

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。

Nb や Ti 添加の 900°C 以上の HCR の強度は、加熱温度が低く、保持時間が長くなると強度の低下と靱性が劣化する。これは Nb, Ti が鋼片冷却中や加熱保持中に炭窒化物として析出し、圧延再結晶による γ 粒の微細化効果が失われるからである。Nb-Ti 系は Nb-Ti (CN) 系複合析出物が高温まで安定であるので、この傾向がいつそう顕著になる。HCR では極微量 Ti (0.01%) でも強度は大幅に向上する。HCR 材の低温靱性を改善させるには、粗大 γ 粒を微細化させることが必要で、圧延初期に高温で部分再結晶させて γ 粒をある程度微細化し、次いで γ 再結晶域で高压下することが有効である。

本報告に対してマイクロアロイの有効活用のために十分固溶した状態から圧延を開始すべきこと、粗大な γ 粒を圧延により再結晶させる圧延条件の確保が重要であることが討議された。新日鉄では厚板では既に装入温度が 840°C と高温で実施されている鋼種もあることが注目された。

(討21) Nb 添加厚鋼板の機械的性質に及ぼす直送圧延条件の影響

(住友金属工業(株)総合技術研究所 鎌田芳彦 ほか)

Si-Mn 鋼と Nb 鋼の実験室溶解材を用いて厚板の HCR 圧延を行い、機械的性質、組織変化を調査した。 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態が完了している 600°C 以下の熱片装入で靱性は向上する。Nb 鋼は $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態が完了していない 650°C 以上の熱片装入の場合は冷片装入よりも 3~4 kgf/mm² 強度が上昇し、組織の混粒化が顕著になる。冷片の再加熱圧延材は低温で圧延を開始するほど靱性が向上するのに対し、高温 γ 域装入された Nb 鋼の HCR 材は圧延開始温度が高いほど組織が微細化する。すなわち 1100°C 近傍はある γ 再結晶域を利用して粗大 γ 粒を一度微細化することが重要であることが示された。冷片再加熱圧延よりも HCR 圧延は Nb の固容量の差により再結晶温度域は約 100°C 高くなる。

本報告に対して、HCR をした Si-Mn 鋼は Nb 鋼ほど最適圧下温度域が顕著でないのは、 γ 再結晶温度域が異なるためであること、(討20) と同様 Nb の固溶と粗大 γ 粒圧延による微細化の重要性が討議された。

(討22) 熱延直送圧延プロセスにおける微量チタンの添加効果

(住友金属工業(株)総合技術研究所 国重和俊 ほか)

Ti, Al, N 量の異なる実験室溶解材を用いて熱延コイルの DR シミュレーション実験を行い、機械的性質と組織を調査した。DR 材は極微量 Ti ($Ti \approx 0.005\%$) でも強化すること、厚板と異なりフェライト粒は冷片再加熱圧延材と同程度に微細化することが特徴である。再加熱圧延材は加熱中に TiN が析出するが、DR 材は凝固後の冷却または加熱中には析出せず、圧延中に歪み促

進析出する微細析出物による強化が起こることが示された。この微量 Ti の強化には TiN の有効析出を行わせる最適の N 量 ($Ti/N \approx 0.45$ 原子比) がある。高 N 系、低 N 系いずれの場合も強化に必要な Ti 量は多くなる。特に低 N 系ではフェライトマトリックスと整合析出する TiC のため、圧延中に高温で TiN を析出させた場合よりも靱性が劣化する。

本報告に対して、圧延中に析出した微細 TiN によるフェライト粒の微細化は、再結晶 γ の微細化の寄与の方が未再結晶圧延による γ の微細化と変態核の導入によることよりもフェライトの形状からみて妥当であること、Ti による強化度合が N 量によつて異なるのは、高 N 材では圧延中に析出した微細 TiN の他に、凝固から圧延開始までに析出した粗大 TiN が存在するのに対し、最適 N 材では微細な TiN の析出だけが起こるからであるなどが討議された。

(討23) 連铸-圧延連続化プロセスにおける薄鋼板材質におよぼす凝固組織の影響

((株)神戸製鋼所鉄鋼技術センター 塚谷一郎 ほか)

実験室溶解を行つた鑄片の凝固時の冷却速度を変えた薄スラブ、現行の連铸スラブのシミュレート材を用いて深絞り用冷延鋼板、複合組織型熱延鋼板の DR, HCR 及び再加熱圧延を行い、その性質に及ぼす凝固組織の影響を調査した。

