

K-8

電磁圧接したアルミニウム/鋼接合材の接合界面組織と強度に及ぼす高温保持の影響

Effect of high-temperature treatment on interfacial microstructure and strength of magnetic pulse welded aluminum/steel joint

○蛭田貴宇¹, 渡邊満洋²*Yoshitaka Hiruta¹, Mitsuhiro Watanabe²

Abstract: Magnetic pulse welded aluminum/steel joints were held at high temperature, and the evolution of the interfacial microstructure and joint strength were investigated. An Al-Fe reaction layer was produced along the intermediate layer/steel interface when the holding temperature above 400 degrees Celsius was applied. The reaction layer mainly grew toward the intermediate layer side with increasing the holding temperature. When the holding temperature was 500 degrees Celsius or higher, un-welded region was formed along the Al/reaction layer interface, and interfacial delamination by tensile-shear test was observed.

1. 緒言

近年深刻化する地球温暖化への対策として特に自動車をはじめとした輸送用機器業界では燃費向上が求められている。燃費向上のための一つの解決策として車体軽量化へのニーズが高まり、軽量かつリサイクル性に優れたアルミニウムの利用が注目されている。しかし、アルミニウムは従来用いられてきた鋼と比較すると材料コストが高騰するため、目的に応じた材料を適材適所に用いるマルチ材料構造が必要とされている^[1]。しかしマルチ材料構造では、接合材廃棄後の材料リサイクルを考えた場合、材料を分離する技術が必要となる。

電磁圧接は、固相接合である衝撃圧接法の一つであり、電磁力を用いて一方の金属 (Flyer plate) をもう一方の金属 (Parent plate) に高速度で傾斜衝突させることによって接合する手法である (Fig.1) ^[2]。アルミニウム板と鋼板の電磁圧接材においては、接合界面は波状を呈し、その波状界面に沿って微細なアルミニウム結晶粒および金属間化合物粒によって構成される中間層が形成されること、また、引張せん断試験によってアルミニウム母材部で破断するほど強固な接合が達成されることがわかっている^[3]。本研究では、この強固な接合が達成される電磁圧接材の分離技術を検討した。これまでの報告により、熔融溶接したアルミニウム/鋼接合材は接合界面に脆弱な金属間化合物が層状に厚く生成することによって強固な接合界面を得ることが困難であることが知られており^[4]、これは、多大な入熱量でアルミニウムと鋼を接合すると接合界面強度は低下することを意味していると考えられる。そこで本研究では接合材の材料分離手法として高温保持による接合強度低下現象の活用に着目し、電磁圧接したアルミニウム/

鋼接合材に対して高温保持処理を施し、接合界面組織及び強度の関係を調べた。

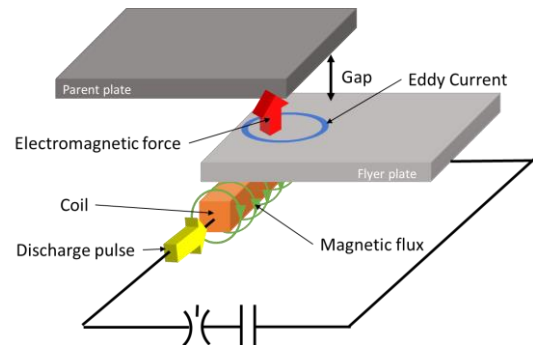


Fig.1 Principle of magnetic pulse welding.

2. 実験方法

供試材には、厚さが 0.4 mm の A1050 工業用純アルミニウム板 (以降 Al と記載) を Flyer plate として用い、厚さが 0.8 mm の SPCC 冷間圧延鋼板 (以降 Fe と記載) を Parent plate として用いた。各供試材の表面は、接合前に #600 の耐水研磨紙を用いて一様に研磨したのち、十分に洗浄して乾燥させた。接合には Bmax 社製の電磁圧接装置 MP12.5/25 (コンデンサ容量: 40 μ F) を用いた。Al と Fe の間に 2.0 mm の間隙を設けて固定し、コンデンサに充電した 6.5 kJ の電気エネルギーをコイルにパルス放電することによって接合を行った。接合後、得られた接合材に対して電気炉を用いて保持温度を 300~600°C の間で変化させ、各保持温度に到達後、1 h 保持したのち空冷した。組織観察用試料は、接合シーム方向に対して垂直な断面を鏡面研磨して作製し、光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて観察した。接合材の強度評価には、引張せん断試験を用いた。

