

3. Причины снижения прочности сварных соединений титана со сталью / Л. Н. Ларионов, М. Н. Белякова, В. Н. Замков [и др.] // Автоматическая сварка. – 1984. – № 4. – С. 17-20.
4. Седых В. С. Особенности микронеоднородности сваренных взрывом соединений / В. С. Седых // Труды Волгоградского политехнического института. – 1975. – Вып. 2. – С. 3-39.
5. О возможности регулирования температуры при сварке трением разнородных материалов / Ю. Д. Потапов, В. В. Трутнев, А. Ф. Якушин [и др.] // Сварочное производство. – 1971. – № 2. – С. 1-3.
6. Влияние низких температур на работоспособность сваренных взрывом титано-стальных соединений / Ю. Н. Кусков, В. Д. Сапрыгин, В. С. Седых [и др.] // Сварочное производство. – 1975. – № 11. – С. 20-21.
7. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов / С. М. Гуревич, В. Н. Замков, В. Е. Блащук, Г. К. Харченко [и др.]. – 2-е изд., дополн. и перераб. – К.: Наук. думка, 1986, – С. 240.
8. Свойства соединений титановых сплавов со сталью, полученных через тонкие металлические прослойки / В. Е. Иванов, В. М. Амоненко, В. М. Годин [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1971. – № 2. – С. 101-104.
9. Тронь А. С. Влияние циклических нагревов на свойства соединения разнородных металлов / А. С. Тронь, Л. А. Забашта, А. Г. Лопата // Проблемы прочности. – 1975. – № 12. – С. 57-60.
10. Diffusion welding of γ -TiAl based alloys through nano-layered foil of Ti/Al system / A. I. Ustinov, Yu. V. Falchenko, A. Ya. Ishchenko, G. K. Kharchenko, T. V. Melnichenko, A. N. Muraveynik // Intermetallics. – 2008. – № 16. – P. 1043-1045.

УДК 621.791.01.6

Г.П. Болотов, д-р техн. наук

М.Г. Болотов., канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ ДЛЯ ДИФУЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Проведено аналіз енергетичних та регулювальних характеристик існуючих джерел живлення тліючого розряду в умовах дифузійного зварювання. Показано недоліки конструктивних схем джерел та визначено засоби їх оптимізації.

Проведен анализ энергетических и регулировочных характеристик существующих источников питания тлеющего разряда для диффузионной сварки. Показано недостатки конструктивных схем источников и определено способы их оптимизации.

The analysis of energy characteristics and regulation of existing sources of supply for the glow discharge for the diffusion welding. Showing disadvantages of constructive schemes of sources and identify ways to optimize them.

Вступ. Сьогодні у промисловості широко розповсюдження отримало зварювання у твердій фазі – дифузійне зварювання, що здійснюється при температурах нижче температури розплавлення з'єднуваних матеріалів [1]. Це дозволяє отримувати вузли та деталі складної форми з мінімальними деформаціями. Для дифузійного зварювання застосовують різні види джерел нагріву, що розрізняються способами перетворення електричної енергії у теплову, інтенсивністю та локальністю нагріву. Одним з таких джерел є тліючий розряд, який має певні технологічні переваги серед інших способів нагріву, пов'язаних, зокрема, із простотою обладнання, високою економічною ефективністю процесу нагріву, можливістю зварювання виробів різноманітних конструктивних форм. Особливістю застосування тліючого розряду є можливість суміщення в єдиному циклі операцій іонного очищення зварюваних поверхонь, зварювання та термохімічної обробки зварних виробів, що забезпечує підвищення якості з'єднань.

Постановка завдання. Тліючий розряд, подібно до дугового, є однією з форм газового розряду. Електрична дуга завдяки значній густині струму в катодній та анодній плямах і високій температурі газу в позитивному стовпі широко застосовується для

з'єднання матеріалів методами плавлення. Відповідно, розроблені джерела живлення електричної дуги, що забезпечують стабільне проведення цих процесів.

Під час розроблення та створення джерел живлення потужнострумового тліючого розряду необхідно враховувати специфічні особливості, що відрізняють його від зварювальної електричної дуги: а) менші на один-два порядки значення робочих струмів; б) більш високі (також на один-два порядки) падіння напруги на розрядному проміжку; в) можливість переходу тліючого розряду в дуговий. Останнє вимагає розробки джерел живлення, стабілізуючих розрядний струм та здатних витримувати стрибки струму, що у два-три рази перевищують номінальні значення.

