

住友式中厚高速連続鑄造プロセス

Medium Thickness High Speed Continuous Casting Process by Sumitomo

川本正幸/Masayuki Kawamoto・総合技術研究所 銑鋼プロジェクト推進部 銑鋼Aグループ グループ長 工博

金沢 敬/Takashi Kanazawa・プラントエンジニアリング事業部 製鉄エンジニアリング部 鋼板ミニミルグループ 参事

平城 正/Sei Hiraki・総合技術研究所 銑鋼プロジェクト推進部 銑鋼Eグループ 主任研究員

花崎一治/Kazuharu Hanazaki・総合技術研究所 銑鋼プロジェクト推進部 プロセス要素開発室 室長

村上敏彦/Toshihiko Murakami・総合技術研究所 銑鋼プロジェクト推進部 プロセス要素開発室 副主任研究員

要 約

当社では、1989 年より中厚高速連続鑄造プロセスの開発を行ってきた。このプロセスは、熱延コンパクトミルも含めてQSP (Quality Strip Production) プロセスとして商標登録している。本報告では、QSPプロセスにおける連続鑄造技術の概略を示した。

Synopsis

Medium thickness high speed continuous casting technology has been developed by Sumitomo Metals. This continuous casting process (including the compact mill process) is called the Quality Strip Production (QSP) process.

This report outlines the continuous casting process for the QSP process.

1. 緒 言

近年、欧米諸国を中心として、電気炉、薄スラブ連鑄機、コンパクトミルによって熱延鋼板を製造する、いわゆるミニミルプロセスが実用化されてきた^{1),2)}。

当社においては、1989 年から鑄片厚さが 90～120 mm のスラブを高速鑄造する中厚高速連続鑄造プロセスの開発を行ってきた^{3)～8)}。当社の中厚連続鑄造プロセスは、従来の薄スラブ連鑄機の主流であるファネル (Funnel) タイプの鑄型^{1),9)}とは異なり、平行鑄型を用いることを特長としている。これは、表面品質に大きな影響を与える初期凝固過程を単純化することを目的としている。また、当社独自の歪み積算理論に基づく内部割れを発生させない未凝固圧下技術によって、薄スラブ連鑄機なみの厚みのスラブを製造することも可能である。

このように、当社の中厚高速連続鑄造プロセスは、従来の薄スラブ連鑄を凌駕する、高生産性、高品質、高フレキシビリティな能力を有する。本プロセスは、熱延ミルも含めて QSP (Quality Strip Production) プロセスとして商標登録しており、現在、米国の North Star BHPSteel^{10)～12)}、Trico Steel で稼働中である。

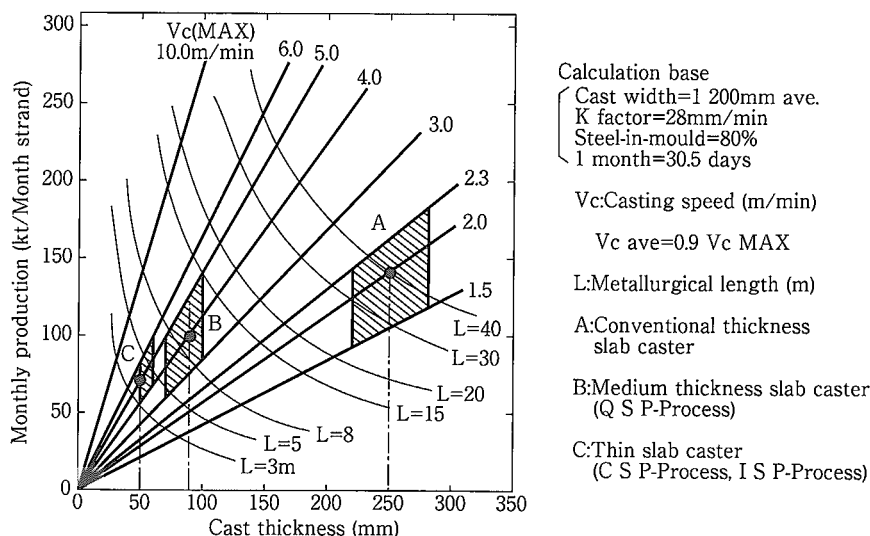
2. QSP プロセスのコンセプト

2-1 生産性

薄スラブ連鑄プロセスは、従来の 200 mm 厚以上のスラブ連鑄機と比べて生産性が低いという問題点があった。当社の QSP プロセスは、コンパクトな設備で従来設備に近く生産性を得るために、鑄型厚み 90 (～120) mm の中厚スラブ方式を採用した。第 1 図に生産性とスラブ厚み、鑄造速度、連鑄機機長の関係を示した。

