

## パルス YAG レーザによる 6Al-4V チタン合金と 5052 アルミニウム合金の異材溶接

日大生産工(院) ○戸村 和弘 日大生産工 朝比奈 敏勝

### 1 諸言

チタンは軽量で比強度が高い金属材料であり、表面に緻密な不動態皮膜が存在することにより優れた耐食性を有している。これらの特性を生かして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>。一方、アルミニウム合金は軽量なことから自動車、鉄道車両、船舶など輸送分野への用途が多い。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、これらの金属材料の用途は拡大する傾向にある。そこで、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性が問題となると考える。

本研究室では、数年前より純チタン2種 (TP340C) と5052アルミニウム合金の突合せ、および重ね溶接性について研究を行っており、突合せ継手では継手効率80%の良好な結果を得た。本研究では、純チタンに比較して強度が高い6Al-4V チタン合金と5052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試験結果よりその溶接性を検討した。

### 2 供試材および実験方法

供試材にはいずれも市販の板厚 0.6 mm の Ti-6Al-4V チタン合金、および、5052 アルミニウム合金を長さ 100 mm、幅 50 mm に加工して使用した (以後それぞれ Ti-6Al-4V, A5052 と称す)。Table 1 に供試材の機械的性質を、Table 2 に化学組成を示す。著者らはすでに TP340C と A5052 の溶接性について、Fig.1 に示したアンダーフィルによる継手強度の低下が認められること、A5052 端部を L 字型に加工することで余盛りを設け、その結果強度が向上することを報告した<sup>2,3)</sup>。本研究でもアンダーフィルを防ぐため、A5052 の端部を L 字加工し、

Table 1 Mechanical properties of base metals.

Materials	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HK0.050)
Ti-6Al-4V	1036	13.8	353
A5052	252	8.0	67.3

Table 2 chemical compositions of base metals.

Materials	Al	V	H	O	N	Fe	Ti	
Ti-6Al-4V	6.54	4.29	0.002	0.1	0.01	0.07	Bal.	
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ti	Al
A5052	0.09	0.27	0.02	0.02	2.45	0.20	0.01	Bal.

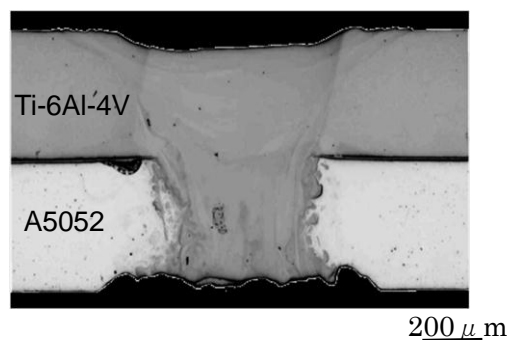


Fig.1 Macrostructure of welded joint.

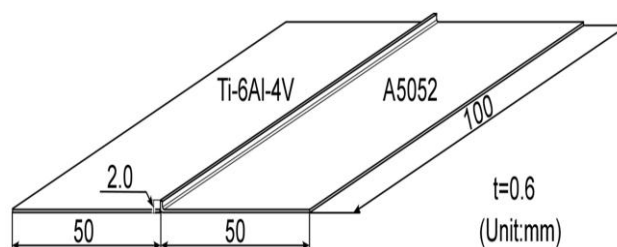


Fig.2 Shape and size of specimen.  
(Ti-6Al-4V / A5052)

に示した形状、寸法とした試験片について検討した。溶接直前には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。

Pulsed YAG laser weldability of 6Al-4V Titanium alloy and 5052 Aluminum alloy.

