

レーザー溶接技術による 生産性向上のための技術援助

岡山職業能力開発短期大学校 桑野 亮 一
天野 隆
野村 龍 司
徳島職業能力開発促進センター 川原 容 司

Report on the technical support project by laser welding technology

Ryoichi KUWANO, Takashi AMANO, Ryuji NOMURA, Yoji KAWAHARA

要約 本稿は、平成10年度に取り組まれた事業主団体研究開発事業の概要報告である。主に、レーザー溶接を適用する鋼管仕様パイプ部品についての技術開発を取り上げ、後加工処理・コストの低減化などについての検討を行った。その結果、後加工における部品端部（溶接始・終端部）の除去量が、以前の数cm程度から最大10mm以下に低減でき、溶接速度も2倍に高速化した。また、従来のアーク溶接法(MAG、TIG)では、疲労試験（ねじり試験）において、繰り返し数10³回が限度であったが、レーザー溶接による試験片では、10⁵回を達成し十分な機能保証ができるに至った。さらに、本研究を行い得られた成果について、能力開発セミナーの形式で技術移転を行ったので、その内容についても報告を加える。

I はじめに

各種産業界では、生産性の効率化・コストの低減をねらいとした技術開発が進められている。しかし、既存の技術改善のみでは、十分な生産性の向上が期待できず、常に新技術の開発・導入が、強く求められているという現状である。

このような状況の下、自動車関連部品・運輸機械を中心に製造している企業より、新工法による低コストの鋼管仕様パイプの技術開発に取り組んでいるが、従来の溶接法では、機能保証に至るまでの成果が得られない。そこで、その部品へのレーザー溶接の適用が可能であるかの相談がなされた。

一般に、従来の溶接法では、溶込み深さが浅い、熱源の収束性が悪いなどの問題点が指摘される。一方、電子ビームやレーザービームなどの高密度なエネルギーを用いた溶接法は、精密・微細、深溶込み、熱変形などの利点が挙げられる。したがって、レーザーの高出力化

が進み、主に鉄鋼・造船・自動車などの産業分野では、生産工程へのレーザー溶接適用が普及しつつある⁽¹⁾。しかし、生産ラインへの応用は一部大企業の利用に止まっているのが現状である。また、当該団体の傘下企業においても、その利用が少数である。

今後、製造ラインへのレーザー溶接技術の導入が予測され、高品質化・生産性の向上に伴う技術援助の相談が寄せられることが考えられる。

以上の背景から、平成10年度の事業主団体研究開発事業のテーマに、レーザー溶接技術による生産性向上のための技術援助を設定し、その取り組みを行うに至った。

II 団体概要

協同組合ウイングバレイ(18社、4425名)は、水島工業地帯の北約10キロメートルに隣接し、運輸機械・部品製造を中心とする企業より構成された団体(自動

車部品製造業18社)である。団体傘下の各企業においては当短大の開校以来、多数の卒業生が就職している関係もあり、各種の技術相談・援助が寄せられている。また、各企業はそれぞれ固有の技術力を持ち、さらに人材高度化事業、新分野、人材育成などへの取り組みを積極的に行っている。

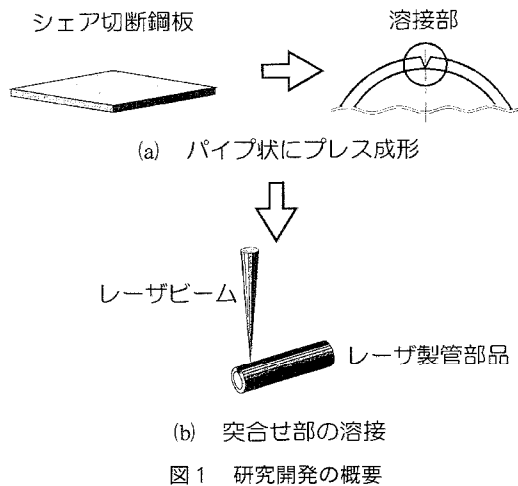
Ⅲ 研究開発の内容

3.1 技術開発の概要

図1に本研究開発の概要を示す。まず、圧延された鋼板をシェア切断機により寸断する。次に、パイプ状にプレス成形後、その突合せ部にレーザー溶接を適用し、レーザー製管部品の製作を行う。このような工法を用いることにより、

