

(245) 溶鋼-スラグ界面における介在物粒子の挙動

住友金属工業株式会社 総合技術研究所 ○中島敬治, 安元邦夫

1. 緒言 溶鋼-スラグ界面に到達した介在物のスラグ相への吸収挙動について検討することは介在物除去を考える上で重要である。ここでは直方体状介在物を対象とし、Gurevitch¹⁾、Krupman²⁾の理論に対して、流体抵抗力および界面エネルギー変化による力に関する補正を施し、その吸収挙動を表す式を導いた。つづいてAntipin³⁾の界面張力に関するデータを用い、吸収挙動に与える介在物寸法、スラグ組成、溶鋼組成の影響について検討した。

2. 解析内容 線型あるいは準線型系の挙動を示す直方体状介在物について解析した。その際、重力R、浮力F、流体抵抗力Q、界面エネルギー変化による力 dE/dx の4つを考慮に入れた (Fig. 1 参照)。また比較的大きな介在物 (50 μ m以上) を対象とするため、スラグによる溶解の進行は無視できるとした。⁴⁾

2.1 線型系の挙動 粒子 Reynolds 数 ($Re = d_1 \rho_s \dot{x} / \mu_s$, 粒子代表径 $d_1 = 2(b l / \pi)^{1/2}$) が比較的小さい場合、すなわちスラグ中へ介在物を排出する場合、介在物は以下の線型系の挙動を示す。

$$\ddot{x} + \zeta \dot{x} + \omega^2 x = \gamma; x = 0, \dot{x} = v \text{ at } t = 0 \quad (1)$$

ここで、 $\zeta = 3\pi\mu_s d_1 / a b l \rho_1$, $\omega^2 = (\rho_m - \rho_s)g / \rho_1 a$

$$\gamma = (\rho_m - \rho_1)g / \rho_1 + 2(l+b)(\sigma_{m1} - \sigma_{1s}) / a b l \rho_1$$

通常 $\zeta^2 / 4 - \omega^2 > 0$ であるから、解は以下になる。

$$x = (V - \gamma/r_1) / (r_2 - r_1) e^{-r_1 t} + (\gamma/r_2) / (r_2 - r_1) e^{-r_2 t} + \gamma / \omega^2 \quad (2)$$

ここで、 $r_1 = \zeta/2 + \sqrt{\zeta^2/4 - \omega^2}$, $r_2 = \zeta/2 - \sqrt{\zeta^2/4 - \omega^2}$

2.2 準線型系の挙動 粒子 Reynolds 数が比較的大きい場合、すなわちスラグを用いず、不活性ガス中へ介在物を排出させる場合、介在物は以下の準線型系 (左辺第2項が振動) の挙動を示す。

$$\ddot{x} + \zeta \dot{x}^2 + \omega^2 x = \gamma; x = 0, \dot{x} = v \text{ at } t = 0 \quad (3)$$

ここで、 $\zeta = 0.5 C_b \cdot \rho_s / a \rho_1$, $\omega^2 = (\rho_m - \rho_s) \cdot g / \rho_1 a$

$$\gamma = (\rho_m - \rho_1)g / \rho_1 + 2(l+b)(\sigma_{m1} - \sigma_{1s}) / a b l \rho_1$$

振動法により第2次近似解まで求めると以下ようになる。

$$\begin{aligned} x = & (S/\omega_0) - (S/\omega_0) \cos \omega_0 t + (V/\omega_0) \sin \omega_0 t - (\zeta/6\omega_0^2) \cdot \\ & \cdot [3(V^2 + S^2) - 2(V^2 + 2S^2) \cos \omega_0 t - (V^2 - S^2) \cos 2\omega_0 t \\ & + 4SV \sin \omega_0 t - 2SV \sin 2\omega_0 t] + (\zeta^2/72\omega_0^3) [24S(2V^2 + S^2) \\ & - S(49V^2 + 37S^2) \cos \omega_0 t - 8a(V^2 - 2S^2) \cdot \cos 2\omega_0 t \\ & + 3S(3V^2 - S^2) \cos 3\omega_0 t + V(25V^2 + 37S^2) \sin \omega_0 t - \\ & 8V(V^2 + 4S^2) \sin 2\omega_0 t - 3V(V^2 - 3S^2) \sin 3\omega_0 t] \quad (4) \end{aligned}$$

ここで、 $\omega^2 = \omega_0^2 + (1/3)(V^2 + S^2) \zeta^2$, $s = \gamma/\omega$

3. 計算例 (1)式による計算結果の一例を Fig. 2 に示した。スラグによる介在物の吸収速度 $\dot{x}$ は、50~400 cm/s のオーダーであり、粒子寸法 d_1 が小さいほど、スラグ粘度 μ_s が低いほど、界面張力差 $\sigma_{m1} - \sigma_{1s}$ が大きいほど速い。

文献: 1) Y.G. Gurevitch; Izv. VUZov, Cher. Met., (1968)8, p.5

2) L.L. Krupman, et al.; Izv Akad Nauk SSSR Met., (1977)5, p.48

3) V.G. Antipin, et al.; ibid, (1978)5, p.62 4) 中戸ら: 鉄と鋼, 60(1974), A15

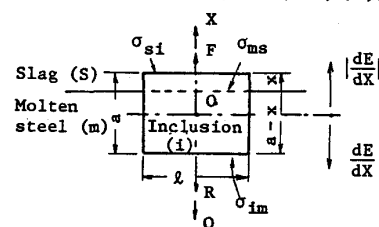


Fig. 1 Force acting on pillared inclusion transferring across molten steel-slag interface. (Inclusion size: $a \times b \times l$)

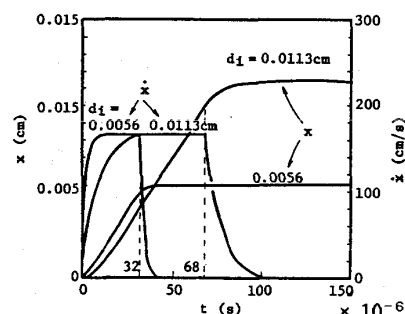


Fig. 2 Behavior of inclusion passing across molten steel-slag interface. cal. conditions: $a=b=l$, $v=0$ cm/s, $\sigma_{m1} - \sigma_{1s} = 1400$ dyn/cm, $\mu_s = 2.8$ poise, $\rho_s = 2.64$ g/cm³, $\rho_1 = 2.76$ g/cm³, $\rho_m = 7.20$ g/cm³

[記号] μ_s : スラグの粘度, $\rho_1, \rho_m, \rho_s, \rho_s$: 介在物, 溶鋼, スラグ, ガスの密度, σ_{m1}, σ_{1s} : σ_{1s} : 溶鋼-介在物, 介在物-スラグ, 介在物-ガス間の界面張力, C_b : 抗力係数