既存の大型スラブ連鑄機、例えば当社鹿島製鉄所第 3 連鑄機 (270 mm 厚) は、鑄造速度 2 m/min 程度で操業しており、月間 13～15 万トン程度の生産量の確保が可能である。それに対して、SMS (Schloemann-Siemag AG) 社の CSP プロセス⁹⁾を代表する薄スラブ連鑄機は、スラブ厚み 50 mm、鑄造速度 5 m/min で月間 5～7 万トンの生産能力があるが、品質的にはいくつかの問題を抱えている。

これらに対して、QSP プロセスは、厚み 90 mm の中厚 CC であるので、鑄造速度 5 m/min で月間 10～12 万トンの生産能力がある。このように、当社 QSP プロセスは、大型連鑄機の生産性に匹敵することがわかる。



第1図 スラブ厚み、連続機機長と生産量との関係

Fig.1 Relation between slab thickness, machine length and productivity

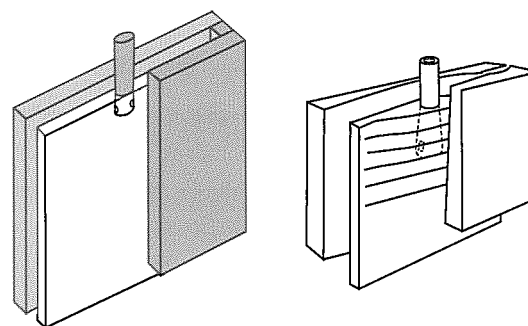
2-2 品質

QSPプロセスは高品質を確保するために、SMS社などとは異なり、平行の鋳型を用いている。これは、表面品質を決定する鋳型内の初期凝固現象を、できる限り単純化することを目的としている。内部品質については、当社独自の歪み積算理論¹³⁾に基づく内部割れの発生しないロールレイアウト設計を行っている。

CSPの鋳型⁹⁾と、QSPの鋳型とを比較して第2図に示す。

3. 設備

QSPプロセスの連続機の概略を第3図、第1表に示す。基本的な仕様は、鋳型のサイズが90~120mm厚さ、900~1650mm幅可変、鋳型長900mm、垂直部は鋳型を含

