

討10

高速鋳造の問題点と2, 3の試み

日本鋼管 福山製鉄所

田口喜代美○小谷野敬之

山本圭太郎

福山研究所 工博宮下芳雄 宮原忍

1. 緒言

連鋳高速鋳造技術の確立は、その生産性を向上し、設備、操業コストを低減するための必須条件の一つであり、従来より種々検討されてきたが、必ずしも順調に実用化段階に達しているとはいえない。その主な原因は、高速化にともない生じる鑄片内表面の品質の劣化と操業トラブルの頻発である。偏析割れ等の内部欠陥に鈍感な薄板向鋼種では、1.0～1.8 $\frac{m}{min}$ の高速鋳造が世界の趨勢になりつつあるが用途上、その内部品質が重視される厚板向、一部熱延向鋼種では、高速化にともない、内部割れ、中心偏析、断面割れの発生、悪化が懸念されるため、従来の湾曲型連鋳機では、矯正点前で凝固を完了させるを得ず、引抜速度は機長より決定される限界速度よりはるかに低い水準で推移していた¹⁾。

しかしながら最近になり、厚板、熱延向鋼種の安定高速鋳造を前提として、種々の設備的特長を加味した高能率湾曲型連鋳機が設計製作され、順調に稼動し始めている。これらの連鋳機に共通の特色は、ロールピッチが全体的に短縮化され、かつ長尺モールドの採用にある。また、一部マシンにはこの他、多点矯正、圧縮鋳造、電磁攪拌技術も取り入れられており、操業の安定化に寄与している。当社福山製鉄所では、昭和46年に熱延向鋼種の高速鋳造が可能なコンキャスト製2ストランド湾曲型連鋳機を設置し、max 2.0 $\frac{m}{min}$ までの高速鋳造試験を実施し、幾つかの技術的成果を得ることができた。本報告は、主に本マシンを使用して得られた成果をまとめたものである。

2. 高速鋳造の問題点と対策

高速鋳造にあたり、解決すべき問題点とその対策を理論検討結果を中心に概述する。

2-1 高速用モールド及びトップゾーン仕様に関する検討

高速化で生じる最大の操業トラブルは、モールド直下のブレイクアウトである。鑄型内平均抜熱量は引抜速度が増すにともない、ほぼ直線的に増加するが、これは高速化に伴い、パウダーの流れ込み状況エアギャップ生成状況が、大巾に変化すること起因している。パウダー流れ込み状況の総括熱伝達率に及ぼす影響を図1に示すが、不均一流れ込み程度を示すパラメーター α が増加すると、熱伝達率は増加し、特にその際、パウダー流れ込み量が少ない高速鋳造時ほどその程度が大きくなり、結果的に、凝固シェルのゆらぎは助長される方向に行く。一方エアギャップ生成位置は、引抜速度に大きく依存しており、図2に示すように、高速化にともない、モールド出側に移行する傾向が認められる。

