

より約 100°C 低い実測値を得ている。

脱ガス中は溶鋼が真空容器にくりかえし出入するため取鍋内のスラグ面は絶えず昇降し、攪拌されているので溶鋼と大きな温度差がないものと考えている。

【質問】 早大理工 工博 加藤栄一

これは日本鋼管の大久保氏の述べられたことに関連するのであるが、大久保氏は真空による脱酸の1つの機構として酸化物の直接の蒸発の可能性のあるのではないかと話されたが、ロシアの SAMARIN 博士もそのような可能性のあることを言っておられる。私もこの現象に興味を持ち、質量分析計を用いて、溶鉄からの酸化物の蒸発についての実験を一度試みたが、成功しなかつた。現場においてこのような機構によつて脱酸が行なわれていることを示唆するような現象があつたらお教え願いたい。

【回答】

DH脱ガスにおける真空容器内の圧力は 0.1 mmHg 以上で、かなり高い圧力で脱酸が進行する。一方酸化物の蒸気圧は比較的に低いので C-O 反応による脱酸速度に比し非常に遅いのではないかと考えている。しかし完全脱酸鋼で脱酸生成物が SiO₂ が主体である場合には SiO₂ あるいは、その分解が無視できない程度に起こりうることも考えられるが、現場的には把握するに至っていない。いずれにしても完全脱酸鋼の処理の場合は真空容器内溶鋼表面への酸化物の浮上が必要である。

講演：溶鋼の流滴脱ガス造塊における脱水素機構*

日鋼室蘭 理博 前川 静弥
理博 中川 義隆
福本 勝・谷口 晃造

【質問】 住金中研 赤松経一

脱酸鋼と未脱酸鋼の真空処理で、脱水素効果を比較すると、未脱酸鋼処理のほうが脱水素効果が大であるといわれ、貴論文の趣旨のごとく、脱水素の機構に C-O 反応に伴う CO ガス気泡の発生とその気泡への水素の放出を考慮する必要があると考える。

完全脱酸鋼の場合は、真空処理時に CO ガス気泡の発生がないとはいえないが、つぎに述べるような考え方で流滴からの拡散放出にもとづく脱水素機構が説明できないだろうか。

貴論文中の(3)、(6)式は固体球ないしは粒内に循環運動のない流体球の物質収支にもとづいたものであり、 t に流滴の落下時間を入れて計算されている。流滴内の溶鋼循環速度を知ることができないので、定性的な話になるが、(6)式中の t に落下時間を取らず、表面更新時間すなわち接触時間を採用すると、貴計算より大きい径でも十分脱水素される可能性があることになる。

すなわち、流滴表面の単位面積、単位時間当たり放出される水素のモル数を $N_{\text{Flux}_i} = -D \cdot \partial C_i / \partial r / r = a$ (a : 流滴半径とすると、(3)式

$$C(r, s) = \frac{2}{ar} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \exp \left(-\frac{n^2 D \pi^2}{a^2} \cdot t \right) \right.$$

$$\left. \cdot \sin \frac{n \pi}{a} r \int_0^a \xi \cdot f(\xi) \cdot \sin \frac{n \pi}{a} \xi \cdot d \xi \right\}$$

から、 $\frac{\partial C_i}{\partial r}$ は t が小となればなるほど大となり、それにつれて N_{Flux_i} も大となる。一方流滴について物質収支をとると、

$$\frac{4}{3} \pi a^3 \{C_i + dC_i\} = N_{\text{Flux}_i} \cdot \pi a^2 \cdot d\theta_i$$

(θ_i : 落下時間)

$$\therefore \frac{dC_i}{d\theta_i} = -\frac{3}{4a} N_{\text{Flux}_i}$$

流滴の落下時間を n 分割して、積分すると、

$$C_{i+1} = C_i - \frac{3}{4a} N_{\text{Flux}_i} (\theta_{i+1} - \theta_i)$$

初期条件: $\theta_i = \theta_0 = 0$, $C_i = C_0$

これらを逐次計算すると、

$$C_n = C_0 - \frac{3}{4a} N_{\text{Flux}_i} \cdot \theta_n \quad (N_{\text{Flux}_{\text{mean}}}: \text{平均 Flux})$$

