

シェルの形成と欠陥の発生等、極めて広範囲かつ詳細な知見のレビューが行われた。これに対して、シェルの成長、オシレーションマークの形成、等軸晶の生成に対して討論が行われた。

しかし、時間的制約のため十分な議論が尽くせない点もあり、再度、このテーマは討論を深めたいという提案があつた。(例えば、共通問題懇談会の場合が考えられる。)

以上の個別討論の後で、製鋼関係の全体討論を行った。そこに提起された課題は次の4点である。

- (1) 品質保証体制の考え方と方法
- (2) 遠隔地 DR の対策
- (3) 生産ロットの縮小化に対する DR の推進対策
- (4) 将来技術であるストリップキャスターと現状 DR の関係

これらの課題に対して、限られた時間内ではあつたが、各製鉄会社の関係者から熱心な意見が述べられた。

今回の討論会は、現時点で最も適したテーマであり、予定の3時間を30分も延びるほど盛況であつた。

II-2 加工システム

座 長 新日本製鉄(株)第三技術研究所
川 並 高 雄

この部門では、直接圧延、ホットチャージを可能とする熱間圧延技術として鑄片の温度確保技術、幅圧下技術やスケジュール・フリー圧延技術など、熱延プロセスでの可撓性のある品質造り込み技術、またそれが容易となる新ミル構造への改変法、連続して安定生産が行われる一貫工程管理や品質保証システムなどを対象とする報告を集めて討議を行った。内容的に操業技術開発に重点をおく次の2討議と、管理システムを主体とした4討議に分けて報告する。

(討13) スケジュールフリー圧延技術を駆使した新世代熱延ミルの操業

(新日本製鉄(株)八幡製鉄所 田中正二ほか)

大規模ミルで多品種・小ロット生産ならびに連鑄～熱延の連結・連動操業を実現している八幡製鉄所熱延工場におけるスケジュールフリー圧延技術および加熱炉使い分け技術を紹介している。まず、幅の逆転時にも良好なプロフィルを得るために、ロールプロフィルのみではなくギャッププロフィルに着目し、それを平滑化するワークロールシフト法を適用している。またクラウン・形状の自在制御を6 Hi ミルおよびそれを使いこなすためのクラウンスケジュールロジックにより実現している。頻繁かつ大幅なセット替えを可能にするためには、摩擦係数のオンライン同定が重要であることを指摘し、先進率と圧延荷重から摩擦係数を評価する方法を開発しそれにより [Si] % の高い電磁鋼と普通鋼をミックス圧延した

場合、摩擦係数が大きく経時変化することが明確に把握されている。

以上の技術のほかに、熱・冷片ミックス圧延を行うため DHCR 専用炉と HCR・CCR 炉を区別して使い分けることにより、生産能力を低下させることなく大幅な燃料原単位の削減を実現している。

(討14) 連鑄-熱間圧延の直結化における最適プロセスの検討

(日本鋼管(株)福山製鉄所 寺内琢雅ほか)

連鑄機出側以降のプロセスについてシミュレーション計算と実機操業テストにより検討している。

インライン加熱方式と加熱炉方式の燃料原単位を、仕上げ温度が確保できる条件でシミュレーションにより比較すると、従来加熱炉、短炉長 D-HCR 炉、インライン加熱(誘導加熱あるいはガス燃焼)の順で燃料原単位が優位になる。

実機で、インライン加熱(ガス燃焼)+従来加熱炉(3基)の場合に、全炉 HDR (Case A)、D-HCR 専用炉1基 (Case B)、全炉 D-HCR と CCR 混在 (Case C) をテストした結果、総括燃料原単位では、Case A の HDR 方式が最も良く、次いで Case B、C の順となっている。スケールロスでは Case A、B、C の順に大きくなり、粗圧延機出側の長さ方向温度偏差では Case A が最も小さくなっている。以上の検討から、直結比率が同じなら HDR 方式が D-HCR 方式よりコスト面で有利であるとしている。

