

パルス YAG レーザ溶接によった純チタンと軟鋼薄板を組合せた 異材継手の組織および機械的性質

日大生産工（院） ○池島 康介 日大生産工 加藤 数良
日大生産工 野本 光輝 元日大生産工 朝比奈敏勝

1. 緒 言

近年、地球温暖化や化石燃料の枯渇などの問題が深刻化しており、輸送機器のさらなる燃費向上が求められている。燃費向上の一つの方法として、軽量化が挙げられ、自動車では車体重量の1%の軽量化によって約0.5%の燃費向上効果があるとされている¹⁾。

現在では、自動車のサブフレームやパネルなどにアルミニウム合金の使用比率が高くなっており、軽量化が進んでいる。また、アルミニウム合金と鉄鋼材料を組合せて接合したフレームやボディーがハイブリット構造として実用化されている^{2)~4)}。一方、チタンは航空宇宙分野で機体の一部やエンジンとして使用されているが、自動車ではエンジンや排気系の一部に使用されているのみであり、量産車への適用はほとんどない。これは、チタンが高価であり、自動車などのコスト低減要求が厳しい製品には不向きなためである。そこで、チタンの耐食性に優れ、比強度が高い特徴を活かし、構造用材料の一部として最も安価である軟鋼と組合せることで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る。

著者らはすでに純チタンと軟鋼薄板のパルス YAG レーザ溶接性について検討し⁵⁾、突合せ溶接により接合可能なことを示した。しかしながら、継手効率は約60%であった。そこで本研究では継手効率を向上させるために接合部にフランジを設けること⁶⁾により純チタンと軟鋼薄板をパルス YAG レーザによって突合せ溶接を行い、その溶接性を組織および機械的性質より検討した。

2. 供試材および実験方法

供試材は板厚 0.6mm の TP340C 純チタンおよび SPCC-SD 軟鋼板を長さ 100 mm、幅 50 mm に機械加工したものを用いた。Table 1 に供試材の化学組成を、Table 2 に機械的性質を示す。Fig.1 に接合方法の概略図を示す。TP340C または SPCC の一方の供試材端部に高さ 1.5mm のフラ

Table 1 Chemical compositions of base metals. (mass%)

TP340C	C	H	O
	0.013	0.0034	0.060
	N	Fe	Ti
	0.002	0.054	Bal.
SPCC	C	Si	Mn
	0.04	-	0.18
	P	S	Fe
	0.015	0.014	Bal.

Table 2 Mechanical properties of base metals. (mass%)

	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HK0.05)
TP340C	365	50	151
SPCC	308	53	108

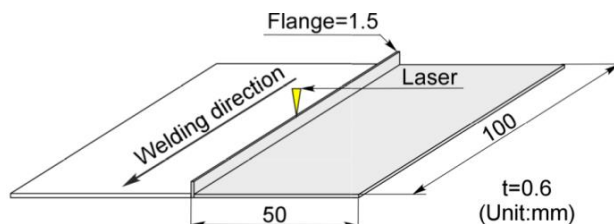


Fig.1 Schematic illustration and dimensions of welding method.

Table 3 Laser welding conditions.

Laser output	Q (W)	400
Pulse width	PW (ms)	6.0
Pulse frequency	PF (Hz)	20
Welding speed	TP340C side V (mm/min)	600~1098
	SPCC side V (mm/min)	402 ~ 798
Gas flow rate	Assist GF _A (ℓ/min)	30
	Back GF _B (ℓ/min)	30

Structure and Mechanical Property of Pulse YAG Laser Welded TP340C/SPCC Joint
Kousuke IKEJIMA, Kazuyoshi KATOH, Mitsuteru NOMOTO and Toshikatsu ASAHINA

ンジを製作し、フランジを溶融させて継手に余盛りを設ける方法である。溶接前に供試材のフランジ部および突合せ部周辺を研磨後、ボタンで脱脂洗浄した。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。Table 3 に本実験の溶接条件を示す。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、焦点距離 80 mm の集光レンズを用い、ビームスポット径は 0.7mm とした。焦点位置はフランジ部とし、供試材の表面とした。また、アシストガスおよびバックガスは 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、破断面観察、硬さ試験および組織観察を行い、溶接性を評価した。

溶接条件のパラメータは Table 3 以外に Overlap rate（以降、OL 率）がある。OL 率とはビームスポットの重なりを示す値であり、式（1）より求めた。

