

厳格化、小ロット多品種生産などのニーズの多様化は相変わらず続き、この動きの中でコスト低減努力が必要とされている。この10年間の製鋼技術に大きく関与する製品からのニーズは薄板の連続熱処理を可能にした極低炭素鋼の量産化であろう。

品質要求の比較的厳しくない一般鋼材の生産を担ってきた普通鋼電気炉業にあっては高炉メーカーと多少異なった状況にあった。オイルショック後一貫して不況化にあったため特定不況産業安定臨時措置法、特定産業構造改善臨時措置法のもとに設備集約、廃棄による需給ギャップの調整が各社の生き残りをかけたコスト合理化、生産性向上の努力のもとに行われた。この努力が1987年からの内需拡大と相俟って大きな収益の回復をもたらすとともに高炉メーカーに先駆けた形でのリストラクチャリングとなった。

この間のコスト合理化、生産性向上と並行した、電磁攪拌やレードルファーンエスの採用による新製品分野への参入、品種拡大の努力が実り、転炉鋼のシェアを侵食し、1980年の24.4%から現在では31%を越える比率を維持している。

また、この電炉鋼の拡大の傾向を象徴的に示す現象として東鉄、岡山工場でのホットコイルの製造が1990年に始まった。電気炉-ミニミルの薄板生産への参入がエネルギー単価の安い米国ほどに拡大するかどうか多少疑問はあるが新しい動きとして注目される。

以上の背景を踏まえて、この10年の技術動向を概観してみる。

転炉製鋼法に関していえば、低磷鋼のニーズの高まりに対応して脱磷技術を中心とした溶銑予備処理技術が一般化したことが大きな特徴である。当初の低磷化という品質ニーズに対する対応から、転炉からの脱磷機能の除去という機能分離を生み出し、脱炭専用炉に変化させることで生産性向上にまでつながった。さらにはマンガンの回収、媒溶剤の低減という効果まで生み出し、大量処理の一般化という日本独自の技術となっている。これに伴い一般鋼の製品磷、硫黄の低さでは世界を凌駕するものとなっているが、一工程分だけエネルギーロスがあり、溶銑率の上昇を招き、スクラップ多量発生への対応という面では原料のフレキシビリティを多少失っている。

1980年代初頭に複合吹錬への転換を終了した転炉にあっては第一次円高不況時に生産性のより高い大容量転炉への設備集約が一つの流れであった。この後、上記の溶銑予備処理と二次精錬の採用による生産性の向上が進み、従来の2/3基操業から1/2基操業への移行が始まりつつある。

品質への要求の厳格化に伴い、大きな役割を占めているのが二次精錬である。1980年代初頭から、二次精錬比率は着実に増加の一途をたどり、転炉鋼、電気炉普通鋼のいずれも80%に達している。これらの動きの中では自動車用、家電用極低炭素鋼の量産ニーズに対応したRHの利用技術が特筆され、 $C \leq 20$ ppmまでの鋼が連铸とのマッチングの中で生

産が可能になった。

1985年に90%を越えた連铸化比率も、圧下比制約という極めて大きな壁を前にして、インゴットを集約することにより工場あるいは製造所単位での100%の連铸化は増加しているものの全体ではわずかな増大に留まっている。この状況の中では1981年の新日本製鐵(株)・堺製鉄所に始まった連铸と圧延との直結化が熱延でのサイジングの採用と相俟って着実に浸透しつつある。ただしその形態は必ずしも直接圧延ではなく、ローカルな状況を踏まえて加熱炉を介するホットチャージを選択する場合もある。この直結化を促しコストダウンを可能にした大きな因子が高速鑄造技術と多連铸と準備時間の短縮である。現在ではNKK福山のNo. 5連铸の3.0 m/minを初めとする2.0 m/minを越える鑄造機が各社で稼働している。一方鑄造時間率を高める技術としてノズル詰まりを回避する技術からなる多連铸化技術はもとより、ダミーバートップ挿入を利用した最終鑄片引き抜き中に次チャージの鑄込みを開始するなどの技術が開発されマシンの稼働率は80%を越えるほどになっている。

一方、連铸製造コストに大きな比率を占める耐火物原単位を低減すべく、タンディッシュの無補修多数回使用を目的とした熱間再利用技術が近年開発され、コスト低減に大きく寄与している。高速鑄造技術と稼働率向上をもとにした、転炉の1/2基操業に相当する1ストランドマシンの出現が近年の特徴である。

シェア拡大の著しい電気炉におけるこの10年間の技術革新の特徴は高生産性、コストダウンに大きく寄与したEBTとDC炉の採用である。これらがそれ以前の高電力操業、水冷炉壁、酸素富化操業と相俟って製鋼時間50分強という高速精錬の達成と約300 kWh/tという電力原単位の低減を初めとするコスト低減を可能にした。

