

ス操業で $RDI > 40$ の可能性, 周辺部での分布制御の実施状況, 目的によりモデルを使い分けているがもつともよく使われるモデル, モデルを作る側と使う側での役割分担, 操業不安定時のモデルの使用法等についての討議がなされた。

運営方法として本討論会では, なるべく多くの出席者に討論に参加していただくことを目標に, 従来行ってきた文書により事前の質問事項を提出し, 講演者は事前に解答を用意しておく方式をとらず, フロアからの直接質問方式とし, なるべく多くの参加者に質問していただけるように配慮した。

その結果, 多くの質疑が出され, 活発に討議が行われ, 討論の時間がたりなくなり, 2~3 の問題が討議不十分のまま残ってしまった。もう一つの問題点は講演者は質問が出るまでその内容を知らされていないので, 解答のための準備ができないという点にあった。これに関連して質問者と講演者の見解が多少ずれており議論が成り立たないケースも生じた。本来, このようなケースでは座長が討論をうまくコントロールすべきであるが, 必ずしも完全には成功していない場面もあった。しかし, 全体としては活発に討議がなされ有益な討論会であったと確信している。参加者の御協力に感謝します。

II. 連続鑄造の高速化

座 長 東京大学工学部

梅 田 高 照

副座長 新日本製鉄(株)新素材事業本部

椿 原 治

我が国の鉄鋼業において, 連鑄設備が本格的生産設備として適用され始めたのは 1965 年以降であり, 我が国の年間粗鋼生産高がほぼ 1 億 t となった 1970 年以降, 今日までの連鑄の普及は驚くべきものがあつた (連鑄鋼比率 93.6%, 1987 年 10 月, 日本鉄鋼連盟)。しかし, 製造コスト低減の観点から, 鑄造速度を高速化することにより高効率化を図り, さらに連鑄の稼働基数の低減により省エネルギー, 要員・整備費の削減などが考えられるが, この高速化については品質問題, ブレークアウト, 前後工程のマッチングなど克服すべき課題が多く存在するため, 連続鑄造の高速化を本討論会のテーマとして取り挙げた。

討論会では, 高速化を達成するための設備対応, 操業対応, 品質対応, 前後工程について, 現状の技術水準ならびに今後の方向について討論を行った。

さらに, 従来のオシレーション方式の限界鑄造速度を踏まえて, 新連鑄方式の現状鑄造速度と将来実現の可能性についても触れた。

なお, 本討論会では, 講演後, パネルディスカッション

形式にて討論を行った。講演された 26 件中 21 件についてはすでに講演論文集「材料とプロセス」Vol. 1, No. 1 に掲載されているので, ここでは討論の要旨を記す。

Session 1 「高速鑄造用パウダー」

(討 8) 高速鑄造用パウダー

(日本鋼管(株)福山製鉄所 森 孝志ほか)

(討 9) 高速鑄造におけるモールドパウダーの改善

(日新製鋼(株)呉製鉄所 前田雅之ほか)

(討10) 高速鑄造中炭材用パウダーの鑄型内流入挙動

(住友金属工業(株)総合技術研究所 中井 健ほか)

(討11) 高速鑄造のための鑄型およびパウダー

(新日本製鉄(株)製鋼研究センター 長野 裕ほか)

種々討論の結果, 高速鑄造に適したパウダーとは, 適正な粘性, 軟化温度を保ち, スラグリムが少なく, 高熱伝導のものとの見解に達した。

一方, パウダー面からみた高速鑄造化の限界は実操業では 3 m/min の実績ではあるが, 理論計算上は約 7 m/min まで可能であろう。

Session 2 「鑄型内溶鋼流動」

(討12) 高速鑄造における鑄片鑄型間の潤滑挙動

(川崎製鉄(株)千葉製鉄所 鷲尾 勝ほか)

(討13) 拘束性ブレークアウトの防止方法 (モールド総合診断技術の開発第 4 報)

(新日本製鉄(株)堺製鉄所 松下 昭ほか)

(討14) 高速鑄造時における表面清浄鑄片製造技術

(日本鋼管(株)福山研究所 手嶋俊雄ほか)

