配管の自動溶接に関する研究(第1報)*

—遠隔操作式 TIG 溶接機の計算機制御装置—

大前 力** 三宅 洋*** 小園 裕三***
小山 高一*** 荒谷 雄*** 山下 善孝****

Study on Automatic Welding of Pipe (Report 1)*

—A Computer Control System of Remote Control TIG Welding Equipment—

by Tsutomu Omae**, Hiroshi Miyake***, Yuzo Kozono***

Koichi Koyama***, Takeshi Araya*** and Yoshitaka Yamashita****

In a nuclear power plant, a large number of pipes must be set in very complex and narrow places. A remote control pipe welding equipment is developed, in order to solve difficulty of welding in such a narrow place. Characteristics of this equipment are summarized as follows.

- (1) All welding sequences are controlled by a mini-computer.
- (2) From the information displayed on the screen of control panel, which includes a TV monitor, the operator can evaluate results of welding, torch positioning and the groove shape.
- (3) The operating panel includes a keyboard which is used for parameter input and for communication with the welding equipment to make necessary adjustment.

1. 緒 言

溶接技術の進歩に伴い、高度な機能をもつ溶接機の開発が望まれている。一方、エレクトロニクスの分野における LSI 技術の進歩は著しく、小型でかつ安価なマイクロ・コンピュータが得られるようになり、計算機が使用しにくい分野への応用が考えられている。溶接の分野にも、最適溶接条件を決定するアルゴリズムの開発とその利用、各種自動溶接機への導入等が計画または実施されており²⁾、今後は高機能を有する溶接機の制御装置に計算機の導入が図られていくものと思われる。この場合には計算機をどのような方法で導入していくかが大きな検討課題である。

このような観点から本報は、原子力、火力プラントのような各種配管が入り組んだ狭い場所での溶接作業を遠方より操作して行う遠隔操作式配管溶接機³⁾として、計算機による制御装置を検討した。なお、本溶接機による溶接施工法の検討は、次報で行う予定である。

2. 溶接機の概要

遠隔操作式配管溶接機³⁾の仕様は Table 1 のようであり、溶接ヘッドに視覚装置と触覚装置を備えている。視覚装置は、ITV カメラと光学系から成り、溶接状況を遠方の制御装置にある TV モニタに写し出す。触覚装置は、金属表面からの距離に応じた電圧を出力する触覚センサーから主として構成されている。

これら監視装置を用いて配管の開先を食い、溶接状況を TV モニタで監視して、遠隔操作にて作業を行う溶接機である。

Table 1 Specifications of remote control pipe welding equipment

Welding method	Automatic tungsten inert gas arc welding
Power source	Peak : 500A average (max.) : 350A Low pulse : 0.2 ~ 20 HZ High pulse : 20 ~ 2000 HZ
Welding head	Automatic arc voltage control mechanism (AVC) Welding speed : 30 ~ 400 mm/min Wire feeding speed : 200 ~ 2000 mm/min Weaving speed : 50 ~ 120 cm/min Width of weave : 0.1 ~ 70.0 mm
Control equipment	Synthesized control by a mini-computer (HIDIC -08)

*原稿受付 昭和55年6月4日(昭和53年度秋季全国大会にて発表)

**(株)日立製作所 Hitachi, Ltd.

***正 員 (株)日立製作所 Member, Hitachi, Ltd.

****日立精工(株) Hitachi Seiko Ltd.

Fig. 1 Computer control equipment for remote control type automatic pipe welder

3. 制御装置の構成

Fig. 1 は制御装置の外観を示す。表面には表示盤と操作盤とがあり、表示盤には溶接状況を監視するTV モニタ、条件等を表示するドットディスプレイ並びに開先形状および台車位置の表示ランプがある。操作盤には溶接条件設定用キーボードスイッチ、微調整ダイヤル、ITV 制御スイッチ、インチングスイッチ等がある。制御装置内部には制御用計算機 (H-08) を中枢とした各種制御回路があり Fig. 2 のシステム構成となっている。視覚制御を除いた回路は、すべて計算機の総括制御のもとに動作する構成であり、速度および位置制御系については Fig. 3 の構成を基本としている。

