

## 討1

## 高炉における羽口破損の実情と其の対策について

新日鉄広畑製鉄所 ○星出雄二 米崎茂穂  
松原豊男

I 緒言：近時、羽口破損の回数は、減産操業になって減少する傾向であるが、羽口取替休閑の高炉操業に及ぼす影響は、依然として大きく、特に高出鉄比の場合は稼働率の低下、低出鉄比の場合は炉況の安定性の面から問題である。従って、羽口の寿命延長対策は、羽口溶損機構の解明と平行して従来より種々講じられてきた。又実際に、破損防止に対して、あらゆる可能性が試されているのが現状であるが、残念ながら未だ、決定的なものがないので、広畑の高流速羽口は、今のところ良い成績を示しており、その考え、及び使用経緯について述べる。又本報告では、各種破損防止対策の推進状態及び羽口溶損機構に関する考察等をまとめて示した。

II 羽口破損原因：羽口破損の原因を大別すると、①溶鉄液アタックの熱負荷による溶損、②装入物による羽口先端部の摩耗、③冷却水によるキャピタリションエロージョンの三原因であるが、溶鉄アタックの熱負荷によるバニアウトが破損原因の大部分を占めている。従って羽口先端部の伝熱機構を中心に従来より研究が行われており、銅試料と溶鉄液を用いたモデル実験<sup>1)</sup>によると、羽口は $400 \sim 700 \times 10^4 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$ 以上の熱流束によって溶解する、この熱流束は多量の溶鉄と接触した時以外には存在しない、従って羽口は、多量の溶鉄との接触によって大きな熱負荷を受け、この熱によって冷却水が膜沸騰の状態になり、冷却水側の境膜熱伝達係数が低下し、破損に至る。他方、水側の冷却能力が、ある程度確保されていても、銅壁の熱伝導が悪ければ、温度勾配が定常状態になるまでに、羽口表面温度が、銅の融点(1083℃)を越えて、溶解に至る。従って伝熱面のみから考えれば、羽口先端の厚みは薄いほど良い。しかし伝熱の問題(冷却能力不足)は、言わば二次的な問題であり、溶鉄の羽口への接触という一次的な問題が重要である。現在この問題に対しては、その研究の困難性の為、あまり解析が行われていないが、関係する要因に対して簡単に説明すると、①レスウエイ形状による溶鉄のまきこみ現象(レスウエイは、羽口の形、炉内圧、流量、流速、その他の操業条件によって異なってくるが、その形態によっては、噴流による吸引力が働いて、溶鉄を羽口下部にまきこみ現象を起す。)②炉内ガス流分布の不均一(不均一なガス流分布は、荷下りのアンバランスを生じせしめ、ビルトアップ等の現象を起す。)③貯鉄液レベル(出鉄液不調により実状に鉄液レベルが上がった場合、羽口との接触が考えられる。)④溶融物の流動性悪化(溶融物のスムーズな炉床への移行を阻害する。)

III 羽口破損防止対策：羽口破損は不安定なレスウエイに於ける溶鉄の接触によって多発すると考えられるので、レスウエイの安定、換言すれば炉況の安定を図る事が第一であり、特に貯鉄液レベルの適正管理と炉内ガス流分布管理が重要である。いずれにしても、操業上の破損防止対策は、羽口前状況の解明が不十分な現在では、炉況安定化対策と同一に考えるべきである。又羽口下部のビルトアップやボール生成現象等により連続的に羽口が破損する場合は、クリーニング操業が有効である。

1) 羽口形状 溶鉄のまきこみ現象を考えると、羽口の角度は下向きがよい、これはモデル実験によっても確かめられており、又実績でも明確な差が表れている。

1/4～1/2平実績	「水平 下切りなし羽口」	平均破損数	5.6個/月
	「下向き 下切り羽口」	〃	2.9個/月

2) 各種ライニング羽口 羽口先端部の断熱と装入物による摩耗を防ぐ為には、レンガ、その他の耐熱

材料を、羽口先端に取り付けたもので、高融合金属をプラズマコーティングした、コーティング羽口もその内に含まれるが、コーティング材及び耐熱材料の初期剥離があり、直接の溶銹アタックを防止する効果は、あまり望めない。又羽口交換の時、扱え難く作業上も問題があるが、良い成果をあげている所もあり、今後の開発が注目される。

3) 冷却水量及び水圧の改善 54~56年(広畑)の平均羽口前水圧は、 $2.3 \text{ kg/cm}^2$ で、水量は  $210 \text{ l/min}$ であったが、54~56年ではそれぞれ  $5.8 \text{ kg/cm}^2$ 、 $410 \text{ l/min}$  (倍流速も含む) と上昇しており、冷却能力の向上が図られている。この為、羽口内での、おどみが減少し、又炉内圧より水圧を高くした事によって羽口の大破は減少してきた。

IV 高流速強冷羽口 :

