
遠隔操作式T I G円周自動溶接工法の開発

Development of Remote-Controlled Circumferential TIG Welding System

藤本 智也(Tomoya Fujimoto) 志賀 厚(Atsushi Shiga)

要旨：

映像と音響を通し溶接モニタする遠隔操作式T I G円周自動溶接工法を開発，これを水道用ステンレス管やガス管の現地溶接に適用した。(1) 溶接時には画像と音響を勘案しつつ，入熱量の制御，タングステン電極，フィラワイヤ，熔融池の相対位置関係調整，ウィービング条件の更改，ワイヤ供給量の増減などを適時実施する。(2) V型開先時にはバックシールドガスが管外へ散逸するのを防ぐとともに芯出しの容易性を加味し，ルート間隔を零にするのが望ましい。この場合，開先角度は 100° ～ 105° まで上げ，ルート面は1 mm以下に抑える必要がある。また，許容目違いは1 mm以下となる。(3) 15° の傾斜管においても水平固定管と同様の溶接施工が可能である。(4) SUS 316 ステンレス管のT I G円周溶接継手部は引張，曲げ，硬さ性能とも良好である。(5) 本工法の実用性ならびにモニタリング機能の有効性が確認できた。

Synopsis：

A remote-controlled circumferential TIG welding system monitored through pictures and sounds of the arc and surrounding area has been newly developed. (1) During welding, the above-mentioned system performs appropriate adjustments of: 1) control of heat input, 2) changing of the wire feed rate, and 3) correlations between the tungsten electrode position, filler wire setting point and molten pool front line, etc. (2) For a V-groove, it is preferable to hold a root without opening in order not only to prevent the back shielding gas from leaking out of pipe but also to simplify pipe fitting. In such a case, it is necessary to use a groove angle of 100° to 105° , and a root face within 1-mm width. Also, the tolerance of misalignment ("high"- "low") is below 1 mm. (3) Even in the case of 15° inclined pipe, it is feasible to weld in the same manner as for horizontally fixed pipe. (4) Mechanical properties of circumferential TIG weld joints of SUS 316 stainless steel pipe are all satisfactory. (5) The newly developed system has proved successful both in practical application and welding monitoring.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Development of Remote-Controlled Circumferential TIG Welding System



藤本 智也
Tomoya Fujimoto
エンジニアリング事業
部 パイプライン技術
部パイプライン技術室
主査(部長補)



志賀 厚
Atsushi Shiga
エンジニアリング事業
部 研究開発センター
施工研究室 室長(部長
補)

1 まえがき

最近、水道用管体の経年劣化や管内面の腐食などに起因して、出水不良や赤水の発生、臭気が著しいなどの問題点が指摘されている。これに対処するため、水道用ステンレス管が漸次適用拡大の気運にある。

この場合、現地における配管接合では TIG 溶接の自動化が要望されており、その背景には円周溶接継手部の品質向上、接合能率の増大、熟練溶接士不足などがある。

ところで TIG 溶接については一部の自動溶接装置が工場内での部材加工に適用されている以外、現在のところ現地接合用として汎用されているシステムは数少ない。

ここでは、現地配管工事での溶接作業の安定化、簡易化を目的として、溶融池近傍のカラー画像と溶接音をモニタに利用、リアルタイムで溶接条件を補正できる固定管の遠隔操作式 TIG 円周自動溶接工法を開発したので、その概要について述べる。

2 遠隔操作式 TIG 円周自動溶接工法

2.1 装置構成

本工法の全体構成を Fig. 1 に示す。すなわち、パイプ外面に溶接ヘッド台車を設置、一方、遠隔位置に溶接電源¹⁾、制御装置、ディスプレイやスピーカを搭載したリモートコントロール盤、トーチ水冷装置などを配置する。Table 1 にこれらの主な仕様を示す。

2.2 溶接モニタリングシステム

遠隔操作方式による溶接モニタリングシステムの概要を Fig. 2

要旨

映像と音響を通し溶接モニタする遠隔操作式 TIG 円周自動溶接工法を開発、これを水道用ステンレス管やガス管の現地溶接に適用した。(1)溶接時には画像と音響を勘案しつつ、入熱量の制御、タングステン電極、フィラワイヤ、溶融池の相対位置関係調整、ウィービング条件の更改、ワイヤ供給量の増減などを適宜実施する。(2)V型開先時にはバックシールドガスが管外へ散逸するのを防ぐとともに芯出しの容易性を加味し、ルート間隔を零にするのが望ましい。この場合、開先角度は $100^{\circ} \sim 105^{\circ}$ まで抜け、ルート面は 1 mm 以下に抑える必要がある。また、許容目違いは 1 mm 以下となる。(3) 15° の傾斜管においても水平固定管と同様の溶接施工が可能である。(4) SUS 316 ステンレス管の TIG 円周溶接継手部は引張、曲げ、硬さ性能とも良好である。(5)本工法の実用性ならびにモニタリング機能の有効性が確認できた。

