た機械研究所・鈴木静夫氏に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 上田他3; 鋼積 T 継手自動溶接法の研究, 三菱重工技報 11 (1974), No. 2, 63-71
- 2) 小方; 各種圧力容器の溶接自動化について, 神戸製鋼技術ガイド No. 98 (昭53-6), 5-12
- 3) 安藤他3; 産業用ロボットの溶接への応用, 日立評論 59 (1977), No. 11, 5-10
- 4) 高野他6; アーク溶接用ロボット「ミスターアロス」, 日立評論 57 (1975)

ノズル部の多層溶接に関する研究 (第2報)*

—産業ロボットによる溶接施工—

才川至孝**, 安藤司文***, 大西 明**, 三宅 洋****, 三宅徳久***, 徳野隆輔**

Study on Multi-pass Welding of Nozzles (Report 2)*

—Welding Procedure by Industrial Robot—

by Shikoh Saikawa**, Shimon Andoh***, Akira Ohnishi**, Hiroshi Miyake****,
Norihsa Miyake*** and Ryusuke Tokuno**

The automation of the multi-pass welding of nozzles is very difficult because of the complex shape of the weld line. However, the authors have developed an industrial robot controlled by a microcomputer that can automatically perform the multi-pass welding.

The parameters of MAG welding process such as torch position, torch direction, welding velocity, etc. were first obtained, then the welding algorithm was established and confirmed experimentally.

The objective of this study is to select the welding conditions to input to microcomputer. It has been confirmed that the parameters of welding condition were enable to give suitable bead shape and bead appearance.

1. 緒 言

厚肉の母管と枝管の溶接継手は二つの円筒が交差する三次元の曲線状を形成し, MAG 溶接 (シールドガス組成; 95% Ar + 5% CO₂) で溶接する場合は莫大なパス数に及ぶ多層溶接となる。このノズル部の溶接作業は従来, 被覆アーク溶接法による手動または MAG 溶接法による半自動アーク溶接により行われ, 多大な労力を費やすとともに溶接継手部の品質および安全性の面から障害になっていた。

上記課題を解決するために, ノズル専用溶接装置や産

業ロボットを開発, 導入して¹⁻³⁾, 一部では積極的に利用されている。

そこで本研究では, 著者らの開発した産業ロボット⁴⁾を採用し, 前報⁵⁾ではノズル部の溶接自動化するための基本的な考え方およびその制御内容について述べた。本方式は, MAG 溶接で多層溶接を行う場合, 枝管全周を同一パス数で積層制御する方法であり, 溶接は産業ロボットにより実行される。

本報では, 制御用プログラムを入力するための MAG 溶接条件を選定し, またこの溶接条件を産業ロボットの制御用プログラム⁵⁾に入力して, ターボ圧縮機のケーシングを対象とする実機モデルに適用し, 実効あることを確めた。

2. 実験方法

2.1 対象としたノズルのワーク形状

Fig. 1 は対象としたノズルのワーク形状を示す。母管

*原稿受付 昭和58年4月8日 (昭和53年度秋季, 昭和56年度春季全国大会にて発表)

**正 員 (株) 日立製作所土浦工場 Member, Tsuchiura Works, Hitachi Ltd.

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

****正 員 (株) 日立製作所日立研究所 Member, Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd.

Fig. 1 Profile of work to be welded

Table 1 Principal dimensions of work piece of Fig. 1

	$D_o \phi$	$d_o \phi$	t
Max.	1400	450	85
Min.	550	250	35
Applied work	500	300	50

Unit ; mm

と枝管の軸線は直交しており, 実機モデルの寸法は Table 1 のようである。

2.2 供試材および実験条件

母材は炭素鋼鍛鋼品 SF 45 を用いた。溶接機はパルス電源による MAG 溶接機を使用し, 主な実験条件は Table 2 のようである。

Table 2 Experimental conditions

Welding method	Pulse MAG
Base metal	SF45
Wire	MGS-50, 1.6mm ϕ
Shield gas	20l/min, Ar95+CO ₂ 5
Wire extension	20 mm
Welding current	180~220A

2.3 実験要領

実験は最初にビードオンプレートで1層および多層溶接した。次いで, Fig. 1 の枝管円周方向における母管の背の部分 ($\theta=0^\circ$) の開先形状を基準面として, Fig. 2 に示す試験片を溶接した。ここで, ψ_0 はトーチ角を示し, 各層3パス目までを 22.5° , それ以降のパス数では 45° に設定した(予備実験による最適値)。溶接後, ビード表面および断面形状を調べた。そして上記結果より, 最適溶接条件および Table 1 のワーク適用寸法を産業ロボット

Fig. 2 Joint design for experiment and torch angle

の制御用プログラムに入力して実機モデルを溶接した。なお, 使用した産業ロボットの動作および制御用プログラムのフローチャートは第1報⁵⁾に示してある。

3. 実験結果とその検討

3.1 溶接電流とアーク電圧の選定

Fig. 3 にノズルの開先形状を示す。ここで, 開先内を区間 Δz (1層毎の積層高さ) および Δr (1パス毎の水平方向のビード幅) に分割し, Δz および Δr で囲まれた斜線部分で示す断面積 S_0 , S を1パスの溶接ビードで充填する溶接電流とアーク状況との関係を調べた。Fig. 4 は基準面 ($\theta=0^\circ$) の溶接速度を 30 cm/min に設定し, 下向き姿勢でトーチを溶接方向および母材に対して垂直

