

(73) 攪拌された取鍋内溶鋼の強制脱酸速度について

川崎製鉄 技術研究所 工博・中西恭二

1. 緒言 Al, Si などによる溶鋼の強制脱酸速度に関しては, 実験室的に行なわれた数多の研究があり, 脱酸速度を律するいくつかの機構が提案されている。たとえば浮上分離機構, 耐火物またはスラグ層への吸収分離機構, あるいは脱酸生成物の凝集成長を考慮した上でのこれらの分離機構などである。

現場操業においても, Al, Si などによる取鍋内溶鋼の脱酸速度が, 鋼浴の攪拌により著しく加速されることはよく知られているが, 得られた脱酸速度を上述の各種機構にあてはめて, 定量的に解析した例はきわめて少ない。

そこで著者は, 現場操業における脱酸速度を上述の脱酸機構により定量的に検討し, 今後発展の可能性のある新しい脱酸モデルに言及した。

2. Al による脱酸速度の実測値 溶鋼中の O 濃度は, 脱酸剤添加直後数分間の急速脱酸時期を除けば, (1) 式にしたかうことか知られている。 $C = C_0 \exp(-k_t t) \dots\dots (1)$ ここに C_0 は定数, t は脱酸剤添加後の経過時間 (min), C は時刻 t の O 濃度および k_t は脱酸速度定数である。

表 1 には Al による脱酸速度の実測値に (1) 式を適用して求めた脱酸速度定数 k_t の数例を示した。いま仮に脱酸反応が器壁-溶鋼間あるいはスラグ-溶鋼間の界面で進行するものとして, 単位界面積当り, 溶鋼単位体積当りの脱酸速度定数 k_t^* を (2) 式より求め, これらの値を表 1 に示した。

$$k_t^* = e R k_t / 2(e + R) \dots\dots (2) \quad \text{ここに } e \text{ は溶鋼深さ, } R \text{ は取鍋内半径である。}$$

3. 脱酸速度の理論式 脱酸生成物の核生成と拡散成長は終了し, 溶解 O 濃度は熱力学的平衡値に到達した時を速度式の出発点とする。半径が $r \sim r + dr$ の範囲にある脱酸生成物の溶鋼 1 cc 当りの数を $f(r) dr$ で定義する。いま脱酸速度を与える理論式を, 実験室的に得られた上述の機構にしたかって導く。すなわち $f(r) dr$ は脱酸生成物個の衝突に伴う凝集成長により, 絶えずその値を変えるものとする。一方脱酸生成物の分離機構として浮上分離と耐火物への吸収分離が同時に進行するものとする。この時 $f(r)$ の変化は (3) 式と (4) 式により与えられる。

$$\begin{aligned} \frac{df(r)}{dt} &= \frac{\pi}{2} \int_0^r f(r_1) f(r_2) \frac{r^2}{r_2^2} (r_1 + r_2)^3 \left\{ k_s / |r_1 - r_2| + \frac{4}{3} v \left(\frac{5}{e} + \sqrt{\frac{v}{ve}} \right) \right\} dr_1 \\ &\quad - \pi f(r) \int_0^\infty f(r_1) (r_1 + r)^3 \left\{ k_s / |r_1 - r| + \frac{4}{3} v \left(\frac{5}{e} + \sqrt{\frac{v}{ve}} \right) \right\} dr_1 \\ &\quad - f(r) \left\{ \frac{k_s}{e} r^2 + \left(\frac{1}{e} + \frac{1}{R} \right) \sqrt{\frac{4Ev}{\pi(e+R)}} \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$r_1^3 + r_2^3 = r^3 \quad (4)$$

ここに, k_s は $2g\Delta\rho/\eta$ と書き, g は重力加速度, $\Delta\rho$ は溶鋼と脱酸生成物の密度差, η は溶鋼の粘性係数である, v は溶鋼の線速度, E は溶鋼の乱流拡散係数, ν は溶鋼の動粘度である。