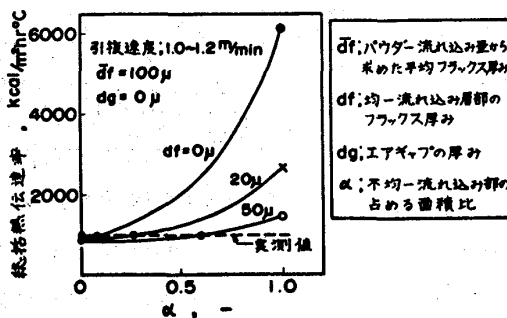


図1. スラブ表面からモールド冷却水間の総括熱伝達率におよぼす、パウダー流れ込み不均一性の影響

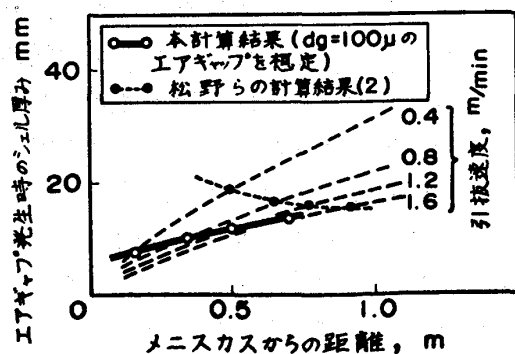


図2. エアギャップ発生時の位置、シェル厚みと、引抜速度の関係

これはエアギャップの生成が、シェル厚みの成長とシェルの熱収縮による曲がりと溶鋼静圧の相互作用の結果生じるものと考えれば定性的に説明できる。その他周知のように、鋳型内では鋳片コーナー近傍の凝固遅れ部が問題となるが、これは短辺もしくは長短辺テーパの適正組合せにより改善できる。すなわち、高速化で留意すべき点は、一つは長短辺テーパの適正化、及び適正パウダーの選択によるシェルの凝固遅れの防止であり、一つは長尺モールドもしくは「モールド+グリッド」へのモールド直下鋳片サポート方式の変更によるシェルの変形防止策を確立することである。

2-2 高速用パウダーについて

一般に、高速化にともない縦割れ性欠陥を中心とした表面欠陥は増加するため、特に、均一流れ込み性を維持できる高速鋳造用パウダーの選択が重要である。すなわち、パウダーに要求される基本特性としては、より低粘性であることがあげられ、さらに、パウダー溶融温度・溶融速度の適正化（低融点・高溶融速度化）と均一溶解性（顆粒化・粒度調整）も併せて考慮されなければならない。

2-3 内部割れの防止

連鋳々片の内部割れは、凝固途中の凝固界面に作用する引張歪と、鋼の凝固温度直下の高温脆化域が競合し生じる、いわゆる凝固界面割れであり、通常は溶鋼がヒールするために濃厚偏析帯を形成している。歪源としては、溶鋼静圧による未凝固シェルの内的変形（バルジング）によるものと、鋳片の曲げ・矯正あるいはロールミスアラインメント等による未凝固シェルの外的変形とがある。従って対策としては、これら諸歪源を軽減することが最も重要であるが、別法として、シェルの高温脆化の軽減すなわち、鋳造組織の微細化も考慮する余地がある。割れ発生の臨界歪量は従来よりさまざまな値が報告されているが、現在のところ歪速度 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{sec}^{-1}$ で0.5～0.7%程度が信頼できる値である。上述の歪源のうち最大のものはロール間バルジングによるものであり、また、特にシェル厚みが薄い場合の曲げ・矯正歪である。前者の軽減に対しては、ロールピッチの短縮化の効果が大きく、また二次スプレーの強化もシェルの剛性を高めるために有効な対策である。後者に関しては、特に垂直一湾曲型連鋳機の曲げ変形時のように、特にシェル厚みが薄い場合に問題となり、そのために「Progressive Bending」方式が採用され歪・歪速度の分散化を図っている。また高速鋳造時には湾曲型連鋳機の矯正時にも問題となり、歪軽減の一方法として、上述の対策以外に圧縮鋳造あるいは上下差冷却法等が考案あるいは実施されている。一例として上下差冷却による矯正割れ防止の可能性を解析した結果を図3に示す。上下差冷却により矯正の中立軸は上方へ移動し、上面側凝固界面に矯正圧縮歪を附加することが可能になる。その他、ロールアラインメント管理、ピンチロール適正押付力管理が十分留意されるべきことは言うまでもない。また、上面側デンドライト組織の微細化を安定して得る手段、例えば電磁攪拌等の採用によっても、内部割れを軽減させることは可能と考えられるが、これについては、未だ直接的な証明がなされておらず、今後に残された課題である。

2-4 中心偏析・断面割れの防止

中心偏析はクレーターエンド附近の濃化残溶鋼の冶金的・機械的要因による選択的移動（サクションあるいはフィーディング）で生じることは周知のことであり、その軽減のためには、それら諸要因を除去することが第一であり、また、残溶鋼の移動抵抗を増す意味で鋳造組織の微細化が有効な対策となりうる。具体的には、ロールピッチの短縮、ロールアラインメントの整備、二次スプレーの均一強冷化、未凝固軽圧下法、電磁攪拌があげられる。

