複合ワイヤガスメタルアーク溶接の溶接施工に関する研究*

塚本 文彦**, 日向 輝彦***, 安田 克彦***, 恩澤 忠男****

Study on Welding Procedure of Gas Metal Arc Welding using Cored Wire*

by Fumihiko TSUKAMOTO**, Teruhiko HINATA***, Katsuhiko YASUDA*** and Tadao ONZAWA****

The setting operation of suitable welding condition is very important in welding procedure. In this study, paying attention to the volume of deposited metal for unit welding length (Vw), the setting method of the welding condition in GMA welding process with flux cored wire is proposed and its propriety is investigated. Influence of Vw and deviation of arc center on bead formation, too, are investigated. The unifying method of welding condition using Vw can select the suitable conditions easily and widely. In above mentioned welding process, it is advisable to select the welding condition with high current and high speed. It is effective to consider Vw in regard to the maximum welding speed without undercut. In the case of horizontal fillet weld as small Vw as 6 mm leg length, it has a broad allowable range to aim the arc center at 0.5 mm in front of root. In large Vw horizontal fillet weld, the process that arc center aims at 3-4 mm in front of root is effective to expand to the permitted limit of deviation of arc center.

Key Words: GMA welding, Flux cored wire, Welding condition, Fillet welding, V butt welding

1. 緒 言

近年、熟練した溶接作業者の不足から、高品質な溶接もロボットなどを利用する自動溶接で行うことが必要となっている。ただ、こうした自動溶接を含めた溶接施工についての適正条件の設定は、エキスパートシステムなどによる方法^{1,2)}も提案されてはいるものの、多くの場合、経験を積んだ溶接技術者のケースバイケースの実験の積み重ねで行われることが多い。そこで、現場で簡便に利用できる溶接条件の設定法として、継手に必要な単位溶接長さ当たりの溶着金属量 (Vw) に着目した一元化条件設定グラフを用いる方法を提案し、炭酸ガスショートアーク溶接³⁾やアルミニウム合金の MIG 溶接⁴⁾について、その有効性を明らかにしている。

本研究では、今日、広く利用されるようになっているスラグ系フラックス入り複合ワイヤ MAG 溶接法を中心に、鋼の GMA 溶接における本条件設定法の妥当性について検討するとともに、各種溶接現象を Vw 量との関係で調べている。さらに、自動溶接において問題となることの多い、

溶接中のルート部に対するアーク狙い位置のずれの溶接結果に及ぼす影響について、ソリッドワイヤなどによる溶接と比較して検討している。

2. 実験及び実験方法

実験は、板厚 3~9 mm の軟鋼板を用い、市販の各種炭酸ガスアーク溶接用ワイヤ ($\phi=1.2$ mm) を用いて行った。溶接は、インバータ制御半自動溶接機を使用し、溶接トーチを定速度走行装置に固定する簡易自動溶接や多関節アーク溶接用ロボットによる自動溶接で行った。

3. Vw 量による一元化条件設定法の妥当性

Fig.1 は、メーカー技術資料に示されたスラグ系フラックス入り複合ワイヤの各電流条件における溶着速度 (g/min) データを利用し、溶接条件と Vw 量の関係に整理した図 (以後、一元化条件設定グラフと呼ぶ) に、同じ技術資料に示された実用すみ肉継手の推奨条件をプロットしたものである。なお、推奨条件は、個々の継手に示された最低電流・最低速度と最大電流・最大速度に分け、それぞれを図示している。各継手の推奨条件に示された電流・速度条件はほぼ一定の Vw 量となっており、継手に必要な Vw 量で溶接条件が一元化できることがわかる。ただ、一般的な推奨条件では、①板厚 4 mm の水平すみ肉溶接条件に見られるように、同一継手であるにもかかわらず Vw 量が異なり、仕上がり脚長の違う溶接となる条件がある、②同じ Vw 量条

*原稿受付 平成10年12月3日 平成10年度春季全国大会で発表

**正 員 東京職業能力開発短期大学校 Member, Tokyo Polytechnic college

***正 員 職業能力開発大学校 Member, The Polytechnic University

****正 員 東京工業大学 Member, Tokyo Institute of Technology

Fig. 1 Actual fillet welding conditions paying attention to V_w .

