

### Список використаних джерел

1. Коношков Г. В. Специальные методы сварки давлением: учебное пособие / Г. В. Коношков, Р. А. Мусин. – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2009. – 632 с.
2. Получение неразъемных соединений сплавов на основе  $\gamma$ -TiAl с использованием нанослойной прослойки Ti/Al способом диффузионной сварки в вакууме / А. И. Устинов, Ю. В. Фальченко, А. Я. Ищенко [и др.] // Автоматическая сварка. – 2009. – № 1. – С.17-21.
3. Diffusion Bonding of Intermetallic Compound TiAl / Yoshikuni Nakao, Kenji Shinozaki, Masahiko Hamada // ISIJ International. – 1991. – Vol. 31, № 10. – P. 1260-1266.
4. Киреев Л. С. Сварка в вакууме технического титана со сталями 2Х13 и 12Х18Н10Т / Л. С. Киреев // Автоматическая сварка. – 1985. – № 3. – С. 56-58.
5. Структура соединений титана с медью, выполненных диффузионной сваркой в вакууме, при различных схемах деформирования / Л. Н. Лариков, М. Н. Белякова, В. Н. Замков, В. К. Сабочарь // Автоматическая сварка. – 1982. – № 6. – С. 21-23.

УДК 621.341.572

**Д.В. Вайц**, аспірант

**В.М. Співак**, канд. техн. наук

**Є.Ю. Коваленко**, магістрант

НТУУ «КПІ», м.Київ, Україна

### КЕРУВАННЯ ДОЗОВАНОЇ ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПІД ЧАС ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ

*Викладено спосіб керування дозованою подачею електроенергії під час дугового зварювання металів з метою зменшення розбризкування крапель зварювального металу, підвищення ККД системи зварювання; описано спосіб формування для напівпровідникового перетворювача вольт-амперної характеристики, потрібної для дугового зварювального процесу; надані рекомендації з розрахунків часу затримки установалення струму дуги, необхідного згідно з технологічним процесом.*

Спосіб дугового зварювання металів з телевізійним стеженням за зростанням крапель, стікаючих з металічної проволочки або електроду [1] до стику зварювальних металів або зварювальної ванни, передбачає швидке керування зміною струму зварювання від одиниць до сотень амперів, що надходить від напівпровідникового перетворювача (джерела живлення) зварювального апарату. Під час формування електричної дуги струм перетворювача швидко зростає, частіше (типово), до 200 А. В цей час телевізійний датчик постійно стежить за зростанням краплі розплавленого металу електрода, вимірюється ширина та розраховується швидкість її зміни. Коли швидкість зміни ширини та розмір краплі досягає певного рівня, про що сигналізує телевізійний датчик й перед відривом краплі струм джерела за мілісекунди примусово зменшується, наприклад, до 50 А, завдяки чому відбувається процес плавного відриву краплі і зменшення її розбризкування. Під час контакту краплі з деталлю зменшується подача струму перетворювача, наприклад, до 10 А. Цей процес необхідний для злипання краплі розплавленого металу із зварювальною областю. Далі знову підвищується струм перетворювача до номінального значення.

Реалізація способу дозованої подачі електроенергії до зварювальної області під час дугового зварювання металів передбачає фільтрацію зображення розплавленого дугою електрода, обробку відеосигналу зображення телевізійного датчику шляхом вимірювання та реєстрації сигналу строки, що фіксує ширину відеоімпульсу, який плавно зростає і стає перед падінням краплі максимально широким. Далі відеосигнал строки перетворюється в сигнал постійної напруги. Коли амплітуда цього сигналу співпадає із наперед заданим сигналом настройки, що відповідає максимальній ширині краплі, система автоматичного керування формує імпульс, призначений для зменшення (або модуляції) подачі потужності електроенергії, тобто струму напівпровідникового перетворювача.

Функціональна схема системи керування дозованою подачею електроенергії під час дугового зварювання металів містить енергетичний напівпровідниковий перетворювач

(НП), систему керування параметрами перетворювача (СК), зварювальну дугову установку (ЗДУ), телевізійний датчик (ТД), формувач імпульсів (ФІ) керування перетворювачем, фільтр нижніх частот (ФНЧ) та схему порівняння (СП).

