2) 各々組成の異なる3種類的气体(一次シールドガス:30% Ar+70% CO₂, 二次シールドガス:CO₂, コントロールガス:80% Ar+20% CO₂)を用いて, アーク周辺のみアルゴン濃度を高めた. その結果, 比較的高価なアルゴンガスの消費量を減少させて, 経済的効果を増やしつつアークを安定化し, 良好な裏波ビードが安定して形成できることを確認した.

3) 本溶接法用に開発したトーチのシールドガスの流れをシュリーレン法で観察した. その結果, 本トーチではアーク周辺のシールドが完全であることを確認した.

最後に, 本研究を行なうにあたって, 適切な指導を賜った名古屋大学工学部益本功教授に深く感謝の意を表すると共に, シュリーレン写真の撮影に当って指導を賜った名古屋大学工学部保原充教授に深く感謝の意を表

します.

参考文献

- 1) 小野英彦: “片面狭開先 MAG 溶接法の研究 (第1報) — 一直流棒マイナスイオン性における裏波ビード形状の観察 —”, 本誌論文集, Vol. 3 (1985), No. 2
- 2) 岡田 明: “アークならびに溶融池の流体制御”, 第85回溶接法研究委員会資料, SW-1314-81
- 3) 峰久, 永井, 大塚, 坂端: “狭開先ミグ溶接の研究”, 第58回溶接アーク物理研究委員会資料, 80-427
- 4) 小野, 小幡, 寺本, 松田: “狭開先 MAG 溶接における溶込み形状の観察”, 本誌論文集, Vol. 1 (1983), No. 1, p. 83~90
- 5) 小野, 寺本, 小幡: “狭開先内における電極ワイヤの溶融特性 (第2報) — シールドガス組成の影響 —”, 本誌, Vol. 50 (1981), No. 7, p. 29

片面狭開先 MAG 溶接法の研究 (第3報)*

—裏波制御溶接方法の開発—

小野 英彦**, 森田 哲朗**

Study on One-side Narrow-gap MAG Welding (Rept. III)*

—Developing of control system for “Uranami Welding”—

by Hidehiko Ono** and Tetsuro Morita**

The authors have been carrying out practical studies on one-side narrow-gap MAG welding with DCEN polarity. In the previous paper,¹⁾ observation of “Uranami bead” shapes and determination of suitable range of welding condition for “Uranami Welding” were carried out and it was made clear that “Uranami beads” without defect could be achieved over a wide range of welding conditions with this welding method. However, in case of long weld line and changing groove width, it became clear too that fine adjustment of welding conditions (mainly adjustment of welding speed) would be necessary in order to achieve constant shapes of “Uranami bead” all along the weld line.

Consequently, the relationships between arc phenomena in “Uranami welding” and shapes of “Uranami bead” were observed, and it was found that the shape of the “Uranami bead” was dependent on the welding speed and the wave pattern of the welding current. Based on these results, a new “Uranami welding” control method was developed. In this method, a control signal which was obtained by monitoring the welding current with a micro-computer, was used to adjust the welding speed continuously in order to achieve a good “Uranami bead”.

Application of this control system to one-side narrow-gap MAG welding with DCEN polarity confirmed that uniform “Uranami beads” could be obtained even if the root gap varies from 9 to 12 mm.

Key Words: Uranami welding, Automatic control, One-side, Narrow-gap, MAG

1. ま え が き

電源極性を DCEN とした片面狭開先 MAG 溶接法の実用化研究の一環として, 前報¹⁾では裏波ビード形状を観察すると共に, 裏波溶接の適正溶接条件範囲を求めた. その結果本溶接法は, ビード形状のパラツキはあるが, 広い溶接条件範囲で欠陥のない裏波ビードが得られる事が明らかとなった. しかし溶接長が長くなると, 溶接線全長にわたって均一な裏波ビードを形成するには, 溶接条件の微調整(主に溶接速度の微調整)が必要であ

ることが判明した.

