

アルミニウム合金と軟鋼薄板のパルス YAG レーザ溶接継手の評価

日大生産工 (院) ○池島 康介 日大生産工 朝比奈 敏勝 日大生産工 加藤 数良

1. 緒言

CO₂を削減するため車両を軽量化にすることが必要不可欠である。車両の軽量化においてはマグネシウム合金やチタン合金などの比強度の高い材料を使用することが望ましいが、この種の材料は高価なために車両のコストが高くなる。また、マグネシウム合金においては常温での成形性が悪く、耐食性に問題がある。これら金属材料より安価で成形性に優れている A5052 アルミニウム合金と最も安価で成形性に優れている軟鋼薄板を接合して継手を製作することによって軽量化とコスト高を抑制することの両立が可能であると考えた。

著者らはすでにアルミニウム合金板と軟鋼薄板をパルス YAG レーザ溶接で突合せ溶接を行った¹⁾。その結果、端面を突合せるとビードにアンダーフィルが発生して強度が低下するため、十分な継手強度が得られなかった。そこで本研究では、継手に余盛りを作るためにフランジを設け、A5052 アルミニウム合金板と軟鋼薄板をパルス YAG レーザ溶接による異材溶接継手を製作して、その評価を行った。

2. 供試材および実験方法

供試材には板厚 0.6 mm、長さ 100 mm、幅 50 mmに機械加工した A5052-H34 アルミニウム合金板および SPCC-SD 軟鋼板を使用した。供試材の化学組成を Table 1、機械的性質を Table 2 に示す。また、A5052 の端部は Fig.1 に示すフランジ形状に機械加工して使用した。溶接前に供試材の突合せ部周辺を研磨後、ブタノンで脱脂洗浄をした。

Table1 Chemical compositions of base metals.

A5052	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
	0.08	0.25	0.02	0.06	2.40
	Cr	Zn	Ti	Al	
	0.18	0.01	0.01	Bal.	

SPCC	C	Si	Mn	P	S	Fe
	0.04	-	0.18	0.15	0.14	Bal.

Table2 Mechanical properties of base metals.

	Tensile strength [MPa]	Elongation [%]	Hardness [HK0.05]
A5052P-H34	246	7	95.4
SPCC-SD	310	42	131

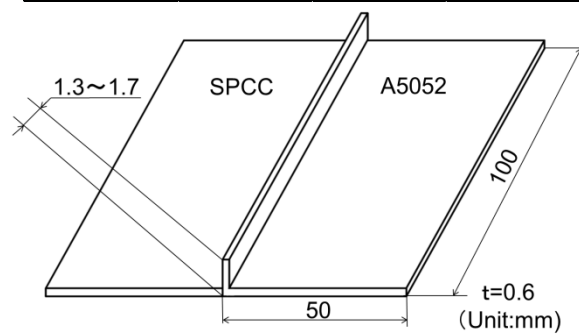


Fig.1 Shape and size of specimen.

Table3 Laser welding conditions.

Flange height L=1.3mm

Laser output (W)	400
Pulse width (msec)	2.0,4.0,6.0
Pulse frequency (Hz)	20,30,40
Welding speed (mm/min)	462~1512
Overlap rate (%)	10~45
Gas flow rate (ℓ/min)	Assist 30
	Back 30

Flange height L=1.5, 1.7mm

Laser output (W)	400
Pulse width (msec)	2.0
Pulse frequency (Hz)	30
Welding speed (mm/min)	945~1134
Overlap rate (%)	25~60
Gas flow rate (ℓ/min)	Assist 30
	Back 30

Evaluation of the welding joint of A5052 aluminum alloy and mild steel sheets with pulsed YAG laser.

