

また、真空槽内に付着した地金が溶鋼中に溶解あるいは落下し脱炭速度低下の原因となる問題が指摘された。これを回避するために、ガスバーナーで真空槽耐火物を加熱し地金を溶解したり、処理中に付着しにくくする設備が開発された(RH 多目的バーナー)。

極低硫鋼溶製の新技术として、真空槽内の羽口からフラックスインジェクション(FI)を行うRH-FI法、あるいはRH-PB法(1986年)や、真空槽内に設置したランスから粉体を溶鋼表面に吹き付ける脱硫技術(1992年)が開発された(Fig. 3.11)。また、一方では従来のFI技術を発展させ、FIを減圧タンク内で行うV-KIP法(1986年)も開発された。

これらの真空処理設備を利用した脱硫処理技術の開発により、従来は経済的に溶製することが困難であった極低炭素濃度かつ極低硫濃度溶鋼の要求にも対応できるようになりつつある。

低窒素化技術には、工業的には大きな技術発展はなかったが、出鋼時の窒素吸収防止、還元ガスによるRHでの脱窒の可能性を探索した実験、RH浸漬管からの空気侵入を防止するシール技術などの研究が継続され、一部実用化されつつある。基礎研究として、フラックスによる脱窒が提案され、各種スラグ系のナイトライドキャパシティが報告された。また、RH槽内へのフラックス添加による脱窒実験が行われたが、いまだ工程の技術としては確立していない。

ステンレス鋼の高純度化技術について簡単に触れる。極低炭、低窒素のフェライト系ステンレス鋼は、従来VODでの強攪拌によって溶製されていた(SS-VOD法)。これに加え、粉体を溶鋼表面に吹き付けることにより浴面下でのCOガス発生を活発化し、脱炭・脱窒速度を向上する技術が提案された(VOD-PB法)。

含クロム溶湯の脱磷精錬は困難であることは前述したが、この10年間にCaO系フラックスを用いた酸化脱磷処理の工業規模での実験が行われ、低[P]含クロム溶銑( $[\%P] < 0.02$ )を得られるようになった。

### (3) 高品質鋼精錬技術の今後の課題

この10年間の精錬技術の流れを一言で言えば、高純度化・高潔浄度化の要請に応えるため、各反応容器の精錬機能を分化し、それぞれの精錬反応に対し熱力学的に有利な条件を作り、溶湯の強力な攪拌により反応速度を増加することに注力されてきたと言える。しかし、さらなる精錬機能の分化は、工程の複雑化とこれに伴う溶製時間の長時間化、溶製コストの増加などの弊害をもたらすことが予測される。

この状況に対応し、今後は一つの精錬容器内で同時に、あるいは時間をずらして異なる精錬反応を進める技術開発が検討されることだろう。すでに、転炉を用いた溶銑予備処理プロセスでは、CaO系フラックスによる溶銑脱磷に引き続き、ソーダ灰を用いた溶銑脱硫を同じ反応容器で実施する例や、RH設備を脱ガス、脱炭、脱酸の従来機能に加え溶鋼脱硫までの機能を持たせる技術開発などの例も見られる。高品質の

製品を得る目的は変わらないまでも、今後は、なるべく少ない工程で、熱力学的には相反する精錬反応を効率よく行うような精錬機能の集約も一つの方向になると思われる。

溶鋼の高純度化・高潔浄度化は、精錬技術開発の永遠の課題である。ただし、工業規模で実施することを念頭に、経済性を考慮した設備と手法を選択しなければならないのは言うまでもない。さらに、すべての鋼種を高純度・高潔浄度を前提に大量に溶製する技術開発を行うのではなく、必要な程度までの不純物除去を必要な量に対して実施できるような精錬プロセスの再構築も求められる。また同時に、精錬結果のばらつきを小さくする努力も引き続き重要である。

### 3.2.3 高品質鋼連铸技術の進歩と今後の課題

鉄鋼製品品質に対するユーザーの要求が厳しくなり、一方では、連铸-熱間圧延工程の直結化が望まれている。こうしたニーズに応えるには、連铸鑄片の表面、内部欠陥を低減し、鑄片の無手入れ化を達成する技術開発が必要となる。以下、高品質鋼連铸技術のこの10年間の動きについて解説する。

#### (1) タンディッシュメタラジ

##### —溶鋼分配装置から精錬装置へ—

連铸タンディッシュに求められる役割は、清浄な溶鋼を均一な温度で鑄型に供給することにある。そのため、タンディッシュには、(i)介在物の浮上分離、溶鋼の再酸化防止といった溶鋼の清浄化機能と、(ii)溶鋼加熱などの手段による溶鋼温度の均一化機能が求められる。

