

の代用特性と考えていること、また、高温下における還元挙動について未反応核モデルの適用は確かに問題があるので簡単な検討に止めたいと回答した。

討 3 安藤は「高炉装入原料性状の研究方向」と題し原料研究面よりの考え方を述べた。

従来の原料研究について、原料は天然の産物でありその特性はきわめて複雑で、個々の銘柄によりそれぞれ特性を有していること、高炉の検出力が悪かつたこと、また、高炉は Black box であるため推論しか出せなかつたことなどの理由で、防衛的姿勢をとらざるを得なかつたと述べ、今後は高炉の炉内解体調査の進展、高炉での検出力の向上に期待し、研究の効率上から、問題をみきわめて研究を進めるのが良く、現在その時期にさしかかっているとした。その他試験高炉の解体調査、実高炉での諸計測の観点より、焼結鉱の還元粉化は通常操業では起こらず、高炉炉内の温度分布、滞留時間によつては生じることがあるとし、さらに炉内ガス分布の均一化による操業改善の例を挙げ、炉内通気性に関連し、還元粉化以外の要素も多く、装入物個々の特性の解明もさることながら、粒子群としての特性をとらえる必要があることに言及した。

これに対し、水野（住金・和歌山）は、焼結鉱の還元粉化は炉内荷下り速度に影響され順調な操業時には考慮する必要がないかも知れないが、実操業で無視できない経験があること、また、何によつて順調な高炉操業を保証するか、還元粉化の改善は一つの保証条件であるとした。

また、下村（新日鉄・広畑）は、原料研究は、経済面での原料購入時の選択と、原料処理技術の開発の両面より今後共装入物性状の改善、均質化に取り組む必要があると述べ、原料研究に対しより積極的姿勢の必要性を示した。その背景として、新日鉄、広畑高炉の炉内解体調査結果の一部を示し、現在行なわれている装入物性状試験に対する考え方の再検討、装入原料の組み合わせ、装入方法など今後の研究の必要性、あり方を述べ、試験高炉解体調査から得られる知見より、今後の研究方向についての見解を永めた。また、炉内ガス分布の均一化が操業面、設備面で必ずしも好ましいものであるといえるのか疑問があると質問した。ガス分布については、水野も、装入物炉内分布、操業方法の関連において、原料性状の研究が思考されるべきとの意見を述べた。また、下村は装入物としてのコークスの性状について、今後の研究方向に対する意見を求めた。

これに対し、安藤は、還元粉化は重要な項目であると考え、炉内温度分布により還元粉化の影響が異なることがあることを指摘したものである、また、高炉操業成績の向上で最も重要な課題は通気性の向上であり、これにはガス流の均一化が必要と考えている。通気性に関しては、装入物の高温における性状が大きく影響すると考えられるが、ガス流均一化により通気性が向上することは、装入物以外のなんらかの要因を無視できないことを示している。したがって、装入物の高温性状の重要性は、高炉操業全体の中での位置付けが重要となる。これらは試験高炉の解体調査による情報、実操業の解析による一つの見解であり、今後の研究方向もこれら知見から現在方向付けがなされつつあると考えていると回答し

た。また、コークス性状についての検討は是非必要であり、アルカリに関する問題、鉱石との関連におけるスラグ生成に関する問題などは興味ある課題と考えていると述べた。

以上、いずれの討論においても、装入物の高温時における性状、挙動についての研究の必要性が議論され、今後の一つの指標となるであろう。

これら討論をまとめると次のように考えられる。

装入原料に要求される特性の論議はほぼ出尽した感があるが、必ずしも全部意見の一致を見ているわけでないので、操業との関連をマクロ的に見定めて、管理範囲を限定していくことが必要である。そのためには、代用特性を含め、測定方法の開発が必要で、また、この方法による管理が重要である。一方、高炉炉内解体調査、または、理論的アプローチで、とくに原料の溶融特性のコントロール、高温性状、スラグ反応をも含めた検討を進め、これにより、たとえば共同研究といった型で管理範囲を収録させていくことが今後の方向と考えられる。