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

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。OL 率が大きいほどビームスポットの重なる割合が大きくなり、入熱も多くなる。また、溶接速度が遅いほど OL 率は大きくなる。OL 率はフランジを TP340C 側に設けた場合では -30.7～28.6%，フランジを SPCC 側に設けた場合では 16.4～52.1%となる。

3. 実験結果および考察

Fig.2 にビード外観の良否を判定した結果を示す。○は良好なビードが得られた条件、●は接合が可能であったがフランジの一部がビードに残存した条件、△はビードに溶け落ちが発生した条件、×は溶け込み不足の条件である。フランジを TP340C 側に設けた継手では溶接速度 702、798mm/min、フランジを SPCC 側に設けた継手では溶接速度 498、600mm/min の範囲で良好なビードが得られた。TP340C 側にフラン

ジを設けた場合では 900、1002mm/min の条件で Fig.3 に巨視的組織を示すようにフランジの一部がビードに残存した。また、これらより溶接速度が速い条件および遅い条件では、溶け込み不足および溶け落ちが発生した。このことは、溶接速度が速いと OL 率が小さくなり、フランジを溶融する入熱が不足したためにフランジ

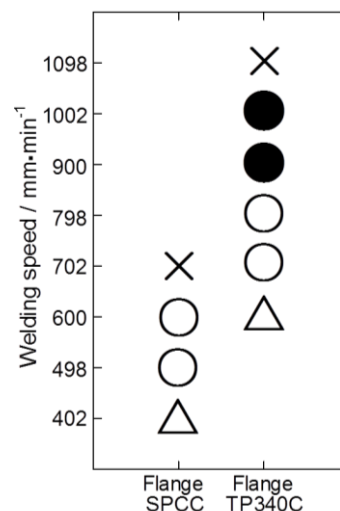


Fig.2 Results of bead appearances.



Fig.3 Macrostructure of welded joint.
(Flange TP340C, V=1002mm/min)

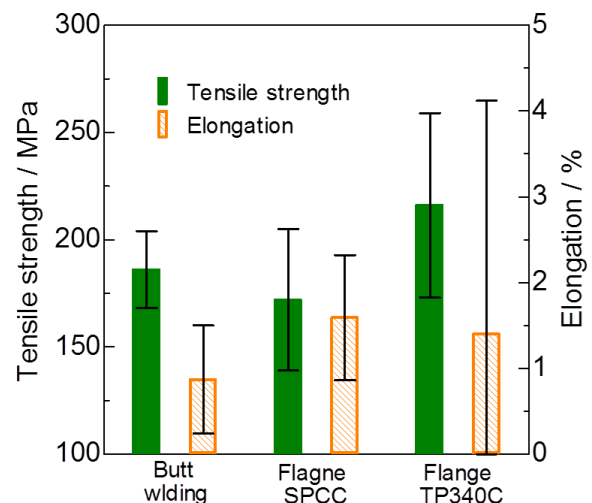


Fig.4 Results of tensile test.

の一部が残存し、溶け込み不足となったためである。また、溶接速度が遅い条件では OL 率が大きくなるため入熱過多により溶け落ちが発生した。

Fig.4 にフランジを設けて溶接した継手と比較のためにフランジなしで突合せて溶接を行った継手の引張強さを示す。フランジなしの継手は、焦点位置を突合せ面から TP340C 側に 0.2mm オフセットし、出力 250W、パルス幅 5.0ms、パルス周波数 30Hz、溶接速度 798mm/min の条件で溶接した。また、SPCC 側にフランジを設けた継手は溶接速度 600mm/min、TP340C 側にフランジを設けた継手は溶接速度 702mm/min の条件である。引張強さの最高値は TP340C 側にフランジを設けた継手で 216MPa を示し、継手効率は SPCC に対して約 70%であった。伸びはすべての条件で 2%以下と著しく低い値であった。

Fig.5 に引張試験後の試験片側面の巨視的組織を示す。図で明らかなように破断は SPCC 側のボンド部であった。また、他の条件においても破断箇所は類似した位置であったが、SPCC 側にフランジを設けた溶接速度 498mm/min の継手は溶融凝固部で破断した。

Fig.6 に TP340C 側にフランジを設けた継手の破面観察結果を示す。破断面は全面が脆性的な破面を呈し、破断面の一部にブローホールが認められた。他の条件においても類似した破面を呈した。また、フランジなしの継手にも類似したブローホールが観察されたが、SPCC 側にフランジを設けた継手にはブローホールは認められなかった。

