

討9 薄鋼板用アルミキルド鋼の連続 casting について

日本鋼管 技術研究所

工博 川 和 高 穂
工博 根 本 秀 太 郎
佐 藤 秀 樹

§ 1 結 言 当社京浜製鉄所のスラブ連铸機(1st, 半径8mの円弧型)は1967年3月稼動を開始したことはすでに報告した⁽¹⁾が, その設置目的として厚板用スラブの製造という主目的以外に, 連铸の可能性, 特に薄鋼板用スラブの铸造性について研究を行なった。本研究は1967年9月より開始され, 転炉における溶製技術, および铸造技術の冶金的な解明とそれぞれの操業的および設備的な改善, 開発を行なった。

§ 2 研究概要 薄板用鋼種としてはアルミキルド鋼とリムド鋼とがあるが, 後者の铸造性には疑問が大きいため Alキルド鋼の铸造技術を開発することに決定した。铸造技術の開発と研究の主眼は, 低炭素の Alキルド鋼という点から, 介在物の少ない清浄な鋼の溶製とその铸造方法の開発であり, 結果の最終的評価は, 铸造したスラブ(200×1600mm)を通常の熱延, および冷延を行ない, それぞれのコイルにつき, 機械的性質, および特に表面性状の評価を行なって, 総括的に判定した。

§ 3 アルミキルド鋼の連続 casting 技術

3.1 鋼種 研究当初は従来の Alキルド鋼($C < 0.06\%$, Si trace, $Mn < 0.50\%$, $P, S < 0.030\%$, $Sol. Al \leq 0.070\%$)のみを铸造したが, 意識的に Si を添加した低 Alキルド鋼($Si < 0.10\%$)を試作し, その铸造性なども調査した。

3.2 炉内脱酸 溶製は比較的カーボン量の高い鋼種を溶製している100 ton LD転炉で行なったため, また連铸という点から, 終点温度が高いことも影響し, 終点の $C-O$ 関係が若干ばらつき, 特に O は高くなっている。Fig 1に終点における $C-O$ を示した。そのため終点 C に応じて所定の Fe-Al (Al 8.5%) 合金で炉内脱酸を行ない, 出鋼前の O のバラツキを小さくするとともに, O 量を低くした (Fig 1)。

3.3 Al添加法 Alキルド鋼の深絞り性を代表するランクホード値は $Sol. Al$ 約 0.030%, N 約 60ppm で最大値を示すことが知られており⁽²⁾, また後述の通り $Sol. Al$ は低い方がノズル内塞を生じないので,

