

10. Уманский Я.С. Рентгенография металлов и полупроводников / Я.С.Уманский.– М.: Металлургия, 1969. – 496с.
11. Скрышевский А.Ф. Структурный анализ жидкостей / А.Ф.Скрышевский. – М.: Высшая школа, 1971. – 352с.
12. Горелик С.С. Рентгенографический и электроннооптический анализ / С.С.Горелик, Л.Н.Расторгуев, Ю.А.Скаков. – М.: Металлургия, 1970. – 366с.
13. Glass forming ability of transition metal – Zr alloys / Nishi Y., Morohoski T., Kawakomi M. [et al.] // Proc. 4-th Int. Conf. on Rapidly Quenched Metals. – Sendai, 1982. – P.111-114.

Поступила в редколлегию 26.06.2013.

УДК 621.643.412

РЕЙДЕРМАН Ю.І., к.т.н. доцент
ЧЕРЕДНИК Є.О., ст. викладач
ПЕРЕМІТЬКО В.В., к.т.н., доцент
ЛАЗАРЕНКО Р.О., магістр
СІМЧУК В.І., магістр

Дніпродзержинський державний технічний університет

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ШЛЯХОМ РОЗРОБКИ АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ У ВУГЛЕКИСЛОМУ ГАЗІ ДЛЯ ПРОГРАМИ НА МОВІ JAVA-2

Вступ. Розрахунок параметрів режиму зварювання і форми зварного шва є актуальним завданням у зв'язку із зростанням ступеня автоматизації, роботизації виробництва зварних конструкцій і необхідністю підвищення продуктивності праці інженерів при проектуванні технології.

Постановка задачі. Зроблено багато спроб пов'язати параметри процесу зварювання шляхом плавлення. Можна виділити три напрями у вирішенні цього завдання: розробку методик визначення режимів зварювання і розмірів шва за допомогою номограм і емпіричних рівнянь [1]; створення рівнянь, що зв'язують режим зварювання і розміри шва методом формальної [2] і критеріальної інтерполяції [3]; розробку систем, що складаються з рівнянь, отриманих з теорії теплопередачі при зварюванні, та рівнянь, складених методом критеріальної інтерполяції. У деяких випадках в систему вводять рівняння, отримані методом формальної інтерполяції [4]. Поставлено завдання розробки алгоритму розрахунку параметрів режиму зварювання в CO_2 з'єднань різних типів з низьковуглецевих і низьколегованих сталей.

Результати роботи. За базову систему прийнята система чотирьох рівнянь, що дозволяє визначити чотири параметри режиму зварювання (зварювальний струм $I_{зв}$, напруження дуги U_d , швидкість зварювання $V_{зв}$ і діаметр електродного дроту d_e) за заданими розмірами конструктивних елементів з'єднань та швів (товщина деталей S , зазор в місці їх з'єднання b , притуплення c , кут оброблення α або катет k , ширина і висота підсилення g шва) по ГОСТ 14771-76. Рівняння пов'язують параметри режиму зварювання, розміри швів і конструктивних елементів з'єднань, а також теплофізичні характеристики зварюваного матеріалу (коефіцієнти теплопровідності λ і теплопровідності α , щільність матеріалу ρ , температуру його плавлення T і ефективний ККД дуги η). Система має вигляд:

$$I_{\text{ца}}^{1,32} \cdot U_{\text{а}}^0 \cdot V_{\text{ца}}^{-1} \cdot d_e^{-0,64} = \frac{F_i \cdot \rho \cdot KF}{l^{0,38}}; \quad (1)$$

$$I_{\text{ца}} \cdot U_{\text{а}} \cdot V_{\text{ца}} \cdot d_e^0 = \frac{\varphi^2 \cdot 32 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot \lambda \cdot T \cdot KY}{2,718 \cdot \eta}; \quad (2)$$

$$I_{\text{ца}}^{0,71} \cdot U_{\text{а}}^{0,71} \cdot V_{\text{ца}}^{-1} \cdot d_e^{-0,71} = \frac{h_i}{\alpha} \cdot \left(\frac{T_{\lambda}}{\eta} \right)^{0,71} \cdot KH; \quad (3)$$

$$I^{0,37} \cdot U_{\text{а}}^{-1} \cdot V_{\text{ца}}^0 \cdot d_e^0 = KU, \quad (4)$$