Kousuke IKEJIMA, Toshikatsu ASAHINA, Kazuyoshi KATOH

溶接装置は、最大平均出力 550W(最大パルスエネルギー：70J) のパルス YAG レーザ溶接機を使用した。本実験で使用した溶接条件を Table 3 に示す。レーザヘッドは、供試材からの反射光を避けるために後退角 20° とした。焦点距離 80 mm の集光レンズを使用し、焦点位置は A5052 のフランジ上部とし、焦点距離は供試材表面とした。アシストガスおよびバックガスに Ar ガスを使用した。良好な外観が得られた継手の引張試験、硬さ試験、組織観察および成分分析を行った。

溶接条件のパラメータとしてオーバーラップ率 (以降 OL 率と称す) およびピークパワー (以降、P.P 称す) がある。OL 率の式を下記に示す。

$$\text{OL 率} = \left\{ 1 - \frac{V}{\text{PF} \times D \times 60} \right\} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ただし、V：溶接速度(mm/min)，PF：パルス周波数(Hz)，D：ビームスポット径(0.7mm)とする。(1) 式よりパルス周波数が同一である場合に溶接速度が速いと OL 率が高くなり、溶接速度が遅いと OL 率が低くなる。OL 率を変化させたときのビードの例を Fig.2 に示す。

次に P.P の式を下記に示す。

$$\text{P.P} = \frac{Q}{\text{PF} \times \text{PW}} \quad (\text{kW}) \quad (2)$$

ただし、Q：出力(W)，PF：パルス周波数(Hz)，PW：パルス幅(msec)とする。実際に計測したパルス幅による単位時間あたりのエネルギーの変化を Fig.3 に示す。同出力でパルス幅が短いと単位時間当たりの照射エネルギー (P.P) が増加し、深い溶込みが得られる。

3. 実験結果および考察

3.1 溶接条件の選定

フランジ高さ L=1.3mm における溶接条件の選定を行った。OL 率を 10～45% の範囲でパルス幅、溶接速度およびパルス周波数を変化させた条件でのビード外観観察結果を Fig.4 に

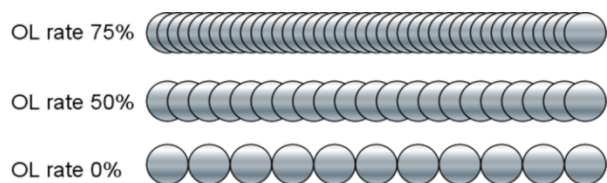


Fig.2 Schematic illustrations of weld bead under several overlap rate.

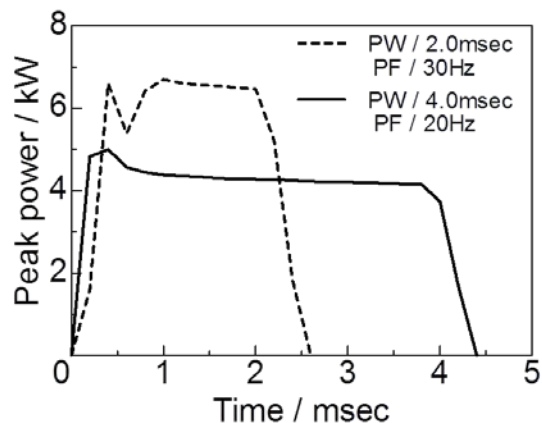


Fig.3 Energy per unit time by pulse width.

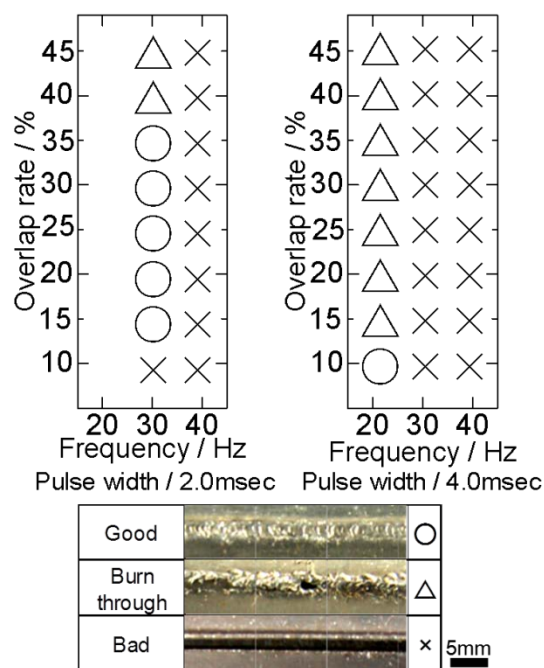


Fig.4 Relation between welding conditions and bead appearances.

