапазону від 50 до 1000 Гц.

Дослідження МП, що виникає при дуговому стиковому зварюванні ручним способом, виконувалось пістолетом «ELOTOP» фірми «KOSTER» (Німеччина). Виконувалось приварювання шпильок діаметром 3...6 мм до металевих листів імпульсним постійним струмом. У якості джерела струму використовували випрямляч електричного струму без фазового керування тиристорами.

У цьому випадку маємо зовсім іншу характеристику МП (табл. 2) у порівнянні з попереднім способом контактного стикового зварювання безперервним та пульсуючим оплавленням. Спектр сигналу МП має суцільний характер і зміщений переважно в діапазон частот 0...5 і 5...50 Гц з менш жорсткими ГДР. У ділянці ніг та рук зварника у цьому діапазоні частот *MFI* має надто низькі значення, відповідно 0,004 та 0,32, що значно менше одиниці. А у діапазоні 50...1000 Гц – практично дорівнює одиниці. Тому $T_{зв,доп}$ приблизно становить 8 годин. Причому в інструкції з експлуатації даного обладнання наведено рекомендації щодо захисту здоров'я зварника, який безпосередньо працює з цим обладнанням.

Такі гігієнічні переваги даного зварювального обладнання можна пояснити застосуванням постійного струму і відсутністю пристрою його фазового керування.

Для конденсаторного точкового зварювання листового металу на постійному струмі характерно, що форма зварювального струму у вигляді короткочасного експоненціального відеоімпульсу [14] визначає суцільний спектр МП. Складові спектру в частотному діапазоні 5...1000 Гц, головним чином, визначають санітарні проблеми цього способу (табл. 3). Так, у ділянці грудей зварника в діапазоні частот 50...1000 і 1000...10000 *MFI* мають досить низькі значення – 0,002 та 0,54, відповідно, що значно менше одиниці. А у ділянці ніг та рук зварника лише в діапазоні 1000...10000 Гц цей показник становить 14,1, що і визначає допустимий час роботи зварника – всього 0,6 год (36 хв) на протязі восьмигодинної робочої зміни.

Таким чином, результати виконаної гігієнічної оцінки магнітних полів у відповідності з новими нормативами дали можливість встановити наступні закономірності:

- контактне стикове зварювання характеризується перевищенням гранично допустимого рівня МП у високочастотному діапазоні 5...50 і 50...100 Гц на відстані до 0,5 м від зварювальної машини при безперервному оплавленні та на відстані 1,5 м при пульсуючому оплавленні;
- при дуговому стиковому зварюванні на робочому місці зварника перевищення гранично допустимих рівнів магнітного поля не виявлено;
- конденсаторне точкове зварювання постійним струмом характеризується перевищенням гранично допустимого МП на робочому місці у високочастотному діапазоні 1000...10000 Гц.

Результати виконаних досліджень дають можливість запропонувати практичні рекомендації щодо мінімізації шкідливої дії магнітних полів на організм операторів контактного зварювання.

При застосуванні контактної стикової зварювання робоче місце оператора має розташовуватись на відстані не ближче 0,5 м від зварювальної машини при безперервному оплавленні та не ближче 1,5 м при пульсуючому оплавленні.

Дугове стикове зварювання на відміну від контактної точкової не становить небезпеки для зварників. Проте при ручному зварюванні електродний кабель повинен обвиватися навколо тіла зварника.

Конденсаторне точкове зварювання має обмежений час роботи і потребує розташування робочого місця на безпечній відстані від зварювальних електродів.

Отримані результати свідчать про те, що всі досліджені способи контактної зварювання, ок-

рім дугове стикове, характеризуються підвищеним рівнем МП у порівнянні з електродуговим зварюванням [10]. Вони суттєво відрізняються між собою в залежності від виду джерела живлення електричним струмом, величини та виду зварювального струму.

Підвищені рівні МП при контактному стиковому зварюванні машиною К-1000 безперервним і пульсуючим оплавленням залізничних рейок обумовлено, переважно, наявністю у складі індукованих МП досить інтенсивних високочастотних гармонічних сигналів у діапазоні 50...1000 Гц (див. табл. 1). Нормативні ж значення [13] у цьому діапазоні частот приблизно в 15 разів нижчі, ніж у діапазоні 5...50 Гц. Це і є головною причиною суттєвого скорочення допустимого часу роботи оператора-зварника. При цьому умови праці оператора-зварника залежать від відстані до корпусу машини. Взагалі, при зварюванні безперервним оплавленням допустимий час роботи зварника більший, ніж при пульсуючому оплавленні. Це пояснюється тим, що пульсуюче оплавлення відповідно здійснюється імпульсним змінним струмом з амплітудною модуляцією, що і призводить до генерування більш високих рівнів МП за рахунок його самоіндукції від цих імпульсів. Тому допустима робоча зона зварника при безперервному оплавленні починається на відстані 0,5 м, а при пульсуючому оплавленні на відстані 1,5 м. Цим і визначається місце безпечного розташування робочого місця оператора-зварника.