Fig. 3 Diagram of groove section

Notes; Δr : Bead width horizontal direction

Δz : Bead height

S, S_0 : Deposit metal area per 1 pass

β : Angle between a line drawn perpendicular to the center line of the branch pipe and a tangent to the trunk pipe

Fig. 4 Relation between welding current and arc voltage

に保持して行った溶接電流とアーク電圧の関係を示す。

図中の○印はビード外観が良好でアーク安定、●印はビード外観が不良でアーク不安定、△印は前記2者の中間を示す。ここで、A点の200 A, 24 Vは斜線で示す適正領域の中央にあることから、以下の実験での溶接電流、アーク電圧はこの値を採用し、この場合のワイヤ溶融速度は46.0 g/minであった。

3.2 溶接速度の制御

溶接速度はFig. 3に示す方法で制御する。すなわち、母管表面の傾斜 β が枝管円周上の各位置で異なっているため、1パスで溶接すべき断面形状は枝管円周上に沿って変化している。枝管円周の任意な位置における1パス当たりの溶着断面積 S は次式

$$S = S_0 / \cos \beta \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに S : 1パス当たりの溶着断面積

S_0 : 基準面 ($\theta = 0^\circ$) での溶着断面積

β : 母管表面の傾斜角度

で与えられる。本報では溶着量制御をする場合、溶接速度の変化によって実現する方法を採用した。すなわち、この両者が反比例関係にあることから、溶接速度 V を次式で制御した。

$$V = V_0 \cdot \cos \beta \quad \cdots \cdots (2)$$

ここに V : 母管表面の傾斜角度 β での溶接速度

V_0 : 基準面 ($\theta = 0^\circ$) での溶接速度

β : 母管表面の傾斜角度

今回対象としたワーク形状 (Table 1) では、母管表面の傾斜角度 β の最大値が 30° 程度であり、 $V_0 = 30$ cm/minとした場合の $\beta = 30^\circ$ では $V = 26$ cm/minとなる。

3.3 積層高さとビード幅の検討

開先形状を分割して行う積層制御プログラムでは、基準面 ($\theta = 0^\circ$) における1パス当たりの溶着断面を幅

Fig. 5 Relation between bead width in horizontal direction and bead height

Note; Bead width, Δr show moving distance of torch in horizontal direction

Δr 、高さ Δz の小長方形で近似し、Fig. 3のようにメッシュ状に分割することを基本として、各層、各パスのトーチ狙い位置を決定する。ここで、 Δr 、 Δz はそれぞれ1パス当たりのビード幅および1層当たりの積層高さに相当する。したがって、トーチは水平方向のビード幅に相当する Δr だけ枝管の外周に移動して次パスの溶接を行う。さらに各層終了後はビード高さに相当する Δz だけトーチを上方に移動して次層の溶接を行う。

Fig. 5は母材傾斜角度 β における水平方向のビード幅と積層高さとの関係を示す。図中の黒印はビード表面の凸凹が著しいもので、1パス当たりの水平方向のビード幅 Δr が8 mm、および4 mmではビード外観が不良である。とくに Δr が8 mmでは3者の母材傾斜角度において、積層高さ Δz のばらつきは大きい。白印は平滑ビードが形成されたもので、とくに Δr が6 mmでは良好で、母材傾斜角度の影響も少なかった。なお、 $\Delta r = 6$ mmの場合の Δz は3.2 mmとなる。この Δz の値はFig. 4中のワイヤ溶融速度に溶着効率0.97を考慮すれば妥当である。

Fig. 6は母材傾斜角度を 0° および 30° に設定して多層溶接した場合の断面形状で、 $\beta = 0^\circ$ では9層、 $\beta = 30^\circ$ は8層溶接した結果を示す。ビード表面は平滑で溶接部には欠陥は発生していない。

Fig. 7はFig. 6で得られた各パスの積層高さ(平均値)を示す。同図には $\beta = 45^\circ$ の結果も示した。各母材傾斜角度ともほぼ一定の積層高さが得られ、Fig. 6の $\Delta r = 6$ mmの場合の Δz の値とよく一致している。

3.4 枝管全周のトーチ角度の制御

枝管全周におけるトーチ角度 ψ はFig. 8に示す $\theta = 0^\circ$ のトーチ角度を ψ_0 として次式で制御する。

$$\psi = \psi_0 - \beta \quad \cdots \cdots (3)$$

Fig. 6 Cross sections of weld bead at base angle 0° and 30°

Fig. 7 Relation between base angle and bead height

Fig. 8 Diagram for control of torch angle

ここに ψ : 母管表面の傾斜角度 β でのトーチ角度
 ψ_0 : 基準面 ($\theta = 0^\circ$) でのトーチ角度
 β : 母管表面の傾斜角度

ここで, 本報ではトーチがワークに接触しないようにトーチ角度を開先奥部と外周部とで変化させ, 各層3パ

Fig. 9 Outside diagram of robot body adopted

Fig. 10 Welding states

スまでの ψ_0 を 22.5° , それ以降の外周を 45° に設定した. このトーチ角度において母材傾斜角度 $\beta = 30^\circ$ の場合でも溶接金属の垂れ落ちは発生しなかった (Fig. 6).