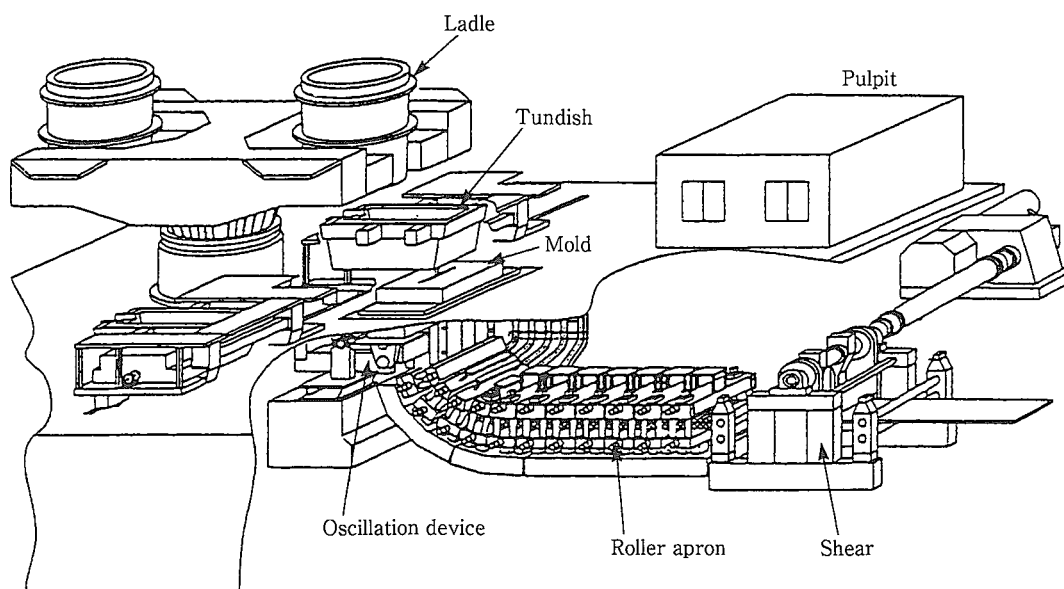


QSP parallel mold

CSP funnel mold

第2図 QSPプロセスとCSPプロセスとの鋳型形状の比較

Fig.2 Comparison of the mold shape between QSP process and CSP process



第3図 QSPプロセスの連続機概略

Fig.3 Schematic diagram of QSP process

第1表 QSPの仕様

Table 1 Specifications of QSP process

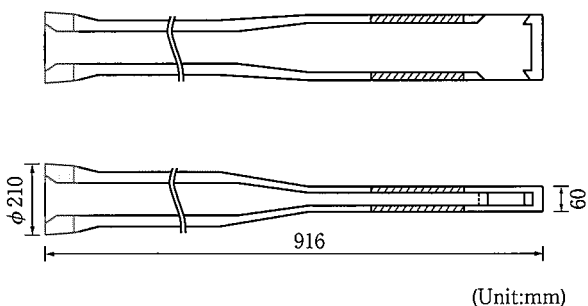
鋳型サイズ	90(～120 t)×900～1 650 mm		
最大鋳造速度	低炭材	5.0 m/min	
	中炭材	3.5 m/min	
	高炭材	3.0 m/min	
	HSLA 材	3.5 m/min	
	包晶鋼	3.0 m/min	
マシンタイプ	垂直曲げ型		
	垂直部 1.5 m, 湾曲半径 3.5 m		
	6点曲げの5点矯正		

み 1500 mm, 6点曲げの5点矯正, 湾曲半径 3.5 m である。本設備は CSP プロセスのような完全凝固曲げ方式とは異なり, 未凝固曲げ・矯正方式であって, 機高が低いという特長を持つ。したがって, 建屋の建設コストの低減が図れる。

3-1 給湯設備

90 mm 厚の平行鋳型に給湯するために, 第 4 図に示す扁平浸漬ノズルを使用している。材質はアルミナグラファイト製であって, スラグラインにはジルコニアグラファイト材質を使用しており, 1 本の浸漬ノズルで 300 分の鋳造が可能である。

給湯量の制御は, ストップ方式, スライディングゲート方式いずれでも可能である。給湯量は, 渦流式湯面レベル計を用いた高精度湯面制御装置によって制御されており, 鋳造中の湯面レベルを非定常部も含めて ± 5 mm 以内に制御可能である。また, 渦流レベル計を用いたオートスタートも具備しており, 完全なオートスタートが可能である。

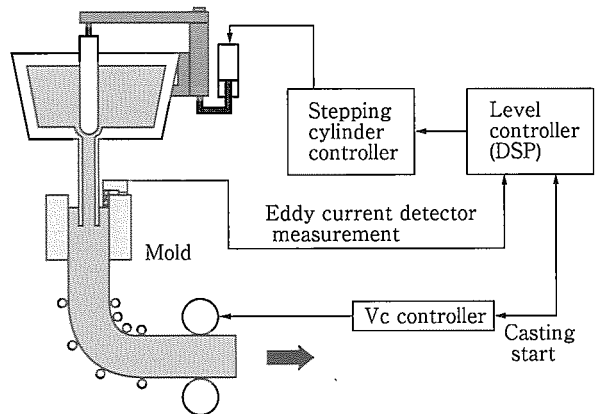


第4図 浸漬ノズル外観 (内挿ストッパータイプ)
Fig.4 Submerged entry nozzle (One piece type)