なお討論において、HDR 材のスケールロスが少ないことに関して、表面疵に対する懸念が出されたが、問題無いとの回答があつた。また HDR において長さ方向の温度偏差軽減対策のため、スラブヒーターをトーチカッターの直後に配置することが効果があることが明らかにされた。

管理システム分野は、直結化プロセスの設備と固有技術群を有機的に結びつけ、プロセス全体を効率的に統御する役割を担っており、次の4テーマの報告があつた。

(討15) 大分製鉄所における直結プロセスVの生活管理
(新日本製鉄(株)大分製鉄所 吉村 浩ほか)

(討16) 福山における連鑄-熱間直送圧延の自動化システム

(日本鋼管(株)福山製鉄所 松村勝己ほか)

(討17) 連鑄-熱延直結プロセスの一貫管理システム
(住友金属(株)鹿島製鉄所 大西英行ほか)

(討18) 新鋼片工場における連鑄-圧延間の連続化・同期化操業

(川崎製鉄(株)水島製鉄所 得丸豊久ほか)

(討15) は大分の第四・五連鑄機と連続熱延及び厚板の両工場をサイジングミルによる幅変換法で直結化し、同プロセスに実現した生産管制システムを中心に、①開発の基本理念、②機能構成、③システム構造、④管理体制

と装備, ⑤管理技術の事例など生産管理全般について紹介している。

①では単に直結プロセスのみでなく高炉まで含めた物流のトータル管理が必須であり, 開発方針を計画主導型システムの構築としたこと, ②では旬計画策定から実績評価までの機能構成全体を示し, 基軸は 48 時間ダイヤ計画に基づく生産管制方式であると述べている。

③では一貫ロット設計機能はバッチシステムへ, ダイヤ計画・管制機能はオンラインシステムに位置づけたこと, ④では生産管制の組織, 要員, 機器装備, および整備体制, 部門間会議体などの改革した点を示している。

⑤では管理技術の開発事例として, a) キャストと圧延単位を一体化した一貫ロット設計方法と設計システム機能, b) 48 時間ダイヤ計画の編成方法と編成システム機能, c) 集中監視・異常措置方法とシステム機能, d) 高温鋳片のリアルタイム品質判定システム機能, e) 実績評価システム機能などを説明している。

以上のような生産管理システムの実現により, 一貫工程の高精度な物流時刻マッチングを達成していると結んでいる。

(討16) は福山の第五連鋳機は第二熱延工場と HDR 法で直結化し, 同プロセスに実現した自動化システムを中心に, ①HDR 操業管理システム, ②第五連鋳プロセスの自動化, ③第二熱延工場の計算機制御について紹介している。

①では, HDR 操業管理は, a) 週間計画, b) 日程計画, c) 実行調整の 3 段階で行っており, 各段階の主機能は, a) で圧延サイクルの組立てと鋳造ポジションを設定し, b) で HCR・CCR のスケジュール調整によつて, 操業実績変動を吸収し, c) では連鋳-圧延の同期化操業状況を 8 時間先まで相互に監視し, 異常発生時は計画を変更することであると述べている。

②では, 小型渦流距離計による高精度湯面制御法, 油圧サーボ系による非サイン波形モールド振動法, ミストスプレー幅切り法及びエネルギー最小投入加熱による鋳片エッジ温度制御法などを自動化したと述べ, それらのシステム機能と鋳片品質保証システム機能を示している。

③では HDR 材と加熱炉材のグループ単位の圧延スケジュール管理方法を示し, さらに VSB の油圧化と仕上後段スタンドのワークロールシフトの導入によるスケジュールフリー化と品質制御機能の強化を図つたと述べ, それらを含めた第二熱延工場の計算機システム機能を示している。

以上のような自動化システムと操業管理システムの実現により, HDR 操業の量, 品質が高水準の成績を達成していると結言している。

(討18) は鹿島の第三連鋳機を熱延工場と直結化し, 同プロセスに実現した一貫管理システムについて, ①直

結操業管理の課題, ②管理の仕組み, ③管理システム機能, ⑤運用面の課題などを紹介している。

①では, a) No. 3 CC と熱延の能力差, b) 鋳込・圧延制約による拘束, c) 注文ロットと製造ロットの乗離, d) 下工程負荷と納期対応, e) 操業変動への対応が課題であると指摘している。

