

# 討 5

DH 吸上げ脱ガス法における脱酸について

八幡製鐵 八幡製鐵所 ○松田 亀松・田中英夫

## 1. 緒 言

真空脱ガス中の脱酸の進行についてはいくつかの理論的な考察がなされているが、実際の脱ガス結果と対応させて考察された報告は非常に少ない。

実際の脱ガスの過程が非常に複雑であるため、多くの仮定のもとで現象を説明せざるを得ないので、理論的な追求の結果が実際の脱ガス設備および操業面に十分活用されていないのが現状である。

DH 吸上げ脱ガス法についてみると、次のような十分には握されていない要素がある。

- (1) 溶鋼の真空容器内の動き
- (2) 真空容器内の気泡の発生状況、それを支配する要因
- (3) 取鍋内スラグおよび耐火物から溶鋼に供給される酸素量

今回は(3)にあげた脱ガス中の取鍋スラグおよび耐火物から溶鋼への酸素の供給について実験結果をもとにして考察を行なってみた。

## 2 DH 吸上げ脱ガス法における脱酸

脱酸の進行については二、三の仮定のもとに次のような速度論的な考察がすでになされている。

DH 法は取鍋内の溶鋼の一部 ( $m$ ) を真空容器に吸上げ、脱ガスされた鋼を取鍋内に排出することをくりかえしながら取鍋内の溶鋼を逐次脱ガスしていくものであるが、この脱酸の過程は次のような仮定に基づいて近似的に説明できる。

- 1) 真空容器内の溶鋼の脱酸速度は次式によつて示される。<sup>(1)</sup>

$$\frac{d[O]}{dt} = \frac{K' A}{m} ([O] \cdot [O] - K \cdot P_{CO}) \quad \text{----- 1}$$

$K'$ ; 速度係数       $K$ ; CO 平衡定数       $P_{CO}$ ; 真空容器内の CO 分圧 (atm)

$t$ ; 時間 (sec)       $A$ ; 真空容器内のガス、メタル接触表面積 (cm<sup>2</sup>)

$[O]$ ; 時間  $t$  における炭素含有量 (%)

$[O]$ ; 時間  $t$  における酸素含有量 (%)

- 2) 真空容器内の溶鋼は次第に吸上げられ次いで排出されるのであるが、その脱ガス反応は吸上げ上限量  $m$  が下に示した  $\bar{t}$  時間保たれる場合と近似的に等しい。

$$\bar{t} = \frac{1}{m} \int_0^t m dt \quad \text{----- 2}$$

また、溶鋼は近似的に sine 曲線に沿つて出入するものとする。

- 3) スラグおよび耐火物の影響はないものとする。
- 4) 取鍋内の溶鋼は各回の昇降毎に十分かくはんされ、成分は均一になるものとする。

このような仮定のもとで、また炭素含有量が 0.1% 以上で脱ガス中の  $[O]$  の変化が少なく、ほぼ一定とみなせる場合には、 $n$  回の昇降をくりかえした後の取鍋内の  $[O]$  は次式で示される。

$$[O]_n = [O]_{n-1} - \frac{m}{M} [O]_{n-1} \left( 1 - e^{-\frac{K' A [O]}{m} \bar{t}} \right) \quad \text{----- 3}$$

$$[O]_{n-1}' = \frac{m [O]_{n-1} + N \cdot [O]_{n-2}' e^{-\frac{K' A [O]}{m} \bar{t}}}{m + N}$$

$(O)_n^i$  ;  $n$  回目の脱ガス始の真空容器内の溶鋼の酸素含有量(%)

$M$  ; 取鍋受鋼量(t)

$N$  ; 真空容器および吸上管内に残留した脱ガスされた鋼の量(t)

実際の脱ガスにおいては反応表面積は変動し、は握することが困難であるが、脱ガス結果から  $K' A$  の値を求めることができる。DH法では真空容器底部の水平断面積( $a$ )に対する反応表面積の比  $f = A/a$  と  $K'$  との積  $K' f$  を便宜上の速度係数として実際の脱ガス結果を解析して求め、この値を用いて種々の場合の脱ガスの進行を推定し、操業上に役立てている。図1に25 ton DH設備による脱酸結果から求めた  $K' f$  の値を示した。<sup>(2)</sup>

O含有量により大幅に変動しているが、真空容器内の溶鋼の沸とうの程度により  $f$  の値が変化した結果であると推測している。

この表面積は真空容器内の脱水素、O O反応によつても変ると考えられるので、脱ガスの初期と末期では異なつた値をとるものと考えられる。図2に70 ton DH設備によりO含有量0.15~0.24%の溶鋼を脱ガスした場合の  $K' f$  (g) の値の変化を示した。

図1において  $K' f$  の値が相当広い範囲にわたつて分散しているのは、真空容器内の耐火物表面状況によつて変ると考えられ、脱ガス初期の溶鋼の沸とう状況、取鍋内スラグの影響の程度がそれぞれ異なつていたことによるものと考えられる。