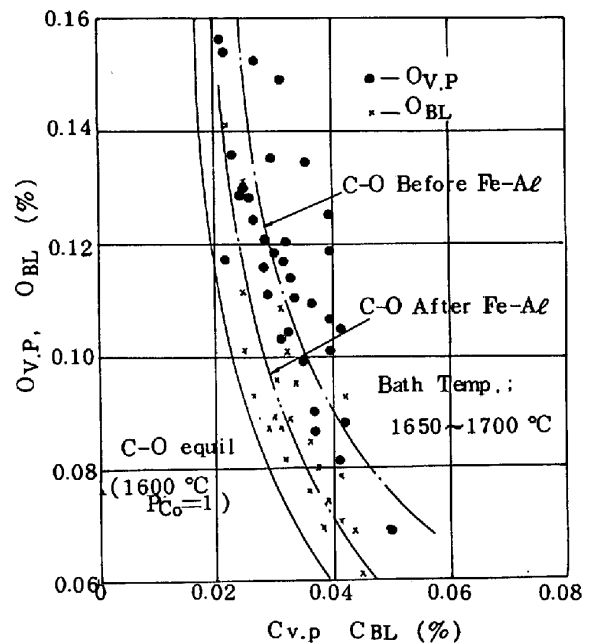


Fig 1 Relation between C and O before and after Fe-Al block

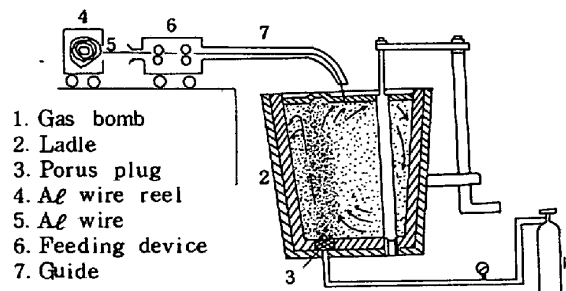


Fig 2 Newly developed process for Al addition

目標の Sol. Al を 0.030~0.040% とした。また冷延鋼板用の Al キルド鋼には一般に Al_2O_3 介在物に起因するスリパー疵が発生し易いため、 Al_2O_3 介在物の生成を最少にする必要がある。その意味で 3.1 で述べた炉内予備脱酸を行うとともに、合金成分として添加する Al を歩留りよく、しかも上記含有量に正確に適中させる必要がある。従来 Al の添加は棒状 Al の投入、あるいはコンテナに詰めた Al をあらかじめ取鍋内に固定しておく方法がとられていたが、炉内スラグとの反応あるいは出鋼時における空気との反応により、Al の歩留りは 20~30%、標準偏差 0.010% であった。よって従来の Al 添加法では上記目標を達することがまったく不可能である。著者らは先にと鍋底部にセットしたポーラスレンガからの不活性ガス吹込みによって溶鋼を清浄化することができるを見出したが、この方法と組合せて、出鋼後の取鍋内容鋼に Al 線を高速で添加する Wire Feed 法を開発した⁽³⁾。この方法は溶鋼内に浸入して溶解した Al 乱流状態にあり、しかも深さ 2~3 m の取鍋底部まで達するように Al 線の添加速度を選択してある。よって Al 線は溶鋼内に深く浸入するため、スラグあるいは大気による Al の酸化を防止できる。Fig 2 に Wire Feed 法を図式的に示した。Fig 3 には本方法と従来の Al 添加法を比較して、Al 添加前の期待値(計算値)と実績の Sol. Al 含有量を対比して示した。ここで期待値とは下式によって計算した値である。

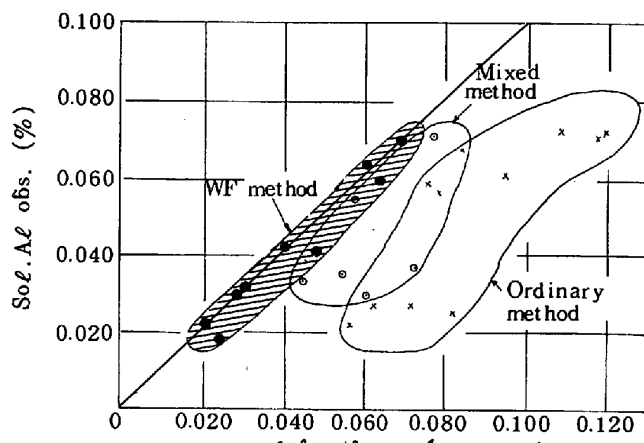


Fig 3 Comparison between Sol. Al calculated and observed for various method of Al addition.

$Sol. Al (Cal. \%) = Al (Add. \%) - \{ (54/48)[O] + \alpha T + \beta \}$
 ここで、[O] は Al 添加前の取鍋内容鋼の酸素量 (%), T はガス吹込時間 (min), α はガス吹込時の Sol. Al の減少速度 (%/min), β は鋳造中の Sol. Al 減少量 (%) である。W.F 法では Al 添加量が従来法よりも約 40% 少ない。Sol. Al 含有量のバラツキも $1/4 \sim 1/5$ である。

