

K-9

純アルミニウム板を Flyer plate として用いた電磁圧接における変形・衝突挙動の有限要素解析 Finite element analysis of deformation and collision behavior during magnetic pulse welding using pure aluminum flyer plate

○東海林翼¹, 渡邊満洋²*Tsubasa Shoji¹, Mitsuhiro Watanabe²

Abstract: To investigate deformation and collision behavior of plates, finite element analysis of magnetic pulse welding using pure aluminum flyer plate was performed. Flyer plate was deformed like a cantilever by electromagnetic force. The initial collision velocity increased with increasing the gap of plates and the charging energy. The initial collision angle increased with increasing the gap, but did not depend on the charging energy. Both the collision velocity and the collision angle of the collision point did not change with the different parent plate.

1. 緒言

電磁圧接は一方の金属をもう一方の金属に高速傾斜衝突させて接合する手法であり、衝撃圧接法の1つである^[1]。接合の駆動力には電磁力を用い、その電磁力はコイルに放電パルス大電流を流入させることでコイルに沿って発生する高密度磁束とコイル側に設置した金属（以降、Flyer plate と記述）の表面に生じるうず電流によって発生させる。この電磁力により、Flyer plate はもう一方の金属（以降、Parent plate と記述）に向かって高速度で変形し、両金属が高速度で傾斜衝突することによって接合が達成される。接合に要する時間はマイクロ秒オーダーと非常に短時間であり、接合直後に接合材に素手で触れても温度上昇を感じる事がなく、溶融溶接法では接合が困難な様々な異種金属の組み合わせにおいても強固な接合が可能であることが知られている^[2]。また、電磁圧接によって形成される接合界面は多くの場合、特徴的な波状を呈する^[3]。このような波状接合界面は爆轟や水圧を駆動力として用いた衝撃圧接法の爆発圧接や water jet welding によっても形成されており、接合界面付近における現象が類似していると考えられる。また爆発圧接では、接合が可能なのは衝突速度と衝突角度で整理できることが報告されている^[4]、電磁圧接では電磁力による Flyer plate の変形形状などが不明なため衝突挙動の詳細は明らかになっていない。そこで本研究では、Flyer plate にアルミニウム板を用い、電磁圧接における同種・異種金属の接合実験を行うと共に、有限要素法による変形・衝突の数値解析を行い、それぞれの組み合わせにおける金属板の衝突挙動を調べた。

2. 実験方法

供試材には、厚さが 0.5 mm の A1050 工業用純アルミニウム板（以降、Al と記述）と AZ31B マグネシウム合金板（以降、Mg と記述）を用いた。接合には電磁圧接装置（Bmax 社製、MP12.5/25、コンデンサ容量：40 μ F、コイル幅：3.0 mm）を用いた。Flyer plate には Al、Parent plate には Al または Mg を用いた。Flyer plate はコイル上面に 3.0 mm の Overlap で重ねて固定し、Parent plate は Flyer plate 上に間隙を設けて重ねて固定した。Flyer plate と Parent plate の間隙は 1.0 mm から 2.5 mm の間で 0.5 mm おきに、コンデンサに充電する電気エネルギー（充電エネルギー）は 1.0 kJ から 6.0 kJ の間で 1.0 kJ おきに变化させて接合を行った。得られた接合材は、接合シーム方向に対して垂直な断面を切り出し、鏡面に研磨したのち光学顕微鏡を用いて観察した。

数値解析には Ansys mechanical APDL による有限要素法を用いた。初めに回路モデルを用いてコイルに流入する放電電流を計算し、その後コイル周りに発生する磁束、それによって Flyer plate 表面に発生するうず電流を解析した。これらから計算された電磁力を力学モデルに入力し、Flyer plate の変形を再現し、Flyer plate と Parent plate の衝突挙動を解析した。

3. 実験結果及び考察

数値解析によって得られた、コイルにパルス大電流が流入してからの Flyer plate の変形挙動及び Flyer plate と Parent plate の衝突挙動を Fig.1 に示す。Flyer plate は電磁力によって片持ち梁のように変形して Flyer plate 端部が Parent plate と衝突し、衝突点が右方向に移動して板。本研究における実験条件範囲では、Flyer plate の変形挙動及び衝突挙動は実験条件に依らず同様だった。

1：日大理工・院（前）・精機 2：日大理工・教員・精機

各充電エネルギーならびに各間隙における Flyer plate と Parent plate の初期衝突速度及び初期衝突角度を Fig.2 に示す. 間隙を大きくすると初期衝突速度は速くなり, 初期衝突角度は大きくなることがわかった. 間隙が大きくなると Flyer plate の変形速度が速くなることによって初期衝突速度は早くなり, Flyer plate の変形距離が長くなったことによって初期衝突角度が大きくなったと考えられる. また, 充電エネルギーを高くすると初期衝突速度は速くなったが, 初期衝突角度はほとんど変化しなかった. 充電エネルギーを大きくすると電磁力が大きくなるため初期衝突速度は速くなったが, 変形距離は変わらないため衝突角度は変化しなかったと考えられる.

同種金属 (Al/Al), 異種金属 (Al/Mg) で電磁圧接した接合材断面の典型例を Fig.3 に示す. どの条件でも Flyer plate である Al 板の衝突により Parent plate が板厚方向に変形しており, その変形量は Parent plate に用いた金属によって異なっていた.