Kazuhiro TOMURA, Toshikatsu ASAHINA

溶接装置は、最大平均出力 550W（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、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 A5052 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 秒以上行った。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行った。また、引張試験、破面観察及び硬さ試験を行った。引張試験は JIS13B 号試験片に準じ作成し、試験後、走査型電子顕微鏡 (SEM) によって破面観察を行った。溶接条件の指標としてオーバーラップ率とピークパワーが挙げられる。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 率と称す）を (1) 式に、OL 率によるビード形状の例を Fig.3 に示した。OL 率の値が大きくなるほど重なる割合が増え、入熱量が増加する。この OL 率の式が正しいかを実際に測定したところ Fig.4 に示した結果が得られた。OL 率 0% においてビームスポット径は重ならないが、実際にはビームスポット径よりも熔融池が大きくなるためやや重なりが認められた。しかしながら、隣り合うビームスポット径の距離を測定したところ理論値に近い値を得ることができたため、溶接条件の一つの指標として用いることとした。

ピークパワーはパルスエネルギーをパルス幅で除した値であり、(2) 式で表わされる。ここではピークパワーの違いによる溶け込み深さの例を Fig.5 に、また、その結果測定を Fig.6 に示した。板厚 5mm のアルミニウム板を使用し、レーザ出力 500W、溶接速度 1032mm/min の条件でパルス周波数とパルス幅を変えることでピークパワーによる溶け込み深さの違いを検討した。パルス幅 2.0msec、20Hz の条件は装置の仕様限界を超えたため、パルス幅 2.5msec、ピークパワー 10kW で行った。20Hz の溶接条件での溶け込み深さは 30Hz の条件に比べ約 2 倍となった。また、20Hz の条件ではいずれもビード幅が増加し、溶接条件が異なってもピークパワーが等しければ溶け込み深さが同等であることを確認した。

本研究の Ti-6Al-4V と A5052 の突合せ溶接条件を Table 3 に示す。

$$OL = \left(1 - \frac{v}{PF \times 60 \times 0.7}\right) \times 100 (\%) \quad (1)$$

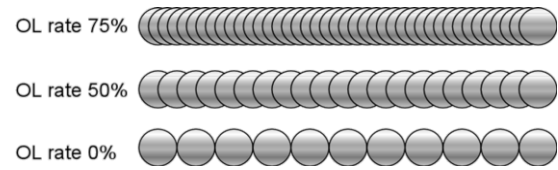


Fig.3 Schematic illustrations of weld bead under several overlap rate.

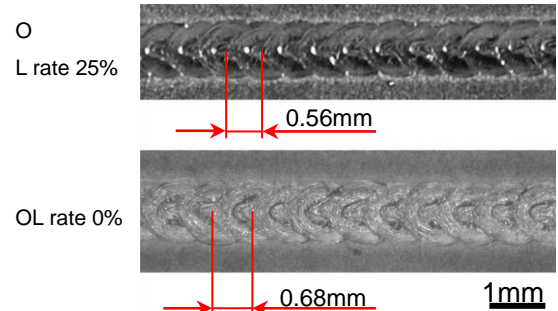


Fig.4 Effect of overlap rate on bead appearance.

$$\text{Peak Power} = \frac{q}{PF \times PW} \quad (\text{kW}) \quad (2)$$

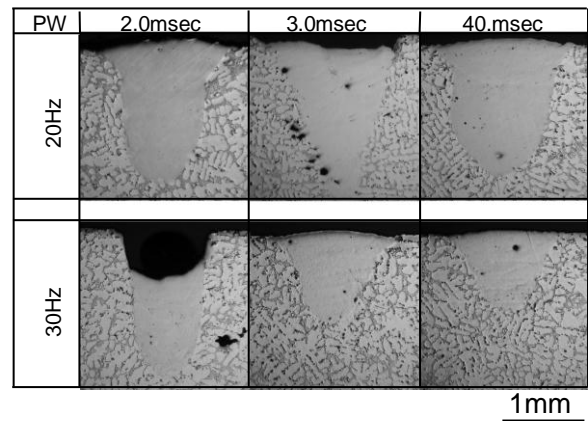


Fig.5 Macrostructures of fusion zone.

