

想として、(i)劣化機構は反応・熱・熱衝撃等によるものに大別できるが、相互に影響し合い、(ii)炉内でのコークスの細粒化・粉化は約 1100~1300°C 域で開始すること、(iii)今後の課題の粉化機構と粉の移動と消滅のサイクルにメスを入れる直接的検出端(光ファイバー・高速度カメラ・サンプラー等)の開発実用化により、粉化の位置・量や劣化機構の解明可能な日は近いこと、(iv)高炉用コークスをいかに安くするかを製造側において、使用側は炉内コークスの挙動解明による評価をし、両者相携えて討論会テーマとして再度採用の暁には、今回の課題が全面解決されている局面を期待したい。

## II. 連铸々片の偏析 —現状と問題点—

座 長 新日本製鉄(株)第三技術研究所

森 久

副座長 日本鋼管(株)技術研究所

北 川 融

連続铸造では連铸機の保全を含めたプロセスコントロールのいかにが連铸鋼の品質に著しく反映されるため 1970 年代前半の連铸導入期に種々の技術開発が行われ今や連铸鋼の健全性、均質性は造塊材よりも優れていることは周知のこととなった。しかるに近年、鋼管の耐サワーガス特性をはじめ鋼材品質への要求がより厳しくなるにつれ連铸铸片のマクロ的中心偏析のみならずセミマクロ的な偏析の軽減が重要な課題として認識されてきている。このような背景のもとに今回の討論会でセミマクロ的な偏析の操業上の支配因子ならびに製品特性との関係、さらには偏析の凝固理論的解析および新しい評価法について議論を深めることとした。

討 8 電磁誘導攪拌法によるブルーム連铸の偏析防止

新日本製鉄(株)室蘭技術研究部 前出弘文 他

連铸ブルームの等軸晶率を増加させるため電磁攪拌の強度、コイル位置及び铸造速度の影響を素鋼成分別に記述できる実験式を提案した。電磁攪拌により棒鋼の冷間鍛造時のシュブロンクラックは著しく改善された。

本発表に対し鋼線の伸線時におけるカッピ破断改善効果について質問が出されカッピ破断に対しても満足すべき結果が得られていると回答された。

討 9 電磁攪拌によるブルーム、ビレット連铸のマクロ偏析の改善

(株)神戸製鋼所中央研究所 綾田研三 他

ブルーム、ビレット連铸への電磁攪拌適用の効果を高炭素鋼铸片を中心に示した。铸型内攪拌あるいは二次冷却帯攪拌と凝固末期攪拌との組み合わせにより中心偏析のばらつき、平均値が改善されパネ鋼の伸線性が向上する。

本発表に関し、凝固末期攪拌の時期について質問が行われ、等軸晶域の攪拌であると回答された。

討10 ブルーム連铸機内凝固末端部の電磁攪拌による

中心偏析の改善

川崎製鉄(株)技術研究所 鈴木健一郎 他

0.5%C の小型铸塊を用いた電磁攪拌実験により等軸晶組織を軸心部に得る条件及びV偏析軽減のための条件を求めた。ブルーム連铸機の二次冷却帯、凝固末端部における攪拌試験を行い未凝固径 40~50 mm での強攪拌でV偏析が分散され高炭素鋼線のカッピ破断率が改善された。

討11 大断面連铸ブルームのV状偏析形成機構

住友金属工業(株)和歌山製鉄所 人見康雄 他

連铸ブルーム内のV偏析発生状況の操業条件依存性を明らかにした。この知見にもとづきV偏析線発生機構を等軸晶粒の下方へのサクションにもとづくすべり面の形成と、すべり面に沿った残溶鋼の流動によるものであるとし、V偏析の傾角、発生周期について数式モデルを提案した。

以上の発表に対し次の4件のコメントをいただいた。

大同特殊鋼・大津賀氏：電磁攪拌によるホワイトバンド内負偏析を緩和しつつ等軸晶を得るためストランド上部での弱攪拌を広範囲にわたり行つた。中炭素鋼に対しては十分な効果が得られているが 0.6%C 以上については不十分で多段攪拌を考えている。

