

## 討 6

## 底吹き羽口での気泡挙動と羽口の溶損防止について

新日鐵(株) 生産技研

○石橋政衛

山本里見

## I 緒 言

底吹き精錬法での安定した操業を行なうために、気泡の挙動、羽口の冷却条件などについて検討した結果を報告する。

なお本報告は昭和50年春<sup>1)</sup>、同52年秋<sup>2)</sup>に本学会で報告した内容をまとめたものである。

## II 浴に吹き込まれた気泡の挙動

鋼浴と吹き込まれた気泡との反応性を理解する上には、吹き込み条件と気泡の領域(気泡の分布、気泡の到達距離)との関係を明らかにする必要がある。

気泡生成時に羽口周辺の壁に対する衝撃を少なくするためには、気泡が噴出するときの挙動を明確にしなければならない。

以上の目的から、水モデルによる観察実験を行なった。

## II. 1 気泡巾について

気泡の大きさについては多くの研究がある。佐野、森<sup>3)</sup>は吹き込み気体の流量によって気泡大きさに違いがあり、小流量、中流量、大流量の場合に分類して気泡径を求める式を示している。また実用的な大流量の範囲では吹き込みガスの大部分は浴内を柱となって上昇するため乱れによってちぎれて生成する気泡がみとめられると述べている。本報告は実用大流量での水モデル実験をもとにしており、気泡状況を示すと図1のような柱状になっている。吹込圧1.5 kg/cm<sup>2</sup>Gのとときと7.0 kg/cm<sup>2</sup>Gのとときの羽口まわりの気泡状況にちがいがあり、低圧時には羽口まわりが完全に気泡で包まれているのに対して、高圧時には羽口のまわりに気泡がなくなる。

図1にみられるように気泡を単一気泡としてとらえることはむづかしいので気泡領域の巾を測定してこれを気泡巾と呼ぶことにする。

羽口直上における羽口前の吹込圧力と(気泡巾/羽口直径)との関係を示すと図2になる。2 kg/cm<sup>2</sup>G以上になると羽口直上の気泡巾は羽口径と同じになったり、ひろがったりする遷移領域があり、この領域を超えると気泡巾はほとんど羽口大きさに等しい大きさになっている。

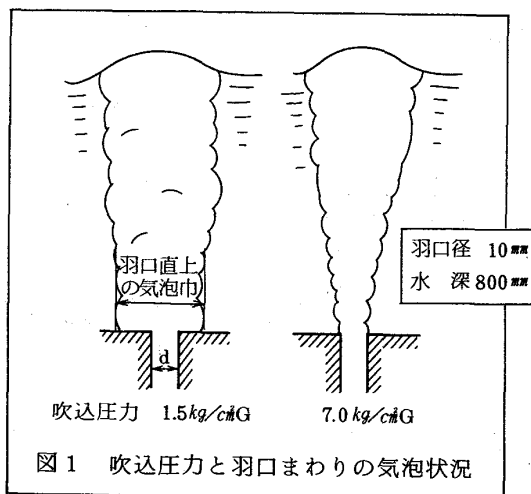


図1 吹込圧力と羽口まわりの気泡状況

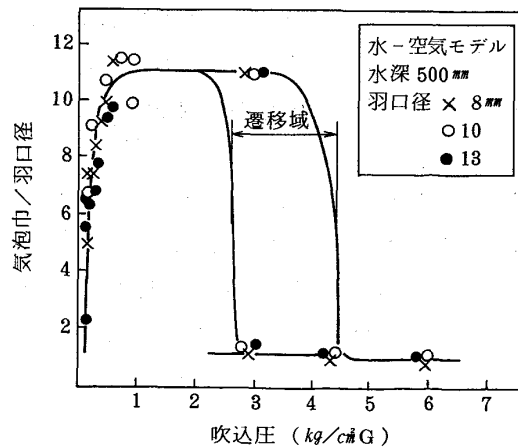


図2 羽口直上部気泡巾

II. 2 水平吹き of 気泡到達距離

水平羽口で吹き込まれた気泡領域の一例を示すと図3のようになる。気泡到達距離(L)と修正フルード数(Fr)との関係を探めると、

$$L/d = 3.7 Fr^{1/3} \dots\dots\dots (1) \text{ となった。}$$

L : 気泡の水平到達距離 cm

なお修正フルード数 Fr は

$$Fr = \left( \frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) \left( \frac{V_g^2}{d \cdot g} \right), \text{ 但し } \rho_g \ll \rho_l \text{ から}$$

$$Fr \approx \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right) \left( \frac{V_g^2}{d \cdot g} \right) \text{ とした。}$$

