

討15 各種溶鋼処理プロセスにおける混合およびスラゲーメタル間物質移動

(株)神戸製鋼所 中央研究所。小川兼広 伊東修三 尾上俊雄

開発企画部 牧野武久 成田貴一

1. 緒言

近年、鋼材品質の高級化あるいは製品の多用化、さらにコストダウンの要求に応えるべく、種々の炉外精錬プロセスが開発・実用化され、その処理量も一段と増大している。これらを効率的におこなうためには、目的に応じた適切な単位プロセスを選定し、それらを合理的に組み合わせることにより体系化する必要がある。そこで本報では各種炉外精錬プロセスの操業の適正化をはかることを目的として、ガスバブリング法、ASEA-SKF法および粉末インジェクション法を対象に混合特性とスラゲーメタル間物質移動特性を定量的に評価した。

2. 実験装置および方法

(1) 混合特性

ガスバブリング法およびASEA-SKF法を対象に均一混合時間を測定した。水モデル実験に関しては、30φ×25cmおよび47φ×45cmのアクリル製容器を用い、KCl水溶液をトレーサーとした。なおASEA-SKF法の流動は、小型水中ポンプにより吐出方向上向きを正転、下向きを逆転として与えた。さらに実操業実験では、85tonの溶鋼についてCuをトレーサーとして求めた。

(2) スラゲーメタル間物質移動特性

ガスバブリング法、ASEA-SKF法および粉末インジェクション法を対象とし、水モデル実験によりメタル側およびスラグ側物質移動係数を求めた。なおトレーサーとして、メタル側物質移動にはKCl被覆発泡スチロール粉末あるいは安息香酸被覆発泡アルミナ粉末を、またスラグ側物質移動には安息香酸飽和ケロシン溶液を使用した。各所定量のトレーサーをインジェクションあるいは水面に添加し水中の濃度変化から、(1)~(2)式を用い各物質移動係数を算出した。

$$\text{メタル側物質移動: } -\frac{dC_m}{dt} = k_m \frac{A}{V} (C_i - C_m) \quad (1)$$

$$\text{スラグ側物質移動: } -\frac{dC_m}{dt} = K \frac{A}{V} (H \cdot C_s - C_m), \quad 1/K = H/k_s + 1/k_m \quad (2)$$

3. 結果および考察

(1) 攪拌動力値の推算

ガスバブリング法および粉末インジェクション法の攪拌動力値は Sundberg¹⁾の式から、またASEA-SKF法については(3)~(4)式よりそれぞれ求めた。

$$\dot{\epsilon} = 3.9 \times 10^{-8} d o^2 \rho_l \dot{V}^3 / M_l \quad (\text{水モデル実験}) \quad (3)$$

$$\dot{\epsilon} = 1.2 \times 10^{-3} d^2 \rho_l \ell_h^{3/2} / M_l \quad (\text{実操業実験}) \quad (4)$$

(2) 混合特性

水モデル実験および実操業実験より得られた均一混合時間を攪拌動力値を含むパラメータ $\dot{\epsilon} V^{-2/3}$ で整理し、その結果を Fig. 1 に示す。水モデル実験と実操業実験の結果はほぼ一致しており、さらに同一の攪拌動力値でも攪拌方式により混合特性が異なっている。すなわちガスバブリング法のほうがASEA-SKF法より混合時間は長い、ASEA-SKF法では正転と逆転の差が認められ

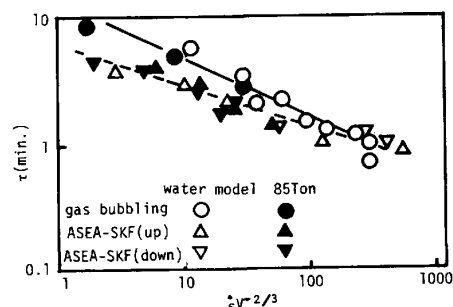


Fig. 1 Relation between τ and $\dot{\epsilon} V^{-2/3}$

なかった。この原因としておもに液流速分布の違いにあると考え、熱線流速計を用いそれらの分布を測定した。結果の1例を Fig. 2 に示した。ガスバブリング法では気泡周辺および液表面域でとくに流速が速いが、系全体では不均一な流れであるのに対し、ASEA-SKF 法では系全体に比較的均一な流動状況を示しているため、優れた混合特性が得られたものと考えられる。

