

取 鍋 合 金 添 加 法 の 進 歩*

川 和 高 穂**・今 井 寮 一 郎***

Advanced Techniques of Alloying Elements into Molten Steel in the Ladle

Takaho KAWAWA and Ryoichiro IMAI

1. 緒 言

製鋼技術上の最近の傾向の一つとして、成分を狭い範囲にコントロールする技術、ならびに、特殊な元素を添加する技術が要求されている。前者には、厚板および薄板の機械試験値に代表される鋼材材質の要求の高度化による、C, Mn, Sol. Al などのコントロール技術、あるいは、連続鑄造における Sol. Al のコントロール技術がある。後者には、主として、厚板の圧延方向に直角な方向の靱性の向上を目的として、介在物の形状をコントロールするための、Ca, REM などの添加技術がある。

従来、一般的に行なわれている取鍋における合金の添加法は、製鋼炉からの出鋼時に、取鍋に投入あるいは置注ぎする方法であり、これに関連して、合金鉄組成の改善や、コンテナを用いる方法の開発など、多くの努力がなされてきた。

また一方では、脱ガス設備あるいは取鍋精錬設備を利用して成分を調整することも行なわれており、今後の鋼材の高級化という観点からは、一つの方向であろう。しかし、これら設備を利用することは原価上、処理能力の面からも限られており、本資料に集録したような、目的に応じた、特殊な取鍋合金添加法の存在価値は、今後ますます高くなることが予想される。

今回この資料に集録したのは、主として最近の新しい技術であり、紙面の関係上、従来から一般的に行なわれている技術については省略した。すなわち、Ca 添加技術としてのインジェクション法、Al, Ca などの添加技術としての Al 弾発射法、Al ワイヤ添加法、合金成分調整のための簡易取鍋精錬法、そのほか、今回の特集号では触れる個所がないと思われる。モールド（普通造塊、連続鑄造）における REM 添加技術などについても触れることとした。

2. インジェクション法 (TN法)^{1)~5)}

TN法はその名前が示すように、西独の ATH グループに属する Thyssen-Niederrhein 社で開発された技術である。この方法は、ランスを通じて取鍋内の溶鋼にアルカリ土類金属またはその化合物をインジェクションすることにより、溶鋼処理を行なう技術である。アルカリ土類金属化合物（例えば CaC_2 ）を溶銑にインジェクションし、脱硫を行なう方法は従来からある技術であり、また溶鋼のアルカリ土類金属処理法も他に例はあるが、TN法はこのうち最も普及した技術といえよう。TN法は1960年代後半より試験が開始され、1970年に Thyssen-Niederrhein で工業化がなされ、これまでに約 150万 t の鋼の処理がされたとしている。現在全世界で適用している鉄鋼会社は 10 社で、試験設備 1 基、本設備 15 基に及んでいるとされている。

TN法の目的については、初期の論文では、脱硫が大きく取り挙げられたが、やはり主目的は、介在物（酸化物、硫化物）の形状コントロールによる、鋼材の機械的性質の改善である。すなわち、厚板の機械的性質の異方性の改善、特に Z 方向の靱性の改善、深絞り鋼あるいはポイラー鋼板の靱性の改善などである。

2.1 TN法の設備と操業

TN法の設備の全体図は図 1 に示すとおりで、各部の構成は下期に示すとおりである。

1) 主スタンド

- (i) ランスおよび清浄剤吹込設備、旋回昇降装置
- (ii) 粉体輸送ポンプ
- (iii) 表面被覆剤投入ホッパー
- (iv) ランス交換および接続装置
- (v) ランスマガジン設備
- (vi) レードルカバー
- (vii) 排気装置

* 昭和52年2月28日受付 (Received Feb. 28, 1977) (依頼技術資料)

** 日本鋼管(株)技術研究所 福山研究所 工博 (Technical Research Center, Nippon Kokan K. K.)

*** 日本鋼管(株)技術研究所 福山研究所 (Technical Research Center, Nippon Kokan K. K., 1 Kokan-cho Fukuyama 720)

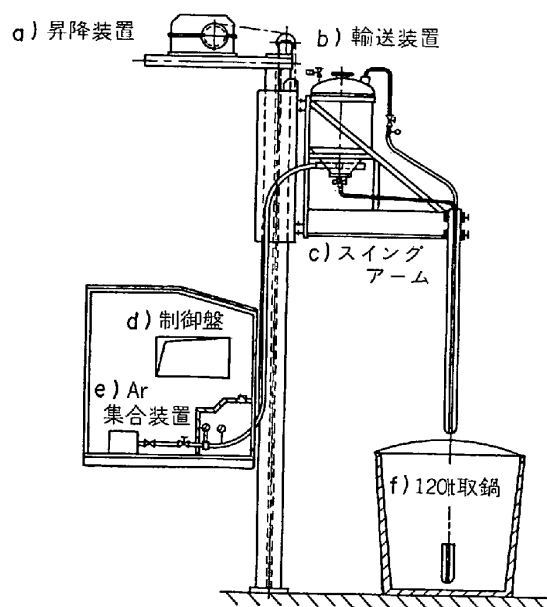


図 1 TN法全体模式図

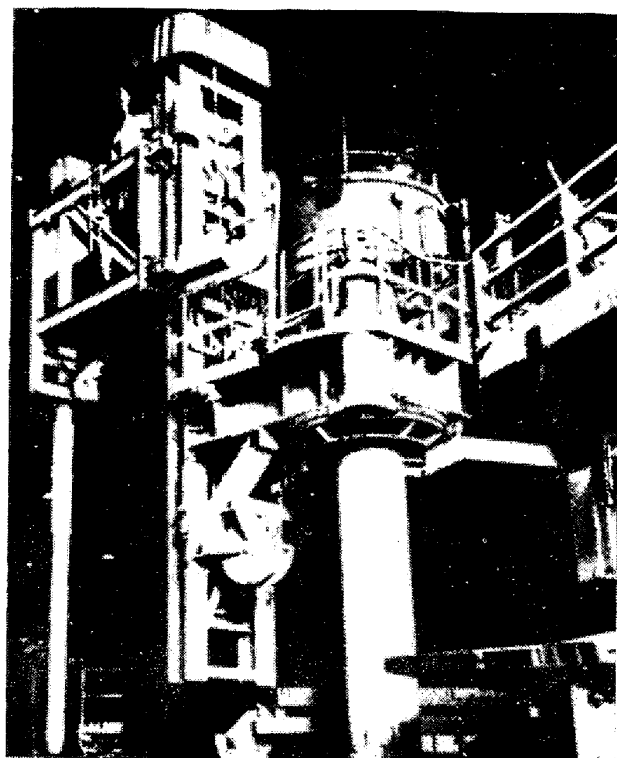


写真 1 TN法設備 (1975 年設置)

