

全姿勢対応狭開先 MAG 溶接法の開発

All Position Narrow-Gap MAG Welding for Heavy Wall Structures

長崎造船所 波多野 怜^{*1} 飯島 史郎^{*2}
馬淵 洋三郎^{*3} 笠口 泰宏^{*4}
技術本部 河野 隆之^{*5}

狭開先溶接は従来の V 又は X 開先溶接に比較し、溶接金属量が少ないため、溶接作業量が少なく、積層が単純で自動化しやすい点で優れている。しかし、本溶接法は板厚が厚くなると開先壁面に溶接欠陥が発生しやすいため、従来の技術では溶接性の良い下向き姿勢以外では実機適用が困難であった。当社では溶接トーチを 180° 反復回転し、溶接ワイヤー先端のアークの動きを狭い開先内で自由に制御し、上向き、立向き及び横向きの全姿勢に対応できる溶接法を開発した。この溶接法は既に工場及び現地の配管溶接並びに厚肉の大型压力容器に適用し、溶接能率の向上及び信頼性向上面で大いに貢献している。

Narrow-gap arc welding is known to be an advantageous welding method compared to welds with V type grooves or X type grooves. This is because the welding time can be greatly reduced due to less deposited metal and also due to its capability of automatic, unmanned operation by the simple one pass-one layer method. However, it can also be said that narrow-gap arc welding is a more difficult method because better techniques will be required to control the arc position in deeper groove and to prevent weld defects. In recent years, many welding methods with arc oscillation without oscillating the torch have been developed. Heavy wall welding joints with high reliability can be achieved by these methods. Most of these methods utilize flat position welding and there are very few cases with other positions. This paper describes an all position narrow-gap MAG welding process for extra heavy wall structures of approximately 100 mm. By this process, narrow-gap overhead, vertical and horizontal welding has been made possible by curving the wire at the tip of the torch and rotating the torch to be left and right for 180 degrees with fine control of weld metal flow by delicate adjustments of the oscillation i. e. rotation of the torch. This process has already been applied to all position narrow-gap welding of boiler pipes and large size pressure vessels with high efficiency and quality.

1. ま え が き

溶接作業の自動化は、最近の溶接士不足及び高齢化環境の中、人的要因を排した機器の信頼性向上、作業の高能率化及び作業者の負担軽減の観点から、一層の開発加速が求められている。

ボイラ耐圧部の厚肉部材の溶接には、従来から様々な自動溶接法を採用し、溶接金属量を少なくした狭開先化を行ってきたがこの方法は開先壁面の隅部に溶接欠陥が発生しやすいため、溶接性の良い下向き姿勢以外では実機適用が困難で、対象物が限定されていた。

当社では、MAG 溶接の溶接ワイヤー先端のアークの動きを自由に制御することにより、狭開先内で熟練工の溶接運棒法と同等の動きを実現できる溶接法の開発に成功した。これを図 1 に示すような工場及び現地の配管溶接及び大型压力容器等、今まで適用が困難な箇所にも適用し溶接の自動化拡大を図っているので紹介する。

2. 従来の狭開先 MAG 溶接法の技術的課題

厚肉部材への全姿勢自動溶接には、狭開先での MAG (Metal Active Gas) 溶接法が有効であることが一般に知られている。

その理由は次のとおりである。

- (1) 図 2(a) に示すとおり、狭開先は、従来開先 (V 開先) に比べ次の優位性がある。
 - 溶接金属量が少ないため、溶接作業量が少なく、欠陥の発生確率も少ない。
 - 積層が単純で、自動化が容易である。
- (2) MAG 溶接には他の TIG、プラズマ、サブマージアーク溶接と比べて次の特長がある。

