

МАШИНА ДЛЯ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО МІКРОЗВАРЮВАННЯ

Ю.М. Ланкін, Є.М. Байштрук, В.Ф. Семікін, І.Ю. Романова

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: lankin.y.n@gmail.com

Контактне мікрозварювання з-за невеликої тривалості імпульсу зварювального струму виконується на конденсаторних машинах і машинах постійного струму з транзисторним регулюванням, які мають деякі недоліки (не достатні характеристики регулювання, складність, ненадійність). У розробленій машині для контактного мікрозварювання на змінному струмі підвищеної частоти ці недоліки усунуто. У ній управління циклом зварювання виконується мікроконтролером, регулюємий імпульс зварювального струму формується транзисторним інвертором мостового типу, пружинний привід переміщення та стиску електродів виконано на основі лінійного привода з кроковим двигуном. Із застосуванням теорії подібності при проектуванні режимів мікрозварювання на розробленій машині можна використовувати всі бази даних режимів зварювання металів середніх і великих товщин на промисловій частоті. Бібліогр. 8, рис. 5.

Ключові слова: контактне мікрозварювання, змінний струм, висока частота, інверторне джерело живлення, електро-механічний привід стиску, мікропроцесорне управління, спеціальна форма імпульсів, стабілізація струму

Вступ. Контактне мікрозварювання широко застосовується в електронній промисловості, машинобудуванні, приладобудуванні тощо, причому галузі її застосування постійно розширюються. У порівнянні зі зварюванням металів середньої і великої товщини мікрозварювання має ряд особливостей [1]. У першу чергу це мала теплова інерційність зварюваних точок. Якщо представити зварювану точку в першому наближенні як інерційну ланку першого порядку, то його теплова постійна T згідно з теорією подібності [2] буде $T \equiv \delta^2/a$, де δ – товщина зварюваних деталей, a – коефіцієнт теплопроводності зварюваного металу. Ця залежність підтверджується математичним моделюванням процесу зварювання. Так, для зварювання листів заліза завтовшки 1,0 + 1,0 мм математичне моделювання дало $T = 60$ мс, а для листів завтовшки 0,2 + 0,2 мм – $T = 2,2$ мс. При цьому якщо при зварюванні струмом з частотою 50 Гц листів 1,0 + 1,0 мм пульсації температури в центрі точки складали 10 %, то при товщині листів 0,2 + 0,2 мм температура з фазовим зсувом ~ 30 ел. град. повторює форму зварювального струму. Тому для подібності теплових процесів при зварюванні будь-яких товщин згідно з теорією подібності час зварювання $t_{зв}$ і частота зварювального струму f повинні задовольняти наступним умовам: $t_{зв} \equiv \delta^2/a$ і $f \equiv a/\delta^2$.

Ще однією з особливостей мікрозварювання є зміна відношення початкового контактного опору деталь-деталь до власного опору зварюваних деталей оборотно пропорційно до товщини. У результаті зі зменшенням товщини зварюваних деталей різко зростає ймовірність початкових виплесків розплавленого металу з зони зварювання.

З цієї причини збільшується вплив форми переднього фронту імпульсу зварювального струму та здатність системи її регулювати у широких межах.

Існує велика кількість типів формувачів імпульсів зварювального струму для точкового контактного зварювання [3]. З них для контактного мікрозварювання внаслідок особливостей, зазначених вище, основне розповсюдження отримали формувачі імпульсів конденсаторного типу [4] і в останній час – формувачі імпульсів постійного струму на основі транзисторних регуляторів [5, 6]. Перевагою конденсаторних машин є їх простота, недоліком – громіздкість, обмежені можливості управління формою імпульсу зварювального струму та неможливість регулювання параметрів імпульсу зварювального струму під час зварювання. Формувачі імпульсів зварювального струму на основі транзисторних регуляторів мають ідеальні регулювальні характеристики, які дозволяють реалізувати будь-які зварювальні цикли та автоматичне регулювання параметрів зварювання. Проте вони є досить складними і, відповідно, коштовнішими та менш надійними.

Метою даної роботи була розробка машина для контактного мікрозварювання на змінному струмі підвищеної частоти, що має всі переваги конденсаторних машин і машин постійного струму при відсутності їх недоліків.