Параметри електроенергії живлення, потрібні для дугової установки, задаються енергетичним НП; ТД – спеціалізована телевізійна камера зі світловим фільтром, яка призначена для формування та реєстрації відеосигналів розміру крапель з частотою строк розгортки, ширина яких пропорційна розміру краплі розплавленого металу. ФНЧ виділяє постійну складову, пропорційну ширині попередньо сформованих імпульсів ФІ, і відсікає верхні гармоніки (кратних частоті строк сигналу телевізійного датчику). На вхід СП подається плавно зростаюча напруга з виходу ФНЧ (під час максимального збільшення розміру краплі металу перед падінням, напруга ФНЧ – максимальна) й певного, наперед заданого, значення опорної напруги. З виходу СП у момент зрівняння напруги ФНЧ та опорної напруги формується керуючий імпульс за допомогою СК енергетичним напівпровідниковим перетворювачем, завдяки чому зменшується або модулюється за певним законом подача потужності електроенергії (тобто струму) НП, тим самим підвищується ККД системи зварювання.

Періодичне зменшення подачі потужності електроенергії до дугової установки не тільки підвищує ККД системи зварювання, а також поліпшує якість заповненого розплавленим металом стику. Це пояснюється тим, що під час падіння крапель до стику металів (за рахунок зменшення струму, що подається до зварювальної дугової установки) не формуються (або зменшуються) бризки розплавленого металу, і шов на стику після охолодження не потребує подальшої обробки (шліфування).

Основні вимоги до системи є наявність енергетичного НП, здатного з високою швидкістю змінювати зварювальний струм. Залежно від процесів, що відбуваються в дузі, НП повинний у лічені мікросекунди змінити величину зварювального струму, необхідну для реалізації процесу переносу металу силами поверхневого натягу. Крім того, під час використання НП, призначеного для системи напівавтоматичного зварювання, при якій змінюється швидкості зварювання і вильоту електрода, НП працює в режимі зварювання серіями коротких замикань. Області його застосування НП у цілому аналогічні тим, що характерно для звичайних апаратів напівавтоматичного зварювання короткими замиканнями.

Для одержання можливості швидких змін подачі струму до зварювальної дуги доцільно використовувати НП, побудований за способом, описаним у роботі [2]. Мета способу – підвищення якості управління шляхом забезпечення заданої форми вихідної вольт-амперної характеристики (ВАХ). Суть способу полягає в порівнянні двох сигналів (сигналу, пропорційного середньому значенню вихідного струму, що одержується шляхом його безперервної інтеграції з скиданням на нуль у момент замикання регулюючого елемента і сигналу опорної напруги, форма якої визначається виглядом ВАХ і замиканні регулюючого елемента у момент їх рівності).

На рис. 1 представлена задана ВАХ залежності напруги ( $U_{\text{вих}}$ ) від струму ( $I_{\text{вих}}$ ) з позначенням струму короткого замикання ( $I_{\text{кз}}$ ), на рис. 2 – блок-схема пристрою для реалізації способу; на рис. 3 – епюри напруг, що пояснюють принцип роботи пристрою, побудованого за представленою блок-схемою.