- ①鋼管部品の低コスト化
- ②後加工の省力化
- ③製作時間の短縮化
- ④材料の有効活用化

などが期待できる。しかし、実製品あるいは実際の生産工程へのレーザー溶接の適用を考える場合、従来の溶接法に比べて、レーザー溶接では、開先の処理・形状・位置決め精度など種々の厳しい条件が要求される。



そこで本研究では、主に不均一な開先形状とレーザー溶接特性との関係、ビードの余盛・裏波の寸法調節、溶接始・終端部の及ぼす強度への影響などについて検討した。さらに、レーザー溶接を適用したレーザー製管部品についての試作も行った。なお、材料には、自動車構造用熱間圧延鋼板(SAPH440;板厚5.0mm)を使用した。その化学成分を表1に示す。それより、特に溶接により生じる諸問題は少ないことが予測される。

表1 SAPH440の化学成分 (mass%)

C	Si	Mn	P	S
0.072	0.01	0.83	0.015	0.004

3.2 システム構成

一般に、レーザー加工機の周辺機器は、あまり普及されていないため、現在あるレーザー加工機を用いて実際に、溶接を行う場合、多数の問題点が挙げられた。それらに対し本研究では、既存のレーザー加工機へ別途に機能部品を付け加え、溶接のためのシステム化を図った。図2に、システムの概略を示す。そのシステムは、主にレーザー加工機、パーソナルコンピュータ、プログラマブルコントローラ(以後PCと記す)、フィラワイヤ送給装置、モータドライブ回路、およびプラズマ検出回路より構成される。制御の流れとしては、まず、レーザービームを試料に集光した時に発生するプラズマを検出する。次にその信号は、パーソナルコンピュータとPCに入力され、ワイヤ供給用モータが駆動される。なお、溶接時の制御は、加工とワイヤ供給のそれぞれについて、レーザー加工機のNCとPCとにより行われる。また、レーザー発振器(三菱電機製)の仕様を表2に示す。レーザー発振器の出力能力からすると、本実験で使用する材料の板厚は、その上限近傍に位置するものと考えられる。

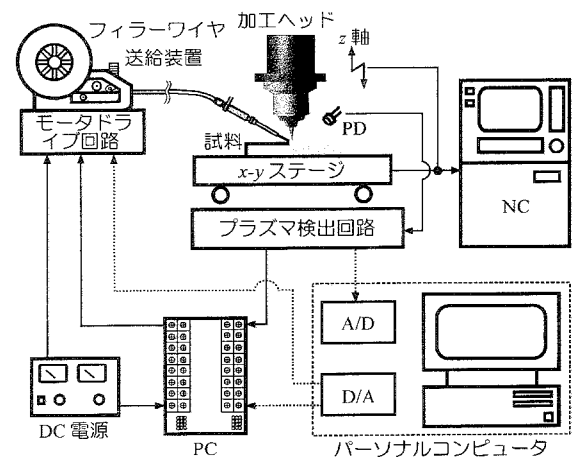


図2 レーザ溶接システムの概略

表2 レーザ発振器仕様

型名	MI4030F3
定格出力	3.0kW
ピーク出力	4.0kW (周波数100~400Hz, デューティ50%)
波長	10.6μm
ビームモード	低次マルチ(TEM ₀₀)
発散角	約3mrad以下(全角)

IV 結果と考察

4.1 溶込み深さの傾向

基本的な溶込み特性を調べるために、ビードオンプレート溶接実験を行った。図3に示すように溶込み深さは、レーザーパワーに比例して増加することが分かる。また、溶接速度が増すに伴い、溶込み深さは減少することも明らかである。以上より、板厚相当の溶込み深さを得るには、レーザーパワー2.5kW以上；溶接速度1.5m/min以下の領域で条件を選定するとよいことが推察される。さらに、焦点位置を試料表面から深さ方向へ設定するに伴って、溶込みは深くなることが分かる。最も深い溶込みが得られたデフォーカス量としては、-1.0mmであった。なお、本加工ヘッドでは、ノズル試料間距離が最大5.0mm程度である。したがって、焦点位置をより試料の深さ方向へ移動すると、プラズマやスパッタなどの影響を受ける。そこで、以後の実験では、デフォーカス量を上記の値に固定して使用することとした。

