

# Ti/A5052 薄板の YAG レーザ重ね溶接性に及ぼすインサート材の効果

日大生産工（院）○ 渡邊 汗  
日大生産工 朝比奈 敏勝

## 1. 緒言

工業製品の機能向上・多様化および軽量化を図るための手段として、異種材料間の接合技術（異材接合）は大変期待されている。また、アルミニウムは鉄鋼の 30%程度の比重であり、自動車等の重量低減を図ることができる材料である。自動車重量の 10%低減により CO<sub>2</sub> 排出量を 9%削減可能<sup>1)</sup>であることから、京都議定書で策定された高い CO<sub>2</sub> 削減目標への有効な材料となりうる。

著者らは、数種のアリミニウム合金と純チタンの異材重ね溶接をパルス YAG レーザにより行い、溶融現象および継手の機械的性質を解明した。また、継手の強度向上を目的に、アルミニウム合金と純チタンの間にインサート材として純ジルコニウムおよび純ニッケル（共に厚さ 10 $\mu$ m）を挿入し異材重ね溶接を行った。その結果、インサート材を使用することにより継手の引張せん断強度が向上し、継手効率は 56.9%を示した。また溶融凝固部中でのブローホールの発生を抑制することも可能となった<sup>2)</sup>。

そこで、本研究ではインサート材に、ろう材として様々な材料によく用いられる<sup>3)</sup>純銀を用いて溶接を行い、得られた継手の機械的性質を検討した。また、継手の機械的性質に及ぼすインサート材の板厚の影響を明らかとするため、インサート材（Zr, Ni および Ag）の板厚を 100 $\mu$ m として溶接し、得られた継手をインサート材なしの継手およびインサート材の板厚が 10 $\mu$ m の継手と比較・検討した。

## 2. 供試材および実験方法

供試材には JIS H4600 および H4000 に準じた市販の純チタン 2 種 (TP340C), 市販の 5052 アルミニウム合金 (A5052-H34) それぞれ板厚 0.6mm を使用した。供試材の化学組成を Table 1, 機械的性質を Table 2 に示す。供試材は長さ 200mm, 幅 80mm に機械加工した後、接合部周辺を研磨、ブタノンで脱脂洗浄して実験に供した。また、インサート材には純度 99% 以上の Ag 箔および Zr・Ni 箔（厚さ 10 $\mu$ m）を使用した。インサート材は幅 10mm に加工し、供試材と同様に脱脂洗浄し、実験に供した。

Table 1 Chemical compositions of base metals.

TP340C Pure Titanium								
H	O	N	Fe	Ti				
0.002	0.1	0.01	0.07	Bal.				
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	Elongation	Hardness
	(MPa)	(%)	(HK0.025)
TP340C	343	43	149
A5052	274	9.7	87

Table 3 Laser welding conditions.

Laser output	Q (W)	140~380
Pulse width	PW (ms)	7.5
Pulse frequency	f (Hz)	20
Welding speed	V (mm/min)	600
Laser head angle	$\theta$ (deg.)	20
Shielding gas flow rate	Surface Gs ( $\ell$ /min)	30
	Backing Gb ( $\ell$ /min)	30

The Effect of Insert Metals on Lap Weldability of Pulsed YAG Laser Welded Sheets.

Kan WATANABE and Toshikatsu ASAHINA

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、レーザ出力は溶接装置の使用限により最大 400W 以下に設定した。溶接条件を Table 3 に示す。レーザヘッドは、供試材からの反射光を避けるために前進角を設け、既報<sup>4)</sup>により最適の条件とされている 20° とした。集光レンズには焦点距離 80mm のレンズを使用し、焦点位置を供試材の表面とした。シールドガスおよびバックシールドガスには Ar を使用し、流量は特に純チタンの酸化を防止するために必要最低限の 30ℓ/min とした。溶接は重ね代を 20mm 設け、溶接方向は圧延方向に対して直角とした。アルミニウムは酸化被膜を持ち、またレーザ光を反射しやすいため、重ね溶接は上板に Ti、その下にインサート材、下板に A5052 とした。インサート材の厚さを 100 $\mu$ m とするため、それぞれの箔を 10 枚重ねることで実験を行った。

得られた継手についてビード外観観察、継手横断面のマクロ組織観察を行った。また、継手を幅 25mm の矩形に加工し、引張せん断試験および曲げ半径 6.5mm で裏曲げ試験を行った。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 インサート材としての Ag の効果