де F_n – площа наплавленого електродного металу, кв.м.;

l – виліт електроду, м.;

φ – коефіцієнт форми зварювальної ванни ($\varphi=2,4$ безрозмірний);

h_n – глибина проплавлення основного металу при наплавленні, м.;

KF, KY, KH, і KU – коефіцієнти, призначені для коригування системи; в даному випадку KF=6493,5; KY=1,0; KH=5,26; KU=3,65(безрозмірні);

$a=0,084$ см²/с;

$\lambda=0,42$ Дж;

$T=1530^\circ\text{C}$;

$\eta=0,8$.

Рівняння (1) пов'язує площу наплавлення електродного металу F_n з параметрами режиму:

$$F_i = \frac{\alpha_p \cdot (1 - \psi_a)}{3600 \cdot \rho} \cdot I_{\text{ца}} \cdot V_{\text{ца}}^{-1}, \quad (5)$$

де α_p і ψ_v – коефіцієнти відповідно розплавлення і втрат електродного металу на розбрикування(безрозмірні).

Для визначення коефіцієнта розплавлення електродного металу використовують вираз

$$\alpha_{\delta} = 0,616 \cdot I_{\text{ца}}^{0,32} \cdot d_e^{-0,64} \cdot l^{0,38}, \quad (6)$$

виведений методом найменших квадратів за експериментальними даними, отриманими при наплавленні постійним струмом зворотної полярності.

Площу наплавлення електродного металу можна визначити за геометричними розмірами з'єднання і шва. Наприклад, для з'єднання типу С17 використовуємо формулу

$$F_i = b \cdot S + (S - c)^2 \cdot \text{tg}\alpha + \mu_a \cdot e \cdot g, \quad (7)$$

де μ_v – коефіцієнт повноти валика.

Рівняння (2)-(4) отримані і описані в роботі [6].

Модельовання параметрів режиму за допомогою формул (1)-(4) встановлює зв'язок між глибиною проплавлення основного металу h_n і площею наплавлення:

$$h_i = A \cdot \sqrt{F_i} - B, \quad (8)$$

де $A=0,8000$; $B=0,02835$ при $F_n=0,02 \dots 0,125$ см² (коефіцієнт кореляції $r=0,942$);

$A=1,4788$; $B=0,2732$ при $F_n=0,18 \dots 0,32$ см² (коефіцієнт кореляції $r=0,998$);

$A=1,3296$; $B=0,19848$ при $F_n=0,32 \dots 0,5$ см² (коефіцієнт кореляції $r=0,989$).

Вищезазначені вирази для площі наплавлення F_n і пов'язаної з нею глибини проплавлення h_n дозволяють розраховувати параметри режиму зварювання з'єднань різних типів, які розбиті на дві групи. Перша група включає з'єднання (ГОСТ 14771-76) типу Т1, Т3, Н1, Н2, і багатопрхідні С6...С27, Т6...Т9 утворюють другу групу.

Порядок розрахунку режиму зварювання з'єднань цих двох груп відрізняється тим, що вхідними величинами в першому випадку є F_n , обчислена за геометричними розмірами оброблення крайок і шва, і h_n , визначена за формулою (8), у другому випадку – h_n , обчислена за геометричними розмірами оброблення.

Визначення h_n для з'єднань другої групи має такі особливості. Основою для розрахунку режиму зварювання з'єднань другої групи є глибина проплавлення деталей h ; для з'єднань типу С2, С4, С5, С6 $h=S$, а для С7 $h = \frac{2}{3} \cdot S$. Параметри режиму зварювання з'єднань типу С7 з обох сторін приймають рівними.