(1) バッテ焼鈍 Al キルド冷延鋼板: DR 材の $\bar{\gamma}$ 値は両スラブとも 1200°C 加熱圧延材と同等で良好である。1100°C 加熱の HCR 材の $\bar{\gamma}$ 値は現行スラブでは 600°C まで装入温度を低下しても $\bar{\gamma}$ 値は変化しないが、薄スラブでは $\bar{\gamma}$ 値の低下が大きい。両スラブとも冷片再加熱材は $\bar{\gamma}$ 値が低い。これは再結晶焼鈍中の回復過程でできる AIN 量の差による。

(2) 連続焼鈍タイプ極低炭素 Ti 添加冷延鋼板: DR 材の $\bar{\gamma}$ 値は凝固冷却速度の影響を受けない。1150°C 加熱の HCR 材は薄スラブでは装入温度の影響を受けずに $\bar{\gamma}$ 値は良好であるが、現行スラブ材では装入温度の低下に伴い薄スラブ材より低下する。これは薄スラブ材の方が熱延材の粒径が微細であり、 $\{111\}$ 再結晶集合組織がより発達すると推論した。

(3) Nb 添加複合組織型高強度熱延鋼板: DR 材は凝固冷却速度の影響を受けない。1150°C 加熱の HCR 材は薄スラブでは装入温度の上昇に伴い強度が上昇する。現行スラブでは 600°C 装入では冷片再加熱材と変わらないが、900°C 以上の装入で強度が上昇する。薄スラブの方が強度が高いのは Nb の析出挙動が異なるためである。

(4) B 添加複合組織型高強度熱延鋼板: 本鋼種は凝固冷却速度の強度への影響は少ないが、DR 材のみ強度が高くなる。これは固溶 B が増加するためである。

本報告に対して、DR 材では冷延鋼板の $\bar{\gamma}$ 値には凝固冷却速度の差がほとんど認められなかったが、HCR 材では薄スラブの方が $\bar{\gamma}$ 値が高いのは熱延鋼板の結晶粒微細化にデンドライト 2 次アーム間隔と Ti 炭窒化物の寄与によることが討議された。また極低 S 鋼では Ti 炭化物の析出が遅れるとのコメントがあつた。

以上の討論から直送圧延 (DR, HCR) では、特に厚板において粗大 γ 粒の微細化のための圧延の最適化の必要性和、厚板、熱延板、冷延板においてはマイクロアロイの非平衡析出、複合析出を含む固溶・析出挙動の予想された重要性が実験結果から実証された。凝固過程を含む直送圧延の実験は難しさはあるが、今後量産化が進む

直送圧延材の性能向上のために重要な基本的認識が深まったといえよう。

連鑄-熱間圧延直結化の推進には、材料の研究のみならず当日討論された他部門との緊密な連携が必須であり、この点からも上工程から下工程まで同一テーマで討議された本討論会は極めて意義深いものであつた。

終わりに講演者各位、質問状を寄せられ当日の質疑やコメントをいただいた方々、ならびに会場で熱心に討論に参加された皆様に厚くお礼申し上げます。

以上本討論会は多くの関心を集めましたので、「鉄と鋼」で特集号を企画し発行することになりました。あわせてご報告いたします。

編集後記

編集委員の拝命を受けて以来既に 2 年が過ぎた。この間数多くの論文・技術報告を査読させていただき査読委員として感じた点を私見として以下に述べたい。

鉄と鋼に論文・技術報告を投稿したことのある方であれば誰でもおびただしい修正意見がつけられて戻されてきた経験があると思う。あるいはほとんど修正要求のない論文もあるかもしれない。ここで注意していただきたいのは修正要求の多少は論文の質的レベルとは無関係であるということである。

投稿論文は当然著者の独創的な研究成果が盛り込まれなくてはならない。この成果があるからこそ、著者と査読者との間で活発な意見交換が行われ質の高い論文となつてゆくこととなる。修正要求の少ない論文はもちろんそれだけで立派な論文も多いが、査読者としての経験ではこのような論文はややもすると独創的な成果や十分な考察が不足している場合が少なくない。

投稿者は返却されてきた論文の修正が多いといつて悲観することなく質の高い論文作成に努力していただきたい。

8 ページという限られたページ数の中で自分の研究成果を冗長に流されることなく必要かつ十分に表現し、読者にその内容を理解してもらうことは、実験・研究を苦心して行うことと同程度に困難を伴うことであろう。しかし研究成果を発表することにより鉄鋼技術向上に寄与することができるという意識を持ち作成にあたつてもらえば必ずや立派な論文となりうることを確信している。

編集委員の一人として少しでもこの論文作成に際しお手伝いができればこれ以上の喜びはないと思つている。特に今まで優れた研究成果を上げながら、論文・技術報告発表の機会がなかった会員の皆様からの活発な投稿を期待している。
(N. S.)