そこで溶接速度を制御して均一な裏波ビードを形成する制御方法の実用化を目的に, その制御信号源として, 溶接電流波形に着目し溶接速度と溶接電流波形の関係を調べた. そして, 溶接電流波形と裏波ビード形状とを対応させて詳細に検討した所, 両者の間には良好な相関関係があることが明らかとなった. この結果を基にして, マイクロコンピュータを用いて溶接電流を常時監視し, 得られた制御信号を基に溶接速度を制御する裏波制御装置を試作した. そして, I形開先を用いる DCEN 片面狭開先 MAG 溶接法の第一層裏波溶接に適用した所, 溶接線全長にわたって均一な裏波ビードを安定して形成することができたので, 本報ではその結果について報告す

*原稿受付 昭和59年5月23日 昭和59年度秋季全国大会で発表

**正 員 日本車輛製造(株) Member, Nippon Sharyo Seizo Kaisha Ltd.

Fig. 4 Flow-chart for control of "Uranami welding"

～5)*¹⁾とを比較して $N \geq NL$ の場合は溶接速度が速すぎと判断し、一定量(0.5～1.5 cm/min)減速する。そして $N < NL$ ならば溶接速度が遅すぎと判断し、一定量(0.5～1.5 cm/min)増速する。以上のようなサンプル値制御を行うことにより、開先広さが変動しても溶接速度のみをコントロールすることにより、良好な裏波ビードを安定して得ることができる。

3. 実験装置

実験に用いた溶接装置を Fig. 5 に示す。この溶接装置は試験板の拘束を油圧で行ない、ガラステープとソーダガラス板で構成した裏当材は水冷銅当金と圧縮空気で開先裏面に押し当てられている。

Fig. 4 に示したフローチャートに基づいて裏波ビード制御を行なうための制御装置を Fig. 6 に示す。この制御装置は、溶接電流値をA/Dコンバータを介してCPU(6800系, 8ビット)に取り込み、演算結果を応じて溶接速度をコントロールするものである。

4. 実験結果

予備実験の結果、本溶接法でルート間隔 10 mm の I 形開先を直径 1.2 mm のソリッドワイヤを用いて裏波溶接する場合の適正溶接条件は、360～380 A・33～34 V・20～22 cm/min であることが明らかとなった*²⁾。そこでこの溶接条件で溶接電流とアーク電圧を一定に保ち、

*¹⁾ NL の設定値と裏ビード外観との定性的関係は、NL が小さいと減速が頻繁になり裏波ビードが形成されなくなり、大きいと減速が遅れて裏波ビードに穴が明き不連続になる場合がある。

*²⁾ 前報では、直径1.6 mm のソリッドワイヤを用いて実験を行ない、裏波溶接の適正溶接条件範囲を求めた。しかしこの場合最終層の溶接時に発生するスパッタが大粒となると共に最終層のビード外観も余り良好とは言えなかった。そこで多少能率は悪くなるが本報では直径 1.6 mm のソリッドワイヤを用いる事とした。

Fig. 5 DCEN one-side narrow-gap MAG welder

Fig. 6 "Uranami welding" control device

Fig. 7 Suitable range of threshold values of welding current for various root gaps (welding current: 380 A, arc voltage: 33～34 V, controlled welding speed: 10～24 cm/min)

溶接電流に対する閾値を 240~270 A の間で変化させて溶接した場合、今回試作した制御システムで良好な裏波ビードが形成されるか否かをルート間隔との関係で調べた。その結果をまとめて Fig. 7 に示す。ルート間隔が 10 mm 一定の場合は、各閾値に対して良好な形状の裏波ビードを得た。ルート間隔が 9~12 mm に変化した場合、閾値が 240 A の場合は、閾値が低すぎるためアークが多少不安定になっても溶接電流の低電流側へのスパイクが閾値に達せず、このため減速信号が出ない。したがって溶接速度制御が遅れぎみになり、連続した裏波ビードが形成されず溶け落ちが生じている。Fig. 7 に示した結果を少し具体的に以下に述べる。

Fig. 8 に、ルート間隔を 10 mm 一定にして裏波溶接をした場合の実験結果の一例を示す。Fig. 8 a) には裏波制御を行なった場合の溶接電流波形とそれに対応して変化する溶接速度^{*3)}及び裏波ビード外観を示す。図中の破線は溶接電流に対する閾値を示している。Fig. 8 a) を見ると、ルート間隔が 10 mm 一定の場合でも何らかの原因でアークが不安定になり、溶接電流が閾値を下回る場合が認められる。すると、アークが安定して一定時間溶接電流が閾値を下回らなくなるまで溶接速度を減速する様子が良くわかる。参考のため、Fig. 8 b) に裏波制御を行なわない場合を示す。これを見ると一度アークが不安定になり、溶接電流波形が乱れはじめるとしばらく回復せず、最悪の場合は裏波ビードが不連続になる場合があることがわかる。Fig. 8 の a) と b) を比較すると、本研究において開発した裏波制御装置を用いれば、アークが

Fig. 8 Comparison of oscillograms of welding current, welding speed and shapes of "Uranami beads" in case of micro-computer controlled and non-controlled "Uranami welding"