- (viii) 集塵装置
- (ix) 電気計装設備
- 2) 清浄剤ホッパー
 - (i) CaO タンク
 - (ii) CaC₂ タンク
 - (iii) Ca-Si タンク
 - (iv) Mg タンク
- 3) 清浄剤輸送装置
 - (i) 粉体切出装置
 - (ii) 粉体輸送ポンプ
 - (iii) 中間ホッパー
 - (iv) 輸送配管
- 4) キャリアガス輸送設備
 - (i) 主タンク
 - (ii) 清浄剤主ホッパー粉体輸送ポンプ用圧力流量調整装置
 - (iii) 主スタンド粉体輸送ポンプ用圧力流量調整装置
 - (iv) バッファータンク
 - (v) 防爆シール用配管

1975 年に設置された吹込設備の写真写真 1 に示す。吹込まれる粉体の入ったタンクはスイングアーム上に設置されており、浸漬ランスは配管によつてタンクに接続されている。ランスを通じて粉体を Ar により溶鋼中に吹込む時は、スイングアームはタンクとともに下降するようになっている。

次に操業条件として、実験プラントの例を示す。

- 1) 添加剤の添加速度 8.0~140 kg/min (CaC₂)
- 2) 添加剤の粒度 0.3~1.0mm (CaC₂)
- 3) 添加剤の種類

Cピックアップの許される場合 CaC₂主体
Siピックアップの許される場合 Ca-Si主体
許されない場合 Mg および CaO+発熱材

- 4) キャリアガス吹込条件 1Nm³/min (Ar)
吹込圧力は静圧+カルシウム蒸気圧以上で吹込圧力一定とする。

- 5) 処理前および処理後溶鋼条件

	処理前	処理後
Sol. Al	0.03~0.08%	0.02~0.04%
溶鋼酸素	20~30 ppm	10 ppm

- 6) ランス吹込深さ 2850mm (鍋底から 450mm)
- 7) 表面被覆 生石灰および螢石を主体とした、低 Fe₂O₃ スラグ

TN法における Ca 処理反応の基本的考え方は、CaC₂ または Ca-Si が吹込まれると、溶鋼温度で蒸気圧が大気圧より高い Ca が気化発生し、その気泡が溶鋼中を上昇する過程で気液界面で反応が進行するというものである。したがって、Ca の効率を高めるためには、できるかぎり鋼浴の深い位置に吹込む必要がある。図 2 に吹込深さと Ca の利用率との関係を示す。

2.2 TN法の効果

図 3 は Ca 処理中の冶金反応を模式的に表わしたものであるが、Ca 処理により、脱硫、溶解酸素の低下、そして全酸素の低下すなわち清浄化が行なわれる。

Ca または Mg 処理において基本的に重要なことは、処理溶鋼中の溶解酸素含有量であつて、これにより、脱硫、介在物の量と形状、そして最終的には鋼材の機械的

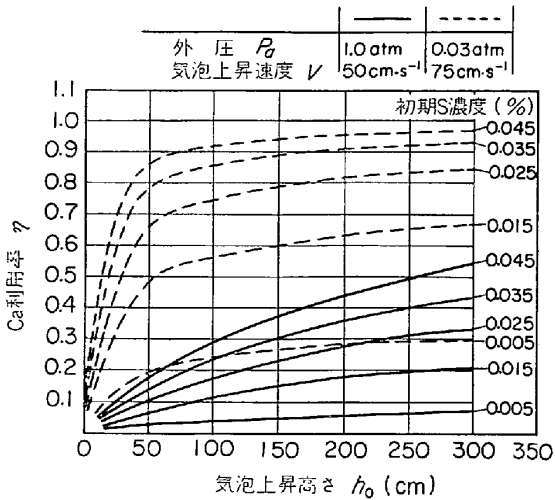


図2 約1580°Cにおける外圧と初期濃度が異なる場合の気泡の上昇高さに対する、Ca利用率の計算値 ($K_2 = 3.0 \cdot 10^{-4}$ シャモット鋼)

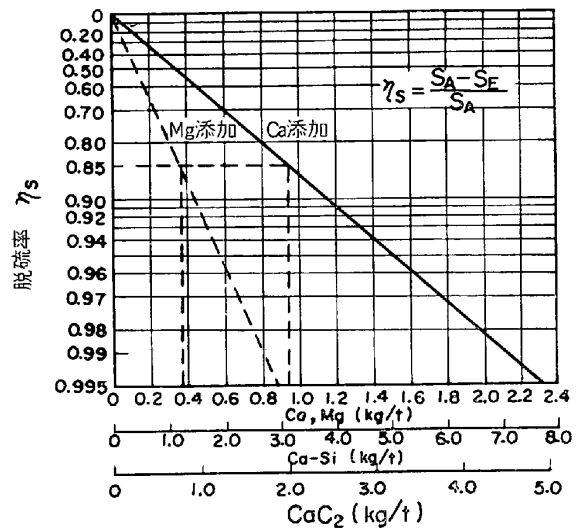


図4 ドロマイト内張取鋼における溶鋼t当りのCa または Mg 添加量と脱硫率の関係

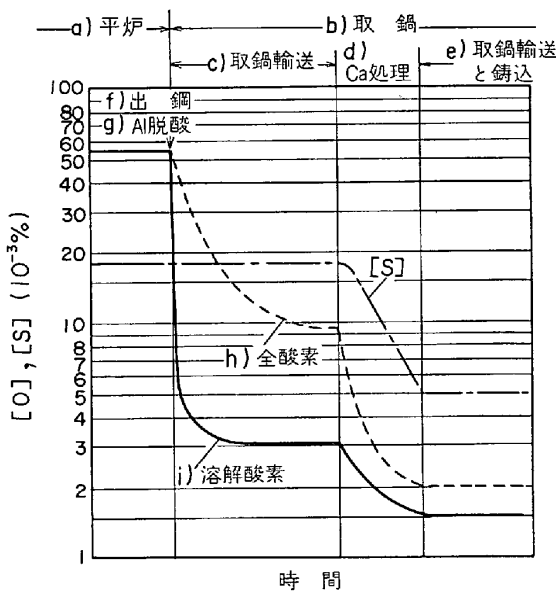


図3 取鋼におけるCa処理中の、鋼中 [O] と [S] の変化 (模式図)

性質の改善程度も決まる。したがって特に転炉鋼にTN法を応用する場合、酸化性のスラグをいかに除去し、前述の被覆剤と置換するかが次に述べる取鋼ライニングとともに重要な点と推定される。

また脱硫については、取鋼のライニングの影響が大きく、2.80mの吹込深さで、Ca分添加量0.7kg/tの場合、シャモット質では約50%の脱硫率であるが、ドロマイト質の場合約75%の脱硫率が得られる。

ドロマイト質ライニングの取鋼にMgまたはCa (Ca-Si, CaC₂) を吹込んだ時の脱硫効果は図4に示すとおりで別のデータによれば $S \leq 0.002\%$ が可能であるとしている。

