

内部ジャケット付リアクターの溶接技術

Welding Engineering in Reactor with Inner Jacket



(化)生産管理部 生産技術課
山田 公夫
Kimio Yamada

Reactors with inner jacket have been designed to achieve higher productivity of PVC (Polyvinyl Chloride). Although the design of the special jacket has been proved in field operation to give better heat transfer rate, the fabrication of these reactors imposed several welding difficulties mainly because of much amount of weldment in closer joints.

Therefore we reviewed welding engineering in reactor with inner jacket and performed several tests on welding parameters by means of test model vessel.

This paper describes these test result and automated welding.

まえがき

最近、塩化ビニールの懸濁重合反応などに使用されるリアクターの設備更新が盛んであるが、従来タイプより少しでも生産効率を高めたいとの要望が強い。当社が開発した「内部ジャケット付リアクター」は熱伝達効率が良くこのような要望に合致したリアクターであるが、構造上溶接箇所が非常に多く、かつ近接しており製作上の課題も多い。

このようなことから内部ジャケット付リアクターの溶接上の課題について検討を行った。次にこれらの検討結果および溶接の自動化について紹介する。

1. 内部ジャケット付リアクターの概要

第1図は内部ジャケット付リアクターの概略を示す。従来は「本体胴の外側」にあったジャケットを「本体胴の内側」に持ってきた所に大きな特長があり、従来のリアクターとはその構造が全く異っている。

このため機能面では、伝熱に影響を与える内部ジャケット板の板厚を、従来型の本体胴板厚に比べ $\frac{1}{2}$ 以下に小さくできるので、伝熱効率が良く生産性の増大に大きく寄与するものと期待される。一方製作面に関しては、構造上溶接箇所が多くしかも仕切板、内部ジャケット板のピッチが約70mmと近接しているため、非常に工数のかかる作りにくいリアクターといえることができる。ちなみに60 m^3 クラスの内部ジャケット部分の溶接長は

仕切板部 : 1500 m
内部ジャケット板部 : 2200 m (3層仕上げとして)

であり、外部ジャケット式の場合に比べて格段に長い。従ってこれらの溶接をトラブルなく効率良く行うことが品質面、納期面で重要であり、施工方法、開先形状などについて検討すると共に実機モデル小型試験体による溶接試験、水圧試験を行って施工法の妥当性を確認した。

また溶接の自動化についても検討し実機に適用した。

2. 施工方法の検討

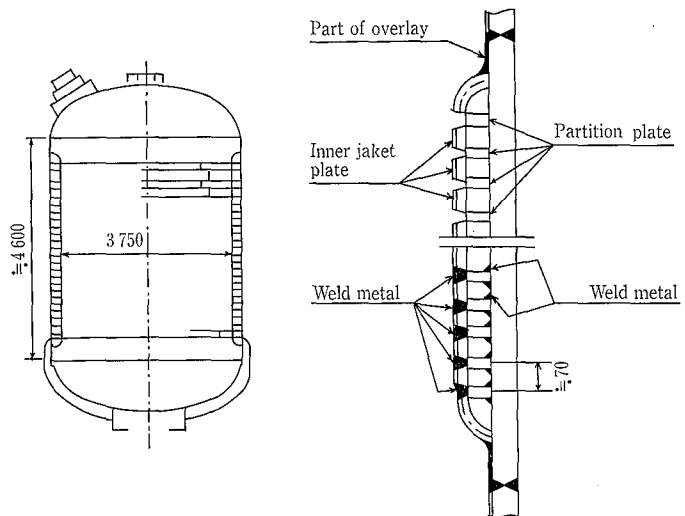
1) 開先形状

溶接残留応力、能率の面から開先形状はできるだけ小さい方が好ましいが、あまりに小さいと開先底部の溶込みが充分得られなくなる。試験板による予備試験の結果も踏まえ、開先形状は開先角度30°、ルートギャップ6mmの狭開先とした。