Принципово машини для контактного мікрозварювання нічим не відрізняються від машин для зварювання середніх і великих товщин на змінному струмі, якщо дотримуватися умов подібності [2]: частота зварювального струму $f \equiv \delta^{-2}$, опір зварювального контуру $Z_k \equiv \delta^{-1}$ і маса рухомих частин

Ланкін Ю.М. – <https://orcid.org/0000-0001-6306-8086>, Семікін В.Ф. – <https://orcid.org/0000-0002-7407-5887>,

Романова І.Ю. – <https://orcid.org/0000-0001-7154-1830>

© Ю.М. Ланкін, Є.М. Байштрук, В.Ф. Семікін, І.Ю. Романова, 2023

машини $m \equiv \delta^5$. Високочастотні машини змінного струму для контактного мікрозварювання є простими, надійними та дешевими, як конденсаторні машини, і одночасно забезпечують високоякісне автоматичне регулювання та стабілізацію технологічних параметрів, як машини постійного струму, при порівняннях з ними масогабаритних характеристиках. Контактне зварювання металу великих і середніх товщин у переважній більшості випадків здійснюється на машинах змінного струму з частотою 50 Гц. За багато десятків років накопичилась велика база даних режимів зварювання. Її можна використовувати і для контактного мікрозварювання на змінному струмі з використанням теорії подібності.

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України розроблено машину для контактного мікрозварювання на змінному струмі підвищеної частоти. Загальний вигляд машини наведено на рис. 1. Основними блоками машини є мікроконтролерний блок управління, інверторний блок формування імпульсу зварювального струму, електроприводний блок переміщення та стиску електродів.

Програмна зміна в процесі циклу зварювання величини зварювального струму, переміщення та величини зусилля стиску електродів здійснюється мікроконтролером PIC16F873.

Блок формування імпульсу зварювального струму. Спрощену принципову електричну схему силового блоку машини наведено на рис. 2.

Напруга U_z «Струм», яка є пропорційною заданому зварювальному струму, формується керуючим мікроконтролером і через резистор R1 надходить на не інвертуючий вхід EA підсилювача розузгодження ШІМ-контролера DA1. Сигнал зворотного зв'язку за зварювальним струмом формується трансформатором струму ТА. Первинна обмотка трансформатора струму включена в діа-



Рис. 1. Загальний вигляд машини для контактного мікрозварювання на змінному струмі підвищеної частоти

гональ силового транзисторного мосту інвертора послідовно з первинною обмоткою зварювального трансформатора Т1.

Напруга на R2, що є пропорційною зварювальному струму та утворюється випрямленим струмом вторинної обмотки трансформатора ТА, через резистор R3 подається на інвертуючий вхід $\bar{E}A$ підсилювача розузгодження контролера DA1. На той же вхід через резистор зворотного зв'язку R5 подається напруга з виходу СМР вбудованого підсилювача розузгодження. Ланцюг С1–R6 забезпечує стійкість і сприятливі перехідні процеси системи зворотного зв'язку за зварювальним струмом. Напруга з R2 через резистор R4 також надходить на вхід СL контролера, виконуючи швидкодіючий захист при перевищенні зварювальним струмом максимального допустимого значення. Сигнал «Зварювання», що генерується управлячим контролером, через резистор R7 подається на вхід SS-контролера DA1 і слугує для вмикання/вимикання зварювального струму. Частота інвертора 1,5 кГц задається конденсатором С4 і резистором R8.

Для гальванічного розв'язання схеми управління з силовими транзисторами VT1–VT4, що знаходяться під потенціалом живлячої мережі, використано інтегральні оптронні драйвери TLP250. Вхідні оптрони драйверів підключено до виходів контролера DA1 через резистори R11–R14. Для драйверів необхідно мати індивідуальні ізольовані джерела живлення. Їх виконано на мікросхемі DA2 і високо-частотному трансформаторі Т2. Напруга вторинних обмоток трансформатора Т2 випрямляється однополуперіодними випрямлячами VD7–VD9.