(討15) 電磁ブレーキによるモールド内溶鋼流動制御

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 斎藤健志ほか)

(討16) 連鑄モールド湯面制御技術

(住友金属工業(株)鹿島製鉄所 坂下 勉ほか)

鑄造速度を上昇させていくと, 鑄片と鑄型間の摩擦が増大し, 拘束性ブレークアウトに至る。さらに, 介在物および気泡の巻込みが生じ, 品質の劣下をきたす。

このため, 取鍋および TD 内での溶鋼の清浄化はもちろんのこと, モールド内湯面制御技術の向上, EMBR の導入, BO 予知計の採用などが対策として報告された。

これらの諸対策の結果, 鑄型内溶鋼流動の観点から, 鑄造量として 7~8 t/min くらいが限界であろうという見解が示された。

Session 3 「鑄片の冷却条件と品質」

(討17) 高速鑄造時の鑄型抜熱と二次冷却条件

((株)神戸製鋼所加古川製鉄所 松尾勝良ほか)

(討18) ミスト冷却ダイナミック制御の開発

(住友金属工業(株)鹿島製鉄所 山下幹夫ほか)

(討19) 高速鑄造時の中炭素鋼鑄片凝固界面歪の解析

(住友金属工業(株)総合技術研究所 河島寿一ほか)

(討20) クレーターエンドプロフィールにおよぼす鑄造条件の影響

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 糸山誓司ほか)
 (討21) クレーターエンドコントロール技術の開発
 (新日本製鉄(株)堺製鉄所 長橋一彦ほか)
 鑄片の連鑄機全体にわたる冷却方式として矯正部より
 上部で強冷し、気水を用いた幅切りを採用しており、水

平部では水切りをしつつクレーターエンドを機端に持つ
 てくるとの報告があり、異論は出なかつた。
 また、クレーターエンドを検出する方式としてロード
 セル法、電磁超音波法、伝熱計算方式などで、精度はい
 ずれも ±1 mm 以内であるとの報告があつた。

表 1 連鑄用パウダーについての討論概要

	討 8	討 9	討 10	討 11
粘 性 (at 1300°C)	低粘性 (0.9 poise)	低粘性 (0.7 poise)	低粘性 (1.1 poise)	低粘性
軟化温度	低下 (930°C)	低下	結晶化温度が重要	低下
塩基度 (cao/siO ₂)	低下 (0.9)	低下 (1.0)	低下	目的に応じて 高低使い分け
良いパウダーとは	適正な軟化点初晶晶出 温度のコントロール 必要	パウダープール厚) 消費量 銅板温度変化 の適正なパウダー	同左	消費量適正化 (粘性、軟化温度) 高熱伝導度
パウダーによる 限界鑄造速度	実績 : 3 m/min 理論 : (5~8)	—	—	理論 : 7 m/min
フィルム厚 コントロール	プール厚適正化 (15~20 mm)	プール厚適正化 (10~30 mm)	プール厚適正化 スラグリム減少	パウダー 高熱伝導化

表 2 鑄型内溶鋼流動についての討論概要

	討 12	討 13	討 14	討 15	討 16
問題点及び 解決策	摩擦増大による拘束性 B.O. mold 速度の低下 フラックス粘性の低下	拘束性 B.O. 熱電対方式による BO 予知 (本質的解決策は) 今後の課題	介在物の巻き込み 取鍋, TD での清浄化	介在物および気泡の 巻き込み 取鍋, TD での溶鋼の 清浄化 EMBR	湯面変動 給湯方式の改善 mold 銅板変形 冷却方式の改善
鑄型内の 限界鑄造速度	$\eta=0.15$ とすれば 6 m/min まで可	10 m/min	5 t/min よりやや上	EMBR によりノズル吐 出流量を 10% 上げるこ とが可	熱延とのマッチングの 面より 7~8 t/min