Synopsis:

A remote-controlled circumferential TIG welding system monitored through pictures and sounds of the arc and surrounding area has been newly developed. (1) During welding, the above-mentioned system performs appropriate adjustments of: ① control of heat input, ② changing of the wire feed rate, and ③ correlations between the tungsten electrode position, filler wire setting point and molten pool front line, etc. (2) For a V-groove, it is preferable to hold a root without opening in order not only to prevent the back shielding gas from leaking out of pipe but also to simplify pipe fitting. In such a case, it is necessary to use a groove angle of 100° to 105° , and a root face within 1-mm width. Also, the tolerance of misalignment ("high"—"low") is below 1 mm. (3) Even in the case of 15° inclined pipe, it is feasible to weld in the same manner as for horizontally fixed pipe. (4) Mechanical properties of circumferential TIG weld joints of SUS 316 stainless steel pipe are all satisfactory. (5) The newly developed system has proved successful both in practical application and welding monitoring.

に示す。溶接時、オペレータは映像と音響を監視しながらフィラワイヤの上下、左右位置やトーチ上下位置、電流・電圧値、ワイヤ供給量、台車速度などを微調整する。これらの操作はすべて先のリモートコントロール盤を通して行う。

トーチまわりは Photo 1 に示すとおりであり、溶融池を観察する撮影用カメラ、それ用のフィルタ、照明ランプおよびアーク音をとらえる收音マイクが装備されている。これらの仕様を Table 2 に示す。

* 平成 2 年 7 月 19 日原稿受付

2.4 特 徴

開発した本工法の特徴を列挙すると以下のとおりである。

- (1) 溶融池近傍の映像と音響を溶接モニタに利用した遠隔操作溶接。
- (2) パルスアークによる深溶込み溶接²⁾。
- (3) 管の周囲スペースは 200 mm あれば溶接可能で、会所掘りは不要。
- (4) 溶接条件はプリセット。
- (5) 溶接状況はビデオに収録。

3 自動溶接実験

3.1 適正開先の検討

3.1.1 形 状

ステンレス管の円周溶接では裏波の酸化を防止するためバックシールドが必須となる。このため、管内に封じこめたシールド用アルゴンガスの管外への散逸防止を図るとともに、芯出しの容易性を加味し、ルート間隔零の V 開先形状を検討した。母材は 6 mm 厚の SUS 316 鋼板、ワイヤは径 1 mm の TIG 溶接用材である。

結果は Fig. 3 に示すように、開先角度が 90° および 100° ではルート面 1.0 mm 以下、110° ではルート面が 1.5 mm 以下なら、上向き姿勢においてもへこみのない良好な裏波が得られる。

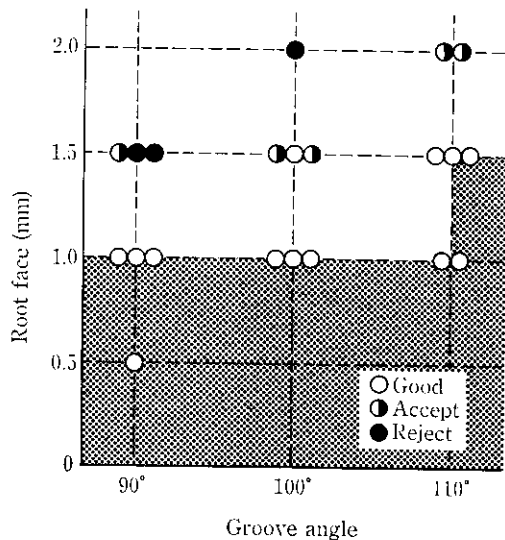


Fig. 3 Relation between root face, groove angle and penetration bead

3.1.2 目 違 い

開先角度を 90°, 100°, 110°, 目違いを 0 mm から最大 1.5 mm まで設定し溶接した。結果は Fig. 4 に示すとおりであり、1 mm 以内の目違いであれば上向き姿勢においても満足できる裏波が得られる。

3.2 傾斜管への適用性

水平線に対し、管軸の傾斜角度を、5°, 10°, 15° にとり円周溶接した。その結果、15° 傾斜においても溶融金属の谷側への流れ込みや管底部での著しい垂れ下がり認められなかった。すなわち、

