

YAG レーザによる純チタンとアルミニウム薄板の重ね溶接性

日大生産工(院) ○大 里 史 人
日大生産工 朝比奈 敏 勝
東葛テクノプラザ 蓮 見 薫

1. 緒 言

工業製品の高機能化，多様化を図るためには異種金属溶接技術が不可欠である．異材継手に求められる機能としては軽量化，耐食性，が挙げられ，各種の接合法が検討されている¹⁾．近年，異種金属溶接の研究報告は増加の傾向にあるが，その多くは自動車業界で需要のある鉄/アルミニウム系のものであり，その他の軽金属材料の組合せでは少ないのが現状である．

溶融溶接法による異種金属接合にはレーザー溶接が多く用いられている．レーザー溶接はロボット化，自動化，システム化，ライン化，省力化などが可能な高品質・高精度・高変形・高柔軟性・高速・高生産性の溶接法として認められつつある．従来，異種材料の溶融溶接の場合，金属間化合物を生成する組合せは一般的に溶接が非常に困難であるとされていた．しかし，レーザー加工の特徴である高エネルギー密度加工，入熱制御が容易である等の利点を生かすことにより材料の組合せによっては良好な溶接性が得られることが報告されている²⁾．

チタンは比強度に優れるため航空機材料として使用されているが，耐食性も良好であるためプラントなどにも利用されており，今後の発展が期待される材料である．一方，アルミニウムは構造用材料や自動車用材料のみならず，様々な分野に幅広く使用されている．

本研究では純チタンと3種類のアルミニウムをパルス YAG レーザにより重ね溶接を行

い，溶接性におよぼす材料の組合せと溶接条件の影響を検討した．

2. 供試材および実験方法

供試材には JIS H4600 に準じた市販の純チタン2種(TP340C)板厚 0.6 mm，市販の 1100 純アルミニウム(A1100-H14)，2024 アルミニウム合金(A2024-T3)および 5052 アルミニウム合金(A5052-H34)それぞれ板厚 0.6 mmのも

Table 1 Chemical compositions of base metals.

(a)TP340C titanium									
H	O	N	Fe	Ti					
0	0.1	0.01	0.07	Bal.					
(b)1100 aluminum									
Si	Fe	Cu	Zn	Al					
0.5	0.45	0.14	0.1	Bal.					
(c)2024 aluminum alloy									
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Zr+Ti	Ti	Al
0.06	0.17	4.51	0.58	1.58	0.02	0.20	0.03	0.03	Bal.
(d)5052 aluminum alloy									
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al	
0.09	0.27	0.02	0.02	2.45	0.20	0.00	0.01	Bal.	

Table 2 Mechanical properties of base metals.

Materials	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HK0.025)
TP340C	383	41	158
A1100	128	14	48
A2024	465	19	151
A5052	237	12	68

Table 3 LASER welding conditions.

Pulse width	PW (ms)	2.5, 5.0, 7.5, 10
LASER output	Q (W)	100~400 (20steps)
Welding speed	V (mm/min)	600
Pulse frequency	f (Hz)	20
Tilt angle	θ (deg.)	20
Shielding gas flow rate	Surface Ga (ℓ/min)	30
	Backing Gb (ℓ/min)	30

Weldability of Pure Titanium / Aluminum Sheet

Lap Joint using Pulsed YAG LASER

Fumito OSATO, Toshikatsu ASAHINA and Kaoru HASUMI

のを使用した(以後、純チタン/1100 アルミニウム継手を Ti/A1100 継手、純チタン/2024 アルミニウム合金継手を Ti/A2024 継手、純チタン/5052 アルミニウム合金継手を Ti/A5052 継手と称す)。供試材の化学組成および機械的性質を Table 1 および Table 2 に示す。供試材を長さ 200 mm、幅 80 mm に機械加工したものをエメリーペーパーで研磨、ブタノンで脱脂洗浄して実験に供した。

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 レーザ溶接装置を使用した。溶接条件を Table 3 に示す。レーザ出力は溶接装置の使用限を最大 400W とした。レーザヘッドは供試材からの反射光を避けるために前進角 20° とした。焦点位置は焦点位置 80 mm の集光レンズを使用し、試材の表面とした。シールドガスはアシストガス、バックシールドガス共にアルゴンを使用した。

溶接はチタンを上板とし、重ね代を 20 mm 設けた重ね溶接とした。溶接方向は圧延方向に対して直角とした。予備実験よりアルミニウムを上板とした場合、チタンの溶融が十分に行われず、またアルミニウムにスパッタが発生しアンダーフィルが多く認められたため、チタンを上板とした場合に比較し非常に狭い溶接範囲となった。このため以降の実験ではチタンを上板とした。