Мета роботи. Метою роботи є аналіз основних енергетичних та регулювальних характеристик джерел живлення тліючого розряду в умовах дифузійного зварювання та визначення засобів їх оптимізації.

Викладення основного матеріалу. Оскільки статична вольтамперна характеристика нормального тліючого розряду має майже горизонтальну ділянку, тобто наближається до жорсткої, то стійкий стан системи «джерело живлення – тліючий розряд» забезпечується лише при падаючій зовнішній характеристиці джерела живлення. Положення робочої точки, що відповідає сталому режиму тліючого розряду, можна перемішувати за допомогою:

- 1) зміни кута нахилу зовнішньої характеристики джерела регулюванням величини опору зовнішнього кола (рис. 1, криві 1, 2);
- 2) еквідистантного переміщення характеристики джерела вгору або вниз зміною напруги U_0 на його вихідних клеммах (рис. 1, криві 1, 3).

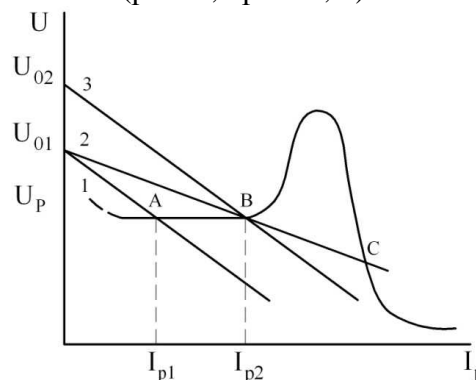
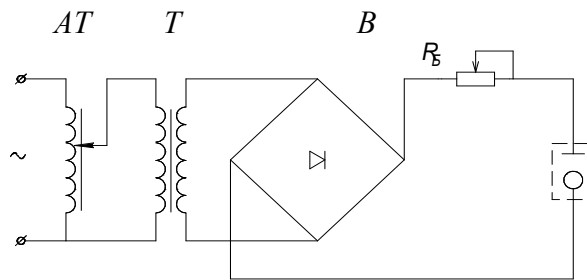


Рис. 1. Способи регулювання режиму тліючого розряду
 (A, B – робочі точки, що відповідають струмам розряду I_{p1} та I_{p2})

Перший із зазначених способів реалізований у джерелі (рис. 2), в якому для створення крутопадаючої характеристики використовується баластний опір R_B у колі розряду [2]. Досвід показує, що така схема джерела забезпечує стабільне горіння тліючого розряду у відсутності істотних збурень, викликаних, першочергово, порушенням технологічної дисципліни. Однак у такій схемі значна частина потужності джерела (40 ... 60 %) витрачається на самому баластному опорі, що негативно позначається на енергетичних показниках процесу зварювання. Крім того, таке джерело не чинить протидії зміни форми розряду, тобто лавиноподібному наростанню струму в момент утворення дуги та її подальшій стабілізації на виробі.

Тим не менш, таке джерело живлення тліючого розряду у наш час широко використовується як у промислових, так і в експериментальних установках порівняно невеликої потужності (одиниці кіловат). Це пояснюється його відносною простотою у виготовленні, достатньо високою надійністю, невисокою вартістю і порівняно невеликою масою (до 8 кг/кВт).



AT – автотрансформатор, T – підвищуючий трансформатор, B – випрямляч

Рис. 2. Схема джерела з регульованим баластним реостатом R_B

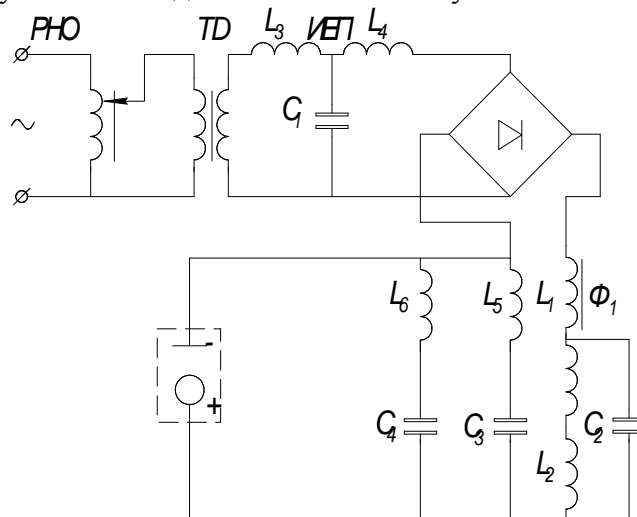
Заміна у джерелі живлення активного баласту на індуктивно-ємнісний перетворювач (ІСП) за резонансною схемою Бушера дозволила створити зовнішню характеристику, близьку до вертикальної, і завдяки цьому розширити діапазон стійкості тліючого розряду. Елементи ІСП (рис. 3) обираються за умови резонансу при заданій частоті напруги живлення:

