

УДК.621.791.793

Шевченко М. В., Скачков І. О.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РУЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

В теперішній час в зварюванні широко застосовуються комп'ютерні технології. Такі технології ефективні при розробці математичних моделей, які дозволяють віртуально відтворювати технологічні процеси [1–6]. Використання таких моделей в процесі проектування зварювальних джерел живлення дозволяє спрогнозувати технологічні властивості джерела, що розробляється, до етапу випробувань.

При моделюванні зварювальних процесів виникають складності з побудовою моделі зварювальної дуги. Це пов'язано зі стохастичним характером процесів, що протікають. Тому з'являється необхідність в розробці нових підходів до моделювання.

Метою роботи є розробка нових підходів до моделювання процесів, що протікають в зварювальній дузі.

Для ручного дугового зварювання покритими електродами характерний крупнокрапельний перенос електродного металу з випадковими короткими замиканнями. Такий процес не можливо описати звичайними диференціальними рівняннями. Для описання таких випадкових процесів використовують марківські процеси [7].

Випадковий процес $\xi(t)$, $t \in (0, T)$ називають марківським, якщо для будь-яких n моментів часу з інтервалу $(0, T)$ $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ для умовних розподілів ймовірностей справедливе співвідношення:

$$P\{\xi(t) \leq x_n \mid \xi(t_{n-1}) = x_{n-1}, \dots, \xi(t_1) = x_1\} = P\{\xi(t) \leq x_n \mid \xi(t_{n-1}) = x_{n-1}\}.$$

Іншими словами, при фіксованому стані процесу в даний момент часу t_{n-1} майбутнє для моменту часу t_n не залежить від минулого в моменти t_{n-1}, \dots, t_1 [8–10]. Цим умовам задовольняє процес ручного дугового зварювання.

Основні види марківських процесів класифікують у відповідності зі значеннями на часових та числових множинах [11]:

- марківські ланцюги (процес с дискретним часом);
- неперервний процес с дискретним часом;
- дискретний випадковий процес (дискретний процес з неперервним часом);
- неперервний процес.

Процес зварювання описується марківським ланцюгом. При сталому режимі система «джерело живлення – зварювальна дуга» характеризується двома станами: горіння дуги та коротке замикання. Кожен перехід з одного стану в інший характеризується ймовірністю переходу P_{ij} , яка показує як часто після потрапляння в i -ий стан відбувається потім перехід в j -ий. В даному випадку ймовірність переходу дорівнює 1. Інтенсивність переходу λ_{ij} визначається як:

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{ij}}{\Delta t}. \quad (1)$$

При цьому інтенсивність переходу розуміють як розподіл ймовірності в часі. Визначення інтенсивності переходів проводили дослідним шляхом. В процесі зварювання фіксували значення струму на напруги за допомогою аналогово-цифрового перетворювача та персонального комп'ютера. Потім весь процес зварювання розбивали на ділянки, тривалістю

$\Delta t = 0,0002$ с та визначали кількість ділянок на яких система знаходиться в тому чи іншому стані. Також визначали загальну кількість переходів системи. Інтенсивність переходів визначали за співвідношенням:

$$\lambda_{ij} = \frac{N_{i \rightarrow j}}{n_i}, \quad (2)$$

де $N_{i \rightarrow j}$ – кількість переходів з i -го стану в j -ий, n_i – кількість ділянок в i -тому стані.

Для визначення інтенсивності переходів системи з одного стану в інший для різних марок та діаметрів електродів було проведено ряд експериментів. Проводили зварювання електродами марок АНО 21 на УОНІ 13/55 діаметрами 2, 3 та 4 мм. Результати представлено на рис. 1.

