

(86) 樹枝状凝固とミクロ偏析に対する諸要因の影響
(鋼塊の初期凝固現象に関する研究 - II)

川崎製鉄 技術研究所

松野淳一

1. 緒言 前報¹⁾においては、1次元樹枝状凝固モデルによって、鋼塊の凝固初期におけるミクロ偏析の計算が可能であることを示した。本報告では、溶質濃度の2次分布、凝固・冷却・変態による収縮とそれに伴う液体の移動、注入流により引き起される溶鋼の流動等の要因により、凝固および偏析の進行状況がどのような影響を受けるかを検討する。

2. 溶質濃度の2次元分布の効果 前報においては、樹枝晶間液相内における溶質の横方向(樹枝晶の軸と垂直な方向)の分布を無視し、1次元的に取り扱っているが、樹枝晶の成長は横方向に行なわれるので、成長が早い場合には横方向に大きな濃度差を生じ、それによって凝固および偏析のようすが影響される可能性がある。しかし、2次元的な濃度分布を考慮したモデルにより計算した結果、凝固のごく初期(約1 sec まで)を除けば、その効果は無視して良いことが明らかになった。

3. 凝固・冷却・変態による収縮と液体の移動の効果 凝固・冷却および $\gamma \rightarrow \delta$ の変態による体積減少の割合は同一時間で比較すると表面に近いほど大きい。したがってこの体積減少を補うために樹枝晶間の液体は鋼塊内部から表面に向かって移動する。この bulk flow によって液相内の溶質濃度分布が変化する。偏析はもちろん、凝固の進行にも影響が及ぶ。その効果を評価する目的で、収縮およびそれに伴う液体の移動を考慮したモデルを作り、計算を行なった。計算結果の1例を図に示す。収縮がないと考えた場合に比べて、凝固率が高くなっていくと差が認められるが、凝固率0.9以下ではほとんど収縮の効果が現れていない。(図中、曲線左から順に $t=1, 5, 10, 20$ sec における値)

4. 3元素の影響 これまで成分偏析はFe-X 2成分系で考えてきたが、3成分系になると、一般に凝固温度と組成の関係は複雑である。したがって凝固速度に対する溶質濃度の影響は2成分系のような直線関係で近似できない。3成分系における凝固温度と組成の関係を考慮して、偏析の計算を行なった結果、たとえばFe-S-C系では、Sの偏析に対するCの影響が著しいことがわかった。

5. 注入時の溶鋼の流動の効果 注入流により引き起される鋳型内溶鋼の流動は、初期における凝固速度に大きな影響を持つとされている。²⁾そこで、注入時の凝固前面における溶鋼の流速を評価し、かつ樹枝晶先端部における樹枝晶間液相内の物質移動に対する流動の影響を検討したのち、凝固に対する溶鋼の流動の効果の計算について述べる。

(1) 凝固前面における流速は近似的に次式で与えられる。

$$v = \frac{v_0 v}{R} \quad \text{ただし } v_0, v: \text{凝固前面および注入流の流速} \\ R: \text{鋳型の相当半径, } v_0: \text{注入流の半径}$$

(2) 鋳元端付近のような凹凸のある壁面近傍での流動を、Navier Stokes の式を直接数値計算して調べた結果、樹枝晶間液相内の物質移動に対する流動の影響は無視して良いことがわかった。

(3) v_w を主流速度とした速度および温度境界層方程式を解くことにより樹枝晶先端位置での温度勾配が得られる。これと、樹枝晶の長さ方向への成長速度を境界条件として与えて計算を行なった。

1) 松野, 豊 ; 鉄と鋼, 54 (1968), 10 S 473

2) M. A. Ozekoski ; J. Metals (1954), P 891 ~ 899