第 5 図に, 湯面制御装置の構成を示す。高速デジタルシグナルプロセッサとステッピングシリンダによって, 遅れ時間を最小化している。

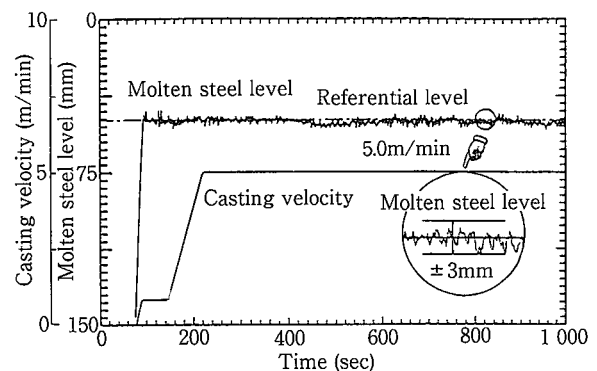
給湯流は電磁ブレーキを印可して, 短辺凝固シェルへの衝突を緩和しており, 短辺凝固シェルの再溶解, メニスカスへの反転流の減速を行っている。

第 6 図に, 試験連鋳機における鋳造速度 5 m/min 時の湯面制御実績を示す。この例では, 増速時も含めて ± 3 mm 以内に制御されている。



第5図 湯面レベル制御装置の構成

Fig.5 Block diagram of mold level control system



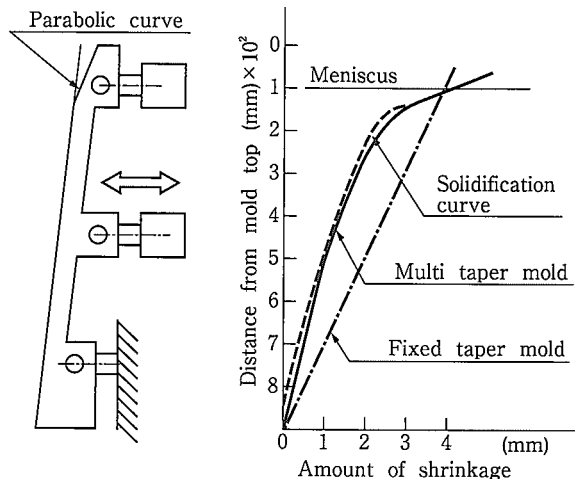
第6図 湯面制御状況

Fig.6 Mold level fluctuation

3-2 鋳型

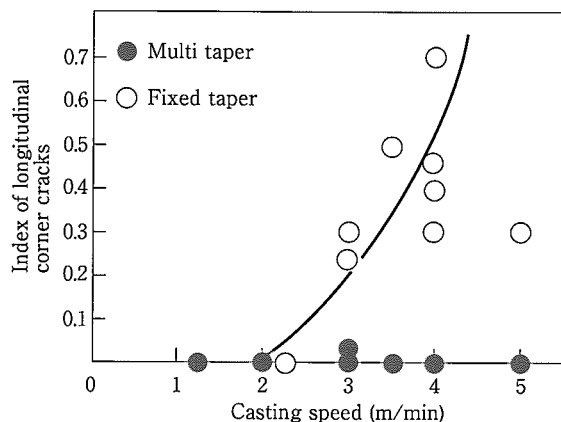
鋳型は, 凝固シェルとの接触状態を良好に保つために, 凝固収縮に合わせた放物線状の短辺形状となっている。短辺形状と凝固収縮との関係を第 7 図に示した。直線テーパに比べて, 接触状態が良好に保たれる。第 8 図に, マルチテーパ鋳型の効果を示す。接触状態を良好に保つことによって表面割れが低減する。

また, 本鋳型は, 幅替え機能を有しており, 鋳込み中の幅替えが可能である。



第7図 鑄型短辺テーパ形状

Fig.7 Taper of narrow face of mold



第8図 マルチテーパ鑄型の効果

Fig.8 Effect of multi taper mold

3-3 ロールレイアウト

ロールレイアウトは、パレジングを防止し、曲げ、矯正の歪みを最小にし、内部割れを発生させない設計となっている。これは、当社独自の歪み積算理論¹³⁾を用いた計算に基づいている。第9図に、凝固界面歪みの計算結果を示す。低炭アルミキルド鋼の内部割れ限界歪みが、約2.5%である¹³⁾ことを考えると、凝固界面歪みが十分に低く抑えられていることがわかる。

未凝固圧下については、曲げ終了後の湾曲部において、最大40 mmの圧下が可能である。Trico Steelにおいては、20 mmの圧下が可能のように設計されており、90 mmの鑄型で鑄造し、70 mmの鑄片を得ることが可能である。未凝固圧下の圧下、開放時における湯面制御についても、圧下シリンダのストロークに基づくフィードフォワード制御を行っており、定常部と同等の±5 mm以内に制御可能である。

