

純チタンパルス YAG レーザ溶接継手の張出し成形性

日大生産工(院) ○泉 秀太朗 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

純チタンは軽量で高強度の金属材料であり，表面には緻密な不動態皮膜が形成されることから優れた耐食性を有している．この特徴を活かし，化学装置，熱交換器，復水器等の過酷な環境下で使用されている¹⁾．近年では建築外装，民生品分野等の薄板製品での用途が増加しているが，これらの多くは曲げ，絞りなど薄板特有の加工が施される．したがって深絞り鋼板やステンレス鋼板と同程度の高度な加工性を要求される場合も多い²⁾．その出荷量は主として高コストであることから鉄鋼やアルミニウム等の主要実用金属材料の場合と比べると著しく少ない³⁾．近年車体に適用されているテーラードブランクをチタン材料に適用することが可能であれば，部品点数の削減および重量の低減によりコスト削減ができ，チタンの用途が拡大すると考える．

本研究では純チタンパルス YAG レーザ溶接継手の機械的性質に及ぼす溶接条件および健全な継手の張出し成形性を検討した．

2. 供試材および実験方法

供試材には板厚 0.6mm の純チタン 2 種 (TP340C) を幅 50mm，長さ 100mm に機械加工したものをを用いた．溶接前処理として突合せ部周辺を研磨し，ブタノンで脱脂洗浄した．

Table 1 に供試材の化学組成，Table 2 に機械的性質を示す．溶接には最大平均出力 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，ルート間隔なしの I 型突合せ溶接を圧延方向に対し垂直に行った．焦点位置は突合せ部とし，供試材からの反射光を

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

C	H	O	N	Fe	Ti
0.013	0.0034	0.060	0.002	0.054	Bal.

Table 2 Mechanical properties of base metal.

Angle to roll direction	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HK0.05)
0°	365	50.1	151
45°	324	64.0	
90°	361	48.6	

Table 3 Welding conditions.

Laser output	Q (W)	300
Pulse width	PW (ms)	4.0, 8.0
Pulse frequency	PF (Hz)	20, 30, 40
Peak power	P.P. (kW)	0.94 ~ 3.8
Overlap rate	(%)	25, 50
Welding speed	V (mm/min)	420 ~ 1260
Assist gas	(ℓ/min)	30
Back shielding gas	(ℓ/min)	30

避けるためにレーザヘッドの後退角を 20° とした．焦点距離 80mm の集光レンズを使用し，焦点は供試材表面とした．アシストガスおよびバックシールドガスはアルゴンガスを使用した．Table 3 に溶接条件を示す．

ビード外観が良好な継手に対して組織観察，溶融面中央部のヌーブ硬さ試験，溶接方向に対し平行および垂直の2方向の引張試験を室温で行った．

上記の試験結果から最も健全な継手を選定し，張出し成形性をエリクセン試験により検討した．試験速度を 3, 9, 15mm/min として室温で行い，張出し方向はビード表側と溶込み側の両方とした．

パルス YAG レーザ溶接継手に影響を及ぼす因子にピークパワー(以後，P.P. と称す)とオーバーラップ率(以後，OL 率と称す)がある．

Stretch Formability of Pure Titanium Pulse YAG Laser Welded Joint

Shutaro IZUMI, Kazuyoshi KATOH, Mitsuteru NOMOTO and Toshikatsu ASAHINA

OL 率とはビームスポット径の重なりを示す値であり、式(1)で与えられる。

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

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。OL 率が高いほどビームスポットの重なる割合が大きくなり、入熱が多くなる。この値は溶接速度が遅いほど、またはパルス周波数が大きいほど高くなり広い溶込みが得られる。P. P. は1パルス当たりの最大出力であり、式(2)で与えられる。

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

ただし、Q:レーザ出力(W)、PW:パルス幅(ms)、PF:パルス周波数(Hz)とする。P. P. は同出力の場合、パルス幅およびパルス周波数が小さいほど大きくなる。P. P. が大きいと1パルスで深い溶込みが得られる。

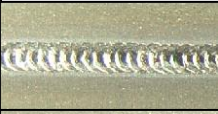
3. 実験結果および考察

3.1 溶接条件の選定

Fig.1 にビード外観の良否を判定した結果を示す。良好なビードは○、溶込み不足は×、溶落ちは△とした。パルス幅 30Hz の条件ではパルス周波数と OL 率に関わらず良好なビードが得られた。パルス周波数 20Hz、OL 率 50%の条件では溶落ちが発生し、パルス幅 8.0ms、パルス周波数 40Hz の条件では溶込みが不足した。

