

令和 2 年 7 月 8 日現在

機関番号：53601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06757

研究課題名(和文) 並列コイルを用いた衝撃電磁シーム圧接

研究課題名(英文) Collision Behavior in Magnetic Pressure Parallel Seam Welding

研究代表者

宮崎 忠 (MIYAZAKI, Makoto)

長野工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：70383487

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：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、電磁力を利用して他の金属材へ衝突させ圧接する方法であるが、最適な接合条件は経験的にしか得られていないのが現状である。そこで衝撃電磁シーム溶接技術の確立を目指し、コイルの数すなわち衝突点の数が「接合界面状態」や「衝突パラメーター」に及ぼす影響について検討した。その結果、コイルが並列になり衝突点の数が増加しても、衝突速度の最大値は放電エネルギーに比例すること、間隙が小さいほど衝突点の移動速度が速くなることが明らかになった。そして、初期衝突点から外側については、単一のコイルの変形挙動と同様であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本接合の特色は、「異種金属同士の接合が容易なこと」、「接合にあたって大きな工具などを必要としない点」、「電磁成形法の応用なので、接合時間が数10 μ s程度と短い点」、「これまでの爆発圧接で用いられていた爆薬などを必要としない点」にある。本接合法の利用が進むことで、自動車のボディの外板や燃料タンクの接合、精密機械や電気電子の分野における携帯電子機器、小型ロボットへの活用などが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Magnetic pressure seam welding attracts attention as a new welding method. Magnetic pressure seam welding is a collision welding process, similar to explosive welding, utilizing electromagnetic force as the acceleration mechanism. This study deals with dynamic deformation behavior on magnetic pressure seam welding and parallel seam welding of aluminum sheets. Numerical analysis of the dynamic deformation process of the aluminum sheets is made by a finite element method.

As a result, it was found that the maximum value of the collision velocity was proportional to the discharge energy. It was also found that the smaller the gap, the faster the collision point moving speed. And the analysis from the initial collision point to the outside was similar to that of the single coil.

研究分野：衝撃塑性加工学

キーワード：材料加工 電磁圧接 電磁成形 衝撃塑性加工 高エネルギー速度加工

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

自動車車体の軽量化技術の1つとして材料置換があり、ボディの外板や燃料タンクなどへアルミニウム合金の採用が始まっている。また、精密機械や電気電子の分野では携帯電子機器、小型ロボットなどに使われる電気電子部品や精密機械部品の性能向上が続いている。そこでは、軽量化への期待、電磁波遮蔽性、熱伝導性などからアルミニウム合金を中心に各種金属板材、各種金属箔や精密部品が使われている。これらのことから、アルミニウム薄板やアルミニウム箔を接合する技術が必要とされているが、従来の抵抗溶接法によるシーム溶接では導電率、熱伝導率が高いアルミニウム薄板をシーム溶接することは困難である。

衝撃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、電磁力を利用して他の金属材へ衝突させ圧接する方法である⁽¹⁾。金属材同士が衝突する際には、衝突点から前方に金属の噴流（金属ジェット）が発生する。金属ジェットにより金属表面の酸化皮膜やガスの吸着層が除去されるため、現れた清浄表面が高圧によって密着し、金属材同士は溶融することなく完全に金属組織的に接合される。

本接合法の最大の特徴を挙げると以下の通りである。

- (1) アルミニウム薄板や銅薄板を特性の大きく異なる鋼板など異種金属材を容易に溶接できる
- (2) 厚さ3mmの薄板から厚さ6.5μmの金属箔のシーム溶接が可能である
- (3) 片側(片面)からの溶接が可能なので、薄板を角形鋼管の平面や厚板にT形継手状にシーム溶接できる
- (4) シーム溶接部全体に気密性がある
- (5) 接合面を特に処理しなくても溶接できる
- (6) 同種・異種金属の組み合わせに関わらず、接合部分の引張せん断強さは母材と同等である
- (7) 機械的な接触がない非接触加工なので、材料をビニールなどで密封したまま加工できる