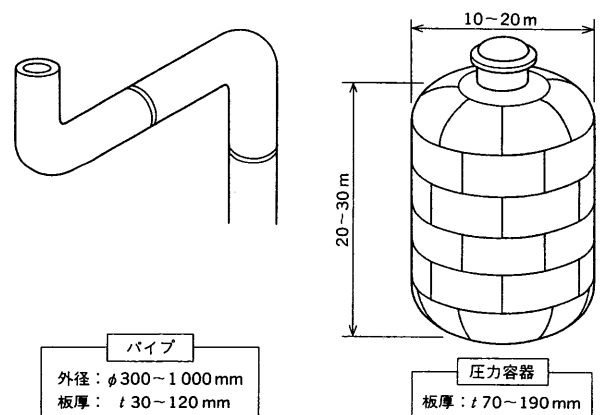


図 1 工場及び現地の配管、大型压力容器 今回対象とする製品。
Pipes and large size pressure vessels

- 消耗性電極であるため添加ワイヤーによる方向性がなく、トーチ周りのコンパクト化がやさしく、さらに溶着効率が高い。
- サブマージアーク溶接と比べると溶着効率は劣るが、各姿勢に適用可能である。

一方、本溶接法には以下の技術的課題がある。

- (1) 開先壁面への溶込み確保が難しい。
狭開先であるが故に、図 2(b) のとおり板厚が厚くなればなる程トーチ角度がとれにくくなり、その結果溶込み確保が難しくなる。
- (2) 溶込み幅が狭い。
細径の MAG 溶接では、図 2(c) に示すとおり、溶込み方向がアーク直下の狭い部分に限定されるので、溶込みを確保する

*1 第二工作部長

*2 第二工作部次長

*3 第二工作部生産技術課長

*4 第二工作部生産技術課

*5 長崎研究所材料・溶接研究室主務

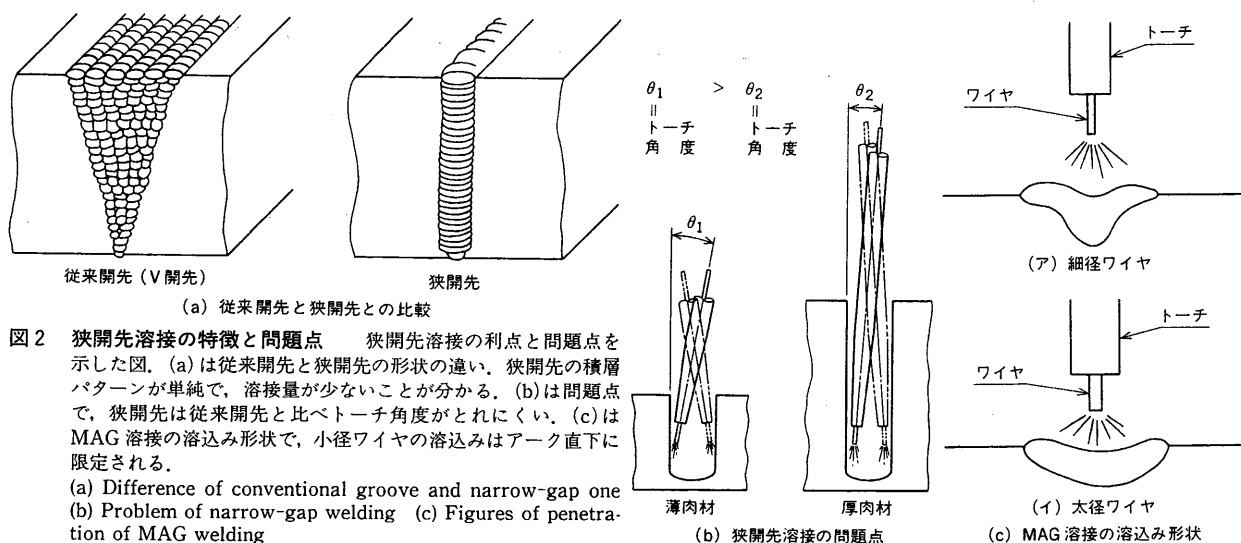


図2 狭開先溶接の特徴と問題点 狭開先溶接の利点と問題点を示した図。(a)は従来開先と狭開先の形状の違い、狭開先の積層パターンが単純で、溶接量が少ないことが分かる。(b)は問題点で、狭開先は従来開先と比べトーチ角度がとれにくい。(c)はMAG溶接の溶込み形状で、小径ワイヤの溶込みはアーク直下に限定される。

(a) Difference of conventional groove and narrow-gap one
(b) Problem of narrow-gap welding (c) Figures of penetration of MAG welding