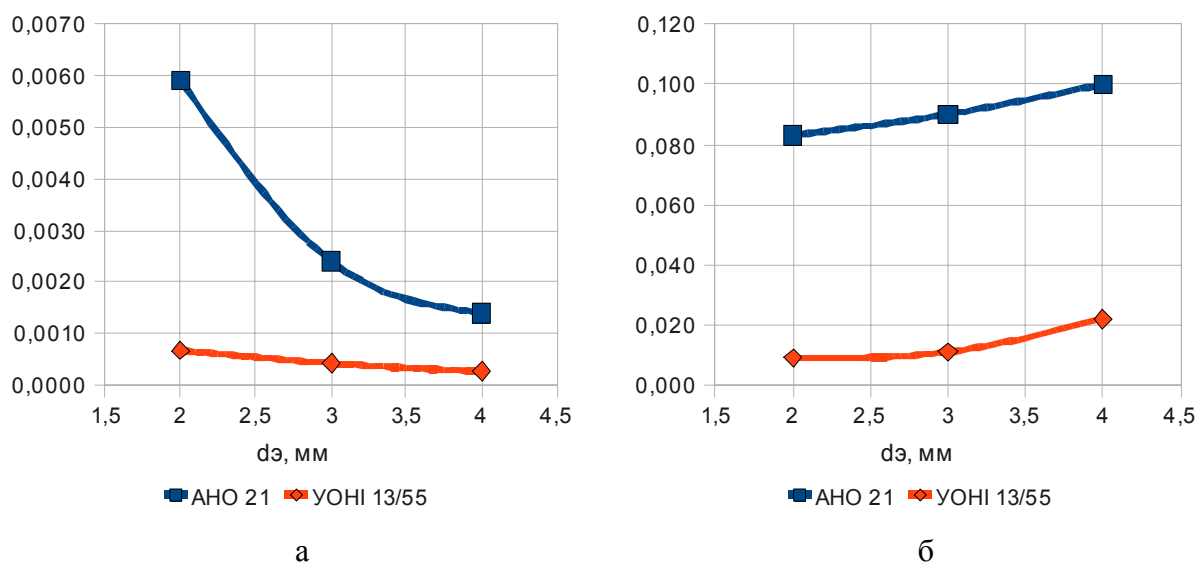


Рис. 1. Значення інтенсивності переходів для різних електродів марок АНО 21 та УОНІ 13/55 діаметрів 2, 3 та 4 мм:
а – дуга – к. з.; б – к. з. – дуга

Бачимо, що із збільшенням діаметру електроду, а отже і струму, зменшується інтенсивність переходів від горіння дуги до короткого замикання. Інтенсивність переходу к. з. – дуга навпаки збільшується. Це свідчить про те, що зменшуються частота і тривалість коротких замикань.

Для побудови комп'ютерної моделі використовували математичний пакету MatLab 7.0 та пакет графічного моделювання лінійних та нелінійних динамічних систем Simulink 6.0. Модель складається з таких основних частин: «живильна мережа», «зварювальне джерело живлення», «дуга» та «к. з.» (Рис. 2). Блок «живильна мережа» моделює промислову мережу трифазної напруги частотою 50 Гц. Блок «Зварювальне джерело живлення» є комп'ютерною імітацією зварювального випрямляча з рухомими котушками (Рис. 3). Параметри елементів повністю відповідають параметрам реальних елементів. Блок «Дуга» являє собою нелінійний опір з визначеною вольтамперною характеристикою, яка відповідає вольтамперній характеристиці дуги. Блок «к. з.» моделює появу випадкових коротких замикань за визначеним законом. Вхідними даними для моделювання коротких замикань є матриця сукупності інтенсивності переходів λ_n , що подається на керуючий вхід даного блоку. Активний опір під час короткого замикання відповідає значенню опору для реального процесу.

При побудові моделі були не враховували ріст та коливання краплі розплавленого металу на торці електроду.

