

РОЗДІЛ IV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.01.6

Г.П. Болотов, д-р техн. наук

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

М.М. Руденко, ст. викладач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ТЛЮЧОГО РОЗРЯДУ В УМОВАХ ДИФУЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Г.П. Болотов, д-р техн. наук

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

М.Н. Руденко, ст. преподаватель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА В УСЛОВИЯХ ДИФУЗИОННОЙ СВАРКИ

Hennadii Bolotov, Doctor of Technical Sciences

Maksym Bolotov, PhD in Technical Sciences

Mykhailo Rudenko, senior teacher

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

CONTROL OF ENERGY CHARACTERISTICS OF A GLOW DISCHARGE IN TERMS OF DIFFUSION WELDING

Охарактеризовано основні параметри горіння тліючого розряду, що впливають на процес нагріву деталей під час дифузійного зварювання. Визначені основні керуючі дії та їх вплив на абсолютні й питомі енергетичні характеристики тліючого розряду.

Ключові слова: дифузійне зварювання, тліючий розряд, енергетичні характеристики, керування.

Охарактеризованы основные параметры горения тлеющего разряда, влияющие на процесс нагрева деталей при диффузионной сварке. Определены основные управляющие воздействия и их влияние на абсолютные и удельные энергетические характеристики тлеющего разряда.

Ключевые слова: диффузионная сварка, тлеющий разряд, энергетические характеристики, управление.

The characteristic of the main parameters of burning glow discharge affecting the process of heating parts with diffusion welding. The basic control actions and their impact on absolute and specific power characteristics of glow discharge

Key words: diffusion welding, glow discharge, power characteristics, control.

Постановка проблеми. У промисловості знаходять все більш широке застосування зварні з'єднання складної форми, виконані з однорідних та різнорідних металів та сплавів, що мають високі механічні та експлуатаційні характеристики, але обмежену здатність до зварювання. Для отримання таких з'єднань найбільш ефективно застосовуються способи зварювання тиском, зокрема, дифузійне зварювання без розплавлення вихідних матеріалів, яке здійснюється одночасно на значній площі і вимагає застосування джерел енергії, що мають невисокий коефіцієнт зосередженості, забезпечують прецизійне регулювання термічного циклу зварювання і мають адаптивність до зміни форми і матеріалу виробів.

Результати попередніх досліджень. Багаторічний досвід застосування дифузійного зварювання у різних галузях виробництва і численні дослідження ефективності технологічних процесів [1] показали, що серед застосованих на сьогодні для дифузійного зварювання джерел енергії (радіаційні, індукційні, електроконтактні) найбільш повно вказаним вимогам відповідає нагрів виробів тліючим розрядом, що горить у середовищі захисних газів при тисках, нижче атмосферного [2]. Технологічні властивості іонного нагріву роблять ефективним його застосування під час зварювання виробів як відносно простої, так і складної форми у серійному, одиничному і ремонтному виробництвах. Однак подальший розвиток і широке промислове застосування зварювання в тліючому

розряді нині обмежується недостатньо розвиненими уявленнями щодо механізму нагріву тліючим розрядом середніх тисків та засобів керування його енергетичними характеристиками. Це приводить до того, що у виробництві під час керування процесами зварювання помітну роль відіграє людський фактор, пов'язаний із суб'єктивністю прийняття та виконання рішень в умовах багатофакторного технологічного процесу, що супроводжується нестабільністю якісних показників з'єднань та недостатньою продуктивністю.

Мета роботи. Метою роботи є визначення ступеня кореляції параметрів режиму тліючого розряду з абсолютними та питомими характеристиками енерговиділення у розрядній плазмі та енергетичною ефективністю нагріву.

Виклад основного матеріалу. До основних енергетичних характеристик розряду відносять: повну потужність $W = IU_p$, величину середнього питомого об'ємного енерговкладу jE в об'ємі позитивного стовпа розряду і питому потужність $q = jU_k$ у катодній плямі розряду, розташованій на поверхні деталей у зоні нагріву, обумовлену бомбардуванням цієї поверхні прискореними іонами (тут j , U_k , E , відповідно, густина струму в катодній плямі, величина катодного падіння потенціалу і напруженість електричного поля у стовпі розряду).

Питомий об'ємний енерговклад jE визначає частку енергії позитивного стовпа, що надходить через прикатодну область розряду до зварюваних деталей і сприяє їх нагріванню. Питома електрична потужність q , що виділяється в катодній плямі, характеризує у свою чергу як густину теплового потоку на поверхні деталей, так і їх ефективний об'єм, що піддається безпосередньому нагріванню.