3.4 取鍋におけるガス吹込み

不活性ガスとして窒素ガスを使用した取鍋のガス吹込みは、一般に N 含有量の低い転炉鋼の窒素量を高め、取鍋内温度の均一化と、2 °C/min の温度低下を利用した温度制御、および Al 添加で生じた Al_2O_3 介在物を除去する効果を有する。Fig 4 にはガス吹込み時間と取鍋内容鋼の T[O] の減少傾向を示す。約 7 分間で T[O] は 50 ppm 以下となる。

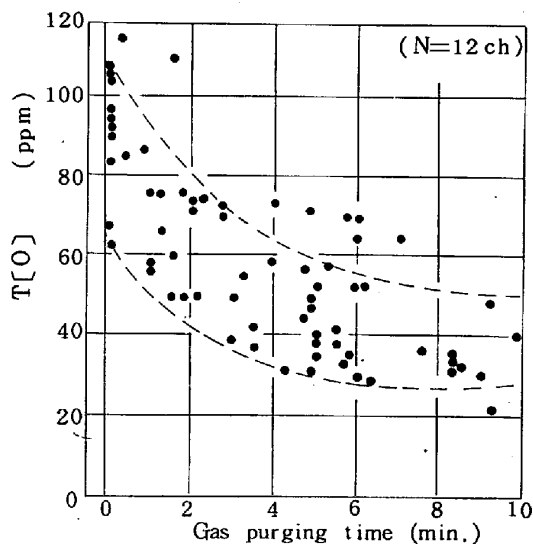


Fig 4 Change of oxygen in ladle during gas purging

3.5 取鍋注入流の酸化防止法

取鍋内容鋼はタンデッシュへの注入に際して、空気酸化を受ければ、Sol. Al の減少とこれによる新たな介在物の増加が予想される。そこで注入流の空気酸化防止装置を考案し、その効果を調査した。Fig 5 にその装置を模式的に示した。装置の構成は耐火物注入管をエアシリンダーで上下させ、ノズルの洗浄を可能にし、ノズルのパイオネット式金具の周囲に、不活性ガスを吹出すスリットを具えたパイプをリング状に取付けた。その結果装置を取付けない場合には Sol. Al の減少が 0.013% であったが、本装置を取付けた場合には Sol. Al の減少が 0.007% となっ

た。なお0.007%の減少量の原因を解析したところ、取鍋とタンデッシュ間でSi量が0.005%増加しており、耐火物中のSiO₂が、 $3(SiO_2) + 4Al \rightleftharpoons 2(Al_2O_3) + 3Si$ を反応したと仮定すれば、化学量論的に説明できる。したがって本装置によつてほぼ完全に注入流の大気酸化を防止できる。一方介在物量の変化はFig 6に示すとおり、本装置を使用しない場合と使用した場合とでは平均12 ppmの差が生じた。上述のSi含有量の調査から、溶鋼中のSi含有量が高い場合にはT[O]量が低くなる傾向があった。そこで既述のとおり、出鋼時に若干のFe-Siを添加して、Al添加前のT[O]を低下させ、その後W.FでAlを添加した低Si, Alキルド鋼を試作した。Si含有量は材質を大きく変えない程度であるが、製品である冷延鋼板の表面性状は比較的大きく改善された。

3.6 浸漬ノズル 浸漬ノズルの形状と寸法は鑄型内での溶鋼の運動に影響し、スラブ鑄片の表面性状と内質を左右する。鑄型近傍での溶鋼の流動状況を観察するため $1/2.5$ の透明プラスチックモデルと水を用いてモデル実験を行なった。相似則としてFroude数、 $Fr = V^2/L \cdot G$ (V:速度, L:長さ, G:重力加速度)を相似させた。従来使用していた下向きの流出孔を有するノズルは、鑄込速度が速くなると湯面上の鑄型パウダーを短辺側から、巾中心部へ押流し、湯面が大気に露出して酸化する。またノズル近傍で両短辺からの流れが衝突し、ここに流れの停滞領域が発生し、介在物の凝集を促進するため、スラブ巾方向の中心表層部に大型介在物による表面欠陥を生成させる。このような考察から、溶鋼の流れの向きが一方向で、流れの停滞域が生じないようにノズルデザインを開発した。Fig 8の左側には従来のノズル形状と溶鋼の流動状態を示し、右側には新しいノズル形状とその時の溶鋼の流動状態を示した。この新しいノズルでは流出口からの溶鋼流が下方よりパウダ面に向つて上向きに流れるため、溶鋼中の介在物、あるいはノズル内面に堆積し、比較的に大きく凝集肥大した介在物が溶鋼流へ巻込まれても、溶融したパウダーに吸着させることができる。したがって新型ノズルを使用すると鑄型パウダーのAl₂O₃含有量が、従来のノズルの場合よりも数%増加する。

