

(127) 多元系合金におけるデンドライト凝固の数学解析

川崎製鉄㈱技術研究所の藤村俊生

The University of British Columbia J. K. Brimacombe

1 緒言

多元系合金のマイクロ偏析の予測および固液共存域における、固相率分布を推定することを目的としてモデル解析を行った。

2 数学モデル

Fig. 1に示すように、固液共存域内において凝固の進行方向に熱と物質収支式を連立させて解く。凝固の進行方向と直角な方向においては温度は一定であり、かつ樹間液相中の溶質濃度は一定と仮定した。凝固中期においては固相線液相線位置が√t則に従って移動するとし、(1)(2)式で示される物質、熱収支式を固液共存域と共に移動する座標系内で、(3)式を用いて解いた。

$$(1-\alpha_{ik_i}) + \frac{\partial C_i}{\partial t} + (1-k_i)C_i \frac{\partial f}{\partial t} + \alpha_{ik_i} \frac{\partial C_i}{\partial t}$$

$$= \sum_j (E_{ij} - \alpha_{ik_i} D_{ij}) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial C_j}{\partial x} \right) + \sum_j \alpha_{jk} k_j D_{ij} \left(\frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} \right) \quad (1)$$

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \Delta H \rho \frac{\partial f}{\partial t} \quad (2)$$

$$T = T_M + \sum_i m_i C_i \quad (3)$$

その結果、凝固速度係数 V_l, V_s をパラメータとする解(4)(5)が得られた。

$$f = \lambda_i (C_i - C_i^0) + 1 \quad (4)$$

$$C_i = \eta_i \left[\frac{b \exp(F_i x (x+2b)/2)}{(x+b)} - 1 \right] + C_i - 1/\lambda_i \quad (5)$$

$$\eta_i = \frac{2}{(1+W_i)} \left[W_i (C_i - 1/\lambda_i) + \frac{1}{\lambda_i} \left\{ \frac{\alpha_{ik_i}}{1-\alpha_{ik_i}} - \frac{(1-W_i) \sum_j \alpha_{ik_i} D_{ij} \lambda_j}{2 \sum_j (E_{ij} - \alpha_{jk} D_{ij}) \lambda_j} \right\} \right] \quad (6)$$

$$W_i = (1-k_i) / (1-\alpha_{ik_i}) \quad (7)$$

$$F_j = F_i = -(V_l - V_s)^2 (C_p \rho / K + \Delta H \rho / K \sum_j m_j \lambda_i / \lambda_j) / 2 \quad (8)$$

$$\lambda_i = \frac{K \sum_j m_j \lambda_i / \lambda_j}{\Delta H \rho} \left(\frac{(1+W_i)(1-\alpha_{ik_i})}{\sum_j (E_{ij} - \alpha_{ik_i} D_{ij}) \lambda_i / \lambda_j} + C_p \rho / K \right) \quad (9)$$

- | | | |
|---|--|--|
| T: 温度 | C _p : 比熱 | C _i : iの液相中濃度 |
| f: 液相率 | K: 熱伝導度 | C _i ⁰ : iの母液湯内濃度 |
| D _{ij} , E _{ij} : iの固相, 液相内相互拡散係数 | ΔH ⁰ : 融解熱 | m _i : 定数 |
| k _i : iの分配係数 | V _l , V _s : 液相線, 固相線位置凝固速度係数 | λ _i : 未定定数 |

3 モデルの妥当性

40kgf/m² 級炭素鋼の連铸材の凝固速度係数を用いて(5)式から求めたC, Si, Mnの実効分配係数は0.9~1.0と妥当な値が得られた。また、連铸材の固液共存層内の温度分布の推定値も妥当と考えられる。(Fig. 2)一方向凝固した高合金鋼の樹間マイクロ偏析と固相率の関係については、予測値は実測値¹⁾に対し偏倚を示したが、最大偏析値は妥当な値である。(Fig. 3)

参考文献1) 杉山, 梅田, 松山: 鉄と鋼 60(1974) 1094

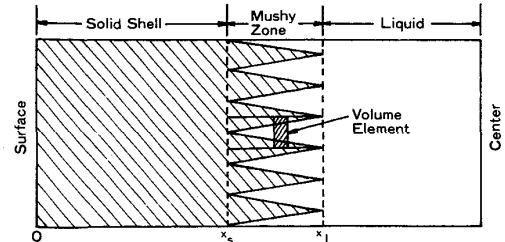


Figure 1. Schematic diagram of the solidification problem under study.

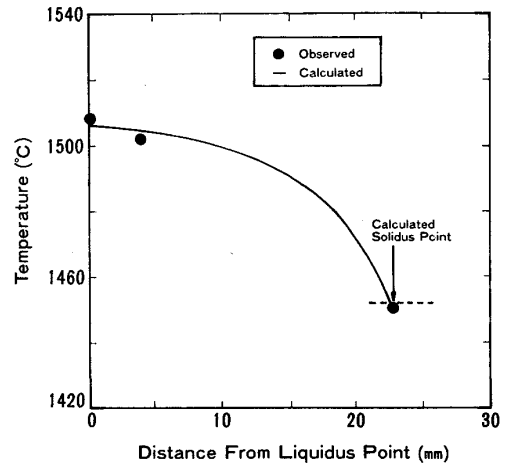


Figure 2. Temperature distribution in the mushy zone of a continuously cast 240mm square bloom.

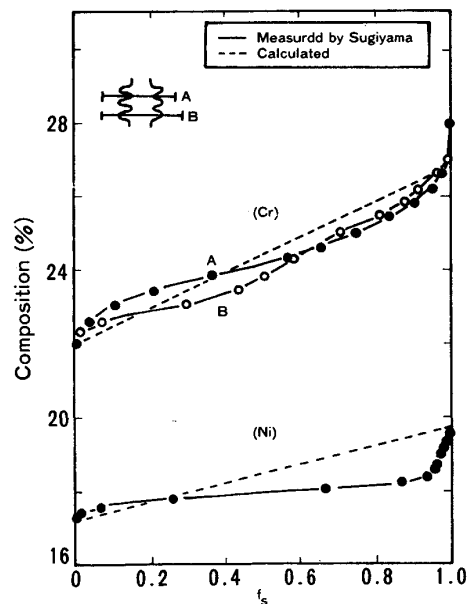


Figure 3. Measured and calculated Cr and Ni compositions as a function of fraction solid in stainless steel (0.08% C, 25.6% Cr, 19.1% Ni). A: Section between neighbouring secondary dendrite arms. B: Section close to the axis of the secondary dendrite arm.