

電磁エネルギーを利用した高速度・高精度塑性加工技術の開発 —平成25年度研究の成果概要—

廣井 徹磨(都産技高専) 岡川 啓悟(都産技高専) 松澤 和夫(都産技高専)
石橋元基(都産技高専) 真鍋健一(首都大学東京) 古島 剛(首都大学東京)

1. 研究目的

電磁力を用いた加工の速度は塑性波の伝播速度より速いことから成形後の肉厚が均一になること、および面ひずみが少ないことが期待されている。そこで、本技術の適用分野として、燃料電池などに使用する金属セパレータの成形を検討するものである。供試材にはアルミニウム、ステンレス、チタン、マグネシウムを採用し、軽量化、低コスト化、小型化に取り組む。本研究計画では、以下の課題を解明することを目指すものである。

- ①板状コイルの形状を各種検討し、また2ターン化して成形エネルギー増大を検討する。
- ②エネルギー効率向上を目指した、放電大電流を長周期化する空芯トランスを有する放電回路を開発する。およびマグネシウム合金など難加工材の常温加工可能性を検討する。
- ③精度向上をめざし、各種材質、板厚に応じた肉厚均一化できる金型形状の設計方針確立のためシミュレーション技術を獲得する。

2. 電磁力による塑性変形原理

電磁力による塑性加工例として、自由張出しの原理を図1に示す。供試材のA1050-H24薄板の下方に、平板状ワンターンコイルを、上方にダイを置く。供試材とコイルおよびダイの間には絶縁シート(カプトン：ポリイミドフィルム)を置く。これらのセットを上下から万力などにより固定する。コイルに、コンデンサに蓄えた電荷を放電し、パルス大電流を流すと磁束が生じ、磁束の変化を妨げるように供試材には誘導電流(渦電流)が発生する。フレミングの左手の法則により生じる電磁力によって、衝撃的に供試材が上方に変形する。

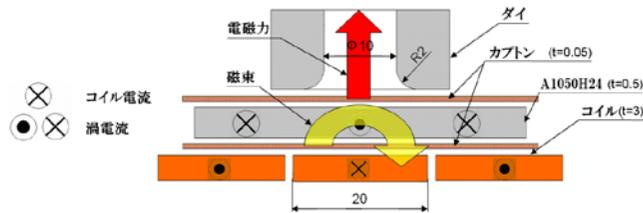


図1 電磁自由張出し成形説明図

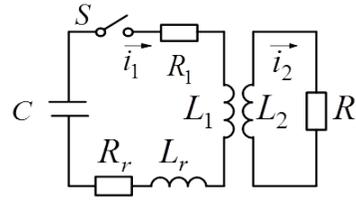


図2: 電磁圧接等価回路

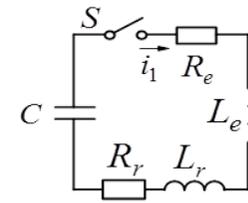


図3: 簡易等価回路

3. 平成25年度の研究内容

3. 1 エネルギー移送効率の算出手法の検討

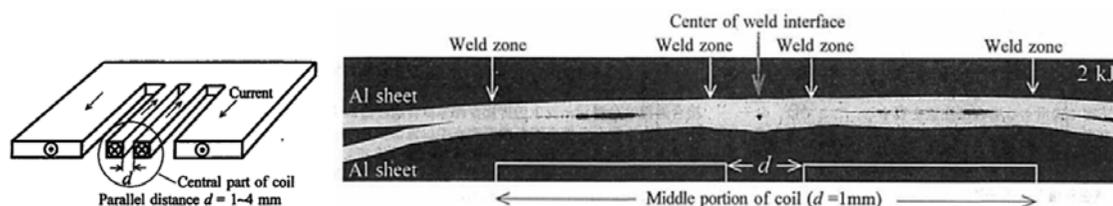
電磁成形過程におけるエネルギー効率向上を目的とし、電源から板状コイルへのエネルギーの移動とその効率を算出した。図1において、電流を流した際に発生する磁束により、コイルと薄板は磁氣的に結合される。このときの電氣的等価回路を図2に示す。この回路を放電回路側に換算した回路を図3に示す。コンデンサ電源Cから放電エネルギー W_c は実効インダクタンス L_e に移送され、その割合は式(1)の移送効率 η で表される。