上に述べたごとく、接触時間 t が落下時間よりも非常に小さい値であれば、 $N_{\text{Flux}_{\text{mean}}}$ は大となり、 C_n は小となるので、貴計算にもとづくよりも大きな粒径でも脱水素される可能性があることになる。

【回答】

ご指摘のごとく筆者らの計算は、流滴を剛体球と考えその内部における溶鋼の動きを考慮せずに行なつております。流滴内の溶鋼が循環していれば当然その内部の濃度分布も変化し、したがつて落下時間よりは表面更新時間を考えるべきことは、お説のとおりと考える。また御指摘のような計算を行なうことは可能であろうが、その際、最初に流滴内溶鋼の循環速度を正確に把握しないと計算結果を正しく評価することができなくなる可能性がある。しかしながら、実際現象として流滴内の溶鋼が動いていることは予想されるところであるから、筆者らの計算結果よりも放出水素量が多くなる可能性があることはご指摘のとおりと考える。

筆者らの計算は、最も簡単なモデルについて行なつたものである。

【コメント】 東大工 吉沢昭宣・佐野信雄

LEVICH の与えた流滴の対流拡散の計算結果を今、対象としている系に単純に適用することは不適當であるが滴内部の運動が残存していると考え、その平均速度を U とすると、少なくともオーダーの問題としては次式が成立するとしてよいと思う。すなわち単位時間内の物質移動量を I とすれば

$$I \approx \frac{D(C_0 - C_1) 4 \pi a^2}{\sqrt{Da/v}} = N_{Pe}^{1/2} 4 \pi a D (C_0 - C_1)$$

D は水素の溶鉄中の拡散係数、 a は滴半径、 C_1 は滴表面の水素濃度、 C_0 は滴内の水素濃度、 N_{Pe} は Peclet 数したがつて t 秒間で滴内の平均濃度が $x C_0$ まで下がるとすれば

$$\frac{4}{3} \pi a^3 (1-x) C_0 \approx N_{Pe}^{1/2} \cdot 4 \pi a D (C_0 - C_1) t$$

$$\therefore N_{Pe}^{1/2} \approx \frac{(1-x)}{3} \frac{C_0}{C_0 - C_1} \cdot \frac{a^2}{D t}$$

ここで $N_{Pe} = Ua/D$ より

* 鉄と鋼: 55 (1969) 3, S 329~332

$$U \cong \frac{(1-x)^2}{9} \cdot \left(\frac{C_0}{C_0 - C_1} \right)^2 \cdot \frac{a^3}{Dt^2}$$

これは $D = 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$, $t = 0.3 \text{ sec}$, $x = 0.5$, $C_1 = 0$ を代入すると

$$U \cong 300a^3 [\text{cm}/\text{sec}]$$

少し大き目に見積もつてオーダーとして $U \cong (10a)^3$ と考えてよいだろう。

もちろんこの速度は不明ですが、液滴の初期落下速度で近似すれば $U = 830 \text{ cm}/\text{sec}$ になり、 a (半径) が 1 cm のオーダーで 50% 脱水素できることになる。

以上の議論は決して定量的に正確なものではないが対流拡散、すなわち滴内の流動によつて、脱ガス現象を説明し得る余地は残つているといえる。むしろ流滴脱ガス法において滴内部の運動が全くないと考えるのは不自然ではないだろうか。

滴内での気泡の発生は十分考えられるが、以上のようなアプローチでも実際の脱ガス速度の説明が不可能ではない点を指摘した。

講演：環流脱ガス法における脱水素

富士広畑 工博 浅野鋼一・佐伯 毅

【コメント】 東大工 吉沢昭宣・工博 佐野信雄

1. 基礎式導出 ((1)~(13)) において、表面張力による気泡内圧力の項を無視しておられるが、 $\sigma = 1200 \text{ dyne/cm}$ とすれば、 $r_0 = 0.5 \text{ cm}$ として $2\sigma/r = 4.74 \times 10^{-3} \text{ atm}$ に達し P_0 と同程度以上の大きさになる。したがつて P_0 を無視しないのなら、この項も無視できないのではないだろうか。

