

多様化するニーズに貢献する製鋼技術

Steelmaking Technologies Contributing to Steel Industries

田辺 治良 鉄鋼技術センター 製鋼技術開発部 部長
中田 正之 総合材料技術研究所 製鋼研究部 部長

Haruyoshi Tanabe
Masayuki Nakada

近年において当社の製鋼技術は、世界をリードする技術の創造と実用化により、高能率化、高品質化、および省資源化を達成することで、強い競争力を確保しつつ社会に対して貢献してきた。21世紀においては、社会がポーターレス化に向けて加速する中で、これまでに培った技術をベースに、新たにスタートするJFEスチールの製鋼技術としてさらに発展させるとともに、今後多様化する世界のニーズに貢献できる技術の確立を推進するものである。

NKK developed steelmaking technology in the 20th century while considering its social responsibilities. NKK developed and applied highly efficient production technology and produced high quality steel products while reducing the generation of wastes. The 21st

術を確立して、シリコンの低下とともに、脱燐石灰効率が向上し石灰原単位が大幅に削減され、処理後の燐濃度が安定化した。

鍋型脱燐（NRP）を採用している福山第2製鋼工場では、スラグ量の低減でスラグフォーミング現象などの処理阻害要因が排除され、溶銑輸送容器を用いフリーボードに限界のあったNRPの脱燐処理量は飛躍的に拡大した。

一方、福山第3製鋼工場では、前述のNRPとは異なり1995年より、転炉型のLD-NRPを適用している。炉代の前期を脱炭炉、後期を溶銑脱燐処理炉として運用し、極低シリコン溶銑を用い脱炭炉の操業ピッチに合った高速全量脱燐処理が達成されている。これらの技術開発による脱燐処理の高速化、高効率化に伴って脱燐処理比率は大幅に向上し、福山においては1000

(1) ダストオンライン測定技術

転炉でのダスト発生は、転炉吹錬時にランスより吹き付けられる気体酸素の供給速度とランスノズルの形状などが複雑に絡み合っているため、ダスト発生挙動を定量的に予測することが難しい。また、直接的にダスト発生量・速度を評価する有効な手段はなかった。そこで転炉の湿式集じん設備の集じん水を連続的に採取し、光学的に計測することにより転炉ダストの発生量を連続的に計測できるオンラインダスト濃度計を開発した⁴⁾。当社福山製鉄所、第3製鋼工場転炉設備における測定システムの概要を Fig.3 に示す。これにより、転炉吹錬中のダスト発生挙動がオンラインで把握可能となり、送酸パターンなどの操業条件の最適化を行うとともに、転炉ランスノズルの迅速な開発が可能となった。

2.2.2 ステンレス精錬

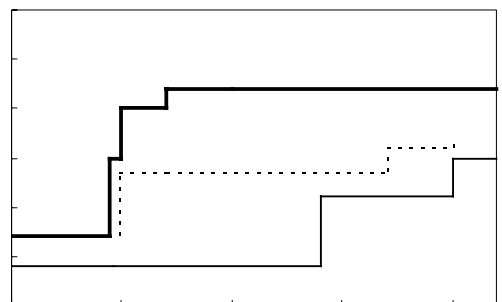
ステンレス製造プロセスの合理化を目的とし、1990年9月以降、ステンレス新精錬炉（Stainless Steel Refining Furnace, SRF）を福山製鉄所にて稼働させている⁶⁾。当プロセスは、精錬を転炉1基方式で行い、Ni 鉱石および Cr 鉱石を炉内で直接還元する画期的な技術の特徴とする。Fig.5 にオーステナイト系ステンレスの製造フローの概念図を示す。溶銑を主原料として、Ni 鉱石の還元により含 Ni 溶銑を濃製した後、前述の溶銑予備処理設備にて脱燐を行う。その、鉱より含

