

討12 転炉製鋼法での低合金鋼溶製技術

㈱神戸製鋼所 神戸製鉄所 大西稔泰 高木 彌 猪飼善弘
 勝田順一郎 ○青木松秀

1. 緒言 当製鉄所では、肌焼鋼・強靱鋼・バネ鋼・溶接棒用鋼など、条用の低合金鋼を製造している。これらの品質に対して焼入性の安定化、介在物の微細化、不純成分の低減など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。これらのニーズに対応するため、転炉 - A S E A - S K F - K A T - 連铸プロセスを採用している。以下にこのプロセスを活用した低合金鋼溶製技術について報告する。

2. 製造プロセス

低合金鋼の製造プロセスをFig.1に、主な仕様をTable 1に示す。このプロセスの特徴は以下の通りである。

- ① 転炉吹止温度の低減による吹止 P レベルの低減と出鋼脱 P の実施
- ② リレードル法による取鍋内酸化性転炉スラグと出鋼脱 P スラグの完全除去。
- ③ 溶鋼の精錬としてアークによる溶鋼加熱装置、真空処理装置、溶鋼攪拌のためのインダクションスターラー、K A T 粉体吹込装置の設置
- ④ 偏析や介在物を減少させるための铸造技術。

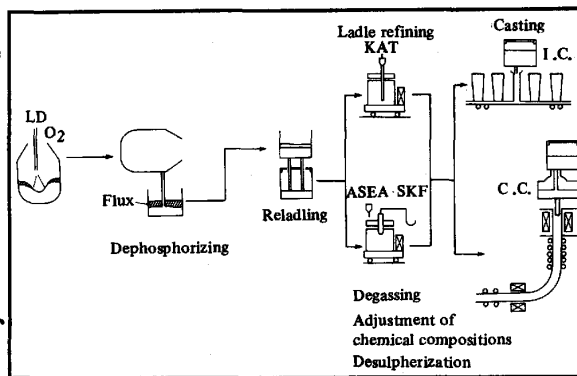


Fig. 1 Process Flow

3. 条用低合金鋼に対する要求品質と製鋼技術

3-1. 用途別要求品質

鋼材に要求される特性を製鋼段階で保証していく項目をFig.2に示す。鋼材に要求される主な品質特性としては、冷圧加工性・被削性・焼入性・耐疲労性・伸線性・靱性があり、これらの特性を向上するための製鋼段階での実施内容としては以下の①～⑦がある。

- ① 溶鋼処理の実施による酸化物系介在物の低減や延性化コントロール
- ② 連铸での铸型内電磁攪拌による介在物の低減
- ③ 転炉吹止後の N ピックアップ防止と溶鋼処理中の N コントロール

Table 1. Main specification

LD		80 T/ch x 2/3
Re - ladle Stand		· Crane Pouring method · Ladle (for Tapping) : Slide - Valve Type
ASEA - SKF	Ladle (for Treatment)	· Ladle capacity : Max. 90 t/ch · Slide - Valve Type, Ar Gas Bottom Bubbling and with Ladle Cover for Insulating
	Stirrer	· ASEA - SKF Type : Induction Stirrer, Buggy Loaded One Side Type x 2 Lines · Ar Gas Bottom Bubbling
	Arc	· ASEA - SKF Arc Heating Type x 2 Lines · Maximum Heating Speed : 4.5 °C/min
	Vacuum Degassing	· ASEA - SKF Type : 5 Ejectors and 3 Condensers · Vacuum Pressure : Below 0.5 Torr
KAT (Kobe Agon Treatment)		· Carrier Gas : Ar · Lance : With 2 Holes Horizontal Blowing Type · Powder : Flux, Ferro - alloy, Al, CaC ₂
Alloying Equipment		· 24 Bunkers
CC	Type of machine	· Straight mould and carlinar type
	Number of strands	· 2 strands x 1 machine
	Strand size to be cast	· 300 x 400 mm
	Casting speed	· Max. 1.2 m/min
	Tundish	· 18 T/TD