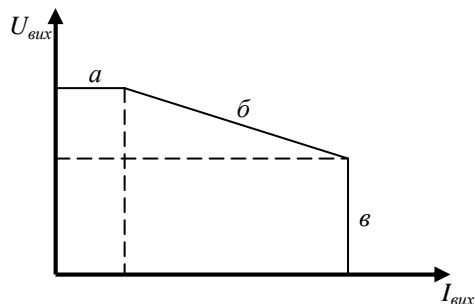


Рис. 1. Опорна напруга

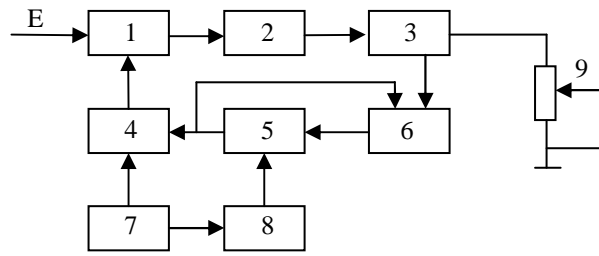


Рис. 2. Блок-схема системи формування ВАХ

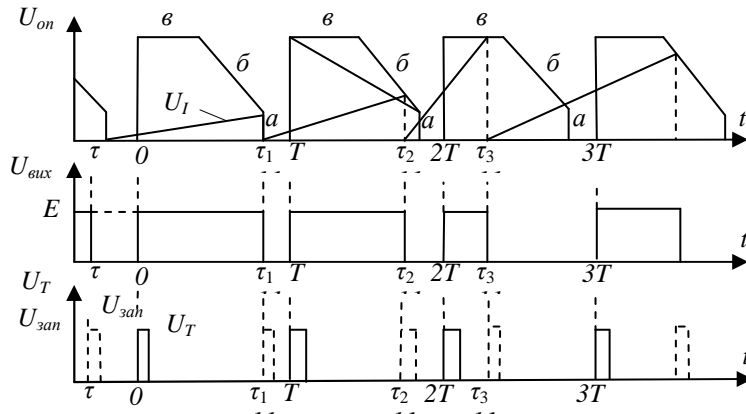


Рис. 3. Діаграми роботи системи формування ВАХ

Спосіб формування ВАХ щодо середніх значень струму і напруги полягає в тому, що інтеграція струму навантаження проводиться з моменту замикання регулюючого елемента силової частини в попередньому періоді до замикання його в поточному. Тоді, враховуючи, що в сталому режимі вказаний інтервал рівний періоду робочої частоти, напруга на виході інтегратора струму навантаження пропорційна середньому значенню струму навантаження.

Якщо напруга на виході інтегратора струму порівнюється із спеціально формованою опорною напругою, то залежно від величини середнього струму навантаження момент часу, що визначає їх рівність, є зміщеним відносно початку періоду робочої частоти. Шляхом замикання регулюючого елемента в ці моменти часу досягається зміна коефіцієнта заповнення імпульсів вихідної напруги  $U_{\text{вих}}$  залежно від середнього струму навантаження. Таким чином, опорна напруга на періоді робочої частоти зв'язує величину середнього струму навантаження з напругою на ній.

Перетворювач, представлений на рис. 2, містить регулюючий елемент силової частини (1), вихідний фільтр (2), датчик струму (3), тригер (4), схему (5), інтегратор (6), генератор тактових імпульсів (7), генератор опорної напруги (8) і навантаження (9).

Для формування вихідної ВАХ з ділянкою стабілізації напруги *a*, лінійно падаючою ділянкою *б* і ділянкою стабілізації струму *в* (рис. 1), опорна напруга формується генератором опорної напруги у вигляді, показаному рис. 3. У моменті  $\tau$  (рис. 3) генератор 7 тактових імпульсів виробляє імпульс  $U_T$ , який запускає генератор 8 опорної напруги. Одночасно по імпульсу  $U_T$  відбувається перекидання тригера 4 в стан, що відмикає регулюючий елемент 1 силової частини. З моменту  $\tau_1$  інтегратор 6 проводить інтеграцію напруги, що надходить з датчика 3 струму (шунта). З виходу інтегратора 6 напруга, пропорційна середньому струму навантаження, поступає на один вхід схеми порівняння 5, на другий вхід якої поступає напруга  $U_{on}$  з генератора опорної напруги 8. У момент  $\tau_2$  напруга  $U_i$  інтегратора 6 досягає опорного  $U_{on}$  і на виході схеми порівняння 5 з'являється імпульс  $U_{зан}$ , який переводить тригер 4 в зворотне положення, що замикає регулюючий елемент 1 силової частини й

обнуляє інтегратор б. Після цього інтегратор починає новий період інтеграції напруги, пропорційної струму навантаження, і в наступний тактовий момент  $2T$  відмикається регулюючий елемент силової частини  $I$  і наново формується опорна напруга  $U_{on}$ . Якщо опір навантаження зменшується, то середній струм у навантаженні зростає і, відповідно,  $U_i$  наростає швидше. У результаті точка порівняння  $U_{on}$  переміщається вгору по ділянці  $a$  напруги  $U_{on}$  (рис. 3), що не приведе до зміни часу відкритого стану регулюючого елемента  $I$  силової частини (рис. 2). Тобто, із зростанням струму напруга навантаження залишається постійною, що відповідає ділянці, потрібної ВАХ (рис. 1).

Подальше збільшення струму навантаження приводить до переміщення точки порівняння  $U_{on}$  і  $U_i$  на участок з напругою  $U_{on}$  (рис. 3). При її русі вгору відбудеться зменшення часу відкритого стану регулюючого елемента. Це приводить до зміни середнього значення напруги на навантаженні із зростанням середнього струму, що відповідає ділянці  $b$ , потрібної ВАХ (рис. 1).

У разі продовження наростання струму навантаження напруга наростає ще швидше. Під час переходу точки порівняння  $U_i$  та  $U_{on}$  на ділянку  $b$ , пристрій переходить у режим стабілізації струму, що відповідає участку  $b$  на потрібній ВАХ (рис. 1). Таким чином, застосовуючи запропонований спосіб управління, можна використовуючи один конвертор, формувати задану вихідну ВАХ.

Спосіб формування потрібної ВАХ є універсальним і дозволяє розробити НП з будь-якою формою, в тому числі і ВАХ зі спадаючою формою, характерною для дугових зварювальних апаратів.