ここで

V<sub>g</sub> : ガス噴出速度 cm/sec (標準状態)

ρ<sub>g</sub> : ガス密度 g/Ncm<sup>3</sup>

ρ<sub>l</sub> : 液体密度 g/cm<sup>3</sup>

g : 重力加速度 = 980 cm/sec<sup>2</sup>

d : 羽口直径 cm

SZEKELYら<sup>4)</sup>の銅精錬炉(空気-CuS(ρ<sub>l</sub>=4.8)系)での検討結果も溶鋼試験の結果もほぼこの関係式に一致する。

減圧槽内では距離L/dはより大きくなる。

II. 3 気泡による底たゞき

浴内に吹込まれた気泡は、低圧吹込みの場合、図1にみられるように羽口先端でふくらむために底をたゞく現象があり、実験装置の底鉄板に強い衝撃を与える。二重管羽口による吹込圧力と底たゞき回数との関係をしらべると図4のようになる。二重管での底たゞき回数は、主として内管の吹込圧力で支配される。吹込圧力を2~3 kg/cm<sup>2</sup>以上になると急に底たゞき回数が減少する。このことは図2に示した羽口直上の気泡巾が小さくなる時の吹込圧力とほぼ一致している。

羽口先端でのふくらみを観察するために浴内に羽口を突き出して羽口まわりの気泡をみた。低圧力の場合、図5のℓ<sub>B</sub>のような気泡の後退長さがみられる。気泡後退現象は垂直吹き、水平吹き共に同じようにみられる。

ℓ<sub>B</sub>は羽口径が大きいほど、吹込ガス量が少ないほど、また浴深が大きいほど小さくなる。

ℓ<sub>B</sub>にはジェットが液体に働くときの慣性力が影響すると考え、ℓ<sub>B</sub>/dと修正フルード数(Fr)との関係をしらべると図6のようになり、ℓ<sub>B</sub>/d ∝ Fr<sup>1/3</sup>の関係が得られた。

図6の関係から浴深の影響をL<sub>0</sub>/dによってしらべるとFr一定のもとでは、

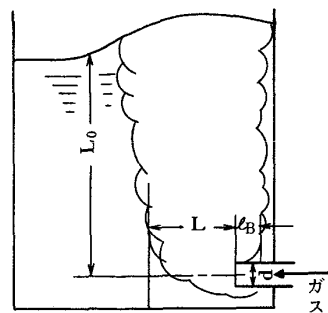


図3 水平吹き of 気泡

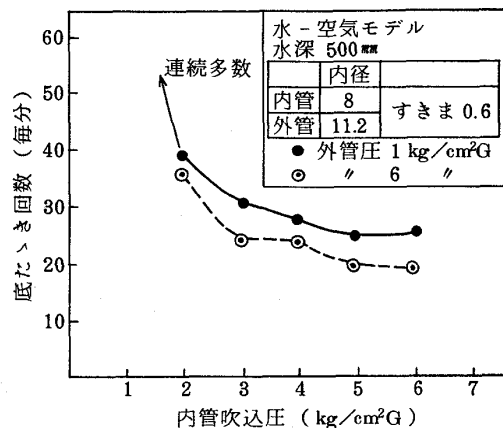


図4 吹込圧力と底たゞき回数 of 関係

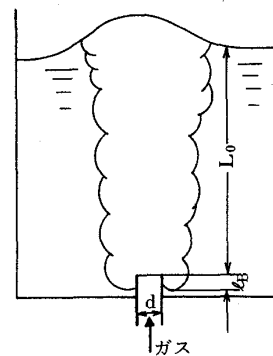


図5 垂直吹き of 気泡

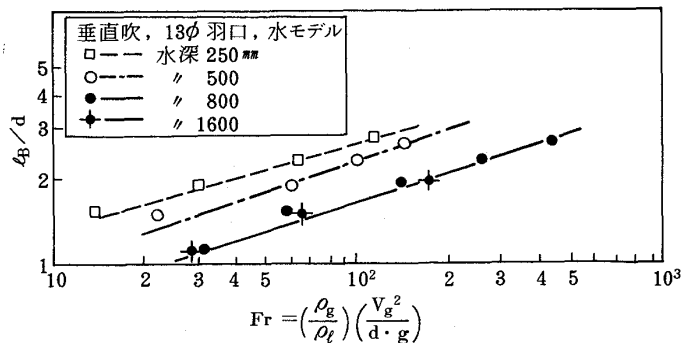


図6 Fr と ℓ<sub>B</sub>/d の関係

$$l_B/d \propto (L_0/d)^{-\frac{1}{3}} \text{ となる。}$$

$l_B$  : 気泡後退長さ cm

$L_0$  : 羽口までの浴深 cm

以上の結果から

$$l_B/d \propto Fr^{\frac{1}{3}} \cdot (d/L_0)^{\frac{1}{3}}$$

となり、右辺を  $Fr'$  として表わせば

$$l_B/d \propto Fr'^{\frac{1}{3}} = \left[ \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right) \left( \frac{V_g^2}{d \cdot g} \right) \left( \frac{d}{L_0} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (2)$$