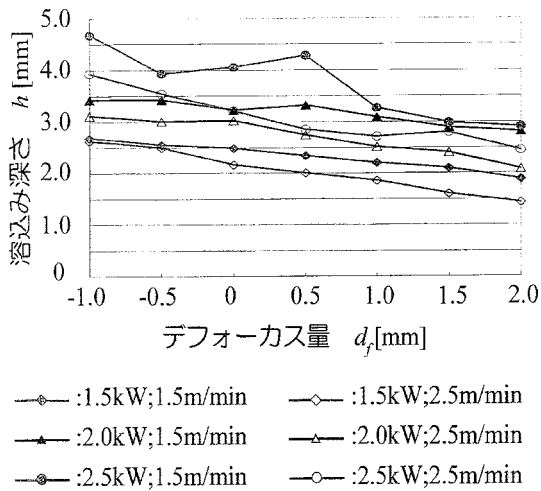


図3 溶込み深さの傾向

4.2 フィラーワイヤを用いた突合せ溶接

図4に突合せ部の断面を示す。シェア切断により、0.3~0.5mmのだれと突合せ部に最大約0.3mm程度の空間とが認められる。このような開先精度に対してレーザー溶接を行う場合、レーザーが精密であるために様々な問題点を生じることが考えられる。したがって、開先の管理や溶接の安定性を考慮し、フィラーワイヤを使用することとした。

目的とするビード形状は、後加工低減のため余盛と裏波とがほぼ試料面と一致するような状態である。そ

のような調整を実現するため、フィラーワイヤの供給量と余盛との関係について検討した。図5にフィラーワイヤ（直径1.0mm）の送給速度を変化させたときの余盛の傾向を示す。余盛は、ワイヤ送給速度（量）に比例して増加することが明らかである。したがって、試料面とほぼ一致するようなビード断面形状を得るためのワイヤ送給速度としては、開先のばらつきを考慮して、1.0~1.3m/minの範囲で使用することにした。また、ワイヤ直径1.0mm以上では、熱容量が増加するため、溶融金属の流動性が悪くなり、余盛・裏波の寸法調節は困難であった。

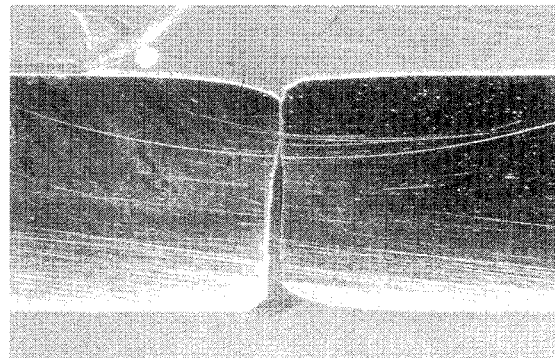


図4 シェア切断面の突合せ部

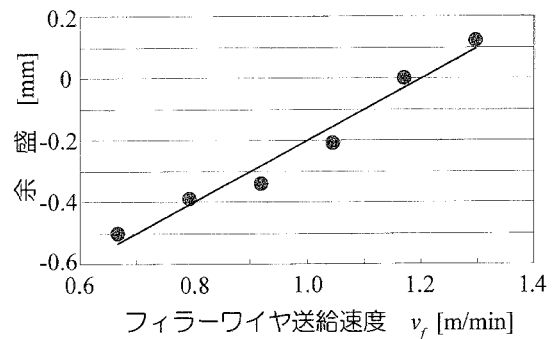


図5 ワイヤ送給量と余盛との関係

4.3 溶着金属とフィラーワイヤとの関係

フィラーワイヤ材の種類による硬さの影響を調べるために、ビッカース硬さ試験を行った。その結果、熱影響部は、図6に示すように1.0~1.2mmであり、MAG溶接に比べて1/5~1/3程度であることが認められる。また、その幅は、フィラーワイヤの種類を変えても同様であることが分かった。さらに、高い硬さが測定された領域は、溶着金属と母材との接合界面付近であり、約320~400HV0.2を示した。使用したフィラーワイヤ間(MGS-50、MG-SOFT；神戸製鋼製)の硬さの違いは、特に、SiとMn量とに起因しているもの

と考えられる。一方、フィラーワイヤを使用しない場合とMG-SOFTとでは、同様な硬度を示したが、溶接の安定性や後加工などを考慮し、後者を用いることとした。なお、フィラーワイヤには、溶接後に切削を行うため、溶着金属部の硬さが、目安として300HV程度になるような軟鋼用のものを選定した。