日本鋼管・水上氏：等軸晶凝固する小型铸塊内V偏析の形成に及ぼす電磁攪拌の影響を検討した。リニア攪拌の場合、凝固界面上昇流を与えることによりV偏析を消滅させることができた。旋回攪拌の場合、铸造直後に攪拌を一度与えた後、最終凝固時期に交番攪拌を行うとV偏析を消滅させ得る。いずれの場合も攪拌時期は軸心部の固相率が 0.1 となる時期で、流速は 10~20 cm/s が最適であった。

名古屋大学・浅井助教授：塩化アンモニウム水溶液を用いV偏析形成のモデル実験を行つた。等軸晶粒子の移動は粉体のすべり線形状を記述する理論式によく合致する。

V偏析線の形成機構として1) 収縮負圧によるすべり線の発生、2) すべり線への凝固収縮にもとづく濃化液の流入と結晶の再溶解によりV偏析線が周期的に形成されると推定できる。

北海道大学・高橋教授：等軸晶層内の固相率分布は軸心で低くなつており一定量堆積すると上面にV状の空隙を生じ周囲の濃化液が流入しV偏析線が形成される。この繰り返しによりV偏析線の周期性があらわれる。

以上のブルーム、ビレット連铸の偏析に関する討議により得られた見解として(1)中炭素鋼铸片に対し、電磁攪拌による等軸晶化は中心偏析改善に有効であるが %C < 0.1, %C > 0.5 の鋼種では十分な量の等軸晶が得られ難い。(2)複数個の電磁攪拌器による等軸晶増加効果には加算性がある。(3)V偏析線は等軸晶堆積層内の濃化液の流動により生ずる。(4)等軸晶部の攪拌により偏析

改善の可能性がある。今後に残された課題は等軸晶の得られ難い高、低炭素鋼に対する対策であると考えられる。

#### 討12 連铸偏析の新評価法

新日本製鉄(株)八幡技術研究部 宮村 紘 他

素鋼の高純度化、铸片内偏析サイズの微小化に対応し従来法に代わる偏析評価法としてマクロアナライザ、コンピュータマイクロアナライザおよび偏析エッチプリントを開発した。これらの方法により、広い被検面について元素濃度を二次元的にかつ迅速に評価できるとともに偏析分布の各種統計処理も可能となった。

#### 討13 連铸スラブ中心セミマクロ偏析の評価方法、軽減対策および製品特性に及ぼす影響

川崎製鉄(株)技術研究所 北岡英就 他

連铸スラブの中心部セミマクロ偏析と铸造条件との関係および製品特性への影響を調査した。その結果、マクロアナライザによりセミマクロ偏析を迅速に定量化できること、セミマクロ偏析の低減には凝固末端部の電磁攪拌、素鋼の低りん化およびスラブの拡散熱処理が耐 HIC 特性向上のために有効であることが判明した。

本発表に対し、スラブ厚中心面の調査により代表的偏析粒径を把握可能であるかとの質問が出され、計算機に判断させているとの回答があつた。

#### 討14 連铸片偏析におよぼすバルジング量および凝固組織の影響

新日本製鉄(株)名古屋技術研究部 佐伯 毅 他

铸片中心偏析におけるバルジングおよび凝固組織の影響を小型铸塊により調査した。この結果をふまえ稠密分割ロールを実機にセットし電磁攪拌と組み合わせることにより偏析粒径、偏析度ともに軽減できることが実証できた。

#### 討15 連铸スラブのセミマクロ偏析とその低減技術

日本鋼管(株)技術研究所 土田 裕 他

軽圧下帯における未凝固溶鋼の流動状況をトレーサ法により調査した。高温铸造、強冷却条件でクレータエンド近傍の铸片を軽圧下を行うことによりセミマクロ偏析粒径、数を低減することが可能で、軽圧下条件が適正であれば未凝固溶鋼の流動が抑制されることが判明した。

本発表に対し、クレータ位置の検出・制御法について質問が出され鋼鋳打込テストと伝熱解析により行つていると回答された。

#### 討16 連続铸造铸片の粒状偏析

住友金属工業(株)鹿島製鉄所 川崎守夫 他

粒状偏析粒径、偏析度は低温铸造、電磁攪拌、適正ロールテーパ設定、強冷却の組み合わせにより低減できるが等軸晶帯内に偏析粒径に対し、偏析度の異常に高いものが存在する。