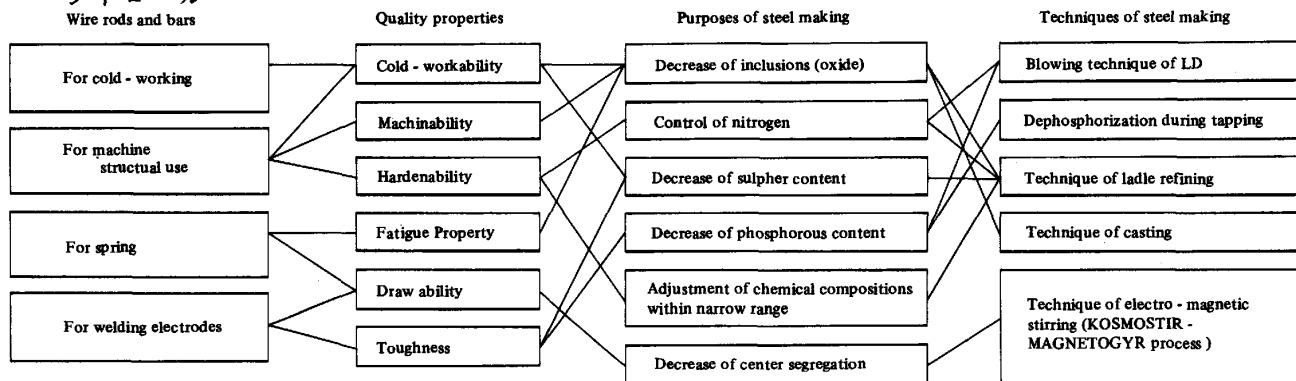


Fig. 2 Relation between quality properties of products and techniques of steel making

- ④ 粉体吹込による介在物の形態制御と低硫鋼の製造。
- ⑤ 2回成分調整と分析正確度の向上による溶鋼中成分の狭範囲コントロール
- ⑥ 取鍋でのアーク加熱による熱補償により、転炉吹止温度の低減による吹止P分配の向上と出鋼脱Pの実施により低P鋼の溶製
- ⑦ 注入温度の安定化と組合せ電磁攪拌による中心偏析の低減

3-2. 非金属介在物の低減

Si-Mn-Al脱酸鋼での介在物は、 Al_2O_3 が主体であり、鋼材特性及び鑄込みの安定化のためには有害となる。特に弁パネ用低合金鋼においては、微小な Al_2O_3 でも耐疲労性に対し問題となる。したがって、この Al_2O_3 を低減させるためには、スラグ、耐火物および大気からの再酸化を防止すると共に、積極的な介在物浮上分離を図る必要がある。Fig.3は、アーク加熱中の雰囲気測定結果を示している。アーク加熱により炉内では、電極炭素が還元剤となり、雰囲気中 O_2 と反応し、雰囲気中 O_2 は極めて低いレベルが得られたと考える。またスラグコントロール、取鍋レンガの適正化により溶鋼再酸化は減少する。以上の対策により鋼中T.[O]は低位安定する。この結果をFig.4に示す。リレードル-取鍋精錬工程で塩基性取鍋レンガを使用した場合、約10 ppmの極低酸素鋼が得られ、低炭素鋼側でもT.[O]値の増大が認められず良好な結果となっている。またハイアルミナレンガを使用した場合でも約13 ppmの低酸素鋼が得られる。次にDHやArバブリングでは、低炭素鋼についてはT.[O]レベルが高くなるが、これは酸化性の転炉スラグの影響によるものと考えられる。

一方、弁パネ鋼はその要求品質特性から介在物大きさが問題となるため、大型介在物の低減を図らねばならない。Fig.5は、高級弁パネ用Cr-V鋼について、20 μ 以上の大型介在物を酸溶解法によって調査した結果を示す。本プロセス工程材では、DH工程材の $\frac{1}{10}$ の大型介在物出現頻度となっている。Fig.6は、顕微鏡による介在物測定結果を示しているが、8.0 ϕ 線材の縦断面を顕微鏡により最大厚さの介在物を測定した。この結果、DH材は30 μ 以上の介在物が認められるのに対し、本プロセス材は、10 μ 以下の介在物が主体であり、最大でも20 μ 程度の大きさであった。