②では操業管理システムは, 一貫スケジューリング機能, 時刻管理と操業変動調整を行う実行管制機能, さらにそれらを支える物流に即応した品質管理, 物流管理機能で全体を構築する必要があるとしている。

③では一貫管理システムは, a) 鋳込-圧延同期操業計画機能, 注文振替・変更機能, 物流トラッキング機能で構成したと述べ, そのシステム機能を示した。

④では, 同期操業計画の注文分析から混合圧延スケジューリングに至る方法とシステム機能, および操業計画のビジュアル化した評価項目とシミュレーション機能を説明している。

⑤では実現化したシステムの運用面で, 一部人間介入を余儀なくしていること, 計画の総合評価が難しくまだ不十分であるなど新たな課題を抱えていると述べている。

以上のような一貫システムの実現により, 加熱炉原単位, スラブ在庫, 余剰スラブなどの改善ができたと結んでいる。

(討18) は水島の第一連鋳機に新鋼片工場を直結化し, 同プロセスに実現した新技術の中から, ①連鋳機改造, ②熱鋳片無人搬送台車, ③新鋼片工場, ④一貫生産管理システムを紹介している。

①では, 大型 1 タンデッシュ化, 大断面モールドの 6 ストランド化, ショートレバーのオッシレーション機構とモールド直下気水ノズル冷却法の採用などの設備改造と計装の DDC 化を行つたこと, さらに鋳片品質の自動判定による自動切断変更制御, 圧延順鋳片割付け切断制御法について述べ, システム機能を示している。

②では, 第一, 二, 三連鋳機と新鋼片工場間に, 直行・横行切換と自動受払い可能な無人搬送台車と運行管理システムを開発したことを示し,

③では, 二分割ウォーキングビーム, 空気・ガス併用高効率レキュペレーター, 全ゾーン軸流バーナーなど採用の加熱炉, 1 ロール 1 カリバーのコンパクトミル, 迅速オンラインスタンド交換設備, オフラインロール・ガイド交換設備などを装備して高度にスケジュールフリー化した新鋼片工場を建設したと述べその概要を示している。

④では, 生産工程管理, オンライン操業支援, スケジュール調整の 3 サブシステムで構成し, 基本機能は次工程圧延ロットの保証, 工程攪乱の迅速な調整, オンラインでの品質保証の三点であると述べシステム機能を示している。

以上のような設備・システムの実現により高水準の HCR 操業成績を達成していると結言している。

上記 4 討論講演に対して①操業変動への対応方法、②連铸機の自動化システム、③製造ロットの設計方法、④スケジューリング方法、ほかに運用体制、HCCV の信頼性、連铸・圧延の二律背反評価指標の優先度判定方法、スケジュールフリー化の運用基準、技術指標などの質問があり、会場では代表的なものについて補足説明がなされている。

発表された直結化プロセスは、それぞれが特徴を持ち、従来の工程管理技術を超えた一貫生産管理システムの基本形を実現し、最適な物流設計とその実現に大きく貢献しているといえよう。今後とも、プロセス全体を踏まえ、操業・品質の信頼性向上、スケジュールフリーの完成、より効率的な生産方法の追求を行い、管理システムをいっそう効果的に機能させてゆく努力が必要である。急激に変化する需要構造それに併う技術の変化にいかに対応に柔軟に対応して行くか、ますますシステムの質が問われる時がきた、と思うのである。末尾ながら、とりわけ工程管理システムの専門の方々が発表・討論に参加し、会を盛り上げていただいたことに心から感謝します。

II-3 材料の性質

座 長 住友金属工業(株)総合技術研究所
大 谷 泰 夫

製鋼と圧延の連続化を図る直送圧延は省エネルギー、省プロセスであるが、材料の性質からみれば、通常の再加熱圧延とは圧延前のオーステナイト (γ) 組織や析出物の挙動が異なるので、最終製品の性質もまた異なることが予想される。

