

УДК 621.791.019

Корінець І. П., Бойко В. П.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Україна, м. Київ

РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ АРГОНО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ
ТОНКОЛИСТОВОГО АЛЮМІНІЮ

Проведено експерименти по визначенню впливу параметрів режиму аргонно-дугового зварювання вольфрамовим електродом тонколистового алюмінію на розміри шва. Розроблено метод розрахунку оптимального режиму TIG-зварювання алюмінію в діапазоні товщини 1...4 мм. За основу розрахунку прийнято мінімальну погонну енергію зварювання, яка має лінійну залежність від товщини металу.

Ключові слова: TIG-зварювання; тонколистовий алюміній; метод розрахунку та оптимізації режиму зварювання.

При виготовленні тонколистових конструкцій виникає проблема формування однопрохідного шва навису. Мета роботи — створення метода розрахунку і оптимізації режиму TIG — зварювання тонколистового алюмінію. Серію дослідів виконано на алюмінії АД0 товщиною 1–5 мм на обладнанні фірми «Фроніус Україна». Джерело живлення — інвертор Magic Wave 3000. Зварю-

вальний пальник — TTW 4000 А. Вольфрамовий електрод — WSe-20 (ISO 6848- EWSe-2). Захисний газ — аргон (ISO 14175-ІІ-Аr). Діапазон режимів на змінному струмі 60–300 А; швидкість зварювання 3,3–30 мм/с.

У таблиці вибірково наведені експериментальні дані, що показали відмінну або гарну якість формування шва, крім дослідів на товщині 5 мм. Надалі за

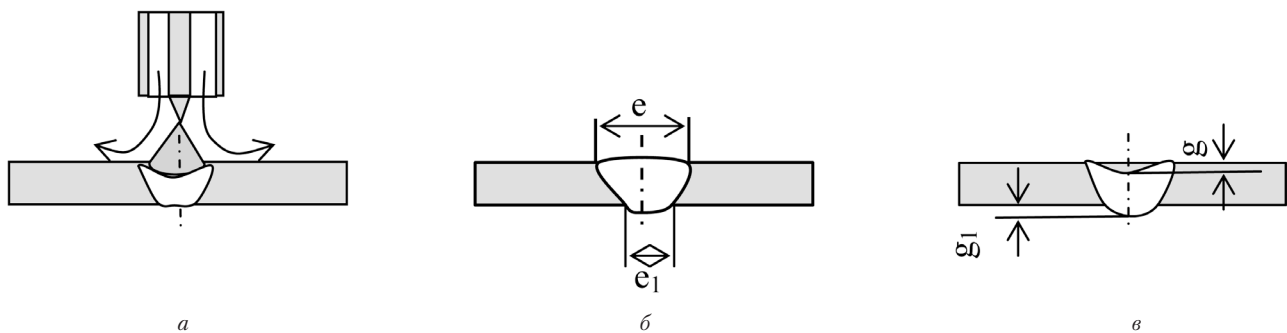


Рис. 1. Схема TIG-зварювання (проплавлення) зразків (а) і вимірювання ширини шва (б) і опуклості — угнутості шва (в)