表 3 鑄片冷却条件と品質についての討論概要

討論 No.	17	18	19	20	21
冷却法の 考え方	• 低 C, Al キルド鋼 で内部歪みが 1% 以 上になるように 2 次 冷却強度を調整す る。	• 矯正部より上では強冷 幅切り水冷 • 水平部では水切をし つつ CE を機端に持 つてくる。	同 左	—	—
CE の検出 制御、精度	—	• ロードセルを用いて検 出 • 精度は ±1 m 程度 • 伝熱計算の精度向上に 使用中、オンラインコ ントロールは実施せ ず。	同 左	• CE の直接検出法は 検討中 (ピン打ちでシェル 厚測定を行つてい る。) • ピン打ちデータと伝 熱計算を比較し、精 度向上。 ±0.5m 程度の精度 あり。 • オンライン制御は実 施せず。	• 電磁超音波によりシェ ル厚測定し、伝熱計算 に反映する。 • CE 計算精度は ± 0.2m 程度 • オンライン測定はや つてない
個別質問	(Q) モールド銅板固 定のためのスタッド ボルトをスラブ CC へ適用可能か? (A) スラブでも実績 あり (Q) その場合の温度 分布はどうか (A) 実測してないが、 抜熱は良いと思う	(Q) 幅切りほどの程度 の幅か? (A) コーナーから 50~ 100 mm は水をかけな い (Q) CE コントロール にミスト冷却の効果は どの程度 (A) 凝固係数を大きく できる	(Q) 歪み計算に用い るヤング率 etc の物 性値はどんな値を使 用したか? (A) 協会発行の部会 資料で公表されてい る値を使用 (Q) クリーブ歪みの 考え方 (A) ロール半ピッチ で考えた	(Q) CE は W 字状を 形成するが ΔI として 3m 以上ある。こ れは EMS の影響 か? (A) 2 次冷却の影響 が大きいので EMS の影響はすぐ消える	(Q) ロードセル法の検 討はしたか? (A) 検討はしたが、本 法の開発が早く、かつ 高精度であった (Q) 検出しているシェ ルは固相率どの程度 か? (A) $f_s=0.8$ 程度 (Q) 固/液共存相にお ける音速はどのように 与えたか? (A) 固相、液相のみを 考慮して、共存相は考 えてない

Session 4

- (討22) 高速緩冷却鑄造技術の開発
(新日本製鉄(株)大分製鉄所 石飛精助ほか)
- (討23) 高速鑄造ダイレクトチャージプロセスにおける
界質保証
(住友金属工業(株)鹿島製鉄所 三島健士ほか)
- (討24) 水島製鉄所における製鋼圧延同期化操業
(川崎製鉄(株)水島製鉄所 成石正明ほか)
- (討25) 八幡製鉄所に於ける連鑄-熱延完全直結プロセス

- スを支える高温無欠陥鑄片製造技術
(新日本製鉄(株)八幡製鉄所 沖森麻佑巳ほか)
 - (討26) 固定鑄型振動方式の連鑄機の限界引抜速度の推
定
(日本鋼管(株)福山研究所 鈴木幹雄ほか)
- 5件の講演について直結化率、リジェクト率とその理由、直結不可鋼種、加熱炉装入時の鑄片温度、品質保証と使用機器の現状について報告された。
特に鑄片の品質保証方式として熱間探傷などの鑄片欠

表 4 高温無欠陥鑄片製造技術についての討論概要

	討 22	討 23	討 24	討 25	討 26
直結化率 (%)	ホットストリップ系 80% 厚板系 88% いずれも HCR Total 85%	HCR 60%	HCR 70~75%	<No. 1 CCM> DR 36% HCR 48% Total 84%	DR 50~60%
リジェクト率 及び理由	5% • 連々継目 • 7ch のばらつき	5~6% • タイミング不 • 表面疵	5% • 表面疵 • 成分不	DR 16% HCR 9% • 鑄造異常 平均 12%	6~7% • タイミング不 • 連々継目, 湯面変動
直結不可鋼種	• サイズ (スラブ幅) • 脱 H 処理材 • Nb ≥ 0.04%	• 高合金鋼	—	• 表面品質厳格材 (DI 缶)	• DI 缶
加熱炉 装入温度	• ホットストリップ系 860°C • 厚板系 850°C	• 850~900°C	• 580°C	• DR 1110°C • HCR 700°C 平均 880°C	• 1000°C (幅中央) • 900°C (コーナー) <カッター部>
品質保証と 使用機器	• 熱間探傷 (表面) • 内部われは オンライン判定 • 鑄片抜き取りチェック	• 熱間探傷 • S-print	鑄片条件判定 • マクロエッチ • テストスカーフ	• 鑄片条件判定 • S-print	• F 値 (3~5) • ロール間隔チェック • S-print • マクロエッチ
V _{max} を決める要因	機長	機長	内部割れ 介入物 機長	機長	機長
クレーターエンドの位置	機端手前 1.5 m	1.5~2 m	—	1.5 m	1~2 m