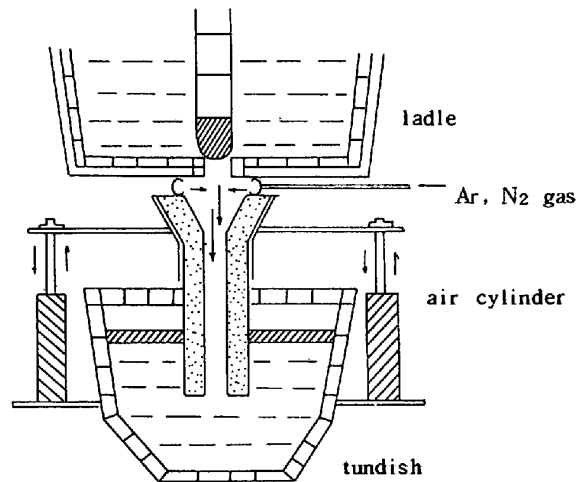


Fig.5 Schematic figure of air sealing device

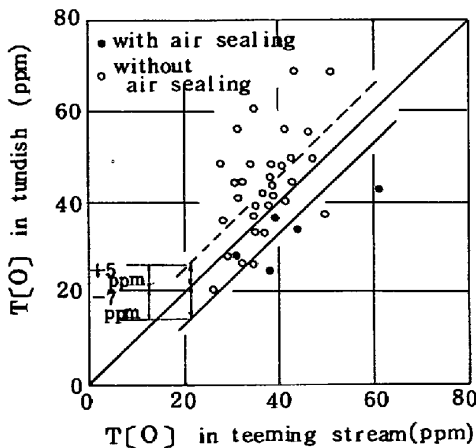


Fig 6 Change of T[O] from teeming stream to tundish with and without air sealing

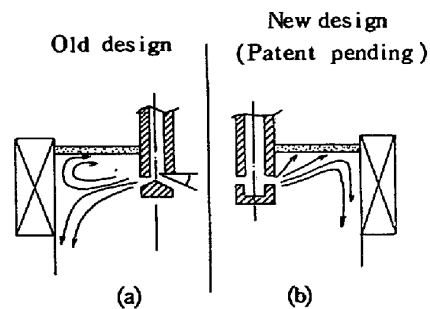


Fig 7 Water model experiments on submerged nozzles

3.7 ノズル閉塞 Alキルド鋼の連続鋳造では1次脱酸生成物、空気酸化によって生じた Al_2O_3 、あるいは耐火物成分中の SiO_2 のSol.Alによる還元によって生じた Al_2O_3 などがノズル内面に附着堆積するためノズルを閉塞しがちである。ノズル閉塞に与える鋳造条件の影響としてはFig 8に示すとおりSol.Alとタンデッシュ内溶鋼温度が共に作用している。なおこの場合にはシリカ系の浸漬ノズルを使用した。一方溶鋼中の Al_2O_3 介在物はSol.Alが増加すると低下する傾向が認められるため、ノズル閉塞を誘起する Al_2O_3 介在物は、Sol.Alと耐火物との反応によって生じたものが大きく寄与している。現状ではSol.Alを、材質的にも良好な0.030~0.040%に適中させることが、連続機の稼働率を高める連々鋳造業のためにも重要である。また溶鋼にあらかじめ少量のSiを添加してある場合(低Si Alキルド鋼)にはノズル閉塞がかなり起りにくいのも、メタル側のSi量が耐火物中の SiO_2 の還元速度をおさえると考えれば説明できるであろう。