以上の結果は、ASEA-SKFのインダクション攪拌

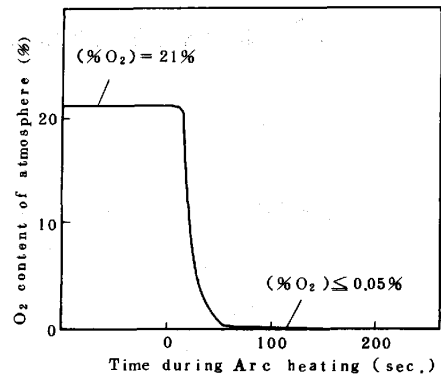


Fig. 3 Result of O_2 content of atmosphere during Arc heating

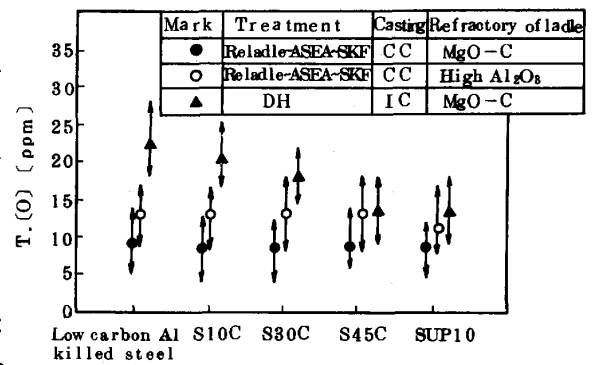


Fig. 4 Total oxygen content (Billet)

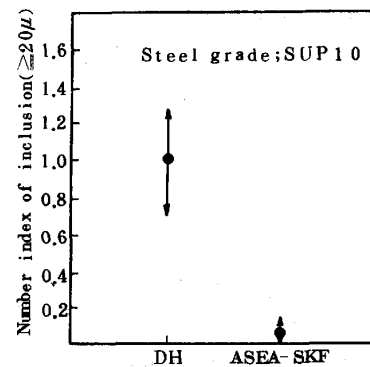


Fig. 5 Cleanliness (Wire Rod)

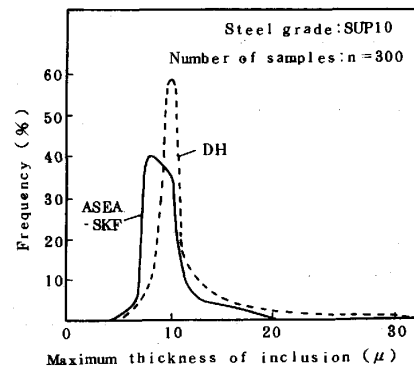


Fig. 6 Results of maximum thickness of inclusion

では、静かで強い攪拌を得ることができるため、スラグの巻き込みなどによる溶鋼再酸化が少なく、しかも介在物の浮上分離が速いことを示していると考えられる。

連铸における介在物の低減方法として铸型内溶鋼を攪拌することが有効である。Fig.7は铸型内電磁攪拌を実施した場合の115mm²鋼片の地底成績を鋼片表面からの深さ別にまとめたものである。適正強度で攪拌すると、地底成績はきわめて低位に安定する。しかし過度の溶鋼攪拌はフラックスの巻き込みなどを引き起こし、鋼片内部の地底成績をかえって悪くする結果を招くので、適正な攪拌強度の設定は高品質を維持する重要な技術要素である。

3-3. [N]コントロール技術

鋼種に応じて鋼中[N]レベルをコントロールする必要がある。ボロン鋼では焼入性を良くするため[N]レベルを低くする必要がある。吹止後取鍋内で未脱酸状態で出鋼することで、[N]のピックアップが少なくなり、鍋下[N] ≤ 30ppm が得られる。また、低Mn鋼では、ジョミニー試験での焼入硬さを狭い範囲に規定されている場合が多く、焼入硬さは[N]レベルと大きな相関が認められる。(Fig.8) このため、統計式を使って、オンラインでジョミニーのダイナミックコントロールを行ない、また溶鋼処理中の[N]分析と[N]の調整、[N]の狭範囲コントロールを実施しており、狭巾ジョミニー鋼に対処している。

低合金肌焼鋼では、狭巾ジョミニー鋼、低歪鋼、整細粒結晶粒度保証鋼の製造をするため、[N]を110ppm程度添加し、さらにC, Si, Mn, Cr, Mo, Alを狭い範囲にコントロールしている。各成分の目標に対するバラツキをFig.9に示す。C ± 0.01%, Si ± 0.02%, Mn ± 0.02%, Cr ± 0.02% にコントロールすることが可能である。