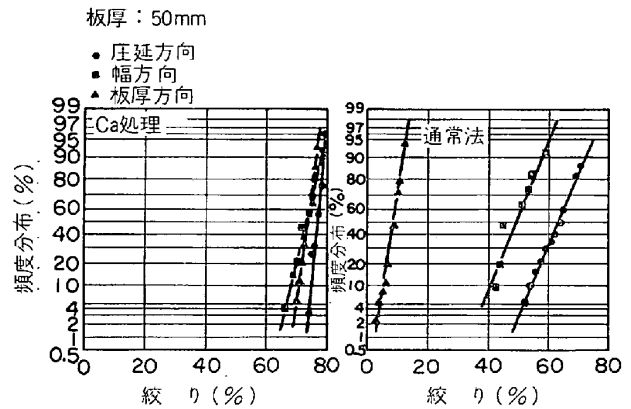


図5 Ca処理鋼と非処理鋼の各方向絞り値 鋼種 FG 36 (appr. ASTM-A 516 Gr. 70)

次に、良く知られているように、Ca処理によって、最終的に鋼材に残留する酸化物介在物はAlキルド鋼の場合CaO-Al₂O₃系の微細な球状介在物となり、硫化物系介在物はMnSからCaSに変化し、熱間圧延時に変形しなくなる。いわゆるA系、B系の介在物が減少し、介在物の形状がコントロールされるために、特に圧延方向に直角方向の靱性が改善され、異方性が改善される。図5は厚板の靱性が改善された例であるが、厚板の絞り値が大幅に改善され、特に幅方向、板厚方向の改善が大きく、異方性がほとんど解消されている。

溶鋼のCa処理の効果の詳細については省略するが、従来添加技術上の問題点が大きかったのであるが、最近に至つて、このTN法をはじめ後述する弾丸発射法あるいはワイヤ添加法など各種の添加技術の進歩もあり、最近のCa処理に関する技術の進歩はめざましいものがある。

3. Al 弾発射法 (ABS 法, SCAT 法)^{5)~13)}

製鋼過程における Al 脱酸は、脱酸度の調整、成分としての Sol. Al の添加の目的で、ごく一般的な技術であり、一般には、金属 Al や Fe-Al の鋳塊を人力またはシュートを利用した重力法で出鋼時に取鍋内に投入する方法で行なっている。しかし、このような添加法によれば、Al と溶鋼の大きな比重差により、Al を鋼浴中の十分深い位置まで到達させることは困難である。そのため一部の Al は鋼浴表面に浮上して、大気や鋼滓により酸化消耗され、添加歩留の低下と不安定をもたらす。したがって、溶鋼の脱酸度や Sol. Al を狭い範囲にコントロールし、鋼塊の品質ならびに製品鋼材の品質を安定させるためには、Al 添加法の改善が必要である。

Al 弾発射法は、このような発想により、住友金属において開発された技術である。開発は 1965 年に開始され、1970 年に実用化された。この新しい技術は、弾体形状の Al に所定の速度を与えて、取鍋鋼浴の鍋底深くまで打ち込み、突入、突進、浮上の間に完全に溶解拡散させてしまう特徴を持つもので、出鋼時の短時間に多数の Al 片を高速で自動的に添加する機能を持つものである。この技術ははじめ Al 添加用に開発されたもので ABS 法と名付けられているが、その後この技術を Ca 添加に応用した SCAT 法や、B, Ce などの添加に応用した例も報告されている。

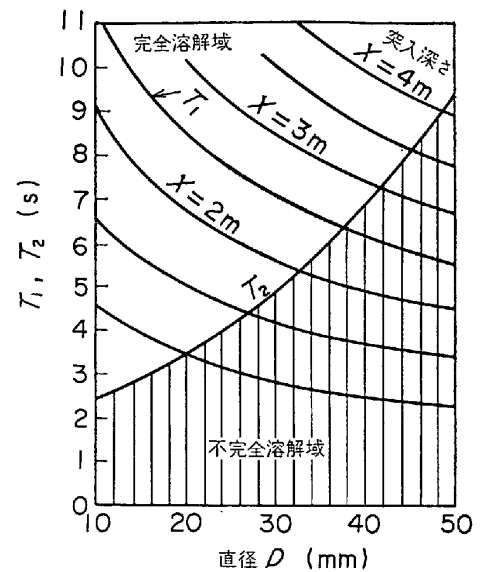
3.1 Al 弾発射法の原理および設備

溶鋼中に Al 添加片を鍋底深くまで打ち込み、突入、突進させ、浮上の間に完全に溶解拡散させるための条件は、添加片の形状と添加片の発射初速度である。

添加片の形状は、鋼浴表面への突入、鋼浴内での突進と浮上を考慮して、先端と尾端が尖った紡錘形状で、尾端に 4 枚の安定板を有する形状を基本としている。添加片の直径について最も重要な要因は取鍋内鋼浴深さである。ここで L' を添加片の胴体の長さ、 D を添加片の直径とすれば、 $L'/D=11.5$ の添加片の突入、突進、浮上に要する時間と溶解に要する時間とを、図 6 に示すが、これから取鍋内溶鋼深さに応じて、完全溶解する Al 添加片の直径を決定することができる。添加片の長さは、溶鋼中の内部突進、浮上に関する流力抵抗に最も影響する。突進抵抗は、 L'/D が増すにつれて低下し、11.5 以上では一定値となる。また浮上抵抗は、 L'/D が 11.5 以上になれば大きな値となる。したがって L'/D で 11.5 以上がよいとしている。添加片の突入深さを X とすれば、発射初速度 U_a は、実験により次の式で求められる。

$$U_a = (\nu/\xi) U_{p2} = (\nu/\xi) (\sqrt{b/\eta\rho}) \tan \cos^{-1} \exp(-\eta\rho X)$$

ここで、 U_{p2} は鋼浴表面直下弾速、 ν は表面衝撃弾速減速率、 ξ は曲射ガイドの弾速減速率、 η/ρ は突進損率、 b は比浮力である。



T_1 : 突入浮上に要する時間

T_2 : 添加片の溶解に要する時間

図 6 鋼浴表面下で完全に溶解する条件

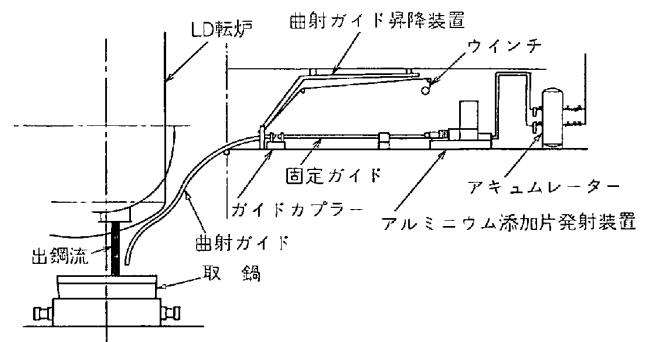


図 7 アルミニウム添加片発射装置全体図

さらに実用機としては、出鋼後期の短時間に多数の添加片を発射することが必要で、発射機には高速作動性能が要求される。このための構造としてロータリー式発射装置とホッパー型給弾装置を備え、さらにこれを全自動化した装置となつている。発射装置の全体図を図 7 に示す。1 シフト使用量の Al 添加片を入れたコンテナがそのままホッパー上にセットされる。発射機が作動すると添加片は自動的にホッパーを経て弾室に供給される。発射ガスは窒素を使用しており、圧力調整機、アキュムレーター、電磁弁を経て弾室に供給される。添加片は銃身で加速され、固定ガイド、曲射ガイドを経て取鍋中の鋼浴に連続的に打込まれる。発射弾数は銃身出口に設けられたセンサーで計測され、プリセットカウンターが、窒素ガスの電磁弁および駆動機構の作動を制御して必要数量の添加片が自動的に発射される。発射装置の発射部は周囲に多数の弾室を持つ回転ドラムを断続回転の駆動機構によつて駆動し、回転の停止時に一つの弾室がシールさ