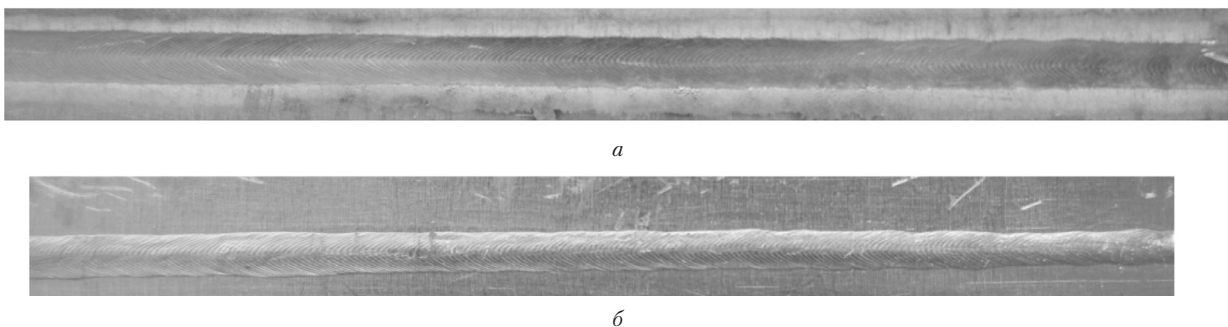


Рис. 2. Фото личкового (а) і зворотного (б) боку шва ($S = 1$ мм, зразок 2–4, таблиця)

Режим зварювання, погонна енергія, розміри шва і оцінка якості

| № | S, мм | I _з , А | U _д , В | V _з , мм/с | Q _{експ} , Дж/мм | e, мм | e ₁ , мм | g, мм | g ₁ , мм | Оцінка якості |
|------|-------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|---------------|
| 1–5 | 1 | 60 | 10,5 | 8,33 | 45,4 | 4,4 | 3,8 | -0,06 | 0,09 | «4», «5» |
| 1–6 | | 60 | 10,1 | 10 | 36,4 | 3,5 | 2,6 | -0,12 | 0,07 | «5» |
| 2–4 | | 90 | 10,3 | 21,67 | 25,7 | 3 | 2,5 | -0,07 | 0,22 | «5» |
| 2–7 | | 100 | 10,9 | 25 | 26,2 | 3,3 | 3 | 0,09 | 0,06 | «5» |
| 2–8 | | 100 | 10,2 | 30 | 20,4 | 2,9 | 2,1 | 0,04 | 0,05 | «5» |
| 3–4 | 1,5 | 90 | 10,3 | 10 | 55,6 | 4,2 | 3 | -0,07 | 0,18 | «5» |
| 4–2 | | 120 | 10,6 | 13,33 | 57,3 | 4,8 | 4 | -0,07 | 0,23 | «4» |
| 4–3 | | 120 | 10,9 | 16,67 | 47,1 | 4,5 | 3 | -0,12 | 0,25 | «5» |
| 5–2 | | 150 | 11,5 | 25 | 41,4 | 4,4 | 3,6 | -0,05 | 0,25 | «5» |
| 5–4 | | 180 | 12 | 30 | 43,2 | 4,7 | 3,5 | 0,10 | 0,25 | «4» |
| 7–2 | 2 | 150 | 11,1 | 13,33 | 74,9 | 5 | 2,9 | -0,15 | 0,57 | «4» |
| 7–3 | | 150 | 11,1 | 16,67 | 59,9 | 4,5 | 1,7 | -0,05 | 0,15 | «3» |
| 9–2 | 3 | 180 | 12,8 | 10 | 138,2 | 6,8 | 3,2 | -0,08 | 0,23 | «5» |
| 9–4 | | 210 | 13,5 | 13,33 | 127,6 | 7,2 | 4,3 | -0,05 | 0,35 | «5» |
| 11–1 | 5 | 240 | 13,8 | 3,33 | 596,8 | 11 | 7,2 | -0,8 | 2,15 | «2» |

цими даними була розрахована погонна енергія зварювання ($\eta = 0,6$):

$$Q = \eta I_z U_d / V_z$$

На графіках показані залежності погонної енергії (рис. 3) і зварювального струму (рис. 4) від товщини металу при однопрохідному TIG – зварюванні на вису. Для дослідженого діапазону товщини 1–4 мм ці

залежності можна уявити лінійними. Так залежності погонної енергії можна описати формулами:

$$\begin{aligned} Q_{\min} &= 45S - 20 \text{ (Дж/мм)}, \\ Q_{\text{opt}} &= 45S - 10 \text{ (Дж/мм)}, \\ Q_{\max} &= 45S \text{ (Дж/мм)}, \end{aligned}$$

де S – товщина в мм.

