



О ВЛИЯНИИ ФЛУКТУАЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СТОЛБЕ ДУГИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ

Г. А. ЦЫБУЛЬКИН, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Получено достаточное условие, гарантирующее асимптотическую устойчивость процесса дуговой сварки плавящимся электродом в случае, когда напряженность электрического поля в столбе дуги изменяется в некоторых известных границах.

Ключевые слова: дуговая сварка, плавящийся электрод, напряженность электрического поля, устойчивость процесса сварки

При анализе устойчивости процесса дуговой сварки плавящимся электродом обычно исходят из предположения о том, что параметры рассматриваемого процесса постоянны. В действительности же некоторые из них (в частности, напряженность электрического поля в столбе дуги) заметно изменяются во времени. Каково же влияние указанных изменений на устойчивость процесса сварки? Судя по имеющимся публикациям, данный вопрос остается до сих пор малоизученным.

В настоящей статье получены условия, налагаемые на границы изменения напряженности электрического поля в столбе дуги, гарантирующие асимптотическую устойчивость процесса дуговой сварки.

Рассмотрим дифференциальное уравнение второго порядка

$$\ddot{\lambda} + \alpha(t, \lambda)\dot{\lambda} + \beta(t, \lambda)\lambda = 0, \quad (1)$$

описывающее динамический процесс относительно некоторой переменной λ . Об устойчивости этого процесса судят по коэффициентам $\alpha(t, \lambda)$ и $\beta(t, \lambda)$. Согласно [1], функцию $\alpha(t, \lambda)$ можно трактовать как нелинейный, зависящий от времени t , обобщенный коэффициент демпфирования, а функцию $\beta(t, \lambda)$ — как нелинейную, явно зависящую от t , обобщенную жесткость процесса.

При любых, но постоянных и положительных значениях коэффициентов α и β процесс (1) асимптотически устойчив относительно переменной λ . Если же значения этих коэффициентов, будучи положительными, изменяются, то при определенных режимах процесс становится неустойчивым. Поскольку закон изменения функций $\alpha(t, \lambda)$ и $\beta(t, \lambda)$ чаще всего не определен и известны лишь границы их изменения

$$a \leq \alpha(t, \lambda) \leq A, \quad b \leq \beta(t, \lambda) \leq B, \quad (2)$$

то представляет интерес определить условия, налагаемые на положительные числа a, A, b, B , при выполнении которых установившийся процесс будет асимптотически устойчив.

В работе [1] с помощью прямого метода Ляпунова и обобщенных неравенств Сильвестра получены достаточные условия,

гарантирующие асимптотическую устойчивость процесса (1). Эти условия имеют вид

$$\sqrt{B} - \sqrt{b} < 2\sqrt{a_1(a - a_1)}, \quad 2\sqrt{b} > \sqrt{a_1(A - a_1)} - \sqrt{a_1(a - a_1)}. \quad (3)$$

Число a_1 в выражениях (3) выбирается произвольно в диапазоне $0 < a_1 < a$.

Используем полученный результат для нахождения условий устойчивости процесса дуговой сварки плавящимся электродом при флуктуациях электрического поля в столбе дуги, т. е. для случая, когда напряженность электрического поля не является величиной постоянной, а изменяется в заранее известных пределах.

Согласно [2], переходной процесс в сварочной цепи вполне удовлетворительно описывается уравнением (1), в котором обобщенный коэффициент демпфирования

$$\alpha(t, \lambda) = \frac{R_*}{L}, \quad (4)$$

а обобщенная жесткость процесса

$$\beta(t, \lambda) = \frac{EM}{L}. \quad (5)$$

В этих соотношениях

$$R_* = R + S_a - S_s, \quad (6)$$

где R — суммарное сопротивление подводящих проводов и скользящего контакта в мундштуке горелки; S_a, S_s — соответственно крутизна вольт-амперных характеристик дуги и источника сварочного тока при номинальном значении тока i_0 ; L — индуктивность сварочной цепи; E — напряженность электрического поля в столбе дуги; M — крутизна характеристики плавления электрода при номинальном значении сварочного тока i_0 и заданном вылете электрода h_0 ; $\lambda = l - l_\infty$ — отклонение длины дуги l от ее установившегося значения l_∞ .