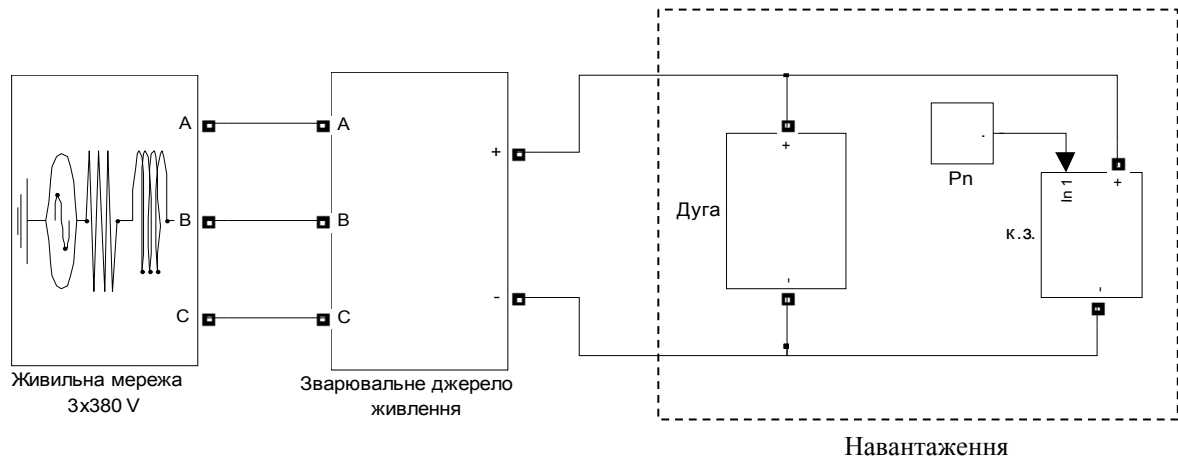


Рис. 2. Комп'ютерна модель процесу ручного дугового зварювання

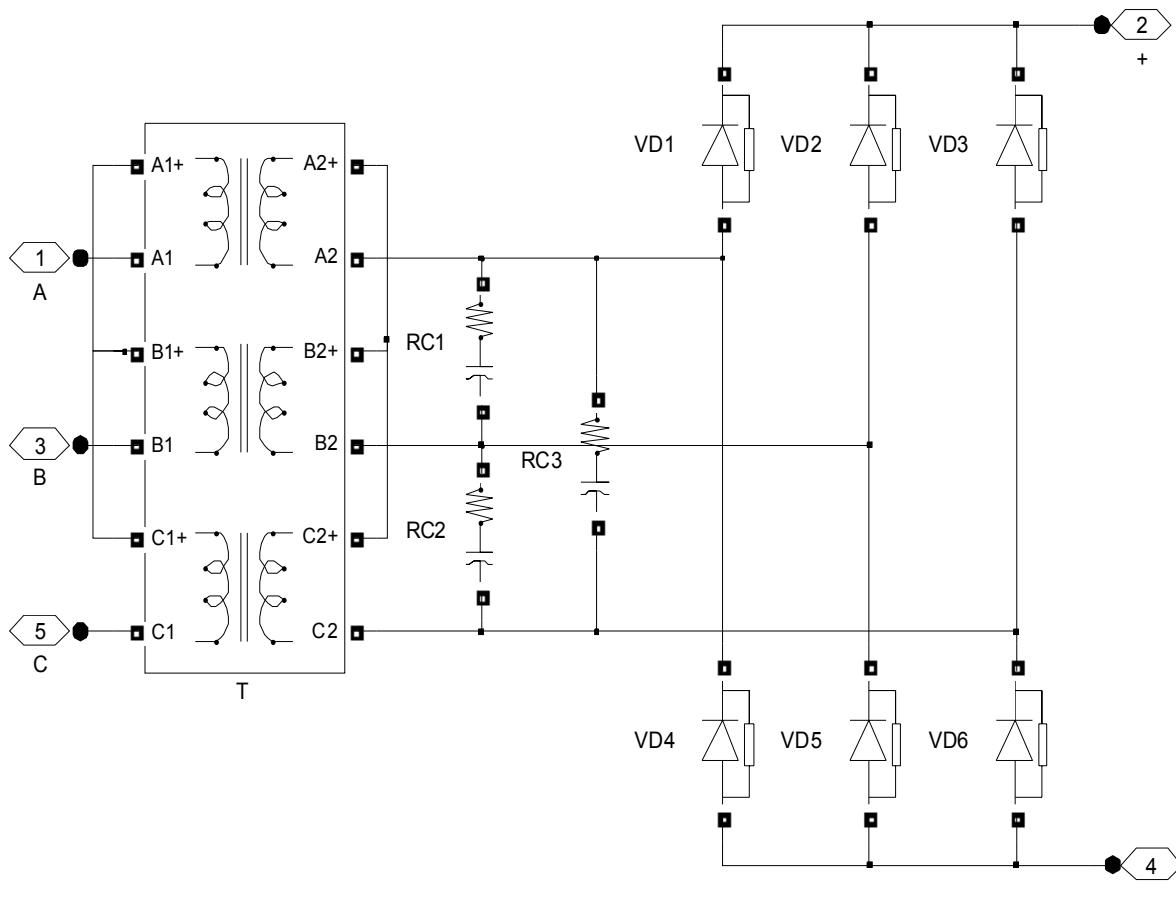


Рис. 3. Блок «Зварювальне джерело живлення»

В результаті моделювання на виході отримуємо осцилограми струму та напруги.