Залежність зварювального струму від товщини можна описати формулами:

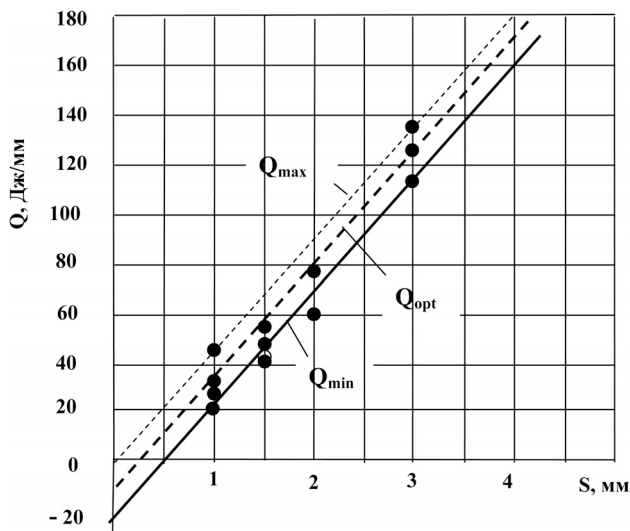


Рис. 3. Залежність погонної енергії TIG-зварювання алюмінію від товщини

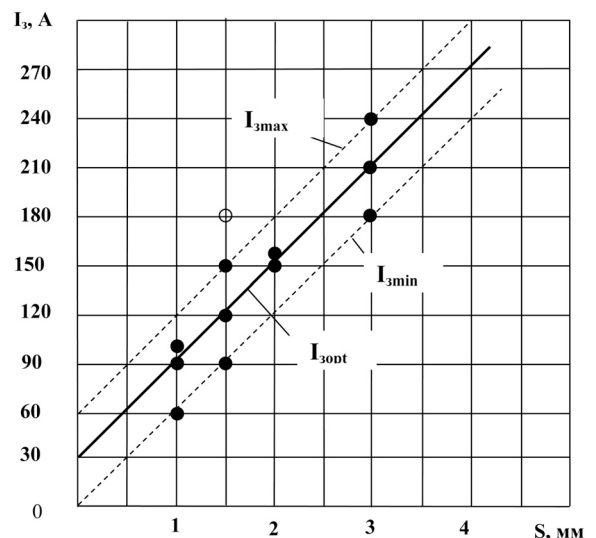


Рис. 4. Залежність зварювального струму TIG-зварювання алюмінію від товщини

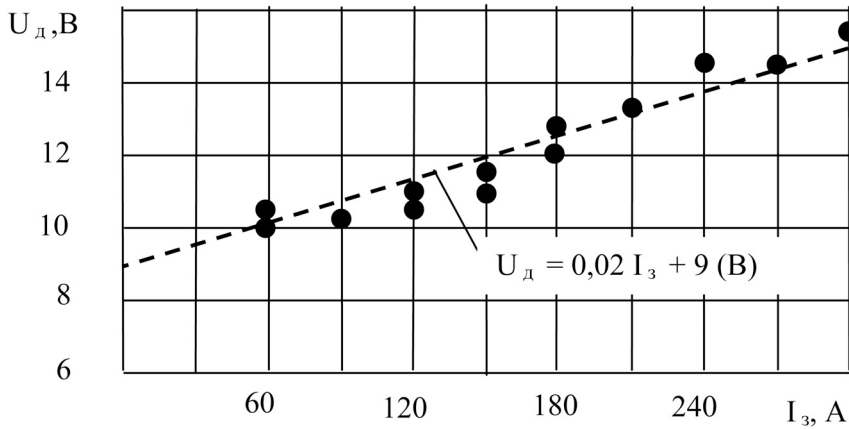


Рис. 5. Залежність напруги дуги TIG-зварювання алюмінію від зварювального струму

$$\begin{aligned} I_{z \min} &= 60S \text{ (A)}, \\ I_{z \text{opt}} &= 60S + 30 \text{ (A)}, \\ I_{z \max} &= 60S + 60 \text{ (A)}, \end{aligned}$$

де S – товщина в мм.

