

УДК 621.791

Шевченко Н.В.

Национальный технический университет Украины «КПИ». Украина, г. Киев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

Разработана математическая модель электрических процессов, протекающих в системе источник питания – дуга, при сварке плавящимся электродом в защитных газах. Установлены законы распределения случайных величин параметров процесса и их зависимость от режима сварки. Результаты моделирования коррелируются с результатами экспериментов. Модель может быть использована для моделирования работы сварочного оборудования на этапе его разработки.

Ключевые слова: сварка в защитных газах, моделирование.

Введение

При проектировании сварочного оборудования закладываются его технологические свойства. Прогнозирование этих свойств на этапе проектирования позволяет существенно уменьшить затраты времени и материалов на изготовление и испытание опытных образцов оборудования. Решение этой задачи возможно применением математического моделирования электрических процессов, происходящих в сварочной дуге и источнике питания [1–6].

При моделировании сварочных процессов возникают сложности с построением модели свароч-

ной дуги. Это связано со стохастическим характером протекающих процессов. Поэтому появляется необходимость в разработке новых подходов к моделированию.

Постановка задачи

Целью работы является разработка новых подходов к моделированию процессов, протекающих в сварочной дуге при сварке в защитных газах плавящимся электродом, позволяющих учесть стохастическую составляющую электрических процессов в дуге.

Построение математической модели

Для сварки плавящимся электродом в защитных газах (MAG) характерен перенос электродного металла за счет коротких замыканий, которые носят случайный характер. Такой процесс нельзя описать с помощью дифференциальных уравнений. Для этого целесообразно использовать статистические методы.

Электрические процессы при MAG сварке характеризуются следующими параметрами: током и напряжением дуги, частотой и продолжительностью коротких замыканий. Для определения законов и параметров распределения этих характеристик для различных режимов сварки был проведен ряд экспериментов. Проводили сварки электродной проволокой диаметром 0,8; 1; 1,2 и 1,6 мм образцов из низкоуглеродистой стали. Запись тока и напряжения сварки проводили с помощью цифровой измерительной системы.

Полученные осциллограммы тока и напряжения фильтровали с помощью цифрового фильтра Баттерворта с целью удаления высокочастотных помех с частотой выше 1 кГц.

Из подготовленных данных определяли характеристики распределения вторичных тока и напряжения (рис. 1).

Процесс MAG сварки состоит из двух случайных процессов: горения дуги и коротких замыканий. Следовательно распределения сварочного тока и напряжения будут суммой распределений вероятностей двух процессов. Из гистограмм данных параметров можно предположить, что их распределение близко к нормальному или логнормальному. Для определения этого строили функции плотности вероятностей данных распределений и определяли коэффициент корреляции r между ними. Установлено, что для тока и напряжения горения дуги характерным является логнормальный закон распределения, а для тока и напряжения коротких замыканий – нормальный.

Нормальный закон распределения описывается зависимостью

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где μ и σ – параметры распределения.

Логнормальный закон распределения описывается зависимостью

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad x > 0$$

где μ и σ – параметры распределения.

