

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月13日現在

機関番号：56101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22760567

研究課題名（和文） レーザ圧接法によるチタン異材接合技術の開発

研究課題名（英文） Development of titanium dissimilar metal welding by laser pressure welding method

研究代表者

西本 浩司 (NISHIMOTO KOJI)

阿南工業高等専門学校・機械工学科・助教

研究者番号：40501169

研究成果の概要（和文）：最近では、チタンと異種金属を組み合わせて、より広い分野での利用が望まれている。本研究では、チタンとアルミニウムとの組み合わせにおいて、レーザ圧接合実験を行い、レーザ圧接性を明らかにするとともに、高強度な継手の作製を目的とした。実験の結果、接合界面の溶融を抑制することで、広範囲な条件下において接合が可能であり、引張せん断および剥離強度ともにアルミニウムの母材から破断する高強度な接合体を得られた。

研究成果の概要（英文）：Dissimilar metals joints of titanium and pure aluminum sheets were produced using the laser pressure welding method by changing the laser power and the roller pressure. As the results, in the tensile shear test and peel test, the strengths of the joints obtained under the optimum welding conditions were so high that the fracture occurred in the aluminum base metal. The thicknesses of intermetallic compound layers were about 50 nm to 100 nm.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：レーザ，圧接，異種金属，接合

1. 研究開始当初の背景

チタンは軽量・高強度・高耐食性および生体適合性に優れ、様々な分野で利用されている。最近では、チタンと異種金属を組み合わせて、より広い分野での利用が望まれている。これらを工業的に使用する場合、異種材料の接合をいかに行うかが重要な課題となる。しかし、従来の接合法では、融点・熱伝導率といった異なる物性差により接合は困難である。また、接合が可能であっても、接合界

面に生成する脆い金属間化合物により、継手強度は低下する。

そこで異種金属を接合する新しい手法として、両金属板の合せ面側へレーザを自在に照射することで両金属の接合界面温度を制御し、その外側に配した一對のローラで加熱直後の両金属を圧接するレーザ圧接法を考案した。

本接合法では、接合界面を接合させる直前でレーザにより加熱し、すぐさまローラによ

り加圧し接合を行うため、①レーザーによる融接とローラによる圧接の効果の割合変化が可能なこと、②2次元スキャナによりレーザーを自在に照射することで接合界面の温度制御が可能なこと、③両金属の合わせ面V字形ギャップへレーザーを照射することでレーザー照射入熱を有効に利用できること、④大きな物性差を考慮しつつ、接合材表面を接合させる直前で効率よく加熱し、すぐさまローラにより加圧することで塑性変形させ、酸化皮膜を破壊・新生面の創出および両金属の相対すべり促進させることで、接合材表面を活性化させ固相状態で接合させるか、または僅かに溶融させて接合させることができること、⑤両金属の物性差を考慮しつつ金属間化合物の生成を抑制することが可能である。

2. 研究の目的

本研究では、チタンとアルミニウムとの組み合わせにおいて、レーザー圧接接合実験を行い、レーザー圧接性を明らかにするとともに、得られた継手の機械的強度を評価し、高強度な継手の作製を目指す。さらに、接合界面の高倍率SEM観察およびEDX組成分析を行い、機械的強度と組織との関係について明らかにするとともに、TEMにより微細組織観察および電子回折を行い、接合メカニズムを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 供試材

実験に用いた供試材は、純チタン（以下、Tiという）および工業用純アルミニウム（以下、A1050という）を用いた。各供試材材料の化学的組成（規格値）をTable 1にまとめて示す。供試材の寸法は、厚さ1 mm、幅12 mm、長さ300 mmである。なお、供試材表面は、油分や酸化物を除去するために#1500番のエミリー紙により湿式研磨をした。また、い

Table 1 Chemical compositions of Ti and A1050 (mass %)

	N	C	H	Fe	O	Ti
Pure titanium	≤0.03	≤0.08	≤0.013	≤0.20	≤0.15	Rem.
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Al
A1050	≤0.25	≤0.4	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≥99.5

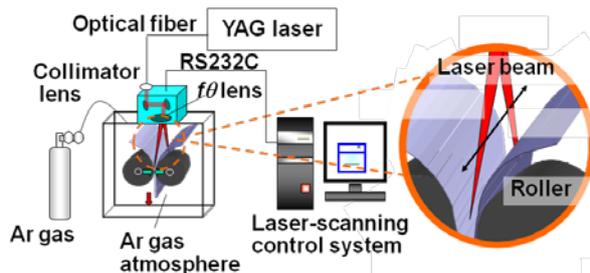


Fig.1 Schematic of experimental set-up of laser pressure welding.

