

(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铸操業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铸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铸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铸機と熱延ミル間で 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。連铸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 200×10^3 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铸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

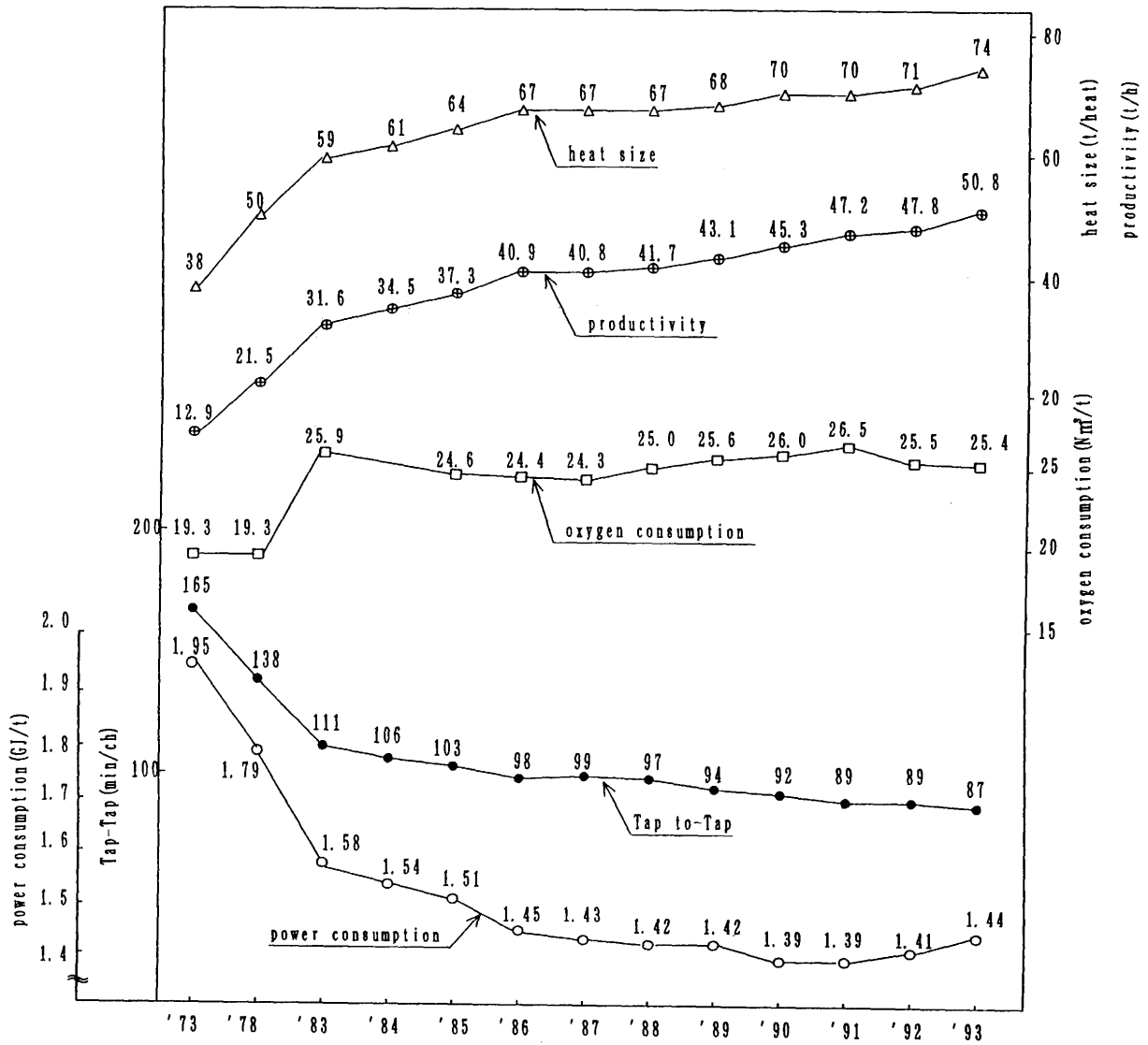


Fig. 3.24 Change of EAF productivity and energy consumption in Japan.