$$\omega L = 1/\omega C \quad \text{або} \quad \omega^2 LC = 1.$$

Чим менше величина активного опору індуктивностей фільтрів, або чим більша добротність котушок $Q = \omega L/R$, тим точніше джерело забезпечує підтримання заданого режиму при змінному розрядному опорі.

Втрати енергії в такому баласті помітно знижуються і к.к.д. джерела зростає до 0,7 ... 0,8. Однак такі джерела [3] мають значну масу (від 11 до 22 кг на 1 кВт залежно від конструкції і потужності). Вони значно складніше і дорожче джерел з активним баластним опором, мають обмежений діапазон регулювання режиму і тому широкого поширення не отримали. Застосування їх доцільне при масовому виробництві однотипної продукції.

В установках підвищеної потужності (5 ... 30 кВт) застосовують більш економічні джерела живлення на основі керованих тиристорних перетворювачів. Вони мають високе співвідношення корисної потужності до маси, при цьому втрати енергії в самому джерелі не перевищують 10 % від його загальної потужності.



PHO – однофазний регулятор напруги (автотрансформатор);

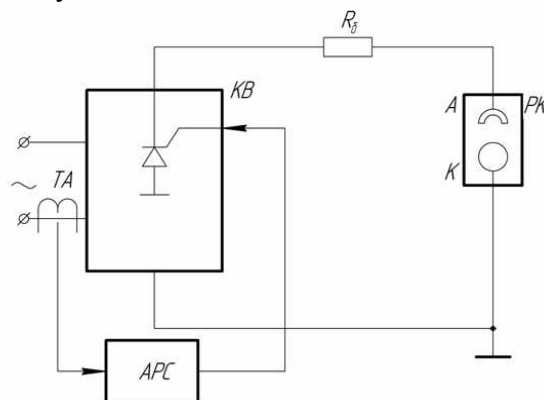
TO – підвищуючий трансформатор; $C_1...C_4, L_1...L_6$ – елементи фільтрів перетворювача

Рис. 3. Схема джерела живлення тліючого розряду на основі індуктивно-ємнісного перетворювача

Особливістю джерел живлення на основі тиристорів є те, що тиристори надійно працюють лише в колах змінного струму. Для використання їх в колах постійного струму, як це має місце під час зварювання та паяння, необхідно застосовувати складні схеми примусового замикання тиристорів, що складаються з багатьох компонентів [4]. Це призводить до ускладнення конструкції джерел та збільшення їх вартості. Тим не

менш, плавне регулювання, широкий діапазон зміни режимів і можливість їх стабілізації, високі техніко-економічні показники дають підставу вважати цей тип джерела кращим, ніж попередні [4]. Регулюючі тиристори можуть бути ввімкнені як у первинному, так і у вторинному високовольтному колі трансформатора, при цьому у разі регулювання з боку низької напруги в коло тліючого розряду для створення падаючої характеристики джерела й обмеження струму короткого замикання вмикають активний або індуктивний опір порівняно незначної величини (20 ... 40 Ом).

На рис. 4 наведена схема джерела живлення тліючого розряду на основі керованого тиристорного випрямляча. Для захисту самого джерела і зварюваних виробів від струмових перевантажень, що виникають під час переходу тліючого розряду в дуговий або під час значних коливань напруги мережі, у схемі використаний зворотній зв'язок за струмом розряду, що забезпечує його стабілізацію на встановленому рівні.