以上、この10年の製鋼技術について概観したが今後の課題について、個別技術は次節以下に譲るとして地球環境、労働環境の問題を忘れるわけにはいかない。

地球環境対策としてのCO₂発生の削減、スラグ、ダストの処理、労働人口の高齢化と若年労働者の製造業離れ対策としての労働環境整備といっそうの自動化が今後の大きな課題であろう。

3.3.2 転炉における高能率生産技術の開発

(1) 設備技術の進歩

1973年のオイルショック以降、国際的なコスト競争力を確保するには操業諸元の改善のみならず、労働生産性の向上が必要となり、生産効率の高い製鉄所への設備集約、ならびに自動化が推進された。また、自動車向けを中心とする薄板の拡大を背景に、大型転炉を持つ製鋼工場は大ロットの薄板を中心に集中生産し、小型転炉を持つ製鋼工場は小ロットの特殊鋼専用工場に特化するか休止に至った。この傾向は1980年以降も同様であり、200 t/heat以下の転炉が休止さ

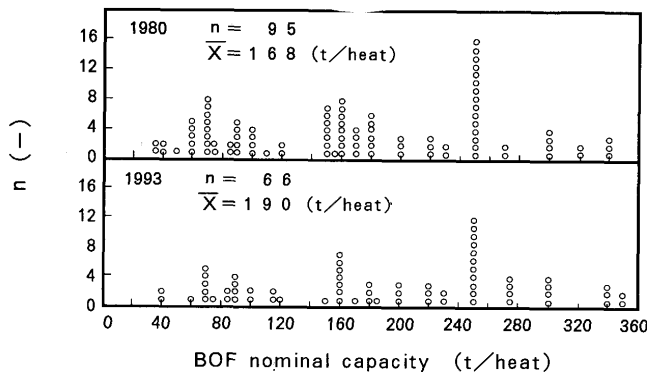


Fig. 3.19. Change of BOF nominal capacity.

れている。

一方、転炉とともに近年の製鋼技術に革新的な発展をもたらした連続鋳造は精錬工程に対して溶鋼品質への要求を高め、二次精錬比率の上昇と溶銑脱磷技術の開発を促進した。また、製鋼工場の操業形態もそれまでの転炉を中心とした形態から連続鋳造との同期を前提とした形態へと変化した。これは転炉精錬時間の短縮を意味し、転炉精錬機能の分化を促進することになった。

転炉の本来の精錬機能は脱炭・脱磷・脱硫・昇熱の四つであるが、品質要求レベルの向上につれ、まず脱硫が溶銑予備処理に移行し、この10年間で脱磷も溶銑予備処理に移行した。さらに、二次精錬での熱補償技術の開発により昇熱の一部も移行した。この結果、転炉は脱炭専用炉となり、操業の高効率化と自動化が推進された。

以下に転炉と周辺設備の特記点について概説する。

(a) 自動吹錬

この10年間は多くの製鋼工場がコンピューターの更新時期と重なったので、従来の吹錬制御技術に人工知能(AI)を適用したり、ランス操作・酸素流量・副原料投入といった一連の吹錬操作をあらかじめ登録した吹錬パターンに従って自動制御する自動吹錬技術が開発された。また、吹錬パターンを炉内状況により修正するためのセンサー技術の開発も活発であった。スラグフォーミングセンサーとしては従来のソニックメーター、ランス振動計、炉体振動計などの間接測定に加えて、光ファイバーを転炉の絞り部や出鋼孔に設置し炉内を直接測定するものが開発された。さらに、Mn 鉱石添加時の[Mn]変化を連続的に検知するセンサーとして、光ファイバーをランス先端に組み込み火点のフレームを連続的に分光分析するものまで開発された。

設備的には電機(E)と計装(I)分野がオーバーラップしてきたので、コンピューター(C)を含めたEIC統合が進み、操作デスクのコンパクト化が可能となった。そこで、複数の転炉を一人で操業できるように操作デスクの統合が図られている。

(b) 転炉排ガス処理設備

国内ではエネルギー単価が高いので、非燃焼型のOGが主流である。最近では、吹錬中に炉口とスカート間を密閉し、

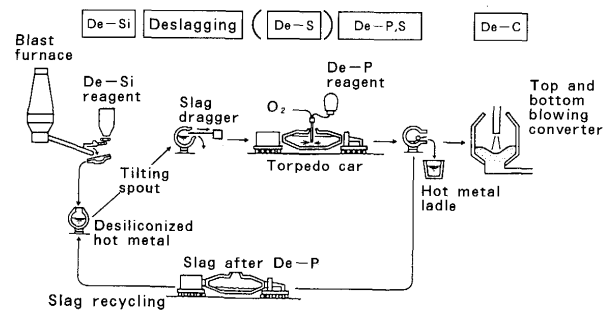


Fig. 3.20. Process flow of hot metal pretreatment at Kimitsu Works.