### 3. スラグおよび耐火物からの酸素の供給

O含有量0.15~0.25%、Mn含有量0.50~0.60%、Siは全く添加しない溶鋼を脱ガスした38 heatの例について、脱ガス中にスラグから溶鋼に供給された酸素量を求めてみた。溶鋼は70 ton 転炉で溶製し、出鋼時にFe-Mnを添加した。脱ガス開始後2~4回の昇降を行なつて取鍋内成分を均一にした後、および真空容器内の溶鋼に合金を添加する直前に取鍋からメタル試料を採取し、この間の脱酸について考察した。脱ガス前にスラグ厚さを測定し、また脱ガスの前後に取鍋からスラグ試料を採取して、スラグの量および組成の変化を調査した。表1に38 heatの平均の鋼およびスラグの成分組成の変化を示した。

この38 heatの平均値について鋼およびスラグの酸素バランスを調べた結果は次の通りであつた。

$$\text{鋼の酸素減少量 } \Delta O_1 = 1.2 \times 10^{-3} \% \times 75,450 \text{ kg} = 9.1 \text{ kg}$$

表1 脱ガス前後の鋼およびスラグの成分組成の変化

|      | 鋼の成分(%) |        |         | スラグの成分(%) |      |                                |       |                  |                                |       |
|------|---------|--------|---------|-----------|------|--------------------------------|-------|------------------|--------------------------------|-------|
|      | C       | Mn     | O       | T.Fe      | FeO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO   |
| 脱ガス前 | 0.199   | 0.564  | 0.0185  | 8.16      | 8.09 | 2.63                           | 51.34 | 19.41            | 2.67                           | 7.43  |
| 脱ガス後 | *0.185  | *0.547 | *0.0065 | 5.16      | 5.16 | 1.49                           | 42.27 | 26.50            | 5.11                           | 8.75  |
| 前後の差 | 0.014   | 0.017  | 0.0120  | 3.00      | 2.93 | 1.14                           | 9.07  | -7.09            | -2.44                          | -1.32 |

\* 合金添加前の成分(%)

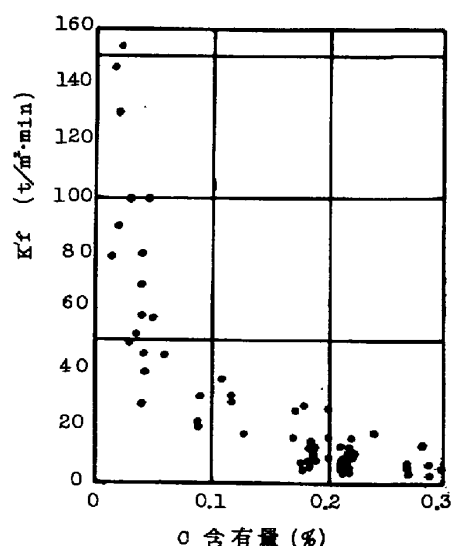


図1  $K' f$  に対するO含有量の影響

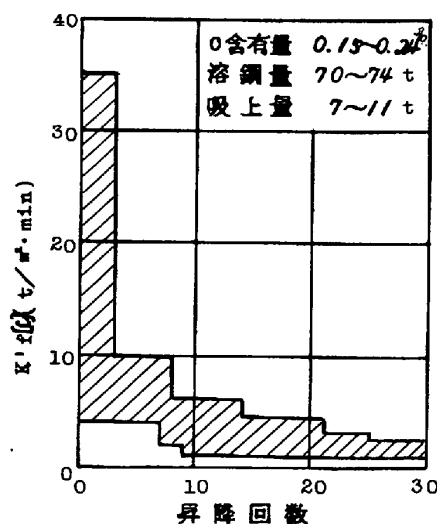


図2 中炭素鋼の脱ガス中の  $K' f$  (g) の変化

$$\text{脱炭に要した酸素量 } \Delta O_2 = \frac{16}{12} \cdot \Delta C = \frac{16}{12} \times 1.4 \times 10^{-2} \% \times 75,450 \text{ kg} = 14.1 \text{ kg}$$

この結果からスラグおよび耐火物からの酸素供給量は

$$\Delta O_2 - \Delta O_1 = 5.0 \text{ kg}$$

スラグは脱ガス中に取鍋耐火物の溶損によつて増量する。脱ガス前後のスラグ中の  $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  および  $\text{SiO}_2$  の変化から、脱ガス前のスラグ量は平均 1,509 kg、後は 1,752 kg であり、耐火物溶損量は 243 kg であることがわかった。この値を用いてスラグ中の  $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  および  $\text{MnO}$  の変化量から脱ガス処理中に鋼に供給された酸素量  $\Delta O_{\text{slag}}$ 、 $\Delta O_{\text{MnO}}$  を求めた結果、

$$\Delta O_{\text{slag}} = 15.9 \text{ kg} \quad \Delta O_{\text{MnO}} = -9.3 \text{ kg}$$

