

Transactions of The Iron and Steel Institute of Japan

Vol. 24 (1984), No. 11 (November) 掲載記事概要

Special Issue on Continuous Casting of Steel

Preface to the Special Issue on Continuous Casting of Steel

By Zensaku YAMAMOTO

Trans. ISIJ 「鋼の連続铸造特集号」刊行にあつての巻頭言。

“ 鑄片内偏析 ”

Mathematical Analysis of Segregations in Continuously-cast Slabs (RA)

By Tooru MATSUMIYA *et al.*

差分法を用いて、固液両相内の溶質の拡散を同時に考慮したデンドライト間のマイクロ偏析の数学的解析法を立てた。デンドライトの断面形状、および、固液界面の液相中の溶質の濃化によつて固液界面の進展速度が規制されることを考慮した。一方向凝固試験を行いデンドライト樹間の偏析を調査し、数学的解析法を検証した。他の解析法と比較して本解析法のすぐれている点を検討した。さらに、同様の方法を用いて、スポット状偏析を数学的に解析した。その結果は連鑄々片における観察結果とよく一致した。

New Evaluation Techniques of Segregation in Continuously Cast Steel (TR)

By Ko MIYAMURA *et al.*

連鑄鑄片の偏析として、最近、鑄片厚みの中心近傍に存在するスポット状偏析群やV偏析、あるいは硫化物の形態や分布が問題となつている。これらを定量的に評価するには、従来のサルファプリント法やマクロエッチ法はもはや不適当である。そこで、これに代わる新評価法として、EPMAの原理を応用したマクロアナライザおよびコンピュータマイクロアナライザを開発した。この方法ではMnやPなどの濃度分布を、かなり広い被検面について2次元的に定量でき、また偏析濃度別の偏析スポットサイズ分布や面積率も求められるので、成品特性を支配する偏析因子や、それを制御する操業因子を定量的に評価できる。また、これらの精密定量評価法に加えて、きわめて広い被検面を迅速、かつ簡便に半定量評価できる偏析エッチプリント法を開発した。この方法では、極低硫鋼やCa添加鋼の偏析も明瞭に現出させることができる。これらの新評価法を応用した結果、若干の見解が得られたので、その概略を紹介した。

Effect of Bulging and Solidification Structure on Segregation in Continuously Cast Slab (TR)

By Tsuyoshi SAEKI *et al.*

中心偏析をバルジング量と凝固組織との関係において定量的に評価するため、中心偏析シミュレーターによる試験を行った。この結果から、バルジング量がゼロの場合には偏析はきわめて軽微であるが、バルジング量が200 μm を越えると偏析は強くなることがわかつた。

この結果に基づいて、稠密分割ロールセグメントを連鑄機に設置し、偏析低減試験を行った。

この結果から、鑄片の凝固組織を等軸晶化し、稠密分割ロールを用いてバルジングを少なくすれば、中心偏析は大幅に低減することがわかつた。

Behavior of Semi-macroscopic Segregation in Continuously Cast Slabs and Technique for Reducing the Segregation (RA)

By Yutaka TSUCHIDA *et al.*

連鑄スラブの中心部に存在する小型の島状偏析、すなわちセミマクロ偏析に注目し、各種の調査を実施した。まず、一般的なスラブの中心部を詳細に調べ、高温で鑄造したスラブのみならず低温で鑄造したスラブにもセミマクロ偏析が存在することを示した。また、EPMAにより濃度を測定し、セミマクロ偏析の成分偏析度がマイクロ偏析のそれに比してきわめて大きく、かつその偏析程度は偏析粒径に依存することを明らかにした。

一方、軽圧下鑄造にて得たスラブでは、セミマクロ偏析粒が小径化するとともに個数が減少し、また成分偏析も小さくなることを示した。さらに、鑄造中のスラブ中心部に鋼製のトレーサー封入ピンを打ち込み、適正な条件で軽圧下鑄造すると、凝固末期における溶鋼の流動が抑制され、その結果としてセミマクロ偏析が低減することを実証した。

Macro- and Semi-macroscopic Features of the Centerline Segregation in CC slabs and Their Effect on Product Quality (RA)

