

討14 取鋼精錬特性とその活用

㈸神戸製鋼所 神戸製鉄所 大西稔泰 高木彌 若杉勇 片桐行雄 ○青木松秀
中央研究所 松本洋 小川兼広

1. 緒言 当製鉄所では、冷間圧造用鋼、機械構造用低合金鋼、バネ用鋼、溶接棒用低合金鋼などの条用特殊鋼を製造している。近年、需要家からの鋼材に対する要求は、ますます厳しく、且つ多様化してきている。これらのユーザーニーズに対応する手段として、取鋼精錬の果たす役割は、きわめて大きくなってきている。当所では、リレードル—ASEA・SKF—KATプロセスを採用し、各種精錬機能を組合せ、品質向上および製造鋼種の拡大を図っている。このプロセスは、アーク加熱による熱補償能力が高いので、転炉の出鋼条件の緩和ができる。また、転炉と連鑄間での適切なマッチング機能を果している。以下に、この精錬特性とその活用状況について報告する。

2. 神戸製鉄所における取鋼精錬とその機能

当所における取鋼精錬装置と、その精錬目的を、Table 1に、また、その精錬機能と活用内容を、Fig. 1に示す。リレードル方式の採用による酸化性転炉スラッグの分離、ASEA・SKFによる、アーク加熱・真空処理・溶鋼攪拌、KAT方式による粉体吹込処理などの精錬機能を有している。

これらの精錬機能の活用内容を大別すると次のとおりである。
① 鑄造温度の安定化、連鑄工程へのマッチングおよび、溶鋼の清浄化による鋼材特性の向上、ノズル詰りの低減による連鑄操業の安定化。
② 転炉熱負荷の軽減、高級鋼の連鑄化、狭成分コントロール技術の活用による同一タンディッシュでの類似異鋼種多連鑄化などによる製造コストの低減。
③ 成分調整能力の増大と清浄化技術の向上による合金鋼、狭ジョミニー鋼、低歪鋼などの製造鋼種の拡大。

Table 1. Purposes of ladle refining

Purposes of ladle refining	Reladle + ASEA-SKF	KAT*		DH
		Injection	Ar bubbling	
Dehydrogenation	◎	X	X	◎
Decrease of inclusions	◎	○	○	○
Shape control of inclusions	X	◎	X	X
Desulphurization	○	◎	○	X
Addition of special elements (Pb, Ca)	X	◎	X	X
Unifying of temperature for molten steel	◎	○	◎	◎
Heating of molten steel	◎	X	X	X

*Kobe Argon Treatment

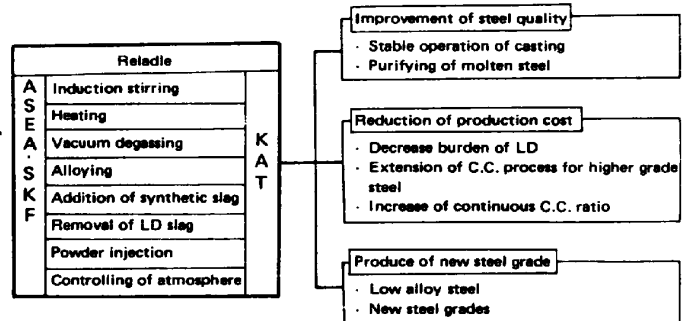


Fig. 1 Functions of ladle refining process and its applications

3. 取鋼精錬特性と活用例

(1) 溶鋼攪拌特性

ASEA・SKFプロセスの混合攪拌特性をArバブリングおよびDHと比較するため、Cu添加実験によって求めた均一混合時間と $\dot{\epsilon}$ との関係をFig. 2に示す。これよりASEA・SKFでは約2分で溶鋼を均一に混合することができ、攪拌方向による混合時間の差は認められなかった。なおDHについては、 $\dot{\epsilon}$ が小さいにもかかわらず均一混合時間は短かく、混合特性についてはすぐれた攪拌方式であると考えられる。

