

添加の場合は、異方性組織の発達とともに軟化溶解過程における融体量が多くなるので、細孔が減少してスポンジ型の壁の厚い丸形の大きい気孔構造をとる結果、 CO_2 反応に対して強い構造となることをモデル化して示した。

これに対し神下（川崎製鉄）は、細孔が多いほど反応部位の均一分散が起こりむしろ反応後強度低下が少なくなる可能性を指摘したが、西は CO_2 反応量は大きい気孔 ($>60\mu$) の量とよい相関を示し、細孔 ($<60\mu$) の量とは相関がないという実験結果が根拠になつていてと答えた。西も言及しているように、今後は異方性組織と気孔、それぞれの寄与率の解明が残された課題である。

奥山（日本鋼管、技術）〔討 5〕は、高温におけるコークスの熱的均一劣化 ($\sim 1700\sim 2000^\circ\text{C}$ まで) の主要因を、コークスのマイクロ硬度、引張強度などを測定することによつて検討した結果、マイクロ硬度の低下以外に微少き裂の発達による基質強度の低下と脱ガスに伴うマクロき裂の発生にあることを示した。また、同じく西岡（住友金属、中央技術）〔討 6〕は、高温回転強度試験機 ($\sim 1500^\circ\text{C}$, N_2 雰囲気) を用いた実験から、高温における熱的劣化の機構は、黒鉛化促進に伴いコークス組織成分間に不均一な収縮を生じてき裂が発生することにあるとした。実験方法は多少異なるが、熱的劣化に対し両者はほぼ同じ劣化機構を推定しており、これをもとにそれぞれ原料石炭の選択および評価に対する考え方を示した。

これらに対し、北村（神戸製鋼）、近藤（川崎製鉄）、小林（東北大）から、幅広い討論が行われたが、とくにき裂発生については間接推定ではなくき裂の直接測定がこの分野の進歩のためには必要不可欠であること、また熱的劣化機構としてき裂発生以外にも灰分の還元による気孔率増加の可能性が指摘された。

宮川（川崎製鉄、技研）〔討 7〕は、 CO_2 ガス化反応に伴うコークス基質強度の変化を、粒度 $1\sim 2\text{mm}$ のコークス 10g を用いて反応させた試料のマイクロ強度を測定し、これらとコークス組織成分および石炭性状との関係を検討した。その結果、 CO_2 によるコークスの反応劣化を原料石炭の側から評価する場合、乾留条件が一定であれば少なくとも粘結炭の範囲では石炭化度でほぼ整理できることを示した。

これに対し西岡（住友金属）、小林（東北大）は、単味コークス基質強度の意味を配合炭にまで拡張できるか、また塊コークス強度との関係についてなど、宮川の求めた基質強度の解釈に関して討論が行われた。

以上 7 件の各講演および討論を終わり、残り時間が少なかつたが、最後に全体を通じて館（東大）はつぎのようなコメントを行つた。すなわち、高炉内におけるコークスの（劣化）挙動に不明な点が多く残されているの

で、反応後強度の実用性の根拠づけは困難であるが、当面、コークス品質については、熱的劣化とともに反応劣化を問題とせざるをえない。今後の取り組み方としては、反応あるいは劣化の量よりもそれらのメカニズムに各コークスの個性を見出し、また一方、反応性、反応後強度にはコークスの熱間性状の代表指標としての意味を持たせるという 2 通りのアプローチが考えられ、このような観点からコークスの texture と structure の関連、さらに石炭性状、乾留プロセスと気孔構造の関係などの研究が進められるべきことを提案した。また鈴木（日本鋼管、製鉄部会長）は、コークスの学問も今やつと始まつた段階にあり、fracture mechanics の導入などによる劣化機構の解明とともに、全体の思考体系の確立をはかるよう要望した。

