

(191) 固相内拡散を伴う凝固時の溶質再分配

大阪大学工学部

大中逸雄

1. 緒言

鉄鋼の凝固においては固相内拡散を無視できぬ場合が少なくない。この場合 Brody-Flemings の式⁽¹⁾が良く使用されるが、凝固パラメータ α (後述) が約 0.7 以上になると不合理な結果となることが従来から指摘されていた。そこで Clyne⁽²⁾ は $\alpha \rightarrow 0$ では Scheil の式、 $\alpha \rightarrow \infty$ では平衡凝固の式となるように Brody-Flemings の式を変形することを提案した。一方、松宮⁽³⁾ は数値解析により、Clyne の式は物理的意味が明確ではないのみならず精度も必ずしも良くないことを報告している。しかし数値解析で溶質の再分配を算出するのは不便であり解析解が望まれる。本報では固相内拡散をプロファイル法により近似的に考慮した解析解を紹介する。

2. 解析方法

Fig. 1 (a), (b) に示すような板状および柱状 dendrite を考え、液相内濃度分布は一定で、固相内は (1) 式で示される濃度分布が存在するものと仮定する。

$$C_s = a + by + cy^2, \quad a, b, c: \text{未知係数} \quad (1)$$

この固相濃度分布 C_s は次の初期条件および境界条件を満足する必要がある。

$$t = 0: \quad C_s = kC_0, \quad C_L = C_0, \quad f_s = 0 \quad (2)$$

$$y = 0 \text{ (dendrite 中心)} \quad \partial C_s / \partial y = 0 \quad (3)$$

$$y = \delta \text{ (固液界面)} \quad C_s = C_s^* = kC_L \quad (4)$$

$$A C_L d\delta = V_L dC_L + C_s^* A d\delta + A D_s \partial C_s / \partial y |_{\delta} \cdot dt \quad (5)$$

ここで、 y は dendrite 肉厚の成長方向座標、 k は平衡分配係数、 f_s は固相率、 C_L は液相濃度、 D_s は固相内拡散係数、 A は固液界面面積、 V_L は樹間液相体積である。さらに C_s は Fig. 1 の斜線部に対する次の質量保存則を満足しなければならない。

$$\frac{d}{dt} \int C_s dA = A D_s \frac{\partial C_s}{\partial y} \Big|_{\delta} + C_s^* A \frac{d\delta}{dt} \quad (6)$$

(1)~(6) の基礎式で $\partial C_s / \partial t = 0$, $\partial C_s^* / \partial y = 0$, 界面の成長速度 $d\delta/dt = L / (2\sqrt{t} \sqrt{V_L})$, t_f : 部分凝固時間, L : アームスピニングの 1/2 と仮定すると次式が得られる。

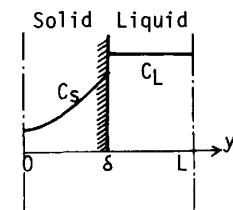
$$\frac{C_L}{C_0} = \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\beta k}{1 + \beta} \right) f_s \right\}^{\frac{k-1}{1+\beta}}, \quad \beta = 2\alpha \text{ (板状 dendrite)}, \beta = 4\alpha \text{ (柱状 dendrite)}$$

$$\alpha = D_s t_f / L^2$$

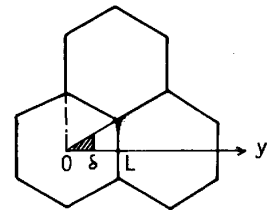
3. 考察

結果の式は固相内拡散がない場合 ($\alpha \rightarrow 0$) には Scheil の式、 $\alpha \rightarrow \infty$ では平衡凝固の式に一致する。また Clyne の式より簡潔で Fig. 2 に示すように松宮の数値解 (液相内拡散を考慮) とも比較的良く一致する。なお板状凝固と柱状凝固では前者の方が平衡凝固に近づくのは後者の方が比表面積が大きいためである。

参考文献 (1) H.D. Brody et al.: Trans. AIME, 236 (1966), 615 (2) K.W. Clyne et al., Met. Trans. 12A (1981), 965 (3) T. Matsumiya et al.; 6th JAPAN-GERMANY Seminar (1984), 218



(a) Platelike



(b) Columnar

Fig. 1 Dendrite Model

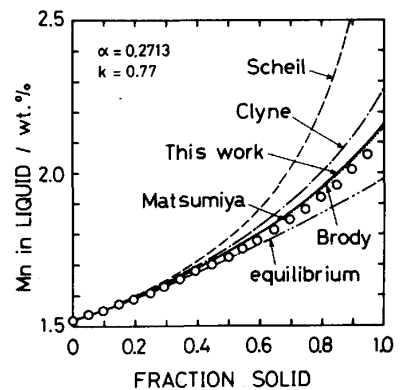


Fig. 2 Comparison of various methods for dendrite segregation