Силовий міст виконано на транзисторах з ізольованим затвором VT1–VT4 типу G4PC50W. Транзистори шунтовано силовими швидкодіючими діодами VD3–VD6. Живлення мосту здійснюється постійною напругою 300 В, яку отримують безпосередньо випрямленням напруги мережі. Терморезистор R20 з негативним коефіцієнтом температурного опору обмежує початковий струм заряду конденсатора С10 фільтру, захищаючи випрямляч VD2 від перевантаження. Конденсатори С7–С9 і дросель L1 захищають мережу від проникнення в неї високочастотних перешкод, які генеруються інвертором.

На рис. 3 наведено осцилограми миттєвого значення напруги U і згладжені криві середнього значення струму I_{cp} первинної обмотки зварювального трансформатора.

Порівняння записів струму при короткому замиканні електродів і зварюванні показує, що навіть при дуже значних збуреннях система стабілізації працює досить ефективно: середнє значення струму при короткому замиканні дорівнює 8,09 А, а при зварюванні – 8,45 А. При необхідності ста-

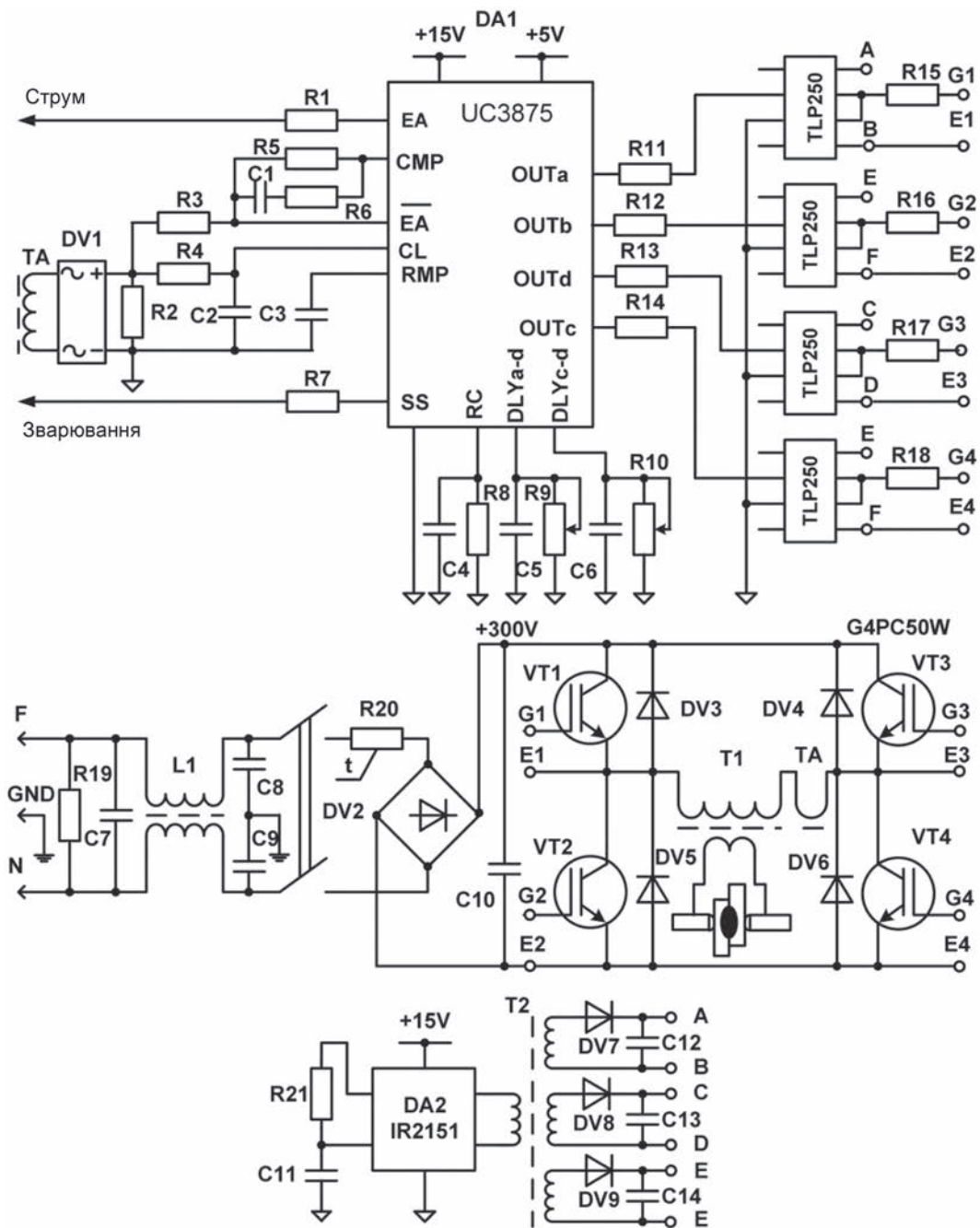


Рис. 2. Спрощена принципова схема силового блоку машини для контактної мікрозварювання

