

# パルス YAG レーザによる A5052 と純 Ti, 純 Cu および Mg 合金の異材溶接性

日大生産工(院)      ○戸村 和弘  
日大生産工      朝比奈 敏勝

## 1. 緒言

アルミニウムおよびチタンはいずれも軽量で比強度が高く、無毒の金属材料であり、優れた耐食性を有している。これらの特性を生かしてアルミニウム合金は自動車、鉄道車両、船舶など輸送分野、チタンおよびその合金は航空機、海水淡水化装置、熱交換器など過酷な環境下で使用されている<sup>1)</sup>。近年地球温暖化の観点から製品の軽量化をはじめとして、部品の多様化や高機能化などが図られ、用途は拡大する傾向にある。さまざまな用途によって材料を使い分けるためには異材接合が必要不可欠である。

本研究ではパルス YAG レーザ溶接で純チタンとアルミニウム合金の突合せ溶接を行い、継手の強度向上を目的として適正溶接条件の選定を行った。得られた継手の組織および成分分析よりその溶接性を検討した。また、同様にアルミニウム合金とマグネシウム合金および純銅の溶接性についても検討した。

## 2. 供試材および実験方法

供試材には板厚 0.6 mm の純チタン 2 種 (TP340C), および A5052 アルミニウム合金, 1.0 mm の AZ31 マグネシウム合金, 1.0 mm の無酸素銅 (C1020), 0.4 mm のタブピッチ銅 (C1100) を長さ 100 mm, 幅 50 mm に加工して使用した (以後それぞれ Ti, A5052, AZ31, C1020, C1100 と称す)。本研究室では Ti と A5052 の重ね溶接性について研究し、アンダーフィルによる継手強度の低下が認められた<sup>2)</sup>。このアンダーフィルを防ぐため A5052 は端部を L 字加工し、Fig.1 に示した形状、寸法とした試験片について検討した。溶接直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した。溶接装置は、最大平均出力 550 W (最大パルスエネルギー 70 J) のパルス YAG レーザ溶接機を使用し、溶加材なしの I 型突合せ溶接を圧延方向と直角に行った。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 A1 側に 0.2 mm オフセットした。アシストガスおよびバックシールドガスは Ar ガスを使用し、レーザヘッド内のガス置換を 20 s 以上行った。良好な外観が得られた継手のビード外観および組織観察を行い、継手溶接部の成分分析をした。また、温室で引張試験、破面観察及び硬さ試験を行った。引張試験は JIS 13B 号試験片に準じ作成し、試験後の破面観察を走査型電子顕微鏡 (SEM) によって行った。

溶接条件を表す 1 つの指標としては溶接速度とパルス周波数を一元化し、ビームスポットの重なり状態を示すオーバーラップ率 (以後、OL と称す) を用いた。OL が 10~30 % の Ti と A5052 の突合せ溶接条件を Table 1 に示す。

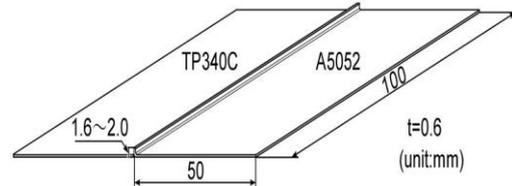


Fig.1 Shape and size of specimen.

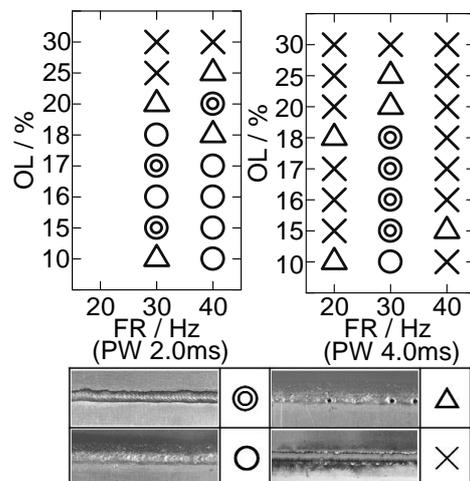
Table 1 Laser welding conditions.

Laser output	LO(W)	500	
Pulse width	PW(ms)	2.0, 4.0, 6.0	
Pulse frequency	FR(Hz)	20, 30, 40	
Welding speed	V(mm/min)	588~1512	
Over lap rate	OL(%)	10~30	
Gas flow rate	Assist	GA(ℓ/min)	25
	Backing	GB(ℓ/min)	25

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 溶接条件の選定

ビード外観に及ぼす溶接条件の影響を Fig.2 に示す。図に示す基準よりビード外観の良否を目視によって判定した。ビード表面に欠陥が認められず、さらにパルス形状の良好な継手を (Very Good), 欠陥が認められない継手を (Good), 溶落ちが数か所認められ、形状がやや不安定な継手 (Poor), 溶落ちによってビードが形成できない継手を (Bad) に分類した。ただし、パルス幅が 2.0 ms のビード外観に及ぼす OL の影響は装置の仕様限界を超えたため実験を行なうことができなかった。



◎ : Very Good ○ : Good △ : Poor × : Bad

Fig.2 Relation between welding conditions and bead appearances.

