

の低燐対策につき生産コストと生産性の指数比較を行なつて意見を交換した。江島彬夫（川崎製鉄・技研）は溶銑の炉外脱燐処理を併用する低燐鋼製造プロセスと2回吹錬法の比較について意見を述べ、転炉出鋼時の二次脱燐処理については温度降下の補償とその全工程への影響を討論した。

討6は中村泰（新日鉄・基礎研）他による「ESR工程におけるCa-CaF<sub>2</sub>融体による脱燐」であり、金属CaがPと親和力の大きいことを利用し金属Caを含む安定なクラックス中でSUS 304, S50C, 25Crなどを精錬（ESR法）して極低燐化を達成している。

これに対し、後藤和弘（東工大工学部）は本原理を炉外脱燐へ適用する実用性、Pの見掛けの分配比とフラックス中Ca濃度の関係について討論した。この後者については鈴木健一郎（川崎製鉄・技研）も意見を述べ、さらに実用段階（ESR法によらない）における問題点を指摘した。

以上、本討論会は4時間の限られた時間内で6件の論文について討論するというやや無理なスケジュールで、自由討議に当てる時間が事実上なかつたことは大変残念である。しかし、この種のテーマがまとまつて討議されたのははじめてであり共通した話題を中心に考える基盤は固まつてきていると考える。今後の問題点は、各論文に対する質疑、コメントをめぐる討論内容にほぼつくされておられ、このような機会が繰返されることによつて技術レベルも向上し、鋼材の要求に対応するプロセスも確立されてゆくものと思われる。

## II. 大型鋼塊の凝固と品質

(株)神戸製鋼所鑄鍛鋼事業部

座長 鈴木 章

各種機械の大型化は、その部品としての鍛鋼品の大型化をもたらし、500 t 鋼塊も製造されている。これらの鍛鋼品への品質要求は、その使用条件の厳しさから、大型になつてもゆるめられることはなく、かえつてきびしくすらなつていく。したがつて、大型鍛鋼品の品質に決定的な影響をもつ大型鋼塊の品質が問題であり、従来もいろいろな調査、研究が行なわれてきた。これまで経験の豊富な大型鍛鋼品メーカーの方々に、最近の研究結果を報告し、相互に討論していただくことができたので、その概要を報告する。

### 1) 鍛造用大型鋼塊の凝固と内部性状

川崎製鉄 松野・大井

30~100 t 鋼塊の凝固の進行を、バーテストによる実測と伝熱計算による解析とを対比し、水平方向の凝固速度は両者比較的よく一致するが、垂直方向の凝固速度は沈澱品の堆積により、実測値が大きくなる。

また、鋼塊の上下方向のマクロ偏析を沈澱品の沈降による物質移動のモデルにより解析し、実際の鋼塊の偏析結果と一致することを示した。

沈澱品の生成場所および時期についての質問に対し、水平方向の凝固が計算値よりおくれる時期があり、この分が沈澱品の堆積に対応すると考え、したがつて沈

澱品の生成場所は、主として側面柱状晶帯ということになるとの返答があつた。

また、100 t 鋼塊について逆V偏析線の状態を調査し、最大2 mに及ぶものがあり、ほとんどが鉛直面内に存在することから、偏析線はデンドライトが成長すると同時に（リムド鋼の気泡のように）成長するのではないかと提案された。

### 2) 大型鋼塊の凝固と健全性について

日本鑄鍛鋼 田代・渡辺・田村

有限要素法を用いて大型鋼塊の凝固パターンを計算し65 t 鋼塊の押湯枠および鑄型中の測温結果とほぼ一致することを示したので、その計算条件により大型鋼塊の凝固パターンを求め、押湯径絞り比（押湯下部径/鋼塊上部径）と鋼塊高径比の縦凝固速度に及ぼす影響を調べた。押湯径絞り比がほぼ同じ場合、高径比が小さい方が最大凝固速度が小さく、また高径比が同じ場合には押湯径絞り比が大きい方が最大凝固速度が小さくなる。そしてポロシティは凝固速度が加速するところで多くなつており、逆V偏析は水平方向の凝固速度が0.8 mm/minのところよりも内部に生成することを示した。

