

Fig. 3.21. Comparison of steelmaking time. (CAMP-ISIJ, 4 (1991), p. 1302)

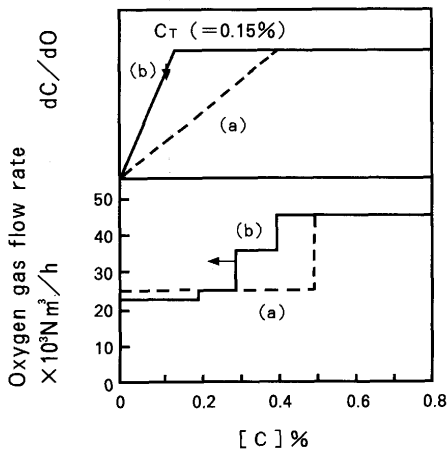


Fig. 3.22. An example of blowing pattern: (a) Former; (b) Present. (Nippon Kokan Tech. Rep., (1987), No. 118)

り目標[P]レベルを高く設定し、溶銑脱磷そのものの精錬負荷低減を図っている。一般的に、全量処理は低炭素鋼のスラブを生産する工場で採用される傾向にある。

このような溶銑脱磷の普及は低磷鋼のみならず、二次精錬との組み合わせによる高純度鋼の生産を容易にした。

**(b) 高速吹錬技術の開発と転炉高能率操業**

複合吹錬は溶銑脱磷より先に実用化され、低炭素領域における脱炭酸素効率の改善など、その優れた精錬特性により転炉の安定操業に貢献していたが、高能率操業の実現には脱磷とスロッピングの課題を残していた。溶銑脱磷の実用化は転炉の脱磷負荷を軽減したのみならず、転炉での副原料使用量を大きく削減した結果、スラグ量を従来の1/4まで低減したのでスロッピング問題までも同時に解決することになった。

溶銑脱磷の採用により転炉の精錬機能は脱炭に単純化されたので、操業の高能率化を目的に吹錬の高速化が図られた。新日本製鐵(株)・名古屋では溶銑脱磷の採用により酸素流量を増加し吹錬時間を3分短縮した。さらにスクラップ装入や排滓・補修時間などの非吹錬時間も3分短縮した結果、吹錬時間は約11分、Tap-Tapは約22分という高能率操業を実現している。また、新日本製鐵(株)・君津の第2製鋼工場ではORPの採用により転炉の精錬負荷を低減した結果、300t転炉1基で約500万t/年を生産する高能率操業を実現して

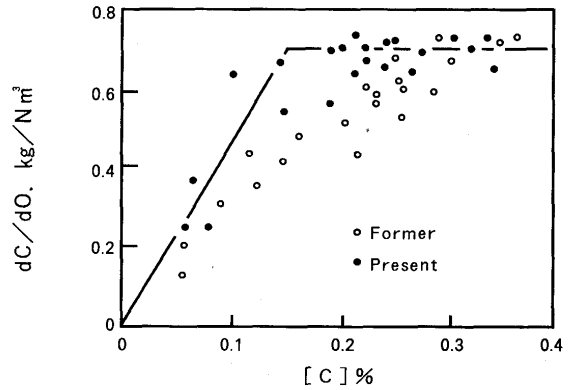


Fig. 3.23. Comparison of the decarburization efficiency between the former and the present blow in less-slag. (Nippon Kokan Tech. Rep., (1987), No. 118)

いる。

**(c) 溶銑脱磷との組み合わせによる転炉コストの削減**

溶銑脱磷が実用化された当初は、転炉操業諸元の改善を目的にスラグ量をどこまで低減できるかが研究された。この結果、転炉での脱磷が不要でもスラグが適量なければ、ヒュームダストとバブルバースダストが増加し歩留が低下することや、少量スラグでの吹錬では低炭素領域で(FeO)が急激に上昇することなどが確認された。これらを解決するには、約25kg/tのカバースラグが必要なが判明した。また、吹錬末期の上吹き酸素流量を脱炭酸素効率の低下に合わせて低減する吹錬プロセスも開発された。転炉での脱磷が不要な条件下では、複合吹錬の効果を発揮して吹錬終了時の(FeO)を従来より8%程度低減することも可能となった。そこで、高[Mn]鋼溶製時は炉内に安価なMn鉱石を添加し溶融還元することにより、高価なMn系合金鉄を削減するプロセスが実用化された。また、転炉形状もMn鉱石の溶融還元率向上のためにスラグ・メタルの攪拌力が強いディーパスの方が良いとの考えから、鉄皮更新の際に鉄皮形状を見直す動きもある。