Fig.7 に継手板厚中央部の硬さ試験の結果を示す。溶融凝固部の硬さは両母材に比較して著しく高い値を示し、金属間化合物の生成が考えられる。また、SPCC 側にフランジを設けた継手では溶融凝固部の硬さは高い値であるが、他の条件に比較して、溶融凝固部の硬さが低いことが認められた。

Fig.8 に巨視的および微視的組織観察結果を

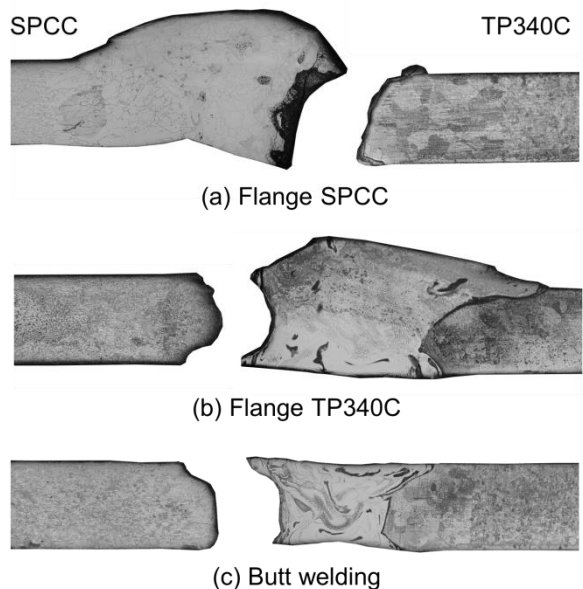


Fig.5 Macrostructure of tensile tested specimen.

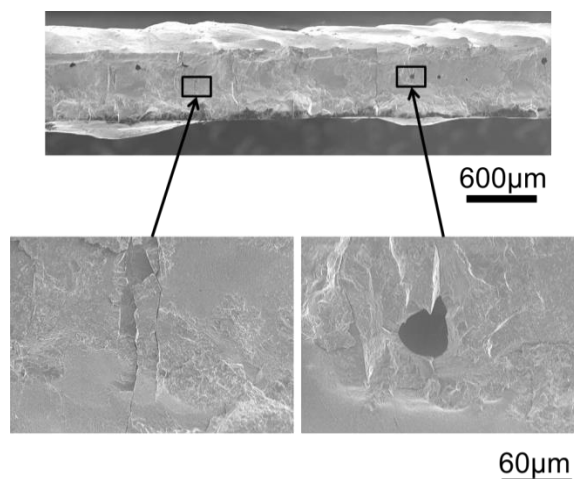


Fig.6 Fractographs of tensile fractured surface. (Flange TP340C, TP340C side)

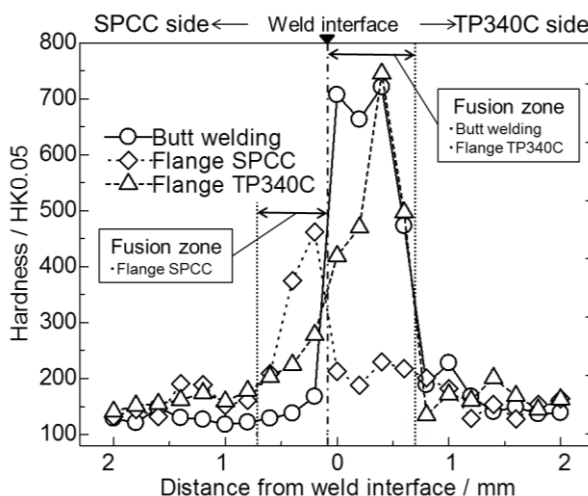


Fig.7 Hardness distributions of welded joint.

示す。フランジなしの継手およびフランジを TP340C 側に設けた継手では界面から約 300 μm の範囲に、フランジを SPCC 側に設けた継手では界面から約 40 μm の範囲に両素材の混合した組織が観察された。これらの混合した組織が Fig. 6 の硬化範囲と一致していることからこの範囲に金属間化合物が存在すると考える。Fig. 4 の引張試験結果より広い範囲に混合した組織が観察された継手の引張強さが高くなる傾向を示した。フランジなしの継手およびフランジを SPCC 側に設けた継手では若干目違いが生じたが、Fig. 5 の引張後の破断形状より目違いによる影響は小さいと考える。

図は示さないがフランジを TP340C 側に設けた継手を EPMA 分析した結果、TP340C 側の接合界面に酸化物が認められ、溶融凝固部では Ti 側の広範囲に Fe が分散した状態であった。このことが引張強さの向上を妨げた原因と考える。

