

レーザを用いた高エネルギー密度加工技術の研究 －溶接部の品質に及ぼすレーザ溶接条件－

高橋 幾久雄*、桑嶋 孝幸*
岩手県接合技術研究会

板厚1.0～3.0mm厚さのステンレス鋼を供試材に、YAGレーザ装置を用いて溶接を行い、溶接部の品質に及ぼす溶接条件を検討した。

シールドガスにArを用いると0.2～0.4mmのブローホールが発生し易いが、N₂を用いるとブローホールの発生は認められない。パルス溶接はCW（連続）溶接に比べてビード幅は狭い。溶接部の引っ張り強さは母材と同等である。TIG溶接と比較すると、ビード幅は約半分で、溶接変形防止に有効である。等の結論を得た。

キーワード：YAGレーザ、ステンレス鋼、溶接、シールドガス、ブローホール、ビード幅

Study on High Density Processing Technique Using Laser － the affect of the welding conditions on the welding zone －

TAKAHASHI Ikuo and KUWASHIMA Takayuki
Joining and Welding resrarch association of Iwate prefecture

Thickness of 1,2,3mm stainless steel are welded by YAG laser using Ar and N₂ shielding gas, and the affect of the welding conditions on the weld zone are studied.

- (1) In the case of using Ar shielding gas, there are many blowholes in the welding zone, but using N₂ shield gas, there are not blowhole in the welding zone.
- (2) The bead width of the pulse laser welding is narrow in comparison with the CW laser welding.
- (3) The tensile strength is equal to the pulse laser welding in the base metal. The bead width of the pulse laser welding is half as large as TIG welding. YAG laser welding is effective in the prevention of welding deformation.

key words : YAG laser, stainless steel, welding, shielding gas, blowhole, bead width

1 緒 言

高エネルギー密度熱源であるレーザを用いる加工技術は局所的な熱処理や微細加工、溶接、切断等に優れた性能を発揮する。レーザの特徴は、①集光により高エネルギー密度が得られる。②遠距離の伝送が可能である。③ワークと接触しない。④自動化が容易。⑤熱影響が小さい。⑥雰囲気を選ばない。等が挙げられる¹⁾。

県内企業はCO₂レーザを用いての切断加工が多く、YAGレーザ装置の高出力化に伴い、その活用に期待が寄せられている。しかしYAGレーザ溶接の出力やシールドガス、溶接速度等の溶接条件が溶接欠陥や強さ等の品質に及ぼす影響が不明確になっているのが現状である。

本研究はステンレス鋼を供試材に、YAGレーザ装置を用いて溶接を行い、溶接部の品質に及ぼす溶接条件を

検討し、レーザ溶接の基礎的性状を調べた。

2 実験方法

2-1 溶接方法

用いたレーザ装置は最大出力 2.5kW の YAG レーザ加工機である。供試材の材質は SUS304、板厚は 1.0、2.0、3.0mm の 3 種類で、大きさ及び形状は幅 35mm、長さ 150mm の板状である。供試材の接合端面は研削加工し、アセトンで脱脂して用いた。接合形状はルート間隔 0mm の I 形突き合わせで、TIG 溶接で両端を仮付け溶接してから拘束ジグに固定し溶接した。

表 1 に溶接条件を示すが、CW 溶接の他にパルス溶接を行った。パルス溶接は図 1 に示すように、波高比 80:20、周波数 50Hz である。

* 金属材料部

表1 溶接条件

板厚 (mm)	1.0	2.0	3.0
出力 (kW)	0.8	1.0、1.2 1.4、1.6	1.6、1.8 2.0、2.2
溶接速度(cm/min)	80、90、100、110、120		
シールドガス	Ar、N ₂		
照射法	CW（連続）、パルス		
焦点位置	供試材表面		
照射角度 (度)	0（垂直）		