得られた継手の外観観察、組織観察、硬さ試験および引張せん断試験(幅 25 mm に機械加工したものを使用)をいずれも室温にて行った。

3. 実験結果および考察

各継手の溶接条件範囲を Fig.1 に示す。予備実験より、アルミニウム側にビードが発生した継手は継手強度が低下していた。よって適正溶接の判定は裏ビードの発生状況によった。裏ビードによる判定例の一例を Fig.2 に示す。レーザ出力 240W の条件では継手を形成したが、アルミニウム側にビードは観察されなかった。レーザ出力 320W の継手は裏ビードが連続的に発生しているため、これよ

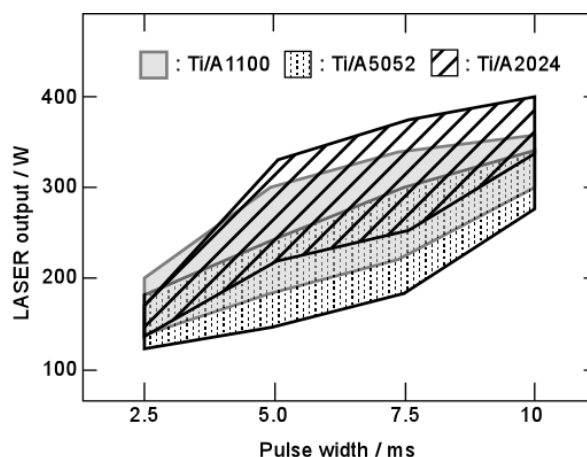


Fig.1 Relation between LASER output and pulse width.

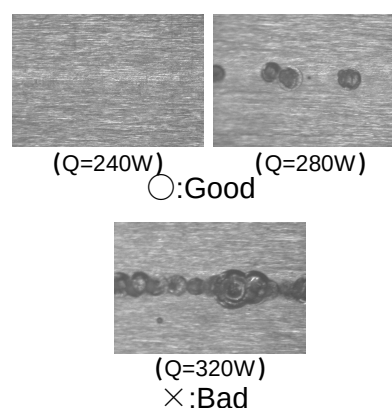


Fig.2 Example of penetration bead.
(Ti/A1100, PW=5.0ms)

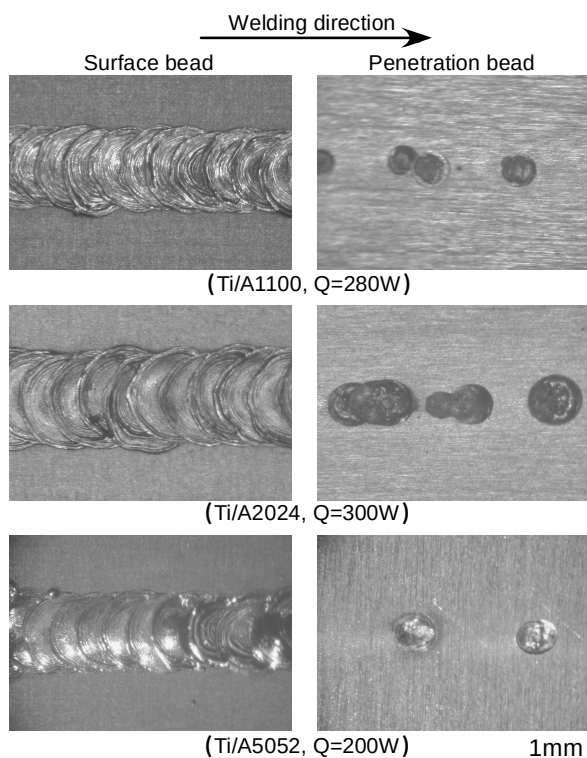


Fig.3 Appearances of welded joint. (PW=5.0ms)

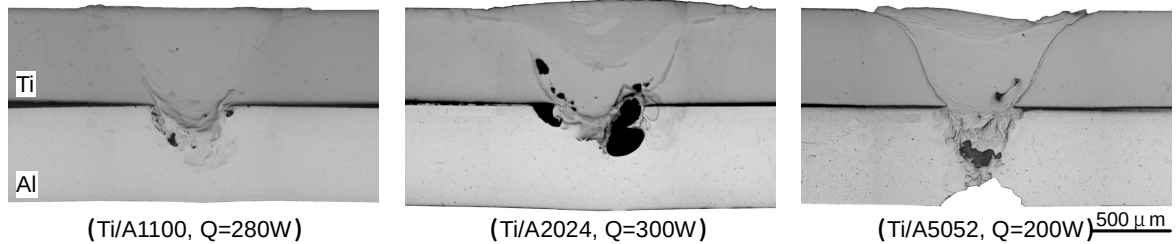


Fig.4 Macrostructures of welded joint. (PW=5.0ms)

