

レーザによる鋼／アルミニウム合金異種金属接合体の界面挙動

長岡技術科学大学 ○宮下幸雄, 武藤睦治, 奥村勇人

Interface Behavior of Laser Welding Lap Joint between Steel and Aluminum Alloy

by Yukio MIYASHITA, Yoshiharu MUTOH and Hayato OKUMURA

キーワード: レーザ溶接, 異種金属, 鋼, アルミニウム合金, 金属間化合物

Keywords: Laser welding, Dissimilar metals, Steel, Aluminum alloy, Intermetallic

1. 緒言

異材重ね接合における界面の状態を模式的に Fig. 1 に示す. 同図(a)は, 両材料とも溶融した液相／液相の状態であり, 界面における脆弱な金属間化合物の生成状態を制御することは難しい. Fig. 1(b)は, 両材料とも溶融していない, 固相／固相の状態であり, 拡散接合に近い状態を示す. これまでの報告¹⁾より, 多くの材料組合せに対し, 拡散接合で接合可能であることが示されているため, 有望な手法と考えられる. しかし, 実際のレーザ溶接に適用するためには, 特別な加圧装置の工夫が必要であることに加え, きわめて精密な入熱コントロールが不可欠となる. 著者らは, 境界要素熱伝導解析によりレーザ溶接中の界面温度分布を求め, それに基づいた条件で接合を行うことにより, Fig. 1(c)に示す, 界面で固相／液相状態を実現し, YAG レーザによる SPCC/A5052 の重ね接合を実現した^{1)~3)}. 本報告では, SPCC/A5052 界面に生成した金属間化合物層の生成挙動と接合体強度との関係について詳細に検討した.

2. 試験方法

供試材として, SPCC およびアルミニウム合金 A5052-O を用いた. 試験片形状は, いずれも, 40×100×1mm とした. 最大出力 6kW の YAG レーザ装置を用いて, 出力および溶接速度を変化させて実験を行った. 溶接時の重ね幅は, 全て 30mm とし, 試験片長手方向と垂直方向に溶接した.

3. 結果および考察

断面観察より測定した接合幅と破断荷重の関係を Fig. 2 に示す. なお, 同図中には, BEM 解析結果より求めた接合幅も破線で示してある. Fig. 2 より接合幅と破断荷重はほぼ線形の関係が認められた. すなわち, 各接合条件において界面の強度はほぼ一定であり, 界面に生成している金属間化合物の組成は等しいと考えられる. Fig. 2 に示す接合幅と破断荷重の傾きより求められる界面強度は約 31 MPa である. これは, 固相接合に関してこれまでに報告されている結果^{4),5)}と比較して低い.

レーザ出力 2.5kW, 溶接速度 0.6m/min の条件で得られた接合体界面の EPMA 分析の例を Fig. 3 に示す. Fig. 3 より, 界面に金属間化合物の存在が確認できる. Fig. 3 のような接合部断面観察の結果, いずれの接合条件においても, 接合部界面に金属間化合物層が認められ, 入熱量の増加にともない層厚さも増加する傾向を示したが, 厚さが不均一であり, 場所によっては, 未接合部も観察された. これは, 表面粗さや酸化物といった試験片表面状態および試験片固定方法が原因で, 試験片の密着状態が良好ではないために, 局所的に A5052 へ熱が十分に伝わらな

かったためと考えられる。これに関しては、接触片を押当てることにより密着性を向上できることを確認している。なお、本実験で得られた接合体界面の金属間化合物層厚さは、およそ 3~8 μm 程度であった。Fig.3 に示す金属間化合物層の定量分析を行った結果、Al が 67~73 atom% を示し、Fe-Al 系平衡状態図⁶⁾に基づくと、金属間化合物の組成は Fe_2Al_5 もしくは FeAl_3 であると推測される。これは、アルミ合金と鉄鋼材料の接合に関するこれまでの報告^{4),5),7)}と一致している。拡散接合における Fe_2Al_5 金属間化合物層厚さは、以下の式で求められる⁸⁾。