#### 連続鑄造の凝固について\*

座長 高橋 忠義\*\*

#### 討 4 連続鑄造の品質に及ぼす冷却条件

奥村ら（新日鉄）は鑄片縦割れの起因は鑄型での不均一、過大な熱応力によるものであることを鑄片表面での最大剪断応力の計算を試み、実操業結果と合わせて、割れ防止には均一冷却条件が得やすいテーパ鑄型を用いるのがよく、かつ緩冷却することが有効であるとし、またマクロ偏析の軽減にはスプレー冷却領域の緩冷部が望ましく、かつロール整列基準を厳しく管理する必要性をのべるとともに、組織の遷移に関して界面安定係数で整理している。これに対し野崎（神戸製鋼）は厚肉円筒のRの大小とスラブ幅の大小とを同一視した計算結果を縦割れ発生への適用に疑問があるとし、さらに中心濃厚偏析の生成機構に対する見解が出された。これに対し奥村らは扁平比の大きなスラブを対象とした場合は、広面の中央に発生することを考慮すると、鑄片は無限平行平板に置換でき、したがって写像によつて円筒で考えることが可能となるとしている。しかし鑄片の大きさを示す代表値と円筒の半径の対応については数学的には矛盾があることを認めている。宮下（日本鋼管）は縦割れ発生にはパウダーの管理が最重要であるとの見解をのべるとともに、縦割れ防止に関し、テーパ鑄型の有効性が均一冷却だとすることで原理的に説明し得るかという設問を出すとともに、中心偏析の改善にはスプレー冷却強度を強めることによつても行ないうることを経験していること、したがって低温、低速鑄造が好結果をもたらすことを考慮すると、緩冷部よりも強冷却が望ましいのではないかとの意見が出された。これに対し奥村らはテーパ鑄型の均一冷却性に関し、彎曲鑄型はストレート鑄型に比べて本質的にエアギャップができやすく、凝固殻の鑄型内壁への片当りの頻度が多く、このような管理不可能な現象をなくするためにテーパをつけ鑄片をいわば拘束することであると、また中心濃厚偏析とスプレー

\* 昭和48年4月本会講演大会討論会

\*\* 北海道大学工学部 工博

冷却強度に関しては、引抜速度を加味した適正冷却強度を維持すること、その冷却強度のもとでの鑄片の凝固収縮に対応した適正ロール配列を維持することを基本条件とし、界面安定係数 SR が小さくなるような鑄造条件を選択すれば端的にいつて高速鑄造でも中心偏析を防ぐことは可能であると回答した。

#### 討 5 Powder casting におけるオッシレーションマークの形成と問題点

荒木 (住友金属) らは Powder casting が表面性状に顕著な影響を与えているものにオッシレーションマークがあり、これは oil casting に比して幅広く、深さが深くなる。そのためまず小型実験設備により、使用する powder の物性とオッシレーションマークの形状との関係を明らかにし、その結果と溶鋼メニスカス部の凝固条件を考慮してオッシレーションマークの形成機構を提案した。さらに Hard spot についても説明をした。これは Cr システンレス鋼で問題となる Powder による浸炭現象によるもので、鑄込条件と関連が深いとのべた。これに対し江見 (川崎製鉄) は供給パウダーの m・p の測定法は、m・p と溶融速度の相関性は、相関性があるならオッシレーションマーク形状に差はないかとの質問をしたのに対し、荒木は溶融温度は測定法によつて大きな差異を生じるので重要な点である。高温顕微鏡により  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  の昇温速度で、試料は一辺 3 mm 立方のプレス整形品で溶融開始温度と完了温度を記録した。また一般に溶融温度の低いものは溶融速度が大であるが、しかし溶融速度はパウダー粒度、原料の種類などによつて影響されるところ大であるので一概にいえないとしている。さらに本実験でパウダーは一旦溶融させて凝固粉碎したものをを用いたこと、および粒度は整っているし、C も一定量配合してあることより、溶融速度単独の影響は不明であるとし、ただ溶融温度の高低ではオッシレーションマーク形状に影響がなく、溶融速度の影響も小さいと考えていると回答した。また森 (新日鉄) は SUS 24 の Hard spot に関し、配合炭素あるいは骨材の粒度の影響を質した。これに対し荒木は Hard spot を防止するには配合炭素の量を少なくすることであり、滲炭の程度におよぼす粒度の影響は非常に小さいと考えていると回答した。