討論で、明確な結論はえられなかつたが、伝熱計算に有限要素法と差分法のどちらが有利かとの問題が提起された。

押湯高さを±20%変えても本体の凝固パターンには変化がなかつたし、押湯枠の断熱板の厚さを2倍にしても差がないという結果がえられたが、押湯の寸法などは偏析を考慮して決める必要があるというのは妥当な結論であろう。

### 3) 50 t 鋼塊に出現した巨大介在物の生因について

日立製作所 門瀬・吉岡・新山

50 t 鋼塊から製造した3% Ni-Mo-V 鋼の発電機軸材で発見された巨大な非金属介在物の成因を、介在物の組成、凝固進行状況と介在物の存在位置ならびに鋼塊製造時の電弧加熱中断というアクシデントと結びつけて、検討解明した。介在物の大きさは、軸材横断面で50 mmもあり、その組成にはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が多量に含まれていた。Alで脱酸していないので、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の源泉としては使用したAl系発熱保温剤およびスカムが考えられた。押湯保温剤の燃焼を主体として形成されたスカムが、鋼塊内部に沈降する機構として、電弧加熱の中断により生成した押湯上表面の凝固層が、電弧加熱の再開により部分的に再溶解し、沈降するというもので、これを伝熱計算から求めた凝固進行状況と介在物の存在位置とが一致するという事で裏付けている。

### 4) 鍛造用大型鋼塊の凝固組織と内部品質

神戸製鋼 岩田・戸田・新実・三浦・永田

3.5Ni-1.75Cr-Mo-V 真空C脱酸鋼の55 t 鋼塊の凝固組織、偏析、介在物の分布などを調査した。柱状晶帯、分枝柱状晶帯の占める割合が非常に大きく、沈澱晶帯は非常に狭く、逆V偏析は押湯下端に僅かだけしか認められなかつた。

デンドライトの2次アームの間隔、Lと冷却速度、Rの間には $L=AR^B$ の関係があり、常数Bは-0.33~-0.4の間にあるが、Aは合金によつて変化する常数である。一方向凝固により求めたこの鋼のAは368で、25

Cr-20Ni ステンレス鋼の 210, Cr-Mo 鋼の 610, および炭素鋼の 710 に比べるとステンレス鋼の値に近く, この鋼の凝固特性がステンレス鋼に近いことを暗示しているのではないかと提案している. そうすれば, 沈でん晶の生成が少なく, 逆V偏析の少ないことも, ステンレスに類似しているということで, 経験的なものと合致する.

常数  $A$  についていろいろ討論されたが,  $A$  の値が小さいとき等軸晶帯が狭くなるという機構をうまく説明することはむずかしいが  $A$  が小さいことは固液共存域で, アームの間隔が小さいために, 融液の流動が小さく, そのために逆V偏析が軽微になるという説明がなされた. また,  $A$  の意味については, 2元系では KATLAMIS の粗大化理論によれば  $L=a[\rho DT\Delta T/HmC(1-k)R]^{1/3}$  で示されるので, 右辺の  $R$  以外は  $A$  に含まれるものと考えられることなど, 阪大岡本よりコメントがあつた. ( $a$ : 常数,  $\rho$ : 固液界面エネルギー,  $D$ : 液相中の拡散係数,  $T$ : 温度,  $\Delta T$ : 固液共存温度範囲,  $H$ : 溶融潜熱,  $m$ : 液相線の勾配,  $k$ : 平衡分配係数)

#### 5) 低 Si 真空 C 脱酸鋼塊の内部性状について

日本製鋼 中川・前田・鈴木・谷口

高級大型鍛造用鋼塊の製造の際, 低 Si 真空 C 脱酸法 (VCD) を適用し, その品質改善に効果をあげており, その実績について報告された.

低下下における CO 反応により, 溶鋼中の全酸素は 30~40 ppm に低下することおよび脱水率率も向上することが示された. 酸化物系介在物の低減効果として, VCD 処理した 180 t 鋼塊より製造したローターシャフトと, 同材質で Si 脱酸した 140 t 鋼塊から製造したものの胴部断面における酸化物系介在物による清浄度は VCD 材がはつきりとよい成績を示した.

逆V偏析に対しても, VCD による改善効果が認められ, 上述の2つのローターシャフトの胴部断面で, 逆V偏析の密度を測定し, VCD 材では半径の 1/2 より軸心側にわずかしかならないのに, Si 脱酸材では発生範囲も広く, 多くの逆偏析が存在することを示した.

