脚長および溶接速度を与えた場合の CO₂ 水平すみ肉溶接 パラメータ設定プログラム*

益本 功**, 篠田 剛**, 高野 潤**, 鈴木常夫***

Program for CO₂ Horizontal Fillet Welding Parameters*

by Isao Masumoto**, Takeshi Shinoda**, Jun Takano**
and Tsuneo Suzuki***

An algorithm and program for determination of welding parameters of CO₂ horizontal fillet welding is studied. The proposed program is applicable to the globular transfer condition of 1.6 mm wire diameter. Calculated parameters were confirmed experimentally to give good bead appearance from 5 to 8 mm in leg length.

1. 緒 言

本報告は、既報^{1,2)}のCO₂I型およびV型 突合せ溶接パラメータ設定プログラムに引き続き、必要な脚長を得るためのCO₂水平すみ肉溶接パラメータを設定するためのアルゴリズムおよびプログラムを作成し、その妥当性を実験的に検討したものである。本プログラムはワイヤ径 1.6 mm の CO₂ 溶接に適用される。

従来、水平すみ肉の溶接パラメータを実験的に求めた報告³⁾はあるが、これをアルゴリズムにより求める方法は確立されていなかった。本研究は、このアルゴリズムを確立し、プログラム化することによって、溶接パラメータをコンピュータにより迅速に求めることを目的としている。したがって、このアルゴリズムにより得られる溶接パラメータは、これまで、実験的に得られている一部の値をも含むものである。

2. アルゴリズムの基本

すみ肉、突合せの継手形状の違いによらず、必要な溶着断面積を得るための溶接パラメータを求めることは比較的容易である。このためには、前報^{1,2)}に示したようにワイヤ溶融速度と溶接電流の関係、適正アーク電圧と溶接電流の関係およびワイヤ溶融速度、溶接速度および溶着断面積の関係を実験的または解析的に求めればよい。

しかし、水平すみ肉溶接の場合、重力の影響により、ビード断面形状は下向きすみ肉のような単純な二等辺三角形にならない。ビード形状は、主にワイヤのねらい位置およびアーク電圧によって複雑に変化する。また、溶着断面積は、等脚長の場合でも脚長の二乗の半分として単純に定まらない。

したがって、必要な脚長を与えた場合の溶接パラメータを求めるためには、等脚長で、オーバーラップもアンダーカットもない適正な条件を定め、さらに、この場合の脚長と溶着断面積の関係を求めておく必要がある。以上の点を考慮して、アルゴリズムの作成にあたり、まずオーバーラップもアンダーカットも生じない適正アーク電圧を求め、この条件で等脚長が得られるようなワイヤのねらい位置を定め、この場合の脚長と溶着断面積の関係を求めた。

これらの結果を用いて以下のようなアルゴリズムを作成した。まず、必要な脚長および溶接速度をインプットし、この脚長に適した溶着断面積およびワイヤのねらい位置を定める。さらに、必要な溶着断面積を得るための溶接電流およびこれに対応する適正なビード形状を与えるアーク電圧を定める。

また、ビード断面形状を予測するために、西口ら³⁾による二次元表面張力モデルに基づき、ビード形状をコンピュータにより図形出力させるサブプログラムを付け加えた。

以下、Fig. 1の基本アルゴリズムのフローチャートにしたがい説明する。

1) データインプット；脚長 LL および溶接速度 WS をインプットする。

*原稿受付 昭和53年3月31日(昭和51年度秋季全国大会にて発表)

**正 員 名古屋大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Nagoya University

***学 生 員 名古屋大学大学院(現在日本酸素株式会社)
Student Member, Nagoya University (Present Address: Nihon Sanso Co., Ltd.)

Fig. 1 Basic flow chart of calculation of CO₂ horizontal fillet welding parameters.

