

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

日大生産工（院）○渡邊 汗 日大生産工 朝比奈 敏 勝
東葛テクノプラザ 蓮見 薫

1. 緒 言

近年，地球環境の悪化が加速しており環境保全に向けた活動が製造業において盛んに推進されている．その中でも輸送用機械は，わが国の二酸化炭素排出量のおよそ 20%を占めており環境への影響が大きな問題となっている．そのために輸送用機械の軽量化は欠かせない課題である．現在自動車の外板は主に鉄鋼材料であり，その代替となりうる材料はアルミニウムをはじめとする軽金属材料である．また，製品の多様化・高機能化などの観点も含め異材接合が必要不可欠となる．そこで著者らは，パルス YAG レーザによる溶接に注目している．パルス YAG レーザ溶接は高エネルギー密度で，微小スポットに集光されたレーザ光を適用する溶接法であり，高速溶接であるためひずみを抑える接合が可能である．また，YAG レーザ光はファイバーを使った伝送が可能であり，ロボットなどと組み合わせた複雑な伝播経路を構築することが容易であるため，現在期待されている溶接法の一つである¹⁾．

本研究室では 5052 アルミニウム合金と純チタン薄板のパルス YAG レーザ重ね溶接性について検討した．その結果，次の点を明らかにした．A5052 に含まれる Mg が溶接中に蒸発し，溶融凝固部中にブローホールとして残留した．接合界面に脆い金属間化合物が生成したことにより，継手効率が低い値となった²⁾．

Zr や Ni などの金属をインサート材やろうの成分として使用すると報告がある^{3, 4)}．そこで本研究では Ti と A5052 の間に Zr および Ni をインサート材として挿入して，重ね溶接を行い，溶接性を検討した．

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)，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．また，インサート材には純度 99.99% の Zr および Ni 箔 (厚さ 0.01mm) を使用した (以後 Zr をインサート材とした継手を IM-Zr

継手，Ni とした継手を IM-Ni 継手と称す)．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．インサート材は長さ 200mm，幅 10mm に加工し，供試材と同様に脱脂洗浄した．

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 未満とした．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を 20° とした．焦点距離 80mm の集光レンズを使用し，焦点位置を供試材の表面とした．シールドガスおよびアシストガス・バックシールドガス共に Ar を使用した．

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 (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HK0.025)
TP340C	334	41	159
A5052	237	12	87

Table 3 Laser welding conditions.

Laser output	Q (W)	100~380 (20steps)
Pulse width	PW (ms)	2.5, 5.0, 7.5, 10
Pulse frequency	f (pps)	20
Welding speed	V (mm/min)	600
Tilt angle	θ (deg.)	20
Shielding gas flow rate	Surface Gs (ℓ/min)	30
	Backing Gb (ℓ/min)	30

Effects of Insert Metals on Lap Weldability of Pure Ti / A5052 Sheet Using Pulsed YAG Laser

Kan WATANABE, Toshikatsu ASAHINA, and Kaoru HASUMI

溶接は重ね代を 20mm 設け、Ti を上板とした重ね溶接とし、溶接方向は圧延方向に対して直角とした。予備実験より A5052 を上板とした場合、Ti の溶融が十分に行われず、A5052 から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、Ti を上板とした場合に比較して非常に狭い溶接範囲となった。このため、以降の実験では Ti を上板とした。

得られた継手の外観観察、ビード幅・接合部幅測定、マクロ組織観察、硬さ試験、引張試験および EPMA 線分析を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 適正溶接範囲の選定

