521 鋼／アルミニウム合金のレーザー接合における界面制御

Interface Controlling on Laser Welding of Steel / Aluminum Alloy

○正 宮下 幸雄 (長岡技科大) 正 武藤 睦治 (長岡技科大)
正 許 金泉 (上海交通大学) 奥村 勇人 (長岡技科大)

Yukio MIYASHITA, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, 940-2188 Japan

Yoshiharu MUTOH, Nagaoka University of Technology

Jin-Quan XU, Shanghai Jiao Tong University, China

Hayato OKUMURA, Nagaoka University of Technology

Key Word: Laser welding, Dissimilar metals joint, Steel, Aluminum alloy, BEM analysis

1. 緒言

異なる材料を組合せて構成する“ハイブリッド構造”は、自動車車体の軽量化に有効であり、排出ガス削減や燃費向上が期待される¹⁾。そのためには、信頼性のある異材接合技術が不可欠である。著者らは、これまでに、通常の溶融溶接を行うと、界面に脆弱な金属間化合物を生成するために、強度が著しく低下する、鋼とアルミニウム合金の材料組合せを取上げ、境界要素熱伝導解析によって溶接条件を求めることで、接合体を作製する手法を示した²⁾。この手法では、Fig.1 に示すように、両材料の溶融温度の違いを利用し、界面において、固相／液相反応を生じさせる。本研究では、得られた接合体について強度試験および破面・断面観察を行い、界面の状態を調べ、さらに、接触片により界面状態を制御する手法について検討した。

2. 試験方法

材料組合せは、鋼 (SPCC) / アルミニウム合金 (A5052-0) とした。供試材の化学成分および機械的性質を Table 1 および 2 に示す。試験片は、100×40mm、厚さ 1mm の板材を使用した。レーザー装置には、Nb:YAG レーザを使用した。重ね幅 30mm で治具に取付け、SPCC 側からレーザーを照射することで重ね接合を行った。得られた接合体をゲージ部幅 14mm の形状に加工し、引張り－せん断試験を行った。なお、本研究で示すすべての試験において、試験片表面からのデフォーカス距離を上方へ 20mm とし、シールドガスには流量 40l/min の Ar ガスをを用いた。

3. 結果および考察

3.1 接合条件と接合体強度 接合条件を Fig.2 に示す。同図中の矢印は、BEM 解析より推測した接合条件を示しており、実験結果とよく一致している。例として、レーザー出力 2.5kW で得られた接合体の破断荷重と溶接速度の関係を Fig.3 に示す。なお、重ね接合体の引張り－せん断試験において、未接合部は幾何学的にき裂と同義であるため、本報告では、破断荷重で接合体強度を整理した。Fig.3 より、同出力で比較すると、溶接速度が低い条件で作製した接合体の方が、高い破断荷重を示した。なお、レーザー出力 2.5kW、溶接速度 0.6m/min で得られた接合体が本研究では最大破断荷重を示し、母材 (A5052) 引張り強度から求められる破断荷重の約 73%であった。

Fig. 1 Schematic illustration of the laser lap joint.

Table 1 Chemical compositions for the materials used.

Material	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
A5052-O	bal.	<0.25	<0.40	<0.10	<0.10	2.2~2.8
SPCC	-	-	bal.	-	<0.50	-
Material	Cr	Zn	Ti	C	P	S
A5052-O	0.15~0.35	<0.10	-	-	-	-
SPCC	<0.50	-	<0.12	<0.12	<0.04	<0.045

Table 2 Mechanical properties for the materials used.

Material	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Shear strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Thermal conductivity (W/m·°C)
A5052-0	195	27	125	70	137.0
SPCC	>280	>36	-	-	67.4

Fig. 2 Weldability of SPCC / A5052 joint.

Fig. 3 Relationship between failure load and welding speed at laser power of 2.5 kW.

3.2 破面および断面観察 強度試験後の破面観察例を Fig.3 に示す。接合体の破面上には、多くのポアが認められた。また、同じレーザ出力で比較すると、溶接速度の増加にともない、ポアの寸法が大きくなり、中央部に集合する傾向を示した。接合メカニズムが異なるため、そのまま比較することはできないが、これはアルミニウム合金のレーザ溶接において報告されている傾向と類似している³⁾。接合体断面観察例を Fig.4 に示す。同図より、接合体界面には、金属間化合物層が認められたが、その厚さは不均一であり、場所によっては未接合部も観察された。しかし、同じレーザ出力で比較すると、溶接速度が低いほど、すなわち、入熱が大きいほど金属間化合物層の厚さは増加する傾向を示した。

3.3 接触片の影響 Fig.5 に模式的に示すように、レーザ照射部直下のアルミニウム合金側から接触片を押当てた状態で接合実験を行った。本研究では、半円柱形の S45C 製ブロックを用いた。押付け荷重は、ひずみゲージにより測定し、ネジにより調整した。なお、本研究では、押付け荷重は 98N、レーザ出力は 2.5kW で一定とした。レーザ溶接実験より、接触片を用いた場合にも、用いない場合と同様の溶接速度 0.6~0.9 m/min の範囲で接合体が得られた。なお、溶接中、接触片へ熱が伝わるため、接触片の形状や材質を変えることによって、溶接条件が変化することを、別の実験で確認している。本実験では、接触片形

Fig. 3 Fracture surfaces of A5052 side for the specimens welded with laser power of 2.5 kW at welding speed of (a) 0.6 m/min and (b) 0.8 m/min.

Fig. 4 Cross sectional observations for the specimens welded with laser power of 2.5 kW at welding speed of (a) 0.6 m/min and (b) 0.8 m/min.

Fig. 5 Apparatus for applying bonding load.

状が半円柱形であるため、線接触となり、本実験の範囲内では、溶接条件に顕著な影響が認められなかったものと考えられる。引張り一せん断試験の結果、接触片を用いた場合の最大破断荷重は、母材破断荷重の約 81%であり、接触片を用いない場合と比較して向上した。接合体の破面観察例を Fig.6 に示す。同図より、接触片を用いない場合に認められた大きなポアは観察されなかった。これは、接触片により、A5052 側に生じたポアが接合部の外へ押出されたためと考えられる。接合体の断面観察例を Fig.7 に示す。同図より、接触片が無い場合と比較して、接触片を用いた場合には、界面に生成される金属間化合物層の厚さが比較的均一となっている。Fig.7 のような断面観察より求めた、金属間化合物層の厚さと溶接速度の関係を Fig.8 に示す。同図より、接触片により密着状態を向上させた場合には、入熱量で金属間化合物の生成状態をコントロールできると考えられる。

結言、参考文献；省略。

謝辞 本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 産業技術研究助成事業による支援を受けた。また、本研究の一部は、(株)レーザ応用工学研究所マルチクライアントプロジェクトおよび文部科学省21世紀COEプログラムに関連して行われた。関係各位に深く感謝の意を表する。

Fig. 6 Fracture surfaces of A5052 side for the specimen welded with laser power of 2.5 kW, applying bonding load of 98N and welding speed of 0.6 m/min.

Fig. 7 Cross sectional observations of the specimen welded with laser power of 2.5 kW, applying bonding load of 98N and welding speed of (a) 0.6, (b) 0.8 m/min.

Fig.8 Relationship between thickness of intermetallic layer and welding speed (Laser power; 2.5kW, Lapping width; 30mm, defocus; +20mm, Bonding load; 98N)