Дугове стикове контактне точкове зварювання пістолетом «ELOTOP-502» для приварки шпильок має незрівнянні переваги в гігієнічному відношенні (табл. 2). Це пояснюється тим, що дане обладнання частково поєднує в собі переваги дугового зварювання [10] і недоліки контактного [12]. Воно працює на постійному імпульсному струмі, який створюється трифазним трансформатором з тиристорним випрямлячем і електронним блоком керування електричним сигналом, що і знижує можливість генерування МП за рахунок струмів самоіндукції. Все зазначене дозволяє зварнику працювати повну восьмигодинну робочу зміну.

Конденсаторне точкове зварювання листового металу стаціонарною машиною МТК-2201 має свої суттєві недоліки щодо рівня МП (табл. 3), що створюється постійним струмом, який зазвичай має гігієнічні переваги у порівнянні зі змінним струмом. Високий же рівень МП у цьому випадку пояснюється характерною формою сигналів зварювального струму у вигляді короткочасного експоненціального відеоімпульсу [14], який визначає спектр МП. Такі сигнали генерують періодичні імпульсні МП збільшеної амплітуди за рахунок енергії, що періодично виникає в проце-

сі заряджання і розряджання конденсатора джерела живлення електричним струмом. Наявність таких МП, особливо, у діапазоні високих частот 1000–10000 Гц, нормативні значення яких ще нижчі, ніж у діапазоні 50...1000 Гц, суттєво знижує допустимий час роботи зварника.

Таким чином, отримані результати досліджень дають можливість розробляти рекомендації щодо мінімізації небезпечної дії МП на організм зварників при подальшій модернізації даного обладнання контактного зварювання. При цьому важливо правильно вибрати відстань до безпечної робочої зони оператора-зварника та місця встановлення пульта керування процесом зварювання.

Висновки

1. Визначено напруженість характерних для контактного зварювання полічастотних МП у встановлених нормативами діапазонах, загальні показники їх рівнів та допустимий час роботи зварника при застосуванні різних способів контактного зварювання.

2. На основі отриманих результатів виконано гігієнічну оцінку МП у відповідності з установленими нормативами для подальшого розроблення рекомендацій зі захисту зварників.

3. Результати виконаних досліджень дають можливість запропонувати практичні рекомендації щодо мінімізації шкідливої дії МП на організм операторів контактного зварювання, які полягають у наступному:

– при застосуванні контактного стикового зварювання робоче місце оператора має розташовуватись на відстані не ближче 0,5 м від зварювальної машини при безперервному оплавленні та не ближче 1,5 м при пульсуючому оплавленні;

– дугове стикове зварювання на відміну від контактного стикового зварювання не становить небезпеки для зварників, проте при ручному зварюванні електродний кабель не повинен обвиватися навколо тіла зварника;

– конденсаторне точкове зварювання має обмежений час роботи і потребує розташування робочого місця на безпечній відстані від зварювальних електродів.

Список літератури/References

1. Modenese, A., Gobba, F. (2021) Occupational Exposure to Electromagnetic Fields and Health Surveillance according to the European Directive 2013/35/EU. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1730. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18041730>
2. Stam, R. (2018) *Comparison of international policies on electromagnetic fields (power frequency and radiofrequency fields)*. <https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/623629/2018998.pdf?sequence=1>
3. Fuentes, M.A., Trakic, A., Wilson, S.J. et al. (2008) Analysis and measurements of magnetic field exposures for healthcare workers in selected MR environments. *IEEE Transactions*

