

K1-1

A1050 アルミニウム板とアルミニウムめっき鋼板の電磁圧接

Magnetic pulse welding of A1050 aluminum and aluminum-coated steel plates

○河村有成¹, 渡邊満洋², 熊井真次³*Yusei Kawamura¹, Mitsuhiro Watanabe², Shinji Kumai³

Abstract: Dissimilar metal joining of A1050 aluminum plate and aluminum-coated steel plate was performed using magnetic pulse welding. The aluminum-coated steel plate was used for the parent plate, and the A1050 aluminum plate was used for the flyer plate. The overlap was fixed at 3.0 mm and the charging energy was controlled in the range of 2.0 kJ to 8.0 kJ. The bonding interface was observed with an optical microscope and scanning electron microscope. Tensile-shear test was conducted for evaluation of strength of joints. Joining was achieved with charging energy exceeding 5.0 kJ. Cracks were observed in the intermetallic compound layer formed at the aluminum coating/steel interface after the welding. However, fracture by tensile-shear test occurred at A1050 matrix, and no fracture was observed at the welding interface.

1. 緒言

同種金属の接合には溶融溶接法が一般的に用いられるが、アルミニウムと鋼などの異種金属を溶融溶接すると溶接部に脆い金属間化合物 (IMC) 層が厚く形成されてしまい、強固な接合が困難である[1]。そこで異種金属接合では、金属を溶かすことなく接合し、IMC 層の形成を制御する固相接合法が注目されている。電磁圧接は固相接合法の一つであり、電磁力により金属を高速衝突させて接合する手法である[2]。電磁圧接によるアルミニウムと鋼の異種金属接合には報告があるが[2]、ここで用いられている鋼母材は表面処理を施していない鋼板である。一般的に構造用材料として用いられている鋼は耐腐食性が低いため、大気環境下において錆を生じてしまう。鋼の耐腐食性向上には、鋼表面に亜鉛めっきやアルミニウムめっきを施した、いわゆるめっき鋼板が一般的に用いられている。めっき鋼板は溶融めっき中に鋼を浸漬させることにより作製するため、めっき/鋼界面には反応層が形成される。このような反応層を含む母材の電磁圧接では、高速衝突による反応層の破壊などの接合性に影響を与える可能性があるため、接合条件の選定などを十分に検討する必要があると考えられる。そこで本研究では、アルミニウム板とアルミニウムめっきを施した鋼板の電磁圧接を行い、接合材の界面組織を調べた。

2. 実験方法

供試材には、厚さが 0.5 mm の A1050 アルミニウム板 (以降、A1050 と記述) と厚さ 1.0 mm のアルミニウムめっき鋼板 (以降、Al めっき鋼板と記述) を用いた。

Fig.1 に、接合前の Al めっき鋼板表面の断面光学顕微

鏡像を示す。Al めっき鋼板は鋼表面に厚さが約 10 μm のアルミニウムめっきが施されており、めっき部には針状の Si 晶出物が観察された。また、アルミニウムめっきと鋼の界面には厚さが約 3 μm の IMC 層が形成されており、その IMC 層には厚さ方向に貫通する縦割れが観察された。

接合方法の模式図を Fig.2 に示す。接合には電磁圧接装置 (Bmax 社製, MP 12.5/25, コンデンサ容量: 40 μF , コイル幅: 3.0 mm) を用い、Flyer plate には A1050, Parent plate には Al めっき鋼板を用いた。板間隙は 1.0 mm, コイルとの重ね合わせ幅である Overlap は 3.0 mm に固定し、コンデンサに充電する電気エネルギー (充電エネルギー) を 2.0 kJ から 8.0 kJ の間で変化させて接合を行った。

得られた接合材は、シーム方向に対して垂直な断面を切り出したのち鏡面研磨し、光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡を用いて観察した。また、引張せん断試験を用いて接合材の強度を調べた。

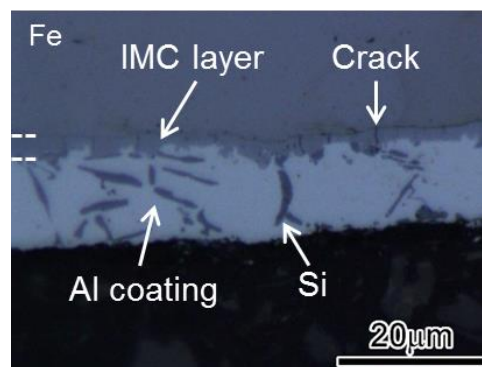


Fig.1 Cross-sectional image of Al-coated steel plate surface.