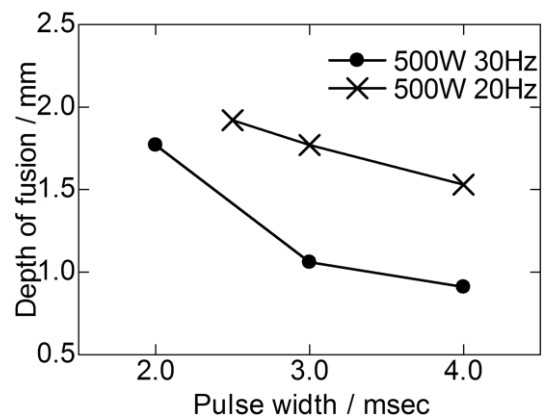


Fig.6 Effect of pulse width on depth of fusion zone.

### 3 実験結果および考察

ビード外観に及ぼす溶接条件の影響を Fig.7 に示し、下図の基準よりビード外観の良否を目視によって判定した。ただし、パルス幅 2.0msec のビード外観に及ぼす OL 率の影響は装置の仕様限界のため実験を行うことができなかった。TP340C と A5052 の突合せ溶接の結果と同様に、パルス周波数 30Hz の条件での溶接が最適であり、パルス幅 2.0msec では TP340C のビード外観に見られた幅の広いビード痕ではなく、細く盛り上がるようなビード外観が主であった。OL 率 18%、20%では良好なビード外観が得られた。原因として OL が低い条件では TP340C と 6Al-4V の熱伝導率の差が影響しており、また、入熱量過多であった OL 率 20%以降も溶接が可能であったことにも関係があると考えられる。

しかし、その反面、40Hz の条件においてはその作用が逆に働き、入熱量不足により溶接することができないことが認められた。全体を通して良好なビード外観を得ることができた。マクロ組織では OL15%ではあまり溶融している様子は確認できなかった。パルス幅 2.0msec に比べ 4.0msec の条件では溶融している様子ははっきりと観察することができた。

引張試験の結果を Fig.9 に示す。OL18%、2.0msec の条件で最大引張強さ 200MPa、A5052 に対して継手効率 80%と良好な継手が得られ、その他の条件でも、TP340C と A5052 の突合せ継手に対しても遜色のない結果となった。パルス幅 2.0msec の条件では全体を通して安定した値を得ることができた。

Table 3 Laser welding conditions.