By Osamu HAIDA *et al.*

電磁攪拌(EMS)と軽圧下による連鑄スラブの中心偏析軽減効果を調べた。中心偏析は、300 μm ~3 mmの大きさのセミマクロ偏析の集合体である。軽圧下スラブは、中心偏析厚み(T_M)が1.6 mmと薄いが偏析比(P_{max}/P_0)は2.4と高い。これに対し、EMS印加スラブは小径のセミマクロ偏析が広範囲に分布しているので $T_M=3.2$ mmと厚く、 $P_{\text{max}}/P_0=1.2$ と低い。S-プリントから目視で求めた中心偏析面積率は、EMS、軽圧下により著しく減少する。しかし、 T_M と P_{max}/P_0 の測定値より、軽圧下やEMSをかけてもバルジングにより移動する残溶鋼の量はほとんど変わらないと推定された。

EPMAマクロアナライザにより測定したセミマクロ偏析強度は、EMSや軽圧下によりむしろ悪化する。パイプ用鋼の水素誘起割れ発生率は、S-プリントから求めた中心偏析面積率ではなくセミマクロ偏析強度と相関がある。すなわち、水素誘起割れ発生率は、EMSや軽圧下では減少しないが、母溶鋼りん濃度低下やスラブ熱処理によりセミマクロ偏析を軽減すれば減少する。

(RA) : Research Article (TR) : Technical Report

Mechanism of Formation of the V-shaped Segregation in the Large Section Continuous Cast Bloom (RA)

By Hiroshi TOMONO *et al.*

大断面連铸ブルームの縦断面上に観察されるV状偏析について、マクロ的な調査を行うとともに、直径 2 mm ϕ のポリエチレン粒子を用いた、簡単な粒子モデル実験を試み、V状偏析形成機構の解明を試みた。得られた結論は、以下のとおりである。

1) V状偏析は、鑄片縦断面等軸晶領域にのみ観察され鑄造方向に向かつてV状を呈し、かつある一定の周期性を持つ。2) 等軸晶厚の増加とともにV状偏析発生密度は高くなり、かつその発生周期は短くなる。3) V状偏析形成機構については、以下のように説明することができる。すなわち、最終凝固位置近傍に堆積した等軸晶粒は、鑄片収縮により強制的に鑄片中心部に移動させられ、ある特定の固相率を持つ面を形成し、この面に沿って等軸粒間の濃化残溶鋼が流動、集積することによって明瞭なV状偏析が形成される。4) V状偏析の周期性については、最終凝固位置に堆積する等軸晶粒を典型的な付着性粉体とみなした、レオロジー的な取り扱いにより定量的に説明することができる。

Effect of Electromagnetic Stirring at the Final Stage of Solidification of Continuously Cast Strand (RA)

By Hideaki MIZUKAMI *et al.*

連铸鑄片中心部の等軸晶領域には、一般にV偏析が形成される。この偏析は鑄片の品質を著しく劣化させ、特に高級ラインパイプの製造上の問題となる。最終凝固位置近傍での未凝固溶鋼の電磁攪拌はV偏析の生成防止に有効と思われ、実験室的攪拌実験を行い、以下の結果を得た。

1) 最終凝固位置近傍で未凝固溶鋼をリア型または巡回型コイルで攪拌することによりV偏析の生成が防止される。2) 凝固界面における上向攪拌流はデンドライト樹間における濃化溶鋼の下方への移動を妨げる。3) 巡回型コイルを用いる場合は、最終凝固部に十分な量の微細な等軸晶粒が存在することが必要である。また交番攪拌は等軸晶粒どうしの合体を防ぎ、最終凝固位置での充填に有効である。4) 攪拌推力は $U_{Fe} = 10 \sim 20$ cm/s 程度の弱い攪拌力で十分である。5) 攪拌時期を選定することは重要であり、鑄片の軸心で固相が晶出し始める時期が最適である。

Hot Model Experiments on Electromagnetic Stirring at About Crater End of Continuously Cast Bloom (TR)

By Ken-ichiro SUZUKI *et al.*

連铸ブルームの中心偏析、センターポロシティの改善を目的としてホットモデル実験により凝固末端部の最適電磁攪拌条件について検討した。ホットモデル実験では凝固収縮による残溶鋼の吸引が加速されるよう設計した鑄塊内のV偏析に対する水平巡回攪拌の効果を調べた。その結果、凝固組織を等軸晶としV偏析を分散するには