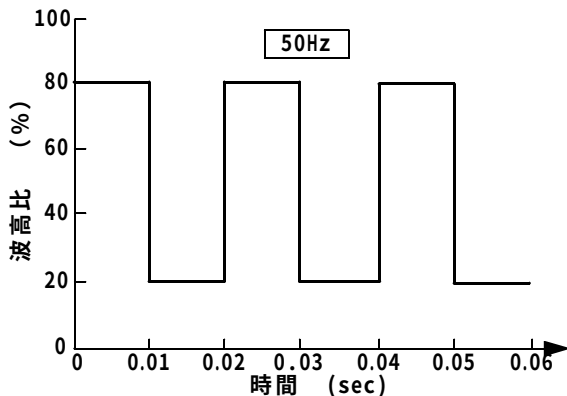


図1 パルスの波形と時間

2-2 溶接部の評価法

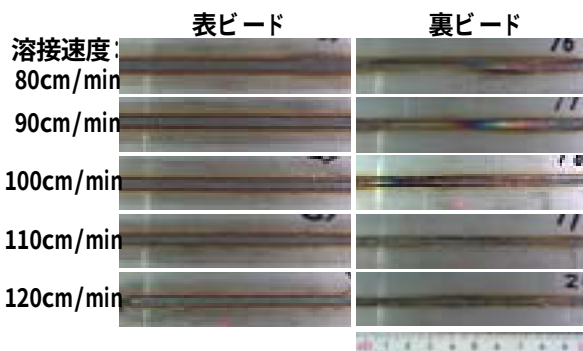
溶接部の評価方法は溶接外観として表面及び裏面のビード形状、X線透過試験による内部欠陥検査、断面マクロ組織によるビード幅、余盛及び裏波高さ、熱影響部の幅、引っ張り強さ等を調べた。また、TIG溶接との比較を同様の項目で行った。

3 実験結果及び考察

3-1 ArガスシールドCW溶接

板厚 3.0mm の供試材をレーザ出力 2.2kW で溶接した表ビードと裏ビードの外観を図2に示す。溶接速度が異なっても板の裏面まで溶け込む、いわゆるキーホール溶接状態になっていることが判る。板厚 1.0 及び 2.0mm も同様で、平滑な表裏ビードが得られる。

X線透過法で溶接部の内部欠陥検査した結果、板厚


図2 Arガスシールド溶接ビードの外観
(出力:2.2kW、t=3.0mm)

1.0mm の溶接部にブローホールの発生は認められないが、板厚 2.0mm と 3.0mm の溶接金属内に直径 0.2mm ～ 0.4mm のブローホールが発生していた。溶接長 60 mm 当たりの発生個数を図3と図4に示すが、レーザ出力が高く、溶接速度が速いと発生個数が少なくなる傾向が認められる。出力が大きいと凝固までの時間が長いいため、ガスが溶接金属から浮上し易く、溶接速度が速いとビード幅が狭くなる、いわゆる単位溶接長当たりの溶接金属量が少なくなることによって起きている。

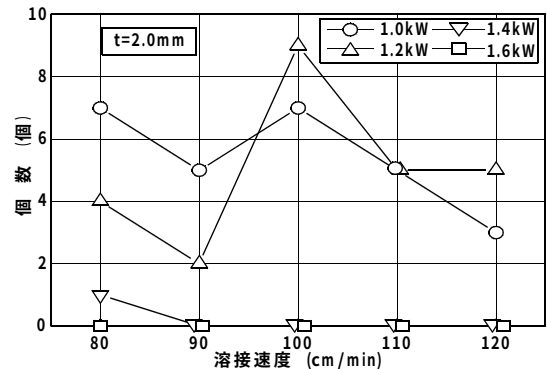


図3 Arガスシールド溶接部のブローホール発生個数

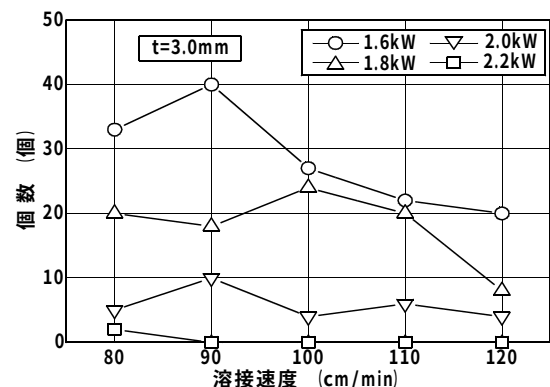


図4 Arガスシールド溶接部のブローホール発生個数

図5に板厚 2.0mm の溶接部断面のマクロ組織を示す。出力が高く、溶接速度が遅いほどビード幅は広くなる傾向が認められる。マクロ組織からブローホール以外の溶接欠陥発生は認められない。また各板厚全ての溶接材で黙視による熱影響部は確認できなかった。

