

(129) 鋼塊の凝固初期におけるマイクロ偏析の計算 (鋼塊の初期凝固現象に関する研究-I)

川崎製鉄 技術研究所
名古屋大学 工学部

○松野淳一
工博 靱 巖

1. 緒言 鋼塊あるいは鋳片の表面下に存在する気泡、介在物は圧延製品の表面不良の原因となる。これら気泡、介在物は、粒界に濃化された不純成分の反応によって生成すると考えられるので、粒間のマイクロ偏析の問題を検討した。

2. モデルおよび計算法 計算に当って次の仮定を設ける。(1) 液相中に平板状の樹枝状晶の核が鋳型面に垂直に等間隔で並んでおり、凝固はこの核の肥大によって進行する。(2) 樹枝晶間の液相中溶質濃度分布は鋳型面に平行である。(3) 温度分布は固相、液相に共通で、鋳型面に平行である。

(4) 樹枝晶の肥大速度は平衡凝固温度(液相線温度)とその位置の実際温度との差に比例する。以上の仮定により、一次元の熱伝導および拡散問題の結合によって粒間のマイクロ偏析の計算が可能となる。

$$\text{熱伝導の式 (鋼塊内)} \quad \rho_1 C_{p1} (\partial T / \partial t) = (\partial / \partial x) \{ \kappa_1 (\partial T / \partial x) \} - 2 \rho_1 L n_c (\partial S / \partial t) \quad (1)$$

$$\text{(鋳型内)} \quad \rho_2 C_{p2} (\partial T / \partial t) = (\partial / \partial x) \{ \kappa_2 (\partial T / \partial x) \} \quad (1')$$

$$\text{拡散の式 (液相内)} \quad S (\partial C / \partial t) = D (\partial / \partial x) \{ S (\partial C / \partial x) \} - (1 - \kappa) C (\partial S / \partial t) \quad (2)$$

$$\text{凝固速度式} \quad -(\partial S / \partial t) = \beta (T_m - T) = \beta (T_m - \gamma C) \quad (3)$$

$$\text{境界条件} \quad x = \infty \text{ で } \partial T / \partial x = 0, \partial C / \partial x = 0; \quad x = 0 \text{ で } \partial C / \partial x = 0; \quad x = -\infty \text{ で } \partial T / \partial x = 0 \quad (\text{鋳型内で } x < 0, \text{ 鋼塊内で } x > 0)$$

$$\text{初期条件} \quad t = 0, \quad x > 0 \text{ で } T = T_{01}, S = S_0, C = C_0; \quad t = 0, \quad x < 0 \text{ で } T = T_{02}$$

を t および x に関して差分化し、掃形法によって数値計算して鋼塊表面近くの各位置における T, S, C の時間的な変化を求めた。

3. 結果および考察 計算結果の一例を図1に示す。表面のごく近傍では、温度の低下が急速で凝固がすみやかに進行する。凝固率が1に近くなると溶質の濃度が急激に高くなるが、温度が共晶温度 T_E よりも低いため凝固は直ちに完了する。内部に入るに従って温度の低下が緩慢となり、凝固の進行は遅れる。そして温度が T_E 以上に長く保たれるため、凝固率が1に近づいた所で停滞し、高濃度の溶質を含む液相が長時間存続することになる。このような状態は溶質の反応が起り易く気泡、介在物の生成に好条件であろう。計算に用いた数値の仮定が大きいので定量的な断定はできないが、定性的には表面近くの δ チル晶部が比較的健全な組織を示すことと対応した結果といえる。今後はこのモデルに更に反応を考慮して、表面下の気泡、介在物の生成問題を扱って行く予定である。

[記号] T : 温度 C : 溶質濃度 S : 樹枝晶間液相厚み

ρ_1, ρ_2 : 鋼および鋳型の密度 κ_1, κ_2 : 鋼および鋳型の熱伝導率 C_{p1}, C_{p2} : 鋼および鋳型の比熱 L : 鋼の凝固潜熱

n_c : 鋳型面方向単位長さ当たりの樹枝晶の数 D : 内溶質の拡散係数 κ : 溶質の平衡分配係数 β : 凝固速度係数 γ :

液相線勾配 T_m : 純鉄の凝固温度 (図1の計算条件: $T_{01} =$

1530°C , $T_{02} = 100^\circ\text{C}$, $S_0 = 0.02 \text{ cm}$, $C_0 = 0.1\%$, $\kappa = 0.1$, $\beta = 2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}^2$)

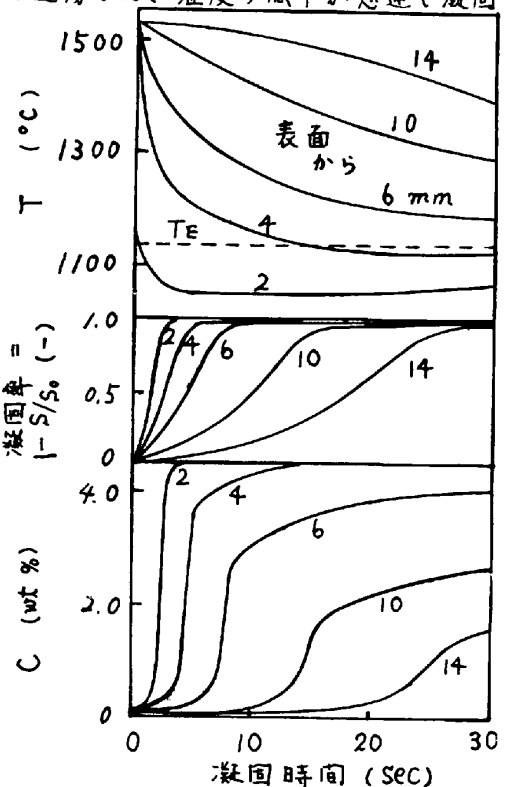


図1. T, S, C の時間的な変化