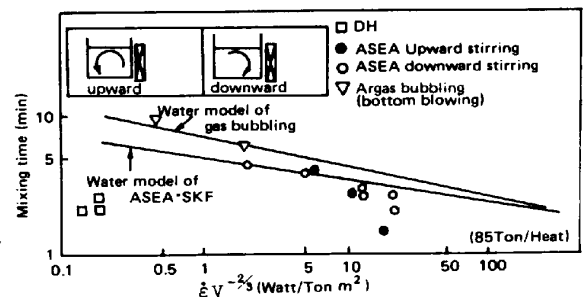


Fig. 2 Relation between mixing time and modified stirring density

Fig. 3は、FeCr, FeMnおよびSiMnを添加した時の溶解均一化速度を示したもので、均一化時間は、合金の添加量および溶鋼の加熱度の影響を大きくうけることがわかる。

Fig. 4に、石灰粒子をトレーサーとし、高速撮影により求めた溶鋼の表面流速と $\dot{\epsilon}$ との関係を示したが、上向き攪拌は、下向き攪拌に比較して、表面流速が大きく、したがって、溶鋼表面の更新率も大きいので、脱ガスには上向き攪拌が有利である。なお、本報告において攪拌動力値としては、各々次式より求めた。

(ARバブリング¹⁾)

$$\dot{\epsilon} = \frac{0.0062QT_L}{M_L} \{ \ell_n(1+0.000968r_LZ) + (1-T_0/T_1) \} \dots (1)$$

Q: ガス流量 (ℓ/分)、 T_L : 溶鋼温度 (°K)、 T_0 : 吹込ガス温度 (°K)、Z: 浸漬深さ (cm)、 r_L : 溶鋼比重 (g/cm³)

(ASEA・SKF)

$$\dot{\epsilon} = 0.0012d^2 r_L h^{3/2} / M_L \quad h = 316 \sqrt{\frac{\mu}{\rho f} \cdot \frac{P}{S} \cdot \frac{1}{r_L}} \dots (2)$$

d: 取鍋直径 (cm)、h: もり上り高さ (cm)、 μ : 透磁率

ρ : 固有抵抗 (Ω-cm)、f: 周波数 (Hz)、S: 溶鋼外周面積 (cm²)、P: 供給電力 (kW)

(DH²⁾)

$$\dot{\epsilon} = 0.00835 v^2 \cdot m \cdot n / M_L \dots (3)$$

v: 平均吐出速度 (m/sec)、m: 1回当たり吸上量 (kg)

n: 1分間当り昇降回数

(2)脱酸挙動

ASEA・SKFにおける、Al脱酸時の脱酸曲線の1例を、Fig. 5に示したが、5分の攪拌で酸素値は20ppm前後まで低下し、10~15分で約10ppmに達する。脱酸速度は、ほぼ(4)式の一次式で整理できるが、

$$\frac{-d[O]}{dt} = K([O] - [O]_{\infty}) \dots (4)$$

[O]: 酸素量 [O]_∞: 到達酸素量

$\dot{\epsilon}$ の大きいほど脱酸速度は速く、速度定数KをFig. 6のように $\dot{\epsilon}$ で整理できる。これより同一 $\dot{\epsilon}$ 値でも下向き攪拌の場合およびARバブリングの脱酸速度は遅い。これは溶鋼のフローパターンの違いが一つの要因と考えられる。

つぎに、各プロセスにより製造した鋼片におけるT・[O]濃度をFig. 7に示す。転炉-ARバブリング工程、転炉-DH工程では、転炉スラグ流出量の影響が大きく、スラグによる溶鋼再酸化が生じ、低炭素鋼ほど、T・[O]濃度は高くなったと考えられる。一方、リレードル-ASEA・SKFプロセスにおいては、低炭素鋼についても、T・[O]濃度は、低位安