**(d) 今後の課題**

溶銑脱磷の実用化により転炉操業の高能率化は実現されたが、従来に比べ精錬工程が1プロセス増加した結果熱的には不利となり、スクラップ使用量は減少した。

今後、地球環境的なスクラップのリサイクルを考慮すると、溶銑脱磷や転炉のみならず電気炉、新精錬炉を含めた総合的なスクラップ利用技術の開発が望まれる。

**3.3.3 スラブ用連続鋳造における高能率生産技術の開発**

**(1) 高速鋳造技術の進歩**

連続鋳造の生産性向上においては鋳造速度の高速化が最大の課題の一つである。高速鋳造を実現するための要素技術として ①鋳型内潤滑技術、②大容量安定給湯技術、③湯面レベル制御技術、④鋳片表面性状改善技術、⑤内部割れ防止技

術、⑥介在物低減技術などが挙げられる。

鑄型内潤滑、すなわち鑄型と鑄片間の潤滑を保証する技術は、両者間に介在するパウダーの開発が大きなウェイトを占める。鑄型内潤滑を確保するにはパウダーの粘度・溶融速度・かさ密度などの適正化が重要であり、各物性に及ぼす支配因子の研究が数多くなされている。その結果、高速鑄造時に必要な低粘度・高溶融速度・低かさ密度を有するパウダーの設計が可能となり、実用機では鑄造速度 3.0 m/min の安定鑄造が達成されつつある。鑄型内潤滑を補助する手段の一つにオシレーション条件の最適化がある。オシレーションは従来のサイン波形に対して非サイン波形を用いる方法やストロークの変更・サイクル数の適正化などの工夫がなされている。また最近では、鑄型を水平方向に周期変動させる方法も提案されている。

給湯技術と湯面レベル制御技術は両者が相俟って鑄型内の溶鋼流動を制御し、介在物の侵入抑制・パウダーの巻き込み防止などの効果を発揮している。これらを支える技術としては、浸漬ノズルの材質・形状の最適化や渦流レベル計の開発、さらには電磁気力を利用した溶鋼流動制御方法などがある。従来の RI レベル計が湯面の溶融パウダーの焼結層付近を測定しているのに対して、現在主流になっている渦流レベル計は溶鋼表面に発生する磁界を利用し湯面自身を測定するので精度が良くなる。従来過小評価していた湯面レベル変動の実体を明かにすることが可能となりパウダー巻き込みなどによる表面欠陥防止に大きく効果を発揮している。電磁力を利用した鑄型内容鋼流動制御法の一つに電磁ブレーキ (EMBr: Electro Magnetic Brake) があり、浸漬ノズルからの吐出流に制動力をかけ鑄型短辺からの吐出反転流速を押さえて湯面変動の抑制や介在物の侵入防止に効果をあげている。さらに、電磁ブレーキのかけ方も吐出流に磁場を直接印可する方法 (第一世代) に対して、最近では鑄型全幅方向に印可する方法や印可磁場を 2 段にする方法、鑄造条件によっては逆に加速する方向に磁場を印可する方法など第二世代に移行しており電磁攪拌と併せて電磁力利用分野はさらなる発展が期待できる。

内部割れは連続鑄造機のマシン設計に関わる問題が主体であり、高速化になるほど凝固界面に変形や歪が加わる機会が多く内部割れ発生の危険性が増すことになり、これをいかに少なくするかというのがマシン設計に必須のアイテムである。ある凝固範囲内において発生する歪が積算するという考え方を基に、マシン内の各部分に発生する歪を算出し、あらかじめ基礎試験などによって求めた内部割れ発生限界歪と比較することによって内部割れの発生しないマシン設計が可能となる。この方法により目標鑄造条件に合致したロールレイアウト・ロールピッチ・湾曲半径・矯正方式などが決定される。