Для оцінки швидкості зміни та часу встановлення необхідного струму у перетворювачі використовується модель, що представлена на рис 4.

Сигнал з коефіцієнтом заповнення 80%

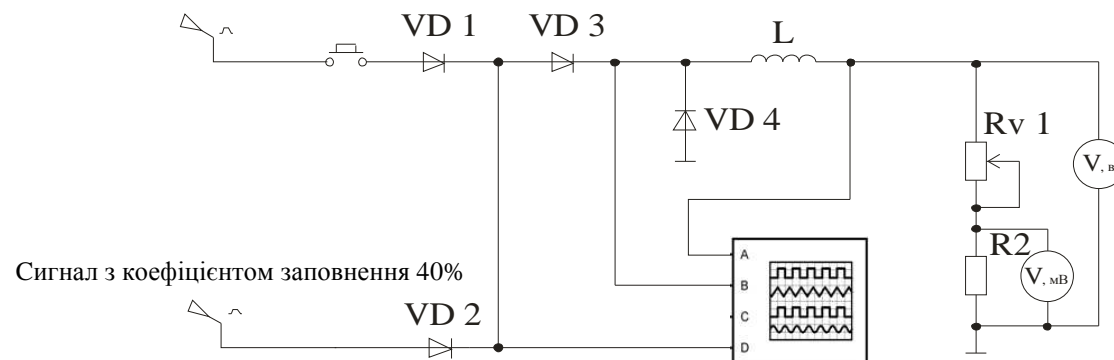


Рис. 4. Модель для розрахунків часу затримки зміну струмів дуги

За допомогою моделі визначалась швидкість зростання вихідного струму  $I_{вих}$  перетворювача з мінімального значення (під час дії імпульсів з частотою 20 кГц, що управляють регулюючим елементом перетворювача) з коефіцієнтом заповнення 40 % до максимального – з коефіцієнтом заповнення 80 % з різними значеннями індуктивності  $L$ . Результати розрахунків показують, що найбільший час зменшення і збільшення струму перетворювача складають одиниці мс з використанням індуктивності  $L$ , що дорівнює одиниці мГн. Враховуючи, що за одну секунду під час дугового зварювання формуються приблизно 5-10 крапель металу, часу зміни струму дуги, що здійснюється за одиниці мс (перед падінням краплі), вистачає для зменшення розбризкування крапель металу електрода.

Для зменшення часу затримки встановлення струму дуги, слід зменшити індуктивність  $L$ , наприклад, до 100 мкГн. Результати визначення часу затримки зміну струмів дуги з використанням моделі з різними значеннями індуктивності  $L$  показані в табл. 1.

Таблиця 1

*Результати розрахунків часу зміни струмів дуги*

| Індуктивність $L$ , мкГн | Час встановлення струму НП<br>від 100 до 200 А, мкс | Час встановлення струму НП<br>від 200 до 100 А, мкс |
|--------------------------|---|---|
| 10                       | 120   | 110   |
| 100                      | 1100  | 1100  |
| 1000                     | 12500   | 12500   |
| 2000                     | 22000   | 22000   |

**Висновки**

Дозована подача електроенергії до зварювальної області дозволяє: підвищити ефективність технологічного процесу (за рахунок зменшення необхідної теплоти); поліпшити стабільність процесу зварювання за рахунок стабільності дуги при зміні вильоту електрода під час автоматичного та напівавтоматичного зварювання; поліпшує якість зварювального шва за рахунок зменшення розбризкування крапель металу.

Зменшення розбризкування крапель під час дугового зварювання приводить до скорочення часу зачищення перед остаточною обробкою виробу; збільшується час експлуатації сопла зварювального пальника до наступного зачищення, особливо при використанні 100 % вуглекислого газу в якості захисного газу.

Описаний спосіб керування дозованою подачею електроенергії під час дугового зварювання металів полегшує роботу зварювальника, звільняючи його від постійного контролю вильоту електрода в процесі зварювання й кута нахилу зварювального пальника, спрощується процес розробки автоматизованої системи зварювання. При цьому гарантується одержання якісного шва з низьким рівнем розбризкування.

**Список використаних джерел**

1. Система автоматичного керування дозованою подачею електроенергії під час дугового зварювання металів / С. В. Борцов, Д. В. Вайц, В. М. Співак // Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів: Чернігівський державний технологічний університет, 2011. – С.125-126.
2. Способ управления конвертором: авторское свидетельство СССР № 843132, кл. Н 02 М 3/24, 1981 / А. В. Буденный, С. М. Фоменко, А. В. Ведьмедь, А. О. Кондратюк и Ю. В. Морозов.