Предположим, что коэффициент демпфирования $\alpha = R_*/L$ имеет постоянное значение, а напряженность электрического поля E , входящая в соотношении (5), зависит от времени t , причем $\inf E(t) \leq \sup E(t) \leq E(t)$. В этом случае, согласно (2), $\alpha = a = A$ и второе условие (3) выполняется автоматически. В первом же условии (3) положим $a_1 = a/2$

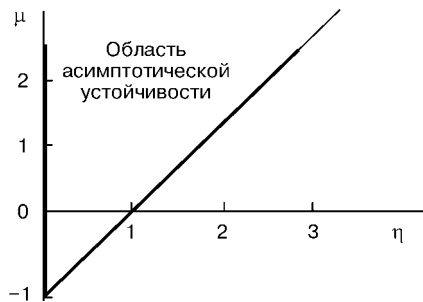


Рис. 1. Границы области асимптотической устойчивости

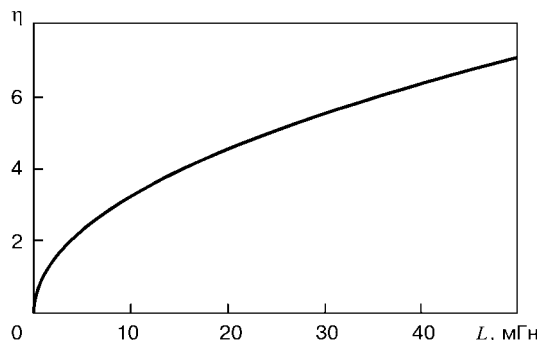


Рис. 2. Кривая зависимости $\eta = \eta(L)$



(при этом $a_1(a - a_1)$ достигает максимума). Тогда первое условие (3) можно привести к простому виду

$$\sqrt{B} - \sqrt{b} < \alpha, \tag{7}$$

где

$$B = \frac{M}{L} \sup E(t), \quad b = \frac{M}{L} \inf E(t). \tag{8}$$

Неравенство (7) с учетом (4), (6), (8) и обозначений $E_s = \sup E(t)$, $E_i = \inf E(t)$ запишем в окончательном виде

$$\sqrt{E_s} - \sqrt{E_i} < \frac{S_a - S_s + R}{\sqrt{ML}}. \tag{9}$$

Таким образом, установлен следующий факт: если выполняется условие (9), то процесс дуговой сварки плавящимся электродом с изменяющейся напряженностью электрического поля в указанных границах E_s и E_i асимптотически устойчив.

Неравенство (9) можно представить также в несколько ином виде

$$\mu > -1 + \eta, \tag{10}$$

где

$$\mu = \frac{S_a - S_s}{R}, \quad \eta = \frac{\sqrt{ML}}{R} (\sqrt{E_s} - \sqrt{E_i}). \tag{11}$$

Достаточное условие асимптотической устойчивости (10) отличается от необходимого и достаточного условия

$$\mu > -1,$$

полученного в работе [2] для случая $E = \text{const}$, лишь дополнительным членом η , характеризующим влияние изменений электрического поля E в столбе дуги на устойчивость процессов, протекающих в сварочной цепи.

На рис. 1 показана область устойчивости в плоскости безразмерных параметров μ и η , построенная по формуле (10). Исходя из этого рисунка и выражения (10) можно сделать вывод, что с увеличением η область устойчивости сужается.

