

三菱重工業株式会社 広島研究所 角井 洵 ○川田則幸 中嶋 宏  
 同上 広島造船所 西村 統 佐々木 邦政  
 広島大学 工学部 中前栄八郎 山下英生 安田周二

1. 緒言

連続鋳造時の鋳型内ならびにスプレー帯において、鋳片内未凝固部分を電磁力により攪拌する技術は鋳片の品質向上、高級鋼の鋳造技術として広く採用されている。現在、電磁コイルとしては、回転磁界方式、直線移動磁界方式など適用されているが、電磁力を効率良く未凝固部分に作用させる装置の開発にはコイルの構造、鋳型の構造、運転条件などを考慮して未凝固部分の流動状態を推定できる解析手法が必要である。このため電磁流体解析に基づき計算プログラムを開発し、実際との対応を検討した。本報告では、電磁攪拌装置における磁場ならびに推力の解析につき以下報告する。

2. 磁界解析

MAXWELL の方程式を電磁ポテンシャル、 $\vec{A} \cdot \phi$  を用いて変換し、渦電流を含む磁界解析の方程式を求めると(1)~(4)式を得る。

$$\frac{1}{\mu} \{ \nabla(\nabla \cdot \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A} \} = -\sigma(j_w \vec{A} + \nabla \phi) \quad (1)$$

$$\sigma(V^2 \phi + j_w \nabla \cdot \vec{A}) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{1}{\mu} \{ \nabla(\nabla \cdot \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A} \} = \vec{J}_S \quad (3)$$

$$\epsilon(\nabla^2 \phi + j_w \nabla \cdot \vec{A}) = 0 \quad (4)$$

但し

$$j_w = \frac{\partial}{\partial t} \text{ 時間微分項}$$

$$J_S: \text{ 渦電流密度} \quad \epsilon: \text{ 誘電率}$$

$$\mu: \text{ 透磁率} \quad \gamma_j: \text{ 重み関数}$$

$$\sigma: \text{ 導電率} \quad \text{grad } \phi = -j_w \cdot G_S$$

(1)~(4)式に重みつき残差法を適用して水平面内二次元断面の二次導体内では次の微分方程式(5式)を得る。

$$G = \int_S \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial \gamma_j}{\partial x} \cdot \frac{\partial \vec{A}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_j}{\partial y} \cdot \frac{\partial \vec{A}}{\partial y} \right) - \gamma_j \dot{J}_S + j_w \sigma \gamma_j \vec{A} - j_w \sigma \gamma_j \dot{G}_S \, ds \quad (5)$$

(5)式をもとに、有限要素法により数値解析を行った。

3. 試験結果と検討

(1) 試作した直線磁界型コイルに平行な各位置における磁束密度の測定値と解析値を図1に示す。両者の誤差は平均10%以内で良く一致し、コイル構造による変動傾向も良く現わしている。また鋳型銅板を介した場合も同様に測定値と解析値は良く対応した。

(2) 図2にカラーグラフィックス手法による、推力分布の解析値を30度、ピッチの交流の位相で示す。未凝固部分の攪拌において、各位相の推力値がコイルに平行な方向で大きいほど、コイルに平行な流動速度は大きくなることが予想できる。図2の各点における推力を時間平均し、流動解析のボディフォースとした。

(3) 以上の解析を直線磁界型コイルと回転磁界型コイルに適用し、両者の比較検討を行った。

(4) 以上より、有限要素法を適用した平面二次元解析により実際との対応が充分可能なことが判明した。

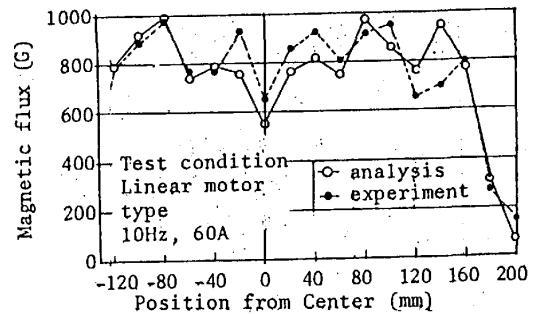


Fig.1 Intensity of magnetic flux at the position parallel to coil

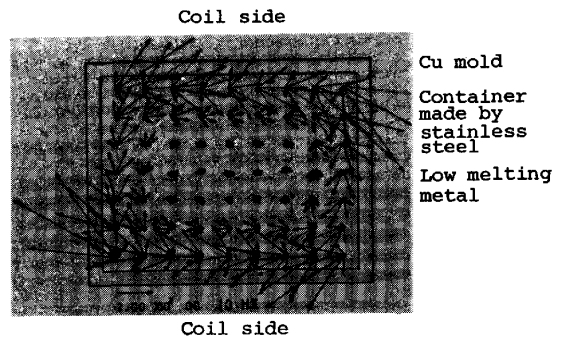


Fig. 2 Analysis of magnetic force distribution by linear motor type E.M.S.