と表わすことができる。

$Fr'$  と  $l_B/d$  との関係を示すと図7となる。この図でわかるように  $Fr' > 30$  になると  $l_B$  がなくなる状況がみられる。この  $Fr' = 30$  は標準状態換算の流速で約 550 m/sec となる。

このような状況から気泡による底たゞきを軽減するためには、 $Fr'$  を出来るだけ小さくするか、 $Fr' > 30$  となるように吹錬すれば良い。この  $Fr'$  を気泡放散指数と呼ぶことにする。

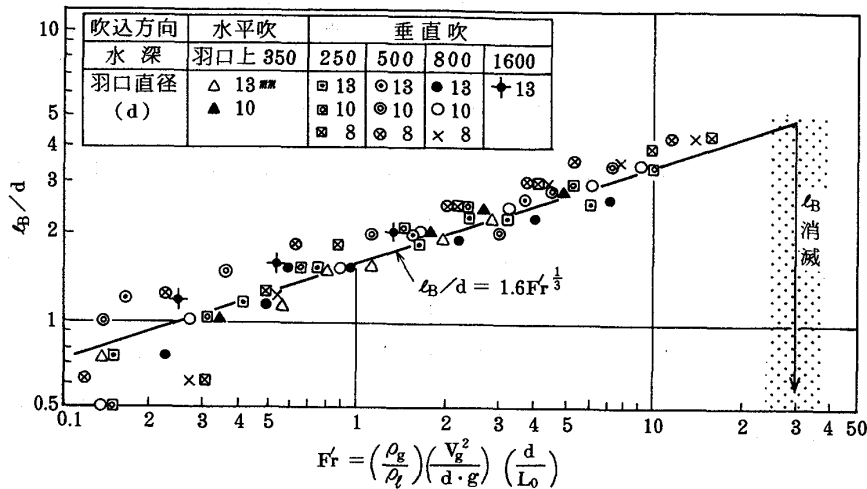


図7  $Fr'$  と  $l_B/d$  との関係

### III 羽口の溶損防止について

二重管羽口を安定して健全に使用するための冷却条件を検討した。

溶鋼に二重管羽口で酸素を吹き込み、羽口冷却条件と羽口の溶損状況との関係を調査した。

Ar, Ar による灯油霧化、プロパンによって羽口を冷却した。

羽口は内径 4 mm と 14 mm の二種類について行ない、その構造の一例を示すと図8になる。

羽口の熱的溶損は、羽口の受熱量と冷却熱量とのバランスによって左右される。

このバランスの指標として、受熱指数 (Hc) すなわち  $Hc \propto \text{受熱速度} / \text{放熱速度}$  を用いた。

この数値の小さいほど溶損は小さくなる。

受熱速度 ( $Q_m$ ) : これは酸素と溶鋼成分との反応熱のうち羽口と直接接触する部分のみが羽口に伝熱すると仮定した熱量。

放熱速度 ( $Q_c$ ) :  $Q_c = \text{ガスによる対流放熱速度} (Q_g) + \text{分解熱による放熱速度} (Q_d)$  と仮定した。

$Q_g$  を求めるために羽口冷却を Ar のみによって実験した。

Ar 冷却時の羽口溶損長さと発熱量 (単位時間内に吹き込んだ酸素と浴成分との反応熱) との関係を図9に示す。羽口の溶損は発熱速度を増すと大きくなり Ar 量 (冷却ガス量) を増すと小さくなる傾向がみとめられる。

図10の  $Q_m$  と  $Q_g$  との関係に試験後の羽口の健全 (O), 溶損 (X) の状況をプロットすることによって臨界線を求めた。

臨界線は

$$Q_g = 5 \times 10^{-2} \cdot Q_m^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (3)$$

