

(82) 造塊プロセスにおける等軸晶生成の数学的モデル

名古屋大学 工学部 ○浅井滋生 駿 激
トピー工業K.K 佐原崇彦

1. 緒言 従来、等軸晶に関する研究は多数発表されているが、それは、主に、等軸晶粒の生成機構および、その発生場所を論じたものである。生成した等軸粒が系内で残存あるいは成長可能な鑄型内溶湯の温度条件や濃度条件という観点に基づいた研究は見あたらない。本研究では、従来、他の研究者による実験結果の報告から、等軸晶および柱状晶の生成に有利な条件を検討し、その結果に基づいて、熱収支、物質収支からなる数学的モデルを展開して、低温鑄型実験の結果を定量的に説明する。

2. 実験結果の検討 等軸晶と柱状晶の生成に関する主要な従来の結果を以下に示す。A) 注入溶湯の過熱度の増加に伴って柱状晶率が増加する。B) 低温鑄型は等軸晶を発生させる。C) 磁束密度の増加に伴って柱状晶率が増加する。D) 比較的低い注入温度でも磁界中では等軸晶は生成しない。E) 等軸晶の生成には流動が必要である。F) 凝固界面における流動が大きいほど等軸晶帯は大きくなる。G) 過熱度が小さくても鑄型を急冷すると柱状晶が劣化する。H) 鑄型内へ金鋼(障壁物)を挿入すると等軸晶帯が狭くなる。I) 回転凝固は等軸晶帯の劣化を抑制する。J) 回転振動(回転方向の変化)によって等軸晶率は増加する。K) 溶鋼の温度勾配と液相線界面の進行速度の積が大きいと柱状晶が劣化する。以上のA)からK)までの実験結果は、等軸晶および柱状晶の生成現象の断片的な情報を示すものと考えられるが、これらに共通の現象で整理すると、等軸晶生成に有利な条件は、I) 液相本体の温度が低いこと(A, B, K) II) 固・液界面での伝熱係数が大きいこと(C, D, E, F, H, I, J) III) 凝固速度が小さいこと(G, K)となる。

3. 数学的モデル 上記のI)とII)から、未凝固液の過冷度が等軸晶生成速度に影響することが推察されるので、次の仮定に基づいてモデルを展開する。(仮定1)柱状晶の成長速度はルート則に従う。2)等軸粒の生成速度は未凝固液の過冷度に比例する。鑄型内の凝固相を除いた部分の熱収支式： $C_p W(1-f)(dT/dt) = hA(T_s - T) + (-\Delta H)(d\phi/dt)W$ ---(1), 液相の物質収支： $(dC_L/dt) = \{(1-K_s)(df/dt) + (1-K_g)(d\phi/dt)\}C_L / (1-f-\phi)$ ---(2), 仮定1より、 $f = (D_0 + B\sqrt{t}) / (L/2)$ ---(3), 仮定2より、 $d\phi/dt = k(T^* - T)(1-f-\phi)$ ---(4), ここで、 T^* は液相線温度であり、 C_L の関数として表わされる。 $T^* = T_0 + bC_L$ ---(5), (Ah)と k 以外のパラメータは実験データと物性値から求められるので、(Ah)と k をパラメータにして凝固経過時間に伴う濃度晶率の変化が計算できる。系内にしきりを挿入すると、自然対流が抑制され、伝熱係数が小さくなるが、これは、本モデルではパラメータ(Ah)を小さくすることに相当する。図1にNH₄Cl-水系での模型実験の結果と計算結果を示した。(ここで、図中のパラメータIとはパラメータ(Ah)と k を無次元化したものである。)この結果から、計算結果は実験値を比較的よく説明していることがわかる [記号] A: 固・液界面積, B: 凝固定数, C_L, C_0 : 液相および固相の溶質濃度, C_p : 比熱, D_0 : ルート則の定数項, f : 固相占有率, ΔH : 凝固潜熱, k : 比例定数, K_s, K_g : 固相および等軸粒の分配係数, L : 鑄型幅, t : 時間, T : 液相内代表温度, T_s : 固相線温度, ϕ : 等軸粒の占有率, ϵ : 沈澱品の空隙率, [添字] i : 初期値

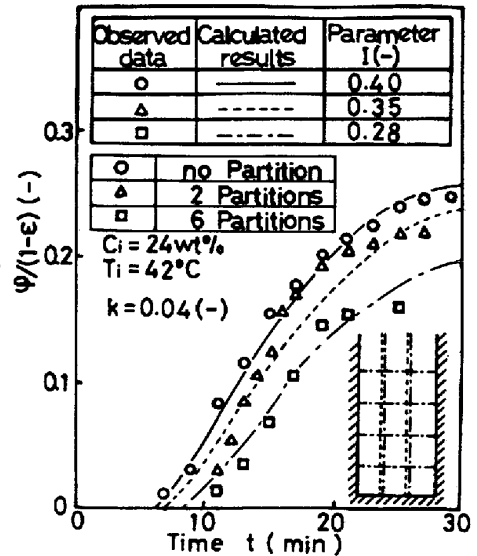


図1 鑄型内挿入物が沈澱晶率に及ぼす効果