レーザ溶接では断面板厚中央部付近がくびれるネイルヘッド状の溶接金属になる。各板厚のマクロ組織から表面ビード幅と最小ビード幅の測定結果を図6から図8に示す。溶接速度が速く、出力が少ないほど、表面ビード幅・最小ビード幅共に小さくなる傾向が顕著に認められる。余盛高さと裏波高さを測定した結果、板厚 1mm の余盛高さは 0 ～ 0.1mm、2mm 厚は 0.1 ～ 0.1mm、3mm 厚は 0.2 ～ 0.1mm で、出力が大きいとどの厚不足になる傾向がある。裏波高さは 1mm 厚で 0 ～ 0.1mm、2 ～ 3mm 厚では 0 ～ 0.4mm の範囲で裏波が形成され、溶け込み不足は認められない。

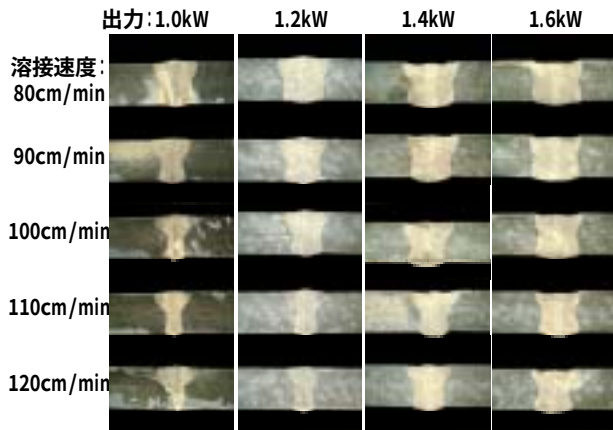
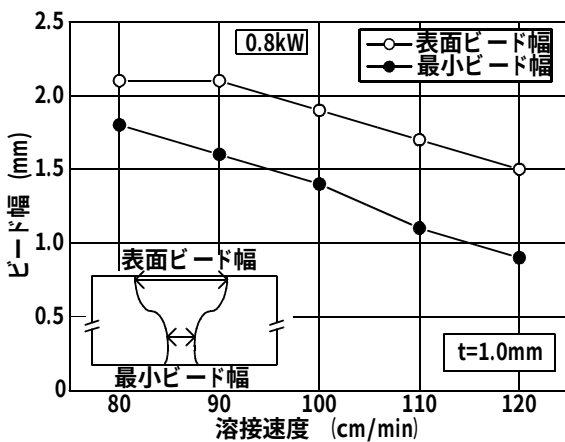

図5 Arガスシールド溶接部断面のマクロ組織 ($t=2.0\text{mm}$)


図6 Arガスシールド溶接部断面のビード幅

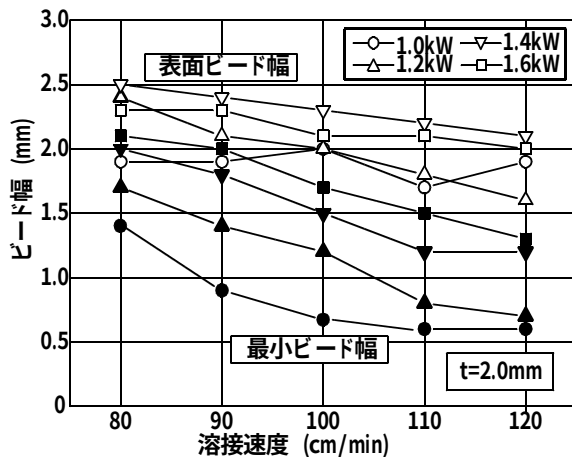


図7 Arガスシールド溶接部断面のビード幅

3-2 N₂ガスシールドCW溶接

シールドガスを N₂ に変えて同じ条件で溶接した。表裏のビード外観は Ar ガスシールド溶接と変わりなく平滑なビードが得られる。溶接材の X 線透過試験結果はいずれの試験材もブローホールの発生は認められなかった。これは窒素ガス雰囲気では熔融金属の表面張力が低下し、熔融池の流動性が改善される²⁾ことと、窒素ガスはオーステナイト組織安定化元素で、フェライト組織に比べてガスの固溶量が大きいためである。ブローホール以外の