表1 既知狭開先 MAG 溶接法の概要と全姿勢溶接への評価

Well-known narrow-gap welding methods and trial for all position

○：可能
×：難しい

タイプ	原 理	概 要	溶接姿勢別評価			
			下向き	立向き	横向き	上向き
A		“大電流 MAG” と称されるもので、トーチをオシレートせず、11~16 mm の幅に対し、 $\phi 2.4\sim 3.2$ mm の太径ワイヤで 500 A 程度の電流で溶接を行うもの。下向き姿勢では、安定した品質と経済性を得ることができる。	○	×	×	×
B		屈曲ワイヤをトーチに送込み、ワイヤの曲りを利用して、アークをオシレートさせる方法で、 $\phi 1\sim 1.2$ mm 程度の細径ワイヤを用い、300 A 程度の電流で、開先幅 10 mm 程度に適用する。下向き溶接姿勢のほかにも適用しているとの報告もある。	○	○	×	○
C		“ロータリアーク” と称されるもので、溶接ワイヤが斜めに出るようにした通電チップを用い、かつ通電チップを 50~60 回転/s で回転させながら、500 A 程度の電流で溶接を行うもの。溶込み形状が、あたかも“大電流 MAG” のように幅広、深溶込みとなるため、安定した品質が得られる。 $\phi 1.2$ mm 程度の細径ワイヤを用いるため、トーチのフレキシビリティが高く、ロボット等への搭載も可能で、下向き姿勢のほかにもすみ肉溶接へも適用されている。	○	×	×	×

ためには、アークの正確な狙いが必要である。

3. 既知の狭開先 MAG 溶接法

これら長所短所のある狭開先 MAG 溶接法は、従来様々な方法が実用化されているが、表1に代表例とその特徴を述べる。

これらは、いずれも深い開先内において、いかに開先壁を十分に溶かし、溶込み不良を回避するかという点で、それぞれに工夫されている。Aの方法では、アークの大きな広がりによって、開先壁の溶込みを確保しており、またB及びCでは、いずれもワイヤの先端を曲げることにより、開先壁面に対する必要なアークの位置と向きを得ている。

4. 新溶接法の開発へのアプローチ

前項の方法は、いずれも信頼性の高い溶接法として実績があるが、下向き溶接が基本であり、全姿勢に対応できるかどうかは不明である。

これら既知狭開先 MAG 溶接法の全姿勢への対応性を重力によって影響を受ける溶接金属の挙動を念頭に置くと、溶融池径制限と運棒制限から定性的に評価することができる。

すなわち、下向き以外の姿勢においては、溶接金属量（溶融池径）が溶接金属の表面張力を超えると、溶け落ち現象、若しくは、健全なビード形成を損なうことになる。また、確実な溶込みを得るためには、アーク直下に母材をさらし、溶融池が後行から形成される運棒が必要である。以上の観点から、全姿勢対応としては、A、B、Cとも満足しないが、Bの屈曲ワイヤ方式（細径ワイヤのオシレート方式）が近く、これをベースに新しい全姿勢に対応するオシレート方法を開発することとした。

5. 全姿勢対応狭開先 MAG 溶接法の開発

全姿勢に適合する溶接方法として、前項の検討結果から、

- (1) 細径ワイヤを用いたオシレート法でなければならない。
- (2) 横向き姿勢溶接に対しては、上進溶接を主体としたオシレートが必要である。

以上をコンセプトに開発した溶接方法の原理を図3(a)に示す。

オシレートのメカニズムは、通電チップ先端の偏心した位置に、溶接ワイヤが通る穴を設け、通電チップを反復回転させてオシレートする方法である。反復回転の理由は、従来の屈曲ワイヤ方式では、オシレートスピード、両端の溶込みを狙った停止時間の微