各条件での適正溶接範囲を Fig.1 に示す。適正範囲の判定は目視によって行った。適正範囲は、低いレーザー出力は接合が可能な継手、また高出力では連続した裏ビードが確認された条件より低い出力の条件までとした。昨年度の研究結果より、連続した裏ビードを伴う継手では継手効率の低下および溶融凝固部での金属間化合物の生成が確認されたため、溶接継手として不適と判断した。またインサート材を挿入せずに行った実験結果との比較により、インサート材を用いることにより低いレーザー出力での接合が可能となった。適正範囲においてインサート材の種類によらずレーザー出力はパルス幅の増加に伴い高い値となった。これはパルス幅の増加により、1 パルス当たりの照射時間が増加・単位時間当たりのエネルギー密度が減少し、接合に必要なレーザー出力が増加したためである。IM-Zr 継手の溶接適正範囲は IM-Ni 継手に比較して若干高いレーザー出力となった。Zr の融点は、Ni のそれに比較して 400 程度高いため高エネルギー入力が必要であったと推測できる。また IM-Zr 継手のパルス幅 10ms において、溶接機の使用限によりレーザー出力 400W 以上での溶接は実施しなかった。

インサート材を用いた溶接条件では、安定した継手を得ることができるパルス幅は 7.5ms であり、IM-Zr 継手ではパルス幅 7.5ms で良好な継手を得ることができるレーザー出力の範囲が他のパルス幅に比較して広範囲であった。以後の試験結果は、パルス幅 7.5ms の条件を中心に報告する。

3.2 外観観察

溶接継手のビード外観写真を Fig.2 に示す。表ビードにはパルス溶接の特徴であるリップル線が確認された。出力の増加に伴い表ビードに黒く変色した部分が現れ始める。これ

は、表面の酸化によるものと考えられる。しかし、ビードの表裏に溶接欠陥は認められなかった。レーザー出力の増加に伴い、1 パルス当たりに生成される溶融池が拡大するため表ビードのオーバーラップ率は増加する。また、板厚方向の溶込みも増加するためレーザー出力の増加に伴い裏ビードの間隔が密となった。

3.3 ビード幅

継手の表ビード幅および接合部幅の測定結果を Fig.3 に示す。ビード幅、接合部幅はともにレーザー出力に比例して広がるが、一部の表ビード・接合部に見られるリップル線の幅にバラつきがある。表ビード幅には、イ

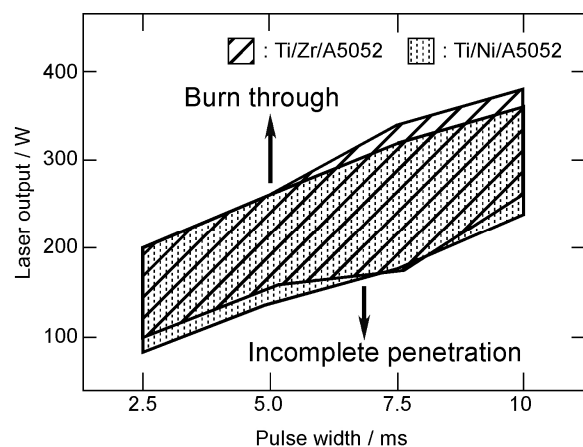


Fig.1 Effects of welding conditions on bead appearance.

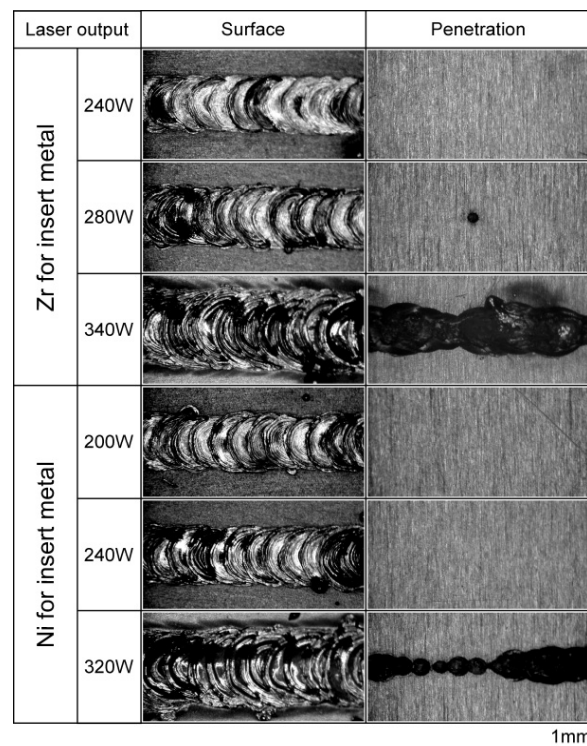


Fig.2 Bead appearances of welded joints(PW=7.5ms).