Table 4 に各種インサート材を用いた場合の溶接条件を示す。インサート材として Ag を挿入することで、Zr および Ni と同様に溶接条件が広範囲となった。このことは、Ag の融点が 1235K であり、A5052 の融解温度 (922K) に比較して高く、熱伝導の障壁となりキーホールの形成が困難となったためである<sup>2)</sup>。この結果は、Zr および Ni と比較しても、同様の効果が得られていることが明らかとなった。しかし、Ag の融点は Zr および Ni の融点に比較して約 500K もしくはそれ以上低いため、良好なビードを

Table 4 Relation between insert metals and welding condition (PW=7.5ms).

Laser output (W)	Insert metal			
	None	Zr	Ni	Ag
140		×	×	
160		○	○	×
180		○	○	○
200		○	○	○
220		○	○	○
240	×	○	○	○
260	○	○	○	○
280	○	○	○	○
300	○	○	○	○
320	○	○	○	○
340	○	○	△	△
360	○	△		
380	△			

△ : Continuous burn through

○ : Good

× : Incompletely joined

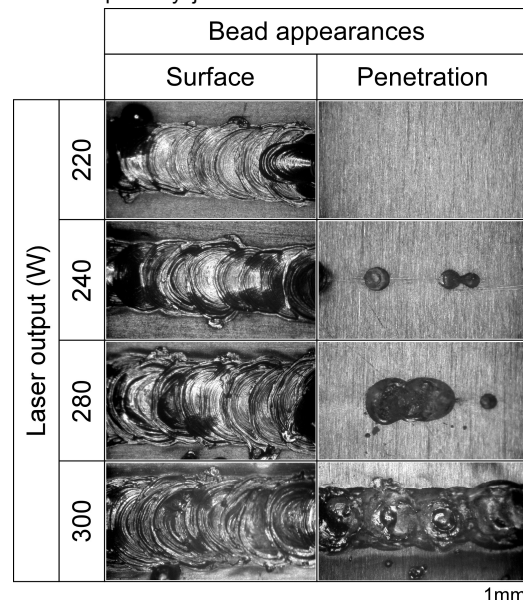


Fig. 1 Typical bead appearances of welded joints.

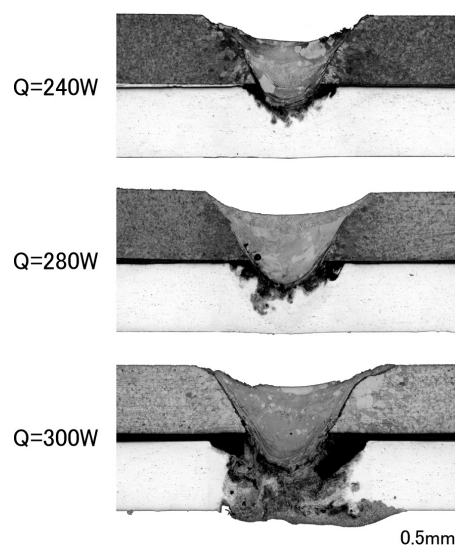


Fig. 2 Macrostructures of welded joints.

得ることができる範囲は若干狭くなる傾向が認められた。

次に Table 3 の良好なビードを得られる条件の中で，代表的なビード外観の例を Fig. 1 に示す。ビード幅は，レーザ出力の増加に伴い広くなり，レーザ出力 240W から継手の裏側に溶落ちが肉眼により確認することができた。レーザ出力が 300W を超えると溶落ちはほぼ連続的に発生する条件では，既報<sup>2)</sup>より継手効率の低下が見込まれるため，レーザ出力 360W 以上の条件では溶接を行わなかった。

Fig.2 に溶接継手の横断面マクロ組織を示す。ビード幅と同様に，接合部幅もレーザ出力の増加に伴い広くなる。また，熔融凝固部の面積もレーザ出力の増加に伴い増加した。溶込み方向の熔融凝固部直下に，混合層が確認できる。この混合層はレーザ出力 300W の条件で最も広い範囲で形成され，主として Ti-Al 間の化合物が形成されていると推測する。インサート材に Zr および Ni を用いることでは，熔融凝固部中でのブローホールの生成を完全に抑制することはできなかったが，本結果ではブローホールは確認できなかった。