れの供試材も接合実験を行う直前にアセトンで脱脂・脱水を行った。

(2) 実験方法

レーザー圧接装置の概略図をFig.1に示す。レーザーにはYAGレーザーを用いた。レーザーは、発振器から出射された後、光ファイバーにより2次元ビームスキャナに導光される。ビームスキャナは、SCANLAB社製SK1020を用いた。集光レンズは焦点距離160 mmのfθレンズを用い、約φ2 mmのスポット径で接合材の合わせ面に集光される。またレーザーは、接合材に対して平行になるようにスキャンし、一对のローラにより加圧され、接合が完了する。なお、接合部の酸化を防ぐために、アルゴンガス雰囲気中で行った。実験条件は、送り速度0.6 m/min一定とし、レーザー出力を1100~1400 W、ローラ荷重1.96および2.94 kNと変化させて接合実験を行った。

継手の機械的性質は、引張せん断試験および剥離試験で評価した。いずれも引張速度は10 mm/minで、大気中で行った。また、引張せん断試験では、最大引張荷重を継手の接合強さとした。

接合界面はSEM、TEMおよびFE-TEMを用いて詳細に観察した。また界面の化学組成分布をSEMおよびFE-TEMに装着されたEDXを用いて測定した。

4. 研究成果

(1) 機械的強度評価

各種実験条件において接合実験を行ったところ、すべての条件で接合が可能であり、TiとA1050は広範囲な条件で接合が可能であることがわかった。Fig.2にTiとA1050の引張せん断試験結果をFig.3に剥離試験結果を示す。

引張せん断試験では、全ての条件でA1050の母材から破断する高強度な継手を得ることができた。剥離試験では、レーザー出力1100 Wで、一部剥離破断したが、レーザー出力1200 W以上では、A1050の母材から破断する高強度な継手が得られることがわかった。

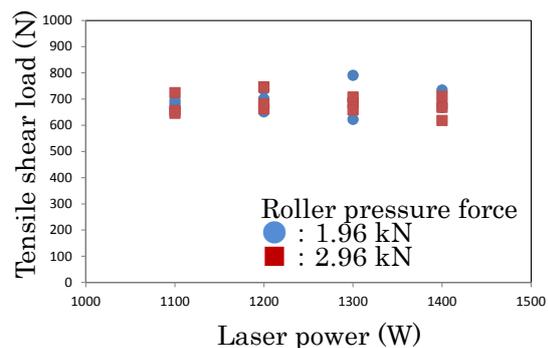


Fig.2 Tensile shear test results of Ti and A1050 joints

(2) 接合部の微細組織観察結果

高強度な継手強度が得られた接合部断面を TEM により詳細に観察するとともに、組成分析および電子回折を行い、接合界面に形成される金属間化合物層の分布および相の同定を行った。Fig.4 にレーザー出力 1300 W、ローラ加圧力 1.96 kN での接合部界面の TEM 観察写真を示す。接合界面には、数百 nm 程度の反応生成物が形成されていることがわかる。Fig.5 に Fig.4 中の囲み部分を高倍率で観察した TEM 写真と EDX による面分析写真をまとめて示す。高倍率 TEM 観察写真から、反応生成物厚さは 100 nm 以下と非常に薄く膜状に形成されていることがわかる。EDX 面

