

(181) ESRにおけるスラグの流動の理論解析

名古屋大学工学部

浅井滋生・岩崎西夫
井上道雄

1. 結言

ESRのスラグプールの流動は、供給される電流によって誘導される磁束と印加電流との相互作用による電磁気力によって主に引き起こされると考えられている。スラグの流動は、スラグ-メタル間の物質移動、スラグ-電極間とスラグ-メタル間およびスラグ-モールド間の熱移動に大きな影響を与えるため、その定量化が望まれる。スラグの流動に及ぼすその他の要因としては、密度差に起因する自然対流、メタル滴の落下に伴う流動等が考えられるが、本研究では駆動力を電磁気力に基づくものに限定し、操作条件、操置条件に基づいてスラグの流速分布を求める理論解析を行なう。

2. 理論解析

(a) 電流を通電した場合の電位分布は、(1)式のラプラスの式で表わされる。

(b) (a)で求めた等電位線は、電流線と直交するので、直交条件の(2)式を用いて、電流の分布を求めることができる。

(c) 電流と電流密度の関係式である(3)式を用いて、電流密度を求める。

(d) 磁界の強さと電流密度は、(4)式の関係で結ばれるので、(4)式を用いて円周方向の磁界の強さ $H(\theta)$ を求めることができる。

(e) 体積力は電流密度と磁界の強さをを用いて(5)式より求まる。

(f) (e)より求めた駆動項を運動方程式の外力項に代入し、流れ関数 ψ のうず度で書き表わすと(6)式と(7)式が得られる。ただし、流れ関数およびうず度は、(8)式と(9)式によって定義される。

$$\frac{\partial E}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E}{\partial r} + \frac{\partial E}{\partial z^2} = 0 \dots (1) \quad \frac{\partial E}{\partial r} \frac{\partial I}{\partial r} + \frac{\partial E}{\partial z} \frac{\partial I}{\partial z} = 0 \dots (2)$$

$$I(z, r) = 2\pi \int_0^r \lambda(z, r) dr dz \dots (3) \quad \lambda(r) = -\frac{\partial H(\theta)}{\partial z}$$

$$\lambda(z) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H(\theta)) \dots (4) \quad F = \mu \lambda \times H \dots (5)$$

$$r^2 \left\{ \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\xi}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\xi}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) \right\} - \frac{\partial}{\partial z} \left\{ r^3 \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\xi}{r} \right) \right\} - \frac{\partial}{\partial r} \left\{ r^3 \frac{\partial}{\partial r} \left(\mu \frac{\xi}{r} \right) \right\} + r^2 \left\{ \frac{\partial f(z)}{\partial r} - \frac{\partial f(r)}{\partial z} \right\} = 0 \dots (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \xi = 0 \dots (7) \quad \xi = \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial r} \dots (8) \quad v_r = -\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad , \quad v_z = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \dots (9)$$

3. 結果 図1に(1), (2)式を解いて得られた等電位線と電流線の一例を示す。図2に(1)~(7)式を連立して解いて得られた計算結果を示した。図2はスラグの粘性が、1 centipoise の場合で、最大流速は約 9 cm/sec であったが、粘性を 1 poise にした場合には、約 2 cm/sec となった。

[記号] E: 電位, F: 単位体積当りの電磁気力, H: 磁界の強さ, I: 電流, λ : 電流密度, r: 半径方向距離, z: 高さ方向距離, μ : 透磁率, $\mu\lambda$: 粘性, ξ : うず度, ψ : 流れ関数

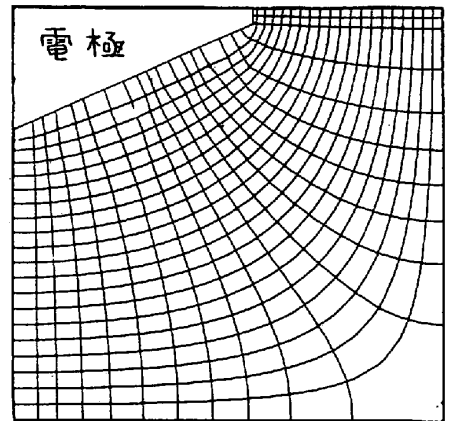


図1 等電位線と電流線

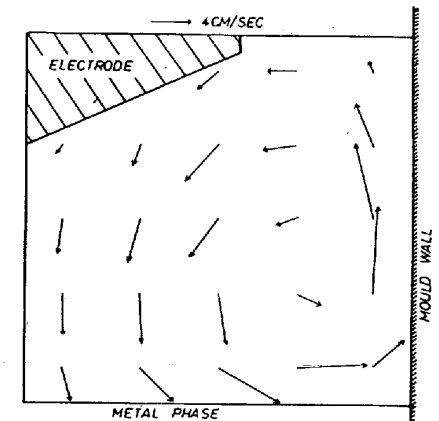


図2 流速分布