引張せん断試験結果，ビード幅および接合部幅の関係を Fig. 3 に示す。最大引張せん断荷重は，レーザ出力 280W の条件で溶接された継手で得られ，その値は 2.03 kN であった。I の範囲では，ビード幅および接合部幅の増加に伴い，継手強度は急激に向上する。その後，範囲 II ではほぼ 2kN 程度の荷重で推移するが，継手が連続的に溶落ちを発生する範囲 III から，引張せん断荷重は急激に低下した。これは，範囲 I で接合部面積が拡大し，範囲 II で Ag の融解により溶落ちが開始し，範囲 III では完全に溶落ちることに起因している。このことから，若干溶落ちしている継手の強度が大となることが明らかとなった。曲げ試験の結果，レーザ出力 220W，

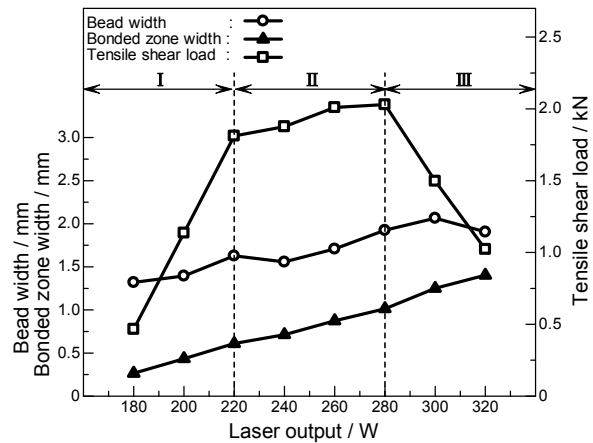


Fig. 3 Relation between bead width, bonded zone width and tensile shear load.

Table 5 Welding conditions of joints using insert metal (Thickness : 100 $\mu$ m).

	Insert metal		
	Zr	Ni	Ag
Laser output (W)	280	240	320
	290	260	340
	300	280	360
	320	300	380
	340	320	400

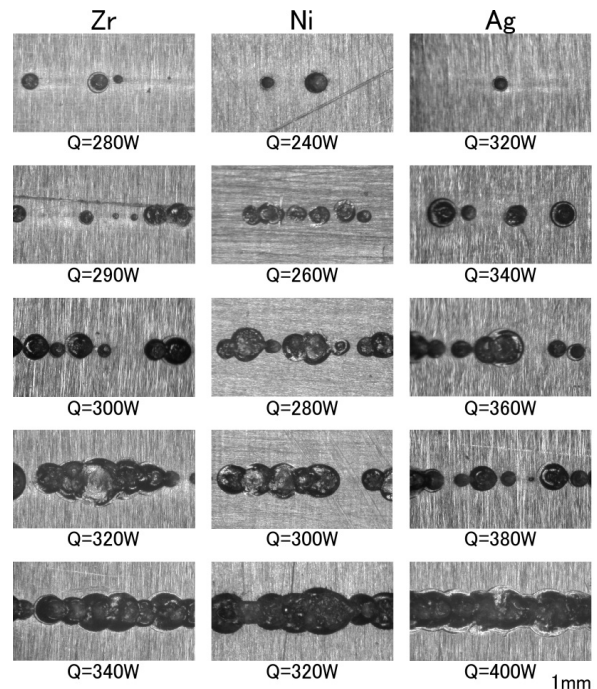


Fig. 4 Penetration bead appearances of welded joints.