以上の要素技術を組み合わせることにより高速鑄造化が実現され実機設備では 3.0 m/min、試験設備では 5.0 m/min

までの高速化が達成されている。

連続鑄造において高生産性を維持するには高速鑄造化のほかに、大断面化・多ストランド化が考えられる。大断面・高速鑄造条件下ではマシン機長が長くなり設備費の増大が懸念される。また、多ストランド化は設備費の増大はもちろんのこと要員増加・安全性悪化・設置面積増加などの問題を有している。したがって今後の動向として、薄スラブ化・1 ストランド化で高速鑄造を指向する傾向が強くなると考えられる。この傾向は近年電気炉・ミニミルを中心とした薄スラブ連鑄で急速に普及しつつあり 50~100 mm 厚スラブを 5.0~6.0 m/min の速度で鑄造するというもので、今後高速化の要求は増大しさらなる技術革新がなされるであろう。

## (2) 稼働率の向上技術

稼働率の向上、すなわち鑄造準備時間の短縮は生産性向上のための基本要件であり、近年設備技術の進歩とも相俟って、大幅に短縮されてきている。主要要素技術として、従来から適用されてきたダミーバーを鑄型から挿入する方法の利点を生かし、前チャージの鑄造終了後、引き抜き中にダミーバーの挿入、シール作業を行い後チャージの鑄造を開始する方法の開発により、最短 10 分以下にまで準備時間を短縮した報告例もある。

これらの改善により稼働率 (鑄造時間率) が 85% を超え、前述の鑄造速度の高速化とも相俟って 1 基で 300 kt/月を超える高能率連続鑄造機も出現してきた。

## (3) 多連鑄技術の進歩

多連鑄化は連続鑄造における生産性を向上させるだけでなく、後述する熱間圧延との同期化操業を実現させる上でも重要な技術でもある。多連鑄化技術については、鑄造時間が長くなることに起因する浸漬ノズル内の閉塞防止技術、および鑄造中幅替技術について述べる。

### (a) 浸漬ノズル閉塞防止技術

浸漬ノズルの閉塞は主として酸化精錬後の脱酸過程で生成したアルミナがノズル内面の耐火物に付着、堆積する現象であるが、閉塞による操業支障のみならず、鑄型内容鋼流動に対して大きな影響を与え、鑄片の品質悪化原因の一つとなる。この対策として、従来から Ar ガスを浸漬ノズル上方から吹き込む手法があるが、鑄型内の溶鋼湯面を変動させるなどの悪影響があり、最近では鑄片の品質確保上、基本的には Ar レス鑄造を指向する方向にある。

そのための最近の技術として、低 Ar 流量下でアルミナが耐火物に接触する頻度が増加しても、付着しにくい材質の開発が進められている。その考え方としては、 $ZrO_2 \cdot CaO$  質を用いて接触したアルミナを化学反応により低融点化し液相状態とすることで、その後の堆積を防止する方法や、ジルコニア・ムライト質を用い、ノズル材質自身が溶鋼稼働面において低融点層を形成し、アルミナ付着を防止する方法などがあり実用化されてきた。

### (b) 高速幅替え技術

後述する連続铸造-熱間圧延直結化のための必須課題は連続铸造スケジュールと熱延スケジュールとのマッチングである。熱間圧延においてはロール摩耗などを考慮して、圧延する鑄片を広幅材から順次幅を減少していくのが一般的である。このような条件下で両工程間の同期化を実現するため連続铸造における铸造中幅替、铸造後スラブの幅サイジングなどの技術開発が進められ、実用化されてきた。

铸造中の鑄型の幅替においては、鑄片-鑄型間の接触負荷の増加などによりブレイクアウトなどの問題があったが、各種の技術開発により、2 m/min の高速铸造下でも安定した幅替を実現した例もある。また幅替中の鑄型短辺移動速度の制御向上によって鑄片形状（長手方向にテーパあり）の精度が改善されてきている。

一方、熱延のスケジュールに対する連続铸造の自由度拡大を図るため、従来から行われている幅縮小だけでなく幅拡大技術も発達し、最大 100 mm/min の高速幅拡大の例もある。

### (4) 直送圧延技術の進歩

連続铸造~熱間圧延の直結化操業については 1977 年頃より多くの技術課題に対し開発が進められ、新日本製鐵(株)・堺 (1981 年) において鑄片を加熱しない HDR (Hot Direct Rolling) が開始されて以降、各製鉄所でも実現されてきた。直結化操業の形態としては、既設の熱延ミルに近接して新しく連続铸造機を設置した例が多いが、遠く離れた既存の連続铸造機と熱延ミル間で HDR を実現しているところもあり、各製鉄所の操業条件に適した铸造-圧延直結・同期化プロセスが確立されるに至っている。現在、熱延前の加熱炉を経ない HDR 操業を実施している製鉄所は 2 カ所、専用加熱炉を経た直結操業 (DHCR, Direct Hot Charge Rolling) を採用しているのは 4 製鉄所となっている。