#### 討 6 水モデル実験による連続鑄造鑄型内湯流れと鑄片内部性状に関する 2, 3 の知見

森 (神戸製鋼) らは鑄片内部、とくに皮下 0~30 mm の巨大介在物とモールド内の溶鋼のフローパターンとの関係を明らかにするために、あらかじめ 1/1.8 の水モデル実験を行ない、このモデル実験と相似の 1.8 倍のノズルを用いて同一チャージの 300φ ブルームを製造し、その鑄片内部の巨大介在物の分布と水モデルのフローパターンとの対応を調査検討し、鑄型内溶鋼のフローパターンと巨大介在物、偏析などの間には、(1) 鑄片内の巨大介在物の分布は溶鋼の鑄型内フローパターンおよびその強さに影響される。(2) 凝固前面の溶鋼流の方向が逆でも流速が遅ければ巨大介在物の分布に大きな差異はない。(3) 巨大介在物の分布とサンド分析値の分析傾向は似ている。(4) 巨大介在物の分布と C, P, Si などの偏析傾向とは直接結びつかないなどのことを報告した。これに対し川上 (日本鋼管) はモデル実験 I と II のフローパ

ーンの特徴について質した。森らは実験 I では ABC いくづれのノズルの場合にもブルームのコーナー部では速い流れが認められ、ただし C ノズルのみは底部より吐き出す流れが、コーナー部を下降し中心部に反転し、上昇する流れを抑制する特徴があること、実験 II は実験 I に比べ EF ノズルより吐出される溶鋼流速は 1/4 程度に遅くなるが、凝固層の厚さが約 30 mm 程度になるまでは凝固界前面の溶鋼の流れる方向が上向きと下向きと全く逆となると回答した。また広本 (新日鉄) は巨大介在物の分布とサンド分布傾向は似ていると結論しているが、当方の調査結果と、また集積機構の上からも異なると考えられ、かつ連鑄機械によつて大きく変化しないかと質したのに対し、森らは、使用した温硝酸法は酸などに浸されにくい酸化物系介在物、とくにアルミナなどの介在物の抽出に適しているものであつて、目視による巨大介在物の大部分が酸化物系介在物であつたため分析値とよい一致を示すものと考えられると回答した。