240W および 260W の継手では曲げが可能であったが，その他の継手では剥離破断もしくは母材破断となり曲げ加工は不可能であった。

### 3.2 インサート材板厚の影響

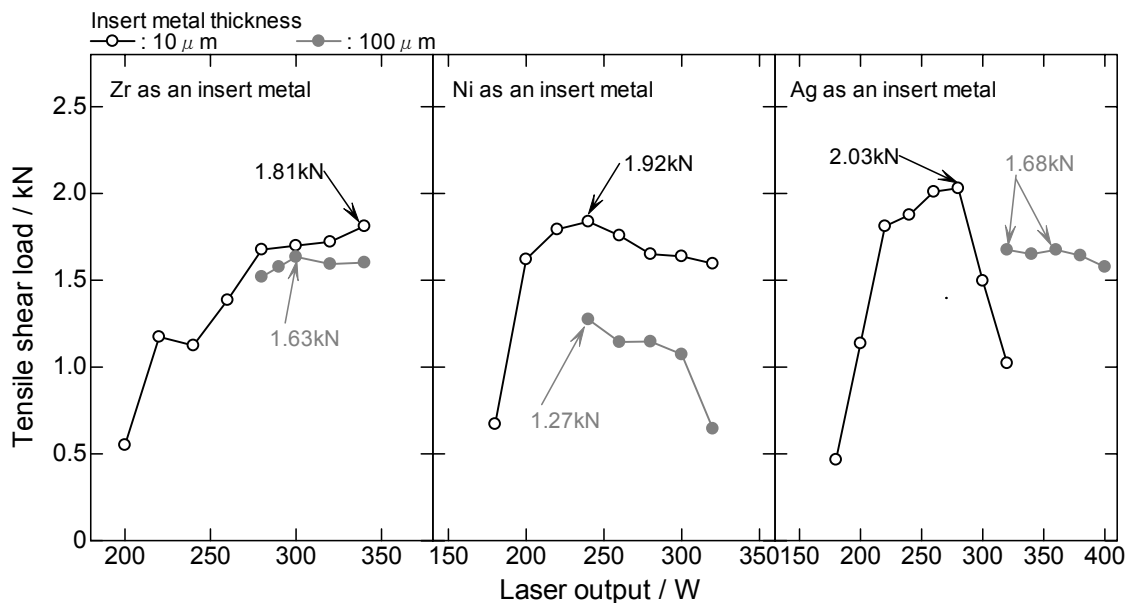


Fig. 5 Relationship between tensile shear load and insert metal thickness.

異種金属の混合を最小限に抑え、接合部面積を増加させることで継手の強度向上を図る方法が検討されている<sup>5)</sup>。そこで、高融点のインサート材板厚を 100 $\mu\text{m}$  とすることで接合界面の熔融幅を増加させるため、インサート材を 10 枚重ねて溶接した。レーザ出力は過去の実験結果より、継手の裏側に溶落ちが確認できた継手の条件から溶落ちが連続的に発生する条件までとした。Table 5 にレーザ出力の選定結果を示す。また、Fig. 4 にそれぞれのレーザ出力により溶接された継手の裏ビードを示す。インサート材に Zr および Ni を用いた場合、インサート材板厚を 10 倍(100 $\mu\text{m}$ )としても継手が溶落ちるために必要なレーザ出力は変化しない。しかし、インサート材に Ag を用いると、インサート材板厚を 10 倍にすることにより、良好な継手を得るために必要なレーザ出力は増加する。

Fig. 5 にそれぞれのインサート材板厚における引張せん断試験結果を示す。また、矢印はそれぞれの条件中で最も高い引張せん断荷重を示した条件およびその値である。インサート材の厚さを 10 倍にすることで、継手の引張せん断強さは低下する。これは、インサート材の種類に関わら

ず同様であるが、Zr の場合のみ、その減少量は少ない。インサート材の板厚を増加させることにより継手強度を向上させることはできなかった。

#### 4. 結 言

インサート材として Ag を挿入することで、TP340C/A5052 継手の引張せん断強度は若干向上した。また、熔融凝固部中でのブローホールの生成もほぼ抑制できることを明らかとした。

各種インサート材 (Zr, Ni および Ag) の板厚を増加させることで継手強度向上を図ったが、板厚 10 $\mu\text{m}$  のインサート材を使用した継手に比較して、引張せん断強度は若干低下した。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省 HP, 自動車交通, 自動車燃費一覧(2008)
- 2) Kan WATANABE, Toshikatsu ASAHINA, Lap Weldability of Pure Ti and 5052 Aluminum Alloy Sheets Using Pulsed YAG Laser, ICM&P, pp.110(2008)
- 3) 例えば, 中田一博ら, Ag ろう材によるアルミニウム/鉄異材レーザブレイズ溶接, 溶接学会全国大会講演概要, pp.146(2007)
- 4) 伊藤洋介ら, 純チタン YAG レーザ溶接継手の機械的性質に及ぼすアシストガス流量の影響, 第 108 回軽金属学会春季大会講演概要, pp.129(2005)
- 5) 例えば, 日本マグネシウム協会, 異種金属とマグネシウム合金の接合技術, pp.103-128(2007)