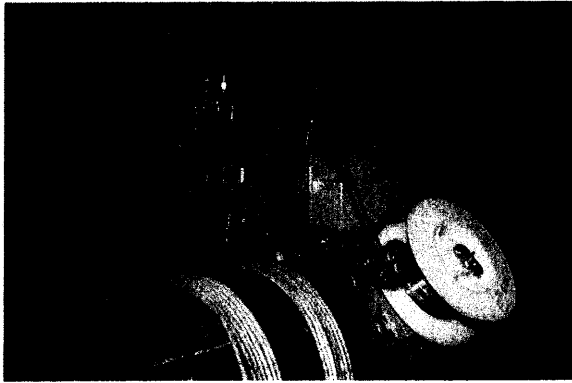
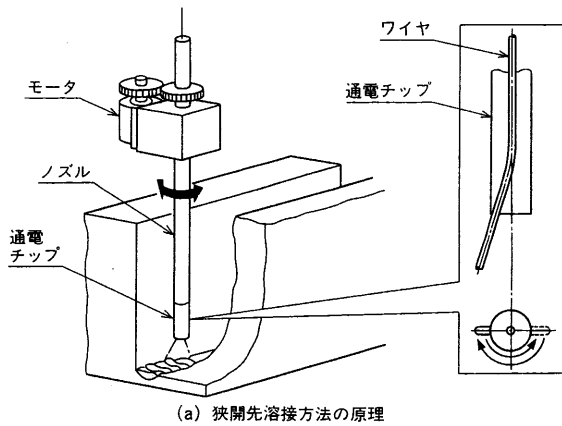


図3 開発した狭開先溶接法 今回開発した狭開先溶接方法の (a) 原理図 (b) 対応の溶接ヘッド。
(a) Principle of our narrow-gap welding method
(b) Welding head

妙な制御が難しいと考えたからである。

この溶接トーチを搭載した溶接ヘッドを図3(b)に示す。

これは、配管用にアレンジした装置であり、水平配管では、周方向、8ポジション (45°ごと) に溶接条件 (電流、電圧、オシレート条件、溶接速度) を指定することができる。

6. 溶接性に対する評価

本溶接法に用いた開先は、溶接姿勢にかかわらず図4に示す形状とした。(a)は、配管の突合せ溶接に用いられるもので、初層はTIG溶接により行われる。(b)は、大型压力容器等の板の突合せ溶接に用いられ、裏当て金を用いる。

6.1 立向き溶接

立向き溶接は、上進で行うが、図5(a)のように反復オシレー

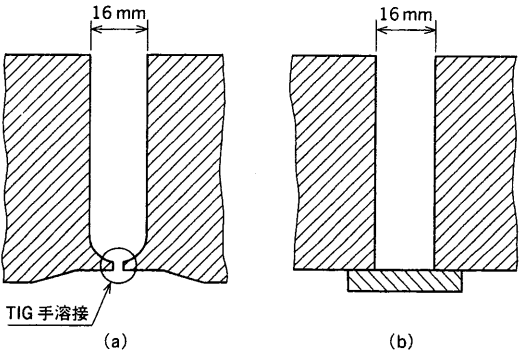
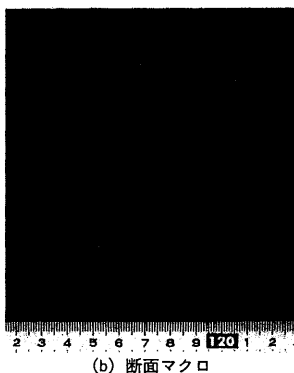
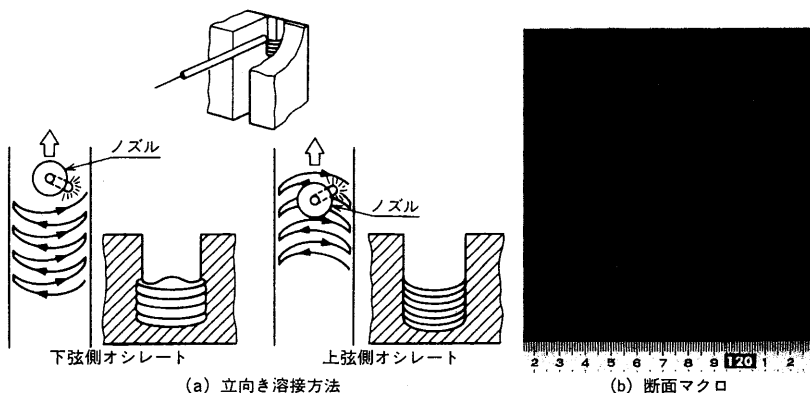


