

УДК 621.791

В. Лебедєв¹, д.т.н. проф., С. Новиков², пров. інж.

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ, Україна

²Дослідно-конструкторсько-технологічне бюро (ДКТБ) Інституту електрозварювання імені Є.О.Патона НАНУ, Україна.

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ КОЛИВАНЬ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ
ВАННИ НА ЧАСТОТУ ПЕРЕНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ**

V. Lebedev¹, Dr, Prof, S. Novykov, lead eng.

¹E.O. Paton Electric Welding Institute, Ukraine,

²Experimental design and technological bureau of the E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

**ANALYSIS OF INFLUENCE OF LOW-FREQUENCY OSCILLATIONS OF WELD
POOL ON TRANSFER FREQUENCY OF METAL OF ELECTRODE WIRE**

Abstract. The goal is to determine the influence of welding pool oscillations on the transfer of electrode metal, the dependence of the arc burning period on the oscillation parameters was obtained and investigated, which was carried out on the basis of oscillograms, which were obtained on different amplitude-frequency parameters and one technological mode of surfacing by GMAW: welding current $I = 125$ A., arc voltage $U = 24 \div 26$ V, surfacing speed $V = 14$ m/h.

Застосування періодичного впливу на зварювальну ванну або зварювальний інструмент виправдано з метою підвищення технологічної міцності зварних конструкцій, що обумовлено підвищенням механічних властивостей завдяки збільшенню ступеню дисперсності мікроструктури наплавленого металу, а також покращення його та металу зони термічного впливу за рахунок утворення корисних структурних складових та збільшення їх долі. За допомогою коливань можливо регулювати перенос крапель електродного металу у зварювальну ванну, що дає змогу контролювати введення теплоти в основний метал завдяки зниженню частоти переносу крапель у порівнянні із аналогічним процесом зварювання або наплавлення без коливань.

Для проведення відповідних експериментів в ДКТБ інституту електрозварювання імені Є.О.Патона НАНУ була створена експериментальна установка для механізованого напівавтоматичного зварювання та наплавлення з керованими коливаннями зварювальної ванни, де генератором коливань виступає програмований кроковий двигун [1]. Дана установка дозволяє генерувати поперечні гармонічні коливання столу, де закріплюються дета у діапазоні частот (ν) до 5 Гц, а амплітуд (A) до 7 мм.

Експериментальна частина складалася з 5 наплавлень на пласкі зразки з вуглецевої сталі товщиною 8 мм типу Ст 3сп суцільним плавким дротом діаметром 1,2 мм марки ER70S-6 (C: 0,06-0,15%; Si: 0,80-1,15%; Mn: 1,40-1,85%; P: 0,025%; S: 0,035%), що є аналогом дроту Св 08Г2С. Всі зразки були наплавлені за єдиним технологічним режимом вказаним вище з витратою вуглекислого газу 9 – 12 л/хв. 4 зразки наплавлялися з накладанням на них коливань з наступними коливальними режимами: 1. $\nu = 3$ Гц та $A = 7$ мм; 2. $\nu = 3$ Гц та $A = 3$ мм; 3. $\nu = 4,5$ Гц та $A = 3$ мм; 4. ν

= 4,5 Гц та $A = 7$ мм. Дані коливальні режими були обрані як не граничні та такі, що забезпечують більш стабільний процес наплавлення на заданому технологічному режимі. Запис осцилограм здійснювався за допомогою спеціалізованого комплексу для моніторингу процесу зварювання на базі АЦП *L-Card*, що забезпечує безперервне введення сигналів на частотах дискретизації від 0,122 до 100,0 кГц[2].

Попередній аналіз осцилограм [3, 4] вказує на можливість суттєво зменшити частоту переносу електродного металу завдяки коливанням ванни у порівнянні з режимом наплавлення без коливань. Основна тенденція полягає в тому, що зниження частоти переносу збільшується зі збільшенням параметрів амплітудно – частотних характеристик коливань зварювальної ванни, причому вплив амплітуди і частоти коливань ванни є різним: вплив амплітуди тим менше, чим менше значення частоти, із збільшенням частоти значення впливу амплітуди теж зростає. У кількісному вираженні середня частота переносу крапель на режимах з коливаннями зварювальної ванни максимально знижується у 1,86 рази (режим 4). На певних ділянках осцилограм спостерігається зниження частоти в 3,5 рази. Таким чином, є певний сенс встановлення закономірності між амплітудно – частотними характеристиками коливань зварювальної ванни (v , A) та частоти переносу електродного металу, що визначається періодом горіння дуги t . На основі закономірностей, які описують процес переносу електродного металу у зварювальну ванну при наплавленні плавким електродом на постійному струмі у середовищі вуглекислого газу[5], було отримано вираз:

$$\begin{aligned} & (V_{ey} - V_n) + (V_{max} - V_{ey}) \cdot e^{-\frac{t}{T_{3л}}} - t \cdot \frac{(L \cdot \pi \cdot v)^2 \cdot \cos(4 \cdot \pi \cdot v \cdot t)}{\sqrt{l_{\partial 0}^2 + \left(\frac{L}{2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot v \cdot t)\right)^2}} + \\ & + t \cdot \frac{L^4 \cdot (\pi \cdot v)^2 \cdot \sin^2(4 \cdot \pi \cdot v \cdot t)}{16 \cdot \sqrt{\left(l_{\partial 0}^2 + \left(\frac{L}{2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot v \cdot t)\right)^2\right)^3}} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