*3) ここに示す溶接速度は、台車走行用直流モータにかかる電圧を校正して溶接速度として表示したものである。

一時不安定になっても直ちに回復して安定になるため、均一で良好な裏波ビードが容易に得られることがわかる。一方ルート間隔が 9~12 mm の間で連続的に変化する I 形開先を用いて裏波制御溶接をし、各閾値に対する裏波ビード外観を調べた結果が Fig. 9 である。Fig. 10 には、Fig. 9 に示した内の閾値が 250 A の場合の溶接電流波形と溶接速度の変化を示す。ルート間隔が変化すると Fig. 10 に示すようにアークが不安定となり溶接電流波形が乱れ、溶接電流が閾値を下回る頻度が高くなる。この場合、裏波制御装置が作動してアークが安定して一定時間溶接電流が閾値を上回るようになるまで強い減速

Fig. 9 Shapes of "Uranami bead" of micro-computer controlled "Uranami welding" at various threshold values (welding current: 380 A, arc voltage: 33~34 V, root gap: 9~12 mm, groove shape: I)

Fig. 10 Oscillograms of welding current and welding speed in micro-computer controlled "Uranami welding" with I-shaped groove and tapered root gap

Fig. 11 Dimensions of "Uranami bead" and various threshold values (welding current: 380 A, arc voltage: 33~34 V, controlled welding speed: 10~24 cm/min)

Fig. 12 Examples of "Uranami bead" and cross-sections in controlled "Uranami welding"

を行っている様子が現われている。閾値が 240 A の場合は、設定値が低すぎ溶接電流が閾値を下回る頻度が過少となり、溶接速度の制御が十分に行なわれないために裏波ビードが不連続になる。また、閾値が 270 A となると、その値が安定な裏波溶接が行なわれているにもかかわらず、たまたま発生する溶接電流のスパイクが閾値を下回る様になり、頻繁な速度調整が行なわれる。このため裏波ビード形状が Fig. 9 に示すように、やや凹凸の大きい不安定なものとなる。

Fig. 9 に示した裏波ビードの形状を明確にするため、各ルート間隔における断面マクロ試験片を採取し、ビードの各部寸法を測定した結果をまとめて示したのが Fig. 11 である。Fig. 11 を見ると、裏ビード巾(a)及びのど厚(b)共に多少バラツキが大きい様である。又、裏ビード外観に与える影響の大きい余盛高さ(c)も 2~4 mm の間でバラついているが、これは裏波制御による溶接速度の過大な変化によるものと思われる。なぜこの様な溶接速度の過大な変化が起こったかについての原因として、著者は次の様に考えている。すなわち Fig. 10 に示した溶接

速度の波形は走行モータにかかる電圧を校正して溶接速度としたものであるが、実際の溶接速度の変化は電圧を変化させてから 0.5~0.7 秒遅れて現われる。これは今回採用した台車走行モータのサーボバックの性能に関係している。また Fig. 4 に示したフローチャートでは、電流波形が乱れ始めてから制御信号が出るまで 0.5 秒程度の遅れがある。これらの遅れのため裏波溶接時のアーク現象に即応した溶接速度制御ができず、溶接速度の多少過大な変化を引き起こし、結果的に多少バラツキの大きい裏ビード外観になったものと思われる。

そこで現在、さらに均一な裏波ビードを形成すべく、台車走行モータのサーボバックの性能を検討中である。

参考のため、裏波ビード外観と各ルート間隔の断面マクロの一例を Fig. 12 に示す。裏波ビードは多少凸凹しているが、いずれの部位においても欠陥は発生しておらず、実用上何ら問題はない。

5. 結 論

マイクロコンピュータを用いて溶接電流を常時監視し、そこから得られた制御信号で溶接速度を調整して、適正な裏波ビードが形成されるようにする裏波制御方法を開発した。そして、DCEN 片面狭開先 MAG 溶接に適用した所、次のような結論を得た。

- 1) 溶接電流波形と裏波ビード形状及び溶接速度の間には、各々明確な相関関係が認められた。
- 2) 溶接電流を 8 ビット CPU を用いて常時監視を行ない、一定時間内の溶接電流の最小値と適当な閾値とを比較し、その結果に基づいて溶接速度を制御することに

より、裏波制御溶接が可能となった。

終りに、本研究を遂行するにあたって終始御激励と適切な指導を賜った名古屋大学工学部、益本功教授に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 小野英彦：「片面狭開先 MAG 溶接法の研究（第1報）一直流棒マインス極性における裏波ビード形状の観察」，溶接学会論文集 Vol. 3 (1985)，No. 2

全姿勢プラズマキーホール溶接法の検討*

羽田光明**，今永昭慈**，荒谷 雄**，松本輝夫***

Study on All-position Plasma Keyhole Welding*

by Mitsuaki Haneda**, Shoji Imanaga**, Takeshi Araya** and Teruo Matsumoto***

In this study, a pulsed current plasma arc is applied to the keyhole operating mode to control solidification of the molten pool. Further, the pulse time, peak current, and plasma gas flow rate are especially investigated.