(3) 式右辺の第3項は容器寸法またはRを分母に含む。したがって(3)式の変形により得られた脱酸速度式は形式的に界面反応のそれと一致する。ところが表1より明らかのように、 k の値は実験スケールの違いによらず、約0.1 min⁻¹とはほぼ等しいオーダーにあるのに対して、 k^* の値は例えば100tのAr攪拌取鍋と20kg高周波炉を比較すれば、前者は後者より約30倍も大きい。この事実は界面反応式で記述される脱酸機構では実験室と現場の脱酸速度を統一的に説明することが、はたはた困難であることを示唆している。一方 k の値が実験スケールの違いにそれほど大きく依存しないことは、脱酸速度の理論式が体積反応を主体として組み立てられるべきことを意味している。

体積反応の最も簡単なモデルは、脱酸生成物の半径に臨界最大半径 r_c が存在し、凝集によりこれより大なる半径となった脱酸生成物は、すべて系外へ分離されるとする場合である。この時の $f(r)$ の r の変化は(4)、(5)および(6)式から決まる。

$$\frac{df(r)}{dt} = \frac{1}{2} \int_0^r f(r_1) f(r_2) \frac{r^2}{r_2^2} W(r_1, r_2) dr_1 - f(r) \int_0^{(r^3-r_c^3)^{1/3}} f(r_1) W(r_1, r) dr_1 - f(r) \int_{(r^3-r_c^3)^{1/3}}^r f(r') W(r, r') dr' \quad (5)$$

$$W(r_1, r_2) = (r_1 + r_2)^3 \left\{ k_s / r_1 - r_2 \right\} + \frac{4}{3} |grad V| \quad (6)$$

ここに、 $grad V$ は溶鋼中の速度勾配であり、溶鋼の運動エネルギー密度の消滅速度を E (erg/cm³ sec) とすれば $|grad V| = \sqrt{E/\nu\rho}$ で与えられる。

図2はASEA-SKF炉における実測脱酸曲線と E をパラメータとした理論脱酸曲線と比較して示したものである。理論と実験の一致はまた十分とはいえないが、脱酸速度に体積反応を導入することにより、実験室と現場の脱酸速度を統一的に論じられることは興味深い。

表1 脱酸速度の実測例

測定者	川 鉄		日本鋼管	
	ASEA SKF	小型高周波	Ar底吹取鍋	小型高周波
ヒートサイズ	50t	20Kg	100t	5Kg
周波数(Hz)	1.4	3600	—	30000
k (min ⁻¹)	0.242	0.092	0.102	0.430
k^* (min ⁻¹)	0.083	0.0015	0.042	0.0068
(Al sol) (%)	0.030	0.050	0.030	0.10
取鍋耐火物	マグクロ	マグネシ	?	マグネシ
参考文献			1	2

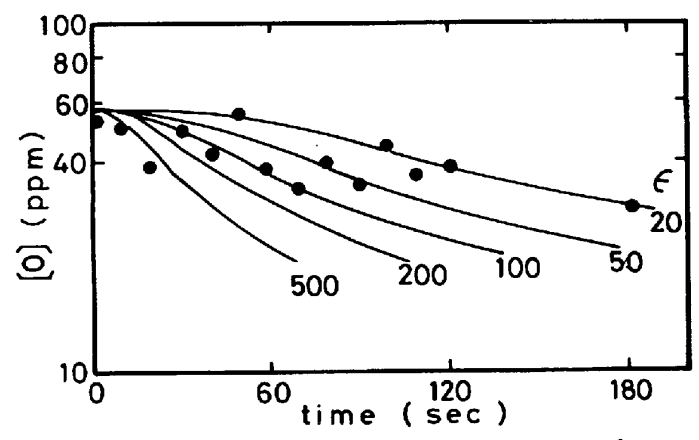


図1 ASEA-SKF炉内の脱酸曲線

- (1) 川和, 根本, 佐藤 ; 鉄と鋼, 57 (1971), S. 688.
- (2) 川和, 大久保 ; " , 53 (1957), P. 601.