4. 実機モデルへの適用結果

Fig. 9 は実機モデルに適用した産業ロボットの構成を示す. BD 軸でトーチ角度, SW 軸で枝管のまわりにトーチを回転させ, 各層の1パスを連続溶接する. 1パスの溶接が終了すると溶接開始点をずらし, 溶接方向を反転して次パスへ進み, 全パスが終了するまでこれを繰返した.

そこで, 第3章で検討した溶接諸条件を産業ロボットの制御プログラム⁵⁾に入力し, 前記 Table 1 のワーク形状を溶接した. なお, その他産業ロボットの制御および動作は第1報で示したようである.

Fig. 10 は産業ロボットによるノズル部の溶接状況を示す. (a)はトーチを基準面 ($\theta = 0^\circ$) に設置した状況で, 初層1パス目の溶接開始直前を示し, (b)は溶接中を示す. 溶接に当たってはパス間温度は規定していないが, 層間温度は 100°C (表面温度計で測定) で抑えた.

Fig. 11 は溶接後のビード外観およびビード断面形状を示す. ビード表面およびビード断面とも良好な結果が得られた.

溶接は順調に行われ, 本産業ロボットによる溶接施工法が従来の手動による溶接方法に比べて安全性および作業能率において著しく効用あることが実証された.

なお, 今回対象としたワーク形状は Table 1 のようである. 母管および枝管の外径をそれぞれ D_0, d_0 とする

Fig. 11 Bead appearance and cross section

と、 d_0/D_0 の値が大きく1に近いほど母管表面の傾斜は大きくなるので、ビード表面の平滑化の点から問題となる。実機モデルでは d_0/D_0 の値は0.6で、この場合の母管表面の傾斜角は約 36° である。また、表中の母管表面の傾斜角が最も大きくなるワーク形状 ($d_{0\text{ Max.}}/D_{0\text{ Min.}} = 450/550$) のそれは 43.7° となる。従って、この傾斜角が 45° 以下の場合において溶接表面は平滑ビードが形成されており (Fig. 6), 溶接施工上問題ないものと考えられる。

5. 結 言

母管と枝管が交差する鞍型ノズル部の溶接施工法の確立を目的に、マイクロコンピュータで制御される産業ロボットを用いて MAG 溶接した。結果を要約すると次のようである。

1) 自動化に適した積層法として、1パス当たりのビード幅および積層高さを一定とする積層法を提案し、枝管全周にわたり同一パス数で積層制御する溶接方法を確立した。

2) 溶接量は溶接速度の変化による $V = V_0 \cdot \cos \beta$ (こ

こに V : 母管表面の傾斜角度 β での溶接速度, V_0 : 基準面での溶接速度, β : 母管表面の傾斜角度) で制御し、ビード幅を 6 mm に設定した場合の1パス当たりの積層高さは 3.2 mm になる。

3) MAG 溶接条件 (低周波パルス, 95% Ar + 5% CO_2 , ワイヤ突出長さ 20 mm) は 200 A, 24 V で、溶接速度は上記2)の V_0 を 30 cm/min に選定した。

4) 厚肉の実機モデルの多層溶接を行い、ビード外観およびビード断面とも良好な結果を示し、従来の手動による溶接方法に比べて安全性および作業能率において効用あることを確認した。

上記結果より、第1報で示した溶接自動化の考え方および制御プログラムに用いるアルゴリズムの有効性を確認することができた。

謝 辞

本研究遂行に際して、種々御指導いただいた当社・生産技術推進センターの妹島五彦氏、日立研究所・小倉慧氏、習志野工場・土橋 亮氏ならびに実験に協力された機械研究所・鈴木静夫氏に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 安藤, 榎本, 荒谷, 坂上; 産業用ロボットの溶接への応用, 日立評論 59 (1977), No. 11, 5-10
- 2) 上田, 藤村, 原, 内佐; 鋼管T継手自動溶接法の研究, 三菱重工技報 11 (1974) No. 2, 63-71
- 3) 小方; 各種圧力容器の溶接自動化について, 神戸製鋼技術ガイド No. 98 (昭53-6), 5-12
- 4) N. Miyake, Ando, H. Miyake, Saikawa, Ohnishi and Tokuno; Multi-pass Welding of Nozzles by an Industrial Robot, Proc. 10th ISIR 1980 51-69
- 5) 才川, 安藤, 大西, 三宅徳, 三宅洋, 徳野; ノズル部の多層溶接に関する研究 (第1報), 本誌 2 (1984) No. 2, 71-77