実際に、2枚の金属薄板をシーム圧接する電源構成とし、コンデンサ電源 $C=100\mu\text{F}$ に蓄えるエネルギーを 2.0kJ 、2枚のA1050-H24薄板の板厚を 0.6mm 、その間の間隙長を 0.8mm とした。コイルの直線部長さ a を 80mm 、コイル幅 b を 5mm 、コイル板厚 c は 3mm とし、圧接実験から放電電流波形をオシロスコープで観測した。この放電電流から式(1)で求めたエネルギー移送効率 η と時間 t の関係を図4に示す。放電から $3.24\mu\text{s}$ 後に移送効率が最大値 33.46% に達することがわかる。このようにエネルギー移送効率を求めることで、電源構成や放電エネルギー量の調整など、省エネルギー化に向けた検討を行うことが可能となる。

$$\eta = \frac{L_e}{L_e + L_r} \left[1 - \frac{\int_0^t (R_e + R_r) i_1^2 dt}{\frac{1}{2} C V_0^2} - \left(\frac{v_c}{V_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

3. 2 軽金属材料の常温固相接合の検討

輸送機器の軽量化を図るため、アルミニウム合金、マグネシウム合金、チタン合金利用が進んでおり、これら異種材料間の接合が必要になると考えられる。本年度は強固な接合法である2列のシーム溶接について、そのコイル間隔の影響を研究した。その結果、間隔が小さいほどシーム接合方向に垂直な接合範囲が広がり溶接性が改善された。図5 (a)に実験で用いた並列コイル形状を示し、図6 (b)に接合状態を示す。



(a) 並列コイル形状

(b) 接合状態

図5 電磁シーム溶接

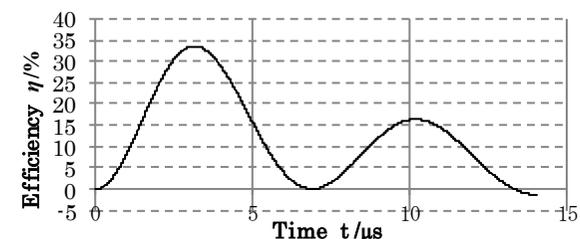


図4: 移送効率と時間の関係

3. 3 シミュレーション技術の検討

動的陽解法を用いる有限要素法プログラムを利用して、導電率の低いステンレス薄板材を、導電率の高いアルミニウム薄板と一緒に変形させるときの低エネルギー化を図るため、ダイとの間にスペーサを挟むことで間隙を設けて電磁張出し成形を行った。図6の実験結果では間隙を0.3mm設けた場合の成形高さが高くなった。図7の解析結果では間隙0mmでは実験とほぼ同じ成形高さを求められた。間隙0.3mmでは実験での成形高さより小さくなったが、間隙0mmとほぼ同じ値であった。この差異については間隙を設けたことによる外力条件としての電磁圧力分布を直接計算することで改善されると思われる。以上のことから、各種条件下での成形シミュレーションの手法を獲得したといえる。

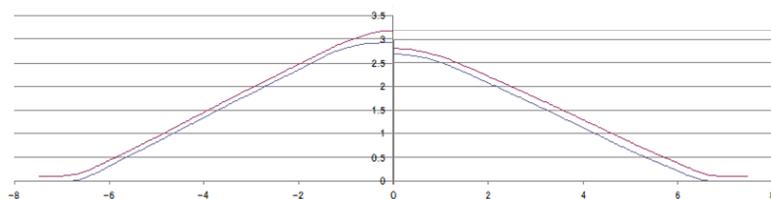


図6 実験結果の成形形状(左:間隙0.3mm、右:間隙0mm)

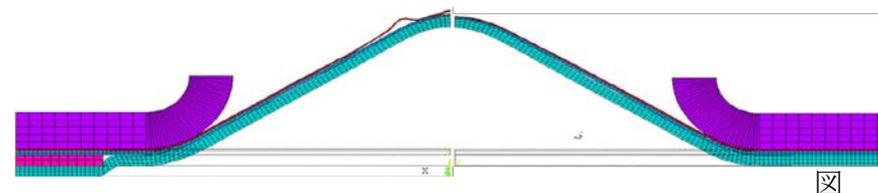


図7 シミュレーション結果の成形形状(左:間隙0.3mm、右:間隙0mm)

4. 平成25年度のまとめ

本研究で得られたことは以下のとおりである。

放電電流の移送効率向上については、効率 η を求める式を導出できた。

電磁シーム溶接では2ターン化や、2列化により少ないエネルギーでの接合ができた。

電磁成形のシミュレーションでは、ドライバを用い、間隙を設けた成形を解析できた。

以上のように各課題において研究を段階的に進めることができ、成果を得ることができた。