

K-1

実験及び SPH 法を用いた同種アルミニウム電磁圧接接合界面の解析 Experimental and SPH analysis of magnetic pulse welded aluminum joint interface

○八巻洸希¹, 渡邊満洋²*Koki Yamaki¹, Mitsuhiro Watanabe²

Abstract: Magnetic pulse welding of aluminum was analyzed by using experiment and numerical simulation for investigating effect of collision condition on interfacial morphology. Observation and analysis by experiment and numerical simulation revealed that the welding interface exhibits a characteristic wavy morphology. Amplitude and wavelength of the wavy interface increased with increasing collision velocity and collision angle. It was found that the temperature near the wavy interface is higher than the melting point of aluminum under atmospheric pressure. Also, the amount of metal jet emitted increased as the collision angle increased.

1. 緒言

電磁圧接とは、電磁力を用いて金属板同士を高速傾斜衝突させて接合する固相接合の一種である[1]。高速傾斜衝突点では金属板表面からメタルジェットが放出されることが観察されており[2]、そのメタルジェット放出によって接合は両金属板の清浄表面同士により実現されると考えられている。また、接合界面は特徴的な波状を呈することが知られているが[3]、その形成メカニズムは不明な点が多い。

電磁圧接の接合に要する時間は数マイクロ秒と極めて短いため、接合過程における接合界面の形成挙動を直接観察するためには高撮影分解能及び高輝度光源が必要であり、容易ではない。そこで本研究では、数値解析を用いて、金属板の高速傾斜衝突時に生じる波状界面を再現した。さらに、実験による接合界面の観察を並行し、波状界面形成に及ぼす衝突条件の影響について検討した。

2. 実験方法

実験における金属板の設置方法を Fig.1 に示す。接合には Bmax 社製の電磁圧接装 MP12.5/25、コンデンサ容量: 40 μ F) を用いた。供試材には Flyer Plate, Parent Plate 共に、幅が 70 mm、長さが 200 mm、厚さが 0.5 mm の A1050 工業用純アルミニウム板を用いた。接合条件を Table 1 に示す。コイルとの重ね合わせ幅である Overlap を 3.0 mm に固定し、板間隙を 1.0 mm から 2.5 mm まで変化させ、電磁力発生のために放電回路内のコンデンサに充電した電気エネルギー(充電エネルギー)を 2.0 kJ から 8.0 kJ に変化させて接合を行った。

数値解析には、ANSYS AUTODYN を用いた。解析モデルを Fig.2 に示す。解析モデルには、粒子法 (Smooth

Particle Hydrodynamics, SPH 法) と Lagrange 法の複合モデルを用いた。衝突が行われる Flyer Plate, Parent Plate の両表面部分の厚さ 50 μ m の領域を粒子法でモデル化し、その他の部分は Lagrange 法を用いた。Flyer Plate, Parent Plate の材質は共に Al に設定し、Parent Plate に対して Flyer Plate を角度 α だけ傾けて設置した。Parent Plate の上部に固定拘束の境界条件を設け、速度 V を Flyer Plate 表面に対して垂直方向かつ均一に Flyer Plate に与えた。また、平滑化長さは 0.0056 mm とし、衝突角度 α を 10° から 12° に変化させ、衝突速度 V を 350 m/s から 550 m/s に変化させて衝突を行った (Table 2)。

Table 1 Experimental conditions.

| Condition | Charging energy(kJ) | Gap(mm) |
|-----------|---------------------|---------|
| 1 | 4.0 | 1.0 |
| 2 | 6.0 | 1.0 |
| 3 | 6.0 | 2.5 |

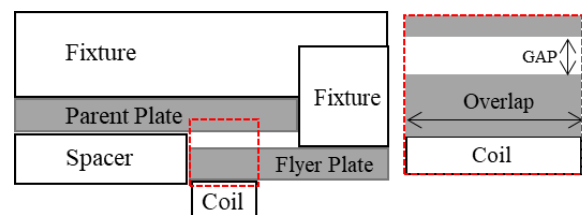


Fig.1 Schematic diagram of magnetic pulse welding experiment.

Table 2 Numerical analysis conditions.

| Condition | V(m/s) | α (°) |
|-----------|--------|--------------|
| A | 350 | 10 |
| B | 550 | 10 |
| C | 550 | 12 |

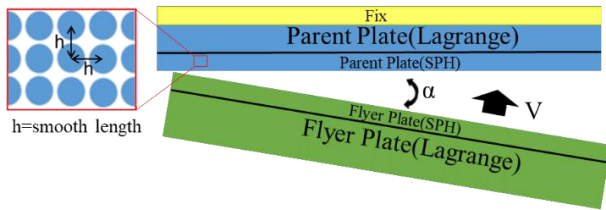


Fig.2 Numerical analysis model.