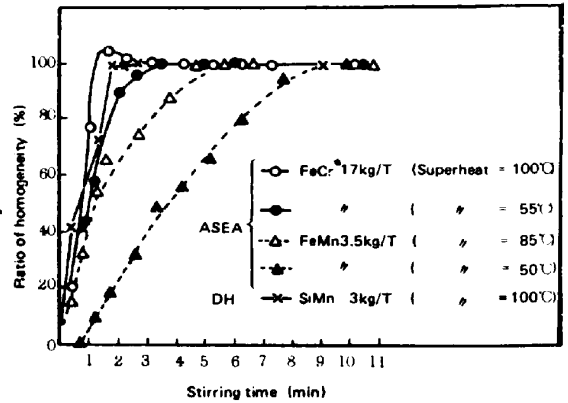


Fig. 3 Homogenizing rate of Ferro-alloy

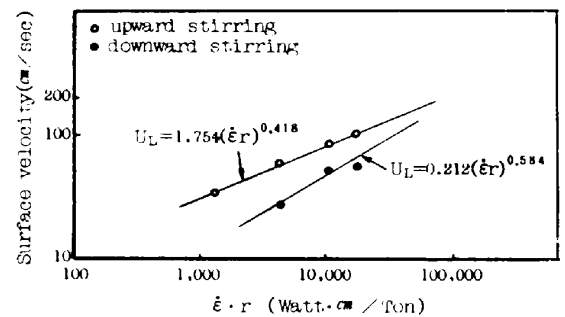


Fig. 4 Relation between surface velocity and modified stirring density

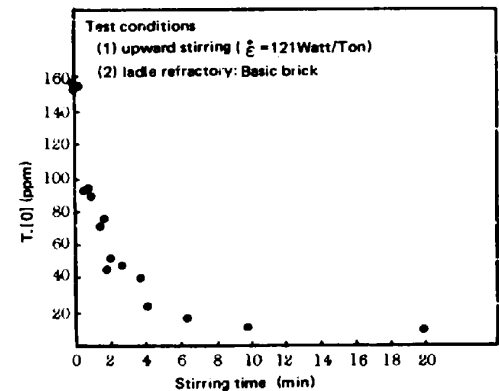


Fig. 5 Effect of stirring time on aluminum deoxidation rate

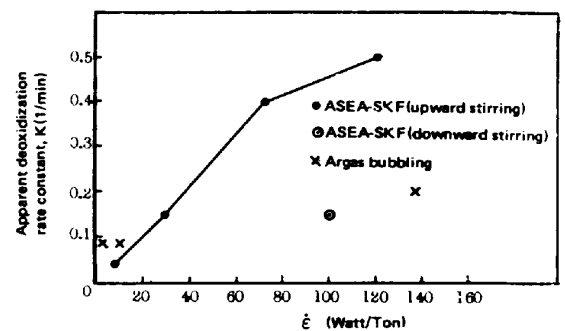


Fig. 6 Relation between K and $\dot{\epsilon}$

定しており、取鍋レンガにハイアルミナレンガを使用した場合で、約13ppmのレベルが、また塩基性レンガを使用した場合で約9ppmのレベルが得られている。また、転炉スラグの流出量が少なく、スラグによる再酸化の問題とならない高炭素鋼について、DH—造塊工程とASEA・SKF—造塊工程で、Si—Mn—Al脱酸鋼の大型介在物を酸溶解法により評価した。この結果をFig. 8に示す。ASEA・SKFの方が30μ以上の大型介在物が少ないことが判明した。

(3) [H]の挙動

ASEA・SKFにおいて、真空処理時の攪拌方法は、表面流速の速い上向き攪拌を実施している。この時の[H]の挙動をFig. 9に示す。セミキルド状態で真空処理をするほうが、脱[H]速度は良好であり³⁾また、アーク加熱時の[H]ピックアップは、少ないので、真空処理を最初におこなってから、アーク加熱をしたほうが、加熱時の最高温度を低くでき、温度適中率も向上する。この結果、取鍋スラグライン耐火物の寿命向上、電力原単位の低減ができた。

(4) [N]の挙動

低[N]鋼を製造する場合は、取鍋内未脱酸出鋼を実施しており、転炉出鋼〜リレードルでの[N]ピックアップは、5ppm以下と安定している。製品での[N]レベルは、30ppm以下に安定しており、ボロン鋼の焼入性安定化などに適用している。この時の[N]の挙動をFig. 10に示す。[N]添加鋼では、ASEA・SKFでの処理中迅速分析と[N]添加技術により、目標に対し、狭範囲にコントロールを実施している。(Fig. 11)