酸素の拡散速度および Mn の酸化速度はスラグ中の  $\text{FeO}$  濃度に比例するものと仮定して合金添加直前における  $\Delta O_{\text{slag}}$  および  $\Delta O_{\text{MnO}}$  を求めると

$$\Delta O_{\text{slag}} = 9.9 \text{ kg} \quad \Delta O_{\text{MnO}} = -4.8 \text{ kg}$$

$$\text{スラグから溶鋼に供給された酸素量 } \Delta O_{\text{slag}} + \Delta O_{\text{MnO}} = 9.9 \text{ kg} - 4.8 \text{ kg} = 5.1 \text{ kg}$$

これは溶鋼の酸素収支から求めた値にほぼ一致している。従つて、この結果から溶鋼に供給される酸素はスラグからのものであり、耐火物から供給される酸素量は非常に少ないものと推察される。

#### 4. 脱酸の進行におよぼすスラグの影響

スラグからの酸素の供給量がわかつたので、この値を用いて再び DH 処理における脱酸の進行について考えてみる。スラグからの酸素の供給はスラグ中の  $\text{FeO}$  濃度および鋼の酸素含有量の函数を考え、次式によるものと仮定すると

$$\frac{d O_{\text{slag}}}{dt} = K^I A^I (O_{\text{slag}} - K^{III} [O]) \quad \text{----- 4}$$

$K^I$ ; スラグからの酸素の供給速度係数

$K^{III}$ ;  $\text{Fe}-\text{O}$  反応の平衡定数

$A^I$ ; 取鍋内スラグ-メタル接触面積

$O_{\text{slag}}$ ;  $\text{FeO}$  中の酸素含有量

また3式は次のようになる。

$$[O]_n = [O]_{n-1} - \frac{m}{M} [O]_{n-1} \left( 1 - e^{-\frac{K^I A^I}{m} [O]_{n-1} t} \right) + \frac{S_{n-1}}{M} K^I A^I (O_{\text{slag}_{n-1}} - K^{III} [O]_{n-1}) \cdot t \quad \text{----- 5}$$

$$[O]_{n-1}^I = \frac{m [O]_{n-1} + N \cdot [O]_{n-2}^I \cdot e^{-\frac{K^I A^I [O]_{n-1}}{m} t}}{m + N}$$

$O_{\text{slag}_n}$ ; n 回目の脱ガス始の  $\text{FeO}$  中の酸素含有量(%)

$t$ ; 1 回の脱ガスに要する時間 (sec)

$S_n$ ; n 回目の脱ガス始の取鍋内スラグ量(t)

$K^I$  は酸素拡散量が 5 kg と推定されているので、この値を用いると

$$K^I = 5.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$$

これらの値を用いて 38 heat の実際の脱ガス結果と一致するような脱ガス経過を計算により求めた結果を図 3 に示した。

この結果は slag の影響のない場合は DH 脱ガス法における脱酸速度が非常に早いことおよびスラグの

影響が著しいものであることを示している。

### 5. 結 論

DH吸上げ脱ガス法における脱酸の進行過程の理論的な解析は現象が複雑であり正確には行ない難いが、いくつかの仮定のもとに行なうことによつて実際の結果にかなり近いものが得られるまでになつた。しかし、取鍋内スラグおよび耐火物の影響については不明の点が多かつたので、 $C$  0.15~0.25%、Mn 0.50~0.60%の38 Heatの同種の溶鋼の脱ガス結果、スラグの量、組成の変化を調べた結果Mnは減圧下の処理で蒸発により失われると考えていたが、Mn 0.5%の場合は多くのMnは酸化されてスラグに移行することおよび鋼の脱酸におよぼすスラグの影響は非常に大きいので、今後更に真空脱ガスによる脱酸を進めるためにはスラグから溶鋼への酸素の拡散を少なくするための対策が必要であることがわかつた。

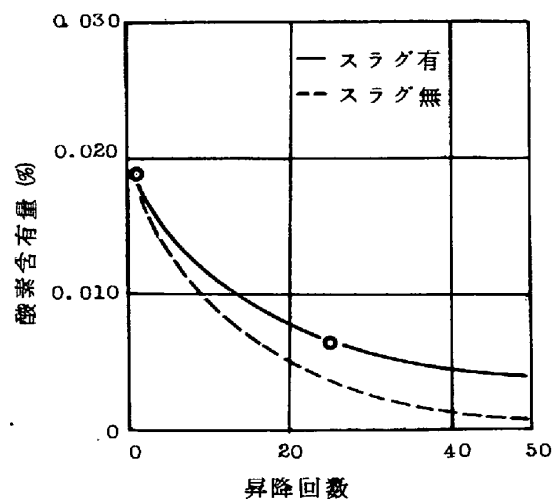


図3 中炭素鋼の脱ガス経過

### 文 献

- (1) H. Schenck : Einführung in die physikalische Chemie der Eisenhüttenprozesse  
P. Vallet : Stahl u. Eisen 76 (1956) S.1049
- (2) T. Kato & K. Matsuda : Transactions of 6th Vacuum Metallurgy Conference  
(1963) P. 328/344