більшість зварювального струму можна підвищити за рахунок збільшення коефіцієнта передачі підсилювача розузгодження контролера DA1 і застосування датчика ефективного значення зварювального струму. З рис. 3 також видно, що регулятор відпрацює збурення також і в джерелі живлення при зниженні напруги з 340 до 240 В.

Для підвищення якості зварного з'єднання, як правило, застосовується плавне наростання переднього фронту потужності зварювального струму [7]. Оптимальний закон зміни переднього фронту імпульсу залежить від умов зварювання та підбирається експериментально. Для спрощення завдання режиму зварювання в алгоритмі управління мікропроцесора запрограмовано чотири

стандартних види переднього фронту імпульсів зварювального струму U_z «Струм»: 1 – ступінчастий, 2 – експоненційний, 3 – S-подібний, 4 – лінійний. При цьому задається тривалість наростання та кінцевий рівень струму. На рис. 4 наведено осцилограми відпрацювання програм наростання зварювального струму при вмиканні.

Сигнал зварювального струму частотою 1,5 кГц з-за фазового управління має складну форму. Для наочності подання сигнал струму випрямлено та відфільтровано низькочастотним фільтром. Як видно з рис. 4, зварювальний струм I точно слідує за напругою U_z , що задається.

Блок переміщення та стиску електродів. У зварювальній машині, що розглядається, застосовано