以上のように衝撃電磁シーム溶接法は様々な利点を持つが、最適な接合条件は経験的にしか得られていないのが現状である。これまでに申請者らは、実験において接合部には2カ所の溶接部とその間の非溶接部が存在すること、シーム溶接された部分は、面ではなく2本の線状に溶接されることを明らかにした⁽²⁾。さらに変形シミュレーションによって、衝突パラメーター(衝突角度と衝突点移動速度(溶接速度に相当)など)が良好な接合に大きく関わっていることを示した⁽³⁾。本接合法を利用して接合範囲を拡大しようとするすると2カ所の溶接部の間に非溶接部が存在するという問題点が生じる。これを解決する手段として、設置するコイルの数を増やし、衝突点をコイル両側からコイルとコイルの間の方向に移動させる方法が考えられる。しかし、コイルを増やして接合した例は極めて少なく、接合界面状態と衝突パラメーター(衝突速度、衝突角度、衝突点移動速度(溶接速度に相当)など)の相関は明らかされていない。これらを明らかにすることは、本接合法の拡大と最適な接合条件を得る上で大変重要であるといえる。

2. 研究の目的

- (1) 充電エネルギーが、衝突パラメーターに与える影響について明らかにする
- (2) 衝突パラメーターが接合強度や接合界面などに及ぼす影響について明らかにする
- (3) (1),(2)から得られた結果をもとに、本接合法を面接合に拡張し最適な接合条件(充電エネルギー、間隙など)を検証する

3. 研究の方法

(1) 圧接の原理

Fig.1 に圧接原理を示す。間隙を設けて重ねた2枚のアルミニウム薄板、コイルを並列に配置したコイル、固定具の断面が示されている。(a)は圧接前、(b)は圧接後を示している。コイル平板にパルス大電流を急激に流すと、Fig.1 (a)のように高密度の磁束が下側のアルミニウム薄板(以後Flyer plateと呼ぶ)の下で急激に発生する。コイル平板断面の電流密度は一樣にならず、内側表面の電流密度が高くなる。加えて、パルス大電流はコイルの狭められた部分で発生するので、内側表面の電流密度はさらに高くなる。この結果、高密度の磁束が発生して、中央部内側の薄板部分に鎖交する。この磁束の浸透を妨げるように大きな渦電流が流れ、電磁力が発生して、Fig.1 (b)のように下側の薄板は高速度で変形し上側の薄板と衝突し、薄板同士が接合される。

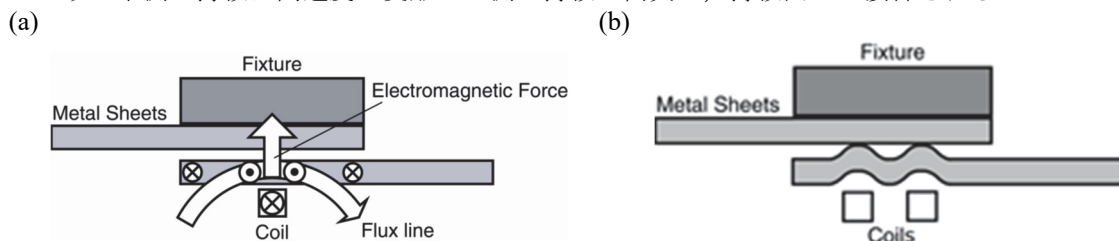


Fig. 1 並列電磁シーム圧接の接合原理 (a)圧接前、(b)圧接後

(2) 解析方法

本研究は、高速変形を伴うため接合実験のみで衝突挙動を検討することは大変困難である。そこで、最適接合条件を検討するために、アルミニウム薄板同士を変形、衝突させたときの変形シミュレーションを行い、衝突挙動の検討を行った。解析には汎用非線形構造解析プログラム Marc2018、プリポストプロセッサ Mentat2018 を用いた。今回の板材の材料はアルミニウム (A1050-H24)である。静的引張試験において得られた供試材の材料特性値を **Table 1**, **Fig. 2** に解析モデルを示す。供試材の形状は、長さ 100 mm, 板厚 1.0 mm である。薄板同士の間隙は 0.5 mm, 1.0 mm と 1.5 mm である。充電エネルギーは 0.5 kJ, 1.0 kJ, 1.2 kJ, 1.5 kJ である。

Table 1 材料特性値 A1050-H24

Young's modulus	E [GPa]	69
Poisson's ratio	ν	0.33
Density	ρ [kg/m ³]	2.71×10^3
Work-hardening modulus	F [MPa]	118
Work-hardening exponent	n	0.0623