ТА – трансформатор (датчик) струму; *KB* – керований тиристорний випрямляч;
APC – автоматичний регулятор струму; *PK* – розрядна камера

Рис. 4. Схема джерела живлення тліючого розряду на основі керованого вентильного (тиристорного) перетворювача

Тим не менш, цим джерелам притаманний недолік, обумовлений особливостями управління тиристорами. Якщо в попередніх схемах джерел застосовується так зване амплітудне регулювання, коли управління струмом розряду здійснюється зміною його амплітудного значення, а тривалість його протікання за час напівперіоду залишається майже незмінною і займає переважну частину напівперіоду, то в тиристорних джерелах застосовується фазове регулювання, пов'язане зі зміною кута відмикання тиристорів α (рис. 5). При цьому на малих струмах розряду, тобто при великих значеннях кута α між сусідніми імпульсами струму з'являються значні за тривалістю проміжки, протягом яких тліючий розряд відсутній. У цей час відбувається охолодження зварюваних деталей, що знижує ефективність нагріву і збільшує його тривалість. З цієї причини тиристорні джерела при струмах розряду до 3...4 А поступаються за ефективністю джерелам з активним струмообмежуючим опором і повною мірою виявляють свої позитивні якості при підвищених струмах, тобто при малих кутах відмикання тиристорів α .

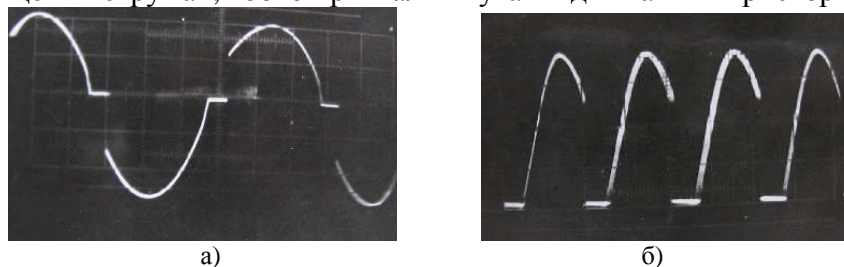
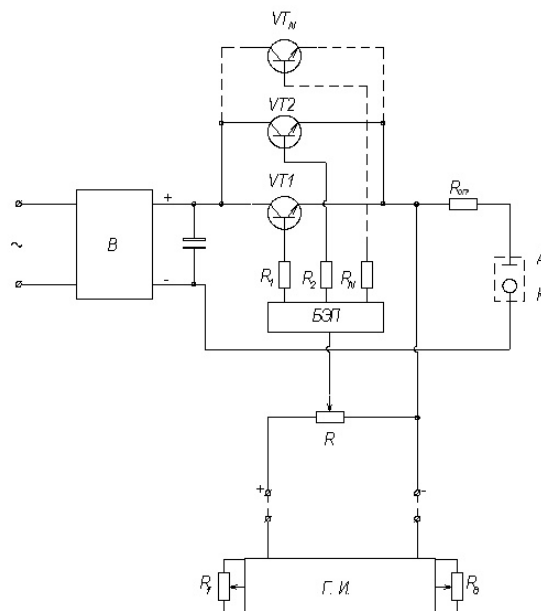


Рис. 5. Осцилограми падіння напруги на тиристорі, ввімкненому в коло змінного (а) та випрямленого (б) струму

Крім того, недоліком тиристорних джерел живлення з фазовим керуванням є дискретність їхньої роботи. З моменту відмикання тиристор стає некерованим до того часу, поки напруга на ньому не впаде до нуля (рис. 5). При потужних дугових розрядах навіть за досить малий період їх існування може відбутися пошкодження деталей. Тому, незважаючи на такі властивості тиристорних джерел живлення, як компактність, економічність і ефективність управління параметрами розряду, вони потребують спільного застосування спеціальних пристроїв, що захищають вироби від випадкових електричних дуг.

З порівняння властивостей розглянутих джерел випливає, що оптимальним для живлення потужного нормального тліючого розряду слід визнати джерело, побудоване на принципі амплітудного регулювання параметрів, що має круто падаючу зовнішню характеристику і відносно незначні втрати на елементах схеми.

Такі властивості джерела можуть бути досягнуті під час послідовного вмикання у коло тліючого розряду силового високовольтного транзистора. На рис. 6 наведена схема джерела живлення порівняно невисокої потужності – до 2...3 кВт [4]. Це викликано тим, що як регулюючий елемент, замість баластного реостата, у схемі використовується транзистор, ввімкнений послідовно з блоком випрямлення. Під час напруги на електродах розряду 600...800 В джерело забезпечує струм розряду до 3...4 А, для чого в регулюючому вузлі застосовано паралельне з'єднання високовольтних транзисторів серії КТ = 838 (КТ-828). Застосування транзисторів забезпечує отримання зовнішніх характеристик джерела, що наближаються до вертикальних, чим полегшується стабілізація струмового режиму тліючого розряду без використання зворотних зв'язків та відповідних датчиків. Транзистор забезпечує амплітудне регулювання величини струму тліючого розряду без помітних перерв під час його горіння, чим досягається висока ефективність нагріву. Джерело має кращі мас-енергетичні характеристики в порівнянні з джерелом, наведеним на рис. 2 – приблизно 5...6 кг/кВт, оскільки в ньому використовується тільки силовий підвищуючий трансформатор без регулюючого автотрансформатора. Завдяки цьому застосування такого джерела є найбільш ефективним у малогабаритних установках для зварювання та паяння.



