

技術紹介

ステンレス鋼製円筒容器への片面プラズマ溶接法の適用

Application of Plasma Welding Process for Manufacturing of Stainless Steel Cylindrical Vessel

櫻本 裕 二*
SAKURAMOTO Yuji

和田 勝 則*
WADA Katsunori

金丸 周 平*
KANEMARU Shuhei

亀井 俊 和**
KAMEI Toshikazu

1. はじめに

プラズマ溶接法はノンスパッタで極めて深い溶込みが得られ、片面裏波溶接施工が可能であるため、自動溶接を中心に各種用途で適用されている。

プラズマ溶接法は板厚が厚い程、適正溶接条件範囲が狭くなるので、溶接性が良好とされるステンレス鋼であっても、片面1パス溶接の一般実用限界は板厚6mm程度であり、それ以上の板厚への適用には、種々の施工条件の最適化を含めた、技術確立が必要となる。

当社ではCEやHeコンテナ等ステンレス鋼製の円筒容器を多数製作しているが、その大半が板厚6mm以上、15mm以下の銅板で設計されている。従来はこの長手、周溶接にサブマージアーク溶接法やMIG(Metal Inert Gas)溶接法による両面溶接法を採用してきたが、この溶接法では内面溶接、裏はつり、PT検査、外面溶接およびビード仕上げといった複数の作業工程が必要で、製作期間の長期化やコスト増の要因となっていた。

こうした背景のもと、板厚15mm以下の片面プラズマ裏波溶接技術の確立を行い、ステンレス鋼製円筒容器に適用したので、本報にてその概要を紹介する。

2. プラズマ溶接法の特徴と適用課題

プラズマ溶接法は、TIG (Tungsten Inert Gas) 溶接法と同じ非消耗電極式の溶接法である。図1にTIG溶接法とプラズマ溶接法のトーチ構造及び溶込み形状の概要図を示す。何れの溶接法も、タングステン電極(陰極)と母材(陽極)間にアークを発生させ、母材を溶融させるが、プラズマ溶接法の特徴は、発生したアークプラズマを更に拘束ノズルで収束させる点にあり、水冷銅壁からのウォールピンチ効果によって電流経路が絞られ、エネルギー密度を高めることができる。板厚10mm・電流300Aの同一条件において、TIG溶接法では、幅広で浅い

熱伝導型の溶込みになるのに対して、プラズマ溶接法ではエネルギー密度が高いため、TIG溶接法の2倍の溶接速度(20cm/min)にもかかわらず、アークが母材裏面まで貫通するキーホール溶接が可能となる。

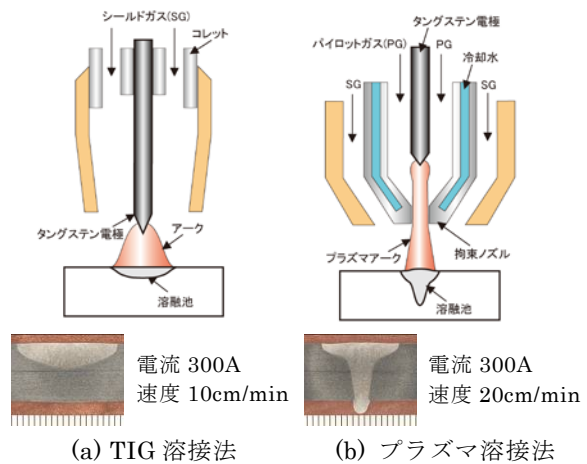


図1 TIG溶接法とプラズマ溶接法の違い

キーホール溶接時の溶融池には、重力やアーク圧力を主とした下向きの力 F_g と表面張力 F_r が作用しており、 F_r が F_g よりも幾分大きい状態において安定な溶接となる。しかし、板厚が大きくなると溶融金属の自重の増加によって、 F_g が F_r よりも大きくなり、溶け落ちが発生する(図2)。



図2 キーホール溶接における作用力のつりあい

キーホール溶接を利用した片面裏波溶接では、母材成分や種々の溶接条件による、溶融金属の量や物性、貫通孔径、湯流れ等への影響下において、上記の力の均衡を保つ必要があり、板厚が大きいかほど適正な条件選定は難しくなる。