1) 電熱によるバーンアウト実験、図-1に示したテストピース(銅パイプ)に電流を流し、冷却水流速を変化させながら、熱負荷とパイプ内流速の関係を実験した。(図-2) この結果、羽口内の水流速を高めれば、バーンアウト熱負荷は上昇し、羽口の溶積を少なくする事が出来る事が分った。又流速を20%以上に高めるとバーンアウト熱負荷は飽和して意味がないが、17~18%迄は、流速が大きい程、バーンアウト熱負荷は大きくなる。又通常の溶銹アタックに耐えるには  $1500 \sim 2000 \times 10^4 \text{ kcal/m}^2 \text{ hr}$  のバーンアウト熱負荷を考へれば良いから、羽口先端流速を20%程度にすれば破損は減少する事が分る。但し、羽口前における溶積に至る熱負荷条件(溶銹の接触の様相)が明確でないこと、気液混相の挙動が複雑である為、バーンアウト熱負荷の限界値は、かなり異なるっており、今後の実炉での実績を検討していく必要がある。

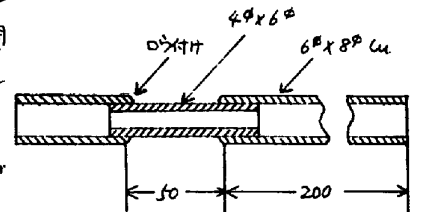


図-1 テストピース

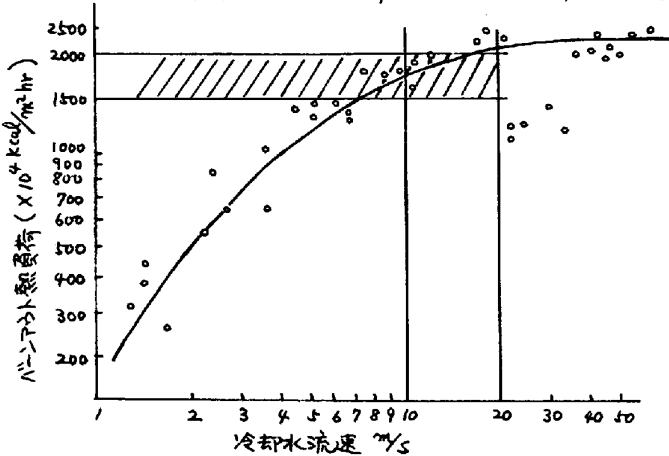


図-2 流速とバーンアウト熱負荷の関係

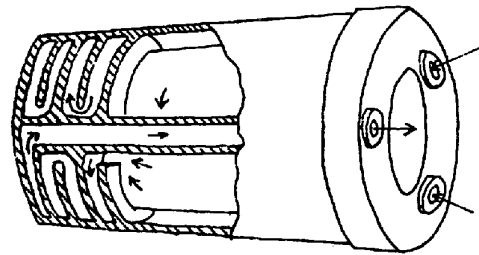


図-3. 高流速羽口の構造

2) 広畑 3BFでの使用実績 広畑で使用している羽口(図-3)は、黄流形で先端部水流 20%、それ以降 15%、10%、5%、と流速分布をもたせたものである。昭和54年12月8日に、11本の高流速羽口の使用を開始し、56年7月まで、高流速5本、普通羽口15本の破損を確認した。表-1に、この間の高流速羽口使用実績を示す。破損した高流速羽口は、製造欠陥(先端部20%の部分より)、排水側へ通じるシームスがあり、羽口圧損が上昇した事などで条件が一定しなかったが、普通羽口より破損しにくい事が分った。その後シームス修正羽口の使用を平行して行ない、予想通りの冷却効果を確認した。高流速羽口の破損は11本中の場合も小穴であり、熱負荷に強い事が分ったが、6ヶ月使用後の強冷羽口

を調べた所、外部先端の摩耗が激しく、羽口先端肉厚 20% の強冷羽口では、6~7ヶ月が寿命であると思われるが、先端肉厚を 25% に改善すれば、8~12ヶ月の耐用ができる見通しを得た。実施前に問題となっていた内部孔蝕については、現在のところ、切断観察で問題が少ない事が判明した。又高流速羽口では、羽口先端の圧力が  $2 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$  と存るので、破損時の炉内侵水が危惧されたが、破損穴が小さい事から炉内侵水も、気水程、多くない事が分った。しかし破損の早期検知法は、確立して置くべきであり、現在検討中である。

表-1 高流速羽口破損状況

	破損	定期取替	計
高流速羽口	5ヶ	6ヶ	11ヶ
その他羽口	15ヶ	15ヶ	30ヶ
計	20ヶ	31ヶ	41ヶ

▽ まとめ：羽口破損数は高炉によって非常に差があり、羽口破損の起りやすい高炉と、起りにくい高炉があるようだ、これは、高炉のプロフィールに起因するものか、操業によるものか明確ではないが、単に羽口側だけの要因(羽口種類 水量 等)のみでは無いと思われる。従来、羽口破損防止策として行なわれてのは主に羽口側の改善研究であり、一応の成果を収めつつある現在では、羽口外の状態に対する研究が、もっと進められて良いと思う。例へば レスウエイ形状、炉芯、湯溜利用率、炉内ガス分布等の羽口破損に及ぼす影響に着目し、解析を進める事によって羽口破損は防止出来るであろう。この様な見地から、羽口に於ける溶銹のまき込み現象の解析は非常に興味を引くものである。

参考文献

1) 鉄と鋼 52 (1971) 5201 三塚 森瀬 “羽口溶蝕機構に関する研究”