#### 討 7 連続鑄造クレーター内の溶鋼の流動、混合状態の解析

藤井 (川崎製鉄) らは実験装置にてトレーサー実験を行ない、溶鋼の混合状況の定量的表示を試みた。実験は成分濃度の異なる異鋼種間の連続一連続鑄造を行ない、継目近傍のスラブの鑄造方向と厚さ方向の濃度変化を測定した。これらの濃度変化は、未凝固溶鋼の混合状況の特性によつて決まるもので、濃度変化状況を解析し、混合の強さを混合拡散係数で評価した。その結果、クレーター上部の混合の強い領域を除けば、混合拡散係数はクレーター上部から下端までほぼ直線的に減少することが知られ、また得られた混合拡散係数を使用して、溶鋼の混合効果を考慮した伝熱計算を行ない、凝固速度と凝固遷移層の厚さの推移について検討を行なつた。これに対し鞭 (名大工) はクレーター内の溶鋼の濃度分布に関する (1) 式は混合拡散の程度より Z 方向 (鑄造方向) のみを考慮し、伝熱に関する (6) 式では温度分布を Z 方向と X 方向 (スラブ厚さ方向) に考慮するのは矛盾しないかと質したのに対し、藤井らは濃度分布と温度分布の計算に関して両者の間には矛盾があり、これらの矛盾の解決のためには、液相内では鑄造方向と直角な方向への伝導伝熱は考慮せずに固液界面での熱伝達を考慮することが必要となる。しかし、このような計算方法を採用すると固液界面での伝熱係数の値の決定および熱伝達が行なわれる固液界面の位置の問題が生じる。そのため本報告の伝熱計算では、クレーター上部の溶鋼加熱度がクレーターのどの位置まで持ち込まれるかということの検討を目的として上述の計算方法を採用したという理由をのべた。また杉谷 (住友金属) は注入温度の高低 ( $1530^{\circ}\text{C}$  と  $1518^{\circ}\text{C}$ ) によつて図 7 のように固液共存域の幅が大きく変化するとは考えられないと質したのに対し、藤井らは固相線凝固面についてはマクロ的には問題はないが、液相線凝固面はそのとらえ方によつて変化する。すなわち、固体と液体が共存する領域において、その中の固体が固体本体につながつて安定に存在しうる最小の固相状態の位置とするか、その前面で温度的に安定して存在できる自由品域まで含むかによる。伝熱計算によれば後者の場合になるため幅が大きくなるとの意味の回答があつた。

## 討 8 連続鋳造スラブの凝固組織と偏析について

川和(日本鋼管)は、当初鋳造温度を低くするとスラブ断面内の等軸晶範囲が拡大し、中央偏析は軽減、あるいは消失することが見いだされたとしてきたが、さらに調査してみるとスラブ断面中央が等軸晶でも、また粒状でも中央偏析が発生する場合と、中央偏析が存在しない場合もあつた。この偏析線はデンドライト樹間において濃縮された溶鋼が、凝固収縮、あるいは溶鋼静圧による鑄片のバルジングによつて生じた空隙へ吸引されて生じたものであることが明らかになり、中央偏析には冶金的な原因と機械的な原因とがあるとのべた。これに対し垣生(川崎製鉄)は低温注入に偏析が少ない理由の一つとして凝固シェル厚みが大きく、バルジングが生じにくいことも考えられるがと質したのに対し、川和はほかの鋳造条件が同じ場合に高温鋳造に比較して、低温鋳造の凝固シェルが厚くなることは理論的に証明できない。一例としてタンデッシュ内の温度が 30°C の温度差によつてどの程度凝固界面における放熱量が異なるかを計算してみると、3.8% しか放熱量が増加していない。このことから鑄込温度によつては凝固速度はほとんど変化しないことと、また実際高速鋳打込法によつても明らかになったとしている。また丸川(住友金属)は中央偏析の生成機構として、クレーター内の凝固前面での溶鋼の移動により、凝固前面の濃化溶鋼が洗われて負偏析が生じ、そこで洗いだされた濃化溶鋼が中心で濃厚偏析となると考えるがどうかと質したのに対し、川和は鋳造末期の鑄片、全長に対して約 25% の部分には中央偏析は認められない。この事実を確認すれば上方から下方への残溶鋼の移動は説明がつくとした。中央偏析帯近傍で負偏析が発生しているのは事実であるが、鑄片断面内で水平な中央線方向への移動については、その Driving force が考えにくく、中央偏析が発生する場合には鋳造方向の断面に V 状組織が認められることから、残溶鋼の移動も V 状組織に沿っていると考えられる。よつて V 状組織の方向をベクトルの的に分ければ横方向の移動が存在するといつてもよい。しかし上記の通り鋳造方向と直角なスラブ断面内における水平方向の溶鋼移動はほとんど存在しない。さらに附言するならば鋳造末期鑄片では、等軸晶が中央線をはさんで存在している部分には負偏析が認められても、中心線に偏析が存在していない場合が多い。よつてマクロ的に見た場合には、鋳造方向へ残溶鋼は移動すると考えると回答した。