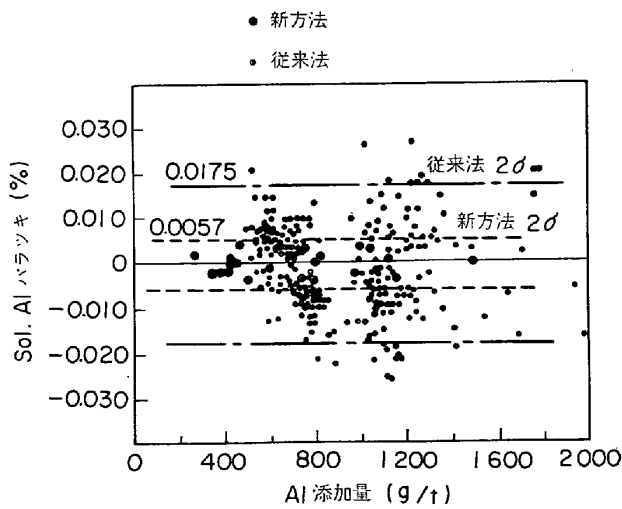


図8 新方法和従来法の sol. Al バラツキ比較 (70t LD)

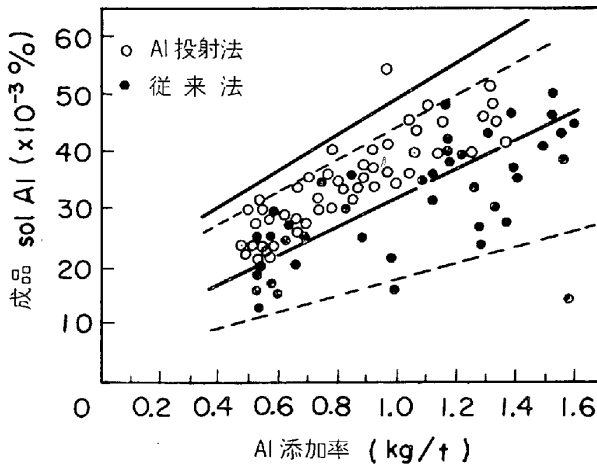


図9 Al 添加量と成品 sol. Al の関係

れ高圧の窒素ガスが送られて添加片が発射される。曲射ガイドは、転炉の炉体下で添加を行なう場合、炉体傾動時の接触を避けるため、三次元曲管を使用し、発射時以外は離れた場所に移動させるための昇降装置を具備している。曲射ガイド先端は、スプラッシュの付着があれば、取替えるよう交換式になっている。また、固定ガイドとの着脱はワンタッチで行なわれる機構になっている。

3.2 Al 弾発射法の効果

従来法(アルミニウム塊手投入)と Al 弾発射法(ABS法)の Sol. Al の目標値からのバラツキを比較した結果を図8に示す。2σは Al 弾発射法の 0.0057% に対し、従来法は 0.0175% であり、Al 弾発射法によれば、バラツキを約 1/3 に減少させることができる。

また、Al 弾発射法では、バラツキが減少すると同時に歩留が向上し、Al 使用量の削減が可能である。図9に Si-Al キルド鋼の Al 添加率と成品 Sol. Al の関係

表1 アルミニウム添加片発射法の効果

効果	
生産性	1) Al 適中率向上による規格外れ減少 2) 鋼種向先の振替減少による下工程の安定化 3) 格下げの減少 4) 均熱炉の徐熱時間短縮による能率向上 (キルド鋼)
品質	アルミキルド鋼 目標 Sol. Al 低下による鋼塊割れの減少
	シリコンキルド鋼 1) 脱酸の安定化によるクリープ強度の安定化 (STB材など) 2) 脱酸不足減少による丸鋼表面疵の減少
	セミキルド鋼 1) 脱酸の安定化による表面疵 (管状気泡), 二枚割れ (過脱酸) の減少 2) 頭部膨脹量の安定化
リムド鋼 1) 造塊前酸素含有量のバラツキ減少によるリミングアクションの安定化 2) リミングアクションの安定化によるスラグ表面疵, 製品介在物疵の減少	

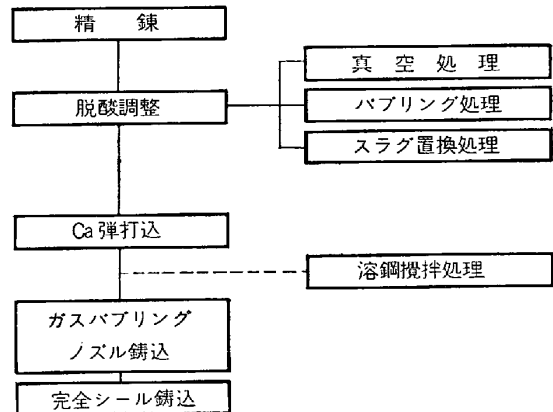


図10 SCAT 法フローチャート

を示す。

このように、Al 弾発射法は従来のアルミニウム添加法に比べて歩留が高く、添加量はキルド鋼で従来の約 80%、リムド鋼では 50~60%で、Al 添加量の大幅な削減が可能である。

Al 弾発射法を採用することにより、Sol. Al や脱酸のバラツキが減少するが、これによつてもたらされる鉄鋼製造工程における利点をまとめると、表1に示すとおりである。

3.3 Al 弾発射法の Ca 処理への応用 (SCAT 法)

溶鋼の Ca 処理の効果については前述したとおりであるが、住友金属は Al 弾発射法を Ca 添加に応用し、溶鋼の予備処理から Ca の添加およびそれに後続する casting などの付帯処理を含めたプロセスとして SCAT 法と名

付けている。

図10 にそのフローチャートを示す。添加前の溶鋼は十分な脱酸処理と同時に、予備処理として〔O〕源となる酸化物系介在物の分離除去、または還元性スラグへの置換処理が必要に応じて実施される。Ca は Ca-Si 粉末弾として発射機により高速で溶鋼中に打ち込まれ、溶鋼中で反応を完了させる。この方法によれば、溶鋼上面を被覆して酸化性スラグが存在している場合でも損失は少ない。取鍋溶鋼に添加された Ca は蒸気圧が高いので、それ自体で溶鋼の攪拌作用を引き起こし、取鍋内溶鋼内でほとんど均一に分布するが、さらに均一性を徹底する場合には、補助的に溶鋼の攪拌処理を実施する。その後、ガスバブリングノズルを介して、しかも十分に O₂ の遮断された雰囲気下で Ca が添加された溶鋼を鋳込む必要があり、この条件が不十分な場合にはほとんど例外なくノズルの閉塞事故を引き起こす。