表 5 新連鑄についての討論概要

	薄スラブ連鑄			ストリップキャスト			
	討 27	討 C	討 D	討 E	討 28	討 A	討 B
キャスター 形式	ツインベルト (垂直型)	ツインベルト (垂直型)	ツインベルト (傾斜型)	ブロック (傾斜型)	双ロール	双ロール	双ロール
サイズ	50 t × 600 w 80 t	30 t × (700~1300) w	50 t × 1320 w	50 t × 150 w	(0.5~2.5) t × 100 w	1.5 t × 300 w	(0.8~2.3) t × 300 w
鑄造速度	~4 m/min	~10 m/min (コーティング有) ~12.5 m/min (コーティング無)	4~6 m/min	~30 m/min	4~140 m/min	12~36 m/min	17~40 m/min
対象鋼種	普通鋼	低, 中炭素鋼	低, 中炭素鋼	普通鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼 High-C, 高速度鋼	ステンレス鋼
品質 (表面・内質)	表面: われなし 内質: —	表面: われなし 内質: 介在物集 積, 偏析, われ なし	表面: 加工性の 高いものにはや や問題あり 内質: 問題なし	表面: 2重肌, われなしさし込 み若干あり 内質: 問題なし	表面: われ, 湯 じわなし 内質: 偏析軽微	表面: 平滑良好 エッジに若干問 題あり 内質: 偏析少な い	表面: 若干欠陥 あり 内質: 問題なし
狙いと 将来性	高生産性 マシン1スト ランド化	ホットストリッ プミルのリプレ イス時に有効	熱延の量産鋼 種さらに技術開 発の余地あり	熱延工程の一部 省略 高生産性	省工程 現状 CC の代 替プロセス 急冷による材質 向上	工程省略 Ni 系合金等特 殊材料分野で先 行開発	省工程 否定的な要因な し
問題点	(設備面) ベルト変位→ 内部われ 短辺固定側 (操業面) 給湯量制御 湯面安定化	(設備面) ベルト熱負荷増 大 耐久性の向上, 見極 (操業面) 安定性の向上 短辺/シエルの 摩擦	(操業面) V _{up} 湯面制御 給湯量制御	(操業面) 安定した鑄造性	(設備面) 問題なし (操業面) 2.5t 以上で凝固 組織不均一 給湯流制御	(設備面) 長時間の耐久性 給湯流制御 溶湯シール性	(設備面) 特に問題なし ロールの摩耗

陥検出装置などを用いずに、溶鋼および鑄造条件判定方式の紹介があり、現状ではこの方式が主体となっている。

Session 5 「新連鑄方式」

- (討27) 高速鑄造の問題点と革新連鑄
(新日本製鉄(株)君津製鉄所 和田 要ほか)
- (討28) 双ロール法急速凝固プロセスにおける鑄片厚さ制御
(新日本製鉄(株)未来領域研究センター 溝口利明ほか)
- (討A) 双ロール式ストリップキャスターで作製したステンレス薄板の組織と性質
(株)神戸製鋼所鉄鋼技術センター 吉田千里ほか)
- (討B) 双ロール法における SUS 304 の凝固速度の推定
(日新製鋼(株)周南研究所 山内 隆ほか)
- (討C) 双ベルト式薄スラブ連鑄機の開発
(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 戸沢宏一ほか)
- (討D) ツインベルトキャスターによる薄鑄片鑄造技術の開発

(住友金属工業(株)総合技術研究所 吉原正裕ほか)

