

ГИПОТЕЗА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ НАПЛАВКЕ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГНОСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ

Рост капли в процессе наплавки плавящимся электродом характеризуется линейной зависимостью изменения тока от времени. Выдвинута гипотеза, согласно которой снижение скорости подачи электродной проволоки до нуля в данном временном промежутке существенно уменьшит потери на разбрызгивание и улучшит формирование наплавочного валика, для реализации чего предложено применение регуляторов с типовым законом регулирования, но не по текущему значению тока дуги, а по прогнозу. Ключевой особенностью данных исследований является осуществление данного процесса наплавки с наложением внешних механических колебаний с заданными амплитудно-частотными характеристиками на сварочную ванну. Приведен аналитический расчёт передаточной функции для прогностического ПИД регулятора с простейшим линейным прогнозом с учётом колебания сварочной ванны.

Ключевые слова: прогностический регулятор, колебания сварочной ванны, наплавка.

Введение

Экспериментально установлено, что в момент роста капли ток в дуге меняется по линейной зависимости. Если в этот период скорость подачи электродной проволоки снизить до нуля, то время существования жидкой перемычки уменьшится в 1,7 раза по сравнению с режимом наплавки с постоянной скорости подачи проволоки. Минимальный ток короткого замыкания снизится на 20 %, что уменьшит не только потери металла на разбрызгивание, но и количество теплоты введённой в основной металл. Частота же импульсов подачи проволоки должна быть близкой или равна частоте переноса капель в сварочную ванну. Обеспечить такой режим подачи электродной проволоки можно применяя систему управления, основанную на автоматических регуляторах.

Анализ последних исследований и литературы

Для осуществления поставленной задачи применяются регуляторы с оптимальными алгоритмами регулирования (ПИ, ПИД, П) параметров технологического процесса [1]. Однако можно существенно повысить эффективность типовых алгоритмов, незначительно видоизменив их таким образом, чтобы регулирование осуществлялось не по текущему значению выходной величины $-I_o(t)$, а по прогнозу [2] $-I_o(t + \tau_{np})$, где τ_{np} – время через которое возникнет ошибка регулирования Δ_{np} .

Прогностический регулятор состоит из 2-х частей – регулятора с типовым законом регулирования $W(p)$ и

передвключённого элемента прогнозирования с передаточной функцией $W_{np}(p)$ или некоторой нелинейной функцией $f(I_o, t)$. Элемент имеет память в которую вводится заданный линейный закон изменения тока дуги $-I_o^o(t) = At + I_o$, где A и I_o заданные постоянные. Определяя значение разности $I_o^o(t) - I_o^{mek}(t)$, где $I_o^{mek}(t)$ – закон изменения текущего значения регулируемой величины, элемент прогнозирования преобразует значение этой разности в сигнал ожидаемой через время τ_{np} ошибки регулирования $\Delta_{np} = I_o^o(t) - I_o(t + \tau_{np})$, по которой в соответствии с принятым типовым законом формируется регулирующее воздействие

$$\mu = \begin{cases} 0; \varepsilon_{np} = 0; V_{nэ} \neq 0 \\ f(t); \varepsilon_{np} \neq 0; V_{nэ} = 0 \end{cases}, \text{ где } V_{nэ} - \text{ скорость по-} \\ \text{дачи электродной проволоки; } f(t) - \text{ заданный алгоритм} \\ \text{регулирующего воздействия.}$$

дачи электродной проволоки; $f(t)$ – заданный алгоритм регулирующего воздействия.

Постановка проблемы

Как известно, при наплавки в среде углекислого газа одним из существенных недостатков являются большие потери на разбрызгивание, а при наложении внешних колебаний на расплав сварочной ванны этот недостаток только усиливается. Основной причиной разбрызгивания принято считать взрыв перемычки, что характеризуется некоторой значением силы тока, соединяющей каплю расплавленного металла с торцом проволоки. Тогда, применяя прогностический регулятор, можно задать режим подачи проволоки таким об-

разом, чтобы в период роста капли скорость подачи была равна нулю, а размер капли определялся заданными амплитудно-частотными характеристиками колебания сварочной ванны.

Цель работы

Аналитически определить зависимости времени горения дуги и времени короткого замыкания от заданного закона колебания сварочной ванны, на основе которых может быть задан алгоритм работы прогностического регулятора.

Основная часть

Для тока дуги при для ванны, которая колеблется по заданному закону $\psi(t) = 2\pi f_{\delta} t$, как показано на рисунке 1, где f_{δ} – заданная частота колебания ванны, зависящая от скорости сварки, было получено аналитическое выражением [3]:

$$I_0 = I_{кз} - D l_0^{\frac{3}{8}},$$

где $I_{кз}$ – ток короткого замыкания, $D [A/m]$ – коэффициент пропорциональности, определяемый экспериментально в зависимости от силы тока сварки, l_0 – длина дуги, в условиях внешних колебаний определяемая как [4]:

$$l_0 = \delta e^{-\frac{t_{cp}}{\theta}},$$

где δ – величина превышения длины дуги за счёт колебания, t_{cp} – время саморегулирования дуги, $\theta [c]$ – постоянная саморегулирования дуги, а $\delta = atg(2\pi f_{\delta} \tau)$ – амплитуда колебания сварочной дуги.