Специфічною особливістю тліючого розряду як поверхневого джерела нагріву є можливість плавного регулювання площі плями нагрівання S_n і густини потоку q теплової енергії, що вкладається у виріб. Ці властивості зумовлені густиною струму в катодній плямі розряду, значення якої визначається природою газу, матеріалом катода і змінюється залежно від тиску газу в межах $10^{-3} \dots 1 \text{ А/см}^2$. На рис. 1 цю властивість проілюстровано схемами розташування розрядного світіння на поверхні циліндричного катода. Світіння зображено штрихуванням, зміна площі якої відображає зміну густини струму в катодній плямі. З підвищенням тиску зростає густина струму і, відповідно, підвищується інтенсивність нагріву тліючим розрядом. При незмінному тиску збільшення струму нормального тліючого розряду тягне за собою збільшення площі катодної плями при практично незмінній густині енергії у плямі нагріву.

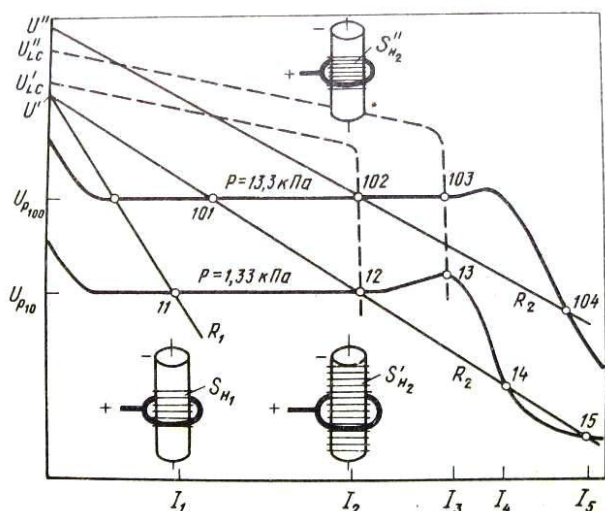


Рис. 1. Схема зміни площі нагрівання тліючим розрядом S_n при збільшенні струму розряду I (S_{n1} , S_{n2}) та тиску газу P (S'_{n2} , S''_{n2})

ми при практично незмінній густині енергії у плямі нагріву.

Оптимальне керування енергетичними складовими теплового балансу тліючого розряду визначає ефективність впливу на термічний цикл зварювання, формування температурних полів у деталях, підвищення продуктивності та економічності нагріву.

Енергетичні характеристики розряду задаються електричними і технологічними параметрами режиму його горіння: струмом розряду, тиском і родом газу, протяжністю міжелектродного проміжку. Експериментально встановлені залежності між ними для використовуваних на практиці газів – аргону, азоту, водню

і гелію в діапазоні зміни струмів розряду 2 ... 8 А, тисків газу 2,66 ... 13,3 кПа, міжелектродних відстаней 0,002 ... 0,01 м наведені на рис. 2.

