

(215) 金属の溶解過程におよぼすガス吹込み効果の水モデルによる研究

大阪大学工学部 谷口滋次 近江宗一 大学院 石裏真治 (現. 中山製鋼) ○山内 哲

1. 緒言 金属製錬プロセスにおいては、反応速度の増大、浴内の温度や濃度の均一化のためにガス吹込み攪拌操作が広く用いられ、研究も行われているが、大部分が物質移動に関するものであって熱移動に関するものは少ない。本研究では溶解過程におよぼすガス吹込み攪拌の効果を検討するために、水-氷系を用いたコールドモデルによりガス流量、浴形状、試料位置、ノズル径の影響を調べた。

2. 実験方法 固体金属のモデルとして直径約 3.5 cm の氷球を作成し、これを水面付近の所定の位置に固定して溶解させた。実験装置は透明アクリル製の二重水槽で4種類の形状の容器を使い、内径 1, 2, 4.3 mm の3種類のノズルを底面の中心に設けて N<sub>2</sub> ガスを底吹きした。

ガス吹込みによる浴の流動が定常状態に達してから氷球を浸漬し、10秒間隔で写真撮影し、平均半径 R を求めた。そして、最小二乗法で溶解速度 dR/dt を求め、次式によって伝熱係数 h を算出した。

$$\frac{dR}{dt} = -\frac{h}{\rho_s \Delta H} (T_b - T_f) \dots (1)$$
 本研究ではガス吹込み攪拌の効果は伝熱係数によって評価する。また、0.1 cm 程度のガスをトレーサとして投入し、流動状態を観察した。

3. 実験結果および考察 伝熱係数はガス吹込み量とともに増加する傾向にある。浴形状の影響は小さいが、これは浴全体の流動状態が変化してもノズル直上の流動状態はあまり変化しないからと考えられる。次に試料位置を半径方向で変化させた場合の結果を Fig 2 に示す。中心から遠ざかるにつれて伝熱係数は著しく減少しているが、容器壁近傍では循環流の影響を受けて逆に増加していると考えられる。なお、本実験条件下では伝熱係数におよぼすノズル径の影響はわずかであった。

本研究では、上昇する流体の持つ運動エネルギーと吹込みガスの与える仕事と等しいと仮定して伝熱係数を推算した。吹込みガスによる仕事 W をガスの持つ浮力による仕事とガスジェットの運動エネルギーの和とすれば、

$$W = \frac{V_g \cdot R \cdot T}{22.4 \times 60} \ln \left[ 1 + \frac{\rho_l \cdot g \cdot H}{\rho_a} \right] + 0.1033 M V_g^3 \left( \frac{T}{273} \right)^3 / A_n^2 \dots (2)$$

また、流体がガス吹込みによって上昇する領域を円筒形と仮定すれば、この領域の持つ運動エネルギー

は  $W = \frac{1}{2} (\pi r_b^2 \rho_l \bar{U}_z) \bar{U}_z^2 \dots (3)$  となり、平均上昇速度  $\bar{U}_z$  を用いて Whitaker<sup>1)</sup> による熱移動の式

$$Nu - 2 = (0.4 Re^{1/2} + 0.06 Re^{2/3}) Pr^{0.4} \left( \frac{\mu_b}{\mu_0} \right)^{1/4}, \quad 3.5 < Re < 76000 \dots (4)$$

により伝熱係数を推算した。この方法による計算結果と実験値との比較を Fig 3 に示す。

(記号) A<sub>n</sub>: ノズル断面積 (cm<sup>2</sup>), d<sub>n</sub>: ノズル内径 (cm), e: 円筒容器底面上で中心から試料溶解位置までの距離 (cm), g: 重力加速度 (cm/s<sup>2</sup>), H: 浴深さ (cm), ΔH: 氷の潜熱 (cal/g) M: 気体分子量 (g/mol), Q<sub>g</sub>: ガス流量 (NL/min.), R: 氷の半径 (cm) または気体定数, r<sub>b</sub>: 実験的に求めた円筒形領域の半径 (cm), R<sub>v</sub>: 円筒容器の半径 (cm), T<sub>b</sub>: 浴温度 (°C), T<sub>f</sub>: 氷球内初期温度 (= 0°C), ρ<sub>l</sub>: 液体の密度 (g/cm<sup>3</sup>), ρ<sub>s</sub>: 氷の密度 (g/cm<sup>3</sup>) (文献) 1) S. Whitaker: AIChEJ, 18 (1972) 2, P361

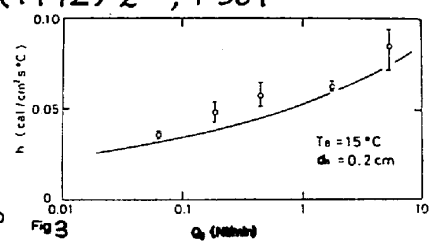
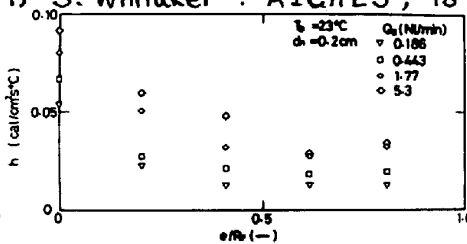
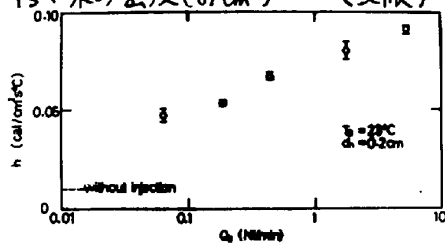


Fig. 1 Variation of heat transfer coefficient h with gas flow rate Q<sub>g</sub>

Fig. 2 Variation of heat transfer coefficient h with the specimen position e/R<sub>b</sub>.

Fig. 3 Comparison of calculated and experimental values of heat transfer coefficient h.