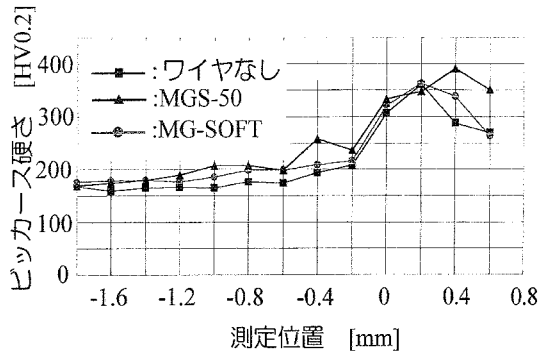


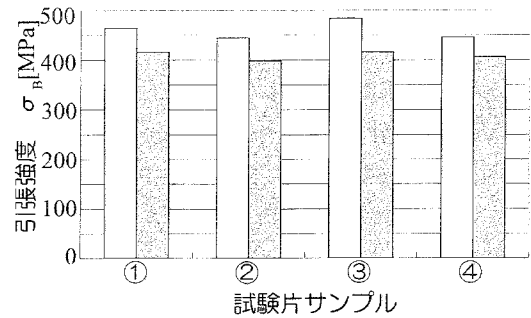
図6 断面の硬さ分布

4.4 引張試験の傾向

溶接始・終端部の強度に及ぼす影響を調べるため、以下のような試験片にて引張試験を行った。

- (1) 溶接後、溶接片の両端を機械切削により除去し、溶接始・終端部に切欠やアンダカットがない引張試験片。
- (2) 溶接したまま（切欠やアンダカットが存在する）の引張試験片。

得られた結果を図7に示す。まず(1)の場合、試験片全てが母材破断を呈した。それらの中には、試料表面に多少のアンダカットは認められたが、静的強度には影響しないことが認められた。一方(2)の場合、アンダカットと端部の切欠量は、それぞれ、0~0.3mm、0.5~1.0mm程度存在した。また、試験片製作にあたり、ワイヤの送給量も0.8~1.3mm/minまで変化させた。引張試験の結果、破壊の起点は、全ての試験片で溶接終端部であり、き裂は母材に近い熱影響部を伝播し、溶接始端部に至った。その後、破断を呈した。本実験材料自体の性質から、上記程度のアンダカットや切欠量では、図からも明らかのように、条件の違いに関係なく一様に母材強度の約90%程度の引張強度が認められた。したがって、製品形状を呈することで、強度の向上がより期待できるため、レーザー溶接の有用性が認められる。

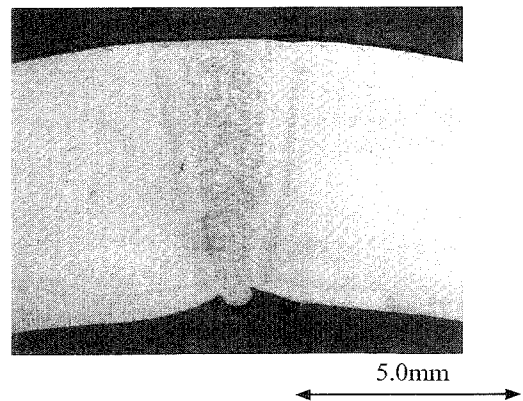


□: 始・終端部切削処理, ■: 始・終端部あり

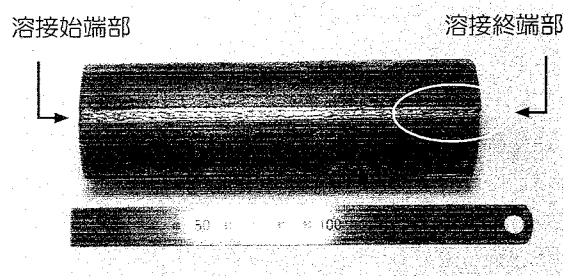
図7 引張強度の傾向

4.5 レーザ製管部品の試作

試作したレーザー製管部品の外観を図8に示す。図(a)に示すように、板厚と同程度の溶込み深さが得られていることが明らかである。また、ビードの余盛・裏波は、試料面とほぼ一致をしているが、同図(b)に示す溶接終端部においては約0.4mm程度のアンダカットが認められた。さらに、レーザー製管部品製作後の溶接始・終端部の除去量としては、最大約10mm以下で充分であることが認められた。これは、溶接による蓄熱で、終端部の突合せ部が開くため、平板の突合せ時よりも大きめの切欠が生成される。よって、今後の課題として、溶接治具や仮付けの検討などが挙げられる。



