

(681) 熔融金属の形状制御に関する数値解析

(電磁気力の冶金プロセスへの応用-Ⅱ)

日本鋼管(株) システム技術研究所 ○長 棟 章 生, 工 博 佐 野 和 夫

1. 緒 言

高周波磁界による電磁力の冶金プロセスへの応用は、電磁モールドの例の如く、高品位あるいは高効率なプロセスの実現手段として注目されている。その研究開発の基盤として、電磁力による熔融金属の形状制御に対する理論解析技術の重要性が増している。⁽¹⁾ 本報では、円筒状熔融金属上面の高周波磁界による盛り上り形状を対象に、理論解析及び実験との対比を行った。

2. 理論解析

(1) 高周波磁界による圧力 Fig. 1の如く、電流 I_k の円形コイルを配し、これに誘導されて生ずる熔融金属中の電流密度は、表皮効果により十分表面に集中していると仮定すると、表面での電流密度 i_0 は次の積分方程式を数値解法により解いて求まる。

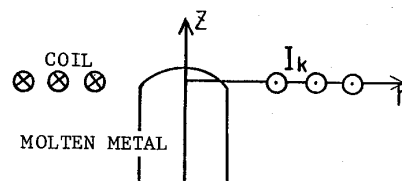


FIG. 1 MODEL

$$i_0(r, z) = -j\sigma\omega \cdot \delta / (1+j) \cdot \int_S i_0 \cdot G dt - j\sigma\omega \sum_k I_k \cdot G \quad (1)$$

$$\text{但し、} G(r', z'; r, z) = \frac{\mu_0}{\pi} \frac{r'}{\sqrt{2}\xi r} \left[\left(1 - \frac{\xi}{2}\right) F(\sqrt{\xi}) - E(\sqrt{\xi}) \right], \quad \xi = \frac{4r'r}{(r'+r)^2 + (z'-z)^2}, \quad \delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0\sigma\omega}}$$

F/E : 第1/2種楕円積分, σ : 金属の導電率, μ_0 : 金属の透磁率, ω : 角周波数

熔融金属表面に及ぼす磁界の圧力 P_M は、表面上の境界条件を考慮して次式となる。

$$P_M = \mu_0 \delta^2 i_0^2 / 2(1+j)^2 \quad (2)$$

(2) 表面張力及び静圧 表面張力による圧力 P_T 及び重力による静圧 P_G は各々次式となる。

$$P_T = \gamma (1/R_1 + 2/R_2), \quad P_G = \rho g z \quad (3)$$

但し、 γ : 表面張力, R_1, R_2 : 主曲率半径, ρ : 金属の密度, g : 重力加速度

(3) 形状変形 熔融金属内の流動を無視すると、自由表面においては、 $P = P_M + P_T + P_G$ の値は一定値となる必要があるから初期形状を仮定して、 P 及びその平均値 $\bar{P}$ を計算し、その偏差値だけ形状を少し変形して、再び P 及び $\bar{P}$ を求めることを繰り返すことにより平衡状態の形状が得られる。

3. 計算結果

熔融金属として水銀を使用した場合の理論計算結果を Fig. 2 に、実験例を Photo 1 に示す。前述の繰り返し数値計算の収束性に注意を要した。計算された熔融金属の盛り上り形状は、実験例と良く類似した。但し、計算された形状の方が上方にとがった形となり、高さも 10% 程高くなったのは、表皮効果の仮定を十分満す程周波数が高くなったためと考えられる。

4. 結 言

熔融金属の高周波磁界による形状制御を検討するための解析手法が確立された。

(参 考 文 献)

- 1) A. Gangnound & M. Garnier
IEEE Trans Vol. MAG-21
No. 5, p1886, Sep. 1985

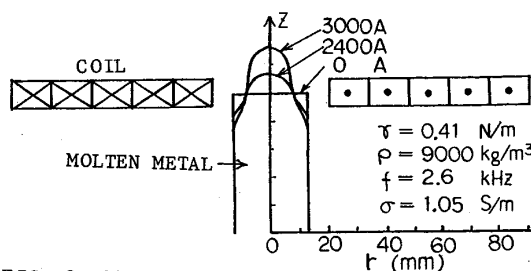


FIG. 2 CALCULATED RESULTS

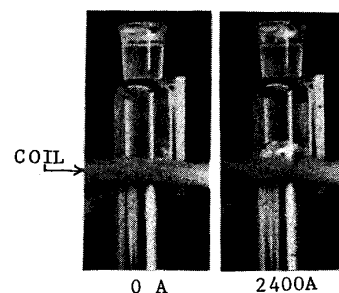


PHOTO 1 EXPERIMENTAL RESULTS