

# 薄板の衝撃電磁シーム圧接 (異種間接合で生じる腐食の影響)

旭川工業高等専門学校 機械システム工学科  
助教 宮崎 忠  
(平成 17 年度奨励研究助成 AF-2005031)

キーワード：電磁シーム圧接，薄板接合，異種金属接合

## 1 はじめに

アルミニウムは、鋼などに比べて導電率，熱伝導率が高く，加熱効率が悪いので，溶接しにくい材料であるため，アルミニウム薄板の溶接は，困難をとまなう。これまでに，既報<sup>(1)-(4)</sup>においてアルミニウム薄板に適した電磁シーム溶接法を提案し，実験結果を報告してきた。電磁シーム溶接法は，アルミニウム，銅など良導電性の金属薄板へ高密度磁束を急激に加え，電磁力を利用して 2 枚の薄板を高速変形させ圧接する方法である。本加工法は，異種金属同士 (アルミニウムと銅，アルミニウムと鉄など) の接合が可能である。本接合法は異種金属も接合できるという特色を持つが，異種金属を接合した場合，異種金属が接触することに起因する腐食や寒冷地や沿岸などで利用する場合の腐食などの問題がある。

そこで，本接合法で接合した供試材について塩化カルシウム環境下に 1ヶ月程度浸し，接合強度や接合組織の比較を行った。

## 2 圧接原理

圧接原理を Fig. 1 に示す。間隙を設けて重ねた金属薄板/アルミニウム薄板，コイルの一部，固定用金具および磁束の断面が示されている。コイル平板にパルス大電流を急激に流すと，高密度の磁束が下側から両板に交差する。重ねた部分，特にアルミニウム薄板には渦電流が流れ，磁束の侵入を防ぐ。アルミニウム薄板には電磁力が上向きに働く。低密度の磁束が金属薄板内に浸透するようにすると，金属薄板のアルミニウム薄板側表面部分にも渦電流が流れる。この結果，渦電流で加熱されたアルミニウム薄板は同様に加熱された金属薄板に衝突する。衝突後も電磁力が働き，両薄板はコイルに沿ってシーム圧接される。金属板に発生する渦電流 (電流密度  $i$ )，単位体積あたり働く電磁力  $f$  および単位体積あたり発生するジュール熱  $Q$  は次式で与えられる。ただし， $\kappa$  は，アルミニウム薄板の導電率， $B$  は磁束密度である。

$$\text{rot } i = -\kappa \frac{\partial B}{\partial t} \quad (1)$$

$$f = i \times B \quad (2)$$

$$Q = -\frac{i^2}{\kappa} \quad (3)$$

磁束が金属板内へ浸透するおよその距離は，表皮深さ  $d$  (m) で表される。この値は，磁束が周期的に変化する角周波数を  $\omega$  (rad/s)，金属板の透磁率を  $\mu$  (H/m) とすると，式 (4) で表される。表皮深さ  $d$  が金属板厚に比べて小さい場合，渦電流は主として板の表面部分に流れ，電磁力は表面部分に集中して働く。

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \kappa \mu}} \quad (4)$$

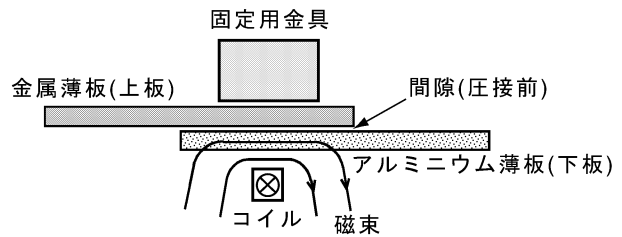
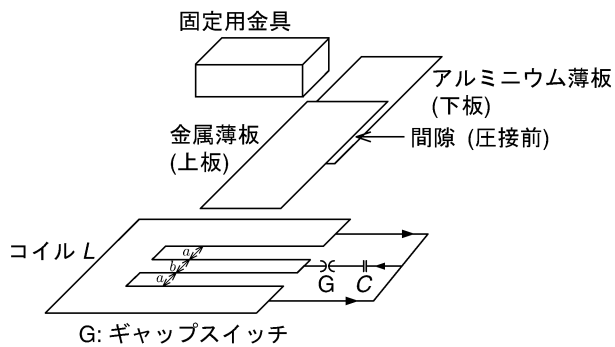


Fig. 1 原理説明図 (片側方式)