攪拌時の液芯の径を 30~50 mm とするが望ましいが、等軸晶凝固する液芯を強攪拌すると残融液と等軸晶からなるスラリーが緩慢に運動する間に溶質濃化残融液が凝集し、V偏析はむしろ悪化することがわかった。電磁攪拌の最適条件については、等軸晶などの安定存在条件、スラリーの運動、下向きの凝固収縮流などの凝固現象を含めて考察した。

ホットモデル実験結果をベースに水島製鉄所ブルーム連铸機用電磁攪拌設備を設計し、実機実験を行い、連铸機内の二次冷却帯と凝固末端付近での電磁攪拌により軸芯部の偏析、センターポロシティとも少ない鑄片を得るための条件を設定した。

Improvement of Macroseggregation in Continuously Cast Bloom and Billet by Electromagnetic Stirring (RA)

By Kenzo AYATA *et al.*

高炭素鋼を連铸鑄造する場合に、中心偏析はとりわけ有害な欠陥となる。この中心偏析を改善するために、研究所や工場において多くの実験が行われた。ブルーム連铸とビレット連铸の工場実験では、2 または 3 基の攪拌装置が鑄型や二次冷却帯の上部や下部に取り付けられた。

この結果、鑄型と二次冷却帯下部の組み合わせ攪拌により、中心偏析のばらつきや平均値がともに大きく減少することがわかった。さらに、凝固末期の攪拌には最適な攪拌条件があり、この攪拌条件が不適切であると、中心偏析は改善されないばかりか、場合によってはより悪くなることがわかった。

組み合わせ攪拌はブルーム連铸機に採用され、高品質の線材や棒鋼用の鋼が製造されている。

“鑄片表面割”

Model Powder Technology for Continuous Casting of Aluminum-killed Steel (TR)

By Taketo NAKANO *et al.*

清浄で表面割れの無いアルミキルド鋼を連铸で生産するためのモールドパウダー技術を開発した。

検討項目は、(1) 溶融パウダープール中の Al_2O_3 マスバランス、(2) 溶融パウダーの Al_2O_3 吸収能、(3) 連铸時の鑄型抜熱の均一化、(4) Al_2O_3 吸収によるパウダー粘度の変化、(5) 連铸時の Al_2O_3 吸収を考慮したパウダーの適正粘度設計法。

得られた結果：(1) 溶融パウダープールの Al_2O_3 量はパウダーの Al_2O_3 吸収能に依存しつつ時間と共に増加するが、ある時間後は Al_2O_3 吸収能に対応した一定値になる。(2) 溶融パウダーの Al_2O_3 吸収速度は塩基度指標 Bi が大のほど大きい。(3) 一般にパウダーの粘度は Al_2O_3 量が増すと増える。(4) 鑄型抜熱を均一化するためには、パラメータ ηV を 1.0 から 3.5 の範囲に制御することが重要である。ただし η は $1300^\circ C$ におけるパウダーの粘度 (P)、V は鑄造速度 (m/min)、(5) 上記を組み合わせることにより、鑄造中の Al_2O_3 吸収をも考慮したパウダーの適正粘度設計法を確立した。(6) この方法を中炭素アルミキルド鋼の連铸に適用することにより鑄片の縦割れを防止し、無手入れ直送化

を実現した。

Factors Affecting the Formation of Shell and Longitudinal Cracks in Mold during High Speed Continuous Casting of Slabs (RA)

By Hakaru NAKATO *et al.*

スラブの高速連続鋳造時における鋳型内での凝固殻の生成と縦割れに影響を及ぼす要因を調査した。

凝固殻の生成に及ぼすスラブの引抜き速度、浸漬ノズルの吐出流速、鋳型テーパ並びに鋳型振動条件の影響を明らかにし、これらの影響を定量的に解析した。さらに、鋳型内の熱抽出の特性とそれに起因する凝固殻内の応力が割れ生成に及ぼす影響を調べた。

これらの実験結果は、鋳型内で均一な凝固殻の生成を促進し、スラブ表面の割れを防止するための対策となる。

Improvement of Surface Quality of Continuously Cast Slab for Conditioning-free Rolling (TR)