3. 結果及び考察

実験で得られた接合界面を Fig.3 に示す. 全ての接合条件で波状界面が形成され, 充電エネルギーまたは間隙の増加に伴い, 波状界面の振幅及び波長が増長した. 特に, 間隙増加によって, 振幅よりも波長が増長した.

数値解析によって再現した波状界面を Fig.4 に示す. 衝突速度または衝突角度の増加に伴い, 波状界面の振幅及び波長が増長した. 特に, 衝突角度増加によって, 振幅よりも波長が増長した. 実験結果と解析結果から, 充電エネルギーは衝突速度に, 間隙は衝突角度に主に影響を及ぼすと考えられる.

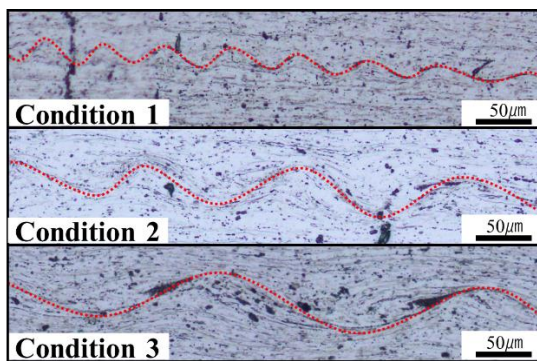


Fig.3 Optical micrographs of welding interface.

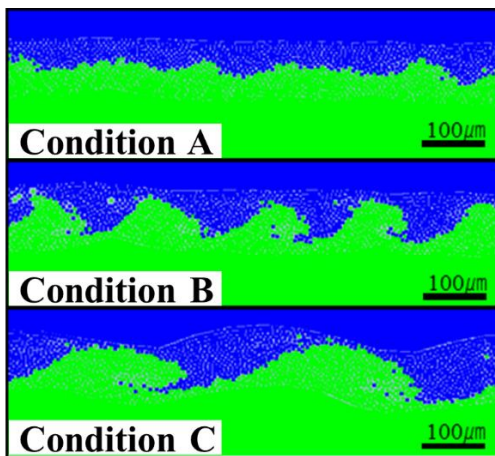


Fig.4 Welding interface reproduced by numerical simulation.

Fig.5 に数値解析によって再現したメタルジェットの放出量を示す. 衝突速度の増加によって放出量はほとんど変化がなかったが, 衝突角度の増加によって放出量が増加した. これは, 衝突角度の増加によって衝突点における衝突力の水平成分が増加したためと考えられる.

数値解析によって再現した波状界面の温度分布を Fig.6 に示す. 波状界面に沿って, 大気圧下におけるアルミニウムの融点を超える領域(赤表示領域)が生成された. その領域は, 衝突速度が増加すると板厚方向に増加したが, 衝突角度が増加すると減少した. この融点を超える領域の増減は, メタルジェットの放出量と相関があると考えられる.

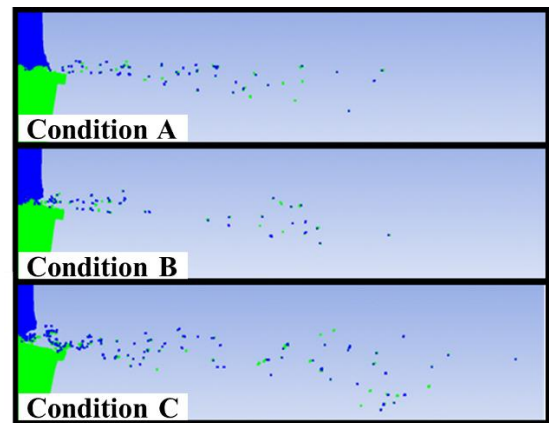


Fig.5 Metal jet emission from the collision point.

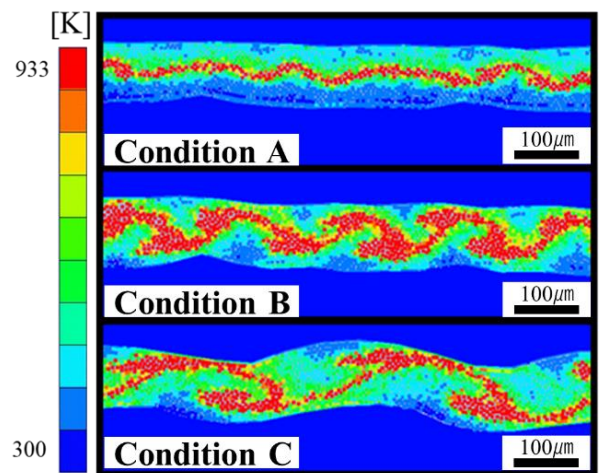


Fig.6 Temperature distribution of welding interface.

4. 参考文献

- [1] 相沢友勝, 塑性と加工, 41(2000), 265-267.
- [2] M. Watanabe *et al.*, Mater. Trans., 50(2009), 2035-2042.
- [3] M. Watanabe *et al.*, Mater. Trans., 50(2009), 286-292.