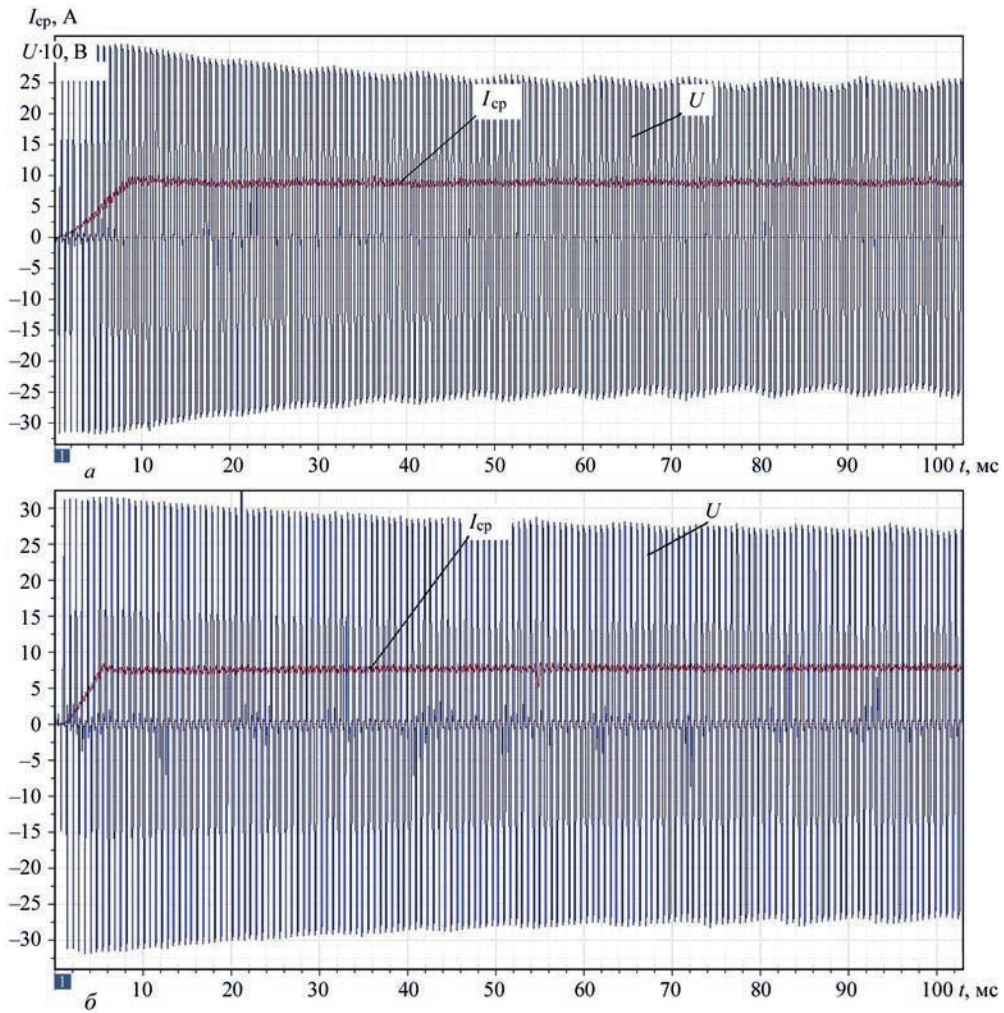


Рис. 3. Осцилограми струму та напруги первинної обмотки зварювального трансформатора в режимах короткого замикання (а) та зварювання листів нержавіючої сталі завтовшки 0,3 + 0,3 мм (б)

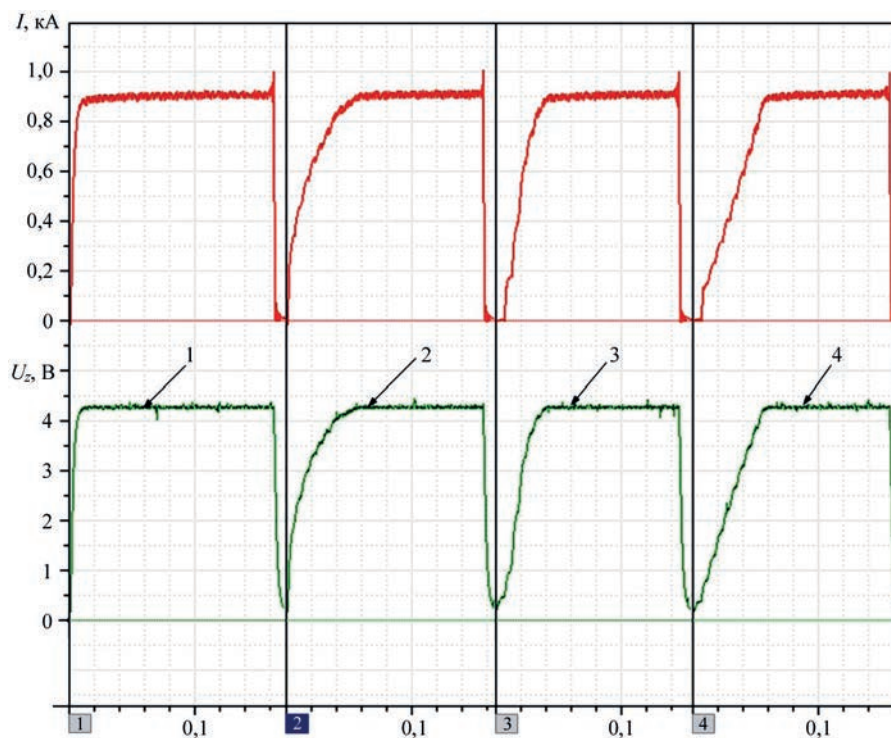


Рис. 4. Осцилограми відпрацювання програми наростання зварювального струму при вмиканні