2) 溶接方法

能率、自動化の容易さ(トーチ回りがコンパクト)などを考慮し、母材、クラッド部共にCO₂フラックスコールドアーク溶接を採用した。

第2図はフラックスコールドアーク溶接の溶着速度を、ほかの溶接法との比較で示したものであるが、手溶接の約2倍でCO₂ソリッド溶接に比べても大きい。サブマージアーク溶接は能率は良いものの(180g/分程度と考えられる)フラックスの散布、回収、スラグの除去などの問題が



第1図 内部ジャケット付リアクター (60 m^3 クラス)
Fig. 1 Reactor with inner jacket (60 m^3 class)

あり採用しなかった。

3) 積層

板厚、開先形状、溶着速度などを勘案し母材部1層、クラッド部2層の計3層仕上げとすることにした。また溶接手順については、1継手ずつの仕上げは現場施工上やりにくいこと、また角変形により仮付けが外れ精度が保てないなどの理由から各継手1層ずつ順次溶接することとした。

3. 実機モデル小型試験体による溶接試験

内部ジャケット板突合せ溶接部は、ピッチが約70mmと非常に近接している。このためある継手の溶接での残留応力などが隣の継手の溶接に悪影響を与え、溶接割れなどの問題を起こす恐れもある。これらを確認する目的で実機モデル小型試験体を製作し溶接試験を行った。

実機モデル小型試験体での主たる試験目的を次に示す。

- (1) 第2項で決定した開先形状、施工方法の妥当性確認
- (2) 開先が変動した場合の影響の把握

実機の製作においては多少の取付誤差は避けられないため一部の継手をルートギャップ：5~8mm、目違い：0~1.5mmの範囲で変動させた。

- (3) 溶接手順の影響の把握

溶接は2回に分けて中央から端に向かって順次溶接する場合と端から順次中央に向かって溶接する場合の2とおりについて試験した。

- (4) 水圧試験の実施

実機モデル小型試験体は1000φ×2000ℓの円筒で、溶接継手は全部で20継手あり溶接終了後、水圧試験ができるよう上下に鏡を付けてある(片側は取り外し可能)。

第1表は、溶接条件を示している。板厚が比較的薄いこと、フラックス入りワイヤの拡散性水素が低いこと(3cc/100g程度)から低温割れは出にくいと考え、1層目の溶接で予熱は特に行ってない。

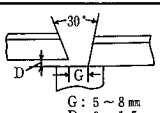
3.1 超音波探傷試験結果

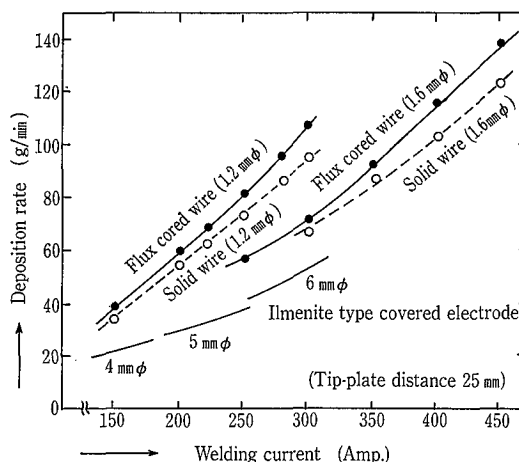
20継手すべての溶接を終了し48時間以上経過した後、すべての溶接線について目視および超音波探傷試験により、溶接割れなどの欠陥が出ていないか確認した。その結果、標準開先、取付誤差を考慮して故意に開先を変動させた継手など、いずれの継手にも欠陥は見られず施工の妥当性が確認できた。

3.2 水圧試験

実際に使用されるリアクターは、高圧ガス取締法などの法規に該当するものが多く「水圧試験」が義務づけられている。実機モデル小型試験体についても上下鏡を取り付け(但し片側は取り外し可能)、水圧試験を実施した。水圧は約5kgf/cm²ごとに昇圧し、その都度水を抜き鏡を取り外して目視および超音波探傷試験にて、内部ジャケット板溶接部に割れなどの欠陥が発生していないかどうかを確認した。