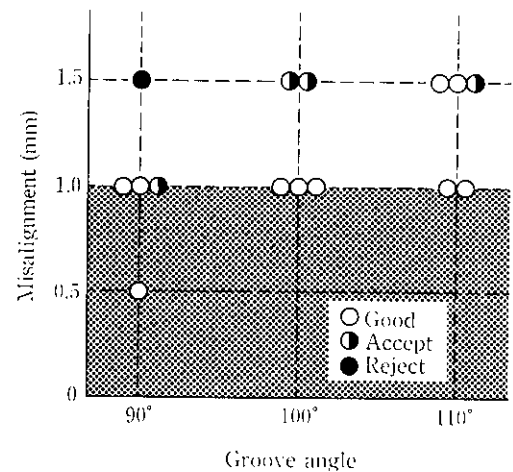


Fig. 4 Relation between misalignment ("high"—"low"), groove angle and penetration bead

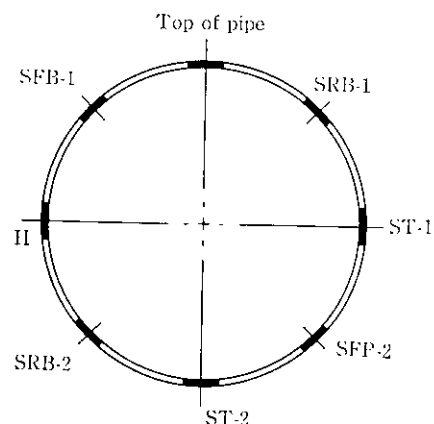
傾斜角度 15° においても水平固定管と同様の溶接施工が可能である。

3.3 継手性能

SUS 316、管径 500 A、厚さ 6 mm のステンレス管を供試、ワイヤには径 1 mm の TIG 溶接用材を使い、円周溶接を行って、継手部の機械的性能を調査した。Table 3 に供試管体ならびにワイヤの化学組成を、Fig. 5 に各種試験片の採取位置を示す。

Table 3 Chemical composition of pipe body and filler wire (wt. %)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
Pipe body	0.05	0.52	0.85	11.74	17.60	2.16
Filler wire	0.05	0.38	1.86	12.57	19.14	2.50



ST: Tensile test specimens
SFB: Face bend test specimens
SRB: Root bend test specimens
H: Hardness test specimens

Fig. 5 Positions of mechanical test specimens

JIS Z 3121 に基づく引張試験結果は Table 4 に示すとおりであり、破断箇所はいずれも溶接金属部ではあるものの、強度は規格値 520 N/mm² を上まわり、また延性も良好であった。一方、曲げ試験は JIS Z 3124 に準拠して実施した。試験後の曲げ試験片状況を Photo 3 に示す。欠陥は皆無であった。硬さ分布は Fig. 6 に示

Table 4 Tensile test results of weld joint

Specimen No.	Tensile strength (N/mm ²)	Location of rupture
ST-1	584	Weld metal
ST-2	560	Weld metal