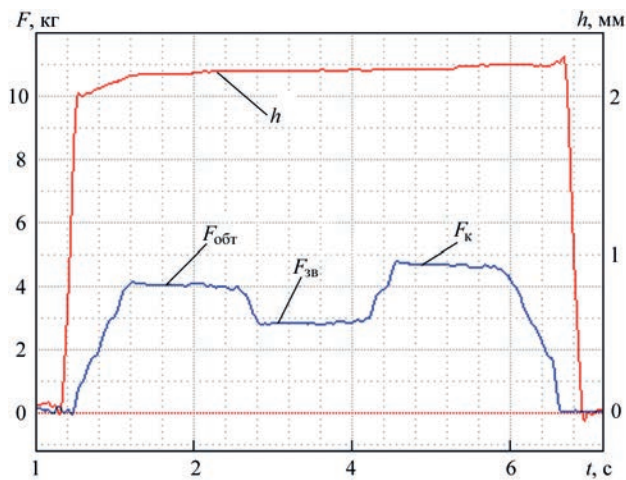


Рис. 5. Приклад роботи приводу переміщення та стиску електродів, де h – відносне переміщення електродів; $F_{\text{обт}}$ – зусилля попереднього обтиску електродів; $F_{\text{зв}}$ – зусилля стиску електродів під час проходження струму крізь зварюваний метал; $F_{\text{к}}$ – кувальне зусилля

пружинний привод переміщення та стиску електродів на основі лінійного приводу з кроковим двигуном (КД) ДШІ-200-2-1 [8]. Величина зусилля стиску електродів задається числом кроків КД. Максимальне зусилля стиску 58,8 Н (6 кгс), що змінюється з дискретністю 0,084 Н (7 гс) і максимальною швидкістю зміни 117,6 Н/с (12 кгс/с). Привід дозволяє виконувати безударну роботу електродів шляхом програмного зниження швидкості КД перед торканням електродом виробу, що зварюється. Це знижує механічний знос робочого торця електроду і таким чином збільшує інтервал часу між його заточуванням, підвищуючи продуктивність і збільшуючи строк служби електродів.

На рис. 5 наведено приклад циклограми роботи приводу переміщення та стиску електродів. На першій стадії циклу зварювання попередній обтиск $F_{\text{обт}}$ слугує для усунення проміжків між деталями, отримання необхідних значень контактних опорів електрод-деталь в холодному стані. На третій стадії циклу прикладають і підтримують кувальне зусилля $F_{\text{к}}$ для зниження розтягуючих напружень, зменшення жолоблення зварюваного виробу, попередження гарячих тріщин і раковин.

Висновки

Машини змінного струму на підвищеній частоті для контактної точкової мікрозварювання мають всі переваги найрозповсюдженіших у даний час конденсаторних машин і машин постійного струму при відсутності їх недоліків.

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблено машину для контактної мікрозварювання змінним струмом до 2,5 кА і частотою 1,5 кГц. Машина має привід стиску електродів зусиллям до 58,8 Н на основі лінійного приводу з кроковим двигуном. Мікропро-

цесорне управління забезпечує будь-який закон зміни імпульсу зварювального струму та зусилля стиску електродів.

Якість стабілізації зварювального струму або напруги на електродах можна підвищити, якщо замінити датчики їх середніх значень на відповідні датчики діючих значень.

Список літератури

1. Ланкін Ю.М. (2021) Вимоги до технічних характеристик машин контактної мікрозварювання. *Автоматичне зварювання*, **11**, 40–43. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2021.11.07>
2. Лебедев В.К., Яворский Ю.Д. (1960) Применение критериев подобия для определения режимов контактной сварки. *Автоматическая сварка*, **8**, 37–44.
3. Паэранд Ю.Э., Бондаренко Ю.В., Бондаренко А.Ф. (2008) Формирователи импульсов тока для контактной сварки. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, **3**, 25–30.
4. Моравский В.Э. (1963) *Сварка аккумулярованной энергией*. Киев, Гостехиздат УССР.
5. Леонов В.П., Атвуш В.Е., Греченкова Л.А., Баранщикова Л.А. (1987) Источник сварочного тока с программируемыми электрическими параметрами и формой импульса. *Сварочное производство*, **1**, 27–28.
6. Бондаренко О.Ф., Рижаква Т.О., Кожушко Ю.В. (2018) Вдосконалена методика оцінки втрат в імпульсних перетворювачах установок контактної мікрозварювання. *Технологія та конструювання в електронній апаратурі*, **3**, 38–42. DOI: <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2018.3.38>
7. Бондаренко А.Ф. (2007) *Формирователи импульсов тока для установок контактной микросварки*: дис. канд. техн. наук. Алчевск, ДонГТУ.
8. Ланкин Ю.Н., Семикин В.Ф., Осечков П.П., Байштрук Е.Н. (2012) Привод сжатия электродов для машин контактной точечной микросварки. *Автоматическая сварка*, **2**, 54–56.

