

PS-2 高炉炉底部の溶銑自然対流の数学モデル化と炉底れんがの侵食予測

川崎製鉄 技術研究所

○ 吉川 文明

Mass. Inst. of Tech.

J. Szekely

1. 緒言 近年の高炉の大型化や操業条件の苛酷化に伴い炉底耐火物の損傷が激しくなり、その損耗は吹卸しの主要原因の一つとなつている。従来、炉底耐火物の侵食機構の定量的把握を目的としていくつかの数字モデル^{1), 2)}が提出されているが、これらのモデルは、最近しばしば観察される炉底コーナー部の異常侵食を説明することができない。本報告では乱流循環流モデルを自然対流により起こる炉底部の溶銑の流れに適用することにより、溶銑の速度分布と温度分布を正確に計算し、炉底の侵食現象の定量化を試みた。

2. 定式化 カーボンれんがによつて囲まれ、溶銑のみで満たされた軸対称円柱プール内の擬定常流れを仮定する。この溶銑プールの上面は水平な自由表面とし、レベルは一定で、出銑による流れやスラグ層の存在を無視する。プール上面の温度は一定既知、側面と底面からは冷却により熱が失われ、従つて生じる温度差による熱浮力によつて溶銑の流れが起こると仮定する。乱流粘度を $k-\epsilon$ モデルによつて表現する。以上の仮定のもとに次式が成立する。

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u \phi) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\rho r v \phi) - \frac{\partial}{\partial x}(\Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial x}) - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x}(r \Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial r}) = S_{\phi} \quad (1)$$

ここで、 x と r は座標軸、 u と v は x 、 r 軸方向の速度成分、 ρ は密度、 ϕ は従属変数 u 、 v 、 k (乱流エネルギー)、 ϵ (k の消散率) あるいは T (温度) を表わし、 Γ_{ϕ} と S_{ϕ} は変数 ϕ に対する交替係数とソース項である。ただし、 $\phi = 1$ の時、式(1)は連続の式となる。式(1)で表わされる5つの式を差分化し、連続の式を満足させながら同時に解く³⁾ ことによつて速度分布と温度分布が求められる。炉底と炉壁付近の流動と伝熱を表現するために「Wall-function」法³⁾ を採用し、炉壁冷却条件は実験値を使用した。炉壁付近の溶銑は冷却されてカーボンを析出しながら下降して行く。その溶銑流は炉底に衝突して温度が上昇し、その結果、カーボンれんがを溶解すると仮定する。カーボンの物質移動係数は溶解の実験式、あるいは熱と物質移動のアナロジーにより推定される。

3. 計算結果と考察 近年の大型高炉を対象とし、炉内径 1.46m、溶銑深さ 3.8m とした。図1に炉底部溶銑の速度分布を示す。炉壁付近に強い循環流が生じており、その最大流速は約 5cm/s である。温度分布は境界付近を除きほぼ一様になつている。図2に炉壁冷却が炉底侵食に及ぼす影響を示す。炉壁からの抜熱量が多い程、侵食量が大きくなつている。なお、予想最大侵食量と実測値の比較では予想量の方が数倍大きくなつており、これは侵食による炉形変化を無視したことによると考えられる。

4. 結言 高炉炉底の侵食を予測するため数字モデルを開発した。本モデルにより得られた炉底侵食形状は、最近の吹卸し高炉でしばしば見られるカーボン炉底コーナー部の異常侵食と少なくとも定性的に一致することがわかつた。

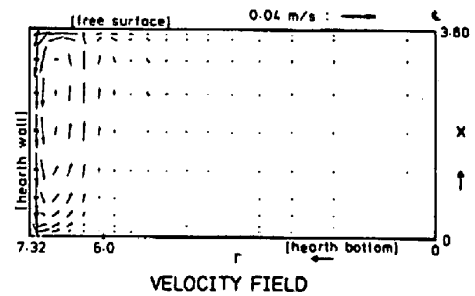


図1. 炉底部溶銑の速度分布

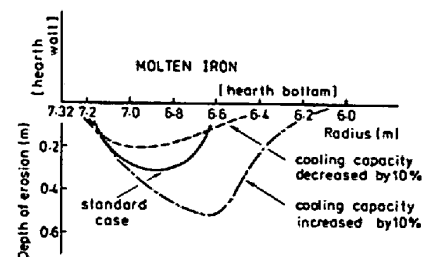


図2. 抜熱量を変化させた時の半年後の予想侵食量

文献 1) V. Paschkis and T. Mirsepassi: Iron and Steel Engineer, 31(1954)P. 53. 2) J. F. Elliott and J. Popper: B. F. Technology, Sci. and Practice(1971)P. 171. 3) W. M. Pun and D. B. Spalding: HTS/76 /2 Heat Transfer Section, Imperial College, London(1976).