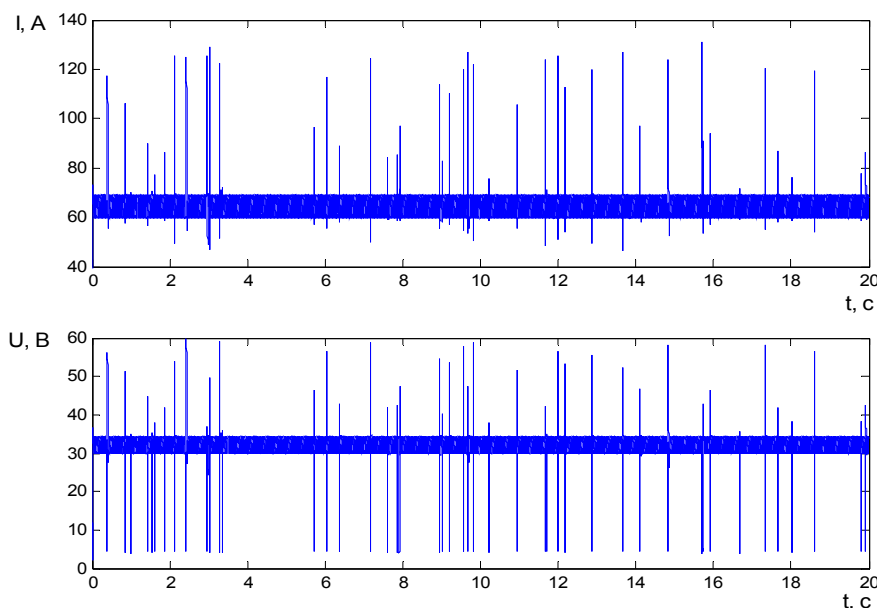


Рис. 3. Результати роботи математичної моделі

Перевірка адекватності математичної моделі показала, що відхилення середніх значень струму та напруги зварювання не перевищують 9 %, а відхилення тривалості та шпаруватості коротких замикань – 13 %.

ВИСНОВКИ

Використання теорії марківських процесів та пакету графічного моделювання лінійних та нелінійних динамічних систем Simulink дозволяє описати процес ручного дугового зварювання покритим електродом з точністю, не менше 87 %.

Розроблена модель дозволяє на етапі проектування зварювального обладнання оцінити електричні процеси, що будуть проходити в процесі зварювання.

Подальші дослідження доцільно направити на підвищення точності моделі, а саме: враховувати ріст та коливання краплі розплавленого металу на торці електроду.

ЛІТЕРАТУРА

1. B. Palotas *Mathematical modeling of welding phenomena* // *Математическое Моделирование в сварке*. – 2001.
2. *Mathematical model for MAG welding in a manufacturing environment* / T. Ohji, F. Miyasaka, T. Yamamoto, Y. Tsuji // *Математическое Моделирование в сварке*. – 2001.
3. Логвинов Р. В. *Компьютерное моделирование дуги при сварке вольфрамовым электродом* / Р. В. Логвинов, В. А. Ерофеев // *Сварочное производство*. – 2005. – № 5. – С. 7–14.
4. Пенгтегов И. В. *Моделирование сварочной дуги как элемента электрической цепи и построение схем замещения* / И. В. Пенгтегов, В. Н. Сидорец, И. А. Генис // *Автоматическая сварка*. – 1984. – № 12. – С. 26–30.
5. Сидор В. Н. *Компьютерное моделирование импульсно-дуговых систем* / В. Н. Сидорец, А. М. Жерносеков // *Автоматическая сварка*. – 2007. – №1. – С. 49–51.
6. Сидорец В. Н. *Численное моделирование системы источник питания - дуга с плавящимся электродом* / В. Н. Сидорец, А. М. Жерносеков // *Автоматическая сварка*. – 2004. – № 12. – С. 10–16.
7. *Марковская модель процесса ручной дуговой сварки* / А. В. Сас, О. В. Ульянова, А. В. Чернов, В. Г. Бекетов // *Сварочное производство*. – 2006. – № 8. – С. 14–17.
8. Тихонов В. И. *Марковские процессы* / В. И. Тихонов, М. А. Миронов. – М. : Сов. радио, 1977. – 250 с.
9. Дынкин Е. Б. *Марковские процессы* / Е. Б. Дынкин. – М. : Физметгиз, 1963. – 180 с.
10. Казаков В. А. *Введение в теорию марковских процессов и некоторые радиотехнические задачи* / В. А. Казаков. – М. : Сов. радио, 1973. – 220 с.
11. Городецкий А. Я. *Информационные системы. Вероятностные модели и статистические решения* : учеб. пособие / А. Я. Городецкий. – СПб : Изд-во СПбГПУ, 2003. – 326 с.