ンサート材による差異は認められなかったが、接合部幅では IM-Ni 継手が IM-Zr 継手に比較して広がった。これは前述した通り、Zr の融点が高いためと推測した。また IM-Zr 継手のパルス幅 7.5ms、レーザ出力 260W 以上の条件で接合部幅が急激に増加している。また、他のパルス幅についても同様である。この現象もインサート材の影響、すなわち Ti に比較して約 200℃ 高い融点をもつ Zr が、A5052 への熱伝導の障害となった可能性があると考えられる。

3.3 マクロ組織観察

継手横断面のマクロ組織を Fig.4 に示す。インサート材を使用しない継手に比較すると IM-Zr、IM-Ni 継手は共に接合部のブローホールが減少していた。このことはインサート材が熱を消費した後、A5052 側に熱が伝達したためと考えられる。出力の増加に伴いスパッタの発生量が多くなったため、上板であるチタンの溶接部にアンダーフィルが観察された。また、溶込みはレーザ出力の増加に伴い深くなり、連続した裏ビードを伴う継手では、下板の板厚が減少した。

3.4 硬さ試験および EPMA 線分析

継手のビード中央部板厚方向の硬さ分布および EPMA 線分析結果を Fig.5 に示す。EPMA 線分析では Ti・Al およびインサート材の同定を行った。なおここでは出力が比較的低く、ビード幅・接合部幅がともに安定して得られた IM-Ni 継手を示す。なお、IM-Ni 継手のレーザ出力が 240W の条件ではパルス幅 7.5ms の条件の中で最大引張せん断荷重を示した。レーザ出力が 240W の条件では純 Ti 側への Al および Ni の侵入が確認された。A5052 側では、

Ni の侵入が若干認められたが、Ti は A5052 側からは検出されなかった。硬さ分布では、Ti・Ni の金属間化合物はヌーブ硬さが 500 近い値となった。Ti 側では Ni の含有量の減少に伴い、硬さが低下する傾向を示し、A5052

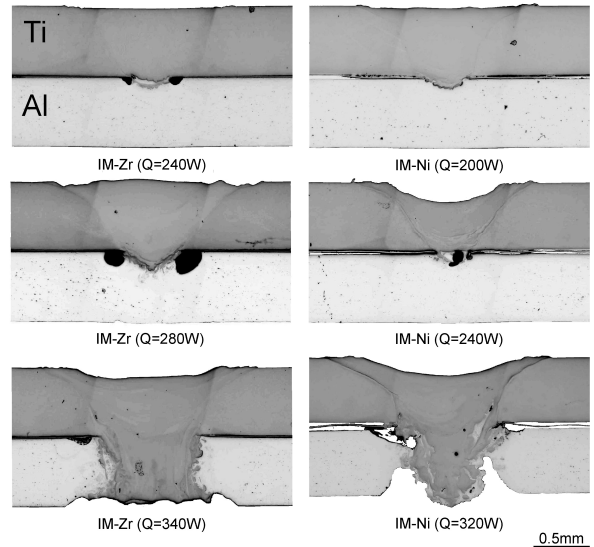


Fig.4 Macrostructures of welded joints (PW=7.5ms).