[N]が高くなると铸片の冷却時に発生するAlNにより、表面疵が発生することがある。この表面疵を防止するため、铸片矯正時の铸片温度を上げるとともにAl, Nを狭い範囲にコントロールする必要がある。Al, Nのコントロール領域をFig.10に示す。オーステナイト結晶粒度を保証するために[Al] ≥ 0.02%, [N] ≥ 90ppm にする必要があり、表面疵の発生を防止するためには、[Al]; [N]を低くしなければならない。両者を満足させるために、[N]の溶鋼処理中のコントロールと、Alのプランジング法による添加により、狭い範囲にコントロールしている。

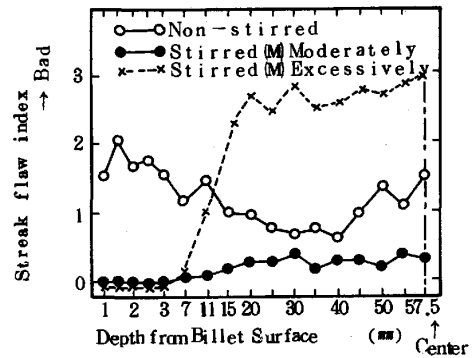


Fig. 7 Influence of M-String on streak flaws

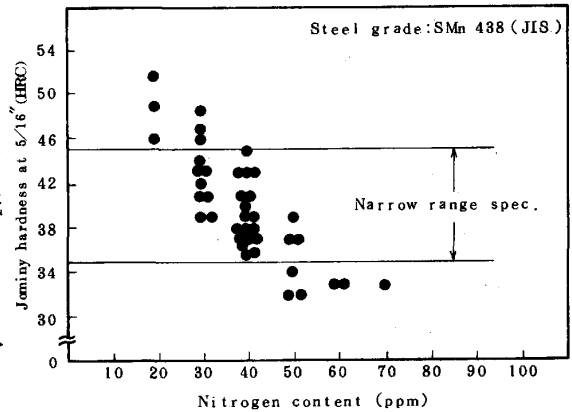


Fig.8 Relation between Jominy hardness and nitrogen content

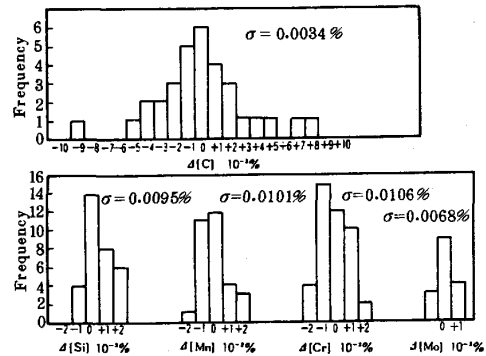


Fig. 9 Variation in C, Si, Mn, Cr and Mo contents against their nominal compositions

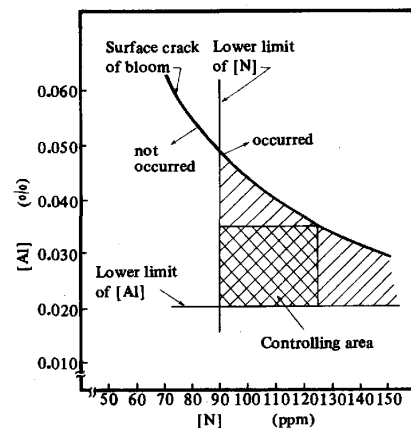


Fig. 10 Control of [Al] and [N]

3-4. 中心偏析の低減

パネ鋼などの高炭素低合金鋼の中心偏析を改善するためには、鑄型内と凝固末期の組合せ電磁攪拌（KOSMOSTIR-MAGNETOGYR-process）が有効であり、また、凝固末期の電磁攪拌として異周波攪拌を採用することにより、さらに改善効果が得られる。この結果をFig.11に示す。

3-5. 低P低S鋼の製造

低P鋼を製造するため、ASEA-SKFでのアーク加熱により熱補償を行ない。転炉では低温吹止としてP分配を上げている。さらに取鍋内に脱P用造滓剤を添加し出鋼脱Pを実施している。脱P効果をFig.12に示す。脱P剤として造滓剤を10kg/T添加することで65%以上の脱P効果が得られる。出鋼脱P後リレードル法によるスラグカットをおこない復Pを防止している。また、低S鋼を製造する時は、溶銑脱Sをおこない、溶鋼で粉体吹込処理をおこなっている。