示す。ただし、パルス幅 2.0msec、パルス周波数 20Hz のビード外観に及ぼす OL 率の影響はパルス YAG レーザ溶接機の使用限界を超えたため溶接を行うことができなかった。パルス幅 2.0msec、パルス周波数 30Hz の条件において OL 率が 15～35% で良好な継手を得られた。しかし、OL 率が高い条件で A5052 に数か所の溶落ちが発生してしまい良好な継手を得ることができなかった。

また、OL 率が低い条件では A5052 が十分に裏まで溶込まず溶込み不足となった。

(2) 式よりパルス幅 2.0msec, パルス周波数 30Hz の条件で P.P は最高値の 6.6kW を示す。また、パルス幅 2.0msec, パルス周波数 40Hz およびパルス幅 4.0msec, パルス周波数 20Hz の条件では P.P は 5.0kW となり、その他の条件ではそれ以下の値となる。このことから Fig.3 より P.P が 5.0kW 以下の条件では A5052 に設けたフランジが十分に溶け込まなかったものとする。また、パルス周波数が高くなるにつれて溶接速度が速くなり、入熱が低くなる。よって P.P が 5.0kW と同一である条件のパルス幅 2.0msec, パルス周波数 40Hz およびパルス幅 4.0msec, パルス周波数 20Hz のビード外観に相違が観察された。

3.2 フランジ高さが継手強度に及ぼす影響

3.1 の実験から得られた最良の条件を基にフランジ高さによる溶接条件の影響について検討した。OL 率を 15~60% の範囲でフランジ高さを変化させた条件でのビード外観観察結果を Fig.5 に示す。フランジ高さ L= 1.3mm の条件では OL 率 15~35%, フランジ高さ L= 1.5mm の条件では OL 率 25~50%, フランジ高さ L=1.7mm の条件では OL 率 35~55% で良好な継手が得られた。また、それ以外の条件では、溶落ち、または溶込み不足となり、継手が得られなかった。各フランジ高さにおける継手の引張試験結果を Fig.6 に示す。フランジ高さ L=1.3mm, OL 率 25% の条件では平均引張強さが 147MPa, A5052 に対する継手効率が約 60% であり、フランジ高さ L=1.5mm, OL 率 45% の条件では平均引張強さが 136MPa, A5052 に対する継手効率が約 55% であった。フランジ高さ L=1.7mm, OL 率 45% の条件で平均引張強さが 173MPa, A5052 に対する継手効率が約 70% となり、その他の条件ではそれ以下であった。フランジ高さ L=1.7mm で最も高い引張強さとなった。

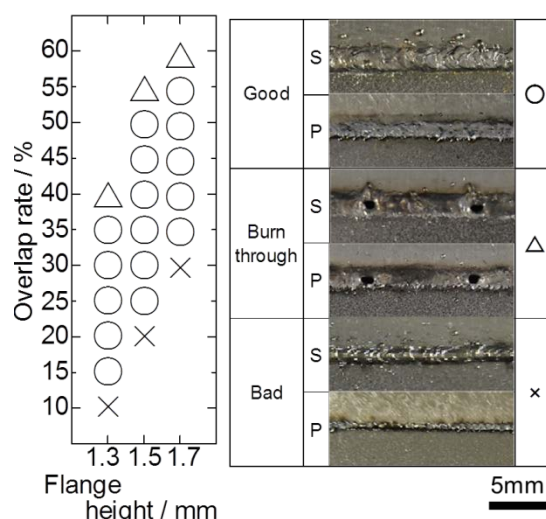


Fig.5 Relation between welding conditions and bead appearances.