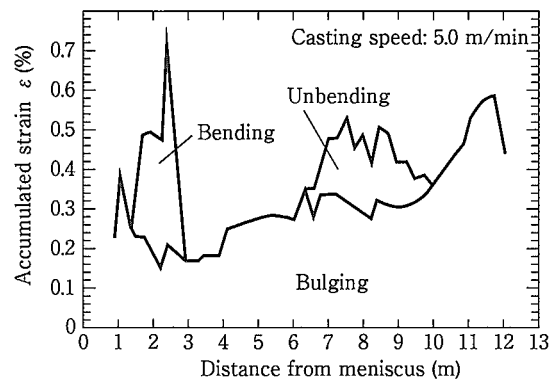
第9図 鑄造速度5 m/min時の凝固界面歪み
(低炭アルミキルド鋼)

Fig.9 Strain of liquid solid interface during solidification (LCAK)

3-4 その他

(1) 鑄片切断装置

鑄片の切断については、Shear方式を採用しており、従来のトーチ方式に比べて高速の切断が可能である。

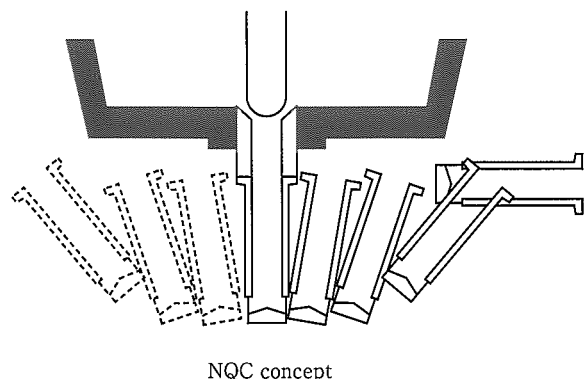
(2) 浸漬ノズル交換装置

浸漬ノズルは、300分の鑄造は可能のように設計されているが、更に長時間の鑄造に対応するために、North Star BHP Steelにおいては、鑄込み中の浸漬ノズル交換 (Nozzle Quick Change: NQC) 装置を採用している。NQC装置の概略を第10図に、ノズル交換時の湯面レベル状況を第11図に示す。本装置によって、鑄造を中止することなく、湯面変動もなく浸漬ノズルの交換が可能である。

4. 品質

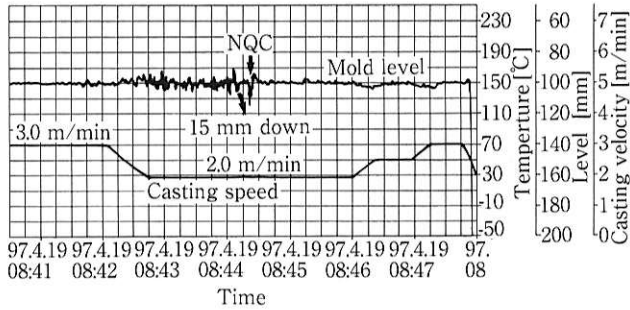
4-1 モールドフラックス

連続鑄造においては、モールドフラックスが表面品質に対して大きな影響を与える。当社はQSPプロセス専用のモールドフラックスを、自社開発した。



第10図 鑄込み中浸漬ノズル交換のイメージ

Fig.10 Image of nozzle quick change



第11図 鑄込み中浸漬ノズル交換時の湯面変動状況
Fig.11 Mold level fluctuation during nozzle quick change

第2表に、モールドフラックスの組成ならびに物性値を示す。表面縦割れの防止とブレイクアウトを防止するために、高塩基度、低粘度の設計となっている。

写真1に North Star BHP Steel で製造された熱延コイルの外観を示す。良好な表面性状のコイルが得られている。

4-2 内 質

鑄造された鋳片の内質について検討を行った。写真2に縦断面のマクロ写真を示す。内部割れの無い良好な内質が得られており、歪み積算理論が正しいことを実証している。

5. QSP プロセス

第12図に、米国 Trico Steel 社における、QSPプロセスの概要を示す。90 mm 厚モールドで、未凝固圧下を使用して 70 mm までの圧下が可能である。鑄造されたスラブはシャーカッタで切断された後、すぐにトンネル炉に挿入される。トンネル炉で均一な所定温度に昇温されたスラブは粗圧2段で圧延され、コイルボックスに巻き取られ、すぐに巻き戻された後、5段の仕上げミルで最低厚み 1 mm まで圧延される。