3.8 薄板用スラブと製品の品質⁽⁴⁾ 冷延鋼板では美しい表面性状が要求される。表面性状と連続条件を解析したところ、他の条件が一定の場合には鋳型へ注入される鋼が清浄なほど良好な表面性状の冷延板が得られた。3.2~3.5に述べた新技術はこの意味で重要である。Fig 9には100 tonのAlキルド鋼スラブ(全長40 m)中の介在物量をT[O]によって調査した結果である。鋳片スラブは1~1.5回のコールドスカーフ後の冷延鋼板に圧延されるが、従来の鋼塊材と比較して、表面性状および機械的性質ともまさるとも劣らない。

§ 4. 結 言 当社は $200 \times 1600 \text{ mm}^2$ スラブを鋳造できる1ストランドの円弧型連続鋳造を昭和42年3月に稼働させたが、厚板用鋼種の鋳造技術を確立すると直ちに、薄板用鋼種の内でも鋳造が困難と考えられるAlキルド鋼の鋳造技術の開発に着手し、種々の新技術の開発を行なってきた。特にこの鋼種はAl含有量が高いために、介在物の増加、あるいはノズル閉塞などの問題があったが、上記の新技術によってこれを解決した。

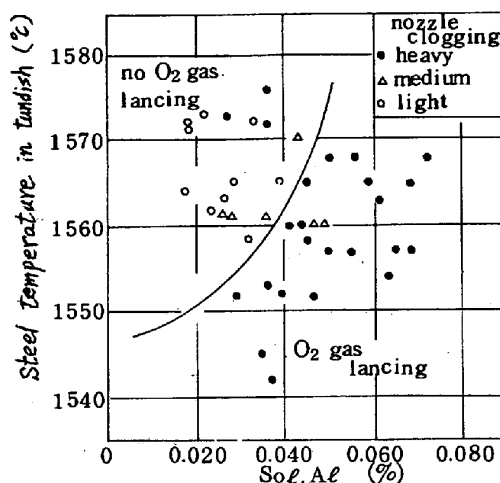


Fig 8 Effect of Sol.Al and steel temperature on casting operation

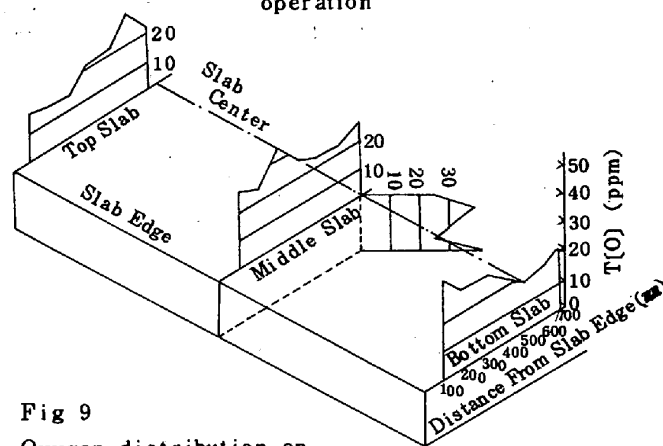


Fig 9 Oxygen distribution on slab surface and in slab of Al-killed steel for deepdrawing

- (1) H. Nemoto, T. Kawawa : J.Metals, Aug. (1969), p. 62.
- (2) 久保寺, 川和, 橋本 鉄と鋼, 56(1970), p. s. 122.
- (3) 川和, 他 鉄と鋼, 56(1970), p. s. 431.
- (4) 川和, 他 鉄と鋼, 56(1970), p. s. 435.