Fig.2 に継手横断面の巨視的組織を示す。全ての条件で溶融凝固部および熱影響部で結晶粒の粗大化が観察された。パルス幅 4.0ms、パルス周波数 20、30Hz の条件でアンダーフィルが発生し、パルス幅 4.0ms、パルス周波数 40Hz、OL 率 50%およびパルス幅 8.0ms、パルス周波数 20Hz、OL 率 25%の条件で目違いが発生した。このことは、前者は P. P. が大きいために母材が過剰に溶融したこと、後者は広い範囲に入熱が与えられたためにひずみが生じたことによるものと考えられる。

Fig.3 に硬さ試験結果を示す。全ての条件で溶融凝固部および熱影響部で局部的

Evaluation	Symbol	Bead appearance
Good bead	○	
Lack of penetration	×	
Burn through	△	

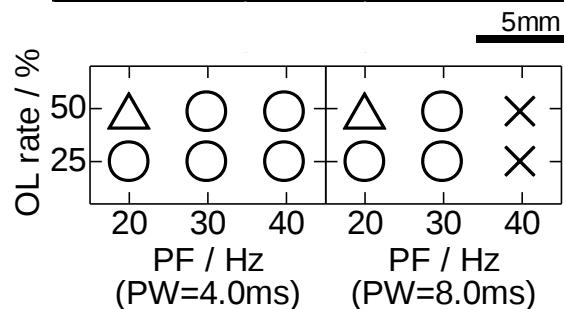
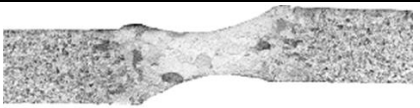
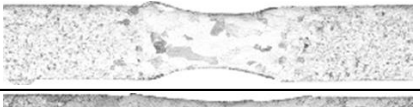
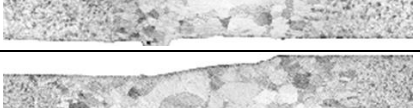
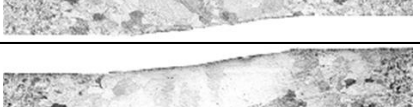
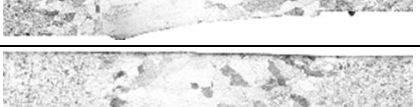
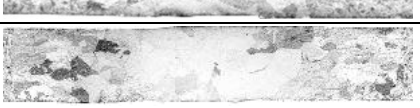
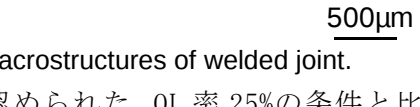
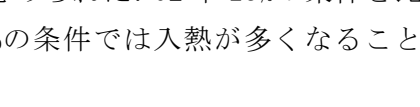


Fig.1 Results of judgement of quality of bead appearance.

Welding conditions			
PW (ms)	PF (Hz)	OL rate (%)	
4.0	20	25	
		50	
	30	25	
		50	
	40	25	
		50	
8.0	20	25	
		50	
	30	25	

500μm

Fig.2 Macrostructures of welded joint.

な硬化が認められた。OL 率 25%の条件と比較して 50%の条件では入熱が多くなること

から熱影響部が広がった。

Fig.4 に引張試験結果を, Fig.5 に引張試験後の試験片の破断外観を示す。エラーバーは最大値と最小値を示す。溶接方向に対し垂直に試験を行った場合では, パルス幅 4.0ms, パルス周波数 20, 30Hz, OL 率 25%の条件で Fig. 5(a)に示すように熔融凝固部の中央で破断した。他の条件では Fig. 5(b)に示すように母材で破断した。引張強さに明瞭な差は認められず, 母材の 90~93%の値が得られた。最大引張強さおよび伸びはパルス幅 8.0ms, パルス周波数 30Hz, OL 率 25%の条件でそれぞれ 339MPa, 42%となった。パルス幅 4.0ms の条件では, パルス周波数と OL 率の増加に伴い伸びが向上した。溶接方向に対し平行に試験を行った場合では, パルス幅 4.0, 8.0ms の両方でパルス周波数, OL 率の増加に伴い引張強さおよび伸びが向上した。全ての条件で Fig. 5(c)に示す形状で破断した。最大引張強さはパルス幅 8.0ms, パルス周波数 30Hz, OL 率 50%の条件で 309MPa, 最大伸びはパルス幅 4.0ms, パルス周波数 40Hz, OL 率 50%の条件で 50%であった。