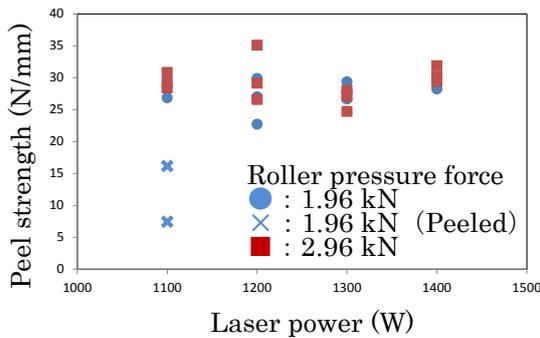


Fig.3 Peel test results of Ti and A1050 joints

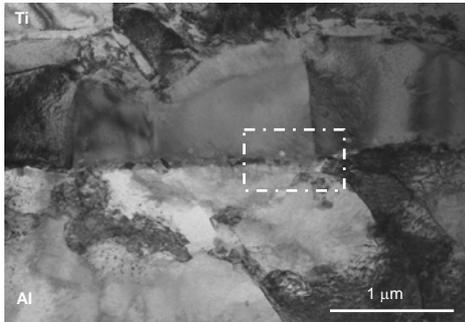


Fig.4 TEM micrograph of Ti/A1050 interface at low magnification

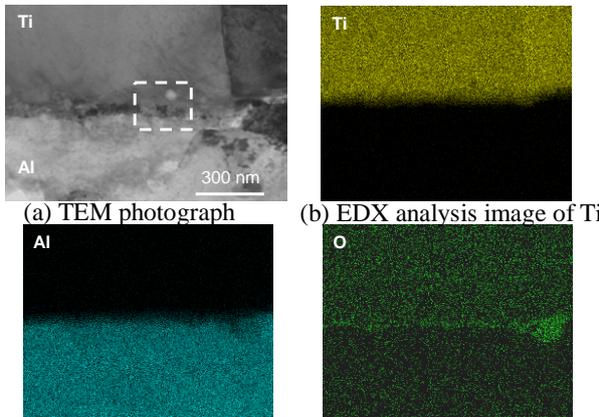
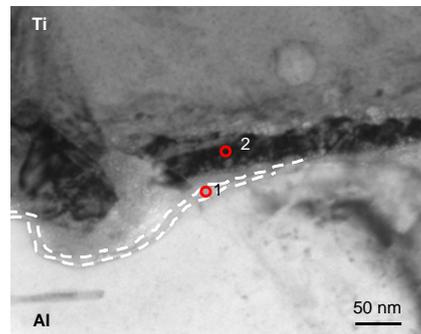


Fig.5 TEM photograph and EDX area analysis results

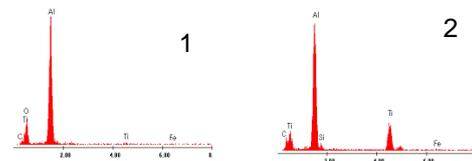
分析結果から、接合界面は Ti と Al 以外に O の濃度が高くなっていることがわかる。O 濃度は、接合界面に沿って認められることから、Al 母材表面に形成している Al 酸化皮膜であると考えられる。次に、Fig.5(a)中の囲み部分をさらに高倍率で観察し、接合界面近傍に形成する反応生成層および酸化層について検討した。Fig.5(a)の囲み部の高分解能観察写真を Fig.6 に示す。コントラストの最も濃い相が反応生成層であり、薄い箇所が Al 母材を示している。白い破線で示した、反応生成層と Al 母材間にも相の異なる反応生成層が確認できる。濃いコントラストの反応生成層厚さは約 50 nm 程度、白い破線で示した反応生成層厚さは約 8 nm 程度である。これら 2 つの反応性成層の構成相について調べるため、EDX 点分析を行った。

Fig.6(a)中のポイント 1 および 2 における EDX 点分析結果を Fig.6(b)に示す。ポイント 1 では、Al と Ti 以外に O が検出された。したがって、白い破線で示したコントラストの薄い反応生成層は、主に Al の酸化層であることが示唆される。一方、コントラストの濃い反応性成層中のポイント 2 では、主に Al と Ti のスペクトルが検出され、Al と Ti の金属間化合物層であると考えられる。

実験結果から、反応性成層厚さは数 100 nm 程度と非常に薄く形成されているため、レーザー照射による融接ではなく、ローラ加圧による圧接が接合に大きく起因していることが考えられる。Fig.6(a)中の白い破線内の Al 酸化層は、接合前から Al 母材表面に存在する Al 酸化皮膜であり、レーザー圧接時のローラ加圧により Al 母材が塑性変形し、酸化皮膜を破壊、新生面を創出する。その後、活性