SCAT 法の特徴は以下のとおりであるとしている。

- 1) Ca を弾形状にして溶鋼中に打込み添加するため、歩留が高く、かつ安定する。
- 2) そのためコストが低廉である。
- 3) 既設の製鋼プロセスの中に容易に組み込むことが可能で、どのような製鋼工場にも適用が可能である。
- 4) Ca 以外の合金元素の添加への応用も容易である。
- 5) Ca 弾添加の前後の付帯処理と併用することにより、極めて清浄な鋼の製造が可能である。

SCAT 法による Ca 処理によつて図11 に示すように鋼板における介在物の形状が変化する。すなわち、MnS 系、Al₂O₃ 系の介在物は、Ca-O-S 系の非塑性の球状介

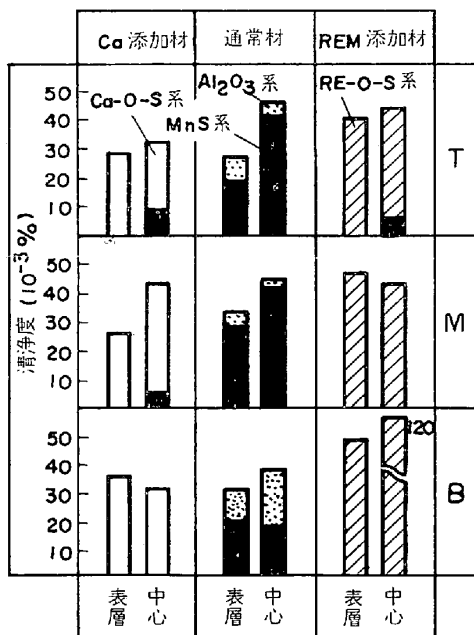


図11 スラブ内清浄度の比較例

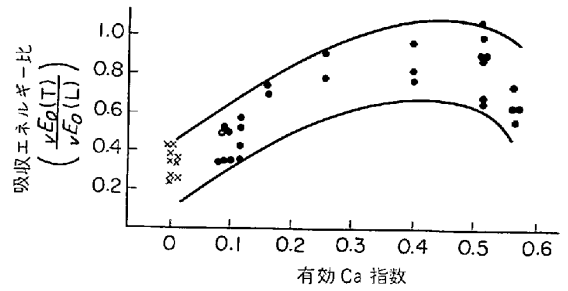


図12 SCAT の効果に及ぼす有効〔Ca〕値指数の影響

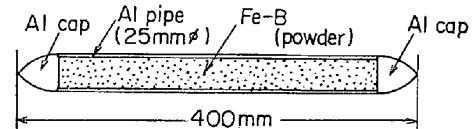


図13 フェロボロン弾の概観図

在物に変化する。

靱性の改善の一例として、図12 に衝撃試験の吸収エネルギー値のT方向とL方向の比と、有効 Ca 指数との関係を示すが、Ca 処理によつて異方性が改善されるが、その値が最高値を示す有効 Ca 指数があることがわかる。この有効 Ca 指数の内容については不明である。

3.4 他の特殊元素添加への応用

Al 弾発射法は、Al、Ca の他にも B、Ce などの添加にも利用されており、図13 にその一例としてフェロボロン弾の構造を示す。

フェロボロン弾 外径：25mm
 長さ：400mm
 重量：573.5g
 組成：B = 14.8%

フェロボロン弾打込みによる鍋下 Total B の歩留は 77% で、ほぼ真空脱ガス処理方式に匹敵し、真空脱ガス処理が省略できるとしている。

4. Al ワイヤ添加法 (WF 法)^{14)~18)}

日本鋼管では前項で述べたような従来の Al 添加における問題点を解決するために、図14 に示すようなパイプ状の Al コンテナによる Al 添加技術を開発し、Al キルド鋼の Sol. Al 安定に大きな成果をあげてきた。

しかし、製品面からの Sol. Al 含有量制御に対する強い要望や、連続鋳造による Al キルド鋼の製造が本格的に始まるにともない、さらに厳しい Sol. Al 含有量の制御が必要となつてきた。

このような要因によつて次に開発された技術が Al ワイヤ添加法 (WF 法) である。WF 法の開発は 1967 年に開始され、1968 年に実用機が製作され、現場における添加実験が開始された。現在では福山製鉄所、京浜製

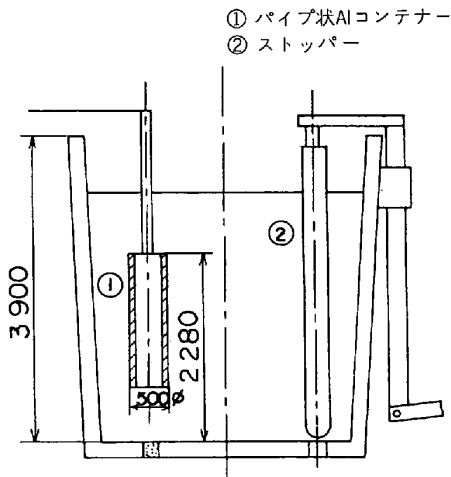


図14 250t 取鍋に取付けられたパイプ状 Al コンテナ

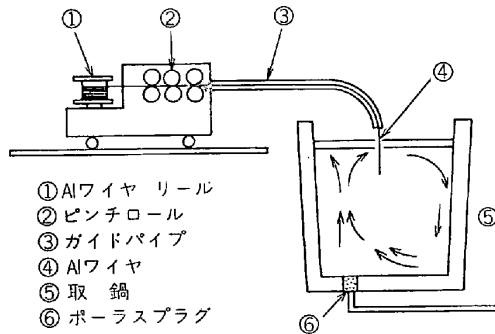


図15 Al ワイヤ添装法模式図

鉄所（扇島）でオンラインで稼動中である。

4.1 Al ワイヤ添加法の原理

WF法による Al 添加の概要は図15に示すとおりである。すなわち、リールに巻かれた Al ワイヤは、フィーダにより高速で送り出され、ガイドパイプにより取鍋溶鋼に導かれる。取鍋溶鋼はポーラスプラグによりガスバブリングされる。

Al ワイヤを溶鋼に添加する場合もつとも重要な点は、Al ワイヤの径と添加速度である。これを決定する要因は2つある。第一は添加された Al ワイヤが鋼浴湯面下の十分深い位置で溶解することである。これについては伝熱計算により Al ワイヤの中心部が融点にまで達する時間 t (h) と Al ワイヤの直径 D (m) との関係は (1) 式で示される。

$$t = 0.133D^2 \dots\dots\dots (1)$$

第二は鋼浴湯面下十分深い位置で溶解した Al がそのまま浮上することなく、浮力に打ち勝つて、溶鋼中深く侵入する運動エネルギーを持つことである。Al ワイヤの添加速度を V_0 (m/sec)、溶解点より h (m) だけ侵入した位置における溶融 Al の添加方向の線速度を V_1 (m/sec) とすると、(2) 式の運動エネルギー保存法則が成