## 総 括

討論会における主たる問題点を要約するとつぎのようになる。

1. 連続鋳造凝固過程における溶鋼の流動強度およびその流動パターンは鋼塊の組織、介在物および偏析現象に影響をおよぼすことを考えれば、注入条件による定性的および定量的な検討を一層進めなければならない。とくに今後は自然対流も加味されたノズル注入流の影響を検討することが望まれる。

2. 表面欠陥などに重要な影響をもつパウダーの物性については、鋼種および鋳造条件により適合したものが選択できるように、その検討を一層進める必要がある。

3. バルジング量の操業過程での把握が充分なされて

いないのはなぜか、たとえ困難でも常時把握できる方途を見出すことは重要なことである。それはロール管理を含め鋳造管理の上で大切であり、所要の位置でのバルジング量が認知できればクレーター先端位置での把握にもつながるし、中心偏析の生成現象の理解および防止対策上有効なデータをあたえることになると考えられる。

4. 柱状晶から等軸晶への遷移機構を検討する場合に平面凝固を仮定した界面前方の組成過冷概念では実際鋼塊凝固現象に適用しがたいと考えられる。何故ならば凝固は、その初期よりデンドリチックな形態をもつた結晶が不連続的に生成し、その集合体として進行するからである。したがつてデンドライト個々の成長性と新たな生成要因とを同時的に考慮し、検討すべきである。

非調質高張力鋼の制御圧延冷却により得られる性質\*  
座長 荒木 透\*\*

本討論会の主題は、現在非調質系高張力鋼の新しい発展をもたらしつつある controlled rolling (制御圧延ならびに冷却) に関連する技術研究上の諸問題である。焦点を制御圧延冷却の技術的な諸条件と鋼の組成、微視組織ひいては強度、靱性など機械的性質との関係に絞つて 4 つの講演発表が行なわれ専門的な討論が活発に行なわれた。以下講演の順を追つてその状況を簡単に記載することとする。

討 12 「再結晶によるオーステナイトの細粒化とコントロールローリング」は新日鉄、関根寛氏によつて述べられた。氏は controlled rolling 技術の要諦を、再結晶オーステナイト粒の微細調整にありと理解し、 $C=0.1\%$ 、 $Mn=1.4\%$ 、 $Si=0.25\%$  のベース鋼および  $0.05\%$  Nb 添加鋼について、連続圧下時のオーステナイト ( $\gamma$ ) の主として動的な再結晶挙動の追究実験を行なつた。再結晶は圧下温度、圧下率に大きく依存し、Nb はこれを抑制するが、いずれの鋼にも、圧延の終期の圧下に再結晶微細化の収れんがみられた。ここで高温定常変形の考え方を導入し、Zener Hollomon の変数  $Z = \dot{\epsilon} \exp(Q/RT)$  をパラメータとして用いることによつて  $\gamma$  再結晶粒との関係を整理し諸現象をかなりよく説明した。また「動的再結晶」の可能下限圧下率は  $\dot{\epsilon}$ 、 $T$  のみならず圧下前粒度にも依存することなどを述べた。

討論としては、まず住友金属福田実氏が、Nb に比し V が講演者の結果の示すような低温でも未再結晶粒を残す可能性が少なく使いやすい可能性を述べた。また本講演の圧下時の変形速度を下げた実験結果については、変形応力についても考慮すべき点を指摘し、またパス間の静的回復、再結晶を抑制する対策などに触れ、実用上板厚の増加による制御の困難点などについての討論があつた。

つぎに、日本鋼管小指軍夫氏が立ち、予備的再結晶の重要性を述べ、静的再結晶の役割、圧延機の圧下能力や変形速度と実験との相違点などについて討論がなされた。さらに神戸製鋼の福田正彦氏がソ連の最近の研究についての紹介をするともに Mb の適量は C、N の量

\* 昭和48年4月本会講演大会討論会

\*\* 東京大学工学部 工博