4. 溶銑予備処理の導入

転炉での脱P負荷を軽減するために、溶銑予備処理炉を導入した、新しい製鋼プロセスを10月より稼働を開始させた。予備処理炉でCaO系フラックスのインジェクションにより脱P・Sを、転炉では脱Cを低スラグ比吹錬でおこなっている。また溶銑予備処理炉～転炉での脱P～リレードル法によるスラグカット～ASEA-SKF・KATプロセスを活用して極低P・S鋼の製造も考えている。このプロセスの概要をFig.13に示す。

5. 結言

当所ではこれまで、溶鋼処理-連鑄プロセスの採用により清浄鋼の量産、狭範囲成分のコントロールを行ない条用低合金鋼の品質向上を図って来た。今後溶銑予備処理を導入した新しい精錬プロセスにより更に合理的な製造方法、品質のレベルアップを計っていく所存である。

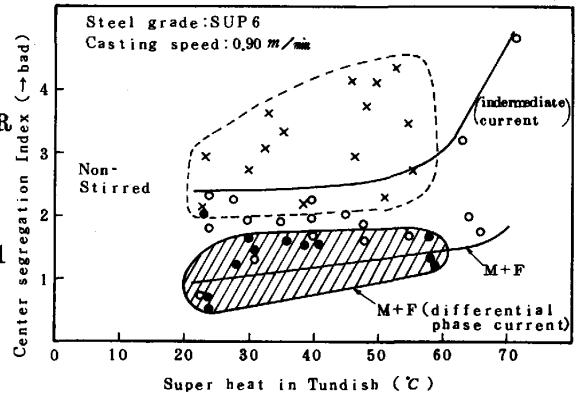


Fig.11 Relation between super heat of molten steel in tundish and center-segregation

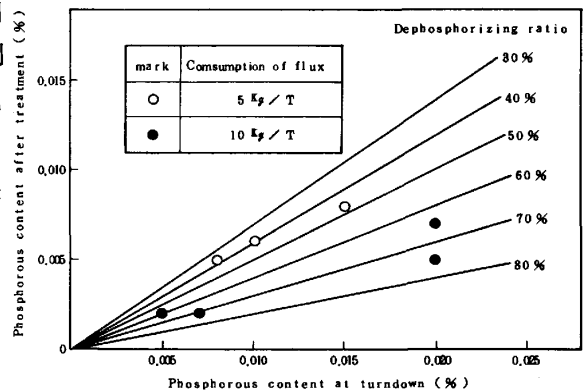


Fig.12 Effect of dephosphorization during tapping

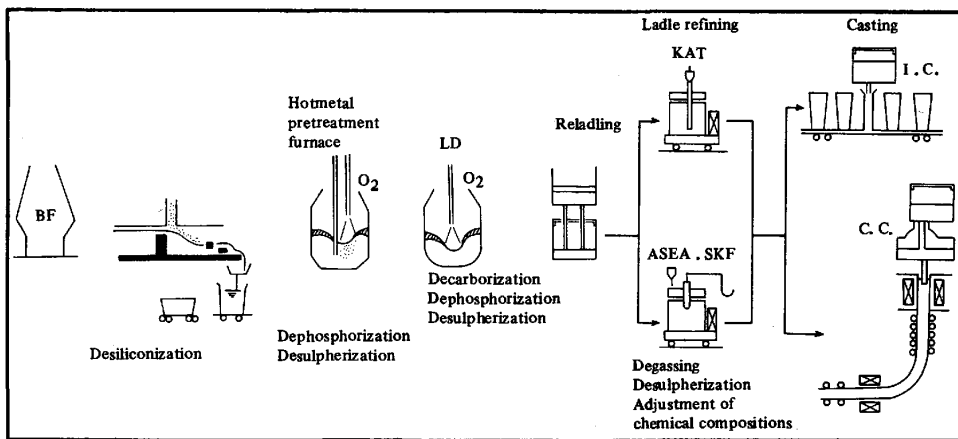


Fig.13 New process flow