立する。

$$\frac{1}{2} \rho_{Al} V_0^2 = \frac{1}{2} \rho_{Al} V_1^2 + \int_0^h (\rho_{Fe} - \rho_{Al}) g dh \dots (2)$$

ここで ρ_{Al} , ρ_{Fe} はそれぞれ Al および Fe の密度 (kg/m³), g は重力加速度 (m/sec²) である。

かりに 10mmφ の Al ワイヤを 1580°C の溶鋼に添加したとすると、Al ワイヤの中心が融点にまで達するに要する時間は、(1) 式より 0.048 sec と計算される。(2) 式からは鋼浴内 2~3m 程度の深さまで溶融 Al を侵入させるに要する添加速度 V_0 は 8~10m/sec と計算される。すなわち、10mmφ の Al ワイヤを 8~10m/sec の速度で添加すれば、Al ワイヤの溶解は鋼浴湯面下 400~500mm の位置で起こり、溶融した Al はさらに 2~3m の深さまで侵入するエネルギーを持つことになる。

実用機による添加実験は当初京浜の 100t 転炉工場で開催され、その結果、Sol. Al 制御に必要な種々の要因が解明され、Al ワイヤ添加法が Sol. Al 制御の有力な手段となりうる事が明らかとなった。

たとえば、連铸におけるモールド内 Sol. Al は (3) 式または (4) 式に示すごとく実験式により、非常に良い一致を見ることができた。

- 1) すべての Al を Al ワイヤで添加する場合の例

$$(\text{Sol. Al}) m = \left\{ \text{添加 Al ワイヤ}(\%) - \frac{54}{48} [\text{O}] - G(t) - C \right\} \times k \dots\dots\dots (3)$$

- 2) 通常の方法で取鍋内に Al を添加した後、Al ワイヤで Al の補正添加を行なう場合の例

$$(\text{Sol. Al}) m = \left\{ (\text{Sol. Al}) l + \text{添加 Al ワイヤ}(\%) - G(t) - C \right\} \times k \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

- (Sol. Al) m : 連铸モールド内 Sol. Al (%)
- (Sol. Al) l : Al ワイヤ添加前の取鍋内 Sol. Al (%)
- [O] : Al ワイヤ添加前の取鍋内 [O] (%)
- G(t) : 取鍋のガスバブリング中に酸化損失される Sol. Al (%)
- C : ガスバブリング中以外に取鍋レンガやスラグによつて酸化損失される Sol. Al (%)
- k : 取鍋からモールドに至る Sol. Al の酸化損失に対応する酸化損失係数

4.2 Al ワイヤ添加法の操業方法

このような検討をもとに、福山における連铸の本格的な稼動に伴い、第2製鋼工場 (250t 転炉 2/3) に大型の添加装置が設置され、オンライン化が行なわれた。

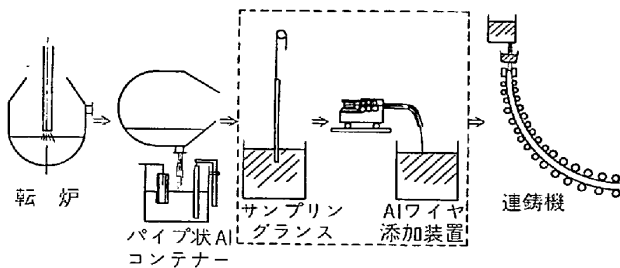


図16 Al ワイヤ添加法を用いた連铸 Al キルド鋼の sol. Al 制御システム

Al ワイヤ添加法を用いた、連铸 Al キルド鋼の Sol. Al 制御のシステムは図16 に示すとおりである。すなわち、転炉で [C] を 0.050% 以下に吹錬された後、Fe-Mn, Al を添加しながら出鋼される。添加される Al の量は終点 [C] によつて決める。添加される Al のうちで一定量はあらかじめ取鍋に取付けられたパイプ状の Al コンテナで、残りは 1 kg の Al 塊で出鋼中に投入される。添加量は、あとで Al ワイヤで調整することを前提として不足気味に設定してある。

出鋼終了後、取鍋は転炉作業デッキ下まで移動され、サンプリングランスで溶鋼の测温と Total Al 分析用のサンプル採取が行なわれる。サンプリングは添加された Al の溶解完了後 2 min 経過後行なわれ、(Total Al 分析値-0.010%) を取鍋内 Sol. Al の推定値としている。

サンプリングの終了した取鍋は輸送台車で連铸ヤードまで運ばれる。連铸ヤードには温度調整用の固定取鍋ス

表2 Al ワイヤ添加装置の設備概要

Al ワイヤ径	9.5mm φ (焼鈍済)
Al ワイヤリール容量	200 kg
ピンチロール電動機	可変速電動機 (220V, 5.5) kW
Al ワイヤ添加速度	0.8~8.0m/sec
Al ワイヤリール電動機	減速電動機 (電磁ブレーキ付)
装置全重量	2 000 kg
操作人員	1

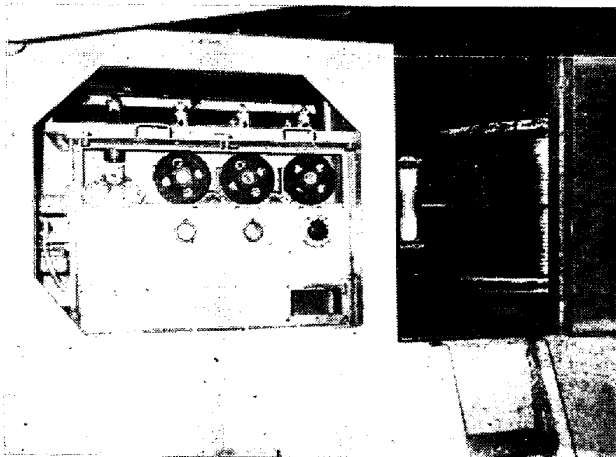


写真2 Al ワイヤ添加装置

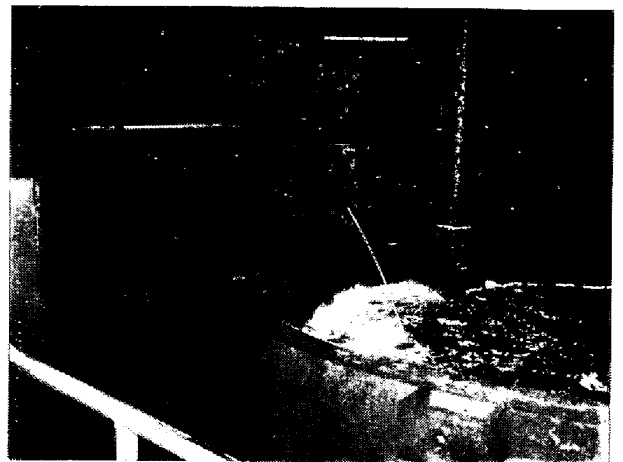


写真3 Al ワイヤ添加状況

タンドを有し、そこで N_2 または Ar ガスバブリングによる温度調整と Al ワイヤの添加が同時に行なわれる。

Al ワイヤ添加装置の設備概要を表2に、外観写真を写真2に、Al ワイヤの添加状況を写真3に示す。使用される Al ワイヤは焼鈍済みの 9.5 mm φ のものである。Al ワイヤの送り装置は AC 220V, 5.5kW の可変速電動機と無段変速機を組み合わせたもので、無段変速機より単列3段のピンチロールに出力を与え、ピンチロールの回転力で Al を送り出すものである。送り出された Al ワイヤはガイドパイプを通つて取鍋内溶鋼へ導かれる。Al ワイヤの添加位置はガスバブリングの直上を避けて、取鍋中央部である。