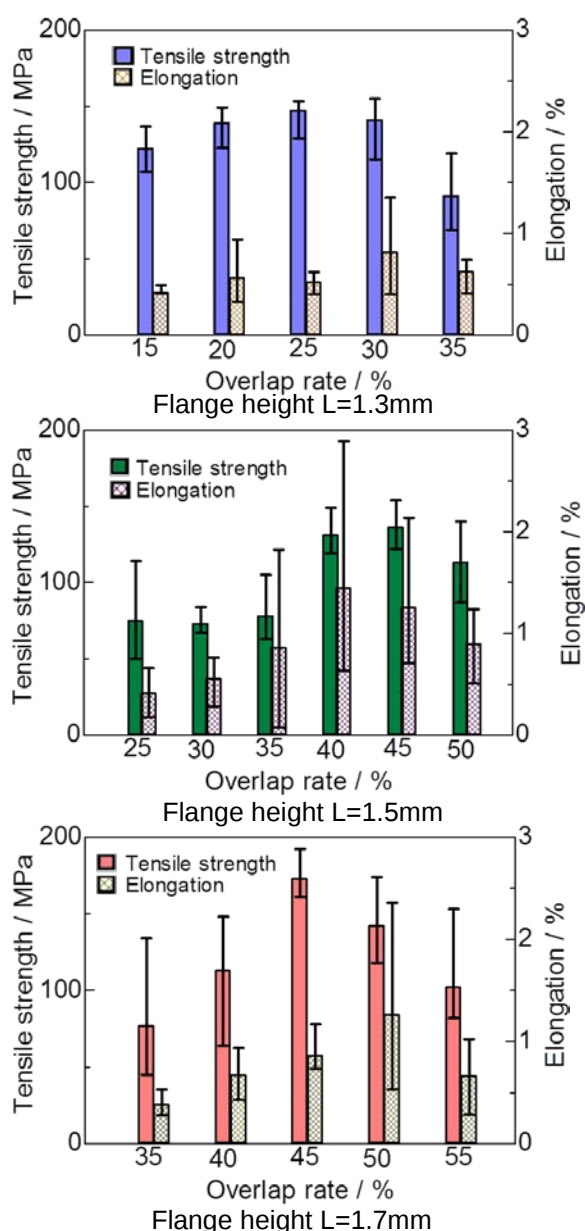


Fig.6 Relation between overlap rate and tensile strength of welded joints.

伸びはすべての条件で 3%以下であった。また、引張試験片はすべての条件で SPCC 側のボンド部で破断した。

フランジ高さ $L=1.7\text{mm}$ 、OL 率 45%の硬さ試験結果を Fig.7 に示す。フランジ高さ $L=1.7\text{mm}$ 、OL 率 45%の条件では溶融凝固部 SPCC 界面で 254HK0.05 を示し、両母材に比較して著しく硬化した。また、A5052 側の熱影響部では若干の軟化が認められた。その他の条件でも同様の傾向が認められた。このことよりすべての条件において SPCC 界面部近傍に金属間化合物が存在すると考えられる。

フランジ高さ $L=1.3\text{mm}$ およびフランジ高さ $L=1.7\text{mm}$ の継手横断面の組織観察結果を Fig.8 に示す。2つの継手を比較するとフランジ高さ $L=1.7\text{mm}$ の条件の継手では SPCC に A5052 が覆いかぶさっていることが確認できた。この形状効果によりフランジ高さ $L=1.7\text{mm}$ の条件で引張強さが最高値になったものと考えられる。また、界面近傍では金属間化合物と思われる層が確認された。その層の厚さは $20\sim 300\mu\text{m}$ 程であった。金属間化合物層の厚さは数 μm を超えると継手強度を大きく低下させると報告されている²⁾。