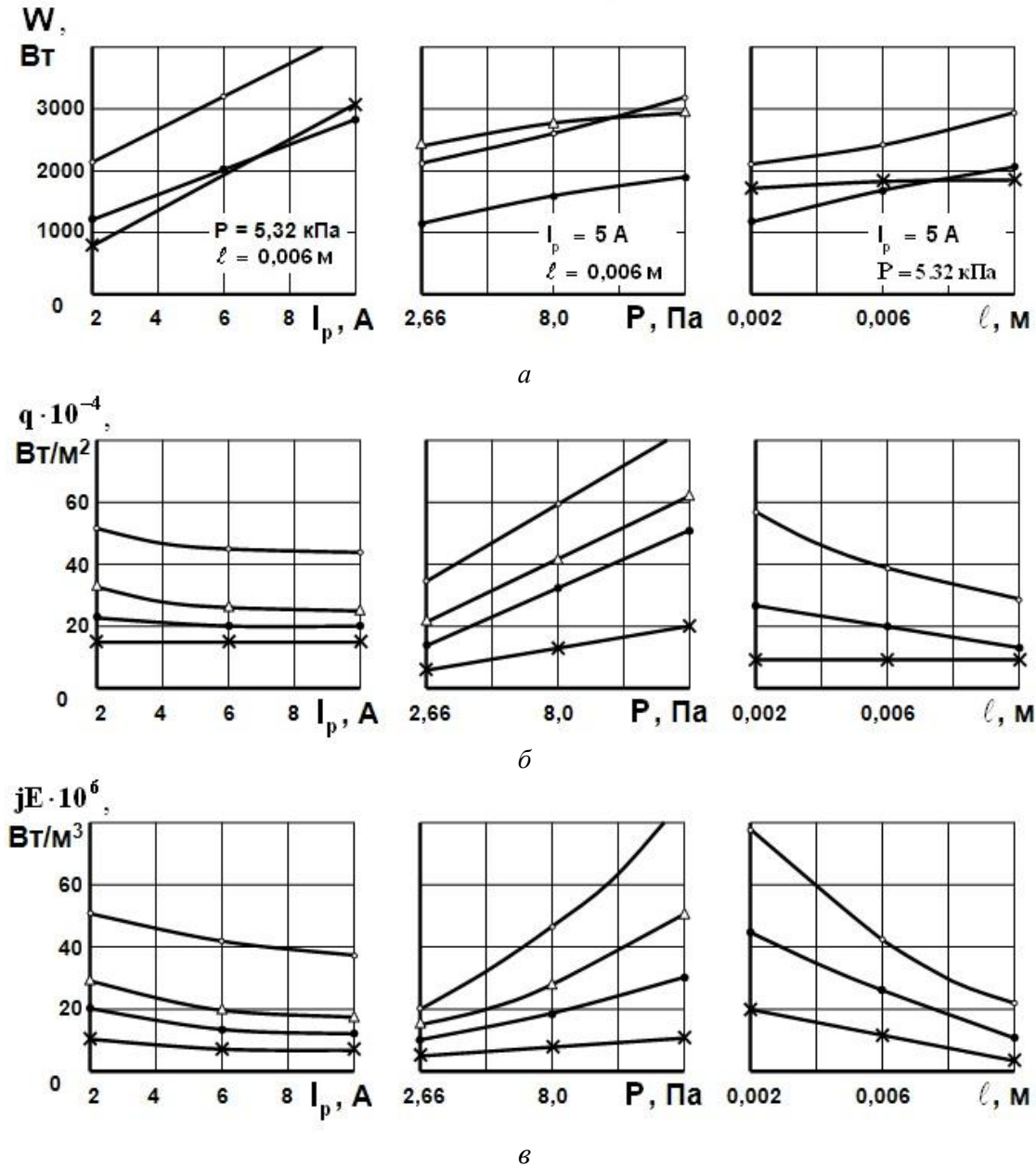


Рис. 2. Залежність потужності тліючого розряду (а), густини електричної потужності (б) та питомої об'ємної потужності (в) від величини струму розряду I_p , тиску газу P і міжелектродної відстані ℓ

Як впливає з наведених залежностей, енергетичні характеристики тліючого розряду значною мірою визначаються властивостями газового середовища, в якому горить розряд. Ці властивості характеризуються наведеними значеннями густини струму (так званою «нормальною» густиною струму $j_{но}$) і величиною нормального катодного падіння потенціалу U_k , значення яких для використовуваних газів наведені в табл. 1.

Оскільки основна частка енергії тліючого розряду, що забезпечує нагрівання катода, припадає на електричну енергію, що виділяється в прикатодній області та визначається, в основному, величиною падіння потенціалу U_k в цій області, то найбільш ефективними з енергетичного погляду газовими середовищами є азот і водень, що мають найбільші значення катодного падіння потенціалу (215 і 250 В відповідно).

Таблиця 1

Характеристики тліючого розряду для різних газових середовищ [3]

Параметр розряду	Газове середовище			
	гелій	аргон	водень	азот
Нормальна густина струму $j_{\text{но}}, \text{A}/\text{м}^2 \cdot \text{Па}$	2,2	160	72	226
Катодне падіння потенціалу $U_{\text{к}}, \text{В}$	150	165	250	215

Отримані експериментальні залежності показують, що параметри режиму горіння тліючого розряду істотно різним способом впливають на характер зміни основних складових енергетичного балансу розряду. Оскільки ці параметри в умовах зварювання та паяння можуть мати досить широкий діапазон варіювання, а технічна реалізація управління ними має різну ступінь складності, доцільно визначити ступінь кореляції цих параметрів з енергетичними характеристиками розряду для виявлення найбільш значущих з них.