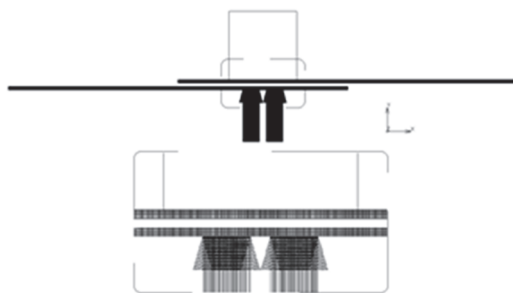


Fig. 2 解析モデルの一例

4. 研究成果

以下に、項目ごとに得られた知見を示す。

(1) 衝突点移動速度 v_c , 衝突角度 β , Flyer plate の衝突速度 v_p それぞれの位置関係を Fig. 4 に示す。ここで示す v_p とは、Flyer plate が Parent plate に衝突する時の x 成分と y 成分の絶対値によって計算される。式を(1), (2)に示す。

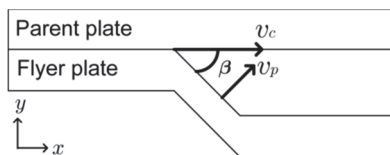


Fig. 4 衝突点移動速度 v_c , 衝突角度 β , Flyer plate の衝突速度 v_p の位置関係

$$v_p = 2v_c \sin \frac{\beta}{2} \tag{1}$$

$$v_p = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \tag{2}$$

Fig. 5, **6** に衝突点移動速度と初期衝突点との関係を示す。どの条件下でも、初期衝突点に近い範囲ではとても高速でそこから指数関数的に減速することがわかる。間隙長が増加するほど、初期衝突点近傍での衝突点移動速度も高速になる。初期衝突点から十分離れた領域では、衝突点移動速度は初期衝突点に近い領域で見られた大きな速度差は見られない。

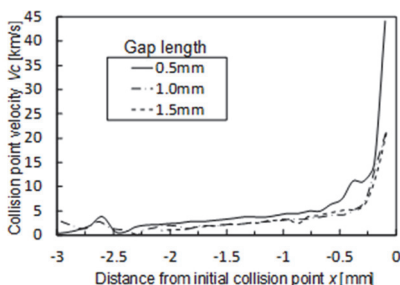


Fig. 5 間隙と衝突点移動速度の関係(左側)

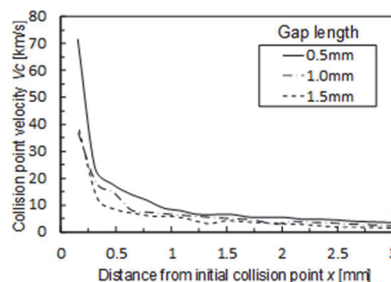


Fig. 6 間隙と衝突点移動速度の関係(右側)

(2) 衝突角度について

Fig. 7, 8 に衝突角度と初期衝突点との関係を示す。初期衝突点から近い範囲では衝突角度は小さいが、初期衝突点から離れた場所では角度は大きくなる。どの間隙でも衝突角度は初期衝突点から離れるにつれて大きくなる。間隙長が 1.5mm の場合は初期衝突点の近くではほかの間隙長の時と同じように緩やかに増加していくのに対し、初期衝突点からの距離が 2.25mm を超えたあたりから角度が急増した。

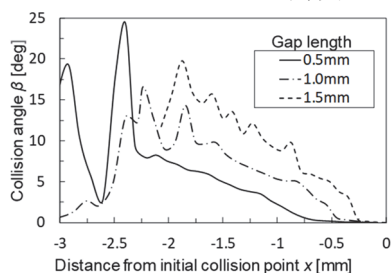


Fig.7 間隙と衝突角度の関係(左側)

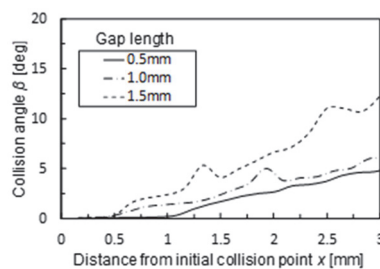


Fig. 8 間隙と衝突角度の関係(右側)

(3) 衝突時摩擦応力について

Fig. 9, 10 に衝突時摩擦応力と初期衝突点との関係を示す。衝突時摩擦応力は初期衝突点から離れると増加する。また、間隙によっては一定距離より離れると衝突時摩擦応力が一度減少し再度上昇する。

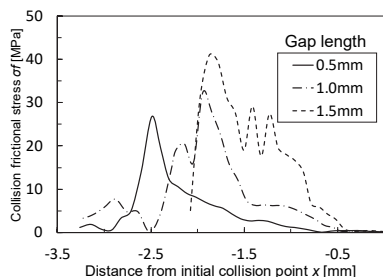


Fig. 9 間隙と衝突時摩擦応力の関係(左側)