件であっても、限られた速度条件での狭い条件範囲となっている、などの問題点がうかがえる。これに対し、提案の方法では、継手に必要な V_w 量を一元化条件設定グラフに与え、この値に該当する直線上の電流・速度条件の中から、手動あるいは自動といった溶接に応じた条件を広い範囲で選択できる、などの利点に加え簡便に利用できるといった面でも非常に有効な方法になると考えられる。

4. 実験結果及び考察

4.1 一元化条件設定法の検証

上述した一元化グラフの基礎となる V_w 量は、同一溶接条件においても使用する溶接機によって多少異なり、脚長 6 mm 程度のすみ肉溶接において 0.5 mm 程度の脚長の過不足が発生する。こうした過不足が問題となるような溶接においては、実際に使用する溶接機によって溶接条件と溶着金属量の関係を求め、一元化条件設定グラフを作成する必要があると云える。

Fig. 2 は、使用溶接機で得た溶着金属量データから作成した一元化条件設定グラフを利用し、板厚 6 mm の下向きすみ肉溶接を行なった結果である。図から、いずれの条件においても脚長がほぼ 6 mm に仕上がっていることが確認できる。また、板厚 3 mm のすみ肉溶接においても、脚長をほぼ最小に近いと考えられる 3.3 mm に設定、これに相当する V_w 量 4.5 mm³/mm となる条件で溶接した場合も本条件設定法の妥当性が確認された。

Fig. 3 は、本条件設定法の妥当性を板厚 8.7 mm の V 形

Fig. 2 Fillet welding results in flat position.

Fig. 3 V butt welding result in flat position.

下向き突合せ溶接について検討した結果である。溶接は、図のように継手断面を 3 分割して各層に必要な V_w 量を算出し、一元化条件設定グラフから各層ごとの条件を求めて行った。この場合も、余盛部を含め各層とも良好な溶接状態となっており、本条件設定法が突合せ溶接などにも適用できることがわかる。

4.2 V_w 量に着目した溶接現象

Fig. 4 は、脚長 9.0~11.5 mm といった V_w 量の多い下向きすみ肉溶接を、10 cm/min といった低速度条件で溶接

Fig. 4 Influence of V_w on fillet welding results in flat position.

Fig. 6 Influence of V_w on maximum welding speed of fillet welding results without undercut in flat position.

Fig. 5 Fillet welding results in flat position.

電流を変化させて行った結果である。図から、検討した全ての条件で溶込み不良欠陥が発生し、 V_w 量が多くなるに従いこの種の欠陥発生が顕著となることがわかる。すなわち、ソリッドワイヤを使用した溶接に比べ溶込みの少ないスラグ系フラックス入り複合ワイヤを使用した溶接では、低速度で V_w 量の多くなる条件の場合、溶込み不良欠陥の発生の危険性が高いと考えられる。そこで、標準脚長 9 mm の下向きすみ肉溶接を速度を変えた 3 条件で行い、溶込み不良欠陥の解消についての検討を行った。Fig. 5 がその結

果で、溶接速度が速く高電流の溶接になるに従ってルート部の溶込みは大きくなり、低速度条件で発生していた溶込み不良欠陥が解消されている。なお、トーチ保持角による溶込み改善の可能性についても検討したが、後退角 20° 程度で溶込みがやや改善されるものの、さほど顕著な改善効果は期待できないことがわかった。

Fig. 6 は、薄板の下向きすみ肉溶接におけるアンダーカットの発生条件を、 V_w 量に着目して調べた結果である。アンダーカットの発生速度は V_w 量によって変化し、 V_w 量が多くなるに従い限界速度は高速度の条件に移行している。ただ、アンダーカットの発生は、アーク力などの要因なども合わせて考察する必要があると考えられるものの、溶接条件の設定において V_w 量についても十分に配慮することが必要であると云える。なお、スラグ系フラックス入り複合ワイヤによる溶接におけるアンダーカットビードの発生防止策について、同一 V_w 量でトーチ角度や電圧条件を変化させて検討した結果、①トーチ角度によるこの種の欠陥ビードの改善効果はほとんど期待できない、②適正電圧条件範囲内の最低電圧条件付近で、アンダーカットの発生が幾分少なくなる、といった傾向を示した。