Fig.3 Schematic view of online-dustmeter

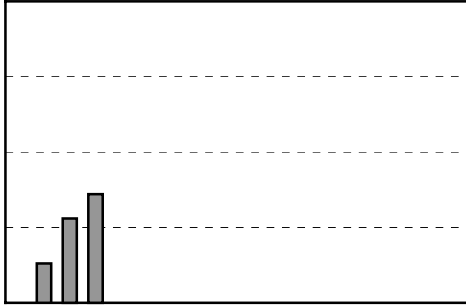
(2) 上吹き酸素の動圧制御技術

転炉における鉄飛散、ダスト発生速度は上吹き酸素ジェットの浴面動圧で整理されるため、ランスノズル形状や吹錬条件から得られる計算動圧を用いるダスト発生制御技術⁵⁾を開発した。実操業への適用にあたってはオンラインダスト濃度計を用いることでランスノズル形状や吹錬条件の適正化を迅速に行った。これらの技術で転炉ダスト発生量の低減と操業の安定化を可能とした（Fig.4）。

Fig.4 Amount of dust generation



多様化するニーズに貢献する製鋼技術



圧延を実施する直鑄化プロセス技術を開発し、生産体制を構築してきた。京浜第5連鑄機では、丸鑄片の均一緩冷却のための高粘性パウダーの開発、M-EMSによる等軸晶化などの技術により、表面品質および内部品質を向上させた。また、水平連鑄機では、当初鑄片表面に初期凝固の際の溶着不良が存在していたが、ブレーキングの開発、新形状モールド²²⁾などの開発により、この課題を解決した。これらの結果、炭素鋼のみならず、合金鋼においても、直鑄化を達成した。

4. 高品質素材の製造技術

上述した精錬～鑄造にまたがる高品質化技術を組み合わせ、それぞれの要求品質にあわせたプロセス運用により、高品質素材を製造している。以下に代表的な品種の製造技術を概説する。

4.1 高級薄鋼板用素材（自動車用鋼板、缶用鋼板）

代表的な薄鋼板は自動車用鋼板と缶用鋼板であり、それぞれ極低碳素鋼（IF鋼）と低碳素アルミキルド鋼が用いられ、ともに微細なアルミナやパウダー起因の介在物を低減することが重要である。

主な製造フローは福山でのZSP（予備処理 転炉）RH第5連鑄機としており、精錬では前述のZSPによる転炉スラグの取鍋への流出抑制、スラグ改質²³⁾およびRHでの高潔度化技術が適用されアルミナ介在物の低減に効果を上げている。

鑄造工程では第5連鑄機を用いた前述の溶鋼表面流速の適正化技術に加えて、大型タンディッシュ¹⁵⁾や垂直部による介在物の浮上除去で介在物の低減を図っている。さらにIF鋼では初期凝固殻の成長が速くオシレーションマークの爪が深くなりこれが介在物のトラップサイトとなり、対応が必要である。このためオシレーションのハイサイクル・ショートストローク化に加えて、前述のネガティブストリップ時間の短い非サイン振動を適用してオシレーションマークの爪を浅くし健全な表層組織を有する無欠陥スラブを製造している。Fig.12に薄板材の格落ち発生率の推移を示すが、前述の鑄型内流動の最適化などによる連鑄パウダーの巻き込み防止、およびZSPによるアルミナ発生低減により、前述の無手入化に加えてコイルの大幅な格落ちの低減が達成された。さらに製品表面欠陥の原因を迅速に究明して操業条件の改善に反映できる「レーザICP」²⁴⁾や、薄板表面欠陥をオンラインで自動検出・マーキングできるシステム「デルタアイ」²⁵⁾などの独自開発技術を実操業ラインに適用し、製鋼～製品までの一貫品質保証体制を確立し、たとえばIF鋼は月間150千トン以上を安定した品質で製造している。

4.2 高強度ラインパイプ用素材

耐サワー性が要求されるラインパイプ用鋼では水素誘起割れ（HIC）の低減が重要である。

福山での主な製造フローはZSP（予備処理 転炉）AP

Fig.12 Trend of diversion index of cold rolled coils

RH第6連鑄機で、製鋼では20千トン/月以上の生産体制を確立している。精錬工程では、前述のZSPによる低燐化やAPにおける極低硫化技術¹²⁾により不純物元素の徹底的な低減を図っている。また、HICは偏析部のMnSを起点に発生し、偏析帯を伝播するので、APでのCaの狭範囲制御により介在物の形態制御²⁶⁾を実施している。鑄造工程では中心偏析に加えて数mm以下のセミマクロ偏析粒が問題になるため第6連鑄機を用いた前述のIBSR法²¹⁾を適用して、安定に製造している。