Fig.4 に, Al/Al 接合, Al/Mg 接合における衝突速度及び衝突角度と初期衝突点からの距離の関係を示す. これは充電エネルギー6.0 kJ, 間隙 2.5 mm の条件で得られた結果を比較している. Parent plate の材料に依存せず, 衝突点の移動に伴って衝突速度は遅くなり, 衝突角度は大きくなった. 前述の通り Parent plate は Flyer plate の衝突によって板厚方向への変形があり, その変形量は Parent plate に使用した材料によって異なっていたが, Al/Al 接合及び Al/Mg 接合における衝突速度及び衝突角度に変化は認められなかった. これは, 本研究で Parent plate に用いた Al 及び Mg においては, Flyer plate の高速衝突による板厚方向の変形は衝突点における衝突条件に影響を及ぼさないことを示していると考えられる.

4. 参考文献

[1] 相沢友勝: 金属薄板の電磁シーム溶接法, 軽金属, 54, 153-158, 2004.
 [2] 糸井貴臣ら: 電磁圧接によるアルミニウム合金と異種金属材料の接合～電磁圧接の接合条件～, 軽金属, 71, 288-295, 2021.
 [3] M. Watanabe et al.: Interfacial Morphology of Magnetic Pulse Welded Aluminum/Aluminum and Copper/Copper Lap Joints, Mater. Trans., 50, 286-292, 2009.
 [4] D. Jaramillo et al.: On the transition from a waveless to a wavy interface in explosive welding, Mater. Sci. Eng., 91, 217-222, 1987.

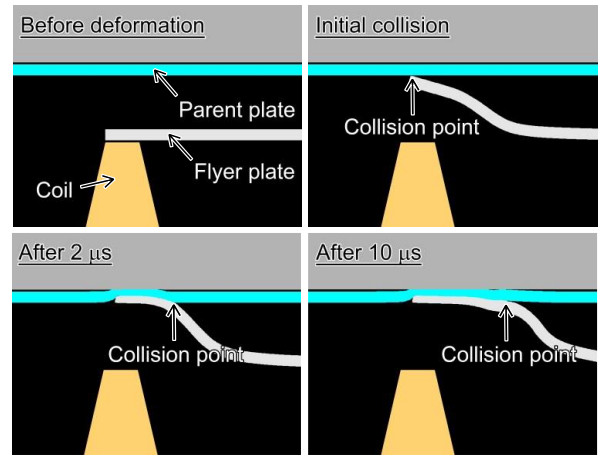


Fig.1 Deformation and collision behavior

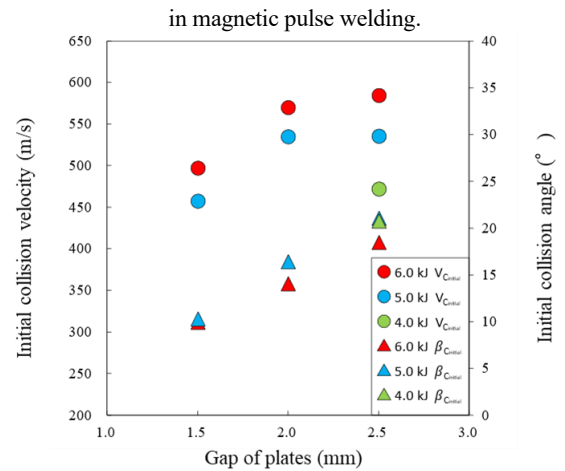


Fig.2 Initial collision velocity ($V_{Cinitial}$) and initial collision angle ($\beta_{Cinitial}$) in each charging energy and gap.

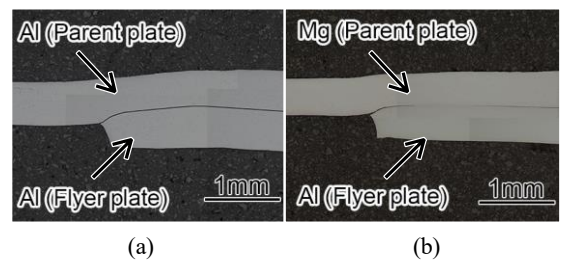


Fig.3 Optical micrographs of the cross-sectional view of the (a) Al/Al and (b) Al/Mg lap joint.

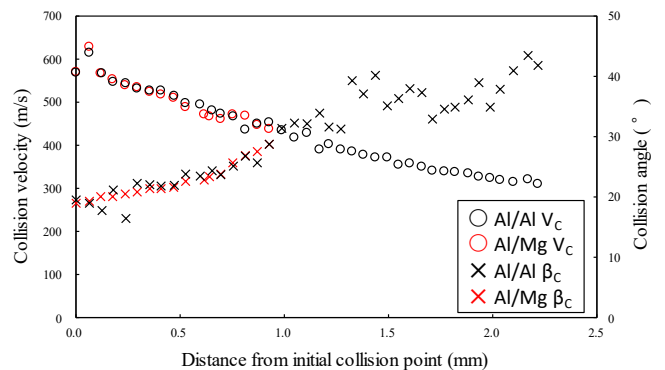


Fig.4 Position dependence of collision velocity (V_C) and collision angle (β_C).