- (討E) ブロック式薄スラブ連鑄機の特徴と高速鑄造
(日本鋼管(株)鉄鋼研究所 小松政美ほか)

討論① 薄スラブ連鑄(鑄片厚み 30~80 mm)

講演は4件あり、その中で鑄片幅 1300 mm 程度の広幅キャスターの操業報告もあつた。対象鋼種としては普通鋼が主体であり、鑄片の表面および内部品質問題はかなり解決されつつある。

討論② ストリップキャスター(厚み 0.5~2.5 mm)

講演の3件共に双ロール方式にて操業を行っており、実鑄造速度で 100 m/min を超えているところもあり、鋼種としてはステンレス鋼が主体で、狙いは省工程である。

これら新連鑄関連の講演7件は、いずれも問題点として設備面では耐久性の向上、操業面では給湯流制御を挙げている。

なお、講演および討議内容について、現実の新連鑄操業に比し、やや楽観的に捉えすぎているのでは、との指摘もあつた。

最後にまとめとして、従来方式の連鑄機について19件の講演があり、深みのある講演および討論の結果、連鑄の各要素技術の現状について総括することができた。また、限界鑄造速度としては 3 m/min 前後と整理できるが、推測では約 7 m/min までは可能であろう。

この従来方式の限界鑄造速度をブレークスルーする連鑄方式としての新連鑄法が着々と進歩しつつあることが7件の講演から伺われ、近い将来実機化されることが夢でなくなりつつあることを確認した。

終わりに、一日通しの討論会ではありましたが、講演者をはじめ参加し、熱心な討論をいただいた方々に感謝

いたしますと共に、討論会のまとめに当たつて、御協力いただきました各位に厚くお礼申しあげます。

III. チタン及びチタン合金

座長 金属材料技術研究所
河部 義 邦
副座長 金属材料技術研究所
貝 沼 紀 夫

当テーマについては、60年春季学会の萌芽・境界領域指定テーマに取り上げられて以来、数多くの研究が報告されている。その結果、チタン合金の諸特性は組成・組織に大きく支配されることが明らかにされたが、その関連性についてはまだ不明な点が多い。そこで、各種プロセス技術と組成・組織調整、さらには材質制御との相互関係を明確にすることを主旨として、当討論会は企画された。その講演募集に対して12件の申込みがあり、大会2日目の1日を費して討論会が行われた。

これらの講演は、力学物性に関するもの3件、組織に関するもの2件、組織と力学特性との関連性3件、高温加工性2件、被削性に関するもの1件からなり、広範な研究が報告された。そのため、ややまとまりにくい感もあつたが、当テーマの一回目の討論会としてチタン合金の多様な可能性をまず明確にして、重要かつ基本的な課題を整理していきたいという点からは、なかなか味のある構成ともいえよう。以下に、各講演と討論の概要を記す。

(討29) Ti-Al 固溶体合金の高温変形特性

(東北大学工学部 及川 供ほか)

Ti 合金の高温変形挙動に関する系統的な研究として、まず Ti-Al 二元系固溶体の α 相と β 相域における高温強度を歪み速度を変えて検討した。その結果、高温強度の Al 添加の効果は α 相の方が大きく、両相の強度の違いは変形速度が遅いほど、また低温ほど大きい。その理由として、コッレル雰囲気のような機構以外に結晶格子の本質に関係する機構が考えられることを考察した。

この発表に対して、Al 濃度による両相のすべり系の変化とその影響、軸比との関係、 α 相域で活性化エネルギーが高い理由、応力指数 n が 4 で他の合金系より高いことなどについて討論があつた。

(討30) 種々のチタン合金の極低温における強度と靱性

(金属材料技術研究所筑波支所 長井 寿ほか)

純チタン、代表的な α 型、 $\alpha+\beta$ 型および β 型合金の室温、77 K および 4 K における引張特性、シャルピー吸収エネルギーおよび破壊靱性を求め、これらを比較した。その結果、極低温で強度と靱性が共に優れた Ti 合金を開発するにはへき開状の破面の生成を阻止するため低酸化が重要であること、またどの型の合金を選択す