これに対して, 逆V偏析は Si 量によつてきまるのではないか, Si 量を少なくしておき Al で脱酸したら逆V偏析はどうなるかとの質問があり, 逆V偏析が発生しやすいのは Si 添加により酸素の活量が異なるためと考えるので, Al を添加すれば逆V偏析が著しくなるとの返答があつた. また VCD 材と Si 脱酸材とのデンドライト組織の差について観察結果が報告され, 逆V偏析の生成との関係が論議されたが, 実験データも少なく結論はえられなかつた.

以上講演と討論の概要をのべたが, 偏析と欠陥に対して, いろいろな面から検討されているといえるだろう. すなわち, 沈澱品の沈降堆積により偏析を定量的に表現する試み, 鋼種による沈澱品の生成しやすさや逆V偏析の程度がデンドライトの2次アームの間隔の冷却速度依存性の式の中の常数  $A$  の大きさと関係がありそうだという提案, 真空 C 脱酸は含有ガスはもちろん, 酸化物系介在物を減少させ, 逆V偏析も軽減するという報告, 押湯径絞り比が鋼塊の品質に影響がありそうだという計算結果などがとくに注目された. これらはまだ理論的に説明できない問題も多く含んでおり, その説明は今後の研究

にまたなければならぬ. また, ポロシティの生成は凝固速度が加速される部分に多く発生するという意見が一致しており, 巨大介在物の生成に対しては押湯表面の重要さが確認されたことも有益であつた.

最後に, 非常に貴重な, しかも最新の研究結果を発表され, 相互に討論していただいた講演者各位, 有益な助言を与えられ, 討論に加わつていただいた各位に厚く御礼申しあげたい.

### III. 圧延材の冷却

大阪大学工学部 工博

座長 加藤 健三

厚板圧延, ホットストリップミルにおける圧延工程中の冷却, コールドストリップミル後のコイル焼鈍, また線材圧延後の冷却など圧延材の冷却に関する重要課題に関しての討論が行なわれ, また, ミストジェットによる新方式の研究結果, 流動層による線材の冷却法など新しい課題も加えられ, 活潑な討論会をもつことができた.

以下, 内容を要約した結果を報告します.

第1の討論論文は「厚板圧延における鋼板の温度降下」について川崎製鉄の植田憲治氏より発表があり, 近年, 厚板ミルにおける自動圧下はプロセスコンピュータおよび圧延理論の発達により形状, 精度, 能率ともに大きな進歩を示したが, 基本的なモデル式のひとつに鋼板の温度降下予測式があり, 表面温度の実測結果から各要因の項の係数を回帰的に求めて簡易式を求めるのが一般的であるが, 板厚の厚い範囲では鋼板内部と表面との温度差は無視できぬほど大であり, 単に表面温度の実測値のみから係数を適正に定めることは難しい. 本発表では表面および内部温度の挙動を差分計算で近似し, さらに準安定状態を想定した時の表面温度  $T_{so}$  を導入して平均温度の変化を推定する方法を提案し, 最終仕上り温度を求めた結果, 実測値  $\pm 25^\circ\text{C}$  以内に入ることを確めている. この発表に対して京都大学小門純一氏より, まず, 平均変形抵抗の値の求め方について質問があり, Sim 式より求めたこと, 差分計算の場合の分割法についても討論が行なわれた. ついで日本鋼管の上野康氏より, 本方法は最も望ましい形で処理された実用的数式モデルであるとし, 空冷における出発状態が準安定である時の温度降下計算は時間メッシュがかなり粗くてもよいと思われるが, どの程度まで精度上の問題はないのか, また, ミルデスクーリングの表面温度初期値および熱伝達係数について討論が行なわれた.

第2は「ミストジェットによる圧延材の冷却」について日本鋼管の岡岡計夫氏から発表があり, 圧縮ガスと水との混合によるミストジェット冷却部に着目し, 基礎試験および実規模試験を行ない, 調質型高張力鋼の焼入れおよび低成分系鋼の加熱冷却手段として使用し得るかを検討した結果, 鋼材を焼入れするに十分な能力をもつこと, および, 冷却能力を均一, 容易に制御し得ることを知り, さらに冷却シミュレーションが可能な計算手法を開発した.

この発表に対して, はじめ, 東京大学の西尾茂文氏より低集滴率領域と高集滴率領域を分離して考える必要が