На рис. 5 показана залежність напруги дуги від струму за результатами експериментальних вимірювань.

Залежність напруги дуги від зварювального струму також можна описати лінійною функцією:

$$U_d = 0,02I_z + 9 \text{ (В)}$$

Зварювальний струм і швидкість зварювання є основними параметрами режиму, які визначають глибину проплавлення і ширину шва, тобто розміри шва. Інші параметри режиму залежать від них. Для повноти розрахунку параметрів режиму TIG-зварювання необхідні розрахункові формули для визначення діаметра вольфрамового електроду і витрати захисного газу аргону.

Обробка даних діапазону допустимого струму при TIG-зварюванні алюмінію на змінному струмі з рівними півхвилями в залежності від діаметра вольфраму WSe-20 можна представити у вигляді степеневої функції:

$$d_w = 0,047I_z^{0,8}$$

Отриманий розрахунковий діаметр необхідно округлити до найближчого стандартного по ISO 6848:2004: 1.0, 1.5, 1.6, 2.0, 2.4, 2.5, 3.0, 3.2, 4.0, 4.8, 5.0, 6.3, 6.4 мм. Витрату захисного газу рекомендується розраховувати також в залежності від зварювального струму лінійною функцією:

$$q_{\text{газ}} = 0,023I_z + 4 \text{ (л/хв)}$$

Зазвичай, оптимальним режимом дугового зварювання тонколистового металу є зварювання на мінімальній погонній енергії, при якій слід очікувати мінімальні розміри шва і мінімальні залишкові деформації. При повному проплавленні товщини металу економічними будуть більш вузькі шви, тобто шви з мінімальною шириною, як з личкового, так і зі зворотного боку шва.

У цьому випадку алгоритм інженерного розрахунку TIG-зварювання алюмінію в діапазоні товщини 1–4 мм полягає в наступному.

1. Розрахунок мінімальної погонної енергії:

$$Q_{\min} = 45S - 20 \text{ (Дж/мм)}.$$

2. Розрахунок оптимального зварювального струму:

$$I_{z \text{opt}} = 60S + 30 \text{ (A)}.$$

3. Розрахунок напруги дуги:

$$U_d = 0,02I_{z \text{opt}} + 9 \text{ (В)}.$$

4. Розрахунок швидкості зварювання:

$$V_z = I_{z \text{opt}} U_d / Q_{\min} \text{ (мм/с)}.$$

5. Розрахунок діаметра вольфрамового електроду:

$$d_w = 0,047I_{z \text{opt}}^{0,8} \text{ (мм)}.$$

6. Розрахунок витрати захисного газу:

$$q_{\text{газ}} = 0,023I_{z \text{opt}} + 4 \text{ (л/хв)}.$$

Висновки

1. Основними параметрами режиму однопрохідного TIG-зварювання тонколистового алюмінію є комплексний енергетичний параметр – погонна енергія зварювання, а також зварювальний струм, швидкість зварювання і напруга дуги. Для дослідженого діапазону товщини 1–4 мм залежність цих параметрів від товщини є лінійною.

2. Чим менше товщина металу, тим більше варіантів режимів «струм – швидкість зварювання», що забезпечують якісне формування шва з повним проплавленням навису.

Korinets I. Ph., Boyko V. P.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Ukraine, Kyiv

CALCULATION OF PARAMETERS OF TIG WELDING OF THIN ALUMINUM PARTS

Experiments were performed to investigate influence of welding parameters of TIG welding of thin-walled aluminum parts on weld dimensions. A new method of calculation of optimal TIG welding parameters of aluminum parts 1...4 mm thick. The method of calculation is based on evaluation of minimal heat input during welding which is proportional to metal thickness.

Keywords: TIG welding; thin-sheet aluminum; method of calculation and optimization of welding parameters.