

討2 羽口溶損残構に關する実験と計算

住友金属 中央技術研究所 の松永省吾 山岡 弘
鹿島製鉄所 原田幸一

1. 緒言

高炉羽口の破壊は突発休風を生じさせ、生産に大きな影響を与える。とくに近年建設される高炉はいずれも大型であり、その損失も大きい。この防止対策については今日まで多くの研究¹⁾がなされてきたが今だ未解決の問題も多く残されている。そこで羽口の破壊防止対策を論ずる前に、現状羽口の破壊状況の把握および現状羽口において想定される熱的条件より位熱モデルを作成し、溶銑接触時の羽口の溶損残構について検討した。同時に模型羽口による溶銑流下実験を行ない、この実験結果と位熱数式モデルによるシミュレーションより熱位達係数を求め、羽口残構の相違、肉厚の差異などの影響について検討を加えた。

2. 当社における羽口破壊の状況

2-1 破壊原因

当社における最近2年間の羽口破壊の原因を表1に示す。各高炉により破壊原因にかなりの差があるが、全所の平均をとれば溶損による破壊が全体の80%を占める。

表 1 破壊原因 (%)

高炉No.	1	2	3	4	5	6	7	8	全所平均
期 間	'70.4 ~ '72.3	'70.7 ~ '72.3	'70.4 ~ '71.12	'70.4 ~ '72.3	'70.4 ~ '72.2	'70.9 ~ '72.2	'70.4 ~ '72.3	'71.1 ~ '72.3	
溶 損	85	39	92	77	59	100	97	100	80
摩 耗	15	53	5	16	31	0	3	0	15
龜 裂	0	8	3	7	10	0	0	0	5

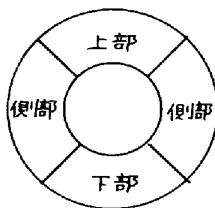
2-2 破壊位置

円周方向において上部43%、下部45%、側部12%と上、下部でほぼ同じ割合で起っている(他の例では下部が特に多いという報告がある¹⁾)。つぎに半径方向については外筒部が大半を占めており、溶銑にさらされる危険性が大のところ溶損されやすいということを示している。

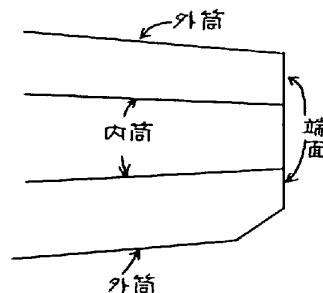
表 2 破壊位置 (%)

高炉No.	1	2	3	4	5	6	7	8	全所平均	
円周方向 ^{*1)}	上部	21	50	11	49	59	83	42	100	43
	側部	19	33	13	5	6	13	21	0	12
	下部	60	17	76	46	35	14	37	0	45
半径方向 ^{*2)}	外筒 ^{*3)}	70	44	83	85	67	46	42	100	73
	端面	17	44	14	8	14	46	38	0	17
	内筒 ^{*4)}	13	12	3	7	19	8	20	0	10

*1



*2



*3 — 端面外周部を含む

*4 — 端面内周部を含む

3. 模型羽口の溶銑流下実験

羽口の溶損状況の再現手段として模型羽口の溶銑流下実験を行なった。この実験は図1に示す現用羽口と類似の模型を製作して、その一部に一定条件の溶銑を流下せしめて、羽口の耐溶損性の検討を行なったものである。

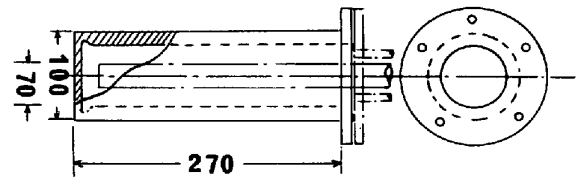


図1 模型羽口

3-1 実験方法

実験装置の概略を図2に示す。この装置は1次トラフ、2次トラフおよび模型羽口の支持部よりなっている。高周波で溶解した高炉銑20kgをストッパー付1次トラフに保持する。この溶銑はストッパーを開くことによって2次トラフへ注入され、このトラフの10mmφノズルを通過して一定流速の溶銑が模型羽口に流下する。一定時間溶銑を流下させた後、あるいは模型羽口が溶損すると、その時点で模型羽口を溶銑流から除去する。トラフ内の溶銑温度は1400℃であり、羽口厚みは15mmである。