2. 式(15)において「計算を簡単にするために」計算結果を単に α 倍するということが行なわれている。またこれから「真空槽内部で除去される水素量と上昇管においてアルゴンガスを核として除去される水素量とはほぼ等量である」との結論が導かれているが、これは問題があるように思われる。というのは単に定数倍しただけであるから、たとえば k_j を定数倍してみた場合の結果と同じ程度の意味しかないはずで、(1)~(3)のような粗い仮定から出た結果をそのまま実際と比較して、不一致の分は真空槽内部での脱ガスと結論するのは早計と思う。また当然のことながら α はあらゆる実験変数の複雑な関数となるはずで、図8に示されたようなチェックから真空槽内部における脱水素機構の性格を論ずるのは行き過ぎかと思う。ただし真空槽内での脱水素が $[H]^{1.77}$ に比例するという実験結果がこの計算とは独立に存在するのであれば結構である。

【回答】

1. 気泡に加わる圧力は真空槽内部の圧力 P_0 、溶鋼静圧 P_{Fe} 、表面張力 $2\sigma/r$ の和として表わされるが、上昇管の位置によつて圧力が異なってくるから気泡の大きさもまた異なってくる。したがつて、上昇管内における気泡の位置と圧力の関係を示すと次のようになる。

H (cm)	r (cm)	P_0 (atm)	P_{Fe} (atm)	$2\sigma/r$ (atm)	$P_0 + P_{Fe} + 2\sigma/r$ (atm)
130	0.5	0.001	0.85	0.0048	0.856
100	0.54	0.001	0.69	0.0045	0.696
50	0.68	0.001	0.34	0.0035	0.345
10	1.15	0.001	0.07	0.0021	0.073
1	3.26	0.001	0.01	0.0007	0.012

(145 cm = 1 atm) ($\sigma = 1200 \text{ dyne/cm}$)

この表から気泡に加わる圧力は実質上 $P_0 + P_{Fe}$ としても、 $2\sigma/r$ が小さいので $P_0 + P_{Fe} + 2\sigma/r$ とほとんど同じになる。

P_0 の値は、この表では 0.001 atm としているが実際操業においては操業時の諸条件によつて $0.1 \sim 0.001 \text{ atm}$ で操業することがあるので無視できない。

2. ご指摘のように α は実験変数の複雑な関数になるので本報告に述べたような簡単な取り扱いでは非常に多くの問題があることは十分考えられる。しかしながら単一気泡モデルから計算した値と実測値とを比較して α というパラメーターを導入したわけで、もし α の値が $1 \sim 10$ 程度でなく極端に大きい、また極端に小さい場合にはこのような計算を行なつてもあまり意味がなくなることになる。しかしながら α の値として $1 \sim 10$ 程度の値が得られているので環流脱ガス法の脱ガス現象を論ずる上での1つの目安として単一気泡モデルによる計算結果を用いようと考えると、真空槽内の脱ガス量と上昇管内の脱ガス量を分離するための実験方法もある程度見出すことができたのである。

しかしながら本質的には気泡による脱ガスと真空槽内部での脱ガスとは、それぞれに影響をおよぼす要因も異なるので両者はそれぞれ独立して別個に解析し、それを総合して最終的に脱ガス現象を論ずるほうがより正確な考察ができると考えられる。現在真空槽内部での脱ガス状況を解析するための実験に着手しており今後に残された問題と考える。

【質問】 鋼管技研 大久保益太

われわれは R-H 脱ガス法に関する操業経験がないので明らかでないが、図6に関連しておうかがいたい。

1. (15)式から α をパラメーターとして求められた計算値と実測値を対応して、 $\alpha = 2$ とよく一致しているとされているが、図によれば 5 min 以前については必ずしも一致しているとは考え難い。すなわち、5 min 以内では α は時間に対し次第に減少するという結果のように思われる。

われわれは低炭素鋼を D-H 処理した場合の脱炭経過について取鍋内溶鋼は常に完全混合されるという仮定のもとに計算した結果、脱ガス開始後 4 min 程度までは実測値との対応が異なるという経験を持つており、この理由として処理開始直後では完全混合という条件から大きくはずれた遷移状態にあるのではないかと考えている。

図6における 5 min 以内の状態も同様な現象ではないかと考えられるが、R-H においては処理開始後 α が次第に変化するという何か特別の理由があるのだろうか。

2. 本文では初期溶鋼水素量 5 ppm の場合について

* 鉄と鋼: 55 (1965) 3, S 333~336