図4 開先形状 今回開発した狭開先溶接法の適用開先形状。
Groove design for our narrow-gap welding method

トを下弦側で行うと、開先壁面での溶接金属が、開先中央部へ重力により引かれやすいため、母材部が露出して直接アークにさらされ、確実な溶込みが得られる。開先両サイドの溶接金属が中央部へ流れ、ビード中央部が若干盛り上がる断面形状となるが、積層には全く問題ない。逆に、上弦側で行うと、溶接金属は両壁面側に流れ、母材部が直接アークにさらされないために、十分な溶込みが得られない。図5(b)に下弦側で行った立向き溶接の断面マクロ、図5(c)に施工中の状況を示す。

6.2 水平配管の突合せ溶接

水平配管の突合せ溶接は、図6(a)に示すように、時計の6時の位置から反時計回りに12時まで、次に同じく6時から、時計回りに12時までという手順で、上向き姿勢⇒立向き姿勢⇒下向き姿勢となる上進で行う。もちろん、オシレートは前項の理由により、下弦側で行う。図6(b)に、現地にて配管溶接施工中の状況を示す。開先両サイドのコイルは、予熱用のインダクションコイルである。図6(c)に、各姿勢での断面マクロ組織を示す。前項に記述した効果により問題となる壁面への溶込みが安定して得られている。

6.3 横向き姿勢溶接

横向き溶接を1パス1層の積層条件による多層溶接で行う場合のポイントは二つある。

- (1) 各層において滑らかなビード形状を形成する。
- (2) 開先上壁部、積層部及び下壁部での溶込みを十分に得る。

以上を念頭に置き決定したオシレートパターンを図7(a)に示す。すなわち溶接の進行方向に対しオシレートは、下弦側で行い、

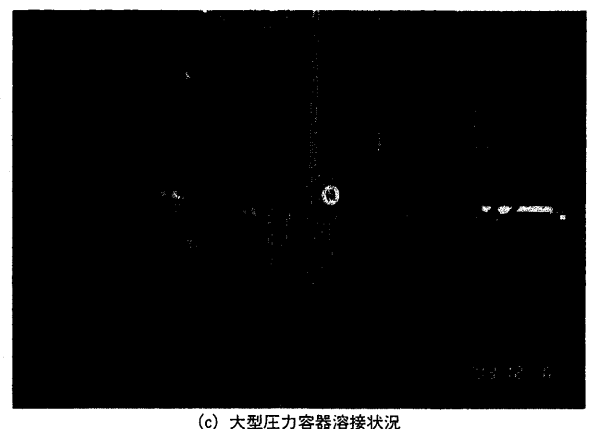


図5 立向き溶接 今回開発した狭開先溶接方法の立向き溶接での例を示す。(a) 溶接方法、(b) 断面マクロ組織、(c) 大型压力容器の工場立向き溶接に適用している状況。
(a) Our narrow-gap welding method for vertical position (b) Its macrostructure (c) Welding under operation for large size vessel (vertical position)