(3) スラグ-メタル間物質移動特性

- (i) 物質移動係数におよぼす拡散係数および攪拌力の影響

物質移動係数は浸透モデルより次式で表わされる。

$$k \propto (D/t_\theta)^{1/2} \quad (5)$$

t_θ は容器内の液の循環時間 (t_c) に比例すると考えられる。いっぽう t_c は一般に(6)式で表わされる。

$$t_c = \tau/3 \quad (6)$$

さらに τ は $\dot{\epsilon}V^{-2/3}$ で整理できるので k は次式により表わすことができる。

$$k/\sqrt{D} \propto (\dot{\epsilon}V^{-2/3})^f \quad (7)$$

したがって以後の解析には(7)式の関係を用いて攪拌方式の比較を行なった。

- (ii) スラグ-メタル間界面積の推算

(1), (2)式より物質移動係数を算出する場合、スラグ-メタル間界面積を知る必要がある。水モデル実験では実測により求めたが、実操業では推算式を使用した。Fig. 3 において、

$$\text{スラグが広がる力} \propto \rho_s g (h - h) \quad (8)$$

$$\text{これに対する抵抗力} \propto \rho_l U_s^2 C_D \quad (9)$$

であり、 U_s は熱線流速計による水モデル実験および 85 ton ASEA-SKF を用いて CaO 粒子をトレーサーとして実測した液の表面流速であり、(10)式で表わされる。

$$U_s \propto (\dot{\epsilon} \cdot d)^m \quad (10)$$

これらの関係式より導出されるパラメータを用い、水モデル実験および実操業実験(ASEA-SKF 法のみ)より実測した A'/A について重回帰分析を行なった結果は(11), (12)式で表わされ、以後の解析にはこれらの関係式を用いた。

$$A'/A \propto A^{-0.14} (\rho_s h / \rho_l)^{0.26} \dot{\epsilon}^{-0.19} \quad (\text{ガスバブリング}) \quad (11)$$

$$A'/A \propto A^{-0.07} (\rho_s h / \rho_l)^{0.05} \dot{\epsilon}^{-0.08} \quad (\text{ASEA-SKF}) \quad (12)$$

- (iii) メタル側およびスラグ側物質移動係数

メタル側物質移動係数については、Fig. 4 に各プロセスにおける水モデル実験結果を、また Fig. 5 には脱硫速度を基にした実操業結果を $\dot{\epsilon}V^{-2/3}$ に対してそれぞれ示したが、水モデル実験と実操業結果とはほぼ対応している。いっぽう同一攪拌動力値に対してみると、

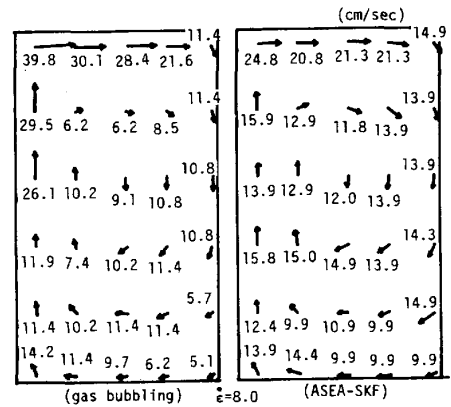


Fig. 2 Velocity distribution (30x25 cm)

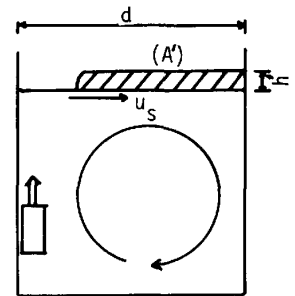


Fig. 3 Schematic diagram for estimation of slag-metal interfacial area

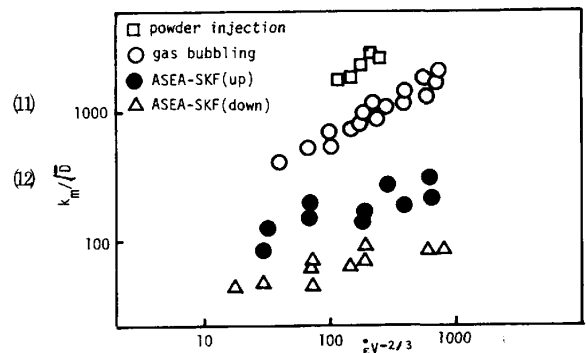


Fig. 4 Relation between km/\sqrt{D} and $\dot{\epsilon}V^{-2/3}$ (water model experiment)

攪拌方式によりメタル側物質移動係数は異なっており、粉末インジェクション法>ガスバブリング法>正転ASEA-SKF法>逆転ASEA-SKF法の順となった。さらにFig.6には水モデル実験結果より得られたスラグ側物質移動係数を、 $\dot{\epsilon} \propto \dot{\epsilon}_s$ として $\dot{\epsilon} V_s^{-2/3}$ に対して示したが、メタル側物質移動係数と同様に同一攪拌動力値について攪拌プロセスにより異なり、ガスバブリング法>正転ASEA-SKF法>逆転ASEA-SKF法の順となった。このように攪拌方式によるスラグ-メタル間物質移動特性の差は、界面での流動状態に関係があるものと考え、熱線流速計を用いて液表面での流速および乱流変動速度分布を各プロセスについて測定した。Fig.7には平均流速とメタル側物質移動係数の関係を、さらにFig.8には平均乱流変動速度とメタル側物質移動係数の関係をそれぞれ示した。これより平均乱流変動速度を用いることにより攪拌方式に関係なく物質移動係数が整理できる。すなわちスラグ-メタル間物質移動係数は乱流変動速度によって支配され、同一攪拌動力値でもガスバブリング法のほうがASEA-SKF法より界面での乱流変動速度が大きく、物質移動係数も大きくなったものと思われる。