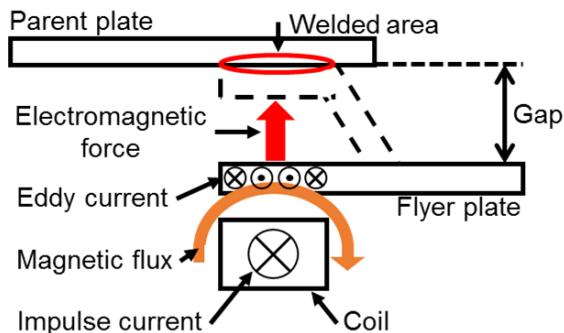


Fig.2 Schematic diagram of magnetic pulse welding.

3. 結果及び考察

Table 1 に、充電エネルギーを変化させて接合を試みた際の接合結果を示す。充電エネルギーが 5.0 kJ から 8.0 kJ の範囲で接合が達成された。Fig.3 に、(a)5.0 kJ 及び(b)8.0 kJ の充電エネルギーで接合した接合材の接合部光学顕微鏡像を示す。接合界面は既往の研究と同様に波状を呈していた[2]。接合が達成された充電エネルギーの中で最も充電エネルギーが低い 5.0 kJ で接合した場合は、Fig.1 で示した接合前のめっき鋼板と比較して IMC 層内の縦割れに変化はなく、IMC 層に高速衝突の影響は認められなかった。また、めっき層の厚さは接合前と比較して薄くなっている部分が認められた。これは、高速傾斜衝突によって発生するメタルジェットとしてめっき表面が接合部に留まらずに接合部の外側へ排出されたためと考えられる。一方、接合が達成された充電エネルギーの中で最も高い充電エネルギーである 8.0 kJ で得られた接合材では、IMC 層内の縦割れの量が接合前と比較して多くなっていた。また、IMC 層/鋼界面には不連続な横割れが認められた。これは、充電エネルギーの増加に伴って衝突圧力が増加し、その衝突圧力によって IMC 層の破壊及び IMC 層/鋼界面の剥離が生じたためであると考えられる。8.0 kJ の充電エネルギーで接合したものでも 5.0 kJ のときと同様にめっき層がメタルジェットとして排出されて薄くなっていたが、一部で A1050 が IMC 層まで到達するほどめっき層が薄くなっている箇所も認められた。また、充電エネルギーの高低に関わらず、接合後の波状界面ではめっき層内に含まれていた Si 晶出物の微細化が認められた。これは、波状界面形成に伴ってめっき層が変形したためであると考えられる。

Fig.4 に、接合材の引張せん断試験結果を示す。青色の棒が破断荷重、赤色の横線が A1050 母材の破断荷重を示している。接合材の引張せん断試験では、全ての試験片で接合部から明らかに離れた母材部で破断が生

じ、接合部での剥離は認められなかった。これは、強固な接合が達成されたことを意味しており、接合部の IMC 層内または IMC 層/鋼界面に観察された微細な割れは接合強度に影響しないことを示唆していると考えられる。

Table 1 Results of welding.

Charging energy, E / kJ	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
Welding result	×	×	×	○	○	○	○

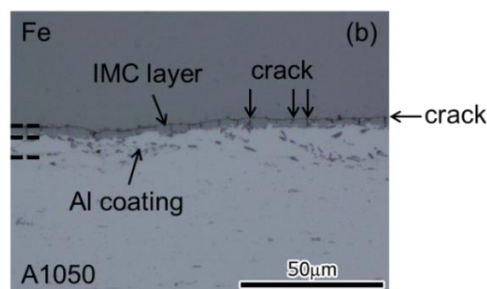
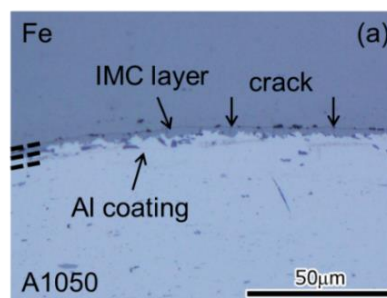


Fig.3 Optical micrographs of joints formed at charging energy of (a)5.0 kJ and (b)8.0kJ.

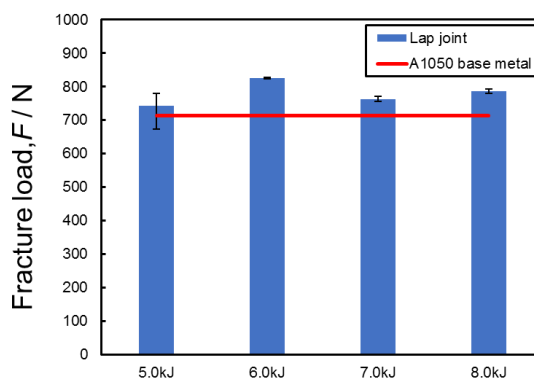


Fig.4 Results of tensile-shear test of joints.

4. 参考文献

[1] 崎山ら, 新日鉄技報, Vol. 393, pp. 91-98, 2012.
 [2] 例えば, 相沢, 軽金属, Vol. 54, No. 4, pp. 153-158, 2004.