第1表 実機モデルの溶接条件
Table 1 Welding condition in mock-up test

Edge preparation	Preheat [°C]	Layer	Welding consumable	Ampere [A]	Voltage [V]	Speed [cm/min]
 G: 5~8 mm D: 0~1.5 mm	Room Temp.	1	DW100 [1.2φ]	240	30	20~30
	do.	2	DW309MoL [1.2φ]	220	35	25~30
	do.	3	DW316L [1.2φ]	220	35	25~35



第2図 フラックス入りワイヤの溶着速度
Fig. 2 Deposition rate of flux cored wire

また水圧試験に当たっては、溶接部に歪ゲージを取り付け、水圧により溶接部に所定の応力がかかっていることを確認した。

試験は60m³クラスの実機を想定し、最大43kgf/cm²(実機長手方向の応力が設計圧力の約2.2倍相当)まで行ったが、溶接部の異常は認められず、今回行った施工方法、条件で問題のないことが確認された。

4. 実機施工について

4.1 実機製作時の留意点

第2項で述べた実機モデル小型試験体による各種の確認試験結果から、溶接開先、条件など一定の条件下で施工を行えば溶接割れなど問題の出ないことが確認された。従って実機の製作に際してもできるだけ確認された範囲で施工することが重要であり、このため仕切板、内部ジャケット板など、部材の製作、取付にも注意を払った。

第2項で述べた内容も含め、実機製作時のポイント、留意点をあげると次のようになる。

- (1) 歪の出にくい狭開先施工
- (2) 高能率で自動化の容易なフラックスコアードアーク溶接の採用

ただし1層目の溶接については、実機モデル小型試験体での試験から、スラグの除去に時間を要し問題のあることがわかり、スラグの少ないタイプ(MX100)を使用することに変更した。

- (3) 仕切板、内部ジャケット板の切断、開先加工は取付精度向上のため機械加工、また取付時の取扱い易さを考慮し2~3分割

溶接の品質は取付精度に大きく影響される。通常ガス切断などでは板幅が狭いため長さ方向に「そり」が発生し、取付精度が悪くなる恐れがある。このため

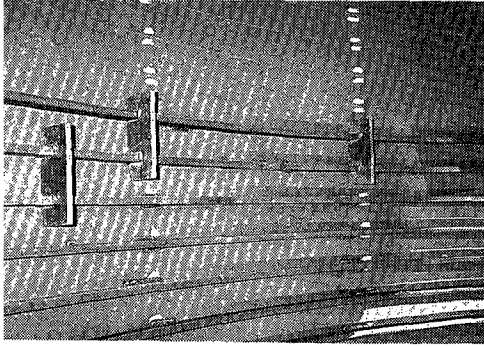
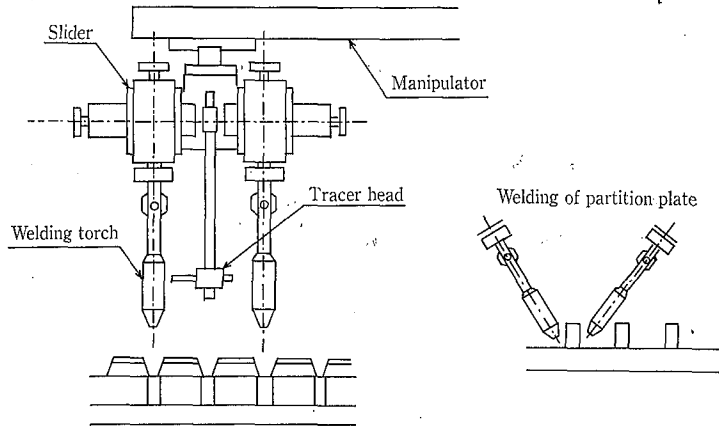


写真 1 仕切板取付用治具
Photo. 1 Jig for fitting up partition plate



第 3 図 2 電極溶接装置
Fig. 3 Twin electrode welding equipment

内部ジャケット部分の部材は機械加工とした。また部材が大きいと（60 m³ クラスのリアクターで仕切板：45 kg/1周，内部ジャケット板：65 kg/1周となる）取扱いにくく結果として取付精度が悪くなる恐れがあるため，2～3分割とした。