* 開発・エンジニアリング本部山梨研究所がスアプセンター溶接技術課
** オンサイト・プラント事業本部製作部生産管理課

3. 溶接条件の適正化

プラズマ溶接法では TIG 溶接法と比べ条件因子が増え、溶接電流、溶接速度、シールドガス種・流量といった項目に、以下に示す項目を加えて、適正条件を選定する必要がある。

- (1) パイロットガス流量
- (2) パイロットガス種
- (3) 拘束ノズル径

例えば、パイロットガス流量はアーク圧力に関係し、過大な値では溶落ちが発生し、過小な値では母材を貫通できずキーホール溶接が成立しないうえに、気孔欠陥も発生しやすくなる（図3）。また、他の項目との組合せによって適正条件が異なってくる。一例として、図4に異なるパイロットガス流量での溶接速度の増減に対する溶接結果の違いを示す。

| | | | |
|---------------|-------------|----|-------|
| 過大 | 溶け落ち | — | |
| 適正 | 良好 | | |
| 過小 | 非貫通 気孔欠陥 | | |
| パイロット ガス流量 | 結果 | 断面 | ビード外観 |

図3 パイロットガス流量の影響

| | | | | |
|---------------|---|---------|---|---------|
| パイロット ガス流量 | 少 | | | |
| | | ○ | ○ | × (非貫通) |
| | 中 | | | |
| | | ○ | ○ | ○ |
| | 多 | | | |
| | | × (溶落ち) | ○ | ○ |
| | 低 | 中 | 高 | |
| 溶接速度 | | | | |

図4 パイロットガス流量と溶接速度の条件範囲

ステンレス鋼は溶接歪みが大きく、溶接の高速化による低入熱溶接が形状品質確保のためには重要となる。さらに、筒径が3mを超える様な大型円筒容器では、その

周溶接長も10m程度となり、高速化による溶接時間短縮効果は大きい。

図5は高速化を達成するために取り組んだ一例として、パイロットガス種の効果を検討した結果である。パイロットガスにAr+H₂を採用することで、Arと同一の溶接電流条件においても、溶接速度を1.5倍速くすることができる。

| | | |
|---|--|--|
| ガス種 Ar 電流 300A 速度 20cm/min | | |
| ガス種 Ar+H ₂ 電流 300A 速度 30cm/min | | |

図5 パイロットガス種による適正溶接速度の違い

4. 実機への適用

実機への適用においては、センサや回転装置など溶接システム構成の検討と共に、十分な施工管理のもとでも発生する誤差要因（材料公差、開先公差、仮止めの影響など）を許容できる、バランスの取れた溶接条件選定が重要となる。そこで、実機で起こりうるさまざまな溶接環境による試験検討を経て、実用可能な適正条件を最終確立し、CE内槽に適用した（図6）。

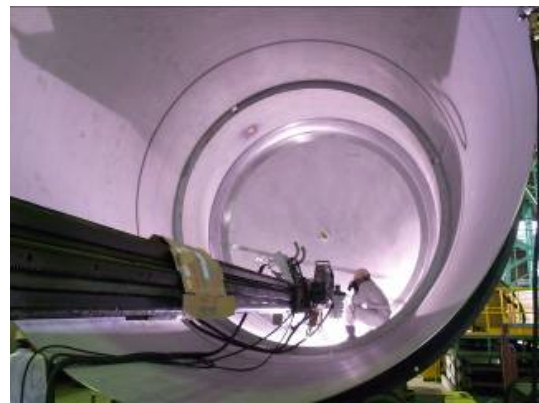


図6 製作現場におけるプラズマ溶接適用風景

プラズマ溶接法による片面溶接施工の適用によって、裏はつり及び外面溶接の工程を省略でき、従来施工法比で製作期間を3/4程度に短縮できた。これによって同時期に製作できる円筒容器数も増加し、かつ高所作業となる外面溶接が無くなることによって、作業の安全性も向上した。

現在では京浜事業所のステンレス鋼製円筒容器の汎用溶接技術として定着している。