引張試験後の破断部の SEM による破面観察結果は図には示さないが A5052 および SPCC で脆性的な破面が認められた。また、継手の EDAX による成分分析の結果を Fig.9 に示す。A5052 に SPCC がわずかながらに溶込んでいることが観察された。

4. 結言

- 1) フランジを設けることでアンダーフィルの発生を防止することができた。
- 2) フランジ高さを高くし、OL 率を増加させることによって 5052 アルミニウム合金が軟鋼薄板に覆いかぶさり、引張強さが向上し、フランジ高さ $L=1.7\text{mm}$ 、OL 率 45%で継手効率約 70%が得られた。

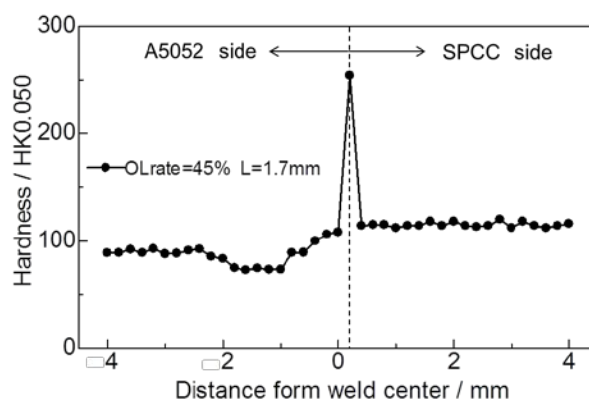


Fig.7 Hardness distribution of welded joint.

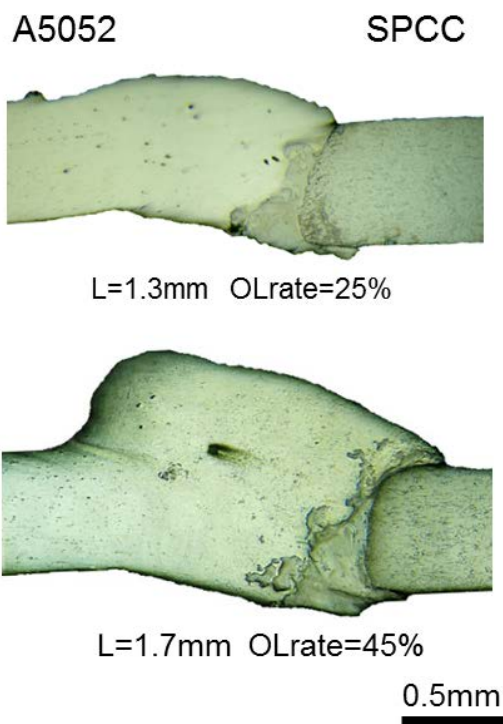


Fig.8 Macrostructure of welded joint.

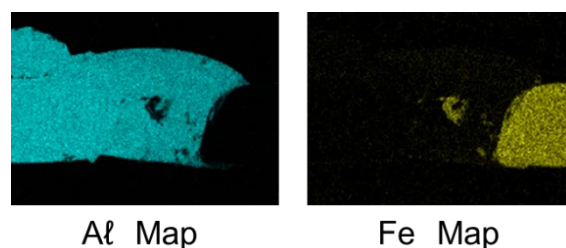


Fig.9 Fusion zone analyzed by EDAX analysis.
($L=1.7\text{mm}$ OLrate=45%)

参考文献

- 1) 池島康介, “パルス YAG レーザによる 5052 アルミニウム合金と軟鋼薄板の異材溶接性” 機械学会関東支部 第 51 回学生員卒業研究発表会 (2012), 講演番号 303
- 2) 泰山正則, 小川和博, 高隆夫, “アルミクラッド鋼インサート抵抗溶接法の検討 - 鋼/アルミニウムの異材接合に関する研究 (第1報) -” 溶接学会論文集 第14巻 第2号 p. 314-320 (1996)