1 : 日大理工・院(前)・精機 2 : 日大理工・教員・精機

3. 実験結果および考察

Fig.2 に, (a)接合まま材と(b)300°C, (c)400°C, (d)500°C, (e)600°Cの保持温度で保持処理を施して得られた接合界面の SEM 像を示す。各像の上部が Parent plate として用いた Fe, 下部が Flyer plate として用いた Al である。接合まま材では, 接合界面は波状を呈し, その波状界面に沿って Al 側に中間層が生成されていた (Fig.2(a))。この接合まま材に対して各保持温度の保持処理を施したところ, 300°Cで保持処理した場合は SEM による観察スケールでは接合界面組織の変化は認められなかったが (Fig.2(b)), 400°C以上で保持処理した接合材では反応層の生成が認められた (Fig.2(c)~(e))。反応層は中間層/Fe 界面に沿って生成され, 保持温度の上昇に伴って主に中間層側 (Al 側) に成長していた。また, 500°C以上で保持処理した接合材には, Al/反応層界面に沿って未接合領域が観察された (Fig.2(d), (e))。Fig.3 に, 高温保持処理における保持温度と生成された反応層の厚さの関係を示す。反応層の厚さは接合部において一定ではないため, ここでは, 断面観察によって接合部内に観察された反応層の面積を測定し, その面積を接合部幅で除することによって平均厚さを見積もった。反応層の厚さは保持温度の上昇に伴って増加していた。

接合まま材および各保持温度における保持処理を施した接合材の引張せん断試験の結果を Fig.4 に示す。高温保持処理における保持温度の上昇に伴って接合材強度の低下が認められた。300°Cおよび400°Cの保持温度で保持処理した接合材は Al 母材で破断していたため, 強度低下の要因は高温保持処理による Al 母材の強度低下によるものと考えられる。それに対して接合部剥離が観察された 500°Cおよび 600°Cで保持した接合材は, Al/反応層界面に未接合領域が形成されたことによって強度が低下したのと考えられる。

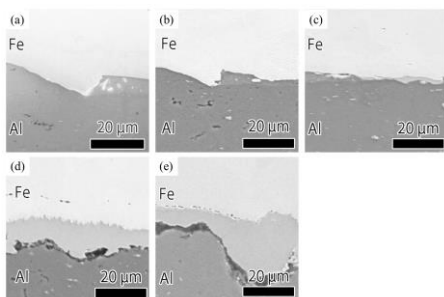


Fig.2 SEM images of welding interface in (a) as-welded joint and in joints after (b) 300°C, (c) 400°C, (d) 500°C and (e) 600°C treatment.

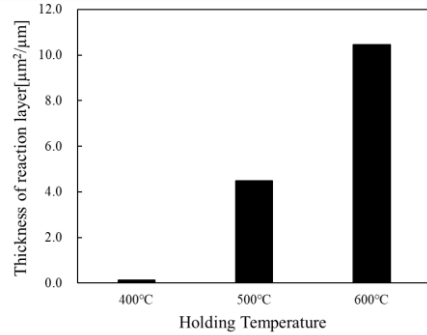


Fig.3 Relationship between thickness of reaction layer and holding temperature.

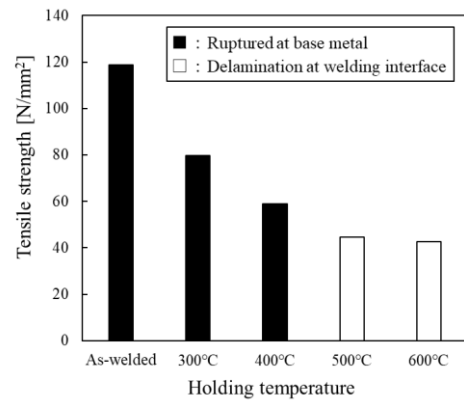


Fig.4 Result of tensile-shear test.

4. 参考文献

- [1] 廣瀬明夫: マルチマテリアルと異材接合, 軽金属, Vol.71, No.4, 188-196, 2021.
- [2] 相沢友勝: 金属薄板の電磁シーム溶接法, 軽金属, Vol.54, No.4, 153-158, 2004.
- [3] M. Watanabe, Y. Sano, S. Kumai: Interfacial Microstructure and Strength of Magnetic Pulse Welded A5052 Aluminum Alloy/SPCC Steel Lap Joint, Materials Transactions, Vol.64, No.2, 479-484, 2023.
- [4] M. Watanabe, K. Feng, Y. Nakamura, S. Kumai: Growth Manner of Intermetallic Compound Layer Produced at Welding Interface of Friction Stir Spot Welded Aluminum/Steel Lap Joint, Materials Transactions, Vol.52, No.5, 953-959, 2011.