##### (i) 溶鋼の清浄化機能

定常部、非定常部の溶鋼の清浄化を図るには、溶鋼中の介在物浮上分離を促進するタンディッシュ形状を選定する必要がある。そのため、(イ)溶鋼の滞留時間を確保すべく、1ストランドで80t容量の大型タンディッシュが登場し、また(ロ)2鍋同時注入が可能で、2槽構造を有したH型タンディッシュが実用化されるに至った。H型タンディッシュの概略をFig. 3.12に示す。H型タンディッシュは取鍋交換時のタンディッシュスラグの巻き込み防止、取鍋スラグの流入防止に効果のあることが報告されている。

さらに、タンディッシュ内溶鋼を回転磁界により攪拌し、

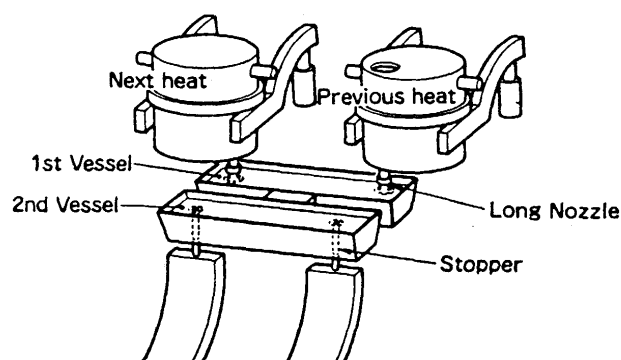


Fig. 3.12. Schematic view of [H-TD] casting process. (CAMP-ISIJ, 4 (1991), p. 1200)

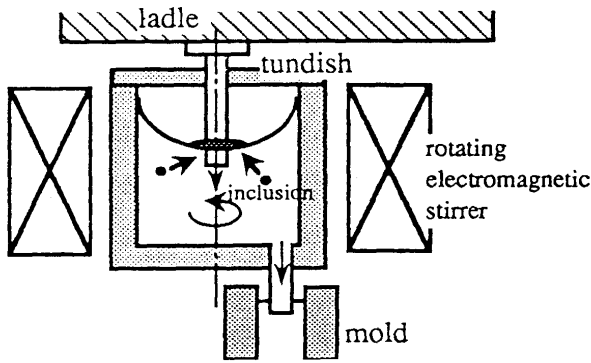


Fig. 3.13. Schematic diagram of centrifugal tundish. (CAMP-ISIJ, 7 (1994), p. 324)

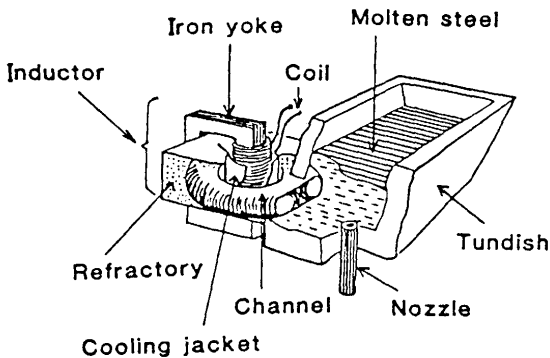


Fig. 3.14. Principle and construction of induction heater. (Tetsu-to-Hagané, 71 (1985), p. 53)

介在物粒子の粗大化による浮上分離の促進、取鍋から鑄型への短絡流防止を狙った遠心分離タンディッシュ (Fig. 3.13) が研究開発されている。

(ii) 溶鋼温度の均一化機能

鑄造初期と末期、および取鍋交換時のタンディッシュ内溶鋼の温度低下による、鑄片品質の劣化、およびノズル詰まりなどの操業トラブルを防止するために、タンディッシュ内での溶鋼加熱が必要とされる。

溶鋼加熱方式として、誘導加熱法 (Fig. 3.14) とプラズマ加熱法に大別される。いずれの方式も鑄造中  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  以内の溶鋼温度制御性が得られている。こうした溶鋼加熱手段の採用により、タンディッシュ内での小ロット用溶鋼成分の調整も可能となった。

(2) モールドメタラジー

—溶鋼流動制御と初期凝固制御—

連鑄鑄型内において、鑄片の表面および内部の欠陥を低減するには、以下 (i)~(iii) の技術が必要とされる。

(i) 鑄型内溶鋼の流動制御技術

鑄型内の溶鋼流動は鑄片品質と密接に関係しており、メニスカス部においては、溶鋼の過熱度を保持しつつ、溶鋼流速の平均値および乱れを低減させ、鑄型内部においては、溶鋼の下降流速を減少させる必要がある。そのため、以下、(イ)~(ハ) の技術が開発されている。