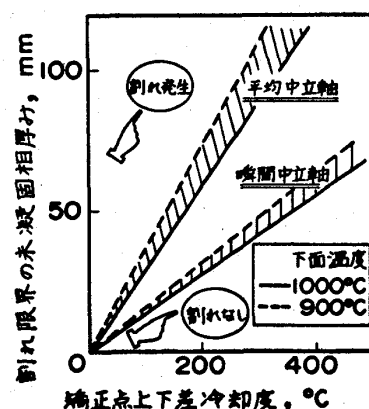


図3. 矯正割れ臨界シェル厚みと上下差冷却度の関係

一方、高速化にともない、クレーターエンドでブリッジングしやすくなり断面割れと称する大規模マクロポロシティが発生する危険が増す。特に、湾曲型速鋳機の未凝固鋳片矯正時には、図4に示すように、矯正点直後で鋳片の異常変形が生じやすくなり、内部割れ発生の一因ともなり、また、特にクレーター

エンドがこの附近に存在する中速引抜時には、図4. 湾曲型速鋳機における鋳片の矯正時変形プロフィールとロール反力分布(全支点完全拘束)断面割れ、中心偏析が発生あるいは悪化しやすくなると推定される。この種の現象は油圧支持方式を有する従来型速鋳機では特に問題となり、安定高速鋳造を実現するためには、ピンチロール支持方式の変更が必要となるであろう。

3. 福山製鉄所における高速鋳造操業経過

当所では、モールド直下の鋳片支持方式として、ロール方式が撓み等の問題で小径化には限界があることから、当初、クーリングプレート方式を適用したが、RIによる凝固シェル厚み調査により本方式は冷却能力が劣り、また、使用中の熱変形が大きく寿命・保守の点で問題があることから、最終的に、クーリンググリッド方式を確立した。また、一時、モールド短辺およびクーリンググリッド短辺が鋳造中に約1mm程度変動し、鋳片コーナー部からのブレイクアウト事故が発生したため、図5に示すようなロック装置を取り付けて短辺の鋳造中の変動を軽減した。一方、鋳片短辺面のコーンケープの大きさはコーナー凝固遅れの程度を推定する目安として有用である。図6は、種々の引抜速度における鋳片短辺面コーンケープ量とモールド直下の凝固シェルの凝固遅れ比(短辺面の最大厚み部分と最少厚み部分のシェル厚み比)の関係を示したものであり、コーンケープ量の減少にともない、コーナー部の凝固が遅れやすくなる。また、図7は短辺テーパ値とコーンケープ量の関係であるが、鋳造中に短辺テーパ値が適正範囲を外れると急激にコーンケープ量が減少し、ついにはブレイクアウト事故につながる。すなわち、鋳片コーナー近傍の凝固遅れ部を防止するには、鋳造前の短辺テーパの適正設定および鋳造中の変動防止が必須である。ところで、鋳造中、モールド長短辺銅板は昇温により変形し、鋳造前の設定テーパからずれる場合がある。また、鋳片短辺側のスプレー冷却に左右のアンバランスを生じると、鋳片が巾方向に蛇行し、これがモールドまで波及し、テーパ値が適正でも短辺

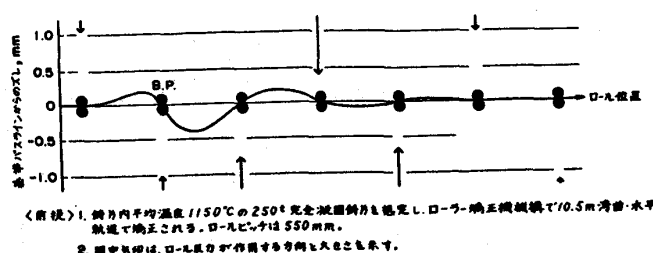


図4. 湾曲型速鋳機における鋳片の矯正時変形プロフィールとロール反力分布(全支点完全拘束)

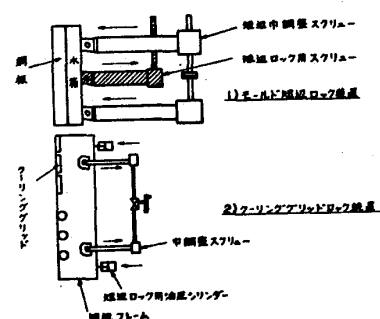


図5. 短辺ロック装置(模式図)