(5) 低P鋼

低P鋼を溶製する場合、取鍋内未脱酸出鋼と出鋼脱リンおよびスラグカット(リレードル法)を組合せている。この結果、

[P] ≤ 0.010%の溶接棒用低合金鋼や高炭素鋼の溶製に適用している。

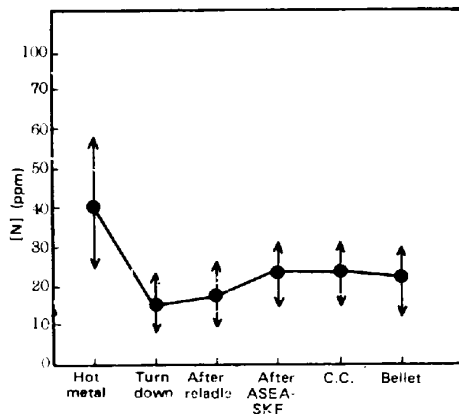


Fig. 10 Change of nitrogen content

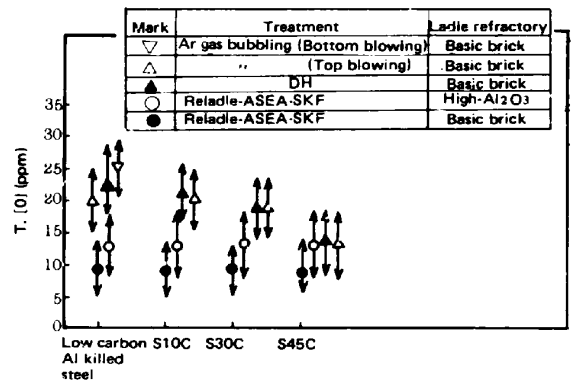


Fig. 7 Total oxygen content (Billet)

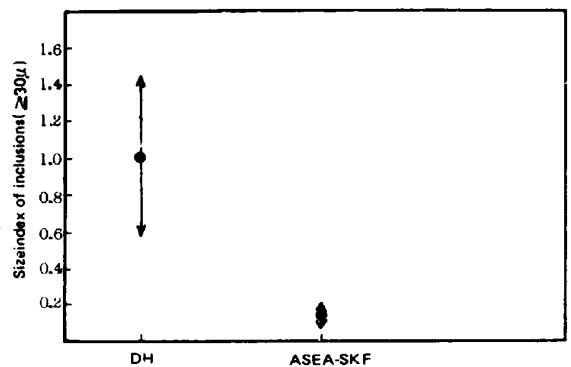


Fig. 8 Cleanliness (Wire Rod)

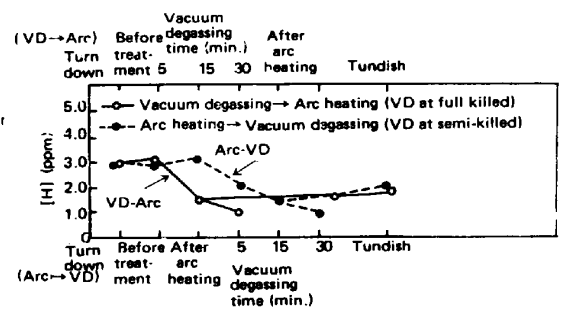


Fig. 9 Change of hydrogen content

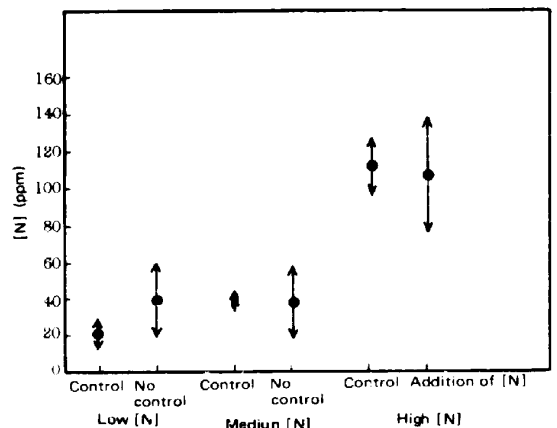


Fig. 11 Effect of nitrogen control

(6)低S鋼

低S鋼を溶製する場合、Caインジェクションが有効であり、 $[S] \leq 0.002\%$ の溶製が可能である。硫化物は、圧延時非延性のCaSとなり、延性MnSはほとんど観察されない。また、酸化物は $CaO / (SiO_2 + Al_2O_3)$ (ただし、 $SiO_2 \leq 10\%$)で定義されるスラグ塩基度と相関が認められる。(Fig.12) 高塩基度スラグで、クラスター状のCaO-CaSに、低塩基度スラグで、粒状のCaO-Al₂O₃-CaSになる。