Trico Steel 社においては、直流電気炉を2基、LMF 2基で溶鋼を製造している。本プロセスは、連続鑄造機2

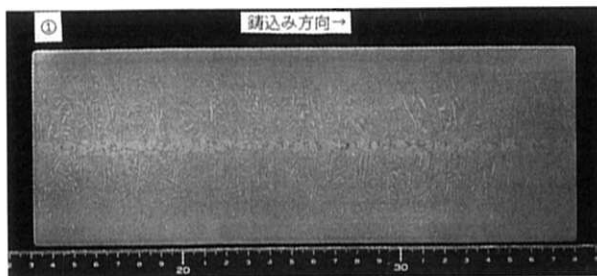


写真2 鋳片縦断面 (c=0.18%)
Photo 2 Longitudinal cross section of slab (c=0.18%)

第2表 モールドフラックスの組成・物性

Table 2 Basicity and physical properties of mold flux

銘柄	塩基度	凝固点(K)	粘度(Pa·s) (1573 K)
A	1.20	1388	0.08
B	1.23	1503	0.10
C	1.23	1468	0.09

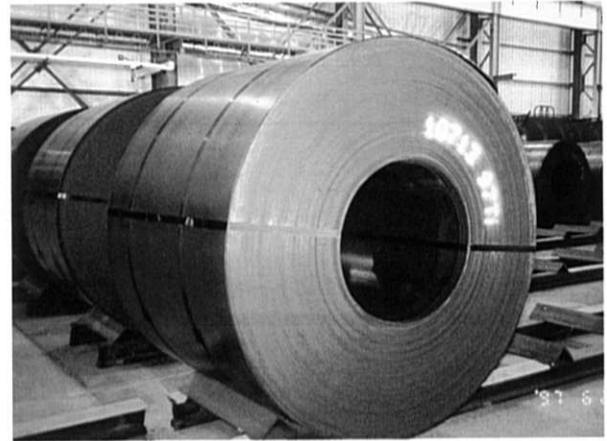


写真1 North Star BHP Steel 社の熱延コイル外観
Photo 1 Overview of hot coil of North Star BHP Steel

基、熱延ミル1基で熱延鋼板を20万トン/月製造可能である。写真3に Trico Steel の全景と鑄込みデッキの様子を示す。

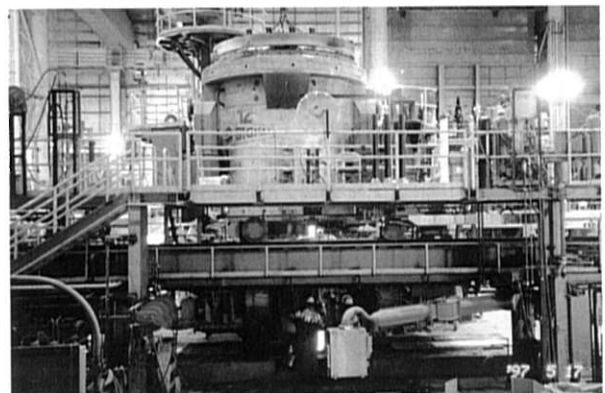
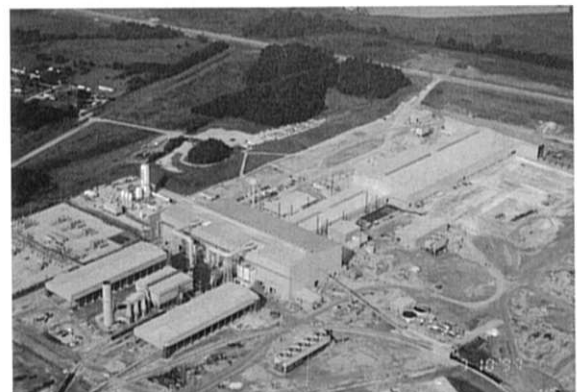
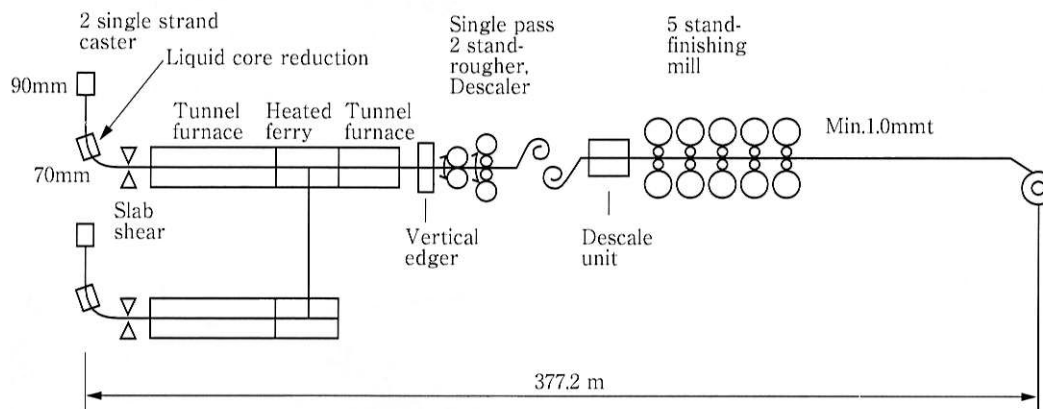