Fig.13にこれまでの耐HICラインパイプの生産量の推移を示す。上記技術を組み合わせることで、1983年以降においてより厳しい条件であるNACE基準にも十分に耐えうるAPI-X65以上の耐HICラインパイプ 47@5t/mも生産可能と

CIHSZ

5. 製鋼スラグ活用技術

ZSP の適用によってスラグ発生量を極限まで低減させるとともに、溶銑予備処理で生成するスラグは、工程ごとに特徴的な成分を有し、成分ばらつきの少ないものとなる。この結果、スラグ組成の特徴を活かした幅広い用途開拓が可能となった。本稿では、溶銑予備スラグを用いた新しい技術として、藻場造成礁（マリンブロック）と緩効性珪酸カリ肥料を紹介する。

5.1 藻場造成礁（マリンブロック）

製鋼工程から発生するスラグに含まれる CaO に着目し、

- 4) 鷲見郁宏ほか. “転炉オンラインダスト測定装置”. NKK 技報. No.176, pp.55-58(2002).
- 5) 川畑涼ほか. “レススラグ吹錬でのダスト発生挙動”. CAMP-ISIJ. Vol.10, p.777(1997).
- 6) 滝千尋ほか. “ステンレス新精錬法の操業概要と反応解析”. NKK 技報. No.153, pp.6-11(1996).
- 7) 村井剛ほか. “RH 脱炭反応モデルと高速処理技術”. CAMP-ISIJ. Vol.8, p.271(1995).
- 8) 亀水晶ほか. “福山 2 R H における極低 [C] . [N] 鋼溶製技術”. CAMP-ISIJ. Vol.8, p.270(1995).
- 9) 亀水晶ほか. “RH における吸室防止技術”. CAMP-ISIJ. Vol.7, p.243(1994).
- 10) 櫻井栄司ほか. “4RH の建設と操業”. CAMP-ISIJ. Vol.7, p.1118(1994).
- 11) 宮脇芳治ほか. “新取鍋精錬法 NK-AP)の開発”. 日本鋼管技報. No.99, pp.12-21(1983).
- 12) 田辺治良ほか. “上吹き脱硫による超低硫鋼の製造について”. 鉄と鋼. Vol.66, S-258(1980).
- 13) 小谷野敬之ほか. 福山第 5 連続機の建設と操業. 鉄と鋼. Vol.72, S2233(1986).
- 14) 鈴木幹雄ほか. 高速鑄造時の鑄型内伝熱と潤滑挙動におよぼす鑄型振動波形の影響. 鉄と鋼. Vol.78, No.1, pp.113-120(1992).
- 15) 栗林章雄ほか. 福山第 6 連続鑄造設備の建設と操業. NKK 技報. No.149, pp.1-8(1995).
- 16) 渡辺圭児ほか. 連続鑄型内伝熱におよぼすモールドパウダーの結晶化挙動. 鉄と鋼. Vol.83, No.2, pp.115-120(1997).
- 17) 鈴木真ほか. “移動磁界方式による鑄型内溶鋼流動制御特性”. CAMP-ISIJ. Vol.9, pp.616-617(1996).
- 18) 久保田淳ほか. “スラブ連続機の鑄型内溶鋼流動制御技術の開発”. まてりあ. Vol.33, No.6, pp.793-795(1994).
- 19) 楯昌久ほか. “扇島 1 号スラブ連続鑄造機の鑄片の品質”. 鉄と鋼. Vol.64, S207(1978).
- 20) 北川融ほか. “小径分割ロール軽圧下鑄造のセミマクロ偏析低減効果”. 日本鋼管技報. No.121, pp.1-8(1988).
- 21) 小林日登志ほか. “新軽圧下法による連続鑄造スラブの中心偏析制御”. CAMP-ISIJ. Vol.2, No.4, p.1158(1989).
- 22) 桑野清吾ほか. “継目無管疏 ソ v 鑄型 型乍 ¥ ミ片の品質