ガス回収率を約10%向上した密閉型が開発され、さらには排ガス中の顕熱回収のためにフード部と放射部にボイラーを設置したタイプも実用化されている。

(c) 出鋼作業の自動化

転炉スラグは酸性性のため出鋼時に取鍋へ流出すると二次酸化の原因となる。そこで、転炉からのスラグ流出量を低減する技術として、スラグが流出し始めるタイミングを出鋼孔の耐火物に埋め込んだコイルで電磁氣的に検知し、スラグの流出をスイングアームと高圧窒素で自動的に停止するスラグ・ストッパー技術が実用化された。

今後、このような技術をさらに発展させた自動出鋼技術の開発が望まれる。

(d) 統合管制

高効率操業では高炉の出銑・溶銑予備処理・転炉・二次精錬・連続鋳造さらには熱延の操業までをすべて同期させているので、この時間管理が従来の操業に比べて著しく厳しい。そこで、各装置の操業タイミングを集中制御する統合管制システムが開発された。

(e) 今後の課題

操業の高効率化と自動化は推進されたが、今後は3K作業対策ならびに省力の観点から、非操業時間に実施される付帯作業の機械化ならびに自動化が望まれる。

(2) 操業およびプロセス技術の進歩

この10年間の変革は溶銑脱磷の一般鋼への適用拡大とそれによる転炉精錬機能の分化である。転炉精錬機能の分化は品質の向上のみならず高速吹錬技術へと発展し、転炉高効率操業を可能にした。

(a) 溶銑脱磷プロセスの開発

1982年に住友金属工業(株)・鹿島で低磷鋼を対象としたSARP(現在は転炉タイプのSRPに変更)と新日本製鐵(株)・君津で全量処理を前提としたORPが実用化されて以来、各社でローカル条件にあった溶銑脱磷プロセスが採用された。ORPは全量処理による転炉操業の高効率化といった新しい発想により、溶銑脱磷を一般鋼へ適用拡大した最初のプロセスである。全量処理の場合、溶銑脱磷を転炉と同期させるために高速処理が必要である。また、溶銑脱磷の目的は転炉の精錬負荷低減なので、低磷鋼を対象としたプロセスよ

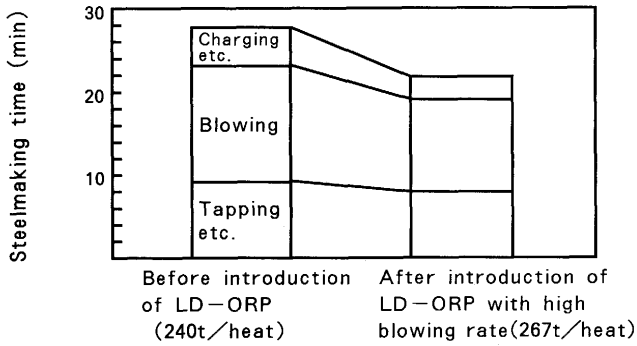


Fig. 3.21. Comparison of steelmaking time. (CAMP-ISIJ, 4 (1991), p. 1302)

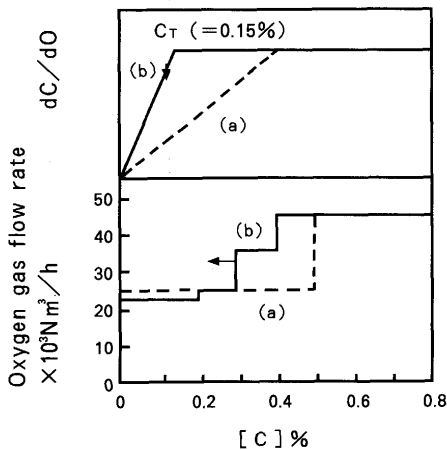


Fig. 3.22. An example of blowing pattern: (a) Former; (b) Present. (Nippon Kokan Tech. Rep., (1987), No. 118)

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

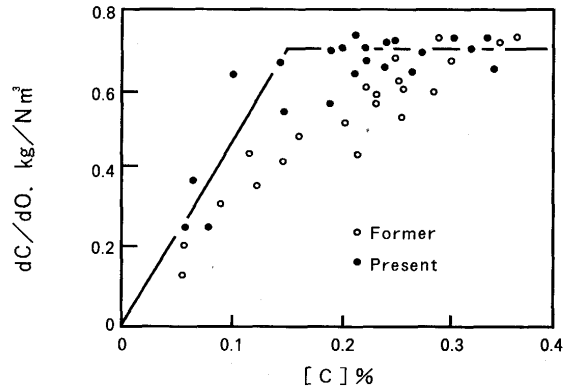


Fig. 3.23. Comparison of the decarburization efficiency between the former and the present blow in less-slag. (Nippon Kokan Tech. Rep., (1987), No. 118)

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ことが判明した。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 スラブ用連続铸造における高能率生産技術の開発

(1) 高速铸造技術の進歩

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