容量 200 kg の Al ワイヤのリールは電磁ブレーキを内蔵した減速電動機で駆動され、Al ワイヤの添加を停止する際には回転力のついたドラムに制動力をかける。なお、最近 Al 線容量が 1 t である新装置が福山で稼働している。Al ワイヤの添加速度は 8m/sec である。 N_2 ガスは鍋底にセットされたポーラスレンガより 3~5kg/cm² の圧力で吹き込まれ温度の均一化、添加 Al の均一化および溶鋼の清浄化の働きを持つ。温度の均一化のみでも最低 3 min 間のガスバブリングが必要である。

Al 添加量は、基本的には前述の(4)式で決定されるが、簡便法として、Al ワイヤ添加前の取鍋内 Sol. Al としては (Total Al 分析値-0.010%) を使用し、酸化損失される Sol. Al としては、現場的に最も関連の深い鋼浴温度の関数として表わし、図17 に示す計算図を用いている。Sol. Al の酸化損失量が鋼浴温度と最も相関が強いのは、スラッグの反応性あるいは温度調整のための N_2 ガスバブリング時間などの Sol. Al の酸化損失要因と鋼浴温度との関連が強いためと考えられる。

4.3 Al ワイヤ添加法の効果

Al ワイヤ添加法を使用した、連铸 Al キルド鋼の Sol. Al コントロールシステムによる効果は図18 に示すとおりである。すなわち、Sol. Al 値の分布の標準偏差が 0.011% から 0.008% に大幅に改善された。その結

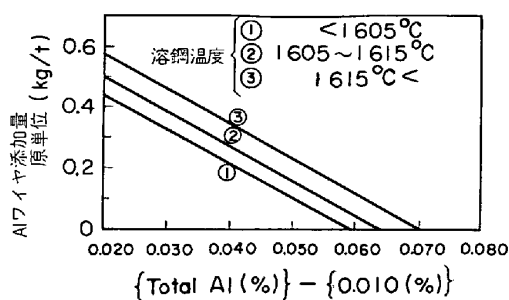


図17 Al ワイヤ添加基準

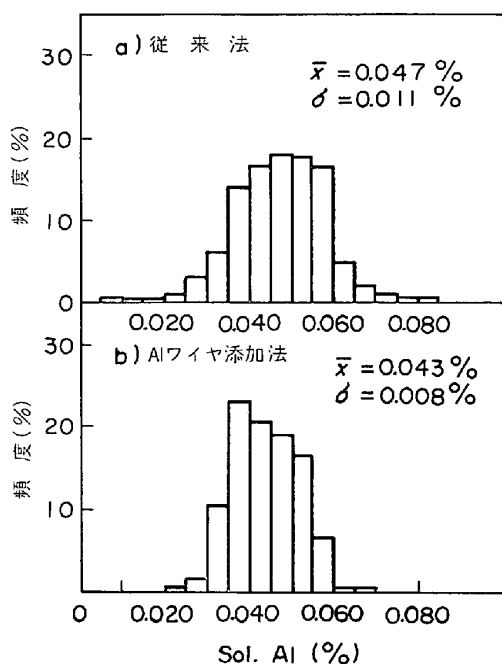


図18 従来法と Al ワイヤ添加法の sol. Al 分布の比較

果、次に示すごとき効果が得られた。

1) Sol. Al 規格はずれによる 向先変更ヒートが減少した。また最終製品の機械的性質の良好な Sol. Al 範囲に分布するようになった。

2) Sol. Al <math>< 0.020\%</math> の発生ヒートが皆無となった。一般に低 Sol. Al スラブの表面はブローホール、ノロ噛みなどの表面欠陥が発生しやすい。したがって、Sol. Al の安定によりスラブのスクーピング損失も減少した。

Al ワイヤ添加法は、深絞り用 Al キルド鋼のみでなく、各種の鋼に適用し、微妙な Sol. Al 制御、特に低 Sol. Al 鋼種の脱酸制御には大いに威力を発揮している。

5. 特殊元素のワイヤ添加法⁵⁾¹⁹⁾²⁰⁾

ワイヤ添加法としては、Al 以外では Ca, REM などの特殊元素の添加への応用がある。ワイヤ添加法は、ワイヤ状に加工することができれば、あらゆる元素添加に応用できるが、現在のところ Al 以外では Ca, REM な

どが行なわれている例が報告されている。

Ca については東北大学音谷教授が開発した Ca クラッド線材がある。Ca または Ca と Al から成る線材を薄鉄板で被覆したものであり、線材の製造も工業化されており、現在多くの鉄鋼会社で試験が進んでいるようである。しかし、公表されたものはほとんどなく、その技術については不明である。今後の発表に期待したい。

REM については、取鍋、タンディッシュ、モールドなどで添加が試みられており、取鍋、タンディッシュについては、耐火物、スラグなどの酸化により、歩留が低いこと、浮上分離の困難な大型介在物の生成、ノズル詰りなどがあり、実用化に問題があつた。したがって、REM 添加については、普通造塊、連続铸造ともにモールド添加が主流となつている。しかし、モールドに添加する場合でも、空気酸化、パウダーとの反応などを十分防止しないと、介在物の問題がある。この対策として、新日鉄では、REM の裸素線を薄い鉄フープで被覆したワイヤを連铸モールド内溶鋼へ直接送入する方法を開発し、好結果を得ている。

6. 簡易取鍋精錬法 (CAS 法)²¹⁾

CAS 法は新日鉄で開発された技術であり、1 t 取鍋による試験結果の報告がある。

設備は図19 に示すとおりで、取鍋内溶鋼に槽を浸漬しスラグを排除し、Ar 雰囲気とした槽内に、Ar バブリングを行ないつつ合金鉄を添加することにより、合金鉄のスラグへの巻込みや空気酸化を防止し、歩留の高位安定をはかつたものである。

試験結果は、リムド、キルド、セミキルド鋼について C, Si, Mn, Al, Ti, S などを添加した結果、CAS 法によれば、各鋼種とも通常法に比較して、添加合金の歩留が高位に安定し、特にキルド鋼では、いずれの元素もほぼ歩留 100% であり、他の鋼種でも、表面に浮いてスラグに巻込まれやすい軽い合金 (C, Si, Al, S) の歩