铸片の拡散熱処理は径 150  $\mu\text{m}$  以下の偏析粒の偏析低減に効果がある。

本発表に対し、偏析粒の偏析度が铸片中心からの距離に依存する理由について質問があり、偏析形成時の流動距離の相違によるものであると回答された。

#### 討14 連铸铸片における偏析の数学的解析

新日本製鉄(株)第一技研 松宮 徹 他

デンドライト樹間の C, Si, Mn, P, S の凝固濃縮過程を温度推移、固・液相内拡散を考慮して差分法により解析し、一方向凝固実験結果と対比させた。その結果、液相内均一混合の場合よく実験値と一致した。铸片中央部の偏析粒の形成過程をこの方法で解析した結果、りんの偏析の炭素濃度依存性はじめ実铸片の観察結果とよく一致した。

以上 6 件の発表に対し、次のコメントをいただいた。

北海道大学・高橋教授：固・液共存層内には結晶生長の不均一に起因して液相空間が発生し、P 層の段階においてそれが独立に周りから凝固するためにスポット偏析となる。

電磁攪拌により等軸晶凝固させる場合、いつたん沈澱堆積した結晶の部分的再溶解がおこり液相空間の発生する可能性がある。この防止には V 偏析対策と同様な対策が必要である。

日本鋼管・川上氏：電磁攪拌による偏析改善についての報告はその具体的な技術内容たとえば攪拌流速、方向や発生した等軸晶径等についての検討が全体に不足しており冶金現象の理解をする上で一つの障害になつていられる。今後これらの点の究明を含めた研究に期待したい。

スラブ内セミマクロ偏析に関する討議により、偏析の実態として偏析粒径は 0.3~3 mm、りんの偏析度は XMA のビーム径により異なるが 12~60 で粒径の増大とともに増加する点ではほぼ一致している。しかし等軸晶部においては偏析粒径が小さいにもかかわらず強い偏析を示す現象が指摘されている(土田、川崎)。偏析対策としては二次冷却強化 (1.55 l/kg 以上) 稠密分割ロールによるバルジング防止が指摘されているほかは低温铸造と電磁攪拌の組み合わせによる等軸晶化と高温铸造・軽圧下と全く異なつた方向の対策がとられている。

以上、討論会の発表および主要な討議について概括した。ブルーム、ビレットの連铸においてはいわゆるブリッジングを伴つた比較的大きな中心偏析の軽減が議論の中心となり、電磁攪拌による等軸晶化さらには凝固末期の攪拌の組み合わせにより偏析の軽減がはかられている。スラブにおいては直径数ミリ以下の小規模な偏析も対象とされており等軸晶化か柱状晶化かといった基本的な凝固形態に関する点においてさえ意見の一致を見ることはできなかった。

このような見解の矛盾ないし不統一の原因は製品側の要請に対する連铸研究側の対応が緒についたばかりとはいえ、やや短絡反動的であつたためと反省される。凝固

の進行にともなう固相空間のマイクロないしマクロ的形狀状況、ならびに残溶鋼の流動とマイクロないしマクロ的正・負偏析の形成におよぼす諸要因の影響を、実験的理論的に定量化するための地道な努力を続けることが今後の方向と考えられる。

### III. ホットストリップミルの幅制御技術

座長 (株)神戸製鋼所技術開発本部

平野 坦

ホットストリップミルにおける板幅精度の向上は、ミル歩留りの向上をはかり、しかも高度化するユーザ要求品質に対応していくために、常に継続して取り組むべき重要な技術課題のひとつである。

特に近年、連铸スラブの普及と省エネ操業の浸透により、幅圧延にともなう先後端幅ひけの増大や低温加熱にともなうスキッドマーク幅変動の増大が大きな問題となつたため、板幅制御に対する関心が急速に高まり基礎的および実用的検討が進展した。中でも我が国における自動板幅制御 (AWC: Automatic Width Control) の普及発展は、特筆に値すると言える。