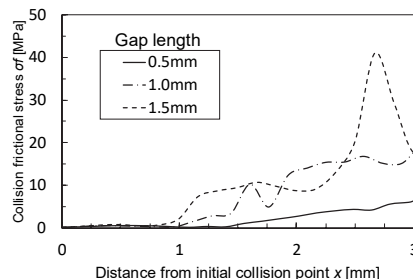


Fig. 10 間隙と衝突時摩擦応力の関係(右側)

(4) 衝突速度について

Fig. 11, 12 に衝突速度と初期衝突点との関係を示す。間隙長によって衝突速度が速くなっていることが確認できる。衝突速度はある一定距離離れたから個所で最大値になり、そこから減速した。これは可動板が電磁力によって加速され続けることにより生じる現象である。そのため、衝突速度は電磁力と可動板の加工硬化等の機械的特性の兼ね合いにより変化する。

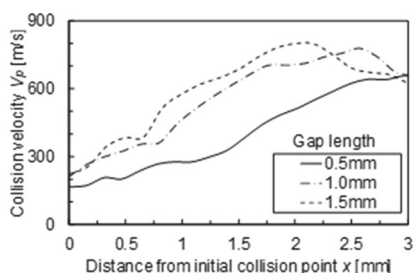


Fig. 11 間隙と衝突速度の関係(左側)

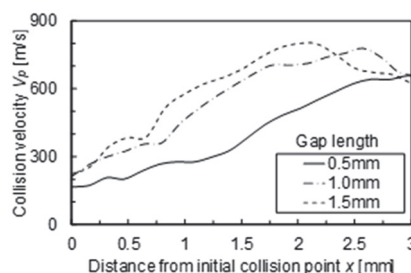


Fig. 12 間隙と衝突速度の関係(右側)

<参考文献>

- (1) T. Aizawa, K. Okagawa, M. Yoshizawa and N. Henmi: Proceedings of 4th International Symposium on Impact Engineering, (2001), pp. 827-832.
- (2) 宮崎, 岡川, 相沢, 熊谷: 軽金属, 57-1 (2007), pp. 47-51.
- (3) 宮崎, 佐々木, 岡田: 軽金属, 61-1 (2011), pp. 20-23.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Akira HATTA, Makoto MIYAZAKI and Yohei KAJIRO	4. 巻 13
2. 論文標題 Collision Behavior in Magnetic Pressure Parallel Seam Welding of Aluminum Sheets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Research Proceedings	6. 最初と最後の頁 47-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.21741/9781644900338-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A Hatta, M Miyazaki and K Kajiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Collision Behavior in various Magnetic Pressure Seam Welding of Aluminum Sheets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The International Journal of Multiphysics	6. 最初と最後の頁 295-306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.21152/1750-9548.13.3.295	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 宮崎忠, 八田祥
2. 発表標題 並列電磁シーム圧接されるアルミニウム薄板の変形挙動
3. 学会等名 第69回塑性加工連合講演会講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Miyazaki, Akira Hatta and Yohei Kajiro
2. 発表標題 Collision Behavior in Magnetic Pressure Parallel Seam Welding of Aluminum Sheets
3. 学会等名 Sixth International Symposium on Explosion, Shock wave and High-strain-rate Phenomena (ESHP2019) Proceedings of Abstrast (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Miyazaki, Yohei Kajiro and Yasuaki Miyamoto
2. 発表標題 Collision Behavior in Magnetic Pressure Seam Welding of Aluminum Sheets
3. 学会等名 5th International Symposium on Explosion, Shock wave and High-strain-rate Phenomena (ESHP2016) Conference Proceeding (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 宮崎忠, 神代洋平, 篠崎達貴
2. 発表標題 並列電磁シーム圧接されるアルミニウム薄板の変形挙動
3. 学会等名 日本機械学会第24回機械材料・材料加工技術講演会(M&P2016)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

平成29年7月12日～7月15日に行われた, MF-Tokyo2019 (第5回 プレス・板金・フォーミング展, (一社)日本鍛圧機械工業会および(株)日刊工業新聞社主催)および令和元年7月31日～8月3日に行われた, MF-Tokyo2019 (第6回 プレス・板金・フォーミング展, (一社)日本鍛圧機械工業会および(株)日刊工業新聞社主催)に出展し本接合法の紹介を行った。

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	百瀬 成空 (Noritaka Momose)	長野工業高等専門学校・電気電子工学科・准教授 (53601)	削除：2017年4月19日
	(00413774)		