Оцінювання ступеня таких взаємодій проводили методом «похитування» параметрів, коли фіксували зміну шуканої величини (W , jE або q у нашому випадку) у разі відхилення одного з параметрів режиму від деякого середнього значення на 25 % у бік його збільшення і зменшення при одночасній стабілізації інших параметрів. За середні значення приймали: для струму розряду 4А, тиску газу 8,0 кПа, міжелектродної відстані 0,006 м. Усереднені значення отриманих коефіцієнтів зв'язку наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Коефіцієнти зв'язку параметрів режиму з енергетичними характеристиками тліючого розряду

Газове середовище	Енергетичні характеристики розряду	Коефіцієнти зв'язку для параметрів режиму горіння розряду *		
		Струм розряду	Тиск газу	Міжелектродна відстань
Азот	W	0,65	0,3	
	jE	-0,29	1,67	-1,52
	q	0,21	1,55	-0,21
Водень	W	0,81	0,19	
	jE	-0,21	1,52	-1,31
	q	0,18	1,28	-0,17
Аргон	W	0,89	0,11	
	jE	-0,28	0,86	-1,1
	q	0,13	0,67	-0,26

Примітка: *від'ємні значення коефіцієнтів свідчать про зворотньопропорційну залежність відповідних параметрів з енергетичними характеристиками.

Отримані значення коефіцієнтів зв'язку показують, що найбільш тісно з питомими енергетичними характеристиками позитивного стовпа і прикатодної зони пов'язані зміни тиску газу в камері, що дає підставу вважати цей параметр режиму основним у регулюванні цих характеристик. Слід зазначити і досить помітний вплив величини міжелектродної відстані анод-катод (деталь) на величину питомого енерговкладу jE у позитивному стовпі розряду. Видно, що зі збільшенням міжелектродного проміжку енергетичні характеристики розряду погіршуються. Це відбувається незважаючи на те, що зі збільшенням проміжку падіння напруги на розряді дещо зростає. Однак це одночасно супроводжується зниженням напруженості електричного поля в стовпі. Ймовірно, під час використання відносно простих технічних рішень для регулювання величини міжелектродного проміжку зміною положення анода дистанційно та з достатньою точністю і цей параметр може бути ефективним способом управління енергетичними характеристиками розрядної плазми.

Повна потужність розряду визначається величиною розрядного струму, оскільки падіння напруги на розрядному проміжку встановлюється автоматично залежно від тиску газу та відстані анод-катод і при зміні останніх у досить широких межах змінюється досить незначно. Регулювання розрядного струму може здійснюватися двома способами: зміною опору зварювального кола і варіюванням напруги холостого ходу джерела. Такий спосіб регулювання термічного циклу зварювання відрізняється найбільшою швидкістю і відносною простотою реалізації.

Оскільки широка номенклатура виробів, що зварюються, визначає широкий діапазон зміни умов і режимів зварювання, очевидно, складним способом буде змінюватися й ефективність нагріву, що визначається величиною ефективного ККД η_0 , який також може змінюватися в досить широких межах. Це вимагає врахування цього фактора під час вибору та призначення режимів зварювання. У зв'язку з цим на підставі результатів, наведених вище, і з використанням методики, описаної в [4], побудована номограма (рис. 3) для визначення величини η_0 під час нагрівання в середовищі азоту залежно від основних параметрів режиму горіння тліючого розряду – струму розряду, тиску газу і міжелектродної відстані. Оскільки, як випливає з табл. 2, коефіцієнти зв'язку цих параметрів з енергетичними характеристиками розряду в азоті і водні дуже близькі, ця номограма може із задовільною точністю застосовуватися і для оцінювання величини η_0 під час нагрівання в середовищі водню. З номограми випливає, що в діапазоні використовуваних режимів іонного нагріву величина η_0 змінюється в межах 0,6 ... 0,85, тобто майже на 30 %.

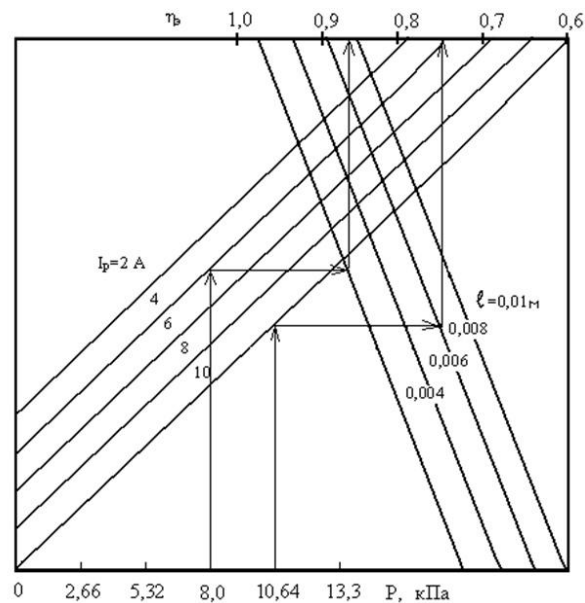


Рис. 3. Номограма для визначення величини ефективного ККД, η_0 нагріву тліючим розрядом у середовищі азоту залежно від тиску газу P , струму розряду I_p і міжелектродної відстані ℓ .