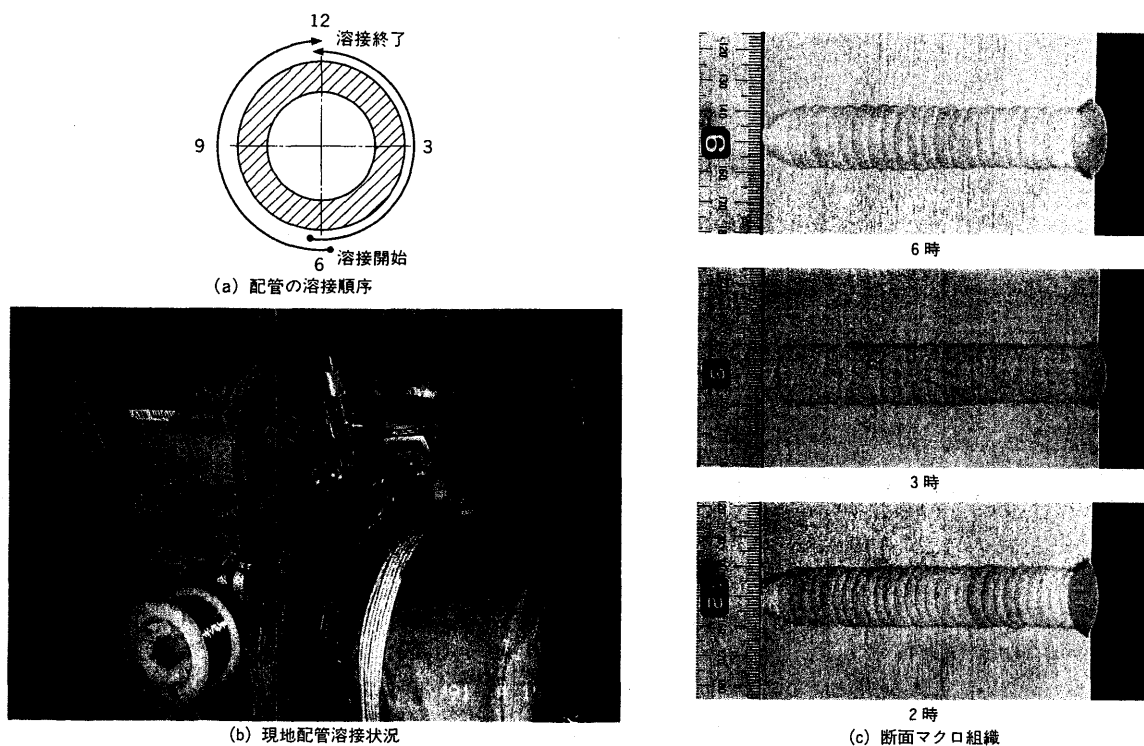


図6 水平配管の突合せ溶接 今回開発した狭開先溶接方法の全姿勢溶接での例を示す。(a) 配管に適用した場合の溶接順序、(b) 配管の現地全姿勢溶接に適用している状況、(c) 配管全姿勢溶接での断面マクロ組織。
(a) Welding process of our narrow-gap welding method (b) Welding under operation for pipe in site (all position)
(c) Macrostructure of our narrow-gap welding method (all position)

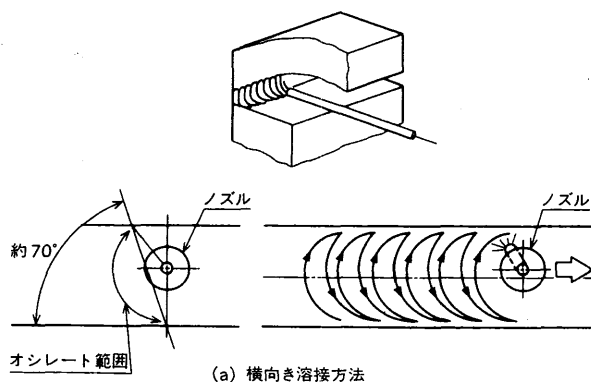


図7 横向き溶接 今回開発した狭開先溶接方法の横向き溶接での例を示す。(a) オシレート動作パターン、(b) 配管の現地横向き溶接に適用している状況。
(a) Our narrow-gap welding method for horizontal position (b) Welding under operation for pipe in site (horizontal position)

かつオシレートの弦は水平方向に対し約70°傾けることにより90°のときと比べ溶接金属の下方への流れを抑え、ビード形成をしやすいとした。さらにオシレートスピードを、上進では通常の溶接スピードとするが、下進ではアークが途切れない程度的高速、すなわちスロー上進、クイック下進のオシレート動作とし、“下進溶接のスキップを目的とした”オシレート制御とした。図7(b)に配管の溶接中の状況を示す。

7. 多機使用への機能付加

この全姿勢対応狭開先自動溶接の更なる溶接品質の向上及びコスト低減を目的として、本装置に以下の付加機能を加え1人2台使用を可能とした。

7.1 アークセンサ

溶接開先の精度確保が難しい場合の対策として、開先の状態と

あらかじめセットされた軌道との相対位置の違いを自動的に調整し、正確な溶接トーチ位置を得るために、従来の開先に対する溶接トーチ位置の溶接電流変化のみでなく、ワイヤ送給量変化もパラメータに加えた専門のアークセンサを開発し、搭載している。

7.2 溶接の遠隔監視

対象物が200℃程度の温度で予熱されている場合の溶接士の作業負担軽減を図る目的で、CCDカメラを装置に取付け溶接の遠隔監視を可能としている。

8. む す び

以上、当社で開発した全姿勢に対応する高能率溶接法は、厚肉部材の溶接には極めて有効であり、工場及び現地の配管並びに大型压力容器に適用し、大きな効果を上げている。今後、更なる溶接技術の開発を行い、自動化・無人化の拡大に努力していきたい。