4.3 V_w 量に着目したアーク狙い位置ずれの許容

ロボットなどによる自動溶接においては、溶接条件の設定とともに継手ルート部に対してアークの狙い位置が適切であるかどうか溶接結果に対し重要な問題となり、各種センサ類の開発が行なわれている。ただ、こうしたセンサの利用の必要性は、溶接結果に対するアーク狙い位置のずれの許容度によって変化すると考えられる。そこで、こ

Fig. 7 Deviation of arc center and leg length in horizontal fillet weld.

Fig. 8 Welding method of horizontal fillet weld paying attention to deviation of arc center.

Fig. 9 Influence of deviation of arc center toward vertical material on bead formation in horizontal fillet weld.

したアーク狙い位置のずれの許容度を、特に溶接結果への影響が大きいと考えられる水平すみ肉溶接について検討した。検討は、Fig. 7に示すように ΔL だけアークの狙い位置をルート部から垂直材側、水平材側の各方向へずらし（ル

Fig. 10 Influence of deviation of arc center toward horizontal material on bead formation in horizontal fillet weld.

ート部を0とし、垂直材側ずれを+、水平材側ずれを-で表示)、溶込み状態や板厚に対応させた標準脚長 L_t に対する仕上がり脚長 L_v , L_h との差に着目して行なった。なお、アーク狙い位置のずれに対する許容に関しては、Vw 量や溶込み状態に着目して検討した。溶接は、多関節ロボットを利用して θ_a を 45° 、進行方向に対して 90° にトーチを保持し、Fig. 8に示すように水平材側 7mm ($\Delta L = -7$) のずれ位置からルート位置 ($\Delta L = 0$)、垂直材側に 3mm のずれ位置 ($\Delta L = +3$) まで変化させ、さらにこの位置から全く逆となるずれの状態に連続して行なっている。この場合のワイヤ突出し長さは、ルート位置でそれぞれの図に示した長さに設定しており、狙い位置が垂直材側にずれた場合には、実際の突出し長さはこの値より短くなっている。

4.3.1 板厚 6 mm の水平すみ肉溶接の場合

Fig. 9 および 10 は、標準脚長 6 mm の水平すみ肉溶接を 250A 一定で、Vw 量が $18 \text{ mm}^3/\text{mm}$ となるよう各ワイヤごとの溶接速度を変化させ、ワイヤの種類が溶接結果に及ぼす影響を調べた結果である。Fig. 9に示す垂直材側にアーク狙い位置がずれた場合では、等脚性の許容を L_t に対する L_v と L_h の差の割合を 10% 程度に設定すると、ソリッドワイヤの場合では $+2 \text{ mm}$ 程度の位置まで許容できる。これ

に対し、いずれの複合ワイヤの場合も+1 mm 以下であり、ソリッドワイヤの場合に比べるとやや劣る。また、溶込み状態に関しても、ソリッドワイヤの場合では+3 mm の位置までは問題のない形状であるのに対し、複合ワイヤの溶接では垂直材側へ1.5 mm 以上ずれてくると水平材側の溶込みがほとんど期待できなくなっている。また、Fig. 10 に示す水平材側にずれた場合においても、ソリッドワイヤによる溶接が他のワイヤの溶接より等脚性の面で幾分優れる傾向を示している。

いずれにせよ、6 mm 程度の脚長の水平すみ肉溶接では、使用するワイヤの種類にかかわらずルート狙いで標準脚長に近い等脚長のすみ肉溶接が可能である。ただ、少しでもアークの狙い位置のずれに対して許容の大きい溶接を望む場合は、アーク狙い位置を水平材側に0.5 mm 程度ずらすと良い。この場合、スラグ系などの複合ワイヤを使用する溶接では、水平材側-0.5 mm の位置を基準に垂直材側には+1 mm まで、水平材側には-2 mm の位置までずれが許容できる。また、ソリッドワイヤを用いると、更に±1 mm 程度許容範囲を広げることが可能となる。

