

(165) VOD取鍋におけるステンレス鋼の加窒操作の数式モデルによる解析について

日本冶金工業(株)川崎研究所 遅沢浩一郎, 河西和男  
○ 坂 竹 弥

1. 緒言 : 近年, 金窒素ステンレス鋼が興味をもたれ, 当社のVOD設備にも窒素添加用配管が設置され, ポーラスフラクによつてN<sub>2</sub>ガスを吹込み加窒している。目標N%に正しく合わせるためにはN<sub>2</sub>吸収率をできるだけ高くする必要があり, N<sub>2</sub>吹精操作条件を適切にしなければならぬ。そこでN<sub>2</sub>の吸収反応について数式モデルをつくり解析を行った。

2. 数式モデル

2.1) 単一気泡からのNの吸収: 取鍋底に取付けられたポーラスフラクによつて吹込まれたN<sub>2</sub>ガスは離脱前に合体し一つの大きな気泡を生成, このN<sub>2</sub>気泡から浮上過程で 1/2 N<sub>2</sub> → N の反応によつて吸収されるものとする。ポーラスフラクからの生成気泡径に関する実験式がなないので, この場合は低流量側で森らの式, 高流量側で只下らの式を適用する。

$$d_{B0} = \left\{ (6\sigma_m \cdot d_0 / \rho_m \cdot g)^n + \{ 0.54 (V_G \cdot d_0^{0.5} \cdot T_G^{0.289})^{3n} \}^{1/3} \right\}^{1/3}, n=2 \quad (\text{低流量域}) \quad (1)$$

$$d_{B0} = \left\{ 1730 \cdot N_w^{-1.3} / (\Delta P \cdot g / \sigma_m \cdot d_0) \right\}^{1/3}, N_w = (\rho_m \cdot g^{1/2} / \sigma_m) \cdot d_0^{3/2} \cdot u \quad (\text{高流量域}) \quad (2)$$

$\Delta P = \rho_m \cdot g \approx \rho_m$ ,  $u = V_G \cdot T_G / 273 / R_H / (\pi d_0^2 / 4)$ ,  $P_H = P_0 + \rho_m \cdot g \cdot H / 1.013 \times 10^6$ .  $\rho_m$ : 溶鋼密度,  $d_{B0}$ : 生成気泡径,  $\sigma_m$ : 溶鋼の表面張力,  $g$ : 重力加速度,  $V_G$ : N<sub>2</sub>供給速度,  $T_G$ : 吹込時N<sub>2</sub>ガス温度,  $H$ : 溶鋼深さ,  $P_0$ : 自由表面における圧力,  $P_H$ : フラク位置での静圧,  $d_0$ : ノズル径(ここではフラク径)。

N<sub>2</sub>の吸収反応は溶鋼側物質移動律速, 気泡間に相互作用がない, 気泡浮上過程で溶鋼中の濃度変化はないと仮定して, 気泡中のN<sub>2</sub>モル数(N<sub>N2</sub>)変化, 気泡温度(T)変化について(3), (4)式を導出した。

$$\frac{dN_{N_2}}{dt} = \rho_m \cdot A_B \cdot k_N (N\%_b - N\%_i) / 2800 \cdot V_B \quad (3)$$

$$\frac{dT}{dt} = \{ h_t \cdot A_B (T_H - T) + C_{p,N} \cdot J_N (T_H - T) / 2 + \sigma \cdot \epsilon_{m,N} \cdot A_B (T_H^4 - T^4) \} / (V_B \cdot \rho_{N_2} \cdot C_{p,N}) \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} & \times \times \times, \rho_{N_2} = (\pi d_{B0}^3 / 6) \cdot P_H / R \cdot T_G, V_B = \rho_{N_2} \cdot R \cdot T / P_H, P_H = P_0 + \rho_m \cdot g \cdot (H - x) / 1.013 \times 10^6, \\ & d_B = (6 V_G / \pi)^{1/3}, A_B = \pi d_B^2, V_B = (0.5 d_B \cdot g)^{1/2}, k_N = 2(D_N \cdot V_B / \pi \cdot d_B)^{1/2}, J_N = \rho_m \cdot A_B \cdot k_N (N\%_b - N\%_i) / 1400 \end{aligned} \right\} (5)$$

$N\%_i = K_N \cdot P_{N_2}^{1/2} / J_N$ ,  $\log K_N = -188 / T_H - 1.248$ ,  $\log J_N = 0.13 [\%C] - 0.045 [\%Cr] + 0.01 [\%Ni]$   
 $A_B$ : 気泡表面積,  $k_N$ : Nの溶鋼側物質移動係数,  $V_B$ : 気泡浮上速度,  $x$ : フラクからの距離,  $N\%_b$ : バルク濃度,  $N\%_i$ : 界面濃度,  $T_H$ : 溶鋼温度,  $\rho_m$ : 溶鋼密度,  $h_t$ : 熱伝達係数,  $C_{p,N}$ : N<sub>2</sub>ガスの比熱,  $R$ : 気体定数,  $\sigma$ : ステファン-ボルツマン係数,  $\epsilon_{m,N}$ : N<sub>2</sub>ガスのEmissivity,  $D_N$ : 溶鋼中Nの拡散係数。

表面活性成分Q, Sのk<sub>N</sub>への影響についてはPapamantellosらの手法を用いた。すなわち物質移動の全抵抗(1/k<sub>N,T</sub>)は, 表面活性元素に富む層の抵抗(1/k<sub>N,a</sub>)と溶鋼中の拡散層の抵抗(1/k<sub>N</sub>)の和, 1/k<sub>N,T</sub> = 1/k<sub>N,a</sub> + 1/k<sub>N</sub> ということから(5)式中のHigbie Typeのk<sub>N</sub>, 井上らのデータから求めたk<sub>N,a</sub>を用いて, k<sub>N,T</sub>を計算し, これを(3)式のk<sub>N</sub>に代入して計算した。

2.2) 溶鋼中のN濃度の変化: 溶鋼側の物質収支より溶鋼中のN濃度変化は(6)式で表わされる。

$$\frac{d(N\%)}{dt} = 2800 \cdot B_N (\rho_{N_2}^i - \rho_{N_2}^f) / W, B_N = V_G \cdot T_G / 273 / R_H / (\pi d_{B0}^2), \quad (6)$$

$\rho_{N_2}^i$ : 生成気泡中のN<sub>2</sub>モル数,  $\rho_{N_2}^f$ : 浮上終了時までのN<sub>2</sub>モル数,  $B_N$ : 気体総数(K<sub>cc</sub>),  $W$ : 溶鋼重量,  $t$ : 時間。

3. 計算結果: 微分方程式はRKG法で数値計算し, フラク径, 浴深さ, ガス流量, 圧力, 濃度(G%, Ni, O, S)などの影響を調べた。3.1) ポーラスフラク径が小さくなる程, N<sub>2</sub>吸収率はよくなる。3.2) N<sub>2</sub>吸収率はd<sub>B0</sub>に依存しd<sub>B0</sub> < 7cmで, またQ, Sもこれ0.01%のときはd<sub>B0</sub> < 5cmでN<sub>2</sub>吸収率が100%となる。

<参考文献> 1) 森佐野佐藤: 学振19巻-9998(及文419, 77-1.28), 2) 只木前田: 化学工学, 27(63) P147, 3) 藤井頼: 鉄と鋼, 56(70) P558, 4) D. Papamantellos, K. W. Lange, K. Okohira, H. Schenk: Met. Trans., 2(71) P. 3135 5) 長井上: 鉄と鋼, 54(68), P19