Fig. 3 の速度および位置制御系は、それぞれ速度および位置検出器を用いた閉ループとなっており、指令は計算機から D-A 変換器を介して与えられる。また、計算機からの指令とは独立に、作業者が微調整ダイヤルを動作して溶接条件の調整を行う構成としている。さらに、インチング時には計算機からの指令によらず、操作盤のインチングスイッチのみで速度および位置制御系が動作される。

なお、溶接状況を監視するために溶接ヘッドに取り付けられている ITV カメラの光学系は、操作盤の ITV 制御スイッチにより作業者が直接に調整することができる。

4. 計算機での処理内容

配管溶接機では配管位置に応じて各層の溶接条件を変更する必要がある、この条件の設定方法が総括制御装置を構成する上での課題である。

溶接条件の設定方法としては、(1) 1つの条件に対して1個の可変抵抗器を対応させて設定する方法、(2) ピンポ

Fig. 2 Block diagram of control equipment system

Fig. 3 Basic construction of position and velocity control system

ードで設定する方法, (3)キーボードスイッチから入力して記憶装置へ記憶する方法, (4)テープリーダから入力して記憶装置へ記憶する方法等が考えられる。前者の2方法は可変抵抗器, ピンボードの位置そのもので設定値が記憶できる機能を有するという利点があるが, 条件の変更点数が多い場合には個数が多くなり, 操作盤が非常に大きなものとなる。一方, 後者の方法では入力は簡単であるが記憶装置が必要なこと, および設定する場合のフォーマットをどうするかなどの課題がある。

以上の点から, 本溶接機では制御用計算機を中枢として用いること, および条件設定点数が非常に多い場合に簡単な後者のコアメモリに記憶する方式を用いることにした。特に, 計算機の取扱い方を全く知らない溶接作業者が操作できるように, 溶接条件名を列記したキーボードスイッチにより入力できる方式とした。さらに, 必要最低限の条件を入力するだけで, 別に定める溶接条件決定用溶接アルゴリズムに従って条件設定を行える点は従来のハードロジックでは非常に難しい。

前章までに述べた制御装置を用いて, 計算機の処理を実行する方法について説明する。

4.1 全体構成

溶接機では Table 2 に示す 6 動作を基本とし, これらの組み合わせにより溶接作業を行う。このために計算機の処理は Fig. 4 のように 6 動作を判定, 処理するフローチャートになっている。

操作盤の動作モードを判断し, プログラムおよび再生モードとなったときには, モードを記憶し表示するのみで, 後述する溶接条件設定時に実際の処理を行う。

インチングモードでは, 速度および位置制御系をインチングスイッチで動作するよう切替るとともに, 現在位置のドットディスプレイへの表示, エンドリミット等の異常状態の監視処理を計算機は実行する。

テストモードでは, 台車を正転させるとともにトーチのウィービング動作を行い, 台車走行状態およびウィービング動作の確認を行う。逆転して元の位置に戻ってくるときには, 触覚装置により開先検出を行い, その値を開先形状表示ランプに表示させ, 作業者が値を確認できる。異常な値を示したときには計算機が自動的に判断し, 警報を発し, 表示を行う。

プリセット溶接とアルゴリズム溶接では, 溶接条件の設定の仕方が異なり, プリセット溶接の場合は, 作業者が操作盤から入力したデータの値そのものを用いて溶接するが, アルゴリズム溶接では入力されたデータをもとに別に定めた溶接条件決定用アルゴリズムにしたがって計算し, その計算値を用いて溶接する。これらの溶接作業は, 自動スイッチを ON することで配管上を一周溶接

Table 2 Moving mode and treatment

Moving mode	Treatment
Inching	Inching movements and welding head position display
Program	Set up and memorization of welding conditions from keyboard
Repetition	Display and modification of input welding conditions
Test	Driving check and groove memorization reversing
Preset welding	Used for welding with preset conditions input with keyboard
Algorithm welding	Used for welding with conditions calculated with welding algorithm

Fig. 4 Flow chart of complete treatment

し, 逆転して戻ってくるときに開先形状検出を行う方式となっている。

このように, ここで採用した方式の特徴は正転時に溶接を, 逆転時に開先検出を行うことにあり, これら2つの具体的な方法については後述する。

なお, 配管の円周方向の一部分のみを溶接したいときには修正用スイッチを操作し, Fig. 4 の修正時のフローを経由して部分的な溶接作業が可能となる。ただし, このときのトーチ中心位置は手動で設定し, 計算機による開先検出は行わない。