4.3.2 板厚 9 mm の水平すみ肉溶接の場合

Vw 量が多くなる標準脚長 9 mm 程度の水平すみ肉溶接では、ビード形成に対する設定電圧の影響は大きくなる傾向を示す。Fig. 11 が、Vw 量40 mm³/mm の水平すみ肉溶接に対するアーク狙い位置がビード形成に及ぼす影響を、電圧条件とワイヤの種類に着目して調べた結果である。溶接は、275A一定で、Vw 量が40 mm³/mm となるよう溶接速度を調整して行なっている。図中のビード写真から、本検討の場合のようにトーチを進行方向と直角に保持した溶接では、アーク狙い位置のずれが水平材側から垂直材側に移動していく場合と、逆に垂直材側から水平材側に移動していく場合ではビード形成にほとんど差は認められない。

また、いずれのワイヤの場合も、高い電圧条件の方がオーバラップの欠陥を発生しにくく、等脚長のビードが得られやすくなっている。ただ、(b)や(c)に示した複合ワイヤの溶接では、高電圧条件でアーク狙い位置が垂直材側にずれるようになると、垂直母材側に極く浅いアンダーカットを発生するようになっている。こうしたことから、大脚長の水平すみ肉溶接では、アンダーカットを発生させない範囲で高い電圧条件に設定することが有効となる。なお、こうした電圧条件で比較してみると、オーバラップのビード状態はスラグ系フラックス入り複合ワイヤで最も発生しやすく、ソリッド、メタル系複合ワイヤの順で発生し難いことがわかる。

さらに、等脚性やビード形成に対するアーク狙い位置のずれの影響を脚長 9 mm の水平すみ肉溶接について詳しく調べ、垂直材方向ずれに着目して整理したものが Fig. 12 で、水平材方向ずれに着目して整理したものが Fig. 13 である。いずれのワイヤを使用した場合も、275Aといった大きな電流を使用しており、ルートの溶込み不足といった問題は発生していない。なお、等脚に近いビードは、ルート手前の水平材側 3~4 mm のアーク狙い位置で得られており、通常の大脚長水平すみ肉溶接で云われている「ルート手前 2~3 mm 狙い」にはほぼ一致している。ただ、脚長差が 2.5 mm 以内となるビードの形成に対するアーク狙い位置ずれの許容に関しては、①ソリッドワイヤの場合は、水平材側 2~3 mm 狙いで±3 mm 程度、②メタル系複合ワイヤの場合は、水平材側 3 mm 狙いで±2 mm 程度、③スラグ系複合ワイヤの場合は、水平材側 3 mm 狙いで±1 mm 程度、といったように各ワイヤで許容範囲に差が認められた。これらのことを総合すると、板厚 9 mm の場合も板厚 6 mm の場合と同様、ソリッドワイヤを用いる溶接は、等脚性ならびに溶込み形状のいずれについても他のワイヤによる溶接に比べ許容範囲の広い溶接が可能となることがわかる。

Welding condition		Bead appearance	40 mm
(a) YGWII, 1.2φ	275A 28V
	275A 31V
(b) YFW- C50DM, 1.2φ	275A 29V
	275A 32V
(c) YFW- C50DR, 1.2φ	275A 27V
	275A 29V

Vw = 40 (mm³/mm)

Fig. 11 Influence of wire type and arc voltage on bead formation in horizontal fillet weld.

Fig. 12 Influence of deviation of arc center toward vertical material on bead formation in horizontal fillet weld.

Fig. 13 Influence of deviation of arc center toward horizontal material on bead formation in horizontal fillet weld.

Fig. 14 Horizontal fillet welding results in forward torch angle.