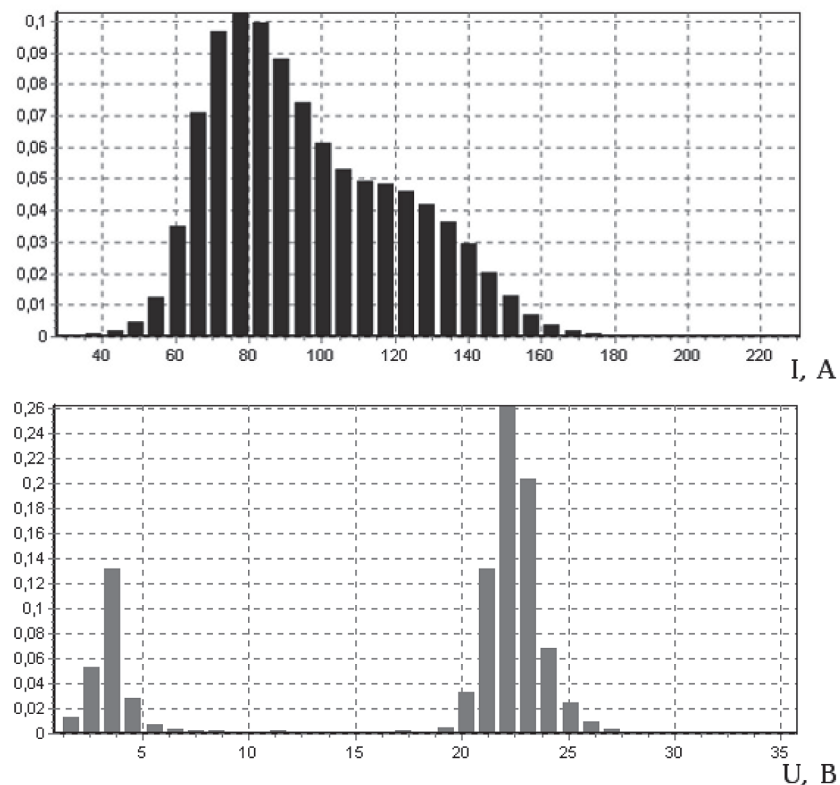


Рис. 1. Гистограммы сварочных тока и напряжения при MAG сварке

Для нормального распределения параметр μ совпадает с его математическим ожиданием, а σ – с дисперсией. Определили значение данных параметров для сварки проволокой 0,8; 1; 1,2 и 1,6 мм для диапазона стабильного процесса сварки.

Установили, что закон распределения случайной величины для частоты коротких замыканий близок к логнормальному, а для продолжительности коротких замыканий – к нормальному.

