

極薄長尺板の 水平自動溶接装置の開発

株式会社 ムラタ溶研

代表取締役社長 村田 倫之介

(株)ムラタ溶研 代表取締役会長 村田 彰久

はじめに

ベローズ管(ひだ形状の伸縮管)は強い曲げを繰り返し行って凹凸の波を形成し、衝撃吸収やある程度の曲げに対応する部品で、世の中に広く使われている。ベローズ管成型の前に円筒縦継ぎ溶接を行ったベローズ素管を製作する必要があるが、強い曲げ加工で成形するため、溶接線上に粗密があると溶接の弱い部分から破断する(図1)。



図1 破断したベローズ管

一方、金属材料削減や慣性力減少による故障低減の理由から、ベローズ管には軽量化、薄肉化が求められ、素管成型はさらに高難度溶接となった。素管溶接は均一なビード幅で安定した溶込みが必要となる。薄肉化は0.2mmまで進んだが、それ以下は金属量が少なく、破断しやすいためこれまでできなかった。

開発のねらい

ベローズ管の薄肉化は、金属材料の削減、故障削減に直結する。また、あらゆる箇所に使われているだけに、たとえば運搬などベローズ管軽量化が産業全体にもたらす効果は大きい。

気密漏れ、破断などが起きやすい高難度溶接だからこそ、不安定な職人的技量を必要とせず、

溶接未経験者などだれが使用しても高難度溶接が実現できる構造としたい。このようなSDGs要素を伴う時代背景にも後押しされ、歩留まりほぼ100%でありながら、さらなる薄肉化を達成する装置の開発が求められた。今回は厚さ0.15mmのSUSの突合せ溶接による円筒素管形成で、1/10高さまでベローズ圧縮形成して気密性を保ち、かつ不良をほぼ出さない装置の開発を目標とした。

装置の概要

本装置の外観を図2に、円筒素管をホールドしている状態と模式図を図3に示す。



図2 装置外観

図2、3のように円筒素管を配置し、溶接線全線にわたって密着させる。ここでポイントとなるのが、溶接全線にわたってわずかの隙間もなくワーク端部どうしの密着状態を形成すること



図3 ワークのホールド状態と模式図

である。それができていないと、溶接後に強い曲げ加工を行ったとき密着が弱い箇所、または隙間がある部分から割れてしまう。

溶接前のワーククランプを抜本的に改良する必要があり、機械的クランプに加えてエアチューブを使用した新発想・新開発のクランプ機構を開発し、左右のクランプを柔軟に計4段階で加圧することにより、この課題を克服した。

また、ビード幅を1mm以下に抑えながら、かつ金属溶融の溶込みを一定に保ち、溶接箇所から破断しないようにするという相反する課題があったが、こちらは10年にわたり改良を加え続けた独自開発の狭窄TIG技術を使用することで克服した。狭窄TIG技術は、トーチ先端部を2重ノズル化することで中心部のガス流速を高め、入熱密度を飛躍的に向上させて狭いビード幅であっても十分な溶込みを行う技術である。

技術上の特徴

今回の円筒素管溶接のポイントは、以下の2点であり、これが技術上の特徴となる。

- ①ワーク端面どうしのわずかの隙間もない密着状態形成
- ②幅1mm内で均一かつしっかりとした金属溶融を伴う溶接の実現

まずは①の密着状態の形成について解説する。溶接全線を機械的に強い力で突き合わせるだけでは、応力は分散せず粗密が生じて均一な力で密着しない。これまではサーボモータを使用してクランプ板を押し付け合せて密着状態をつくり出していたが、その方法ではモータがシリンダを押し部分に荷重が集中してしまう。もっと、人の手で摺り合わせるような応力を緩

