

(87) 凝固初期における気泡発生条件

(鋼塊の初期凝固現象に関する研究 - III)

川崎製鉄 技術研究所

松野淳一

1. 緒言 凝固後の鋼塊表面下に残留する気泡は結晶粒間の液相中に濃化したガス発生成分の反応によって生成したものである。本報告では気泡発生条件を樹枝状凝固モデルにもとづいて樹枝晶間溶鋼中における成分元素の濃化と拡散の速度および樹枝晶の肥大速度より定め、これを用いて気泡発生位置を計算した。

2. 気泡発生条件の定性的説明 樹枝晶間液相内においては、核生成の条件は既に満たされていて、反応成分の濃度が平衡に達すればただちに気泡が生成するものと考ええる。この核から巨視的な大きさの気泡にまで成長する才1段階として、まずその径が樹枝晶の周隙程度にまで成長しなければならぬ。気泡がこの段階にある間その前方が閉塞しないこと、すなわち気泡核の成長速度にくらべて樹枝晶の肥大速度が十分遅く、気泡径が樹枝晶周隙程度になる迄その前方が完全凝固しないことが気泡発生条件である。溶質濃度が十分高く、過冷度が十分小さくなった時にこのような条件が満たされる。

3. 気泡核の成長速度 1次元的に考えた気泡の成長速度は次式のように表わされる。

$$U(t) = \frac{\sqrt{D_2}}{\alpha M_2 \sqrt{\pi}} \left\{ (C_{20}(0) - C_{2i}(0)) \frac{1}{\sqrt{t}} + 2g_2 \sqrt{t} + \sqrt{D_2} \int_0^\infty e^{-\beta^2} C_{20}'(2\sqrt{D_2}t\beta) d\beta \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \int_0^t \frac{R'(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} \left\{ 1 - \frac{R(\tau)}{\sqrt{(R(\tau))^2 + (4M_2/M_1)\sqrt{D_1/D_2} \cdot K_{co}}} \right\} d\tau \right\}$$

ただし

$$R(t) \equiv \frac{M_2 \sqrt{D_1}}{M_1 \sqrt{D_2}} C_{1i}(0) - C_{2i}(0) + \frac{4}{3\pi} \left(\frac{M_2 \sqrt{D_1}}{M_1 \sqrt{D_2}} g_1 - g_2 \right) t \\ + \frac{\sqrt{D_2}}{\pi} \int_0^t \int_0^1 \int_0^\infty \frac{e^{-\beta^2}}{\sqrt{\tau(1-\gamma)}} \left\{ \frac{M_2 D_1}{M_1 D_2} C_{10}'(2\sqrt{D_1}\tau\beta) - C_{20}'(2\sqrt{D_2}\tau\beta) \right\} d\beta d\gamma d\tau \\ + \frac{2D_2}{\pi} \int_0^t \int_0^1 \int_0^\infty \frac{\beta e^{-\beta^2}}{\sqrt{1-\gamma}} \left\{ \frac{M_2 D_1^{3/2}}{M_1 D_2^{3/2}} C_{10}''(2\sqrt{D_1}\tau\beta) - C_{20}''(2\sqrt{D_2}\tau\beta) \right\} d\beta d\gamma d\tau$$

4. 気泡の発生条件 気泡の径が成長開始時の樹枝晶周隙 S_r に等しくなるまでの時間がその奥における完全凝固までの時間より短かいことが気泡発生条件になる。 C 以外の脱酸元素との反応によって Q の濃化が起らないとすれば、気泡発生条件として次式が得られる。

$$\frac{1}{3} (5 - 2g_2) C_{2b} - C_{2i}(0) \geq \frac{\alpha M_2 \sqrt{\pi B S_r \Delta T}}{2 \sqrt{D_2}} - \frac{4 M_2 \sqrt{D_1} K_{co}}{3\pi M_1 \sqrt{D_2} C_M} \left[\frac{r_0}{3} + \frac{1}{2\sqrt{r_0}} \log \left\{ \frac{1 + \sqrt{r_0}}{1 - \sqrt{r_0}} \right\} - 1 \right]$$

液面の上昇による圧力変化を無視して気泡発生位置を概算した結果を図に示す。

【記号】 $U(t)$: 気泡成長速度, $C_{20}(X)$: 初期濃度, $C_{2i}(t)$: 界面濃度, C_{2b} : bulk の濃度, α : 物質移動速度と気泡成長速度の換算係数, g_2 : 凝固による濃化速度, M_2 : 原子量, D_2 : 拡散係数, K_{co} : 平衡定数, g_1 : 分配係数, B : 凝固速度係数, ΔT : 過冷度, r_0 と C_M : C_{20} , C_{2i} , g_2 により定まる値, $l=1, 2$ は夫々 C , Q を表わす。

「および」はそれぞれ1次および2次の微係数