#### (a) 鑄片温度保証技術

直送圧延、特に HDR においては圧延に耐えられる鑄片の高温化が必須であり、特に温度が下がりやすい鑄片端部の温度保証技術開発が進められてきた。連続铸造機機体内においては铸造中のスプレー冷却制御の改善および鑄片の持っている潜熱と顕熱を利用した機内保温技術、鑄片搬送ラインにおいては搬送ローラーテーブルの高速化や専用高速走行台車の開発、あるいは熱延直前における誘導加熱や噴流ガス加熱による鑄片端部加熱技術の進歩により、HDR に耐えられる鑄片温度保証が可能となった。

その結果、最大  $200 \times 10^3$  kcal/t 程度の加熱炉燃料原単位低減量が実現されている。

#### (b) 鑄片の幅サイジング技術

一般的に熱延ミル生産能力に比して、連続铸造機 1 基当たりの生産性が低い場合が多い。これに対応するため、鑄片を成品板幅より広げて製造し圧延の前に幅圧下することで、連続铸造機を生産能力を上げると同時に熱延能力に近づける努力がなされてきた。鑄片の幅圧下の方法として従来から適用

されてきた垂直ロールによる圧下では、幅圧下効率が低い、長さ方向の幅変動を生じやすいなどの難点があった。このような問題を解決する一つ的手段として、金型による幅鍛造プレスの開発、導入を進めた製鉄所もあり、連続铸造機を生産能力が 25% 向上した例もある。

一方前述の铸造中幅替をせず、幅を一定かつ大きな断面サイズの鑄片を製造し、これを専用の V-H-V (V: Vertical Mill, H: Horizontal Mill) タンデムレバースミルで幅大圧下している例もある。

### (c) 直結化システム技術

連続铸造-圧延の直結化操業のメリット、すなわち省エネルギーはもとより連続铸造と熱延の中間段階で発生するスラブ在庫の削減、納期短縮などを最大限引き出すには、前述の要素技術の積み重ねだけでなく、高炉から熱延までを一貫して操業計画・管理し得るシステムが必須である。すなわち、各工程を一貫したスケジューリング機能、各工程での時刻管理機能や操業変動に対する迅速な調整機能、またそれらを支える全工程を網羅した操業管理、品質管理、物流管理機能の充実が必要であった。これに対しては高速大容量のデータ処理、関連ビジコン、プロコン、端末を包括する大規模ネットワークなどハード、ソフト両面での進歩に支えられ、各製鉄所の生産環境に適した一貫管理システムが構築されるに至っている。

## 3.3.4 電気炉の高能率生産技術

### (1) 技術開発の現状

日本鉄鋼連盟統計による、我が国の電気炉操業成績の推移を Fig. 3.24 に示す。本誌 70 周年特集号では、1973 年から 1983 年までの 10 年間の技術進歩として、炉容の大型化、大電力化 (UHP 化)、炉外精錬導入、酸素富化・炭粉吹込操業の開発などをとりあげた。本稿では 1983 年以降の技術トピックスとして直流電気炉、偏心炉底出鋼、LF の普及、新スクラップ予熱法を概説する。

#### (a) 直流電気炉

従来の交流電気炉での大型化、大電力化のネックは、フリッカー (電圧変動による照明のちらつき) 障害であった。直流電気炉は、これを軽減できる炉として最近注目を集めている。直流炉の構造上の特徴は、従来 3 本であった黒鉛電極が 1 本で済むかわり、炉底にも電極が必要となることである。Fig. 3.25 に炉底電極の代表的な形式を示した。

直流電気炉の採用により、従来の交流炉では困難であった大電力投入が容易となった。Fig. 3.26 に示すように直流炉は交流炉の約 2 倍近いトランス容量を有している。直流電気炉は国内では 1988 年に 1 号機が稼働して以来、1992 年末までに 10 基が設置された。

ところで、直流電気炉は欧州で開発された技術であるが、欧州での設置基数は 2 基に留まっている。この理由としては、欧州では電力事情に恵まれており、日本のようなフリッ