A5052 と Ti の突合せ溶接を行ったところ溶落ちが生じ、溶接が不可能であった。そこで、A5052 を L 字加工し溶接を行った。溶接可能範囲はパルス幅 2.0, 4.0 msec とともに OL が 10~20 % 以内であった。また、パルス幅が 2.0 msec では広い範囲で溶接が可能であったのに対して、4.0 msec では溶接可能範囲は狭いもののビード外観が良好であった。溶接速度の遅い条件 (588~756 mm/min - 20 Hz - 25J) では入熱量が過大なため、溶落ちが生じ接合が不可能だった。一方、溶接速度が速い条件 (1176~1512 mm/min - 40Hz - 13J) では入熱量が小さく、L 字部分が残留して接合することができなかった。中間の溶接速度 882~1134 mm/min, パルス周波数 30Hz, 入熱量 17J の条件では OL が 10~20 % 以内であれば良好なビードが得られた。

### 3.2 組織観察

OL 17 % の溶接条件には 50  $\mu\text{m}$  以上が 4 個、49  $\mu\text{m}$  以下が 6 個の球状ブローホールが A5052 側に生じている。A5052 のみが溶融して Ti に覆い被さり、中心部では Al と Ti 両者の溶融が認められた。成分分析の結果、酸素の偏析が認められないことから酸化物は存在しないものと考えられる。

### 3.3 引張特性

引張試験結果を Fig.3 に示す。溶接条件に関係なく全継手は A5052 側母材部で破断した。なお、A5052 の引張強さは 252 MPa である。OL 18 % の条件では 197 MPa で A5052 に対して継手効率は 78 % と良好な値が得られた。また、引張強さ、伸びともにパルス幅 2.0 msec の条件が良好で安定した値を示した。引張試験後の破断部近傍の外観および破面の SEM 観察から伸びの大きかった OL 16, 17, 18 % では板幅および板厚方向にわずかに収縮して破断し、延性破面の特徴であるディンプルが観察された。

### 3.4 硬さ特性

マイクロビッカース硬度計 (試験荷重: 0.49 N, 荷重保持時間: 15 s) によるスラブ硬さ試験を行った。硬さ試験の測定点は溶融凝固部中心から 0.2 mm の間隔で左右に 4.0 mm までの板厚中央部を測定した。硬さ試験結果を Fig.4 に示す。Ti の平均硬さが 122 HK, Al が 67.3 HK であるのに対して、溶融凝固した部分は 504 HK を示し硬化していた。このことから Ti と Al の二元系状態図より  $\text{TiAl}_2$ ,  $\text{TiAl}_3$  が金属間化合物として存在していると考えられる。また、熱影響部の硬さは溶融凝固部ほどではないが母材に比較してやや硬化する傾向が認められた。硬さ試験の結果から金属間化合物層の幅が小さいため化合物は強度に影響を与えないと考えられる。

### 3.5 A5052 と AZ31, C1020 および C1100 の異材溶接

A5052 と AZ31 の突合せ溶接は板材, L 字材ともにビード外観の良好な継手を得ることができたが、引張試験片作成中に溶接部から破断したものが多かった。A5052 と C1020 および C1100 の突合せ溶接は銅の熱伝導性, 反射率が良いことから熱を吸収しないため溶融が困難で接合が不可能であった。そこで、相手

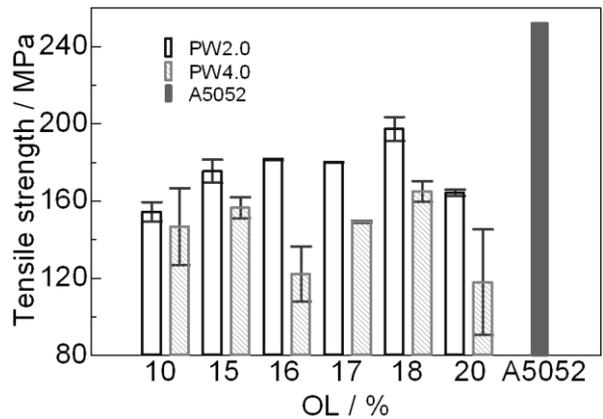


Fig.3 Tensile strength of welded joints.

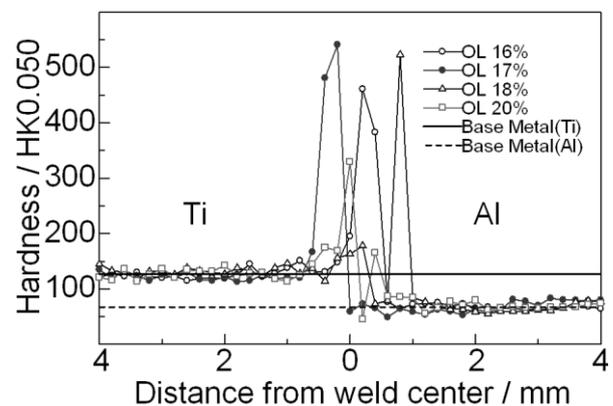


Fig.4 Hardness distributions of welded joints.

材を溶融することによって接合する方法を検討し、現在は A5052 を L 字加工し溶融することで形的には良好な継手を得ることができた。しかし、両継手は接合界面に金属介在物が生成されているため脆く、ほとんど強度がない結果が得られた。

## 5. 結言

パルス YAG レーザ溶接により A5052 と相手材を変えて異材溶接を行った結果、次の結論を得た。

- 1) 継手形状および溶接方法を変えたことによりアンダーフィルによる強度低下を防ぐことができた。
- 2) A5052 と Ti の異材溶接では引張強さ 197.4 MPa, 伸び 2.03 % であり、A5052 の引張強さに対して 78.5 % と良好な継手を得られた。
- 3) A5052 と AZ31 および C1100 の異材溶接では良好なビード外観が得られる条件を選定することができたが、金属間化合物により十分な強度を得ることができなかった。

### 参考文献

- 1) 藤井秀樹, 高橋一浩, 山下義人, “新日鉄技報”, 2003, 62
- 2) 渡邊汗, 朝比奈敏勝, “パルス YAG レーザによる純 Ti/A5052 の重ね溶接性に及ぼすインサート材の影響”, 溶接学会全国大会講演概要, 2008, 98-99