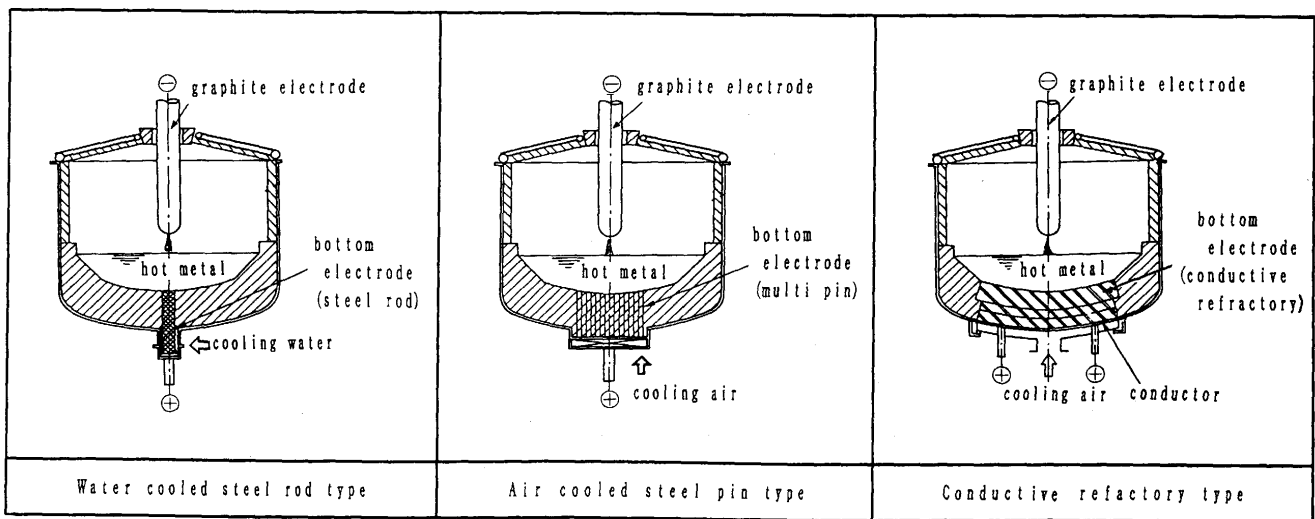


Fig. 3.25. Schematic illustration of three type bottom electrode for DC EAF.

カー問題が少ないためといわれている。

(b) 偏心炉底出鋼法

偏心炉底出鋼法 (EBT: Eccentric Bottom Tapping) とは

Fig. 3.27 に示すように、炉底部に出鋼口を設けたもので、従来法に比べ、

- 出鋼時の炉傾動角度が小さくなるので、炉壁の水冷化面

積が拡大でき耐火物原単位が減少する。

- 出鋼時、電気炉の酸化性スラグの流出をカットできるので取鍋内へ添加する合金の歩留や、溶鋼の清浄度が向上する。

などの効果が期待できる。本法の開発はドイツ(1970年)であり、日本でも約30基(1993年)が採用されている。

(c) LFの普及

LF (Ladle Furnace) は、1970年後半から品質向上を目的に、主に特殊鋼電炉で採用されたが、80年代に入ると普通鋼電炉にも普及した。これは、LFが単なる品質対応としてだけでなく、電気炉の生産性向上や連铸工程とのマッチングにとって有効なプロセスであることが明らかになったためである。

1983年から1993年にかけて、普通鋼電炉のLF設置基

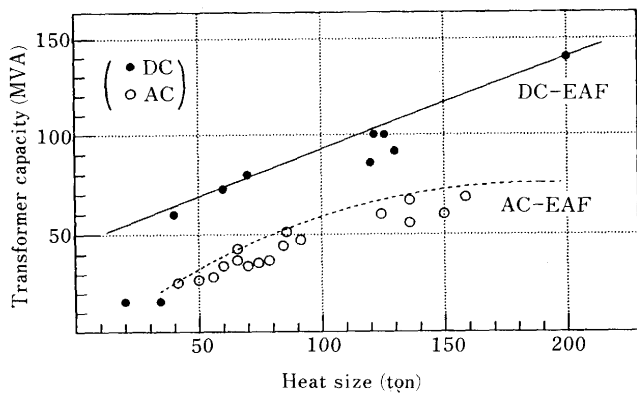


Fig. 3.26. Relationship between furnace capacity and transformer capacity for DC/AC EAF.