(イ) 浸漬ノズル形状の最適化

従来の2孔ノズルに比べて、浸漬ノズルの吐出口を大断面

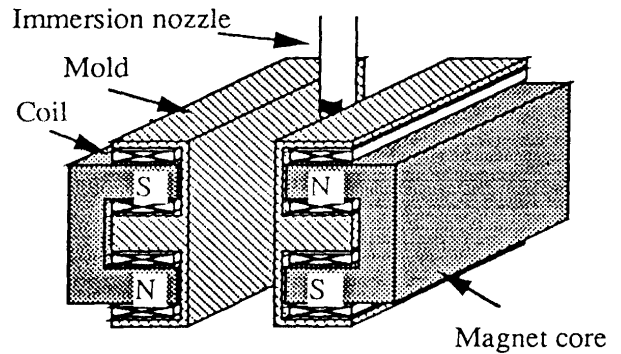


Fig. 3.15. Schematic view of flow control mold. (CAMP-ISIJ, 4 (1991), p. 1281)

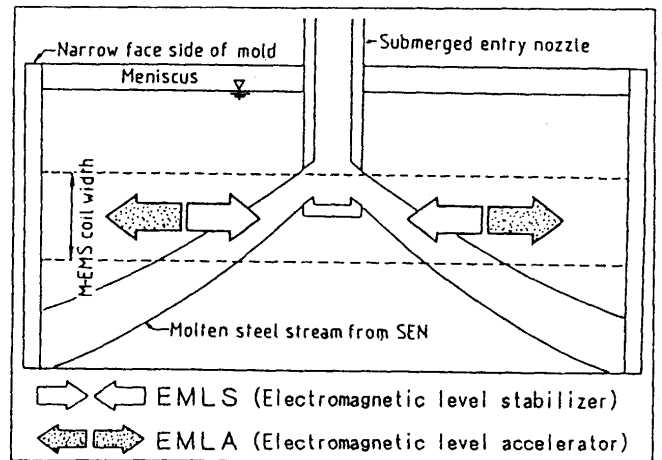


Fig. 3.16. Direction of electromagnetic force imposed by M-EMS. (Proc. 6th IISC, Vol. 3, ISIJ, Tokyo (1990), p. 356)

化し、均一な低流速の吐出流を確保する4孔ノズルが開発され、鑄片品質の向上に寄与した。

(ロ) 浸漬ノズル詰まり防止技術

連々数の増加に伴い、浸漬ノズル内に脱酸生成物 (主としてアルミナ) が堆積し、鑄片品質上大きな問題となっていた。これに対処するため、アルミナと反応し、低融点酸化物相を生成する  $\text{ZrO}_2 \cdot \text{CaO}$  浸漬ノズルが開発された。本ノズルの使用により、ノズル詰まりが減少し、連鑄材の品質が向上するとともに、ノズル連々数が増加することが報告されている。

(ハ) 電磁力を用いた溶鋼流動制御

電磁力を用いて、鑄型内の溶鋼流動制御を実施する方式として、a) 静磁場を印加するもの、b) 移動磁場を印加するものが挙げられる。a) の代表例として、FCモールド (Flow Control Mold) の概要を Fig. 3.15 に示す。本法は静磁場を鑄型内で上下2段に鑄片全幅に印加して、溶鋼流速を電磁ブレーキにより減速するものである。b) の例を Fig. 3.16 に示す。本法は浸漬ノズルからの吐出流速を移動磁場により、減速あるいは加速し、メニスカス表面流速を所定範囲内に制御するものである。いずれの方法も連鑄鑄片品質の向上に寄与している。

(ii) モールドパウダーの機能向上

極低炭素鋼用パウダーに関しては、鑄型内溶鋼中へのパウダーの巻き込みを防止するために高粘度化が、また、加炭を防止するために熔融特性の向上が図られている。一方、中炭素鋼の縦割れ防止対策として、パウダーの結晶化温度の上昇、結晶化層内のマイクロポーアの増加により、鑄型内鑄片の緩冷却化が指向されている。

### (iii) 電磁初期凝固制御

電磁初期凝固制御とは、鑄型内メニスカス部に交流磁場を印加し、凝固シェルもしくは溶鋼を誘導加熱するとともに、電磁気力により鑄型/溶鋼間のパウダー流路を拡げ、鑄型振動により発生する流路内の圧力を低減し、鑄片表面を平滑化するとともに、鑄型内潤滑の安定化を図るものである。電磁初期凝固制御法として、イ) 銅鑄型背面に低周波コイルを配するもの、ロ) 高周波磁場を用いるコールドクルーシブルタイプなどが挙げられる。両法で鑄造したピレット表面は、磁場印加によりオシレーションマーク深さが浅くなることが報告されている。