また仕切板の取付けに際しては写真 1 に示すような取付治具を作成し，精度の向上を図った。

以上のような考慮を払った結果，仕切板の取付ピッチ，割れおよび内部ジャケット板の開先ギャップ，目違などの取付精度を精度良く所定の範囲に納めることができた。

2 内部ジャケット部溶接の自動化

実機の製作にあたっては，工程短縮，品質確保のため内部ジャケット部溶接（仕切板隅肉溶接，内部ジャケット板突合せ溶接）の自動化を図った。

第 3 図は「倣い付き 2 電極自動溶接装置」の概略である。主な特長を次に示す。

- (1) トーチプラットフォームの部分を回転可能とすることにより，仕切板部，内部ジャケット板部いずれの溶接にも使用できる。
- (2) 2 電極方式のため効率が良い。また仕切板の溶接は両側同時溶接となるので，倒れが出にくい（1 電極にて片側ずつ溶接する場合には凝固収縮によって倒れが発生し，もう片側を溶接しても元に戻らない）。

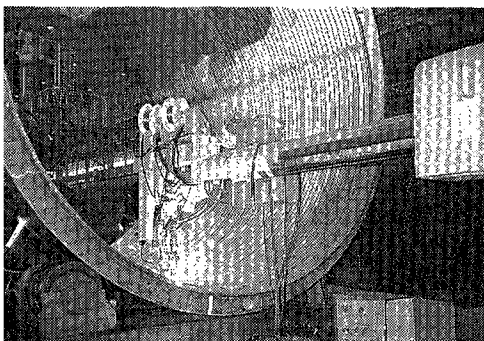
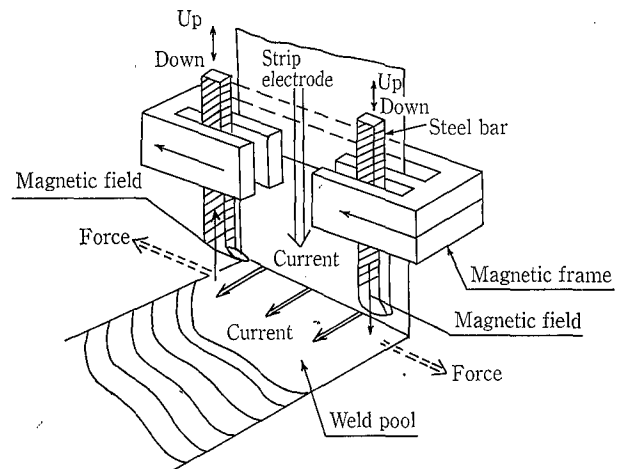


写真 2 2 電極溶接装置による内部ジャケット板の溶接
Photo. 2 Welding of inner jacket plate by twin-electrode welding equipment



第 4 図 磁気制御方式の原理
Fig. 4 Principle of magnetic control method

- (3) 開先倣いを付けているので，倣いのため常時監視している必要がなく監視作業が軽減される。

実機内部ジャケット板突合せ溶接の溶接条件例を第 2 表に，2 電極自動溶接装置による内部ジャケット板の溶接状況を写真 2 に示す。

4. 3 肉盛溶接の自動化

内部ジャケット部の両端約 100 mm は肉盛溶接が必要となる。肉盛幅は狭いが，60 m³ クラスの実機では半径が 4 m 近くになるため，その肉盛量も相当な量となる。工数削減，品質確保の面から肉盛溶接方法について検討し，磁気制御方式による「バンドアーク溶接法」を採用することとした。

第 4 図磁気制御方式によるバンドアーク溶接法の原理図

第 2 表 実機溶接条件
Table 2 Welding condition in actual reactor

Layer	Welding consumable	Ampere [A]	Voltage [V]	Speed [cm/min]	Built up
1	MX100 [1.4φ]	240~280	32~35	20~30	
2	DW309MoL [1.2φ]	200~230	32~35	25~30	
3	DW316L [1.2φ]	200~250	32~35	25~35	

第 3 表 各種溶接棒の比較

Table 3 Comparison of various welding processes

Welding process	FCAW	GTAW [auto]	BAW
Wire size [mm]	1.2φ	1.2φ	0.4t×50w
Ampere [A]	200~240	200~240	750~800
Deposition rate [g/min]	60~75	15~20	≒200
Layer	2~3	3	1
Quality of welding bead	Good	Good	Excellent