$$X = K_0 \sqrt{t} \exp\left(-\frac{Q}{2RT}\right) \quad (1)$$

ここで、 K_0 は $0.58\text{m}\cdot\text{s}^{-1/2}$ 、 R はガス定数で $8.31\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 、 T は温度、 Q は熱活性エネルギー、 t は拡散時間を表している。レーザ出力 2.5kW、溶接速度 0.6m/min の接合体について、上式より金属間化合物層の厚さを推定する。本研究では、界面において固相/液相で拡散反応が生じていると考えられるため、同一状態とはいえないが、ここでは黒田らの報告⁴⁾より、拡散接合における Fe_2Al_5 の熱活性化エネルギーを用いて $Q=180\text{kJ/mol}$ とする。温度 T は、Al の融点 660°C とし、BEM 熱伝導解析より、接合中央部において、界面温度が Al の融点である 660°C 以上になる時間を求めると、およそ 1.2s であったため $t=1.2\text{s}$ とする。以上を式(1)に代入し、算出される金属間化合物層の厚さは、 $3.7\mu\text{m}$ であり、観察された厚さと同オーダーであった。

結言、参考文献；省略。

謝辞 本研究は、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）平成 12 年度即効型産業技術研究助成事業および平成 14 年度産業技術研究助成事業による支援を受けた。深く感謝の意を表す。

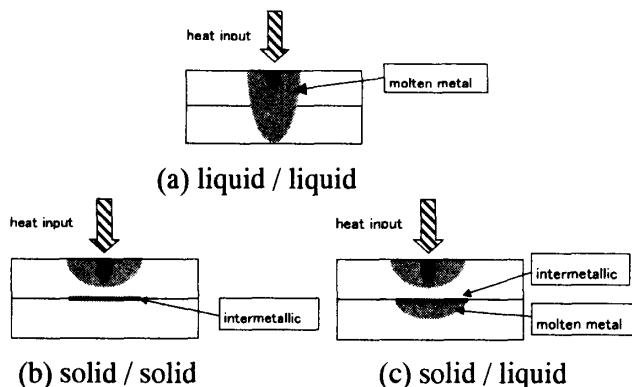


Fig.1 Schematic illustration of lap joint.

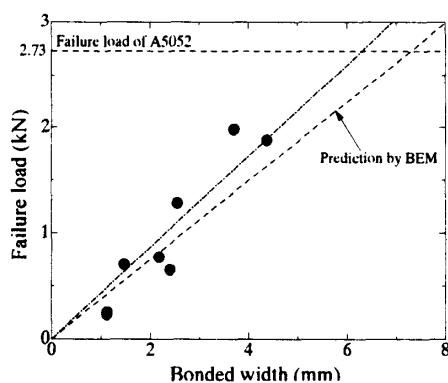


Fig.2 Relationship between failure load and bonded width for SPCC/A5052 lap joint.

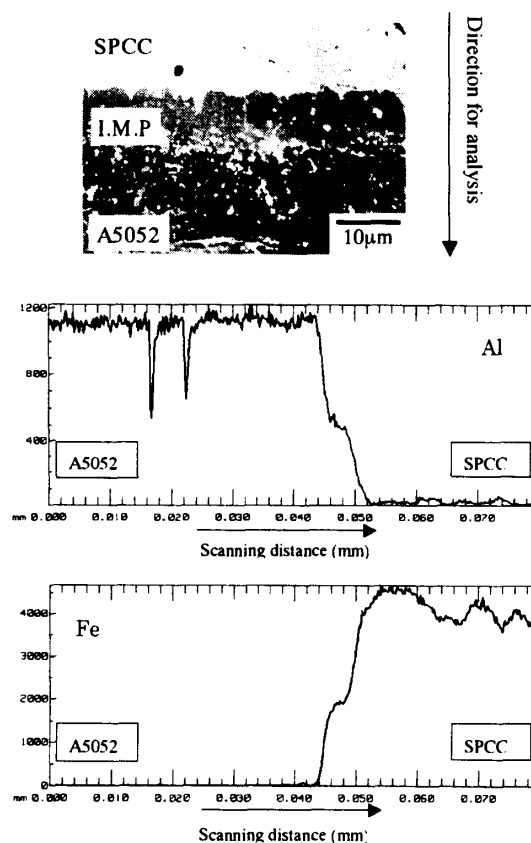


Fig.3 Result of EPMA analysis.