数は7基から28基に増加した。これにより、普通鋼電炉粗鋼の炉外精錬比率も14%から80%と大幅に増加している。また、特殊鋼電炉についてもLF基数は13基から20基へ、炉外精錬比率は85%から95%へとそれぞれ増加している。

(d) 新スクラップ予熱法

電気炉排ガス熱を利用したスクラップ予熱技術としては、従来、クラムシェルバスケット内のスクラップに排ガスを導入、熱交換する方法が行われてきたが、本法には白煙・悪臭などの問題があった。

最近、内外で開発が進められている、いわゆる「新電炉」は電気炉本体のより近い位置でスクラップ予熱を効率良く行おうとするもので、代表プロセスをFig. 3.28に示す。1980年代末に開発されたこれらプロセスは現在、国内で4基、海外で6基が稼働、計画中である。

(2) 将来展望

我が国で初の電気炉が稼働したのは1916年であるが、現在のような炉体構造(交流、炉体傾動、スクラップ炉頂装入)になったのは、1950年代に入ってからである。それから約

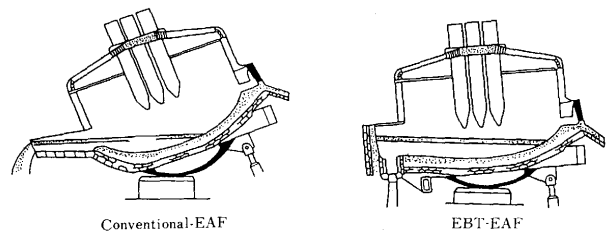


Fig. 3.27. Schematic figure of conventional EAF and EBT EAF.

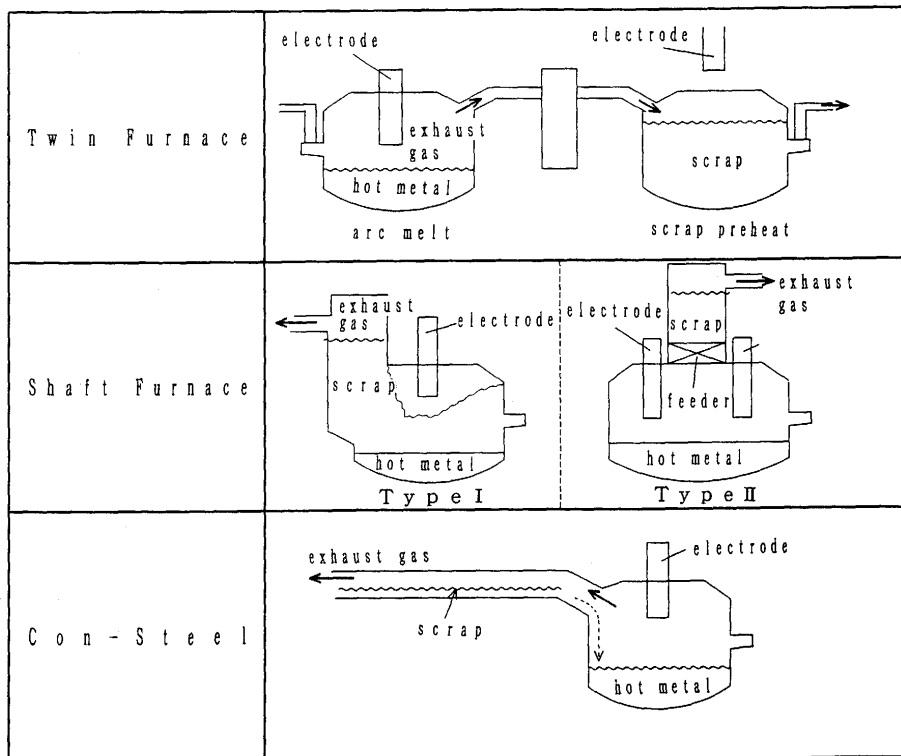


Fig. 3.28. Comparison of new scrap preheat process for EAF.

50年を経た今、その炉の見直し、変革が始まった。かつては、スクラップ溶解に加え、あらゆる精錬を担当した電気炉も、炉外精錬の普及により、今ではスクラップ溶解炉として位置付けられる時代が変わった。本稿で述べた直流炉、新スクラップ予熱は、溶解機能強化技術の一端である。

日本鉄鋼協会電気炉部会では、10年後の電気炉能率を Tap-to-Tap 40 min/Ch と予測しており、今後の進展が期待される。

3.4 製鋼における自動化技術計測技術の進歩

3.4.1 転炉における計測・自動化技術の進歩

転炉の生産性向上、操業コストの低減、省力化などを目的として、吹錬の自動化技術の開発が進められている。特に近年の自動吹錬は、センサーによる吹錬中の軌道修正方式から、溶銑脱磷プロセスの普及や高速化を背景とした軌道修正をしないパターン吹錬方式を指向している。しかしながら、溶銑脱磷能力が不足したり脱磷負荷の大きい鋼種が多い製鉄所では高度な「吹錬中の吹錬制御」を必要としており、センサー技術や制御技術の進歩が期待されている。本項では1980年後半以降に開発された主な計測・自動化技術を紹介する。