Note FCAW : Flux cored arc welding
 GTAW : Gas tungsten arc welding
 BAW : Band arc welding

第 4 表 バンドアーク溶接条件

Table 4 Welding condition of band arc welding

Base metal	Welding consumables	Ampere [A]	Voltage [V]	Speed [cm/min]
S S 41	PFB7/USB316EL	800	25	12

を示す。その特長は、溶接電流を利用して溶融プールに強制磁場を与えることにより、溶融プールを外側に押し広げ、溶接上端部のアンダーカットを防止するとともに、肉盛部を平滑にするところにある。その他バンドアーク溶接法は次のような特長を有している。

- (1) 溶接電極として帯状電極を使用するので、一度で幅の広い肉盛をすることができる(50 mm 幅の電極では45~50 mm 幅のビードを置くことができる)。
- (2) 使用電流が大きいため、溶着量が大きく、効率が良い。
- (3) 帯状電極を使用しているため溶込み深さが小さく、従って母材の希釈が小さい(約10%)なので、1層で仕上げる事が可能である。
- (4) サブマージアーク溶接同様、溶融プールの表面を溶融スラグが覆うので、風などの影響を受けにくく溶接部の品質が良好である。

第 3 表に各種溶接法により肉盛溶接した場合の比較(一例)を示す。

バンドアーク溶接による溶着量は約200 g/分で、フラックス入りアーク溶接の約3倍、ガスタングステンアーク溶接の約8倍以上となっており、しかも1層で仕上げ可能なため、非常に効率的な方法であることがわかる。

試験板(50 t×300 w×500 l)にて各種の確認試験を行った際の溶接条件を第 4 表に、分析、側曲げ試験の結果を第 5 表に、断面マクロの一例を写真 3 に示す。

第 5 表 バンドアークテスト結果

Table 5 Test result of band arc welding

Radiographic examination	Side bend test [n = 2]	Chemical composition of weld metal [wt.%]			
		C	Ni	Cr	Mo
No defect	No defect	0.02	12.4	17.5	2.35

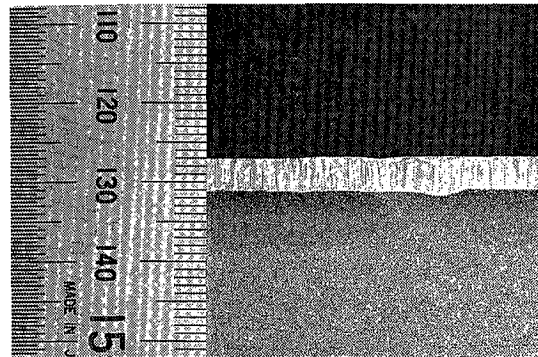


写真 3 バンドアーク肉盛溶接断面マクロ

Photo. 3 Overlaying macro-structure by band-arc welding

放射線透過試験は、ビードの重なり部についても実施したが、全く問題はなく、側曲げ試験も良好であった。また溶接金属の成分についても第 5 表に示すごとく1層盛でも十分 SUS316L の規格内に入っている。

以上紹介した「2電極自動溶接装置」「バンドアーク肉盛溶接」は1989年末から1990年5月にかけて合計5つの実機に適用されたが、製作上のトラブルは全くなく計画通りの作業を行うことができた。

む す び

内部ジャケット付リアクターの、主に内部ジャケット部の溶接上の問題、および溶接の自動化について紹介した。内部ジャケット付リアクターは冒頭に述べたように従来のリアクターに比べて生産性が高く、今後ますます増えてくるものと予想される。

今回紹介した溶接以外にたとえば「ビードの研削」など、製作上の課題は他にも残っている。品質向上、納期短縮に向けて更に取り組んで行く予定である。

【参考文献】

- 1) 神鋼パンテック技報 Vol. 32 No. 3 (1988/12)
- 2) 溶接法研究委員会資料(第117回)
- 3) 神戸製鋼所溶接技報 No. 539