- on *Biomedical Engineering*, 55(4), 1355–1364. DOI: <https://doi.org/10.1109/TBME.2007.913410>
4. Yamaguchi-Sekino, S., Ojima, J., Sekino, M., et al. (2011). Measuring exposed magnetic fields of welders in working time. *Industrial health*, 49(3), 274–279. <https://doi.org/10.2486/indhealth.MS1269>
 5. Weingrill, L., Krutzler, J., Enzinger, N. (2016) Temperature Field Evolution during Flash Butt Welding of Railway Rails. *Materials Science Forum*, 879, 2088–2093. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.879.2088>
 6. Gotawala, N., Shrivastava, A. (2020) Microstructural analysis and mechanical behavior of SS 304 and titanium joint from friction stir butt welding. *Materials Science and Engineering: A*, 789, 139658. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139658>
 7. Vates, U.K., Sharma, B.P., Kanu, N.J. et al. (2020) Optimization of Process Parameters of Galvanizing Steel in Resistance Seam Welding Using RSM. *Proceedings of International Conference in Mechanical and Energy Technology. Smart Innovation, Systems and Technologies, Springer, Singapore, 7–8 November*, 174. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-2647-3_65
 8. Hu, S., Haselhuhn, A.S., Ma, Y. et al. (2022) Effect of external magnetic field on resistance spot welding of aluminium to steel. *Science and Technology of Welding and Joining*, 27(2), 84–91. DOI: 10.1080/13621718.2021.2013707
 9. Qi, L., Zhang, Q., Niu, S. et al. (2021) Influencing mechanism of an external magnetic field on fluid flow, heat transfer and microstructure in aluminum resistance spot welding. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 15(1), 985–1001. DOI: 10.1080/19942060.2021.1938684
 10. Levchenko, O., Polukarov, Y., Goncharova, O. et al. (2022). Determining patterns in the generation of magnetic fields when using different arc welding techniques. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (116)), 50–56. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254471>
 11. Левченко О. (2020) Методологія визначення рівня полічастотного магнітного поля в робочій зоні зварника. *Проблеми охорони праці в Україні*, 36(4), 3-7. DOI: 10.36804/nndipbop.36-4.2020.3–7.
Levchenko, O. (2020) Procedure of determination of multi-frequency magnetic field in working zone of welder. *Problemy Ohorony Pratsi v Ukraini*, 36(4), 3-7. DOI: 10.36804/nndipbop.36-4.2020.3–7.
 12. Levchenko, O., Polukarov, Y., Goncharova, et al. (2022) Determining patterns in the generation of magnetic fields when using different contact welding techniques. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(10 (120)), 46–53. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268699>
 13. Напруженість електромагнітних полів промислової частоти (2002) ДСН 3.3.6.096-2002. Київ, МОЗ, 16. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text>.
DSN 3.3.6.096-2002: Magnetic field intensity of commercial frequency (2002). Kyiv, Ministry of Health of Ukraine, 16. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text>.
 14. Tan, L., Jiang, J. (2018) *Digital signal processing: fundamentals and applications*. Academic Press. https://books.google.com/DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Digital+signal+pro.ua/books?hl=ru&lr=&id=Mxlxcceing&ots=p9iTQfnj5H&sig=tqYZ9nRgZeDfoC1nvPB6thm-LbxA&redir_esc=y#v=onepage&q=Digital%20signal%20processing&f=false

HYGIENIC CHARACTERISTICS AND REGULARITIES OF GENERATING MAGNETIC FIELDS IN DIFFERENT METHODS OF RESISTANCE WELDING

O.G. Levchenko¹, Yu.O. Polukarov¹, O.M. Goncharova², O.M. Bezushko²

¹National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». 37 Peremohy Ave., 03056, Kyiv, Ukraine

E-mail: levchenko.opcb@ukr.net

²E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: goncharova.olga789@gmail.com

The levels and spectral composition of the magnetic fields generated by the equipment for resistance welding in different methods was determined in order to evaluate their effect on the body of welders. Analysis of literary sources regarding resistance welding showed almost complete lack of information on electromagnetic safety of the mentioned welding methods. The proposed methodological approaches to determination of the levels of magnetic fields, means of measurements and methods of evaluating their effect on the welder's body are given. On the basis of the analysis and processing of the obtained oscillograms and spectrograms of magnetic fields, the measurement of their frequency and quantitative characteristics was performed. To determine the overall level of the polyfrequency magnetic field generated during resistance welding, the proposed generalized indicator of the level of the magnetic field was used. It was established that in flash-butt and capacitor-discharge spot welding, the excess of the admissible level of magnetic field is predetermined by the shape of welding current and the presence of powerful harmonic signals in the frequency ranges of 50...1000 and 1000...10000 Hz in their range. It is shown that the spectral composition and the magnitude of the magnetic field signal are determined mainly by the welding method itself and the output parameters of the power sources. It is shown that it is possible to perform flash-butt and capacitor-discharge spot welding in a stationary method with placing the workplace (control panel) at a certain distance from the welding electrodes. Unlike these methods of joining metals, flash-butt welding is not dangerous to welders. However, in manual welding, the electrode cable should not wrap around the welder's body. 14 Ref., 3 Tabl., 2 Fig.

Keywords: flash-butt welding, magnetic field, frequency, intensity, standard, indicators, recommendations

Надійшла до редакції 27.03.23



INTERNATIONAL INSTITUTE OF WELDING

A world of joining experience

iiwelding.org