り大きいレーザ出力の条件では溶接を行わなかった。アルミニウムの種類に関係なくパルス幅の増加に伴い継手を得るために必要なレーザ出力は増加する傾向にある。これは、パルス幅の増加により単位時間当たりのエネルギーが減少し継手を得るために必要な溶込みが得られなかったためと考える。

継手ビード外観の一例として、それぞれの組合せで最大強度を示した継手を Fig.3 に示す。アルミニウムの種類に関係なく上板であるチタン側にはパルス溶接特有の円弧状の模様が認められた。また、少量ではあるがスパッタの発生が認められた。酸素の吸収による溶接部の色調変化は観察されなかった。全ての継手の下板であるアルミニウム側に断続的なビードの発生が認められた。図に示す継手はいずれもビードの発生がランダムであり、これらの条件より低いレーザ出力では裏ビードの発生が認められなかった。図には示さないが他のパルス幅についても同様の傾向を示した。

継手横断面マクロ組織を Fig.4 に示す。アルミニウムの種類に関係なく溶込みは深溶込み型となった。溶融凝固部内および重ね合わせ面を中心にブローホールが観察された。ブローホールの量は Ti/A1100 継手が少なく、Ti/A2024 継手および Ti/A5052 継手に多く観察された。ブローホールの原因として重ね合わせ面に存在する空気と、Ti/A5052 継手に多く見られることから合金元素として含有している Mg によるものと考えられる。

継手のビード幅と接合部幅の測定位置を Fig.5 に、測定結果を Fig.6 に示す。レーザ出力の増加に伴いビード幅、接合部幅共に増加する傾向が認められた。接合部幅はビード幅

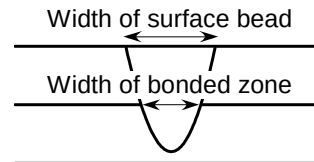


Fig.5 Measurement position of width of surface bead and width of bonded zone.

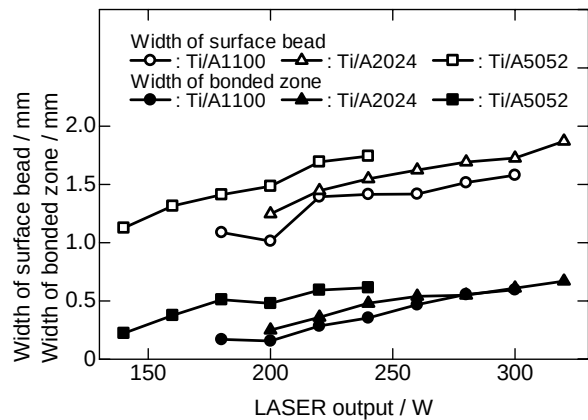


Fig.6 Measurement result of width of surface bead and width of bonded zone. (PW=5.0ms)

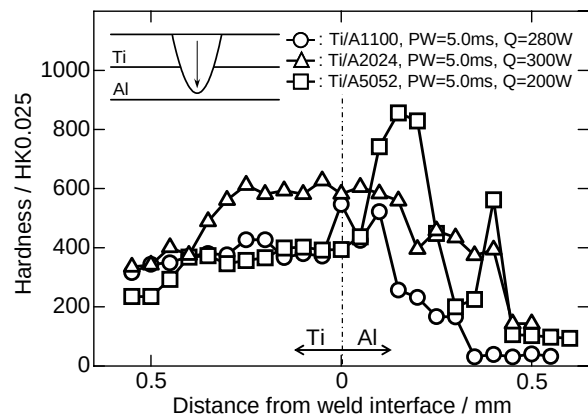


Fig.7 Hardness distributions of welded joint.