4.2 溶接条件の設定方法

配管溶接の場合には, 各層各配管位置で溶接条件を変更させる必要があり, 層数が多くなると設定用可変抵抗も多くなり, 制御盤構成が複雑になる。そこで, 本報では計算機の記憶能力を活用し, キーボードスイッチとコ

アメモリを用いて溶接条件を設定する方式とした。

すなわち、溶接条件の設定は次の操作により行う。まず、プログラムモードを選択する。この状態でキーボードスイッチが押されると、Fig. 5 の処理を実行し、入力された溶接条件が記憶装置の所定エリアに記憶される。入力した値はドットディスプレイに表示される。このような操作をすべての条件が設定されるまで行う。このような方法を基本とするが、具体的な設定方法としては下記の2通りの方法がある。

第1の方法は、各層、各配管位置毎の電流、電圧等の溶接条件をすべてプリセットで設定する方法である。もちろん、各層で同じデータを設定したいときには簡便な方法が用意されている。

第2の方法は、配管の板厚、パイプ径等の必要最小限のデータを入力し、各配管位置毎の電流、電圧等の条件は溶接条件決定用アルゴリズムにしたがって計算機で演算し、その結果を記憶しておく方法である。この方法に

Fig. 5 Setting up of welding conditions

よると、簡単な操作で多くの溶接条件を設定することができる。

また、再生モードは、作業者が溶接条件を確認したいときに用いるものである。このモードでキーボードスイッチが押されると、指定された層、配管位置での溶接条件がドットディスプレイ上に表示される。表示された条件を修正したい場合には、キーボードスイッチで新しい条件を入力すれば、指定された条件のみが変更できる。このように再生モードでは、記憶されているデータの表示と修正が行える。

4.3 溶接方法

Fig. 4 の溶接と示した部分の詳細なフローチャートが Fig. 6 であり、このフローに基づいて計算機の処理は実行される。Fig. 6 のフローは Fig. 7 のタイムチャートで

Fig. 6 Flow chart of welding treatment

Fig. 7 Time chart for pipe welding

示したシーケンスを処理するように構成されており、以下、Fig. 6 および 7 を参考に動作を述べる。

溶接処理に入ると、最初に Ar ガスと記録計の起動を行う。指定されたプリフロー時間が経過すると、高周波スタートを行い電極に電流を流す。電流が流れたことを確認してからアップスロープ処理を行い、徐々に電流を増加させて台車走行をはじめとする各要素を動作させる。さらに、ローパルス電流の起動も行う。以後は溶接条件の変動する時点になったとき、記憶されている条件を各要素の指令値として与える動作を繰返す。この動作を繰返している間に、計算機では配管位置および溶接条件の表示と各要素の異常の有無の点検も行っている。そして一周の溶接が終了するとワイヤ送給、ウィーピング、ローパルス、AVC (Arc Voltage Control) 等を停止させ、ダウンスロープ処理に移る。ダウンスロープ処理終了時にクレータ処理を行い、台車走行、電源を停止し、アフターフロー時間を経過後、記録計、Ar ガスも停止させ溶接を終了させる。

以上、説明したように計算機では Fig. 7 のシーケンス動作を実行するとともに、溶接条件をドットディスプレイ上に表示することで遠隔操作性を良くしている。さらに、シーケンス処理の合間に各要素の異常点検を行っており、危険な状態では速やかに作業を停止することができる。なお、Fig. 6 には記述していないが、作業者が溶接を途中で停止させたときの処理も計算機で行い、かつその場合の溶接条件、トーチ位置をタイプライタで印字する構成となっている。

4.4 開先形状検出方法

4.2 節で述べたように、開先形状検出は前層溶接終了後に原点位置へ戻ってくる途中で行う。この場合の計算機での開先形状検出処理を Fig. 8 に、動作説明を Fig. 9 に示す。

最初に触覚装置を溶接条件を変更する配管位置に位置決めする。この点で、台車を停止させセンサを配管上の一定距離 h_1 に位置決めし、センサを開先面上で Fig. 9(a) のように移動させる。これは開先両端部に対して高い方の端部からセンサまでの距離 h_a を求め、開先に目違い量があってもセンサを配管に衝突させることなく検出動作を行わせるためのものである。次に、センサを高い方の端部 (例えば Fig. 9 では右端) から一定距離 $h_0 (< h_1)$ に位置決めする。この状態で左端から右端へ移動する。この途中で計算機には左端の値 y_1 、最大深さ y_2 、右端の値 y_3 を記憶するとともに、フライス電圧 y_s を次式

$$y_s = y_1 - \alpha/3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\alpha = y_1 - y_2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