4. 結 言

純チタンと軟鋼薄板のパルス YAG レーザ溶接において純チタン側にフランジを設けて溶接することにより、継手効率を約 10%向上させることができた。

参考文献

- 1) 自動車技術会編, “自動車の材料技術”, 朝倉書店, (1996), 41.
- 2) 志賀信道, “ここまできた自動車のアルミ化”, アルトピア, VOL. 37 NO. 1, (2007), 25-35.
- 3) 千葉晃司, “自動車におけるアルミニウムと鋼板との接合技術”, 軽金属学会第 84 回シンポジウム, (2008), 8-19.
- 4) 宮原哲也, 佐山満, 矢羽々隆憲, 大浜彰介, 畑恒久, 小林努, “サブフレームへ適用可能な FSW を用いたスチールとアルミニウムの連続接合技術”, Honda R&D Technical Review, Vol. 25 No. 1, (2013), 71-77.
- 5) 池島康介, 加藤数良, 野本光輝, 朝比奈敏勝, “純チタンと軟鋼薄板を組合せた異材パルス YAG レーザ溶接性”, 機械学会第 21 回機

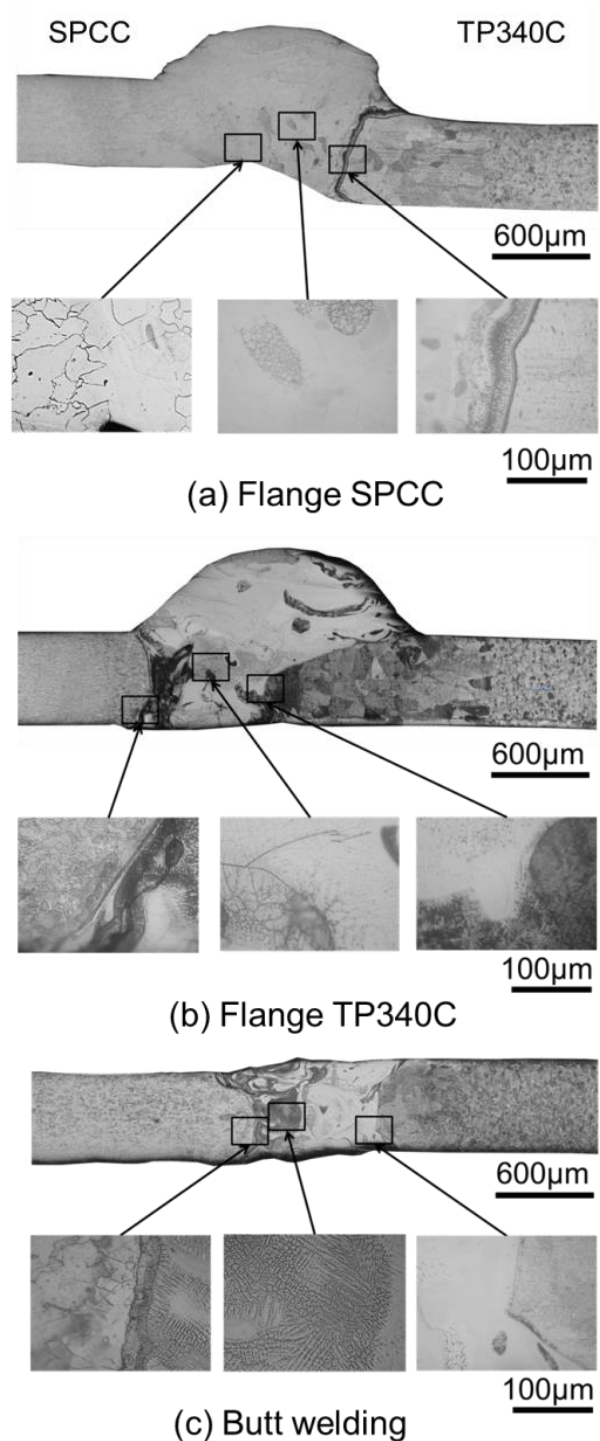


Fig.8 Macro and microstructures of welded joint.

械材料・材料加工技術講演会 (M&P2013), CD-ROM.

- 6) 池島康介, 朝比奈敏勝, 加藤数良, “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溶接性に及ぼす溶接条件の影響”, 溶接学会全国大会講演概要第 91 集, (2012), 28-29.