References

1. Lankin, Yu.M. (2021) Requirements to technical characteristics of resistance microwelding machines. *The Paton Welding J.*, **11**, 34–37. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2021.11.07>
2. Lebedev, V.K., Yavorsky, Yu.D. (1960) Application of similarity criteria for determination of resistance welding modes. *Avtomatich. Svarka*, **8**, 37–44 [in Russian].
3. Paerand, Yu.E., Bondarenko, Yu.V., Bondarenko, A.F. (2008) Current pulse formers for resistance welding. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature*, **3**, 25–30.
4. Moravsky, V.E. (1963) *Welding by accumulated energy*. Kyiv, Gostekhizdat Ukr.SSR.
5. Leonov, V.P., Atvush, V.E., Grechenkova, L.A., Baranshchikova, L.A. (1987) Welding current supply with programmed electric parameters and pulse shape. *Svarochn. Proizvodstvo*, **1**, 27–28 [in Russian].
6. Bondarenko, O.F., Ryzhakova, T.O., Kozhushko, Yu.V. (2018) Improved procedure of loss evaluation in pulse converters of resistance microwelding machines. *Tekhnologiya ta Konstruyivanniya v Elektronnoy Aparaturi*, **3**, 38–42 [in Russian]. DOI: <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2018.3.38>
7. Bondarenko, A.F. (2007) *Current pulse formers for resistance microwelding machines*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Tech. Sci. Degree. Alchevsk, DonGTU [in Russian].
8. Lankin, Yu.N., Semikin, V.F., Osechkov, P.P., Bajshtruk, E.N. (2012) Electrode compression drive for resistance spot microwelding. *The Paton Welding J.*, **2**, 45–47.

MACHINE FOR RESISTANCE SPOT MICROWELDING

Yu.M. Lankin, E.M. Bayshtruk, V.F. Semikin, I.Yu. Romanova

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: lankin.y.n@gmail.com

Resistance microwelding due to a small duration of a welding current pulse is performed in condenser machines and DC machines with transistor adjustment, which have some disadvantages (not sufficient regulation characteristics, complexity and unreliability). In the designed machine for resistance microwelding on high frequency AC, these disadvantages are eliminated. In the machine, the control of the welding cycle is performed by a microcontroller, the regulating welding current pulse is formed by the transistor inverter of the bridge type, the spring drive for movement and compression of electrodes is made on the basis of a linear drive with a step motor. Applying the similarity theory when designing microwelding modes in the designed machine, it is possible to use all databases of the modes of welding metals of medium and large thicknesses at the industrial frequency. 8 Ref., 5 Fig.

Keywords: resistance microwelding, alternating current, high frequency, inverter power source, electromechanical compression drive, microprocessor control, special pulse shape, current stabilization

Надійшла до редакції 21.02.2022

Зварювання за кордоном

МЕТОД ПОДВІЙНОГО ІМПУЛЬСУ ВІД КЕМРРІ ДЛЯ TIG-ЗВАРЮВАННЯ

Зварювання TIG широко використовується при зварюванні металів, робота з якими вважається складним завданням, наприклад, з титаном. Це найпростіший і найбезпечніший метод досягнення високої якості роботи при невеликих витратах на обладнання. Однак необхідна кількість зварювальних проходів робить зварювання TIG повільним та трудомістким, що знижує продуктивність. Функція подвійного імпульсу у новому зварювальному апараті MasterTig від Kemppi була розроблена для підвищення ефективності зварювання TIG.