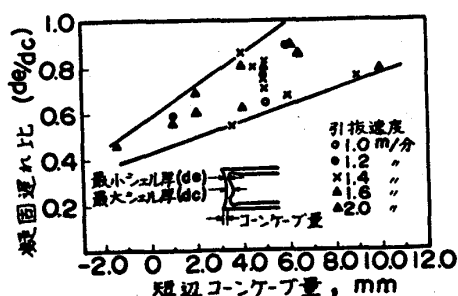


図6. コーナー凝固遅れ比と鋳片の短辺コーンケープ量の関係

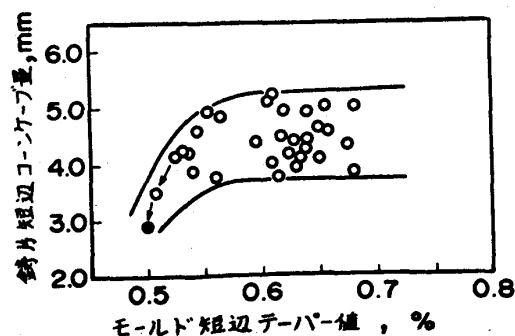


図7. 鋳造中のモールド短辺テーパ値と鋳片の短辺コーンケープ量の関係

コーンケープ量が小さくなる場合もある。このような問題点を解決するには、オンラインで短辺テーパ値および短辺コーンケープ量を常時監視し、その管理限界を外れた場合に直ちに必要なアクションを図れるようなシステムを開発する必要がある。当所では、サーボバランス式のテーパ測定機をモールド短辺に設置し、オンラインで常時短辺テーパを管理すると共に、当所開発の短辺コーンケープ測定システムをモールド直下サポート部に設置し、ブレイクアウト予知を行っている。

4. 安定高速鋳造化への2・3の試み

4-1. 上下差冷却による内部割れ防止の可能性

上下差冷却法の効果を確認するために、実機鋳造試験を行った結果を図8に示す。鋳片厚みは250mm、引拔速度は、0.90~1.0m/minである。矯正点鋳片上表面温度が等しい場合、上下面の差冷却度が大きいほど、内部割れは少なくなり、その効果は矯正点近傍の鋳片表面温度の内部割れ軽減に果たす役割とほぼ同程度であることを確認した。

4-2. 中心偏析・断面割れ防止の可能性

高速化にともなう中心偏析・断面割れの推移を図9に示す。従来の湾曲型速鋳機では、二次冷却の強化だけでは上記欠陥を軽減することは難しいことと、矯正点近傍の一部ピンチロール(P・R)の固定および未凝固軽圧下法の併用により、断面割れのない中心偏析の軽微な鋳片の製造が可能であることを明らかにした。

5. 結言

従来の湾曲型連鋳機による高速鋳造技術を確立するために、若干の理論的考察をもとに各種試験を行い、以下の結論を得た。

- 1) ブレイクアウト予知に、鋳造中のモールド短辺テーパとモールド直下サポート部の短辺コーンケープ量を常時オンラインで計測する技術を確立した。
- 2) 上下差冷却法、二次冷却強化、一部ピンチロールの固定化、未凝固圧下法の採用により、従来の湾曲型連鋳機でもある程度までの高速化ができる見通しを得た。

(参考文献) 1) 例えば堀;第40-41回西山記念講座(51.9).P73~79

2) 松野ら;鉄と鋼、60(1974)、P1023~1032

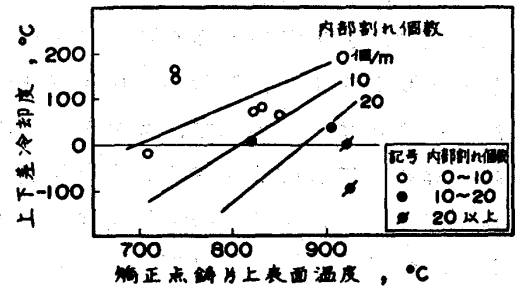


図8. 内部割れと矯正点鋳片表面温度・上下差冷却度の関係

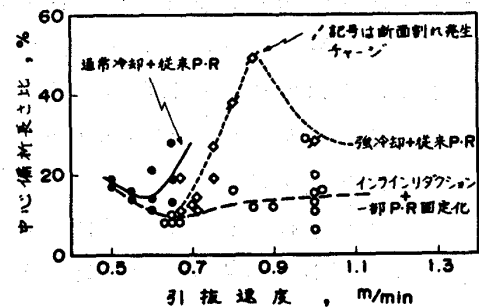


図9. 高速化にともなう中心偏析・断面割れの推移と鋳造条件の影響