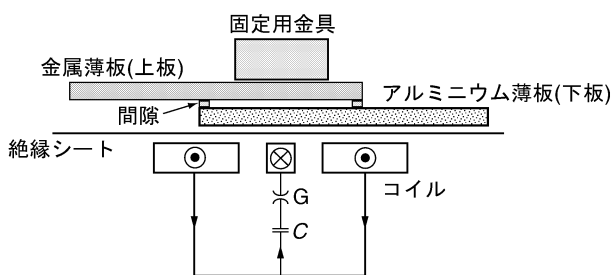
## 3 実験装置

装置 (圧接部分) の概略を Fig. 2 に示す。コンデンサ電源  $C$ -放電ギャップスイッチ  $G$ -コイル  $L$  は放電回路 (電気回路) である。電源  $C$  の容量は  $100\mu\text{F}$  である。コイルの材質はクロム銅製で，一枚の板で構成された E 型のワンターンコイルである。2つの隙間  $a$  をはさんで，中央部と周辺部に分けられている。2つの隙間  $a$  と中央の板幅 (コイル幅)  $b$  は 5 mm である。薄板の圧接で用いるアルミニウム板は A1050-H24，銅板は C1100-P，鋼板は SPCC，ステンレス板は SUS304 である。供試材の寸法は全て板厚 1 mm，幅 100 mm，長さ 100 mm である。2枚の片面の片端を 50 mm 重ね，絶縁物を挿入し 1.0 mm の間隙を設けた。Fig. 2 に示すように，これらをコイルの中央部外側に置き，固定用金具と一緒に全体を締付け金具で固定した。実験装置全体の構成図を Fig. 3 に示す。コンデンサ  $C$  を充電した後に，高圧トリガ信号によってギャップスイッチ  $G$  を閉じて放電回路を起動し，コイル  $L$  に減衰振動するパルス大電流 (放電電流) を流すと，電流の集中するコイル中央部  $b$  に沿って高密度の磁束が急激に発生す

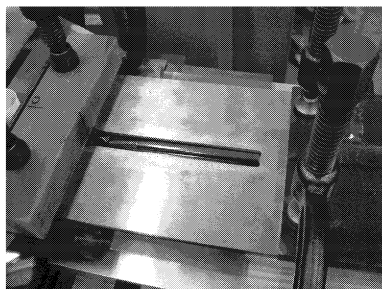
る。この磁束は Fig. 1 のように間隙 1 mm を設けて重ねられたアルミニウム/金属薄板に交差する。コイルに流れる放電電流波形をギャップスイッチ G の近傍に取り付けたサーチコイルで検出し、積分器などを通してオシロスコープで測定した。観測波形から電流最大値などを算出した。



(a) 圧接前の斜視図および放電回路



(b) 圧接前の断面図および放電回路



(c) ワンターンコイル外観

Fig. 2 放電回路およびコイル概略

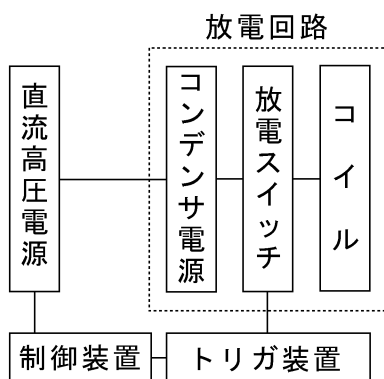


Fig. 3 装置全体の構成図

## 4 実験結果

### 4.1 放電電流

アルミニウム薄板同士を接合した場合の放電電流波形を Fig. 4, アルミニウム薄板と各種金属薄板を接合した場合の放電電流波形を Fig. 5 に示す。充電エネルギーは、アルミニウム薄板同士の場合 1.5 kJ, アルミニウム薄板と各種金属薄板の場合 2 kJ である。1 回の接合でコイルには Fig. 4, Fig. 5 のように減衰振動する電流が、数  $10 \mu\text{s}$  だけ瞬間的に流れた。磁束および渦電流は、この時間だけ発生する。電流の振動周期はどちらの場合も約  $16.5 \mu\text{s}$  である。電流の最大値(波高値)は、充電エネルギーによって変化し、充電エネルギー 1.5 kJ の場合 174 kA, 2 kJ の場合 201 kA であった。

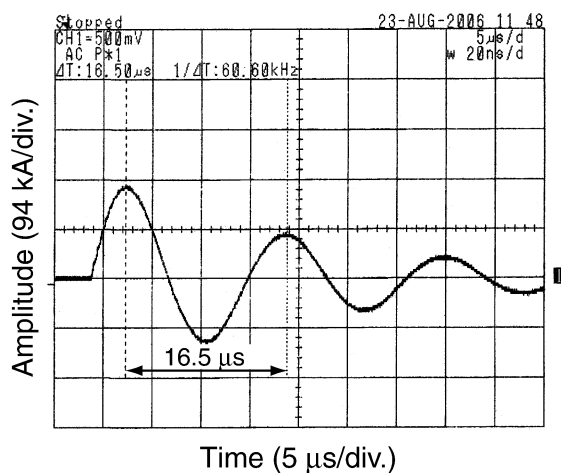


Fig. 4 放電波形 (1.5 kJ, 94 kV/div.,  $5 \mu\text{s}/\text{div.}$ )