Формула (1) описує вплив параметрів режиму зварювання в CO_2 на глибину проплавлення h_n . При розрахунку режиму зварювання з'єднання типу С2 і С7 необхідно враховувати вплив зазорів на глибину проплавлення. Теоретично отримана наступна залежність між зміною глибини проплавлення ($\Delta h=h-h_n$) і зазором:

$$\Delta h = \frac{1}{\Psi_{\gamma \delta}} \cdot \frac{b}{\mu_a}, \quad (9)$$

де ϕ_{np} – коефіцієнт форми проплавлення.

Проведені експерименти по зварюванню в CO_2 і суміші $CO_2+30\%O_2$ пластин зі змінним зазором від 0 до 2 мм дозволили визначити значення коефіцієнта $\frac{1}{\phi_{\gamma \delta}} \cdot \mu_a$ у формулі (9), що дорівнює одиниці ($I_{зв}=190...200$ А; $U_d=24...26$ В; $V_{зв}=12,5$ м/год.; $d_e=1,2$ мм).

У випадках, коли діаметр електродного дроту відомий до розрахунку (заданий технологом), інші параметри режиму визначають розв'язанням системи трьох рівнянь. В залежності від типу з'єднань використовують формули (1), (2) і (4), призначені для розрахунку режиму зварювання з'єднань першої групи розв'язанням системи, що включає друге, третє і четверте з'єднання другої групи.

У деяких випадках при відомому зварювальному струмі і діаметрі електрода використовують системи двох рівнянь: складається з першого і четвертого рівнянь базової системи (1), і складається з третього і четвертого рівнянь базової системи.

У роботі не ставилося завдання застосування методу пошукової оптимізації параметрів режиму зварювання, але оцінювалася якість зварних швів і ефективність процесу зварювання.

При проведенні експериментів для виведення рівнянь (3) і (4) вибирали режими зварювання, що забезпечують добре формування шва і мінімальне розбризкування металу. Тому застосування цих рівнянь при розрахунку забезпечує деяку оптимізацію параметрів режиму.

Якісними швами насамперед вважають ті, геометричні розміри яких входять в діапазон, визначений ГОСТ 14771-76. Для більш повної оцінки якості швів введено комплексний геометричний критерій якості, що включає коефіцієнт проплавлення ϕ_{np} для стикових з'єднань і ϕ – для таврових, ϕ_v – форми валика, $\phi_{п.к}$ – суцільності провару кореня шва і ϕ_k – рознокатетності (табл.1).

Таблиця 1 – Формули для розрахунку коефіцієнтів рівнянь

Коефіцієнт	Формула для розрахунку	Тип з'єднання (ГОСТ 14771-76)					
		C2, C4, C5, C6	C7	T1	T3	H1, H2	C8...C27, T6...T9
φ_v	e/g	6...12		–	–	–	–
$\varphi_{пр}$	e/h	1,3...4		–	–	–	1,0...2,0*
φ	e/H	–	–	1,0...2,0		–	–
$\varphi_{п.к.}$	$h_1 + h_2 - S$	–	3...6	–	3...6	–	3...6**
φ_k	K_1/K_2	–	–	1,0...2,0		–	–

* – для корневих проходів з'єднань;

** – для корневих проходів з'єднань і двосторонніх швів.

Для розрахунку величин, що входять в критерій якості, використовують залежності, отримані в роботі. Так, ширина шва визначається за рівнянням:

$$e = 0,0441 \cdot \left(\frac{I_{\text{сд}} \cdot U_{\text{д}}}{\sqrt{d_e}} \right)^{0,308} \cdot V_{\text{сд}}^{-0,846} \quad (10)$$

виведеним аналогічно рівнянню (3) інтерполяцією безрозмірних критеріїв Пекле $p_e = \frac{e \cdot V_{\text{сд}}}{a}$ і тиску дуги

$$p = \frac{q^2 \cdot V_{\text{сд}}}{(T \cdot \lambda) \cdot a \cdot d_e} \quad (11)$$

Позначення: e, g – ширина і висота підсилення шва з'єднання відповідно; H – загальна висота шва з'єднання типу T і H ($H=h=g$); h_1, h_2 – відповідно глибина проплавлення шва з першої та другої сторони.