2) 溶着金属断面積 SD ; 脚長の関数として実験的に求める。

3) ワイヤのねらい位置 ZURE ; フランジ上のワイヤのねらい位置のフランジとウェブの交点からのずれ ZURE を溶着金属断面積より定める (Fig. 4 参照)。

4) ワイヤ溶融速度 MR ; 溶接速度と溶着金属断面積から次式により必要なワイヤ溶融速度が定まる。

$$MR = (\rho / 100 \cdot DE) WS \cdot SD \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし, ρ は鋼の密度 ($=7.85\text{g/cm}^3$), DE は溶着効率で, CO₂V型実合せの場合²⁾と同じ値95%とした。

5) 溶接電流 I ; 溶接電流はワイヤ溶融速度を与えれば, 次の実験式¹⁾より定まる。

$$I = (MR + 60) / 0.45 \quad \dots\dots\dots(2)$$

6) アーク電圧 V ; 溶接電流を与えれば適正なアーク電圧は多くの実験値の統計的値として求めることができる。

7) サブプログラム ; サブプログラムは二次元表面張力モデルに基づき, ビード形状を予測し, Fig. 6 に示す接触角を求めるものである。

8) アウトプット ; 以上の計算より, 溶接電流 I, アーク電圧 V, ワイヤのねらい位置 ZURE の各溶接パラメータがアウトプットされ, さらに, この溶接パラメータによる溶着断面積およびビード形状が求まる。

3. 計算式の作成

基本アルゴリズムで示した前述の(1), (2)式に関する実験データはすでに報告してある^{1,2)}ので, ここでは, これ以外の実験式の作成について説明する。

なお, トーチ角度については, Fig. 2 に示す実験結果より, 50度一定とした。すなわち, 同図は溶接電流 440

Fig. 2 Relation between torch angle and LL1/LL2.

Fig. 3 Relation between cross-sectional area of fillet deposited metal and leg length.

A, アーク電圧36V, 溶接速度60cm/min の実験条件でトーチ角度 THETA を種々変えた場合の脚長比を示す。同図に示すように, トーチ角度40~50度ではほぼ等脚長が得られた。さらに溶着金属断面積の異なる実験条件においてもトーチ角度50度ではほぼ等脚長が得られることを確認したので, 本プログラムではトーチ角度を50度一定とした。

3.1 溶着金属断面積 SD

実際に多くの溶接を行い, 脚長比が1.0付近で, アンダーカットもオーバーラップもないビード断面を測定し, Fig. 3 に示すように,

$$SD = (1.18) \frac{1}{2} \cdot LL^2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

の関係式を得た。

3.2 ワイヤねらい位置 ZURE

ワイヤねらい位置をウェブとフランジの交点に設定すると, 溶着金属量の増加に伴い不等脚長となり, 場合によっては, アンダーカット, オーバーラップが生ずる。このため, 実際の溶接では, ワイヤねらい位置をフラン

ジ上へずらすことが行われている。

そこでまず、与えた溶着金属断面積に対し、脚長比が 0.8 から 1.2 のほぼ等脚長となるワイヤねらい位置を実験的に求めた。結果を Fig. 4 に示す。同図の横軸は必要な溶着断面積、縦軸は同図に示すワイヤねらい位置 ZURE である。同図から次式が得られる。

$$SD \geq 20 \text{ mm}^2 \text{ で } ZURE = 0.08 \cdot SD - 1.6 \cdots \cdots (4)$$

$$SD < 20 \text{ mm}^2 \text{ で } ZURE = 0.0$$

3.3 アーク電圧 V

Fig. 5 は、粒状移行範囲の CO₂ 溶接による水平すみ肉溶接の適正溶接電流、アーク電圧を実験的に求めた日立製作所の妹島らの結果である⁴⁾。アーク電圧が高すぎ

るとウェブ側にアンダーカットを生じ、逆に、低すぎるとフランジ側にオーバーラップを生じる。このため、Fig. 5 に示すように、アンダーカットもオーバーラップも生じない適正アーク電圧の領域が存在する。この適正アーク電圧領域内であれば、アーク電圧を任意に設定できる。ここでは、領域の中間的値をとって、次の関係式を用いることとした。

$$V = 0.1 \cdot I - 5 \cdots \cdots (5)$$

Fig. 5 は、溶接速度が 30 cm/min と一定の場合の実験結果である。溶接速度が変化すれば適正アーク電圧も変化すると思われるが、実験結果 (Table 1, Fig. 7) に示すように、本アルゴリズムの適用範囲内では適正なビード形状に溶接速度 (25 cm/min ~ 80 cm/min) は影響しなかった。