(1) 転炉操業における計測技術

転炉操業における計測技術、計測対象は次の3項目に大別できる。

- ① 吹錬中に必要な計測対象：溶鋼温度、溶鋼成分、湯面検知、など
- ② 吹錬の安定化に必要な計測対象：スロッピング予知、滓化検知、など
- ③ 省力化、品質向上などに必要な計測対象：自動出鋼、スラグ流出検知、など

サブランス測定を中心としたダイナミック制御技術は1980年代のDDC (Digital Direct Controller) を初めとする計算機システム技術の進歩に伴い、ほぼ技術が確立された。1980年代後半には主ランス、サブランスの停止位置精度を向上させるためのマイクロ波による湯面測定技術や、炉内の排ガス二次燃焼率を測定するための質量分析計の導入が行われ、ダイナミック制御技術は完成の域に達したといえる。

一方、溶鋼成分の制御に関してみれば、溶銑脱磷が導入されたものの、製品品質の厳格化への対応、迅速出鋼比率の向上などを目的として吹き止め時の溶鋼[C], [Mn], [P], [S]を精度良く推定する試みが行われてきた。

当初は、吹き止め時に酸素センサーを用いて溶鋼中酸素濃度を測定し、溶鋼-スラグ間の平衡関係や物質収支から推定する方法が一般的であった。しかしながら、本方法の推定精度は十分とはいえない上、溶鋼-スラグ間が非平衡な高炭素鋼

ところで、電気炉法の基盤はスクラップの安定供給にあることは言うまでもない。統計によれば、国内のスクラップ総量は今後も増加すると予測されているが、良質スクラップに関しては必ずしも楽観できる状況にはない。最近、溶銑を電気炉に装入する操業が始まっているように、良質鉄原料ソースの多様化と利用技術の開発は今後ますます重要なテーマとなるであろう。

には適用できないという問題点を有していた。この対策として吹錬途中のダイナミック制御用にサブランス測定する際、同時にディスクサンプルを採取・回収し、現場に設置したオンサイト型発光分光分析計にて分析し、その値を基にして成分を推定する方法が実施されている。そのほか消耗型センサーを使った成分推定方法としては、酸素センサーを利用した[Mn]の測定が報告されている。

溶鋼成分の直接分析法として、転炉内の火点が2,200~2,600°Cになることに注目し、火点におけるMnとFeの原子吸光スペクトルを光ファイバーを用いて分光器に伝送して溶鋼[Mn]を測定する方法が実機化されている。装置の概略をFig. 3.29に示すが、測定精度は $\sigma=0.05\%$ と良好である。また、転炉から発生するダスト中にFeと比較して高い蒸気圧をもつMnが濃化されていることに注目し、転炉排ガスダスト中のMn量から溶鋼[Mn]を推定する方法が検討されている。

今後これらの溶鋼成分用センサーの開発はさらに進展すると思われるが、最終的な実用化の判断は、コスト、精度、保守性に集約されることは明らかである。

吹錬中のスロッピングの防止は、歩留の向上のみならず安

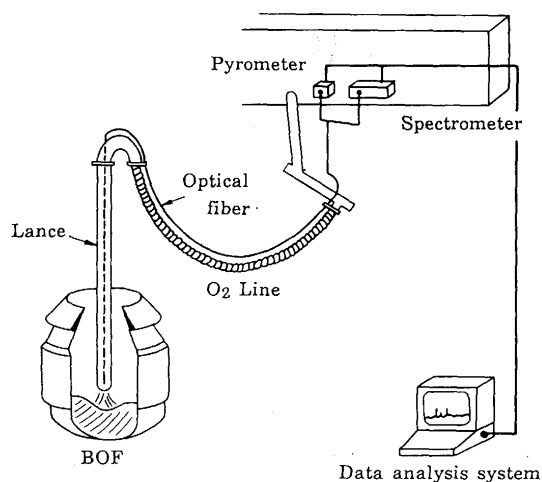


Fig. 3.29. Schematic diagram of on-line analytical system. (6th IISC, Vol. 3, ISIJ, Tokyo (1990), p. 102)