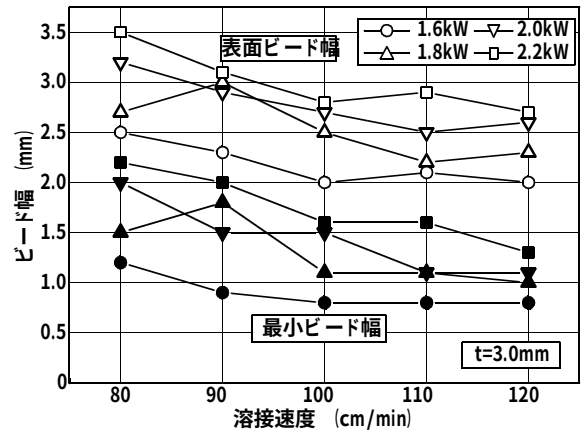
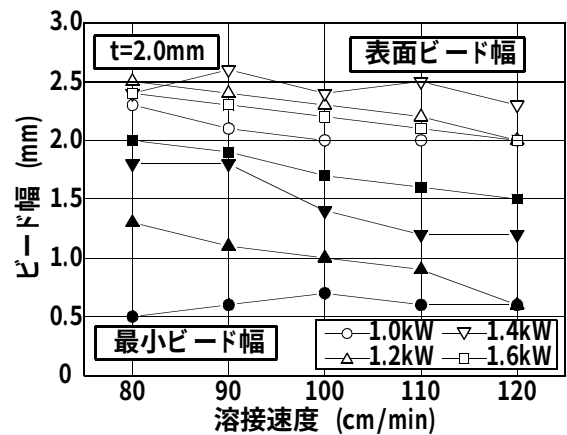
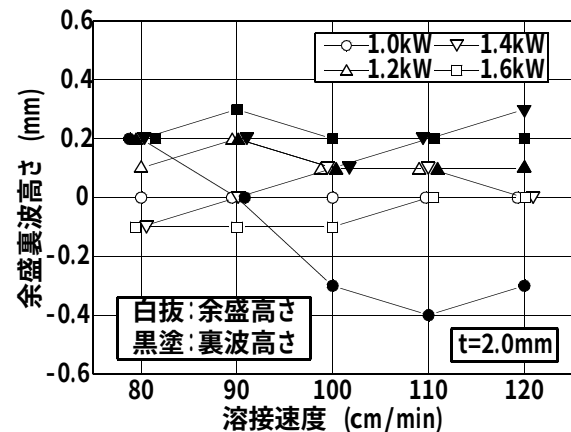


図8 Arガスシールド溶接部断面のビード幅

内部欠陥の発生は認められない。

代表して板厚 2.0mm のビード幅測定結果を図9に示すが、Ar ガスシールド溶接と大差ない。ただビードのど厚を調べると、図10の余盛裏波高さ測定結果に示すように $t=2.0\text{mm}$ で出力 1.0kW、溶接速度が 100 ~ 120cm/min はキーホール溶接ができず、溶け込み不足になっている。溶け込み深さは Ar ガスシールド溶接に比べて少ないと想定されるが、板厚 1.0mm と 3.0mm は全てキーホール溶接になっている。


図9 N₂ガスシールド溶接部断面のビード幅

図10 N₂ガスシールド溶接部断面の余盛裏波高さ

3-3 N₂ガスシールドパルス溶接

N₂ガスシールドパルス溶接は平均出力が1.7kW以上にできなかったため、板厚3.0mmは1.6kWのみ行った。いずれの溶接材もビード外観は良好であった。図11に板厚2.0mmの溶接断面マクロ組織を示す。このマクロ組織からビード幅を測定した結果を図12に示す。図9に示すCW溶接のビード幅は出力に依存し、大きく異なるのに対して、パルス溶接は出力や溶接速度の影響を受けず、ビード幅はほぼ同じ値を示し、変化が少なかったことが判明した。更にビード幅はCW溶接に比較し、出力が小さいほど狭くなる傾向が高かった。余盛高さと裏波高さを測定した結果、余盛高さは0.1～0.1mm、裏波高さは0.1～0.3mmになる。

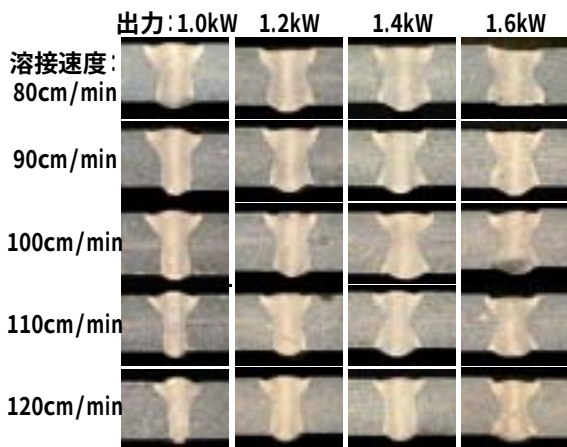


図11 パルス溶接の断面マクロ組織 (t=2.0mm)