B – випрямляч; БЕР – блок розв'язуючих емітерних повторювачів; Г. І. – генератор імпульсів;
R₁, R₂ – регулятори частоти і шпаруватості імпульсів

Рис. 6. Схема силової частини транзисторного джерела живлення тліючого розряду

Джерело може працювати як у безперервному, так і в імпульсному режимі, що необхідно для запобігання перегріву під час зварювання виробів із тонкостінними елеме-

нтами. Для отримання імпульсного струму розряду в коло керування регулюючих транзисторів, тобто в їх базові кола, подається сигнал з виходу генератора прямокутних імпульсів. Регулювання потужності розряду в цьому випадку можна проводити не тільки зміною амплітуди керуючих імпульсів, але й регулюванням їх частоти в діапазоні 0,1...1000 Гц і шпаруватості в межах 1,5...4. Це значно розширює можливості джерела, оскільки дозволяє здійснювати при підвищених тисках газу достатньо локальний, і в той же час, досить плавний нагрів виробу. Кількість паралельно з'єднаних силових транзисторів обирається за умови 5...7-ми кратного запасу за струмом, оскільки вони працюють під час напруги на колекторі, що наближаються до їх граничних значень.

Перспективним є застосування у транзисторних джерелах живлення тліючого розряду у промислових універсальних установках для дифузійного зварювання та паяння виробів широкої гами типорозмірів сучасних високовольтних біполярних транзисторів серії IGBT, що забезпечують робочі струми до 100...600 А. Це дозволить полегшити умови роботи транзисторів і водночас створити джерела та установки підвищеної потужності.

Висновки. На основі розгляду особливостей тліючого розряду, як джерела енергії в процесах зварювання тиском, визначено, що оптимальним для живлення потужного тліючого розряду (при струмах більше 1 А) є джерело, побудоване на принципі амплітудного регулювання струму, яке має крутопадаючу або вертикальну зовнішню характеристику.

Список використаних джерел

1. Казаков Н. Ф. Диффузионная сварка материалов / Н. Ф. Казаков. – М.: Машиностроение, 1976. – 311 с.
2. Котельников Д. И. Применение оборудования для сварки и пайки в тлеющем разряде / Д. И. Котельников. – Чернигов: ВСНТО, 1981. – 57 с.
3. Уэймаус Д. Газоразрядные лампы / Д. Уэймаус. – М.: Энергия, 1977. – 382 с.
4. Руденко В. С. Преобразовательная техника / В. С. Руденко, В. И. Сенько, И. М. Чиженко. – К.: Вища школа, 1978. – 424 с.

УДК 621.791.754:51-74

И.В. Пентегов, д-р техн. наук

В.Н. Сидорец, д-р техн. наук

О.И. Петриенко, канд. техн. наук

А.М. Жерносеков, канд. техн. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев, Украина

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСПЛАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ СТАЛЕЙ

Получено и исследовано зависимости коэффициента расплавления электрода от параметров процесса дуговой сварки. Проведен сравнительный анализ процессов плавления с испарением металла электрода, подогрева электрода и без таковых. Выявлено влияние этих факторов на коэффициент расплавления электрода. Выполнено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

Отримано та досліджено залежності коефіцієнта розплавлення електрода від параметрів процесу дугового зварювання. Проведено порівняльний аналіз процесів плавлення з випаровуванням металу електрода, підігріву електрода і без таких. Виявлено вплив цих факторів на коефіцієнт розплавлення електрода. Виконано порівняння отриманих результатів з експериментальними даними.

Dependence of the electrode melting from the arc welding process parameters has been obtained and investigated. A comparative analysis of the melting process with the evaporation of the metal electrode, an electrode heating and without them was been carried out. The influence of these factors on the rate of electrode melting was been revealed. The obtained results were been compared with experimental data.

Введение. Скорость плавления электрода есть основным фактором, который влияет на производительность процесса дуговой сварки, и определяет его энергетическую и экономическую эффективность. Поэтому исследование зависимости скорости плавления