Из второго соотношения (11) следует, что значения η возрастают при увеличении разности между значениями $\sqrt{E_s}$ и $\sqrt{E_i}$ и индуктивности L . На рис. 2 приведена кривая зависимости $\eta = \eta(L)$, построенная по формуле (11) при $E_s = 4 \text{ В/мм}$, $E_i = 1 \text{ В/мм}$, $M = 0,4 \text{ мм/(А·с)}$, $R = 0,02 \text{ Ом}$. Из рисунка видно, что при малых (до 1 мГн) значениях L значения η остаются в пределах единицы. Это означает, что влияние флуктуаций электрического поля в столбе дуги на устойчивость процесса, протекающего в сварочной цепи, столь мало, что им можно пренебречь. При достаточно же больших значениях L (десятки миллигенри) значения η возрастают ($\eta > 3$). При этом, как видно из рис. 1, область устойчивости значительно сужается.

Таким образом, влияние указанных флуктуаций на устойчивость процесса при больших значениях существенно, поэтому крутизну вольт-амперной характеристики источника сварочного тока S_s следует выбирать с учетом критерия (9), а именно, чтобы обеспечивалось условие $S_s < S_a + R - \sqrt{ML}(\sqrt{E_s} - \sqrt{E_i})$.

1. Меркин Д. Р. Введение в теорию устойчивости движения. — М.: Наука, 1976. — 320 с.
2. Цыбульский Г. А. К вопросу об устойчивости процесса дуговой сварки плавящимся электродом // Автомат. сварка. — 2002. — № 5. — С. 17–19.

A sufficient condition has been derived, guaranteeing the asymptotic stability of the consumable-electrode arc welding process in the case, when the electric field intensity in the arc column varies within certain known limits.

Поступила в редакцию 26.02.2002

УДК 621.9.048

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ГРАФИТОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ-ИНСТРУМЕНТОВ ПРИ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОЙ

В. М. БОКОВ, канд. техн. наук (Кировоград. гос. техн. ун-т),
Л. И. МАРКАШОВА, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Экспериментально доказано образование на торцевой поверхности электрода-инструмента (ЭИ) в процессе размерной обработки электрической дугой (РОД) двухфазного металлографитового постоянно возобновляющегося слоя, воспринимающего тепловой удар от горения дуги. Описан физический механизм электроэрозионной стойкости графитовых ЭИ в условиях процесса РОД.

Ключевые слова: обработка металла, электрическая дуга, износ, электроды-инструменты

В современном машиностроении электрическая дуга как источник тепла широко применяется не только для соединения металлов, например в сварочных процессах, но и для их разъединения, в частности, при реализации способа размерной обработки электрической дугой (РОД).

Формообразование торцевой поверхности электрода-заготовки (ЭЗ) при РОД происходит в результате отражения формы торцевой поверхности электрода-инструмента (ЭИ) и поэтому его точность зависит от электроэрозионной стойкости ЭИ, которую принято оценивать его относительным линейным износом γ [1]. Последний определяется как отношение абсолютного линейного износа ЭИ к глубине обработки и выражается в процентах.

Технология РОД осуществляется в мощном поперечном гидродинамическом потоке рабочей жидкости, который оказывает влияние не только на процесс эвакуации продуктов эрозии из межэлектродного промежутка, но и на энергетическое состояние дуги [2], изменяя плотность технологического тока и напряженность электрического поля в ней. Так, с уменьшением скорости потока зафиксировано уменьшение плотности технологического тока и напряженности электрического поля в дуге, что приводит к интенсификации переноса материала ЭЗ на ЭИ.

Как следует из работ [3, 4], перенос материала ЭЗ на ЭИ при электроэрозионной обработке в свою очередь приводит к компенсации факельного разрушения ЭИ, а следовательно, к уменьшению его относительного линейного износа. Перенос материала, как установлено, усиливается с повышением продолжительности и уменьшением скважности импульса, что приводит к подавлению факельной составляющей теплопереноса.

В условиях РОД продолжительность горения электрической дуги на одном месте может превышать длительность горения