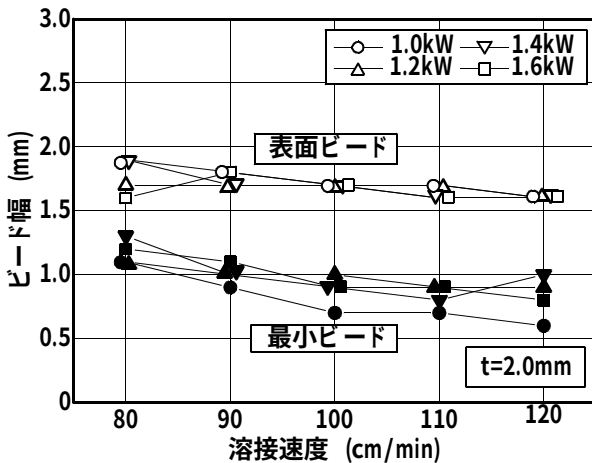


図12 パルス溶接断面のビード幅

3-4 溶接部の強さ

溶接部の強さを調べるために、板厚3.0mm、レーザ出力1.6kW、溶接速度100cm/minの溶接条件の試験材で引っ張り試験を行った。余盛と裏波は溶接のままである。引っ張り試験結果を図13に示す。パルス溶接がCW溶接より引っ張り強さが高いのに溶接部破断になっているのは、ステンレス鋼母材の購入ロットが異なり、CW溶接用母材の引っ張り強さは650N/mm²に対して

パルス溶接用母材は700N/mm²のためである。CW溶接、パルス溶接共にほぼ母材の強さが得られる。

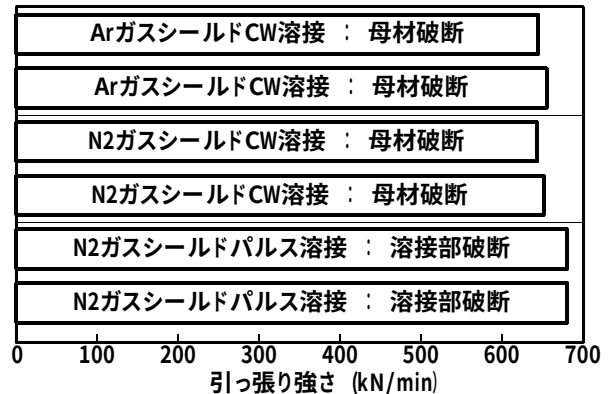


図13 溶接材の引っ張り強さと破断箇所

3-5 TIG溶接との比較

図14は板厚3.0mmのTIG溶接条件と断面マクロ組織を示す。TIG溶接の表面ビード幅は5.2mm、最小ビード幅は3.0mmで、レーザ溶接に比べて、表面ビード幅・最小ビード幅共に2倍近く広くなる。このことは溶接変形防止にレーザ溶接が有効と考えられる。また表面の凹みは0.3mm、裏側の凹みは0.1mmである。熱影響部はレーザ溶接では殆ど生じないが、TIG溶接は0.1～0.3mm幅に生じる。TIG溶接の溶接速度30cm/minに対して、レーザ溶接の溶接速度は2.5～4倍で溶接能率向上にも有意と考えられる。

溶接条件	
溶接電流	120A
アーク電圧	29V
溶接速度	30cm/min



図14 TIG溶接条件と断面マクロ組織

4 結 言

ステンレス鋼のレーザ溶接について検討した結果、以下の結論を得た。

- (1)Ar シールドガス溶接は小さいブローホールが発生しやすい。N₂ ガスシールド溶接はブローホールの発生が認められない。
- (2)パルス溶接は連続溶接に比べて、ビード幅は狭い。
- (3)レーザ溶接部の引っ張り強さは母材と同等である。
- (4)レーザ溶接は TIG 溶接に比べ、ビード幅は半分ほどで、熱影響部は確認できず、溶接速度もかなり速くできる。

文 献

- 1) 松田福久:レーザ表面改質の現状と展開,4, (2001)
- 2) 川口聖一:ステンレス鋼のレーザ溶接金属の品質,溶接学会誌, 第68巻,(1999),6, P32