Ключ номограми: $P \rightarrow I_p \rightarrow \ell \rightarrow \eta_0$

В умовах змінної номенклатури деталей, що з'єднуються і, відповідно, широкого діапазону зміни режимів нагріву і зварювання необхідно враховувати настільки помітне відхилення величини ККД під час вибору значень параметрів режиму і потужності розряду, необхідної для виконання технологічних операцій.

Висновки

1. Основними керуючими діями, що характеризують режим процесу нагріву тліючим розрядом, є струм розряду, який визначає повну потужність, що виділяється в розрядному проміжку, та тиск газу, зміною якого регулюються питомі енергетичні характеристики розряду.

2. Энергетична ефективність нагріву тліючим розрядом суттєво залежить від параметрів режиму, що необхідно враховувати під час їх призначення для конкретних технологічних процесів.

Список використаних джерел

1. *Диффузионная* сварка материалов : справочник / под ред. Н. Ф. Казакова. – М. : Машиностроение, 1981. – 271 с.
2. *Котельников Д. И.* Сварка давлением в тлеющем разряде / Д. И. Котельников. – М. : Металлургия, 1981. – 116 с.
3. *Райзер Ю. П.* Физика газового разряда / Ю. П. Райзер. – М. : Наука, 1987. – 592 с.
4. *Болотов Г. П.* Баланс энергии на катоде тлеющего разряда / Г. П. Болотов, А. И. Сатюков // Автоматическая сварка. – 1998. – № 3. – С. 10–12.

УДК 621.791.754:51-74

И.В. Пентегов, д-р техн. наук

С.В. Рымар, д-р техн. наук

В.Н. Сидорец, д-р техн. наук

А.М. Жерносеков, канд. техн. наук

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

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСПЛАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ДУГОВОЙ СВАРКИ

І.В. Пентегов, д-р техн. наук

С.В. Рymar, д-р техн. наук

В.М. Сидорець, д-р техн. наук

А.М. Жерносеков, канд. техн. наук

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, Україна

ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗПЛАВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДА ПРИ РІЗНИХ ВИДАХ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Igor Pentegov, Doctor of Technical Sciences

Sergey Rymar, Doctor of Technical Sciences

Vladimir Sydorets, Doctor of Technical Sciences

Anatolii Zhernosiekov, PhD in Technical Sciences

The E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

EFFICIENCY OF ELECTRODE MELTING IN DIFFERENT TYPES OF THE ARC WELDING

Определены технологическая и энергетическая эффективности процесса плавления электрода при различных видах дуговой сварки сталей. Соосный упорядоченный отрыв капли расплавленного металла электрода без значительных возмущений, уменьшение теплоотвода с поверхности капли и электрода, подогрев электрода сварочным током повышают технологическую и энергетическую эффективности процесса сварки.

Ключевые слова: дуговая сварка, сталь, скорость плавления, сварочный электрод, коэффициент расплавления, эффективность расплавления.

Визначені технологічна та енергетична ефективності процесу плавлення зварювального електрода при різних видах дугового зварювання сталей. Співвісний упорядкований відрив краплі розплавленого металу електрода без значних збурень, зменшення тепловідводу з поверхні краплі та електрода, підігрів електрода зварювальним струмом підвищують технологічну та енергетичну ефективності процесу зварювання.

Ключові слова: дугове зварювання, сталь, швидкість плавлення, зварювальний електрод, коефіцієнт розплавлення, ефективність розплавлення.

Technological and energy efficiency of the melting process of the electrode in different types of arc welding of steels have been defined. Coaxial orderly separation droplets of molten metal electrode without significant perturbation, reduction of heat removal from the surface of the drop and the electrode, heating of the electrode by welding current increase the technological and energy efficiency of the welding process.

Key words: arc welding, steel, melting rate, welding electrode, melting factor, melting efficiency.

Постановка проблемы. Определение технологической и энергетической эффективности процесса плавления сварочного электрода при различных видах дуговой сварки ста-