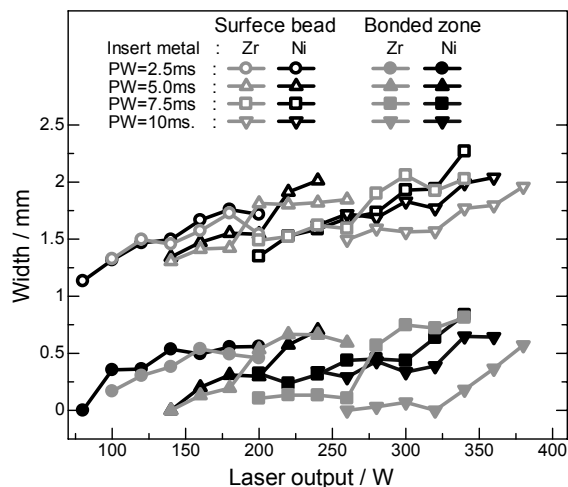
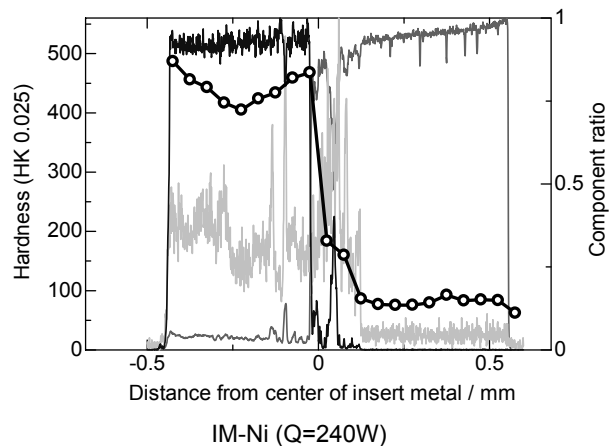


Fig.3 Measurement result of surface bead width and bonded zone width.

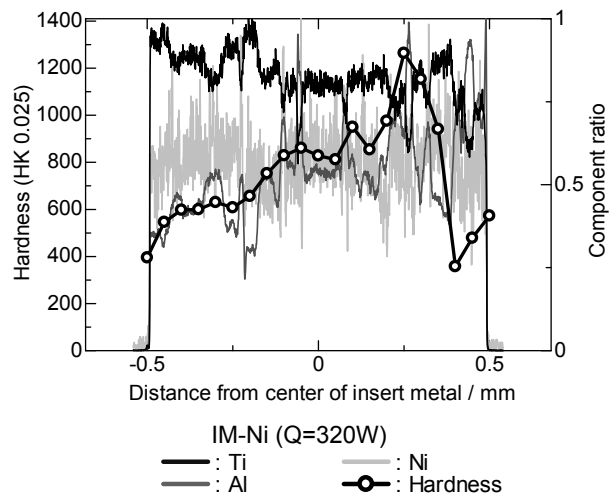


Fig.5 Hardness distribution and results of EPMA line analyze (PW=7.5ms).

側では Ni を少量含んでいるものの、硬化は確認されず母材の硬さ程度となった。IM-Ni 継手のレーザ出力 320W の条件では溶融凝固部全体に Ti・Al・Ni の拡散が観察された。この継手では、Al 含有量の増加に伴い高い硬度を示した。また、溶融凝固部全体で大きく硬化していたため、金属間化合物が幅広く生成されていたと推測する。

3.5 引張試験

継手の引張試験結果を Fig.6 に示す。引張試験は、継手を溶接線と垂直に幅 25mm に機械加工した短冊形の試験片を使用し、室温で行った。インサート材を使用していない継手の強度に比較して、ほぼすべての条件でインサート材を使用することにより引張せん断強さが増加した。引張せん断強さは出力に比例して向上するが、パルス幅 7.5ms の条件において IM-Zr 継手ではレーザ出力 280W、IM-Ni 継手では 240W を超えるとほぼ一定の値となる。この現象は他のパルス幅でも確認されている。最大の引張せん断荷重を示した継手の裏ビードはほぼ認められず、この継手に比較して高出力な条件の継手には、連続した裏ビードが確認された。パルス幅が 10ms の IM-Zr 継手では引張せん断強さは、出力 400W 近傍で向上したが、パルス幅 10ms の IM-Zr 継手、出力 380W の条件では、連続した裏ビードが確認された。このことより出力 400W 以上の条件では引張せん断強さは低下するものと予測できる。