3.4 ビード形状および接触角

西口ら³⁾の二次元表面張力モデルを用い、ビード形状および Fig. 6 に示す接触角 α (ALPHA), β (BETA) を計算する。ビード形状の計算には西口ら³⁾による次式を用いた。

$$x = \frac{1}{2} \int_0^y \left[\frac{\sqrt{1+f(y)}}{\sqrt{1-f(y)}} - \frac{\sqrt{1-f(y)}}{\sqrt{1+f(y)}} \right] dy \cdots (6)$$

ただし、

$$f(y) = \frac{\rho \cdot g}{2 \cdot \sigma} \cdot y^2 - \frac{1}{R_0} \cdot y \cdot \sin \alpha$$

使用記号は、Fig. 6 に示すとおりである。

西口ら³⁾によれば、上式の座標系を毛管定数 $h = \sqrt{2\sigma/\rho \cdot g}$ で除して無次元化すれば、物性値の異なる溶融池について、その形状を一般的な数式で表示できる。

この物性定数としての毛管定数 h は、適用する溶接法に対し、実際のビード形状との比較によりあらかじめ実験的に求めておかねばならない。ここでは、脚長を 4 ~ 9 mm の間で種々変化させ、各溶着断面積の実測値と h を任意に設定した場合の計算値を比較し、実測値と計

Fig. 4 Relation between cross-sectional area of fillet deposited metal and off-center distance. (0.8 < LL2/LL1 < 1.2)

Fig. 5 Relation between welding current and arc voltage for horizontal fillet welding⁴⁾.

Fig. 6 Two dimensional model of molten pool of horizontal fillet weld.

算値が最も一致する h の値として、 $h=5.2\text{mm}$ を得た。

ビード形状はコンピュータに接続したX-Yプロッタにより自動的に図形出力するようにした。

4. 本プログラムの適用範囲

本プログラムの適用電流は、Fig. 5の実験範囲より、 $350\sim 450\text{A}$ である。また、最大脚長は 8mm で、これより大きい脚長ではウェブ側にアンダーカットを生じた。一方、最小脚長は 5mm で、これは最小電流 350A でハンピングの生じない最大の溶接速度約 80cm/min の条件より定められる。

以下に、本プログラムの適用範囲を示す。

溶接法； CO_2 水平すみ肉溶接

鋼種；軟鋼または低合金鋼

ワイヤ径； 1.6mm

脚長； $5\sim 8\text{mm}$

溶接電流； $350\text{A}\sim 450\text{A}$

アーク電圧； $30\sim 40\text{V}$

溶接速度； $25\sim 80\text{cm/min}$

チップー母材間距離； 20mm

トーチ角度； 50°

5. 計算結果および実験結果

本プログラムによる計算例を Table 1 に示す。この溶接パラメータで溶接し、そのマクロ断面を切り出し、研磨した後ナイトルで腐食、10倍に拡大投影してビード形状を調べた。

Table 1 CO_2 horizontal fillet welding parameters

Leg length	Welding current	Arc voltage	Welding speed	Torch angle	Off-center distance	Contact angle	C.S.A.*
LL (mm)	I (A)	V (V)	WS (cm/min)	THE TA (deg)	ZURE (mm)	ALPHA (deg)	SD (mm)
5.0	350	30	79	50	0.0	52	77
6.0	385	34	66	50	0.1	44	79
7.0	435	39	57	50	0.7	36	82
8.0	450	40	46	50	1.4	28	87

* Cross sectional area of deposited metal

使用した溶接電源はセレン整流式直流定電圧特性のものである。被包ガスは CO_2 25l/min 、電極ワイヤは直径 1.6mm のDS1を用いた。供試母材は軟鋼である。

Fig. 7 に溶接ビードのマクロ断面写真を示す。すべての脚長に対し、アンダーカットもオーバーラップもないビードが得られた。また、Fig. 8 は得られたビードの両脚長を図示したものである。同図に示すようにウェブ側の脚長の方がフランジ側に比べより大になる傾向が認められたが、その差は20%以内ではほぼ等脚長と認められる。

Fig. 9 に実際に得られたビードと二次元表面張力モデルにより計算されたビード形状との比較を示す。同図に

Fig. 7 Macro-sections of horizontal fillet welded joints by CO_2 arc welding. Welding parameters are shown in Table 1.