和する動作が必要だった。

この問題を当社はエアチューブとばねを併用して2段階に柔軟かつ強力に突合せが行える把持機構によって解決した。図4にその概略図と解説を示す。

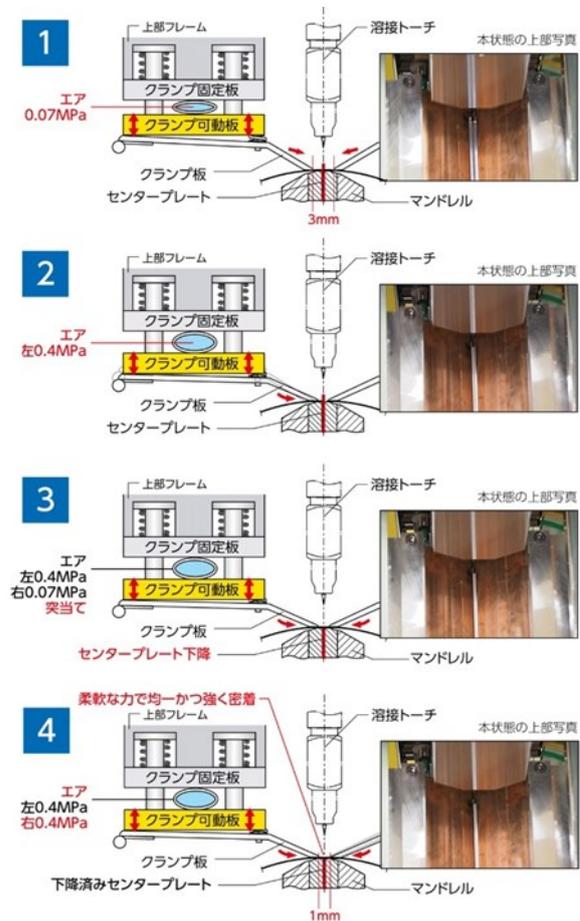


図4 エアチューブとばねによる把持機構

- ① 左右のクランプを、ばねの力とエア圧0.07MPaのみで円筒の端部をセンタープレートに押し当てるようにクランプ(クランプの間隔: 3mm)。
- ② 左エア圧を0.4Mpaまで加える。各部ばねが縮み、クランプ版の折れ角度がやや開き、断面図左右からセンタープレートへ柔軟に押しつけるように力が加わる。
- ③ センタープレートが下降する。
それまでのクランプへの加圧により、円筒材料の端面どうしが密着する。
- ④ 右エア圧を0.4MPaまで加圧、円筒溶接端面どうしの密着力がさらに高まる。
端面の応力に対してエアとばねにより、柔

軟な力で均一で強い密着を実現。

このときクランプの間隔は 1mm まで縮まり、円筒溶接端面どうしの密着力がさらに高まる。端面の応力に対してエアとばねによる柔軟な力で突き合わせることにより、均一で強い密着力となり溶接を行うに理想的なワーククランプ状態ができる。

次に狭小幅で入熱密度を高め、均一でしっかりとした金属溶融を行うための「狭窄ノズル」について説明する。狭窄ノズルはトーチノズルの中にもう一つ設けられたノズルである。図5にその構造を、図6に狭窄ノズル装着状態の外観を示す。

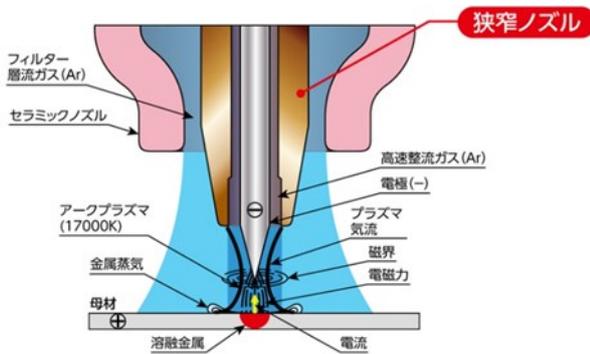


図5 狭窄ノズル解説図



図6 狭窄ノズル装着状態

狭窄ノズルを装着することで、入熱密度および挿入熱量の向上、プラズマ気流速度の向上がなされた。図7に大阪大学 接合科学研究所の解析による数値的結果を示す。

数値的結果は以下の通り。

- ・最高入熱密度：約 23%UP
- ・総入熱量：約 8%UP
- ・プラズマ気流速度：約 49%UP

この効果により、狭小幅でも入熱密度を高め、安

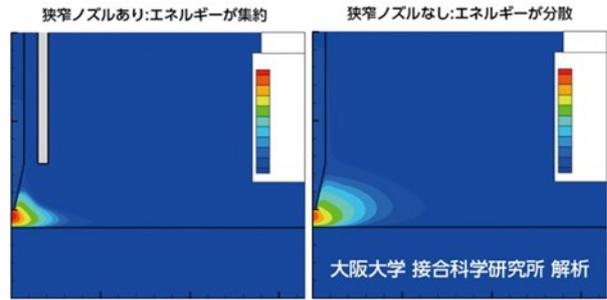


図7 大阪大学によるエネルギー収束解析図

定した溶接が可能になった。狭窄ノズルはムラタ溶研が以前から保有する技術だが、さらに今回はクランプ幅の狭小化と電流パルス制御によるサーマルピンチと磁気ピンチ効果で高品質溶接を実現した。その解説図を図8に示す。