写真3 Trico Steel 全景ならびに鑄造デッキ
Photo 3 Overview of Trico Steel and casting floor



第12図 Trico Steel社のミル構成
Fig.12 Process configuration of Trico Steel

6. 結 言

住友式 QSP プロセスについて概略を述べた。QSP プロセスの特長は以下のとおりである。

- (1) 平行鋳型による高品質スラブの高速鋳造
- (2) 通常連鋳機に匹敵する高生産性
- (3) 未凝固圧下による自在なスラブ厚の鋳造

昨年稼働した、本プロセスは順調に立ち上がっており、従来の薄スラブ連鋳プロセスを凌駕する、高品質コンパクトミルプロセスとして期待される。

本研究開発の一部は、住友重機械工業㈱と共同で行われたものである。ここに、深謝の意を表す。



川本正幸 / Masayuki Kawamoto

総合技術研究所 鉄鋼プロジェクト推進部
鉄鋼Aグループ グループ長 工博

(問合せ先：0299(84)2960)

参考文献

- 1) 杉谷泰夫：第153・154回西山記念技術講座，日本鉄鋼協会編（1992），p.225
- 2) P. Greis: Metallurgical Plant and Technology International, Oct, (1994), p.31
- 3) 中井健，金沢敬，中島敬治，山田恒夫，丸川雄浄，吉田克磨，田中哲三，井上雄次：材料とプロセス，Vol.4(1991)，p.1283
- 4) 金沢敬，川本正幸，村上敏彦，中島敬治，中井健：材料とプロセス，Vol.4(1991)，p.1285
- 5) 平城正，金沢敬，中島敬治，村上敏彦，中井健，白井善久：材料とプロセス，Vol.4(1991)，p.1284
- 6) T. Kanazawa, K. Marukawa, K. Nakai, T. Yamada, K. Nakajima, T. Tanaka and Y. Inoue: Sumitomo Search, No.55(1994), p.51-55
- 7) 金沢敬，丸川雄浄，中島敬治，中井健，山田恒夫：住友金属，Vol.45(1993)，p.117-121
- 8) 金沢敬，平城正，川本正幸，中井健，花崎一治，村上敏彦：鉄と鋼，Vol.83(1997)，p.701-706
- 9) H. F. Marten and H. Fastert: Iron and Steelmaker, Vol. 14(1987)，p.57-62
- 10) B. A. Pollock: Iron and Steelmaker, Vol.22(1995)，p.5
- 11) N. Scott, 阿部和男，辻田公三郎，塩崎哲示，荒木泰治，尾崎孝三郎：材料とプロセス，Vol.10(1997)，p.815
- 12) 金沢敬，尾崎孝三郎，神田和俊，熊倉誠治，辻田公三郎，D. Knight, D. J. Kovach: 材料とプロセス，Vol.10(1997)，p.816
- 13) 山中章裕，岡村一男，金沢敬：鉄と鋼，Vol.82(1996)，p.999-1004