Fig. 8 Relation between leg length LL1 and leg length LL2.

Fig. 9 Comparison of calculated and experimental bead surface profiles.

示すように, ビード形状の実測結果と計算結果はほぼ一致し, ビード形状が予測できるものと思われる。

6. 結 言

水平すみ肉溶接では, 重力の影響によりその余盛形状は下向きすみ肉に比べ単純ではない。この点を考慮して, CO₂ 水平すみ肉溶接パラメータ設定のためのアルゴリズムおよびプログラムを作成し, その計算結果の妥当性を溶接実験により確めた。

謝 辞

本報告の適正アーク電圧の実験に関し資料を提供いただいた, 日立製作所の三宅洋氏に深甚の謝意を表する。

記 号 表

DE : Deposition efficiency	(%)
DIA : Wire diameter	(mm)
I : Welding current	(A)

LL : Leg length	(mm)
MR : Wire melting rate	(g/min)
SD : Cross-sectional area of deposited metal	(mm ²)
V : Arc voltage	(V)
WS : Welding speed	(cm/min)
ZURE : Off-center distance	(mm)
α (ALPHA) : Contact angle	(deg)
β (BETA) : Contact angle	(deg)
ρ (RHO) : Density of weld metal	(g/cm ³)

参 考 文 献

- 1) 益本, 篠田, 高野, 吉田: CO₂ I 型突合せ一層溶接パラメータ設定プログラム, 本誌, 48 (1979), No. 1, 17~21
- 2) 益本, 篠田, 高野, 夏目, 三宅: CO₂ V 型突合せ一層溶接パラメータ設定プログラム, 本誌, 48 (1979), No. 2, 30~33
- 3) 西口, 黄地, 松井: 肉盛および隅肉溶接現象に関する基礎的研究 (第2報), 本誌, 45 (1976), No. 2, 143
- 4) 妹島他: 溶接ロボットによる炭酸ガスアーク溶接施工法, 溶接学会全国大会講演概要第20集 p. 172

各種ろう付部のぬれと接合強さと金属組織*

ろう付におけるぬれ性と接合強さについて (第1報)

渡辺 健彦**, 岡根 功**, 雀部 謙**

Wetting, Bond Strength and Metallurgical Structure of Bonded Layer in Brazed Joint*

—Wettability and Bond Strength in Brazing (1st report)—

by Takehiko Watanabe**, Isao Okane** and Ken Sasabe**

The basic experiments for brazing on a large number of combinations of base metal and brazing filler metal were carried out to investigate the relationship between wettability and bond strength of brazed joint, which is being thought the most primary and important problem in brazing phenomena.

In this report, the experimental results of contact angle and bond strength and metallurgical structure of bonded layer were shown, and fracture path by tension test of brazed joint was inspected.

1. 緒 言

最近のろう付技術のめざましい発展は周知の通りであるが, 施工技術の面に比較して, 現象面における基礎的な検討に若干の遅れがあるように思われる。そこで, ろ

う付現象において, 最も基本的で重要である, 母材金属とろう材金属間のぬれ性と接合強さの問題をとりあげ, いろいろな組み合わせについて実験を行ない, 母材とろう材間の相互溶解度との関連性について検討した。

本報では, 主として, ぬれ性と接合強さについての実験結果を示し, 接合部の金属組織および破断位置を観察した。そして, 種々考察は次報において行なった。

*原稿受付 昭和53年5月16日 (昭和53年度春季全国大会にて発表)
**正 員 金属材料技術研究所 Member, National Research Institute for Metals