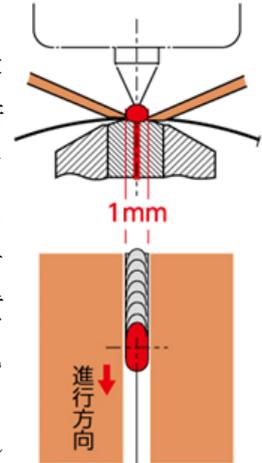


図8 サーマルピンチ効果

狭窄ノズルに強弱パルス電流制御を搭載することで、磁気ピンチ（アーク緊縮）効果を高めた。また、クランプ幅を狭くすることでクランプ板の冷却効果（サーマルピンチ）によりアーク形状がトーチ進行方向に長く変形する。このことにより、タングステン電極の中心より溶融プールが先行し、穴あきを防いで高品質の溶接を実現することができる。

このような技術により、0.15mm SUS の円筒素管形成で、1/10 高さまでベローズ圧縮形成して気密性を保ち、かつ不良をほぼ出さない装置開発目標を達成した（図9）。



図9 素管と1/10圧縮したベローズ管

実用上の効果

金属製管継手 2019年の生産高は 291,011 百

万円である（経済産業省 工業統計調査 品目別統計より）。

うち 5%をベローズ継手かつ適合形状の市場と考えると年間 145 億円市場となり、潜在的市場規模は大きい。

採算性や回収期間については導入先企業の従来状況との比較になるが、当社試算で一般円筒溶接装置と比較して年間約 450 万円の人件費削減効果が得られる。

さらに年間 504 万円分の生産性向上（ $¥6,000/h \times 7h/日 \times 240$ 日稼働 $\times 50\%$ 生産性向上 = 504 万円）が計上できるため、経済的効果は $¥9,540,000/年$ と試算できる。各社の生産状況にもよるが、装の回収期間は約 1～2 年と見込まれる。

さらに、本装置導入の波及効果としては以下の事柄が上げられる。

本装置は高難度溶接でありながら職人的な技能を全く必要としない。パート従業員や外国人研修生でも使用方法について 30 分程度の簡単なレクチャーを受けるだけで、ほぼ歩留まり 100%で最高品質の溶接結果が得られる。生産のタクトタイムは大幅に短縮し、品質のバラツキは回避され、熟練工は他の高難度溶接を行うことができる。

本装置は人体にとって有害な溶接ヒューム発生量が $0.005mg/m^3$ 以下と極めて少なく、基準の $0.05mg/m^3$ 以下に抑制されているため、「金属アーク溶接等作業による特化則の特定化学物質」に該当しない。

溶接可能材料の薄さが $0.2mm \rightarrow 0.15mm$ となるため、他社従来品との比較では使用金属材料 25%以上の削減が可能になる。

狭窄ノズル採用で加工速度が $4,000mm/min$ に向上するため、使用ガス、使用電力は極めて抑制され、従来と比較して大きく削減できる。

モニターを介してアークを監視し、直視できない構造を採用している。また、クランプ時にも指挟みや怪我が起こりえない構造で、未経験者や外国人研修生でも安全性が担保される機

構設計を採用し、安全性、信頼性、PL 法への対応面で改善できる。

以上の事柄より、本装置の導入は SDGs の 17 のゴール「7. エネルギーをみんなにそしてクリーンに」「8. 働きがいも経済成長も」「9. 産業と技術革新の基盤をつくろう」など多くに該当すると考えられる。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

- ① 日本国特許第 5893198 号
名称：水平自動溶接装置
- ② 日本国特許第 5602974 号
名称：狭窄ノズルおよびこれを用いた TIG 溶接用トーチ

むすび

本装置の開発により、ベローズ素管（図 10）の 25%の薄肉化に成功した。ベローズ管はありとあらゆる箇所で使用されている基本部品であり、その全てにおいて気密品質で 25%の薄肉化が図れるならば、産業界全体で見た場合、金属材料の削減は莫大なものになる。その他、軽量化による耐衝撃性の向上、運搬の容易さ向上など社会的に大きなメリットが見込まれる。



図10 本装置による素管で形成されたベローズ管