に比較して狭く、最大ビード幅が約 1.8 mm を示したのに対し約 0.6 mm であった。アルミニウムの種類の違いによるビード幅および接合部幅に明瞭な差異は認められなかった。

継手の硬さの測定結果を Fig.7 に示す。溶融凝固部中央を板厚方向に測定した。全ての継手の上板であるチタンに硬化が認められた。チタンは酸素の吸収によって硬化する³⁾との報告がある。しかし本実験ではアルゴンにより十分シールドを施していることから、溶融凝固部の硬化は主に金属間化合物によるものと考えられる。いずれの継手も最大硬さを示した位置は重ね合わせ面からややアルミニウム側であり、この部分で最も多くの化合物を生成しているものと考えられる。

引張せん断試験結果を Fig.8 に示す。いずれの継手もレーザ出力の増加に伴い引張せん断荷重は増加する傾向にある。これは Fig.5 に示すように接合部幅の増加によるものと考えられる。しかし、Ti/A5052 継手ではレーザ出力 200W 以上では引張せん断荷重の増加は認められず、その値はわずかに減少していた。Ti/A5052 継手はレーザ出力 200W の継手から裏ビードが発生し、レーザ出力の増加に伴い連続したビードとなっていた。裏ビードが発生した継手は A5052 の板厚が大きく減少しており、その部分から破断し引張せん断荷重が減少したものと考えられる。それぞれの継手の最大引張せん断荷重と見かけの引張強さによる継手効率は Ti/A1100 継手が約 1.8kN で 99%，Ti/A2024 継手が約 1.2kN で 24%，Ti/A5052 継手が約 1.7kN で 49%であった。A2024 および A5052 の組合せでは継手強度が著しく減少する結果となった。これは溶融凝固部内もしくは接合界面付近に存在するブローホールの影響と考えられる。

引張せん断試験後の継手横断面マクロ写真を Fig.9 に示す。写真に示す継手はいずれも最大引張せん断荷重を示した継手である。Ti/A1100 継手は A1100 が溶落ちにより板厚が減少したが母材で破断した。Ti/2024 継手は剥離破断した。Ti/A5052 継手は多くの継手が剥離破断したが、図に示すようにアルミニウム側に溶落ちの影響による板厚の減少が観察された継手は最小断面から破断した。

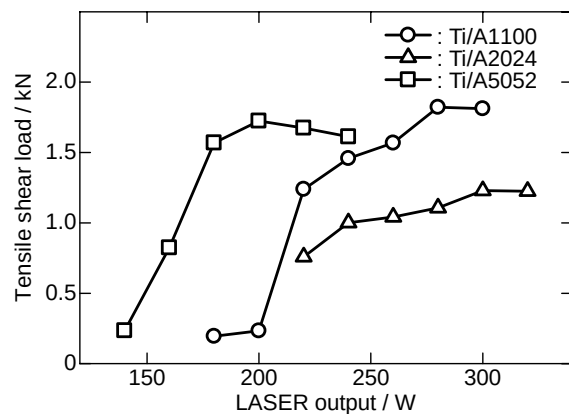


Fig.8 Results of tensile shear test. (PW=5.0ms)

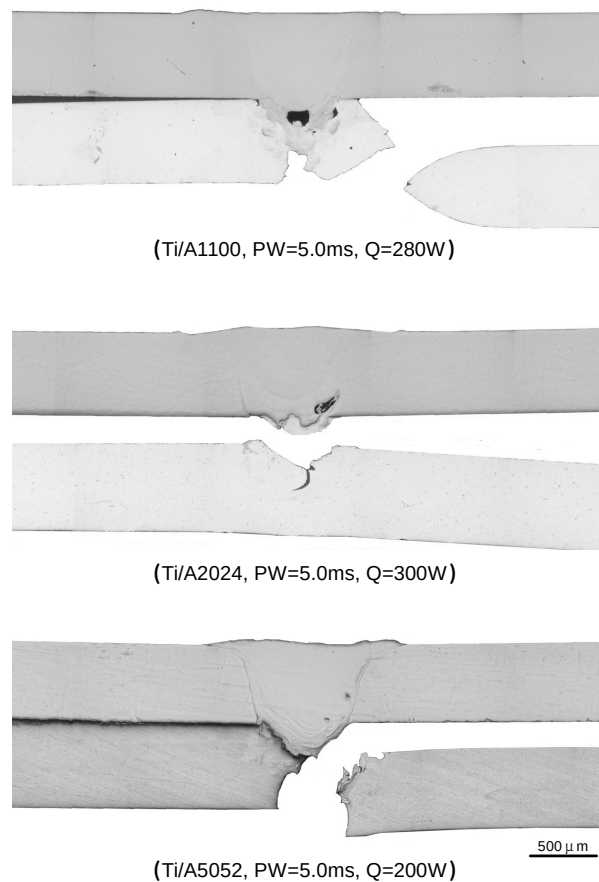


Fig.9 Macro-photograph of welded joint after tensile shear test.

参考文献

- 1) 中田, 牛尾: 溶接学会誌 第 71 巻 第 6 (2002), 6-9
- 2) 片山: 溶接学会全国大会講演概要 第 71 集(2002-10), F33-34
- 3) 日本チタン協会: チタンの加工技術 106