Висота посилення шва розраховується з урахуванням усадки Δb [6]:

$$g = \frac{F_i - h \cdot (b - \Delta b)}{\mu \cdot e} \quad (12)$$

Якщо хоча б один із критеріїв якості, прийнятих для даного з'єднання, виходить за межі, вказані в табл.1, то необхідний їх перерахунок.

За критерій ефективності процесу зварювання прийнято коефіцієнт втрат електродного металу на розбризування.

Область параметрів режимів ($I_{зв}$ від d_e) зварювання в CO_2 може бути розбита на дві: область, де параметри режиму забезпечують $\varphi_{п} \leq 10\%$, і область, використання параметрів режиму якої призводить до підвищення розбризування ($\varphi_{п} > 10\%$). У результаті експериментального вивчення виведено математичний опис меж області з $\varphi_{п} \leq 10\%$. При цьому параметри режиму зварювання пов'язані між собою наступними співвідношеннями:

$$I_{\delta} = 4359 \cdot d_e^{1,25}; \quad (13)$$

$$I_i = 8955 \cdot d_e^{2,00}, \quad (14)$$

де I_f , I_n – значення зварювального струму на кордоні струму області при зварюванні на форсованих і нормальних режимах відповідно;

d_e – діаметр електрода, см.

Оптимізація по ефективності полягає в пошуку $I_{зв}$ для форсованих або нормальних режимів, що забезпечують $\varphi_n \leq 10\%$ ($d_e \leq 1,6$ мм).

На основі описаного математичного забезпечення розроблено алгоритм розрахунку параметрів режиму зварювання в CO_2 за допомогою телефонів на мові Java-2; розрахунок починають розв'язанням рівнянь (1)-(4). Потім за спеціально розробленим алгоритмом по ГОСТ 2246-70 (0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0 мм) вибирають діаметр, найближчий до обчисленого. Інші параметри режиму знаходять розв'язанням системи трьох рівнянь.

Через недостатній обсяг пам'яті телефону основною системою для нього може бути система трьох рівнянь, тому необхідно попередньо задати діаметр електрода, а в разі розрахунку режиму зварювання з'єднань першої групи – його виліт.

Якщо розрахований зварювальний струм не забезпечує $\varphi_n \leq 10$, то в залежності від типу проєктованого процесу – форсованого ($I_{зв} \geq I_n$) – застосовують обчислене за рівнянням (13) або (14) значення струму. Інші параметри визначають розв'язанням системи двох рівнянь.

Після оптимізації параметрів режиму зварювання за ефективністю процесу проводиться їх перевірка на оптимальність за критеріями якості. Якщо параметри режиму не забезпечують якості швів, то вводять поправку за h або b , d_e або l і параметри режиму перераховують.

Висновки. Розроблено систему з 4-х рівнянь, за допомогою якої моделюється процес плавлення електродної проволочки в зварювальній дузі. Створено алгоритм вирішення цієї системи. Алгоритм перетворено у вихідник програми на мові Midlet Pascal. Зроблено компіляцію програми, її встановлення та налагодження на мобільному телефоні HP-1560.

Все це надало можливість використовувати результати, одержані авторами, на практиці в умовах виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Акулов А.И. Технология и оборудования сварки наплавлением / А.И.Акулов, Т.А.Бельчук, В.П.Демянцевич. – М.: Машиностроение, 2004. – 432с.
2. Дубовицкий С.В. Оптимизация режима сварки в CO_2 / С.В.Дубовицкий, Г.И.Сергацкий, О.Г.Касаткин. – Автоматическая сварка. – 2008. – № 12. – С.30-35.
3. Рыкалин Н.Н. Расчет термического цикла околошовной зоны по очертанию полосы сварной ванны / Н.Н.Рыкалин, А.И.Бекетов. – Сварочное производство. – 1967. – №9. – С.22-25.
4. Бабкин А.С. Разработка метода расчета оптимальных параметров режима сварки в углекислом газе с применением ЭВМ / А.С.Бабкин, В.Е.Кривошея // Автоматизация сварочного производства. – СПб.: Машиностроение, 2001. – С.53-57.

Надійшла до редколегії 06.06.2013.