4. 結 言

ガスバブリング法、ASEA-SKF法および粉末インジェクション法を対象に、混合特性・スラグ-メタル間物質移動特性を定量的に評価した。同一攪拌動力値でも攪拌方式により精錬挙動は異なっており、混合特性については液の流速分布が系全体で均一な流れになるような攪拌方式が、またスラグ-メタル間物質移動特性については、界面での乱流変動速度を大きくする攪拌プロセスが望ましい。

(記号) k_m, k_s :メタル側・スラグ側物質移動係数、 K :総括物質移動係数、 C_i :界面飽和濃度、 H :分配比、 d_o :ポンプ吐出径、 V :液吐出速度、 M_l :液重量、 d :取鍋直径、 θ_h :盛り上がり高さ、 ρ_l :液密度、 $\dot{\epsilon}$:攪拌動力値、 V :液容積、 τ :均一混合時間、 ρ_s :スラグ密度、 U_s :液表面流速、 C_D :抵抗係数、 $A = \pi d^2/4$ 、 A' :スラグ-メタル間界面積 (参考文献)

- 1) Y.Sundberg: Scan. J. of Met, 7(1978), B81
- 2) 森、佐野: 鉄と鋼, 67(1981), P.672
- 3) 佐野、森: 鉄と鋼, 68(1982), P.2451

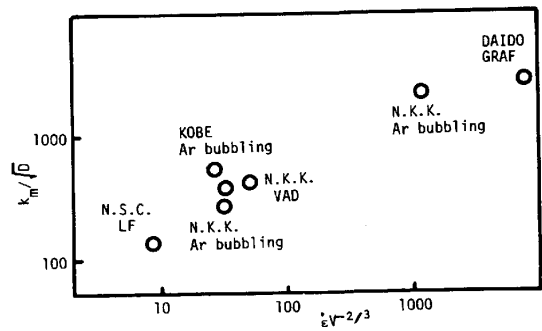


Fig. 5 Relation between k_m/\sqrt{D} and $\dot{\epsilon} V^{-2/3}$

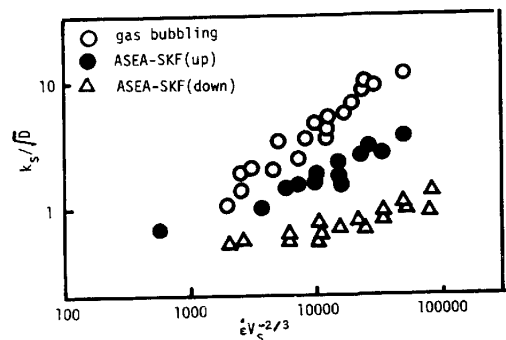


Fig. 6 Relation between k_s/\sqrt{D} and $\dot{\epsilon} V_s^{-2/3}$ (water model experiment)

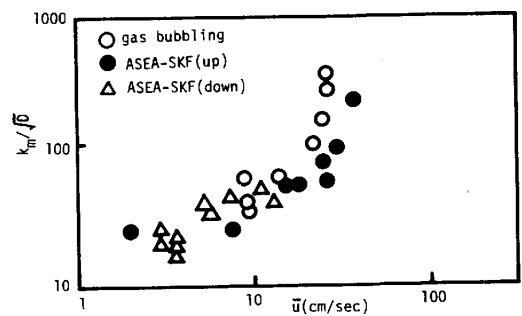


Fig. 7 Influence of \bar{u} on k_m/\sqrt{D} ($30\phi \times 25\text{cm}$)

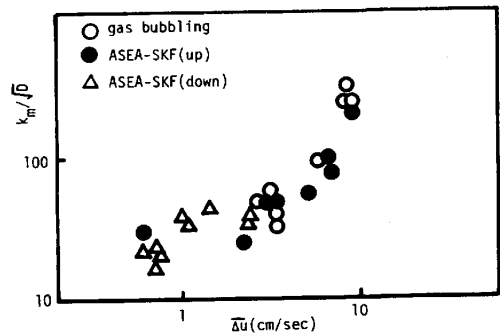


Fig. 8 Influence of $\Delta \bar{u}$ on k_m/\sqrt{D} ($30\phi \times 25\text{cm}$)