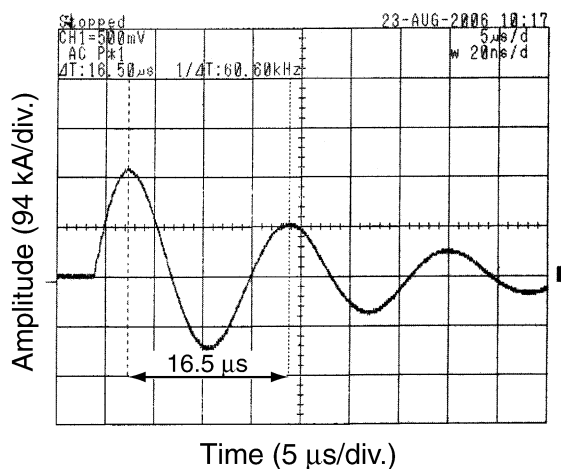


Fig. 5 放電波形 (2.0 kJ, 94 kV/div.,  $5 \mu\text{s}/\text{div.}$ )

## 4.2 分割片の接合強度

圧接された供試材の平面図を Fig. 6 に示す。供試材の破線は引張せん断試験用の試験片採取方法を示している。Fig. 6 に示すように、供試材を幅 10 mm で 10 等分し引張せん断試験を行い最大引張せん断荷重を調べた。Fig. 7 に引張せん断試験後の供試材、Fig. 8 に引張せん断試験の結果を示す。Fig. 8 で測定点●印は接合面で剥離し、○印は母材で破断した場合を示している。縦軸は最大引張せん断荷重、横軸は塩化カルシウムに浸した期間である。なお、今回用いた塩化カルシウムの濃度は 10 % である。Fig. 7 よりどの組み合わせでも、供試材は接合面剥離することなく母材破断した。アルミニウム/SPCC 以外の組み合わせでは、どちらの薄板の腐食も認められなかった。アルミニウム/SPCC では、時間が経過するにつれて SPCC 薄板の腐食の進行が認められた。Fig. 8 の引張せん断試験の結果を見ると、どの場合も最大引張せん断荷重は、1.3 kN 前後である。この荷重は母材の最大引張荷重とほぼ同じである。このことから、今回の腐食の範囲では接合強度に及ぼす影響が小さいことを示している。

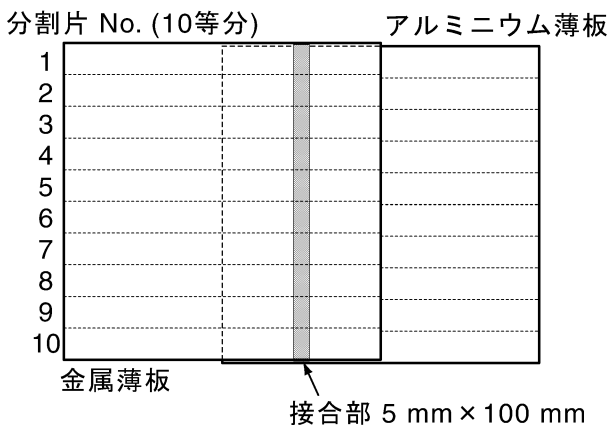


Fig. 6 圧接された供試材平面図

## 4.3 接合界面

光学顕微鏡で観察したコイル方向に垂直な面の接合界面の一例を Fig. 9, Fig. 10 に示す。異種金属板の接合界面は、同種 (アルミニウム/アルミニウム) に比べ界面がはっきりしている。接合界面には、熔融凝固した様子は見られず、界面に波状模様が生じている。この界面の波状模様は、4 週間経過した後も見られた。

## 5 結言

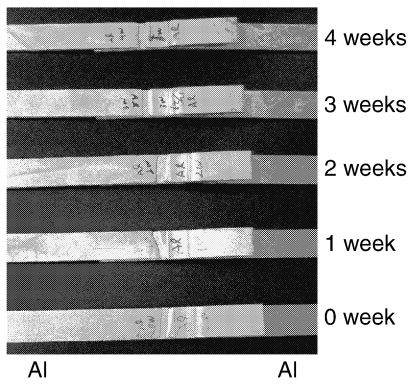
1. 今回の腐食の範囲では、接合強度に大きな影響は示さなかった。
2. 今回の腐食の範囲では、接合界面の変化は見られなかった。
3. 腐食様式の変更や腐食期間を延ばし、接合強度や接合界面などをさらに詳しく調べる予定である。