By Minoru KITAMURA *et al.*

脱ガス処理技術や連続鋳造工程における断気鋳造、鋳型内フラックス、タンディッシュ耐火物、二次冷却制御などの操業技術の改善により、スラブ表面品質は著しく向上し、無手入れスラブの圧延加熱炉装入も可能になった。最近では、厚板材の 80% と薄板材の 50% がこのように、加熱炉に直接装入されるに至っている。また、これら操業技術の改善により、ラインパイプ X-70 や深絞り用材など的高级鋼も連続鋳造にて製造できるに至った。

“新 型 連 鋳 機”

Development of Horizontal Continuous Caster for Steel Billets (TR)

By Shun-ichi TANAKA *et al.*

鋼用水連続鋳造は炭素鋼の小中断面ビレット製造において工業化されているが、著者は本プロセスをさらにステンレス鋼、高合金鋼と大断面ビレット製造に適用するため種々の技術を開発した。

鋳片の間欠引き抜きが本プロセスの基本的なものであるが、大断面ビレットの鋳造中の非常に重い鋳片重量に抗して高サイクルの間欠引き抜きを実施するため引抜き設備と制御法に新たな考案をした。ステンレス鋼、高合金鋼の鋳造も鋳型テーパ値の最適化と新材質のブレードリングの使用によつて安定した実用的なものとなった。さらにビレットの品質を改善するため熱間ショットブラストによるコールドショットクラック表面欠陥の消滅が、また電磁攪拌の効果的な配置により、鋳片中心品質を改善する方法等の技術を開発した。

これらの改良により水平連続鋳ビレットは、線材、棒

材、継目無管への適用テストにおいて優れた結果をもたらしている。

Effects of Factors on the Stability of Casting in Horizontal Continuous Casting (TR)

By Ken NAKAI *et al.*

炭素鋼ならびにステンレス鋼の水平連続鋳造における基本的な問題点を見出すため、2t 溶鋼規模の試験機を設置し、鋳込み試験を行った。得られた結果は次のとおりである。

(1) モールドのオシレーションがない水平連続鋳造では、間歇引き抜きが不可欠である。

(2) 接続耐火物とモールド間のすきまは極力小さくすることが必要である。すきまが生成すると、溶鋼が侵入しバリとなつて、ブレードアウトにつながる。BN のような窒化物系耐火物使用により安定操業が可能である。

(3) モールドと耐火物間の段差は小さい方がよい。大きい場合は、引き抜きマーク直下の凝固組織に不連続部が生じる。

(4) ステンレス鋼の鋳込みでは引抜き抵抗が大きい。そのためにフッ化黒鉛を含有した Ni めつきをモールド内面に施したところ、摩擦抵抗は大幅に減少した。このモールドにより、150~260mmφ のステンレス鋼の安定鋳込みが可能となつた。

Investigation of Steel Billets Produced by a Rotary Type Continuous Caster (TR)

By Tatsushi AIZAWA *et al.*

著者らは鋼の直接圧延法を確立する目的でロータリ式連続鋳造機を開発した。本鋳造機では、従来の連続鋳造機と比較して鋳型を長くすることができるので、小形の鋳造機で高速鋳造が可能である。しかし曲げ矯正域における鋳片の変形や割れの発生、あるいは非金属不純物の介在といった現象の確認が実用機において必要であつた。

そこで操業中の鋳造機を停止させて鋳片を取り出し、鋳片の変形挙動、割れの発生の有無、非金属不純物の介在状況を観察した。その結果、以下のことがわかつた。

(1) 曲げ矯正域における鋳片の平均および最低ひずみ速度はそれぞれ 0.40 および 0.18%/s であつた。

(2) 表面割れは全く認められなかつた。

(3) 曲げ矯正域直後の鋳片に内部割れが観察された。しかし、これらは非常に小さく、その後の圧延で消失してしまい、最終製品には問題ないことが明らかになつた。

(4) 非金属不純物が特に凝固殻の下に集まるといった現象は認められなかつた。

会員には「鉄と鋼」あるいは「Trans. ISIJ」のいずれかを毎号無料で配布いたします。「鉄と鋼」と「Trans. ISIJ」の両誌希望の会員には、特別料金 4,000 円の追加で両誌が配布されます。