図(a) マクロ断面



図(b) 試作品の外観

図8 レーザ製管部品の試作

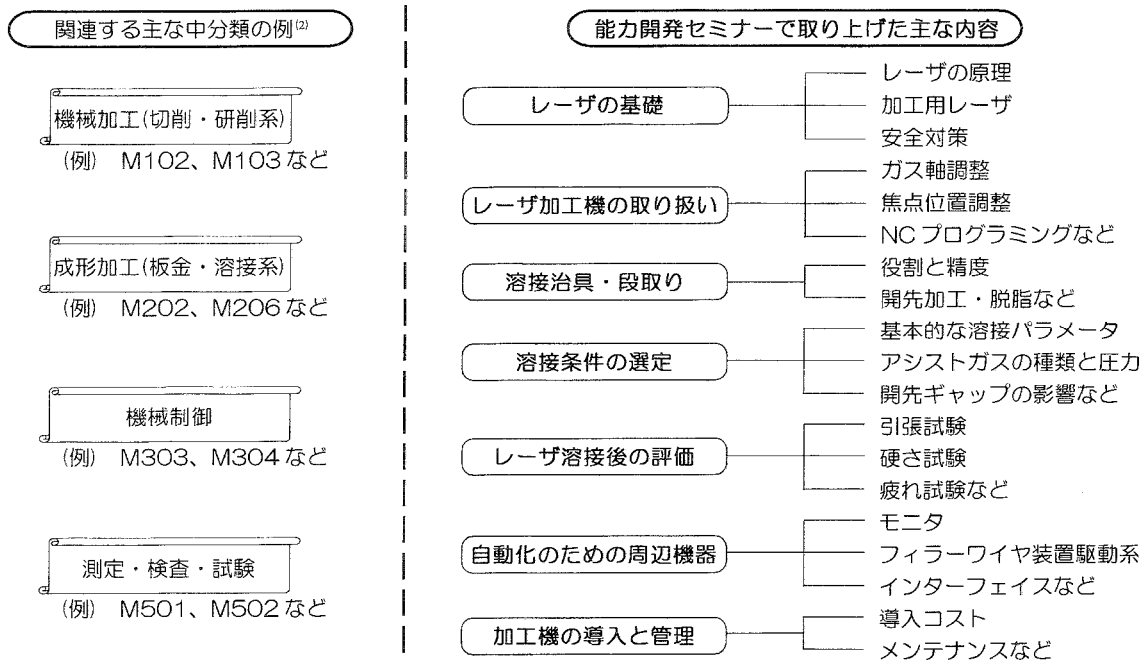


図9 技術移転に関連する内容

V 技術移転の概略的内容

事業主団体研究開発事業によって得られた成果を能力開発セミナーの形式で技術移転した。その概略的な内容を図9に示す。実際に取り上げた内容は、広範囲に及ぶため、実施した能力開発セミナーのみでは、不十分であったことが言える。よって、技術移転に関連する中分類に示されるような分野で、それに適合する内容の検討や体系化などが必要であると考えられる。一方、団体傘下企業間の共通的な問題提起やセミナー内容の統一化などに課題が残される。

VI まとめ

(1) 技術援助の成果

本研究では、パイプ状にプレス成形されたシェア切断鋼板の突合せ部にレーザー溶接の適用を検討し、後加工に伴う加工の低減化・加工時間の短縮化・材料の有効活用化などの可能性が認められた。

(2) 人材育成

相談・援助業務的な観点からは、以下のような成果が得られた。

- ①団体・傘下企業との信頼関係
- ②次期事業主団体研究開発事業への波及
- ③能力開発セミナーとしての技術移転

VII おわりに

事業主団体研究開発事業では、ワーキンググループとしての取り組みがたいへん効果的であったことが言える。つまり、それぞれの専門性をもつ指導員より構成されているため、作業を分担するとよく、相互の技術についても伝達がなされるためである。また、未経験な対象・分野の問題を解決することは、技術的資質の向上やレベルアップなどに重要な役割を果たすと考える。そのような意味においても、実際の生産現場より投げかけられる問題に対し、積極的な取り組みを図ることの重要性を再認した。

謝辞

本事業の遂行にあたりご協力を頂いた協同組合ウイングバレイ、ならびに、(株)共立精機の方々に深く御礼申し上げます。また、貴重なご意見とご指導を頂きました岡山職業能力開発短期大学校の方々にも深く御礼申し上げます。

【参考文献】

- (1) 産報出版株式会社:溶接技術, 11, 46, (1998).
- (2) 雇用促進事業団:平成11年度版能力開発セミナーカリキュラムモデル集.