3-2 実験結果

溶銑流下実験結果を表3に示す。現用羽口と同様の純銅では7.5秒の溶銑流の接触(約8kg)にて局部溶損を起しジャケット内の冷却水が噴出した。他の合金銅は純銅にくらべ溶損がはやく、溶損面積も広い。一方純銅で水冷を行わない場合には5.0秒と溶損が若干はよくなっている。

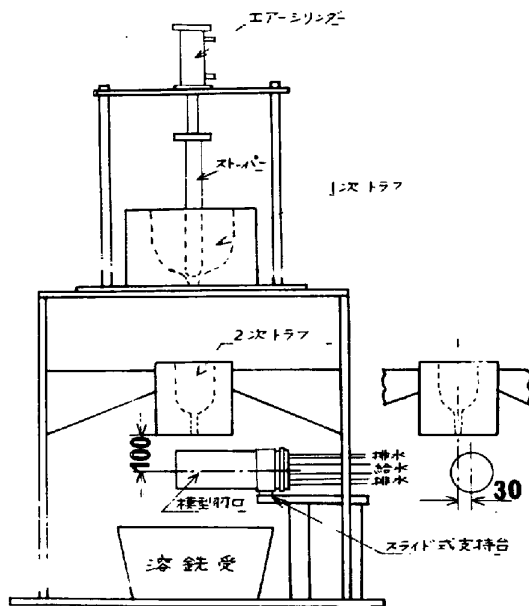


図2. 実験装置

表3 溶銑流下実験結果

羽口材質	水冷の有無	溶銑流下時間(sec)	溶損程度(mm)
純銅	無	5.0	30×50
〃	有	4.0	なし
〃	〃	6.0	〃
〃	〃	7.2	30×35
〃	〃	7.6	30×35
PBC (Sn 10%)	〃	4.0	50×60
BS (Zn 25%)	〃	3.0	50×60
Cu-Cr (Cr 0.5%)	〃	4.0	20×30
Cu-Cr-Zr (Cr, Zr 0.5%)	〃	4.0	40×60
SC 46	〃	6.0	20×40
SUS 27	〃	6.0	20×40

4. 羽口伝熱モデルの概要

解析はすべて一次元で行ない、次に示す2つの場合に分けて計算を実行した。

4-1 表面が溶融温度になるまでの解析

羽口表面が純銅の溶融温度(1083℃)になるまでは、図3に示すモデルIを用いた。

4-2 表面が溶融してからの解析

羽口表面が溶融してからは未溶融部分と溶銑との間に溶融した銅による境界層が出来るとして図4に示すモデルIIを用いた。

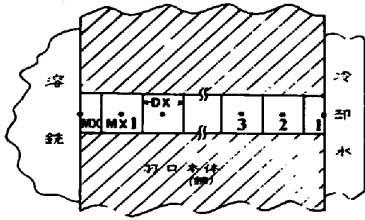


図3 モデルI

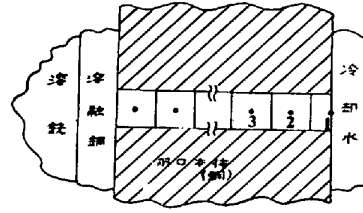


図4 モデルII

4-3 計算条件

羽口肉厚 15mm, 冷却水温度 25℃, 冷却水量 24 1/4, 溶鉄温度 1500℃, 純銅の溶融温度 1083℃, 純銅の潜熱 49 kcal/kg

5. 伝熱計算

5-1 熱伝達係数の決定

3節で述べた溶鉄流下実験のデータをもとに、伝熱シミュレーションを行ない各界面間の熱伝達係数を決定した。伝熱計算に用いた諸数値は表4のとおりである。表5には溶損終了までの時間について、本シミュレーション結果と溶鉄流下実験のデータを記載した。

表4 熱伝達係数

記号	界面間	熱伝達係数および熱通過係数
H1	溶鉄—銅	11000~19000 [kcal/m ² ・℃]
H2	冷却水—銅	1000~9000
H3	溶鉄—溶融銅—銅	30,000~200,000

表5 溶損開始, 終了時間

シミュレーション No.	熱伝達係数 [kcal/m ² ・℃]			溶損開始 時間(sec)	溶損終了 時間(sec)
	H1	H2	H3		
221	13,000	2,000	30,000	5.78	7.45
243	13,000	4,000	70,000	6.21	7.47
実験データ		13.6 1/min		約 6.00	7.40