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

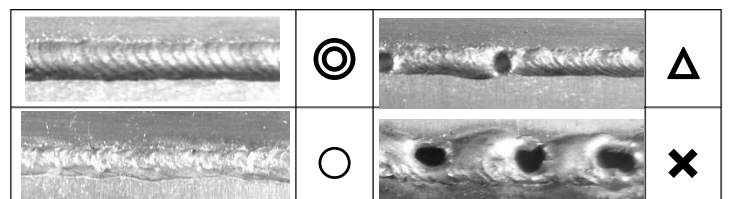
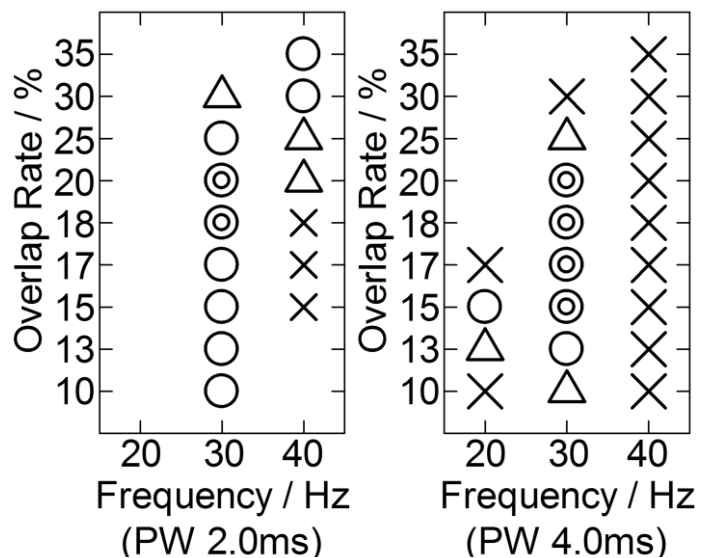
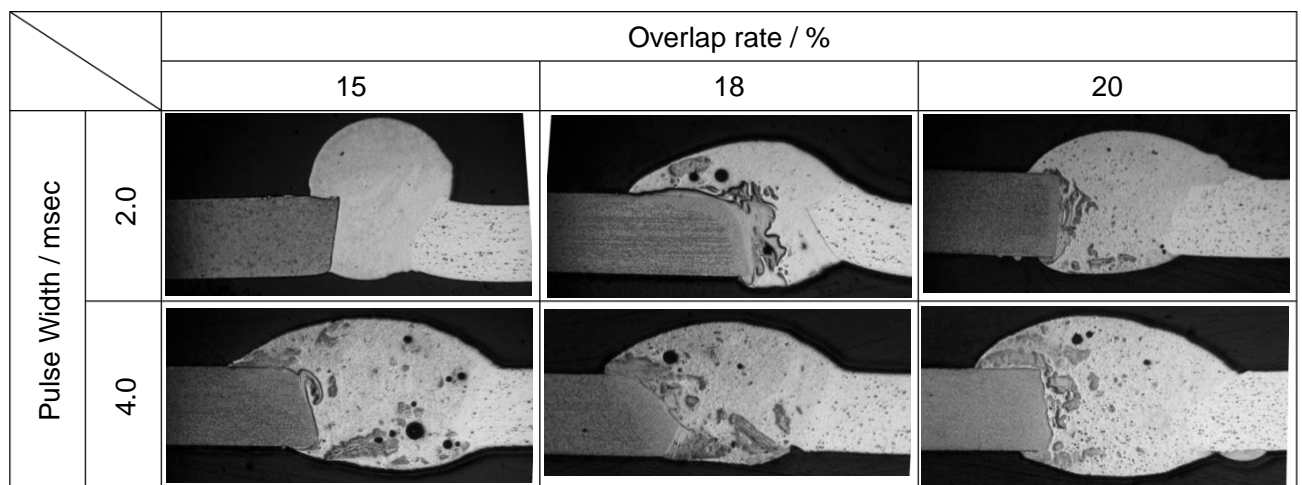


Fig.7 Welding conditions indicating bead appearance of welded joints.



100μm

Fig.8 Macrostructure of welded joints.

引張試験後の破面を走査型電子顕微鏡にて観察した結果を Fig.10 に示す。パルス幅 2.0msec の条件では全体に延性破面を呈した。4.0msec の OL 率 18%、20%では主に脆性破面を呈し、強度も極端に低下した。また、180MPa 以上の継手強度が得た試験片はビード側面の破断ではなく、アルミニウムの熱影響部で破断をしていることが観察された。

硬さ試験の結果を Fig.11 に示す。いずれの条件でも熔融凝固部の最大硬さが 700HK を示し、TP340C と A5052 の継手に比べ 200HK ほど増加した。しかし、パルス幅 4.0msec の条件で見られた厚い金属間化合物の層は確認できなかった。アルミニウム合金に多少熱影響により硬さの低下がみられたが、全体を通して安定していると考えられる。

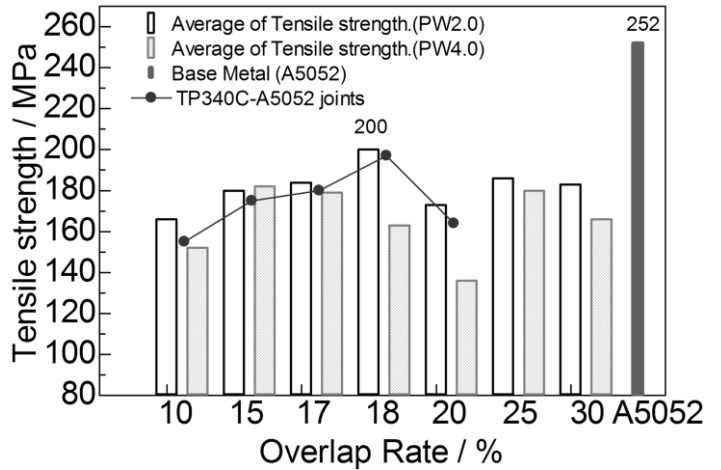


Fig.9 Relation between overlap rate and Tensile strength of welded joints.