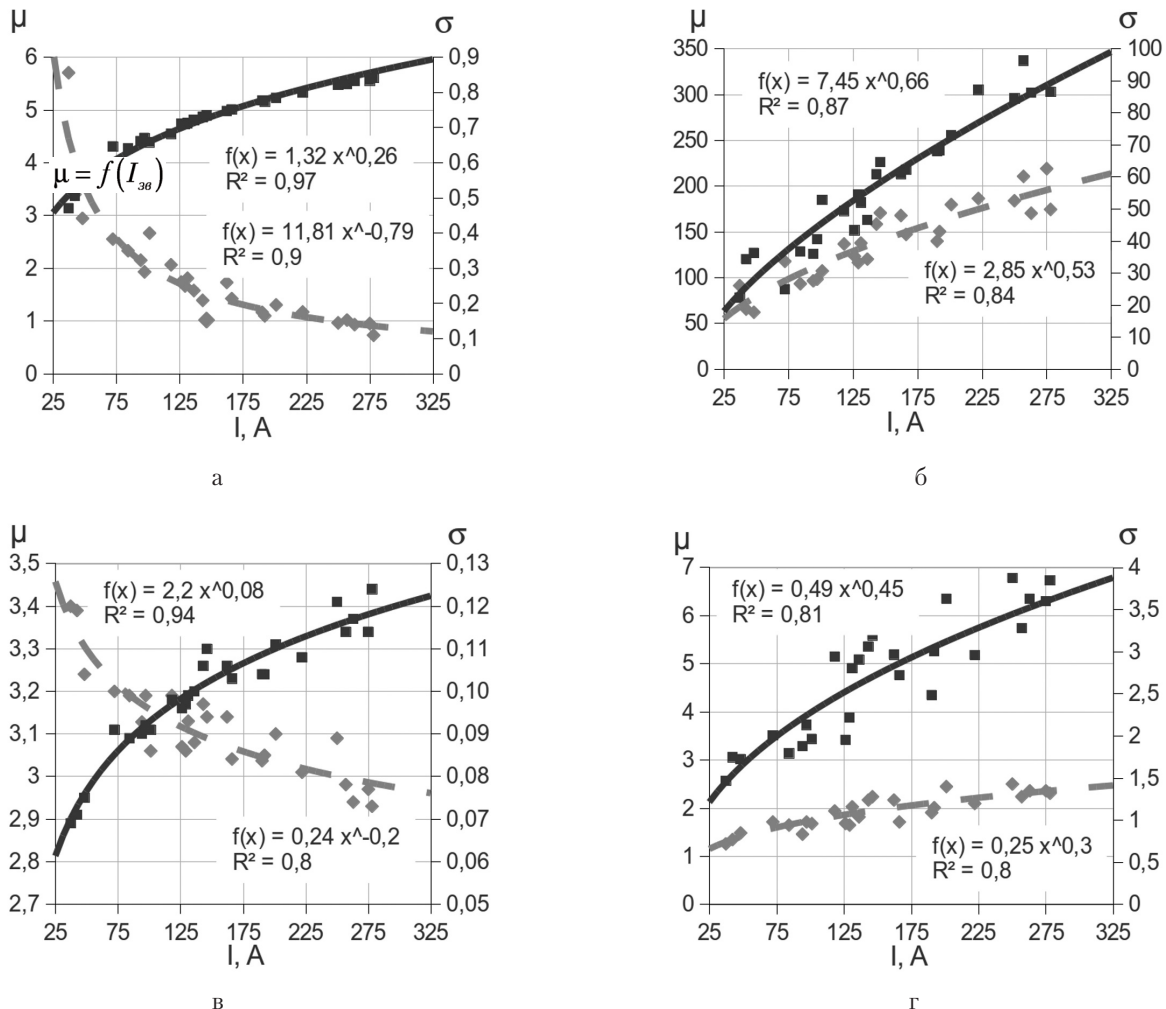


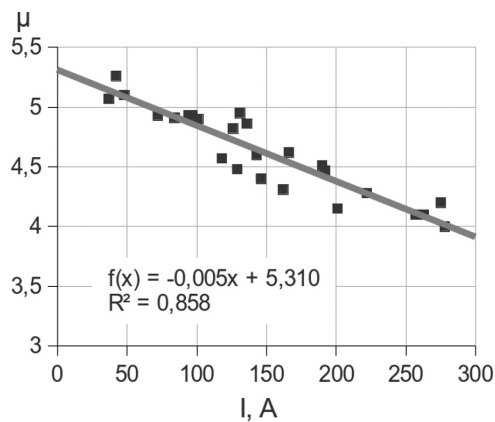
Рис. 2. Т Зависимость параметров распределения случайных величин тока дуги (а), тока к.з. (б), напряжения дуги (в) и напряжения к.з. (г) от действующего значения сварочного тока

Полученные результаты (рис. 2) показали, что параметры распределений токов и напряжений короткого замыкания и горения дуги зависят от сварочного тока и практически не зависят от диаметра сварочной проволоки. Поэтому в дальнейшем при моделировании будем использовать зависимости $\mu = f(I_{зв})$ и $\sigma = f(I_{зв})$. Эти зависимости с достаточной точностью описываются степенными функциями вида $y = a \cdot x^b$ поскольку параметр R^2 аппроксимирующих кривых не менее 0,8.

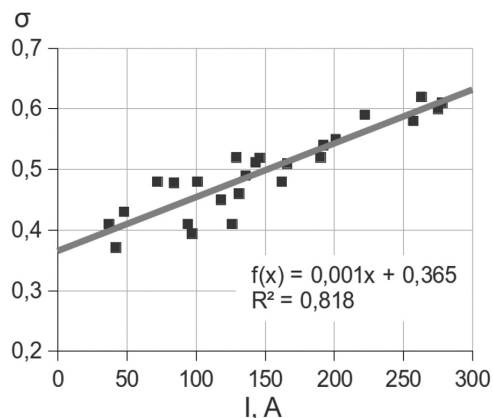
Основными характеристиками коротких замыканий является их частота и продолжительность. Законы распределения этих величины определяли аналогично законов распределения тока и напряже-

Для дальнейшего моделирования процесса переноса электродного металла с короткими замыканиями дугового промежутка определили значения параметров μ и σ распределений частоты и длительности коротких замыканий для сварки проволокой 0,8 - 1,6 мм. Результаты показали (рис. 3, 4), что как и для распределений тока и напряжения параметры μ и σ зависят от тока сварки и с достаточной точностью ($R^2 > 0,8$) описываются линейными функциями вида $y = a \cdot x + b$.

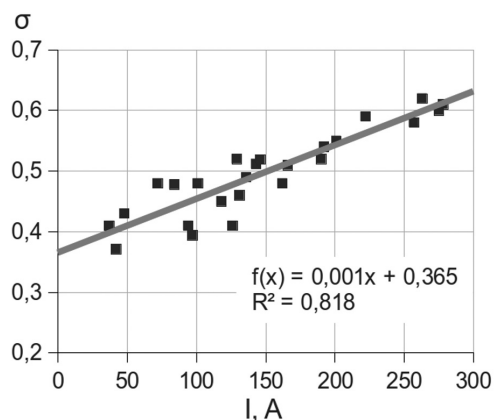
Для проверки работы модели сравнивали значения параметров распределения длительности и частоты к. з., тока и напряжения в дуге, тока и напряжения во время коротких замыканий с заданными. Определили, что параметры распреде-



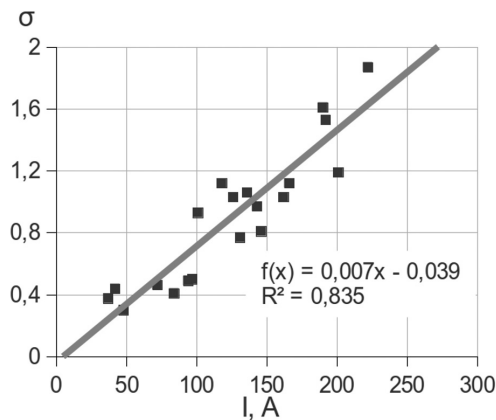
а



б

Рис. 3. Зависимость параметров μ (а) и σ (б) распределения частоты коротких замыканий от сварочного тока


а



б

Рис. 4. Зависимость параметров μ (а) и σ (б) распределения длительности коротких замыканий от сварочного тока

ления продолжительности и частоты коротких замыканий полностью соответствуют заданным. Параметры распределения тока и напряжения в дуге, тока и напряжения во время коротких замыканий отличаются от заданных не более чем на 10%. Следовательно такую модель можно считать адекватной.