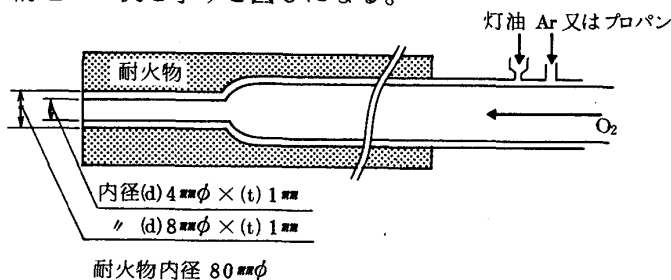


図8 試験羽口の構造

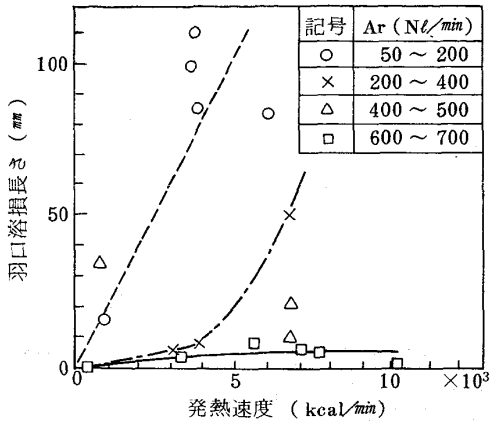


図9 発熱速度と羽口溶損長さとの関係

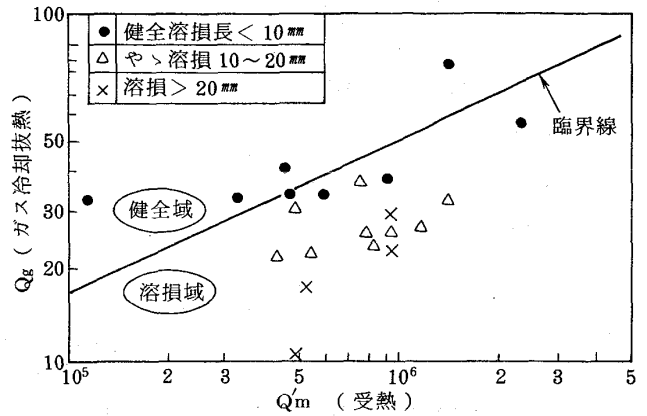


図10 溶損なしの臨界線

次に  $Q_d$  を求めるためにプロパンで冷却した羽口での溶損状況を調べ、プロパンの分解熱の約  $1/30$  が羽口冷却に寄与する結果が得られた。

これをもとに  $Q_c$  を算定し、臨界  $H_c = 1$  が求められる。これより  $H_c < 1$  を溶損防止の目安とした。

これらの結果をもとに羽口の安定操業条件を気泡挙動、冷却の面から検討すると図11のようになる。

気泡が底たきしない条件  $Fr' > 30$  と受熱指数  $H_c < 1$  の領域(図中破線で囲む部分)が最も羽口として健全であるといえる。

#### IV 結論

製鋼用底吹き羽口を健全に保つには  $Fr' > 30$  として炉壁の保護をはかるのが良い。また冷却上の目安としては  $H_c$  なる受熱指数を  $H_c < 1$  にする必要がある。更に経験の積み重ねによってより正確な指数をつかんでいく必要がある。

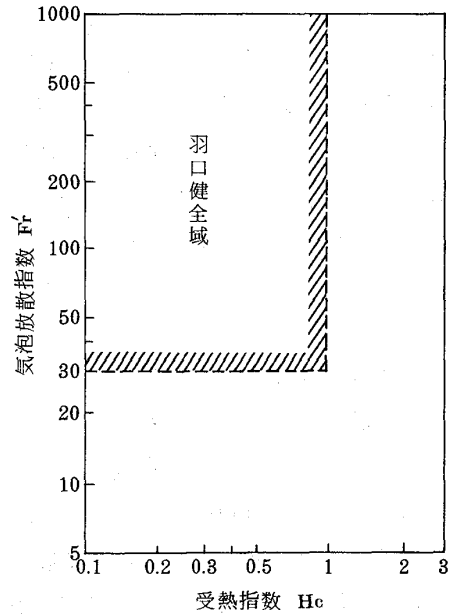


図11 二重管羽口の健全域

#### 参考文献

- 1) 石橋, 白石, 山本, 島田 : 鉄と鋼, 61 (1975), S. 111
- 2) 坂口, 石橋, 吉井, 山本, 梶岡 : 鉄と鋼, 63 (1977), S. 534
- 3) 佐野, 森 : 鉄と鋼, 60 (1974), P. 348
- 4) J. SZEKELY, et al : Trn. of the Met. soc. of AIME, Nov. 1969, P. 2425