継手の破断形態を Fig.7 に示す。(A)低出力で溶接された継手は変形をとまわずに剥離破断した。(B)レーザ出力の増加に伴い、継手はせん断荷重を一軸引張方向へと変化させる変形をとまらなくなって破断した。この継手では A5052 の変形量が大きく、溶接部周辺では A5052 が母材で破断していることが確認された。(C)高出力で溶接された継手では A5052 の板厚が減少したことが要因となり、最小板厚部分での母材破断となった。引張せん断荷重を比較すると、Fig.7 の破断形態 (B) が高強度であることが分かった。

4. 結 言

- 1) インサート材を使用することによって溶融凝固部中でのブローホールの発生が減少する。
- 2) インサート材に Zr を使用することにより溶込みが抑制される。Ni にその傾向は認められなかった。
- 3) インサート材に Ni を使用することによ

って引張せん断荷重が向上した。破断形態は剥離破断および母材破断を併せ持つ継手の強度が大となった。

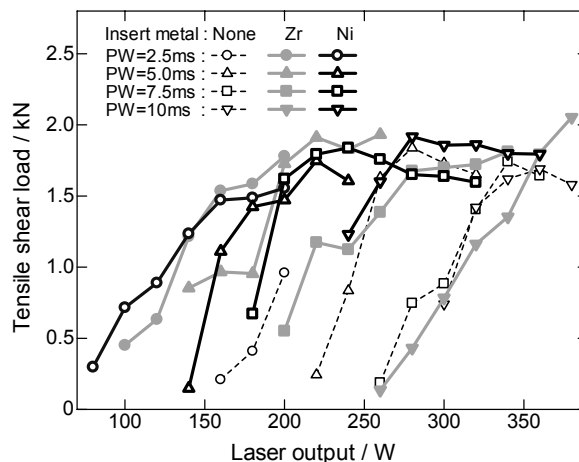


Fig.6 Tensile shear load of welded joints.

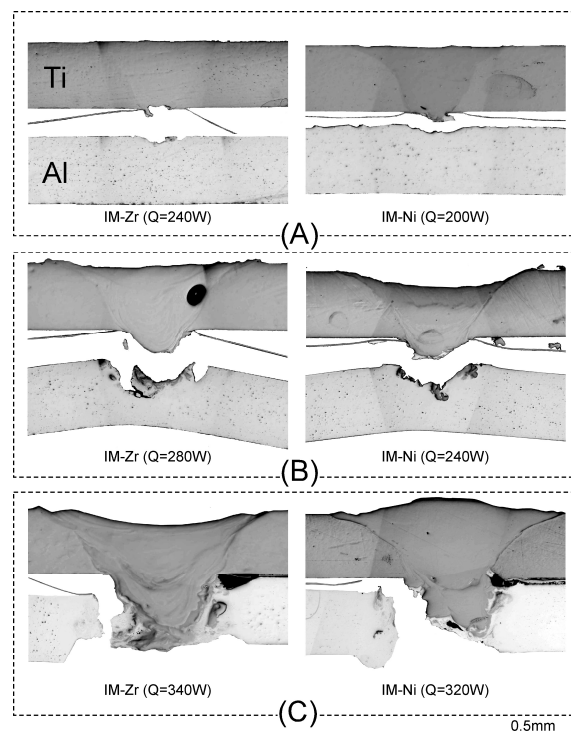


Fig.7 Fractured shape of tensile tested specimen.

参考文献

- 1) 金岡 優, レーザ加工, 日刊工業新聞社, 1999, pp.4.139.
- 2) 朝比奈 敏勝, 大里 史人, 5052 アルミニウム合金と純チタン薄板のパルス YAG レーザ重ね溶接性, 軽金属学会 110 回春季大会講演概要, 2006, pp.140.
- 3) 鈴木 良剛, 吉田 広明, チタンクラッド材の製造技術に関する基礎的検討, 電気製鋼, 2002, pp.73-195.
- 4) 恩澤 忠男, 飯山 孝志, 低融点 Ti 基ろうの開発, 圧力技術, 2002, pp.40-18.