電磁初期凝固制御に関しては、鑄片表面品質から見た磁場印加法の選定とともに、溶鋼への印加効率向上のための鑄型およびコイル設計が重要な技術開発課題であり、基礎実験あるいは現場実験の段階である。

### (3) 偏析防止技術

サワーガス用ラインパイプ材の耐 HIC 特性の向上、均熱拡散処理の省略などのため、連鑄スラブ中心部のマクロおよびセミマクロ偏析を低減する必要がある。

中心偏析の防止対策として、凝固末期に鑄片を所定量圧下する軽圧下法が開発、適用されている。軽圧下法としては、稠密ロールによるもの、ウォーキングバブロックによるものがある。軽圧下法により、大幅にセミマクロ偏析が低減することが報告されている。

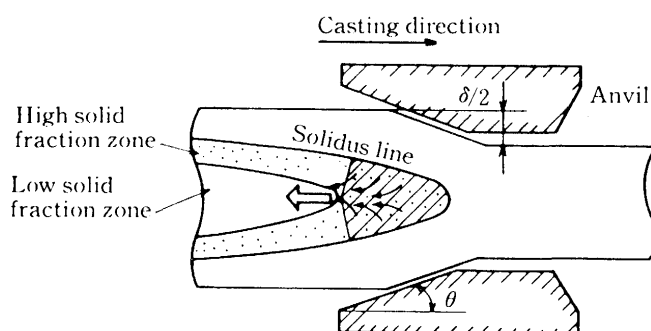


Fig. 3.17. Concept of continuous forging process. (Kawasaki Steel Giho, 26 (1994), p. 1)

連鑄ブルーム材においても、同様に凝固末期圧下技術が適用され、中心偏析およびセンターポロシティの改善に効果をあげている。圧下法として、ロール圧下法と、未凝固鑄片を一对の金型で大圧下する連続鍛圧法 (Fig. 3.17) が挙げられる。連続鍛圧法は、高級鋼線材の伸線性向上、線棒製品の高機能化に貢献している。

### (4) 今後の課題

連鑄技術の使命は高品質と高生産性を両立させるところにある。将来、より高注湯速度下で、より高品質の鑄片を得るには、以下の技術的ブレークスルーが期待される。①タンディッシュ内での攪拌力を用いたより積極的な溶鋼の脱酸技術の確立。②鑄型潤滑、鑄型内での鑄片の緩冷却などの機能を同時に達成しうるモールドパウダーの開発。③より強力な電磁力を用いた鑄型内溶鋼流動制御法の開発。④電磁初期凝固制御の進歩、実用化による表面無欠陥の達成。⑤浸漬ノズル内へのガス吹き込みを実施せずに、詰まり防止を可能とする鑄造技術の確立。⑥非定常部を減少させるため、タンディッシュ、モールド内での異鋼種混合防止技術の確立。

## 3.3 コスト削減、国際競争力確保の努力と今後の課題

### 3.3.1 コスト削減を主体とした操業技術の改善

1973年のオイルショック以降、1億t強という国内生産量の停滞は好景気による多少の増加はあるもののこの10年間も同様の動きであり、1992、93年の両年に至っては1億tの台も割り込む状態になっている (Fig. 3.18)。

生産量の停滞に伴い量の主体を占める転炉製鋼法では転炉工場の新設はなく、粗鋼全体での連鑄化比率も1985年の92.5%から1992年の96.5%とわずかな増加に留まっている。

1986年からの円高不況と1991年からの内需の崩壊と第二の円高ともいべき不況に直面し、コスト面での国際競争力の低下をいかに克服するかが現在も続く大きな課題である。一方、オイルショック以降明確となった鋼材品質要求の

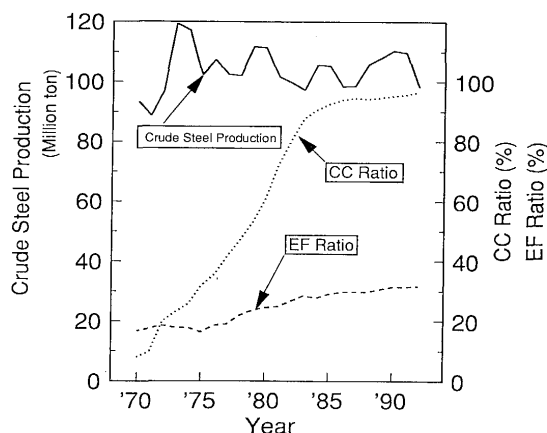


Fig. 3.18. Crude steel production, CC ratio and EE ratio in Japan.