Выводы

1. При сварке в защитных газах величины тока и напряжения при горении дуги, а также частоты коротких замыканий распределяются по логнормальному закону распределения случайной величины, а при коротком замыкании – по нормальному закону. Так же нормальный закон распределения характерен для длительности коротких замыканий.

2. Зависимость параметров распределений случайных величин тока и напряжения от сварочного тока с достаточной точностью описываются полиномами второго порядка, а зависимости параметров

распределений частоты и длительности к.з. – полиномами первого порядка.

3. Использование статистических методов при моделировании электрических процессов при сварке в защитных газах позволяет описать данный процесс с точностью не ниже 90%. Модель может быть использована для моделирования работы сварочного оборудования на этапе его разработки.

Литература

- [1] B. Palotas Mathematical modeling of welding phenomena // Математическое Моделирование в сварке. – 2001.
- [2] T. Ohji, F. Miyasaka, T.Yamamoto & Y. Tsuji Mathematical model for MAG welding in a manufacturing environment // Математическое Моделирование в сварке. – 2001.
- [3] Р. В. Логвинов, В. А. Ерофеев Компьютерное моделирование дуги при сварке вольфрамовым электро-

- дом // Сварочное производство. – 2005. – №5 – С. 7–14.
- [4] И. В. Пенгтегов, В. Н. Сидорец, И. А. Генис Моделирование сварочной дуги как элемента электрической цепи и построение схем замещения // Автоматическая сварка. – 1984. – №12. – С. 26–30.
- [5] В. Н. Сидорец, А. М. Жерносеков Численное моделирование системы источник питания – дуга с плавающим электродом // Автоматическая сварка. – 2004. – №12. – С.10–16
- [6] Пірумов А. Є., Чвертко Є. П., Шевченко М. В. Математична модель дугового зварювання з короткими замиканнями для побудови систем моніторингу якості // Наукові вісті Національного технічного університету України “КПІ”. – 2012. – №2. – С. 128–132.

Shevchenko N. V.

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”. Ukraine, Kyiv

MATHEMATICAL SIMULATION OF ELECTRIC PROCESSES IN GAS SHIELDED ARC WELDING

The mathematical model of the electrical processes in the system «power supply – welding arc» for MAG welding was developed. The laws of distribution of random variables of process parameters and their dependence on the welding parameters was established. The simulation results are correlated with experimental results. The model can be used to simulate the operation of welding equipment in the stage of its development..

Keywords: gas shielded arc welding; simulation.

References

- [1] B. Palotas Mathematical modeling of welding phenomena // Matematicheskoye Modelirovaniye v svarke. – 2001.
- [2] T. Ohji, F. Miyasaka, T. Yamamoto & Y. Tsuji Mathematical model for MAG welding in a manufacturing environment // Matematicheskoye Modelirovaniye v svarke. – 2001.
- [3] R.V. Logvinov, V.A. Yerofeyev Kompyuternoye modelirovaniye dugi pri svarke volframovym elektrodom // Svarchnoye proizvodstvo. – 2005. – №5. – P. 7–14. (Russian)
- [4] I. V. Pengtegov, V. N. Sidorets, I. A. Genis Modelirovaniye svarchnoy dugi kak elementa elektricheskoy tsepi i postroyeniye skhem zameshcheniya // Avtomaticheskaya svarka. – 1984. – №12. – P. 26–30. (Russian)
- [5] Sidorets V. N., Zhernosekov A. M. Chislennoye modelirovaniye sistemy istochnik pitaniya – duga s plavyashchimsya yelektrodom // Avtomaticheskaya svarka. – 2004. – №12. – P. 10–16. (Russian)
- [6] Pirumov A. Ye., Chvertko Ye. P., Shevchenko M. V. Matematychna model duhovoho zvaryuvannya z korotkymy zamykannamy dlya pobudovy system monitorynhu yakosti // Naukovi visti Natsional noho tekhnichnoho universytetu Ukrainy “KPI”. – 2012. – №2. – P. 128–132. (Russian)