де $l_{\partial 0}$ – значення міждугового проміжку у момент рівноваги, тобто положення дуги є вертикальним, м; t – період горіння дуги, с; V_{ey} – швидкість плавлення електроду, що встановилася після досягнення сили струму значенням 125 А, м/хв; V_n – швидкість подавання електроду у зварювальну ванну, м/хв, V_{max} – швидкість плавлення електроду, що відповідає піковому значенню сили струму у 467 А, м/хв.; e – основа натурального логарифму; $T_{3л}$ – постійна часу зварювального ланцюга, с. =-0=-0=-0=-0=-0=-0=-0=-0=-0=-0=-

Перші 2 доданки у виразі (1) описують зміну дугового проміжку за рахунок плавлення дроту завдяки енергетичним параметрам технологічного режиму, інші 2 – зміну проміжку за рахунок коливань зварювальної ванни із заданими параметрам коливального режиму. Дана залежність є трансцендентною відносно t і вирішувалась чисельними методами за допомогою пакету *Mathcad*.

Щодо верифікації залежності (1) були здійснені відповідні розрахунки за означеними вище технологічному та коливальному режимах при наступних значеннях інших параметрів, що входять у вираз (1): $V_{ey} = 2,671$ м/хв, $V_n = 2,677$ м/хв, $V_{max} = 14,721$ м/хв, $T_{3л} = 0,007$ с, $l_{\partial 0} = 4$ мм. Результати розрахованих за (1) та середніх виміряних за осцилограмами значень t наведено у таблиці 1.

Табл. 1. Значення розрахункових та експериментальних середніх значень періоду горіння дуги t

| Номер експерименту | Амплітуда, A , м | Частота, ν , Гц | Розрахункове значення періоду t за (1), с | Експериментальне середнє значення періоду t , с |
|--------------------|--------------------|---------------------|---|---|
| 0 | - | - | - | 0,038 |
| 1 | 0,007 | 3 | 0,032 | 0,042 |
| 2 | 0,003 | 3 | 0,038 | 0,041 |
| 3 | 0,003 | 4,5 | 0,085 | 0,061 |
| 4 | 0,007 | 4,5 | 0,089 | 0,071 |

З таблиці 1 видно, що залежність (1) має задовільну ступінь верифікації з експериментальними даними, що дає змогу застосовувати її щодо прогнозування збільшення величини t на певному технологічно-коливальному режимі наплавлення у заданих амплітудно-частотному діапазоні.

Література

1. Лебедев В.О., Новиков С. В. Установка для наплавления та зварювання в середовищі CO₂ з механічними поперечними гармонічними коливаннями зварювальної ванни [Текст] / В. О.Лебедев //Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем. Матеріали XII - ї міжнародної науково – практичної конференції. Т.2 – 2022, 26 – 27 травня, 2022 р., Чернігів, Україна. – 264 с.
2. Пирумов А.Е., Скачков И. О., Супрун С.А., Максимов С.Ю. Специализированный комплекс для мониторинга процесса сварки / А.Е.Пирумов, И. О.Скачков, С.А.Супрун, С.Ю.Максимов //ПИКАД: промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. — 2007. — № 4. — С. 18–19.
3. Лебедев В. А.,Новиков С. В.Влияние параметров колебаний сварочной ванны на частоту переноса электродного металла [Текст] / В. А.Лебедев //Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем. Матеріали X - ї міжнародної науково – практичної конференції. Т.2 – 2020, 29 – 30 квітня, 2020 р., Чернігів, Україна. – 252 с.
4. Лебедев В. А.,Новиков С. В.Влияние амплитудно – частотных характеристик колебаний сварочной ванны на частоту переноса электродного металла [Текст] / В. А.Лебедев //Проблеми зварювання та споріднених технологій. Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю. 2019, 17 – 19 вересня, 2019 р., Миколаїв, Україна. – 104 с.
5. Ищенко И.Л., Дюргеров Н. Г. Плавление электрода и саморегулирование дуги при сварке с периодическими замыканиями дугового промежутка/И.Л.Ищенко, Н. Г. Дюргеров // Сварочное производство. — 1961. — № 6. — С. 9 –12.