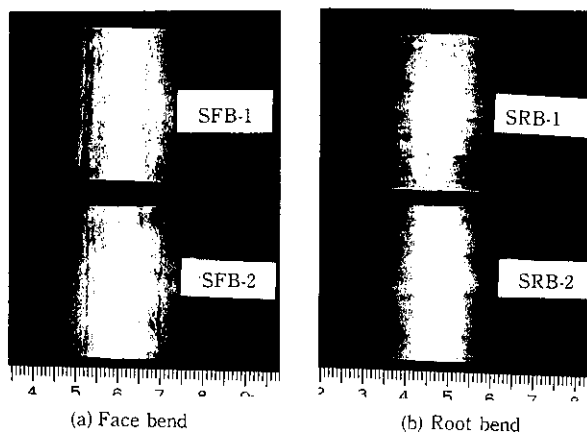


Photo 3 Bend specimens tested

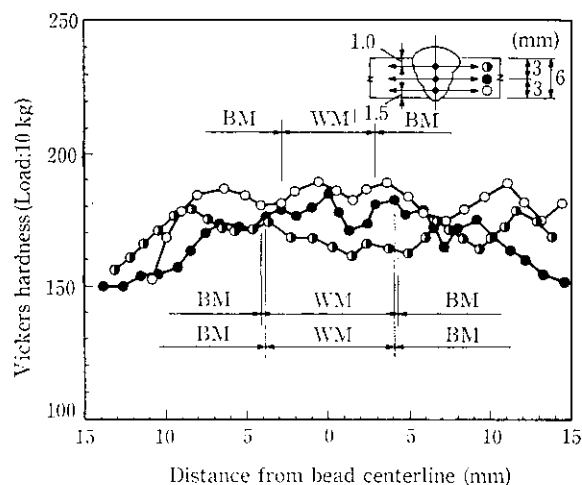


Fig. 6 Hardness value of weld joint

すとおりであり、問題となるような硬化は認められなかった。

4 現地実工事への適用

4.1 ステンレス鋼水道管溶接の場合

対象管は SUS 316 のステンレス管で管径 400A、厚さ 8 mm、単管長 6 m を有する。開先形状は Fig. 7 のとおりであり、溶接条件、ワークタイムは Table 5 に示す。ワイヤには径 1 mm のものを、ア

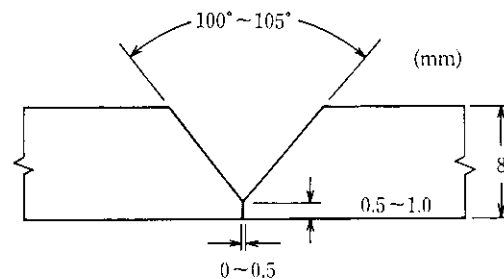


Fig. 7 Groove geometry

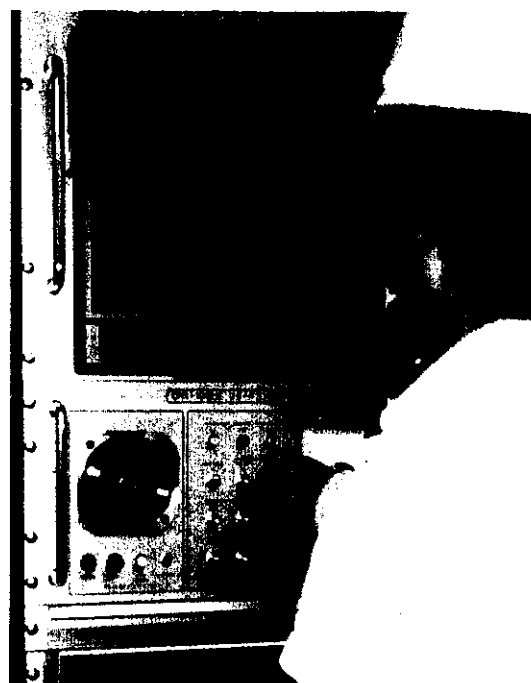


Photo 4 Remote control operation during welding

Table 5 Welding condition and arc time for SUS 316 pipe

Pass	Welding current (A)		Arc voltage (V)		Travelling speed (mm/min)	Dwell time (s)			Wire feed rate (mm/min)		Arc time (min)
	I_P	I_B	V_P	V_B		T_L	T_C	T_H	W_P	W_B	
1	100~105	95~100	9.0	—	85	0	0	0	650	750	15
2	210~220	60~70	9.3	6.5	75	0.4	0.4	0.4	1 050	1 000	17
3	220~230	90~95	9.3	7.3	70	0.4	0.4	0.4	1 750	1 300	18
4	230~240	90~95	9.3	7.3	65	0.5	0.5	0.5	2 050	1 550	20
5	200~220	115~125	9.3	7.3	50	0.5	0.5	0.5	1 650	1 050	25
Total											95

ークシールドならびにバックシールドにはアルゴンガスを用いた。得られた主な結果は以下のとおりである。

- (1) 1日3継手の接合が可能である。
- (2) 継手品質は放射線透過試験で JIS 2 級以上を確保した。
- (3) 開先角度を $100^{\circ} \sim 105^{\circ}$ まで拡げることにより、ルート間隔なしでも安定した裏波溶接が可能である。
- (4) 遠隔溶接は支障なく進行し、十分実用できることがわかった。

Photo 4 に現地での遠隔溶接操作状況を示す。

4.2 普通鋼ガス管溶接の場合

対象管は SGP で管径 350 A、厚さ 7.9 mm、単管長 5 m を有する。開先形状は先のステンレス管と同一であり、目違いは全周 1 mm 以下に抑えた。積層図ならびに積層手順を Fig. 8 に、溶接条件、アークタイムは Table 6 に示す。ワイヤには径 1 mm のものを供した。結果は以下のとおりである。