(a) TEM photograph



(b)EDX point analysis

Fig.6 TEM photograph and EDX points analysis result

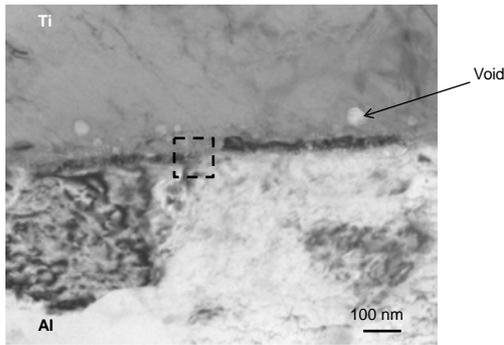


Fig.7 TEM micrograph of Ti/A1050 Interface at other area

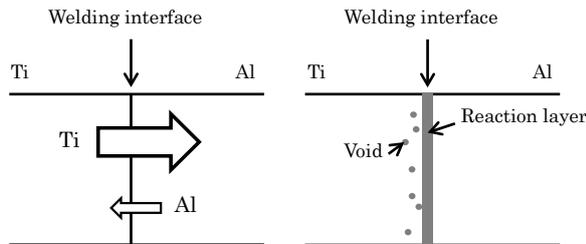
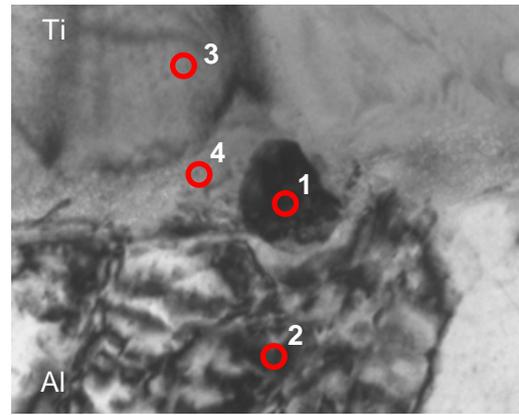


Fig.8 Diffusion of titanium and aluminum

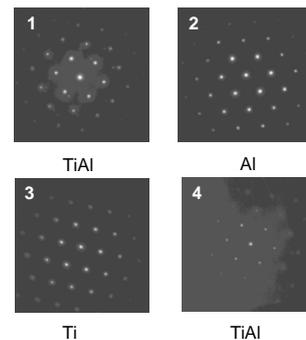
化された新生面と Ti 母材との接合が完了されたと推察される。これらのことから、酸化物層が残存している箇所では、Al と Ti の相互拡散が阻害され、反応性成層の成長が抑制されたと考えられる。

Fig.4 に示した接合界面とは異なる接合界面の TEM 観察写真を Fig.7 に示す。Ti 母材中にコントラストの異なる 10~50 nm 程度の析出物が確認できる。この析出物の組成を調べるために、EDX 点分析を行ったが、X 線強度が低下し測定不能であったことから、ボイドであると考えられる。これらボイドは、両金属原子の拡散速度が大きく異なることが原因であるカーケンダルボイドであると考えられる。チタン中へのアルミニウムの拡散係数は、1100 °C 以上で徐々に増加するが、アルミニウム中へのチタンの拡散係数は、500 °C 以上で急激に増加する。Fig.8 にチタンとアルミニウム接合継手の原子の拡散と反応生成層の形成状況の概略図を示す。Fig.8 中の矢印の向きが各元素の拡散進行方向とその大きさが拡散によって移動する各元素の量をイメージしている。このことから、チタン中へのアルミニウムの拡散速度より、アルミニウム中へのチタンの拡散速度が著しく速いため、チタン母材内へカーケンダルボイドが形成されたと考えられる。

次に、Fig.7 中の囲み部を高分解能観察し、反応生成層の構成相を明らかにするために、電子回折を行った。Fig.9 に接合界面の高分解能観察写真と Fig.9 中の各点における電子回



(a) TEM micrograph of Ti/A1050 interfacial high magnification



(b) Electron diffraction results

Fig.9 TEM observation and electron diffraction results

折結果をまとめて示す。接合界面には 100 nm 程度の反応生成層が確認できる。反応生成層内のポイント 1 および 4 の電子回折結果から、Ti と Al の金属間化合物である TiAl が同定された。これらの結果から、レーザ圧接法によるチタンとアルミニウムの接合では、金属間化合物層厚さを 50~100 nm 程度に抑制でき、広範囲な条件下において接合が可能で、引張せん断および剥離強度ともにアルミニウムの母材から破断する高強度な接合体を得られることがわかった。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

①島崎誠也, 西本浩司, レーザ圧接法によるチタンとアルミニウムの接合, 日本材料学会四国支部第 10 回学術講演会, 2012.6.23, 香川

②西本浩司, レーザ圧接法によるアルミニウムと高張力鋼板およびチタンの接合, 軽金属学会第 121 回秋期大会, 2011.11.13, 東京

6. 研究組織

(1)研究代表者

西本 浩司 (NISHIMOTO KOJI)

阿南工業高等専門学校・機械工学科・助教
研究者番号：40501169