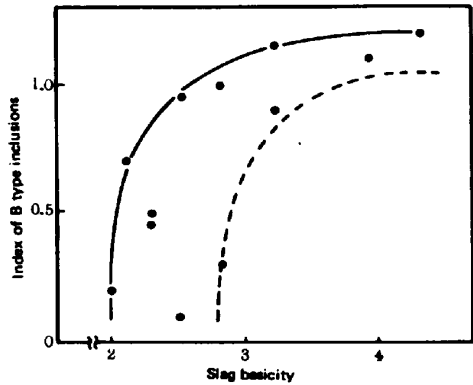


Fig. 12 Relation between B type inclusions in ASTM and slag basicity/

(7)狭成分コントロール

加熱装置を備えており、均一混合時間も速いので、2回成分調整が可能であり、さらにサンプリングと分析方法の改善を行い、狭成分コントロールを実施している。狭成分コントロール実績をFig.13に示す。⁴⁾ 狭成分コントロール技術の活用により、類似異鋼種多連鑄が可能となり、タンディッシュ当りのチャージ数を増やして、歩留向上、原単位の低減に寄与している。この実施例をTable 2に示す。

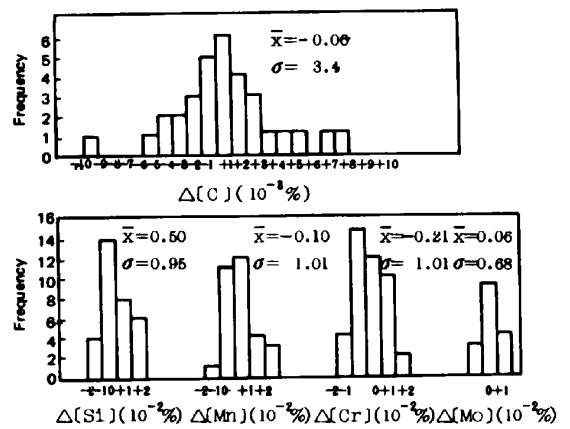


Fig. 13 Deviation of elements

4. 結言

リレードル-ASEA-SKF-KATプロセスの採用により、条用特殊鋼の品質を向上させ、連鑄適用鋼種の拡大を図るとともに、転炉～連鑄間のバッファ機能を十分に果し、所期の効果をあげている。今後は、溶銑予備処理技術等の、新製鋼プロセスと組合せ、さらに極低不純物鋼の溶製を進めていきたい。

Table 2. An example of continuous CC of similar steel grades

	Steel grade	Ladle Analysis (%)				Spec. (JIS) (%)			
		C	Si	Mn	Cr	C	Si	Mn	Cr
1st heat	S38C	0.37	0.25	0.75	0.03	0.32/0.38	0.15/0.35	0.60/0.90	/0.20
2nd heat	S38C	0.38	0.24	0.76	0.02	0.35/0.41	0.15/0.35	0.60/0.90	/0.20
3rd heat	S38C	0.40	0.26	0.75	0.02	0.35/0.41	0.15/0.35	0.60/0.90	/0.20
4th heat	S40C	0.41	0.25	0.76	0.02	0.37/0.43	0.15/0.35	0.60/0.90	/0.20
5th heat	S43C	0.42	0.25	0.74	0.02	0.40/0.46	0.15/0.35	0.60/0.90	/0.20
6th heat	S45C	0.44	0.26	0.76	0.02	0.42/0.48	0.15/0.35	0.60/0.90	/0.20

参考文献

- 1) Y. Sundberg : Scand. J. Met , 7(1978)P. 81
- 2) 第54, 55回西山記念講座 P. 76
- 3) 大西ら ; 鉄と鋼 68(1982), 8866
- 4) 若杉ら ; 神戸製鋼技報 31 (No. 4)(1981)P. 10