5-2 羽口温度の経時変化

図5には羽口各点における温度の経時変化を示す。羽口表面温度が純銅の溶融温度になった時点を水冷ジェット内表面温度は850℃を示し、完全に膜沸騰の状態になっている。溶鉄に接触している羽口表面温度が1083℃になってから溶損が終了するまでは約1.5秒である。

5-3 溶損時間と冷却水側熱伝達係数

図6に溶鉄が接触し始めてから完全に溶損するまでの時間と熱伝達係数の関係を示している。熱伝達係数が大きくなるすなわち冷却水量が増加するにしたがって、表面が溶融温度になる時間は長くなり、冷却水の効果が明白に出てくるが、一度表面が溶融すると冷却水量の大小(熱伝達係数の大小)にかかわらずほぼ一定の時間で溶損してしまうことがわかる。

今回の計算より冷却水側の熱伝達係数が9000 kcal/m²・℃以上あれば溶損は起らないという結果が得られたので、この値を限界熱伝達係数と定義し、先端二重羽口について必要流速を算出してみた。文献²⁾

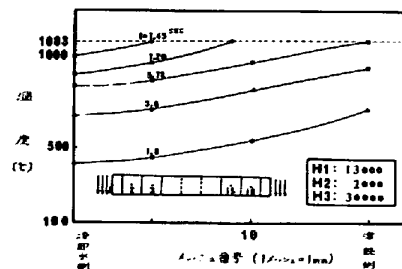


図5 羽口温度の経時変化

から流速とバーンアウト熱伝達係数との関係を導くと図7のようになる。常温の水($\Delta T_{sub}=60\sim 70\text{deg}$)の場合、9000以上の値を得るための必要流速は13 m/sであり、バーンアウト(溶損)を防ぐためにはこれ以上の流速を必要とする。

5-4 溶損時間と熱伝導率

図8に溶損時間と熱伝導率の関係を示す。熱伝導率が150~300と変化しているにもかかわらず、溶損時間はそれ程大きく変化しない。

5-5 溶損時間と肉厚

図9において明白のように肉厚が増すにしたがって、溶損の開始、進行および終了する時間がそれぞれ長くなり、溶損防止には出来るだけ厚くする事が望ましい。

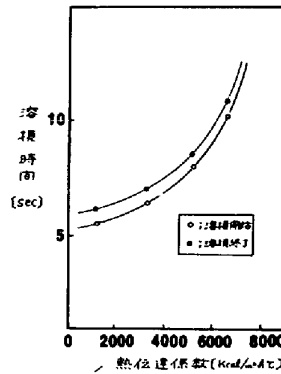


図6 溶損時間と熱伝達係数

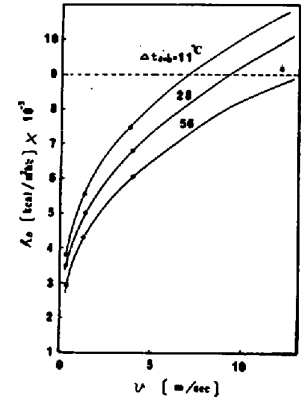


図7 バーンアウト熱伝達係数と流速

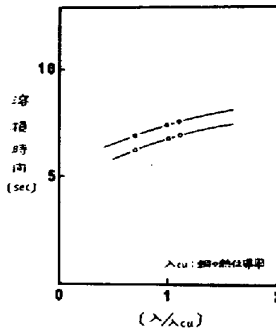


図8 溶損時間と熱伝導率

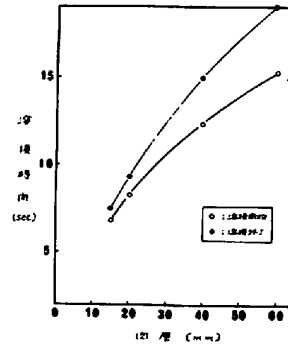


図9 溶損時間と肉厚

6. 結言

以上の検討結果により次のことがわかった。

1. 当社における羽口破損の80%程度は溶損であり、それは羽口先端上、下部に発生している。
2. 溶銑流下実験によって実際の羽口では約7.4秒で溶損すると推定された。
3. 溶損を防止するための冷却水の必要流速は13 m/s以上である。
4. 熱伝導率が少々よい銅を用いても溶損防止には効果が少ない。
5. 溶損防止には羽口肉厚を厚くすることが望ましい。

7. 文献

1. 三塚, 森瀬, 津田: 鉄と鋼, Vol.12, 1971
2. W.H. McAdams: Heat Transmission