A one-pulse/one-keyhole range of pulse times by low frequency is obtained at each of four positions (Flat, Overhead, Vertical-up, and Vertical-down). As a result, suitable pulse times for some combinations of the plasma gas flow rate (Q) and the peak current (I_p) are the peak time (t_p)=0.2–0.4 sec and the background time (t_b)=0.4–0.6 sec at welding speed (v) of 120 mm/min in case of stainless steel pipe (JIS SUS304, 4 mm thickness).

Then fixed pipes are welded, and it is found that orbital welding is possible by starting from the 4:30 position and by control of the plasma gas flow rate, the peak current, and the welding speed according to the welding position at 6:00 or 7:30, 9:00, and 12:00 (o'clock) positions.

And effect of joint alignment error is studied, and it is found that permitted limits with cap pass welding are miss-matching=1.0 mm, root-gap=0.5 mm, arc-length= ± 1.0 mm, and arc-deviation=1.0 mm in case of mild steel pipe (JIS STPG38, 4 mm thickness).

Key Words: Plasma arc welding, Plasma keyhole welding, All-position welding, Orbital welding, Pipe welding, Pulsed current welding

1. 緒 言

プラズマキーホール溶接は I 形突合せ継手で安定した裏波が得られる片面溶接法として活用されているが、その適用姿勢は主として下向き姿勢に限定されている。プラズマキーホール溶接法による全姿勢溶接の検討は10数年前に始まり、溶融池の保持に関する基礎研究¹⁾が行われたが、当時は一定電流で検討されたため適正ビードの得られる溶接条件範囲が極めて狭く、最近まで実用に供された報告がなかった。

しかし、近年、TIG 溶接と同様にプラズマキーホール溶接でも、条件域の拡大や安定化を目的とした溶接電流制御の検討が行われており、パルス電流の応用に関する2～3の研究が報告されている^{2,3)}。また、昭和56年の溶接協会訪中記によると、固定管の自動パルスプラズマ溶接が実施されていることが分かる⁴⁾。

そこで、本研究では溶融池の溶融・半凝固現象を制御する目的で、低周波パルス電流を利用した場合のキーホール形成現象に注目し、全姿勢溶接条件を検討すると

ともに固定管の全周溶接に適用したときの溶接結果について考察した。

2. 実験方法及び装置

Fig. 1 に示す実験装置により、基礎的現象及び溶接条件を検討した。試験片は、最初に軟鋼よりキーホール溶接が容易であるステンレス鋼管（材質 SUS 304），を用いて、肉厚を TIG 溶接の場合の I 形突合せ継手の実用溶接限界の 4 mm とし、加熱の影響が少ない大径管（外径 216.3 mm）で検討した。まず、プラズマトーチを固定しパイプを回転して、下向き〔F〕，上向き〔OH〕，立向き上進〔V_u〕，立向き下進〔V_d〕での溶接条件を bead-on-plate 溶接で求め、次いで固定管の全周溶接の条件制御を検討した。同様の手法で、軟鋼管（材質 STPG-38，肉厚 4 mm，外径 59 mm，に内外周を機械加工）についても溶接条件を決定した。

溶接電源はサイリスタ制御方式の直流定電流特性を、Fig. 2(1) の模式図に示す矩形波パルスの電流値 I_p ， I_b 及びパルス時間 t_p ， t_b が任意に設定できるようにしたが、電流波形記録(2)が示すように立上がりで過剰電流を含む出力波形となった。また、溶接中に 20 A の非移行式のパイロットアークを常時併用して、低電流時のプラズマアークの安定化を図っているが、これは同時に母材への投入入熱の一部としても作用している。

プラズマガスは Ar を使用し、シールドガスはサーマ

*原稿受付 昭和60年4月17日 昭和59年度春季全国大会で発表
昭和58年11月溶接アーク物理研究委員会発表

**正 員 (株)日立製作所機械研究所 Member, Mechanical Engineering Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

***正 員 (株)日立製作所ソフトウェア工場 Member, Software Works, Hitachi, Ltd.