У Фінляндії зварювання титану вважається дуже складним завданням, при вирішенні якого на перший план виходить дотримання вимог щодо якості, що зазвичай важливіше за продуктивність. Оскільки титан все частіше стали використовувати у своїй роботі зварники, компанії починають шукати способи підвищення продуктивності традиційного зварювання TIG під час роботи з цим металом, особливо якщо товщина матеріалу менше за 6 мм. Витрати при зварюванні титану досить високі в порівнянні з кількістю отриманого в результаті роботи готового шва, тому навіть невелике збільшення продуктивності є цінним.

Як правило, титан має гарне співвідношення міцності та ваги, відмінні корозійну стійкість та властивості термостійкості. Ці характеристики є дуже важливими у реалізації найскладніших зварювальних проектів, де використовується саме титан, незважаючи на його високу ціну.

При розробці нового сімейства продуктів MasterTig компанія Kemppi прагнула підвищити ефективність зварювання TIG, особливо в роботі з тонкими матеріалами (0,5...6 мм), враховуючи всі вимоги та особливості при їх з'єднанні. Так було створено двоімпульсний варіант процесу TIG.

Переваги та можливості у використанні двоімпульсного зварювання TIG. Двоімпульсне TIG-зварювання поєднує в собі традиційне повільне і швидке зварювання.

Типові переваги повільної пульсації включають: поліпшений контроль зварювальної ванни; простота позиційного зварювання; візуально-привабливі зварні шви.

Переваги швидкої пульсації: краще сфокусована дуга; вища швидкість руху; найкращий контроль тепловкладення; глибше проникнення.

У новому сімействі продуктів Kemppi MasterTig функції і переваги повільного та швидкого імпульсного зварювання легко поєднуються, а діапазон оптимальних способів зварювання значно розширюється. Найбільш підходящим двоімпульсне TIG-зварювання є для тонких матеріалів; скруглених та кутових з'єднань; зварних швів з високими вимогами до візуальної якості; нержавіючих сталей; матеріалів, що вимагають низького тепловкладення, таких як високоміцні сталі, дуплексні та аустенітні матеріали; кольорових металів, що зварюються постійним струмом, таких як титан.

Результати під час тестування в реальних робочих умовах.

Turula Engineering – це фінська компанія, яка випускає продукцію з високою доданою вартістю. Підприємство працює у сфері виробництва машин та обладнання для гірничодобувної, металургійної, енергетичної та водної промисловості. Turula Engineering брала участь у пілотних випробуваннях нового MasterTig від Kemppi перед масовим запуском у виробництво цього типу зварювальних апаратів. Цікавий та складний проект компанії з виробництва обладнання, що працює під тиском, вимагав проведення великої кількості зварювальних робіт з використанням титану та ідеально підходив для демонстрації переваг нового двоімпульсного зварювання TIG від Kemppi у реальних умовах експлуатації.

Для компанії Turula Engineering двоімпульсне зварювання TIG допомогло скоротити кількість проходів при виробничому зварюванні титанових труб з трьох до одного, що призвело до значної економії часу та коштів. Вже в процесі початкових випробувань зварювання найпоширенішого з'єднання в даному проекті всього за один прохід виявилось значно простіше та надійніше. За словами зварників, подвійний імпульс «змішує» зварювальну ванну таким чином, що невеликі допущені неточності не призводять до недостатнього проплавлення. На додаток до цього, дозволений колір зварного шва досягається легше, оскільки тепловкладення при двоімпульсному зварюванні TIG нижче порівняно з традиційними процесами зварювання TIG. Зварники також відзначили, що закінчення зварювання легше контролювати — при зварюванні титану існує ризик того, що корінь виявиться глибшим у кінцевій точці. Крім того, зварювальні деформації були меншими через менше підведення тепла.

Завдяки отриманим відмінним результатам тестових випробувань двоімпульсне TIG зварювання було обрано для використання під час проведення більшості робіт у рамках проекту, що значно скоротило час підготовки до неї. При цьому майже всі перевірки пройшли без зауважень.

При TIG-зварюванні навіть невеликі зміни процесу можуть значно скоротити кількість слабких місць у зварювальному виробництві. Двоімпульсне зварювання TIG — це ще один крок вперед до економічніших робіт без шкоди для хорошої якості.

За матеріалом Internet