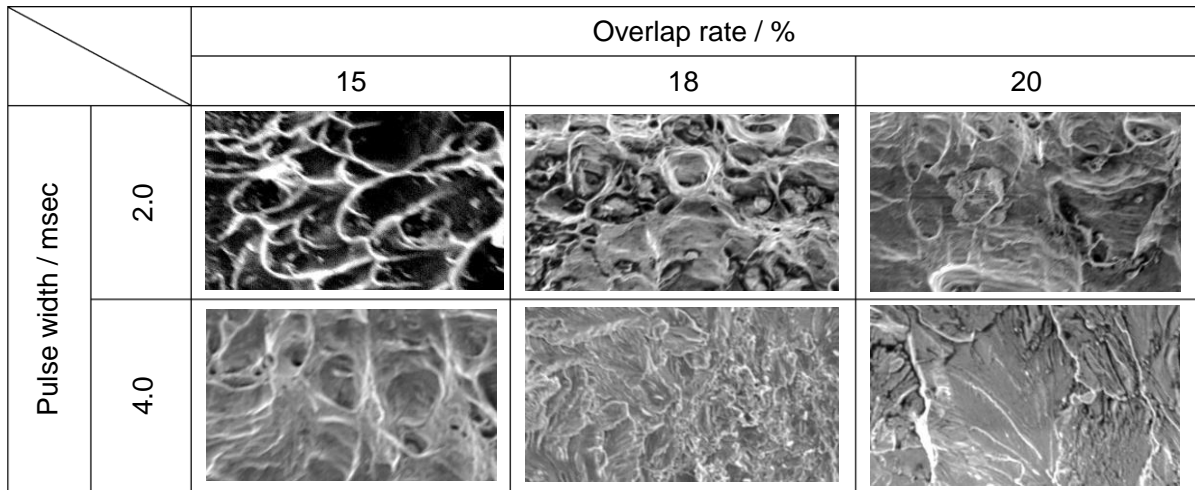


Fig.10 microfractographs of tensile tested specimens.

100μm

#### 4 結言

パルス YAG レーザ溶接により Ti-6Al-4V と A5052 の異材溶接を行い次の結論を得た、

- 1) 純チタンと比較して溶接条件範囲は広く、母材の 80% の継手を得ることができた。
- 2) 純チタンと同等以上の引張強さの継手を得ることができた。

#### 5 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 Ti/A5052 の重ね溶接性に及ぼすインサート材の影響 “溶接学会講演概要, 2008, 98-99

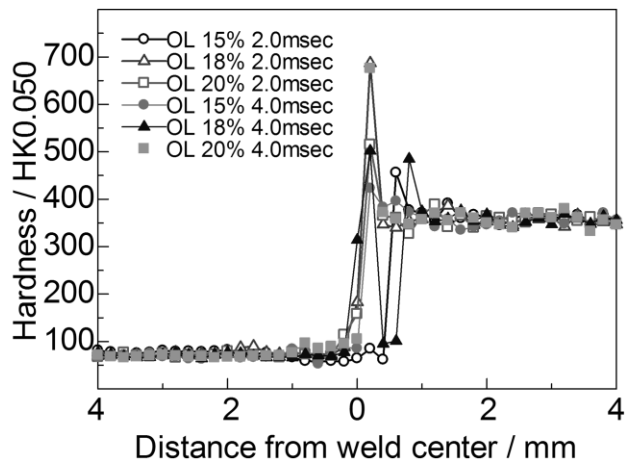


Fig.11 Hardness distributions of welded joints.