討論会では粗大な γ 粒を有する凝固組織の圧延前の状態 (γ のまま、 $\gamma \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma$ 変態など) やマイクロアロイの固溶析出挙動などについて、直送圧延機の性質に及ぼす影響が討議された。厚板では材質制御モデルの適用拡大、マイクロアロイの強靱化挙動、粗大 γ 粒の微細化圧延法、熱延鋼板では極微量 Ti の強化作用、複合組織型熱延鋼板の性質に及ぼす凝固冷却速度の影響、冷延鋼板では深絞り性に及ぼす凝固冷却速度の影響などが報告され活発に討議された。

以下に本討論会における講演内容と進行の概略を報告する。なお、直送圧延については、Direct Rolling (DR) : CC スラブを直接圧延する (保熱するとしても、凝固の γ 組織を圧延する)、Hot Charging (HCR) : 冷却途中 ($\gamma \rightarrow \alpha$ 変態後、変態途中、未変態 γ) に加熱炉へ装入し圧延する場合があるので以下この用語を用いる。

(コメント) 講演に先立ち、京都大学工学部 田村今男教授より本テーマに関するコメントをいただいた。HSLA 鋼の強靱性を支配しているものは相変態と析出

であり、製鋼-熱間圧延直結化で特に重要な点は、Nb, Ti, Nb-Ti 等の析出反応と加工 γ からの相変態のメタラジ-基礎を十分理解して機械的性質を確保するための圧延制御が必要であること、これらの理解のうえで将来コンピューターの活用による材質制御へ発展すべきであることが強調された。また、このような進歩が日本の鋼材の性能向上をもたらしており、更に省エネルギーや省プロセス省略による納期短縮のメリットも大きく、価格競争ばかりでなく、安定した品質を供給していることも配慮すべきであることにも言及された。

(討19) 連铸-圧延直結プロセスにおける材質制御モデル

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 齊藤良行ほか)

連铸-圧延直結プロセスにおける厚板の材質制御は、従来の再加熱圧延において得られている材質制御モデルを適用拡大できることが報告された。このモデルは (1) γ 組織制御モデル: 加熱-圧延時の γ 粒径変化、熱間加工組織、炭窒化物の固溶・析出を定式化し変態前の γ 組織を予測、(2) 変態組織制御モデル: $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態を核生成と成長理論により予測制御、(3) 最適制御モデル: これら二つの予測された製造条件の機械的性質の最適化から成る。直結プロセスでは従来プロセスとは、凝固直後の γ 粒径、凝固後の冷却条件による析出物の量とサイズ、装入温度による γ 粒成長挙動が異なるので、予測式によるシミュレーションを行つた。熱片装入温度が $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態を行わない A_{r3} 以上の温度の場合に靱性が劣化すること、500°C 以下の装入温度では、従来プロセス材と同じ性質を示すことが報告された。

本報告に対して、材質予測は直結化プロセスの実験を最少にすることや実験が困難な条件についても結果を予測できるなど、研究開発に値する有効な手段であるとのコメントがあつた。冶金的に重要な点は粗大 γ 粒を圧延再結晶により γ 粒を微細化する最適圧延条件を見出すことが討議された。またシミュレーション結果と実機圧延結果は装入温度が 500°C 近傍ではよく一致することが報告された。今後厚板も DR が多く行われるようになれば本モデルの有用性がいつそう確認されるであろう。

(討20) 制御圧延低合金鋼の機械的性質、ミクロ組織におよぼすホットチャージ圧延の影響

(新日本製鉄(株)君津技術研究所 土生隆一ほか)

Nb, Ti, Nb-Ti を含有する実験室溶解を行つた低合金鋼を用いて、HCR 圧延を行つた厚板の機械的性質と組織変化を調査し、圧延の最適化を検討した。熱片装入温度が A_{r3} 以上では、Nb などの固容量の差により、冷片再加熱圧延材よりも強度が高い。熱片装入温度が A_{r1} 以上では圧延前の γ 粒度番号が 0~3.8 であり、冷片装入材の γ 粒度番号 4~6 よりも粗大なので、圧延後の組織も混粒、不均一となりやすく低温靱性が劣化する。