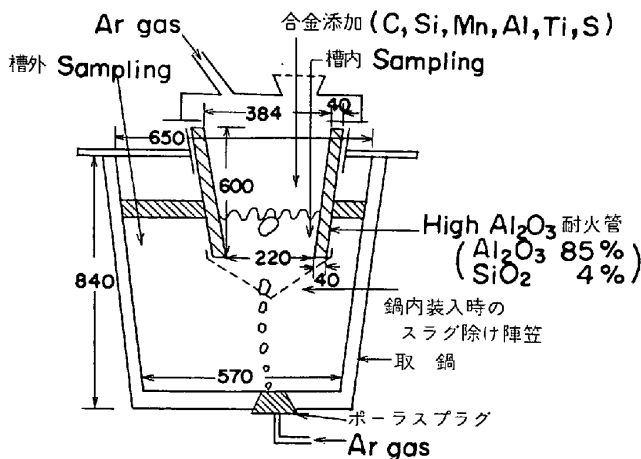


図19 CAS 法の試験概略図

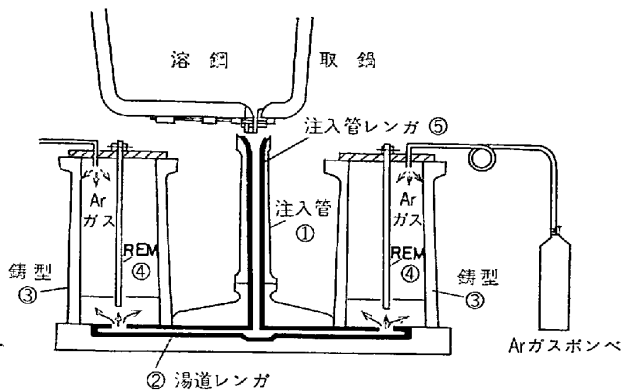


図20 REM の鋳型内添加法

留が高位に安定している。

また、通常の Ar バブリングと比較すると、処理中の [O] が定常的に低下し、処理 7~8 min 後に 40ppm 以下に低下する。

従来出鋼後の取鍋内の成分調整については、取鍋精錬法によるか、RHまたはDHなどの脱ガス法を利用しているが、成分調整と攪拌のみが目的であれば、このような技術もコスト上有利であろう。

7. 普通造塊鋳型内 REM 添加²²⁾

REM 添加の問題点は前述したとおりであるが、日本鋼管では、取鍋添加と鋳型内添加について多くのテストを実施した結果、REM の歩留は取鍋内に添加する場合 22% であるのに対して、鋳型内添加では 87% と高いこと、および REM 添加鋼が取鍋ノズル、湯道レンガなどと接触するため溶鋼を汚濁しやすいことにより、鋳型内添加法を採用している。

鋳型内添加法の概要を図20に示す。造塊方法は下注ぎで、溶鋼は①注入管および②湯道レンガを通つて、③鋳型内に注入される。④REMは、薄肉鋼管に鋳込まれており、溶鋼の上昇とともに徐々に溶解していく、REMの酸化を防止するため、⑤Arガス吹込みにより鋳型内雰囲気のコントロールを実施している。本法の特徴をまとめると以下のとおりである。

1) REMを薄肉鋼管に鋳込んであること、およびArガスシールによりREMの酸化が防止されること。

2) REMの溶け込みが均一に行なわれること。

3) REM添加溶鋼が耐火物と接触しないこと。

これらの特徴により、REMの歩留は非常に高くかつ安定しており、溶鋼の汚濁が少なく、清浄鋼塊が得られる。

8. 結 言

取鍋への合金の添加技術は、従来から何らかの形式で行なわれている技術であるが、本格的な技術の進歩があつたのはここ数年間であつたと言つても過言ではないで

あろう。そしてこのような進歩を促進したのは、とりもなおさず鉄鋼製品の高級化であり、品質要求の高度化であつたといえる。

この資料では、最近数年間の新しい技術に絞つて集録してみたが、今後も取鍋合金添加技術として残るのは、Al添加法であり、さらに特に今後の発展が期待されるのはCaの添加技術であろう。

取鍋精錬法、脱ガス法の今後の発展はいうまでもないが、ここに取上げたような目的に応じた特殊な添加技術の必要性も今後ますます強くなるであろう。

文 献

- 1) E. FÖRSTER, W. KLAPDAR, H. RICHTER, H. ROMMERSWINKEL, E. SPETZLER and J. WENDORFF: Stahl u. Eisen, 94 (1974) Nr. 11, p. 474
- 2) K. KNOP and H. ROMMERSWINKEL: Arch. Eisenhüttenwes., 45 (1974) Nr. 8, p. 493
- 3) E. SPETZLER and J. WENDORFF: Vortrag zur Sitzung des AIME am 15. 4. 1975 in Toronto
- 4) K. NÜRNBERG, E. SPETZLER, and W. NEUHAUS: The second Japan-Germany Seminar April 2. 3, 1976, Tokyo
- 5) JRCセミナー資料 昭和51年6月15日~16日
- 6) 梅田洋一, 安蔵泰夫, 末安正信, 青木健郎: 鉄と鋼, 58 (1972) 4, S88
- 7) 市川 浩, 三沢輝起, 安蔵泰夫, 青木健郎: 鉄と鋼, 59 (1973) 4, S109
- 8) 田上豊助, 梅田洋一, 市川 浩, 青木健郎: 住友金属, 25 (1973) 2, p. 30
- 9) 橋尾守規, 丸川雄浄, 白石博章, 高橋 明: 鉄と鋼, 61 (1975) 12, S509
- 10) 玉本 茂, 植村卓郎, 梨和 甫, 森 明義, 永幡勉, 佐々木寛太郎: 鉄と鋼, 61 (1975) 12, S787
- 11) 池田隆果, 石川遼平, 梨和 甫, 森 明義, 浦知: 鉄と鋼, 61 (1975) 12, S790
- 12) 丸川雄浄, 白石博章, 豊田 守, 高橋 明, 山岡弘: 鉄と鋼, 62 (1976) 4, S127
- 13) 永幡 勉, 隅田 孝, 長谷部和之, 石川皓巳: 鉄と鋼, 62 (1976) 4, S138
- 14) 根本秀太郎, 川和高穂, 笹島保敏, 佐藤秀樹: 鉄と鋼, 56 (1970) 11, S430
- 15) 根本秀太郎, 川和高穂, 佐藤秀樹, 阪本英一: 鉄と鋼, 56 (1970) 11, S431
- 16) 根本秀太郎, 川和高穂, 佐藤秀樹, 阪本英一: 鉄と鋼, 58 (1972) 3, p. 387
- 17) 田中駿一, 内堀秀男, 半明正之, 内田繁孝: 鉄と鋼, 60 (1974) 4, S109
- 18) 田中駿一, 内堀秀男, 半明正之, 内田繁孝: 鉄と鋼, 61 (1975) 14, p. 2991
- 19) 音谷登平, 形浦安治, 出川 通: 鉄と鋼, 61 (1975) 9, p. 2167
- 20) 大日方達一, 和田 要, 小倉卓雄, 荻林成章: 鉄と鋼, 62 (1976) 4, S128
- 21) 原口 博, 大河平和男, 森 久, 薄木宗雄: 鉄と鋼, 61 (1975) 4, S135
- 22) 石黒守幸, 伊藤雅治, 大須賀立美: 鉄と鋼, 62 (1976) 7, p. 827