以上の試験結果より, 張出し成形性の検討にはアンダーフィルおよび目違いを生じず, 熱影響部での硬化が小さく, 2 方向の伸びの合計が最大となるパルス幅 8.0ms, パルス周波数 30Hz, OL 率 25%の条件とした。

3.2 張出し成形性の検討

Fig.6 にエリクセン試験結果を示す。エリクセン試験では全ての条件で試験片の 1 か所に貫通する割れが生じたときに試験を停止することができず, Fig.7 に示すように破断した。このため破断までの時間を計測し, その平均時間よりも 10 秒早く試験を停止しエリクセン値を測定した。張出し方向ビード表側, 試験速度 3mm/min の条件で最大値 9.2mm となり, 母材の 106%の値が得られた。試験速度の増加に伴いエリクセン値が減少したが, 母材の 94~106%の値を示した。

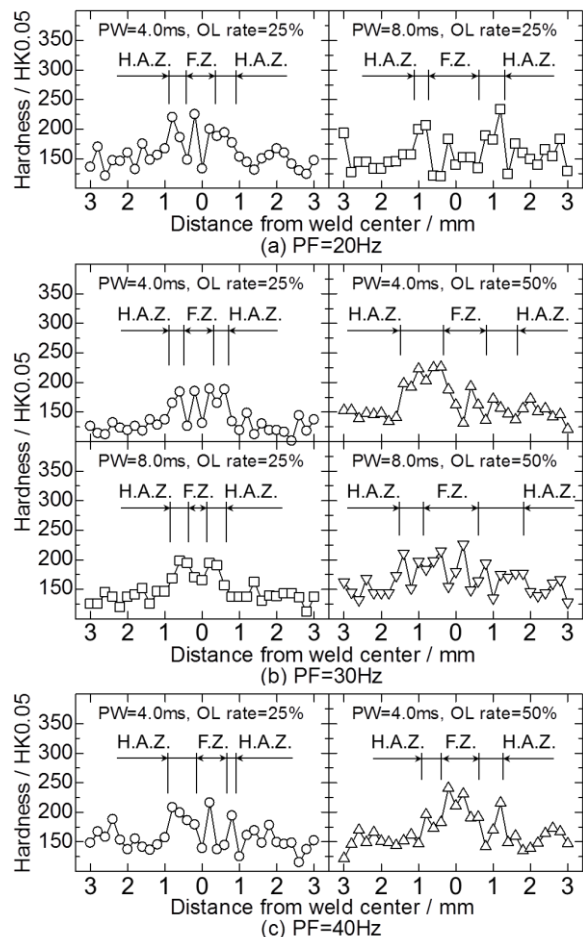


Fig.3 Hardness distributions of welded joint.

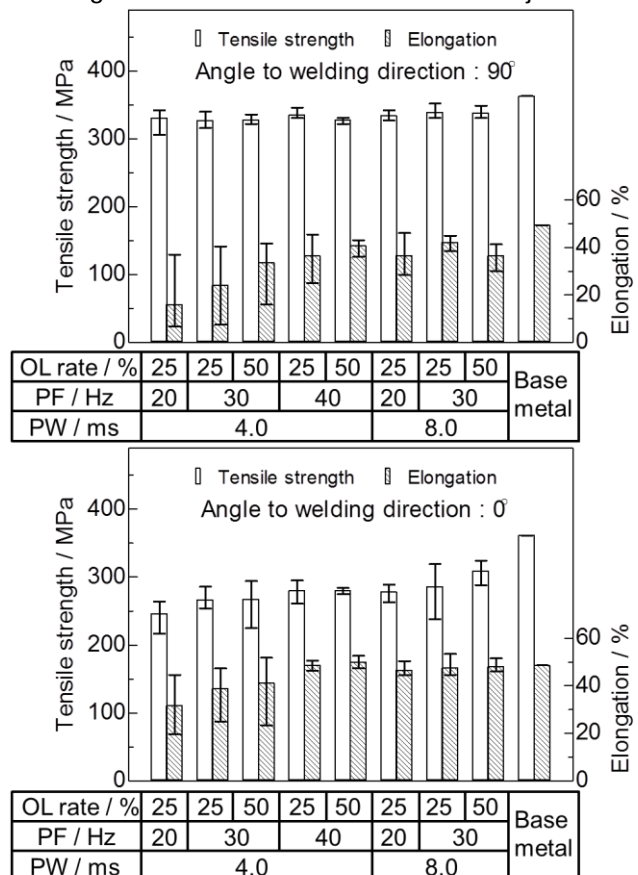


Fig.4 Results of tensile test of welded joint.