ただ、脚長面では許容溶接条件範囲内であっても、アーク狙い位置のずれが水平材側 2 mm の位置から垂直材側に変化していく溶接では、オーバラップのビード状態が認められる。これを解消するには、トーチ保持角を前進角で溶接することが有効であると考え、これを確かめた結果が Fig. 14 である。なお、前進角で高い電圧条件の溶接ではア

ンダーカットを発生しやすくなるため、直角のトーチ保持で良好な結果が得られた電圧条件よりやや低い条件で溶接した。15° 程度の前進角の溶接では、いずれの複合ワイヤを用いた場合も、ずれの方向の変わる試験材中心位置でビード止端部の連続性が失われる不連続ビードが認められる。これに対し、ソリッドワイヤの場合では、連続したビード

が形成されている。また、オーバラップの発生は、ソリッドワイヤの場合が水平材側-3 mmの位置から垂直材側+3 mmの間であったものがルート狙い位置から垂直材側+3 mmの間に、メタル系複合ワイヤでは水平材側-1の位置から垂直材側+3 mmの間が垂直材側+1 mmから+3 mmの間に狭められている。ただ、スラグ系複合ワイヤの場合では、こうした効果は認められていない。さらに、15°前進角保持の溶接の等脚性に対するアーク狙い位置のずれが等脚性に及ぼす影響をトーチ保持角に着目して調べた。その結果、15°の前進角で溶接したとしても、直角保持の変化傾向を水平材方向に+1 mm平行移動させた形に近いことがわかった。したがって、いずれの場合も、フラックス入り複合ワイヤに比べソリッドワイヤを用いる溶接の方がアーク狙い位置のずれに対する許容の大きいことが明らかとなった。

5. 結 論

スラグ系フラックス入り複合ワイヤGMA溶接を中心に、単位溶接長さ当りの溶着金属量(Vw)に着目した一元化条件設定法やアーク狙い位置のずれが溶接結果に及ぼす影響について検討した結果、以下のことが明らかとなった。

1) 溶接条件とVwの関係を整理した一元化条件設定グラフを利用し、継手に必要な溶着金属量から溶接条件を設定する方法は、広範囲の条件が簡便に設定でき、目的とする溶接とも良く一致する溶接結果が得られた。

2) GMA溶接法としてはやや溶込みの少ないスラグ系フラックス入り複合ワイヤを用いる溶接では、一元化条件設定グラフから求められる溶接条件の中でも使用可能な範

囲で大電流・高速度の条件を選ぶことが望ましい。なお、この溶接法での溶込みは、トーチ操作などによってはほとんど改善できない。

3) 高速溶接でのアンダーカットの発生は、Vw量が多い溶接になるにしたがって発生しにくく、こうした現象にもVw量を考慮することが有効となる。

4) 板厚6 mm程度までのVw量の少ない水平すみ肉溶接では、アーク中心が継手ルート部から水平材側に0.5 mm程度の位置の間を狙って溶接すると、等脚で良好な溶込みの溶接が可能となる。なお、等脚性などの面でのアーク狙い位置のずれに対する許容は、ルート手前0.5 mm狙いの溶接が大きく、±1.5 mm程度の許容範囲がある。なお、ソリッドワイヤを使用すると、さらに±1 mm許容範囲は広くなる。

5) Vw量の多くなる板厚9 mmの水平すみ肉溶接では、水平材側3~4 mmのアーク狙い位置で良好な溶接結果が得られる。この溶接の場合、アーク狙い位置のずれの許容はワイヤの種類で変化するが、やや電圧を低く設定して15°程度の前進角で溶接することでずれの許容範囲は広くなる。

参 考 文 献

- 1) 松村, 長谷川, 田中, 林: 多層盛り溶接条件設定エキスパートシステムの開発, 溶講集47 (1990), 54-55.
- 2) 益本: 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, 溶接学会誌48-7 (1979), 94-98.
- 3) 安田, 宮本: 炭酸ガスショートアーク溶接法による薄鋼板の片面自動溶接, 職業訓練大学校紀要, 5 (1976), 75-81.
- 4) 安田, 井川: アルミニウム合金板のミグ溶接条件に関する研究, 軽金属溶接30-8 (1992), 1-6.