また一方、連铸化の進展にともない、铸片顕熱の有効利用と物流の合理化を目的とした連铸プロセスと圧延プロセスの連続化という新しい動きが生まれている。その連続化技術の一環としても大幅圧下圧延技術、板幅制御技術は、重要な位置を占めている。

これらの背景を踏まえて今回の討論会では、ホットストリップミルにおける板幅制御技術ばかりでなく、幅集約のための大幅圧下圧延技術をも含めたテーマ選択がなされ、活発な討論が行われた。以下にその概要を報告する。

#### 1) 大幅圧下圧延技術

以下の3論文がこのジャンルに含まれる。

討18 スラブの幅方向圧延に関する実験的および解析的研究

京都大学工学部 小門純一 他

討19 スラブの幅大圧下圧延

新日本製鉄(株)大分製鉄所 溝口信正 他

討20 ホットストリップミル粗圧延におけるスラブの幅大圧下技術とクロップ量低減対策

川崎製鉄(株)技術研究所 阿部英夫 他

大幅圧下圧延を行うためには、ロールの噛込限界を拡大し、圧延中のスラブのねじれや座屈を防止する必要がある。カリバエッジロールが用いられる。またカリバエッジロールの採用によりドッグボーンの発達を抑制され、フラットエッジロールを用いる場合よりも塑性変形がスラブのより内部まで及び幅調整の効率が向上する。

カリバ傾斜角は小さいほど幅調整の効率が良いが、逆

に荷重、トルクが増大し、表面疵発生の危険性が増す。表面疵の面から実用上安全なカリバ傾斜角は、約14°である。トルクが増大は、荷重と摩擦仕事の増大による。

エッジロール径が大きくなる場合にもロール接触弧長とトルクアーム長さの増大により圧延荷重、トルクは増大する。ただし、圧延速度が一定の条件の下では、消費動力はむしろ減少する。またエッジロールの大径化により、ドッグボーン発達の軽減、ロール表面圧力分布の軽減、先後端クロップロスの低減が可能となる。したがって、今後エッジロールの大径化が進展する可能性が大きい。

スラブ幅が広くなるとフラットエッジロールではドッグボーンの発達により幅調整の効率が著しく劣化するが、カリバエッジロールでは効率的な幅調整が可能である。ただしドッグボーンを抑制することによりロール接触部に高い圧力が発生し、荷重、トルクが増大する。

大幅圧下圧延にともなう先後端の巨大な幅ひけに対しては、粗後段スタンドでのAWCだけでは不十分であり、大幅圧下圧延を行うサイジングミル自体またはVSB (Vertical Scale Breaker) 自体でAWCを行う必要がある。この場合、幅ひけ発生領域がきわめて狭く(約1m)、除去すべき幅変動が急峻であるため、高応答な油圧AWCが不可欠である。

大幅圧下圧延にともなうもうひとつの問題として、フィッシュテイルの発達によるクロップロス増加の問題がある。これに対しては、分塊圧延での噛みもどし圧延に相当するダブル片パス圧延や、水平ミルとエッジミルとのタンデム配列を利用した押込圧延による方法などが提案されているが、より効果的な方法として先後端あるいは全長幅プレス法が検討されている。設備の規模をできるだけ小さくするためにはプレス荷重を小さくする必要がある加工時間を短縮するためには効果的な部分プレスにとどめる必要がある。実験的に得られた先後端部分幅プレスの最適条件下では、75~85%のクロップロス低減効果が得られている。

#### 2) 粗圧延幅変形挙動と粗AWC

以下の3論文がこのジャンルに含まれる。

討21 ホットストリップミル粗圧延における幅変形挙動

神戸製鋼(株)加古川製鉄所 井端治広 他

討22 粗圧延機の幅制御

住友金属工業(株)中央技術研究所 河野輝雄 他

討23 ホットストリップミルの粗圧延における自動板幅制御

日本鋼管(株)福山製鉄所 山本正治 他  
粗AWCの制御対象としての幅変動は、先後端幅ひけ、スキッドマーク幅変動、幅テーパなどである。また狙い幅を適中させるためのエッジ開度の自動セットアップも広義のAWCに含まれる。