- (1) アークタイムは1箇所 50 分。

- (2) 全周全箇所放射線透過試験を実施した結果、65枚のフィルム中、63枚が JIS 1, 2 級、残り2枚が3級であった。2 級以上の合格率は 97% で安定した品質が得られた。
- (3) $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ の傾斜管に対しても遠隔溶接は円滑に実施できた。

Photo 5 に溶接状況を例示する。

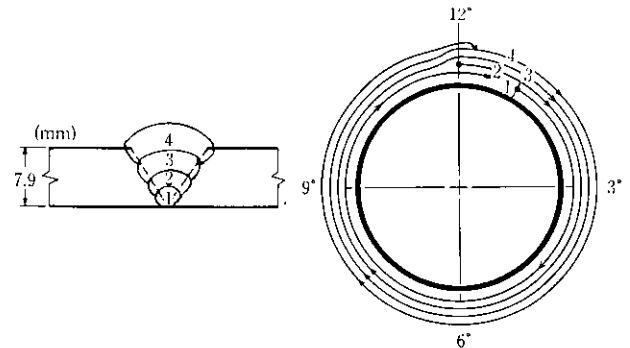


Fig. 8 Pass sequence and build-up condition

Table 6 Welding condition and arc time for SGP pipe

Pass	Welding current (A)		Arc voltage (V)		Travelling speed (mm/min)	Dwell time (s)			Wire feed rate (mm/min)		Arc time (min)
	I_P	I_B	V_P	V_B		T_L	T_C	T_R	W_P	W_B	
1	145~150	140~145	8.8	—	100	0	0	0	700	760	11
2	280~290	110~120	10.5	8.5	95	0.4	0.4	0.4	2 410	1 270	12
3	290~300	110~120	10.5	8.5	85	0.5	0.5	0.5	2 410	1 500	13
4	280~290	120~130	10.5	8.5	80	0.5	0.5	0.5	2 410	1 500	14
Total											50



Photo 5 View of welding operation

4.3 モニタリング機能の有効性

映像と音響の双方から溶接状況を遠隔モニターする方式を採用することにより、次のような効果が確認できた。

- (1) 固定管の全姿勢溶接が高度の熟練、重労働から解放され、当システムの基本的な操作技能と知識を習得するだけで容易に施工できる。
- (2) アンダカット、余盛不足などの表面欠陥、偏肉ビード、アークの偏向、ワイヤの曲がりなど、画像より直接判別できる不具合に対しては即時対応、修正できる。
- (3) 溶接条件に伴うアーク音、タングステン電極とフィラワイヤの近接に伴う派生音、フィーダモータの回転音などから溶接条件の適否が判断できる。すなわち、これらを利用することにより溶接欠陥の発生を予防して、適正な溶接施工が可能となる。
- (4) ビデオフィルムにより溶接当時の溶融池状況が再現でき、技術的な事後検証、考察が容易となる。
- (5) 狭小で深い掘削溝内の現場円周溶接を地上にて遠隔操作でき、安全衛生環境に優れた作業が行える。

5 ま と め

ステンレス管の水道用管材への適用拡大に呼応して、TIG 溶接継

手部の品質向上、接合能率の増大、熟練溶接士減少に対処するため、自動化施工を検討した。得られた主な結果は以下のとおりである。

- (1) 溶融池ならびにその近傍のカラー画像と音響を溶接モニターに利用した遠隔操作式 TIG 円周自動溶接工法を開発した。
- (2) 溶接時には画像と音響を勘案しつつ、入熱量の制御やタングステン電極、フィラワイヤ、溶融池の相対位置関係調整、ウィービング条件の更改、ワイヤ供給量の増減などを適宜実施する。
- (3) V 型開先時にはバックシールドガスが管外へ散逸するのを防ぐとともに芯出しの容易性を加味し、ルート間隔を零にするのが望ましい。この場合、開先角度は $100^{\circ} \sim 105^{\circ}$ まで拡げ、ルート面は 1 mm 以下に抑える必要がある。また、許容目違いは 1 mm 以内となる。
- (4) 15° の傾斜管においても水平固定管と同様の溶接施工が可能である。
- (5) SUS 316 ステンレス管の TIG 円周溶接継手部は引張、曲げ、硬さ性能とも良好である。
- (6) 本工法を水道用ステンレス管やガス管の現地溶接に適用した結果、実用性とともによりモニタリング機能の有効性が確認できた。

参 考 文 献

- 1) 今泉 啓:「最近のパイプ・チューブ自動溶接システム」, 配管と装置, 26 (1986) 3, 7-15
- 2) 山本英幸, 原田章二:「最近の CO_2 ・MAG 半自動溶接機について」, 溶接技術, 29 (1981) 7, 21-28