## 謝辞

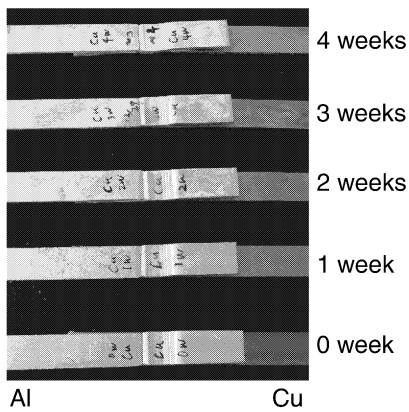
本研究は財団法人天田金属加工機械技術振興財団の平成 17 年度奨励研究助成によって行われたものであります。財団法人天田金属加工機械技術振興財団に心より感謝の意を表します。また、本実験を進めるにあたり多大なるご協力を頂きました東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科岡川啓悟教授とその学生に深く感謝いたします。さらに、旭川工業高等専門学校の学生諸君には供試材作成、材料試験にご協力頂きましたことを記し深く感謝いたします。

## 参考文献

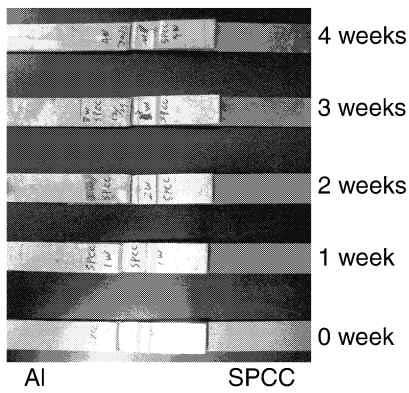
- (1) Aizawa, T et al.: Proc. of 4th Int. Symp. on Impact Engineering, (2001) pp. 887-892.
- (2) 相沢: 軽金属, 54-4 (2004), pp. 153-158.
- (3) 相沢ほか: 平 17 塑加春講論, (2005), pp. 101-102.
- (4) 宮崎ほか: 軽金属, 57-2 (2007), pp. 47-51.
- (5) 岡川ほか: 塑性と加工, 47-546 (2006), pp. 632-636.



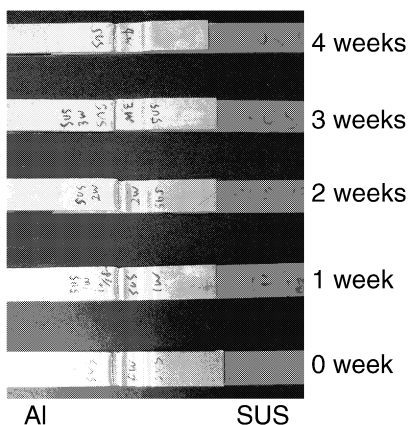
(a) Al/Al



(b) Al/Cu



(c) Al/SPCC



(d) Al/SUS

Fig. 7 引張せん断試験後の供試材

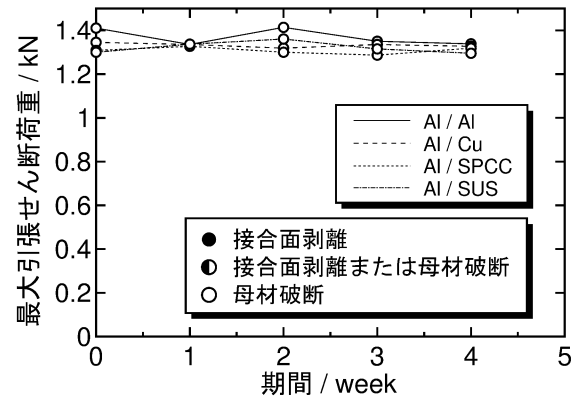
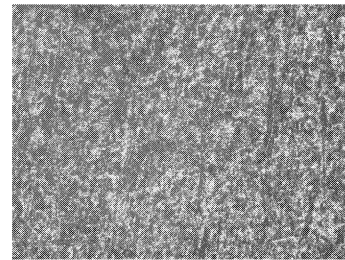
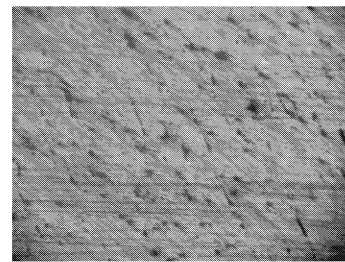


Fig. 8 引張せん断試験の結果



(a) 0 週間

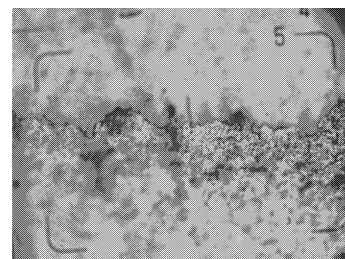


(b) 4 週間経過

Fig. 9 接合部の顕微鏡写真の一例 (Al/Al)



(a) 0 週間



(b) 4 週間経過

Fig. 10 接合部の顕微鏡写真の一例 (Al/Cu)