Fig.8 にエリクセン試験後の横断面微視的組織を示す。変形は溶融凝固部および熱影響部では認められず，Fig. 8(c)に示すポンチ先端外周に相当する母材部で亀裂が観察された。

4. 結 言

純チタンパルス YAG レーザ溶接継手の機械的性質に及ぼす溶接条件および健全な継手の張出し成形性を検討した結果，次の結論を得た。

- (1) 溶接方向に対し垂直方向の引張強さは母材の 90%以上の値が得られた。伸びはパルス幅 8.0ms，パルス周波数 30Hz，OL 率 25%で最大値 42%を示し，母材の 84%の値となった。
- (2) 溶接方向に対し平行方向の引張特性は，パルス幅が同一であればパルス周波数，OL 率が大きくなるほど向上した。
- (3) 張出し成形性は試験速度および張出し方向の影響は認められず，母材の 90%以上の良好な値が得られた。

参考文献

- 1) 泉秀太朗，朝比奈敏勝，加藤数良，パルス YAG レーザによる純チタンとオーステナイト系ステンレス鋼の異材溶接性，軽金属学会第 124 回春期大会，(2013)，9。
- 2) 臼田松男，工業用純チタン板のプレス成形性，新日鉄技報，375，(2001)，23。
- 3) 新家光雄，チタンおよびチタン合金の最近の応用と研究・開発動向，鉄と鋼，90，7，(2004)，462。
- 4) 内原正人，テーラードブランク，塑性と加工(日本塑性加工学会誌)，54，627，(2013)，307。
- 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，日本機械学会第 21 回機械材料・材料加工技術講演会，(2013)，CD-ROM。

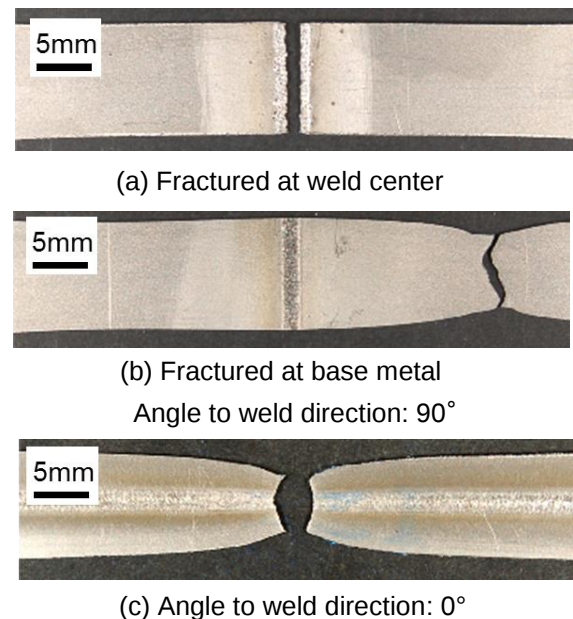


Fig.5 Appearance of tensile tested specimen.

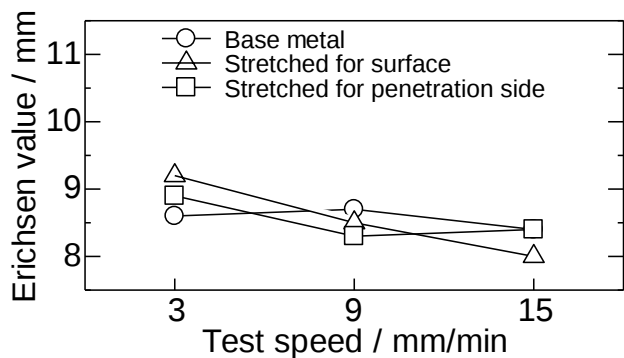


Fig.6 Results of erichsen test of welded joint.



Fig.7 Appearance of erichsen tested specimen.

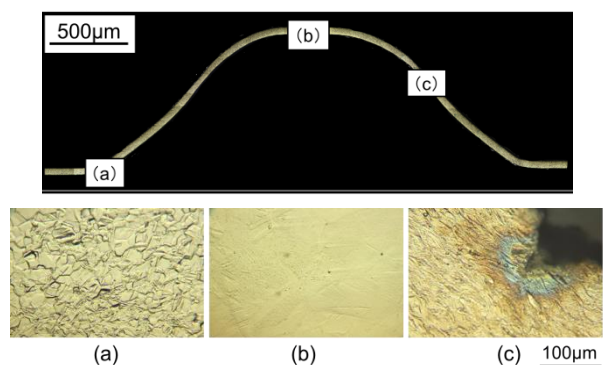


Fig.8 Microstructures of erichsen tested specimen.
(Test speed: 3mm/min, Stretched direction: surface)