で求める。

Fig. 8 Detection of groove shape

Notes; y_1, y_2, y_3, x_1, x_2 : refer to Fig. 9
 y_s : slice voltage
 h_c : groove depth
 x_c : groove center

Fig. 9 Detection of groove shape when sensor is moving

Notes; h_c : groove depth
 x_c : groove center

次に、右端から左端へ移動していき、センサを出力電圧 y_s と等しくなったときのセンサの位置 x_2, x_1 を求める。この値から開先中心位置 x_c を次式

$$x_c = (x_1 + x_2)/2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

で求め記憶しておく。また、開先深さ h_c は(2)式の α をもとに次式

$$h_c = K_1 \cdot \alpha + K_2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

で求める。ただし、 K_1, K_2 は定数である。

このように求められた x_c, h_c の値は記憶されるとともに、検出した時点で表示され作業者は確認できる。

このような動作を溶接条件を変更する 6 ケ所の位置で行い、すべての検出値を記憶し、次層の溶接時に使用できる状態にしておく。

以上述べたように, 計算機のソフトウェアを主体として開先形状検出を行うので, ハードウェアが簡単となるとともに, 信頼性の高い検出が可能となる。

5. 結 言

溶接機の制御に計算機を導入する方法について, 遠隔操作式配管溶接機への実用化を例に検討した。これらの結果から下記のことが明らかとなった。

1) 高機能を要する溶接機では, 計算機の導入で制御装置のハードウェア機構が簡単となり, 操作性, 保守性, 信頼性が向上する。

2) 溶接条件決定のアルゴリズムの導入が可能とな

り, 溶接条件の設定が簡単となる。

3) 開先形状検出が安定に精度良く行え, 自動微い制御性能が向上できる。

4) 計算機の情報処理で各作業中に適した情報が表示できるので, 操作性をさらに向上できる。

5) 自動点検が簡単になり, 保護機能の拡張および故障診断の付加が容易である。

参 考 文 献

- 1) 益本: 溶接技術へのコンピュータの利用; 本誌, 46-3 (1977) 16-20
- 2) 坂上, 三田, 荒井, 野村, 成瀬: 自動多層溶接装置の開発, 溶接学会全国大会講演概要第22集 (1978), p. 238-239
- 3) 吉田: 配管の遠隔操作による自動溶接, 溶接技術, 1977-9, p. 15

溶加材を用いた湿式水中プラズマ溶接部の改善に関する一実験*

福島貞夫** 福島 孟** 衣川純一**

Preliminary Experiment on Improvement of Underwater Wet Plasma Welds Using Filler Metal*

by Sadao Fukushima, Takeshi Fukushima** and Junichi Kinugawa**

The possibility of improving the ductility and notch toughness of underwater wet plasma welds was investigated by controlling the chemical composition of them using filler metals.

The welding environment was selected in fresh water under the pressurized condition of 10 kgf/cm² [gauge].

Results of this experiment are summarized as follows.

(1) Two kinds of filler metals, one of them had the basic composition of 0.013 wt% carbon, 0.081 wt% silicon, 1.05 wt% manganese and iron as the balance—base filler metal—and the other was added 0.59 wt% titanium to the above-mentioned base filler metal, were shown the possibility of improving the ductility of single pass double Vee butt joint.

(2) Addition of niobium alone or molybdenum with boron to the base filler metal had less contribution to the improvement of weld metal ductility.

(3) It is necessary to reconsider the chemical composition of filler metal for filled pass in multi-pass welding, because the dilution of the deposited metal with the base metal in filled pass differs from that of the root pass.

1. 緒 言

湿式水中溶接は, 固体壁を用いて溶接箇所を囲い, 内部の水を排除して行う乾式水中溶接と比べ, その手軽さ

や溶接コストの安価さから依然として興味が持たれている。しかし, この場合, 周囲の水による冷却の影響や溶接金属の水素吸収, 酸化反応などにより溶接金属の延性, じん性が低下しやすい。この問題に対処するため, 各種の被覆アーク溶接棒を用いた比較試験を主流とする種々の研究が行われている。

*原稿受付 昭和55年 6月26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