Здесь a – горизонтальное расстояние от оси колебания до ванны, τ – время горения дуги до короткого замыкания. Тогда для промежутка времени роста капли можно записать:

$$A\tau_{л} + I_0 = I_{кз} - D \left(atg(2\pi f_{\delta} \tau_{л}) e^{-\frac{t_{cp}}{\theta}} \right)^{\frac{3}{8}}.$$

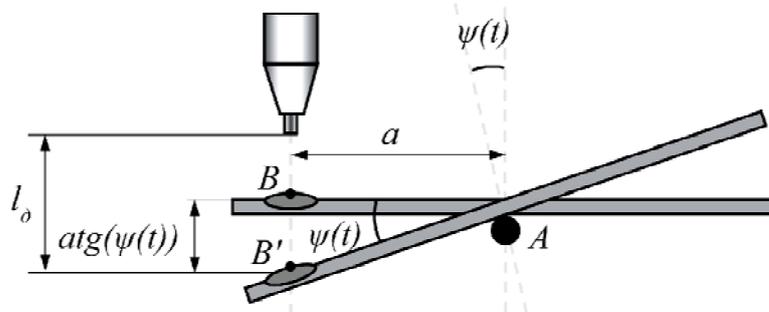


Рис. 1. Схема к пояснению зависимости длины дуги от частотных характеристик колебания сварочной ванны. Здесь

$$\psi(t) = 2\pi f_{\delta} t$$

Откуда можно определить $\tau_{л}$ – отрезок времени горения дуги в течении которого происходил рост капли ($\tau > \tau_{л}$), а зависимость тока дуги от времени была линейной $-I_0^{\circ}(t) = At + I_0$. Данное уравнение относительно $\tau_{л}$ является трансцендентным и может быть решено только приближённо.

С учётом вышеизложенного, для простейшего линейного прогноза передаточная функция в общем виде будет такой: $W_{np}(p) = 1 + p\tau_{np} = 1 + p(\tau_{л} + mT)$, где p – комплексная переменная, $T = \tau_{л} + \tau_{кз}$ – период горения дуги, где $\tau_{кз}$ – время короткого замыкания, m – любое натуральное число. Время определяется из формулы плотности тока, полученной также аналитически:

$$j = \sqrt{3} \frac{ne_{эл}\lambda}{atg(2\pi f_{\delta} \tau_{кз}) e^{-\frac{t_0}{\theta}} K}$$

где j – плотность тока короткого замыкания, n – любое натуральное число, увеличивающееся по мере роста j , $e_{эл}$ – заряд электрона, λ – коэффициент теплопроводности, K – постоянная Больцмана. Откуда:

$$\tau_{кз} = \frac{1}{2\pi f_{\delta}} arctg \left(\frac{\sqrt{3} ne_{эл}\lambda}{aje^{-\frac{t_0}{\theta}} K} \right).$$

Тогда передаточная функция, например, прогностического ПИД регулятора будет представлена таким выражением:

$$W^{np}_{ПИД}(p) = W_{ПИД}(p)W_{np}(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_{II}p} + T_{Д}p \right) (1 + p(\tau_{л} + m(\tau_{л} + \tau_{кз}))),$$

где k_p – коэффициент передачи регулятора, T_{II} – постоянная времени интегрирования, $T_{Д}$ – постоянная времени дифференцирования.

Список литературы

1. Ротач В. Я. Теория автоматического управления. Учебник для вузов / Ротач В. Я. – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 399 с.
2. Пикина Г. А. Реализация принципа управления по прогнозу в автоматических системах регулирования / Пикина Г. А. // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2014, Москва). – М. : Институт проблем управления, 2014. – С. 200–211.
3. Математическая модель процессов сварки и наплавки с управляемыми изменениями вылета электродной проволоки / [Лебедев В. А., Новиков С. В., Драган С. В., Симутенков И. В.] // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв, 2017. – № 1. – С. 48–54.
4. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга. – М. : Машиностроение, 1970. – С. 177–179.

Одержано 26.12.2017

Лебедев В.А., Новиков С.В. Гіпотеза формування структури наплавленого металу при наплавленні на основі застосування прогностичного алгоритму управління швидкістю подачі електродного дроту

Зростання краплі в процесі наплавлення електродом, що плавиться, характеризується лінійною залежністю зміни струму від часу. Висунуто гіпотезу, згідно з якою зниження швидкості подачі електродного дроту до нуля в певному часовому проміжку істотно зменшить втрати на розбризкування і поліпшить формування наплавленого валика, для реалізації чого запропоновано застосування регуляторів за типовим законом регулювання, але не за поточним значенням струму дуги, а за прогнозом. Ключовою особливістю цих досліджень є здійснення процесу наплавлення з накладенням зовнішніх механічних коливань з заданими амплітудно-частотними характеристиками на зварювальну ванну. Наведено аналітичний розрахунок передавальної функції для прогностичного ПІД регулятора з найпростішим лінійним прогнозом з урахуванням коливання зварювальної ванни.

Ключові слова: прогностичний регулятор, коливання зварювальної ванни, наплавка.

Lebedev V., Novikov S. Hypothesis of formation of the structure of surfaced metal at the surface based on the application of the prognostic algorithm for controlling the speed of electrode wire

The growth of a drop in the process of surfacing by a consumable electrode is characterized by a linear dependence of the current change on time. A hypothesis has been put forward, according to which a reduction in the feed rate of the electrode wire to zero in this time interval will substantially reduce the spraying loss and improve the formation of the surfacing roller. For the implementation of which the use of regulators with a typical law of regulation is proposed, but not according to the current value of the arc current, but according to the forecast. A key feature of these researches is a realization given surfacing process with the imposition of external mechanical oscillations with specified amplitude-frequency characteristics on the welding bath. Analytical calculation of the transfer function for the prognostic PID regulator with the simplest linear prediction taking into account the oscillation of the weld pool is given.

Key words: prognostic regulator, welding pool oscillations, surfacing.