終わりに、座長として美浦が、今回の討論テーマに係る分野の今後の課題として、つぎのような点をあげて説明しめくりを行つた。まず第 1 に、最終目標としてのコークス品質、性状の確定に関しては、コークス組織、気孔構造の分類および測定法；コークス基質と塊の性質の分離および測定法；熱的劣化、反応劣化の機構および高炉内反応条件との対応；各種劣化に対するコークスの組織および気孔の寄与率の解明など。以上を踏まえて、第 2 の課題として実用上のコークス品質の推定および原料石炭銘柄の評価法の確立。とくにこの場合、配合炭および配合炭コークスの性状を単味炭性状から推定する際、加成性の定量的把握が、手段として重要である。第 3 は、今後の新プロセス、新技術開発への応用として、コークス組織、気孔の生成機構に関する解明結果の事前処理および乾留条件へのフィードバックである。この場合、従来の static な観方から dynamic な観方への転換が必須条件である。最後に、第 4 として共通事項であるが、用語、測定法の統一をあげた。“名は体を表す”という言葉どおり、“用語”に包含して表現される認識内容が正しくかつ客観性をもつことが、科学技術の進歩には必要であり、したがって、それに関連する測定法も適正であることが要求され、また研究者間で統一されていることが望ましい。

II. ブルームおよびビレット連鑄の現状と問題点

川崎製鉄(株) 工博

座長 飯田 義治

最近の我国における連鑄鋼比率の増大は著しく、既に 50% 以上に達している。これは、オイルショック以降、以前にも増して省資源、省エネルギーの観点から連続鑄造鋼の比率増大が、製鉄所の合理化の 1 つの柱として推進された結果である。ブルームおよびビレット連鑄においては、普通鋼からステンレス鋼、機械構造用炭素鋼および継目無鋼管に代表される高級鋼までの広範囲に亘る鋼

種が鑄造され、また操業技術面でも高速鑄造や多連鑄造による高能率鑄造が達成され、さらに無欠陥鑄片の製造により、ホットチャージ技術が確立されるに至っている。本討論会においては 5 編の研究成果と、2 件の招待コメントが発表され、高級鋼を製造するための品質改善を中心に、操業技術を含めて活発な討論が行われた。各研究発表の詳細については、「鉄と鋼」Vol. 66, 2 号を参照されたい。

討 8 オーステナイト系ステンレス鋼の小断面連鑄について。大平洋金属(株) 八戸工場

小断面ビレット (115~175 mm 角) サイズで標記の鋼種をモールドパウダーおよび浸漬ノズルを使用して鑄造する際に、高粘度パウダー (0.87 poise at 1300°C) の採用がオンレーションマークおよび研削ロスの低減に効果があること、さらに電磁攪拌の攪拌強度を増大するとともに、ビレット中心部の凝固組織は微細化することを確認し、強攪拌により従来の 165 および 175 mm 角に替えて 115 ないし 130 mm 角で鑄造し、1 ヒートで 5.5~13.5 mm ϕ の線材が圧延できるようになったと報告した。攪拌力の増大と結晶粒微細化の関係が直線的か、高電圧低電流型の電磁攪拌を採用した理由が質問されたが、前者については直線性を主張したものでなく、攪拌力の増大により漸次減少すること、後者については取替作業を容易にするためにケーブルの小径化を図ったものであるとされた。割れやすいステンレス鋼を小断面で浸漬ノズルを使用して、良好な鑄片を製造している点が評価される。

討 9 条用特殊鋼の連鑄技術と品質

(株)神戸製鋼所 神戸製鉄所 中央研究所

清浄鋼を得るには、転炉におけるスラグカット、造滓材による取鍋スラグの調整、取鍋レンガのスピネル化、取鍋処理技術としての脱ガスや Ca 処理の活用、鍋~タンディッシュ間のシール鑄造、タンディッシュ鋼浴深さおよび溶鋼過熱度の確保、タンディッシュ内 MgO コーティングなどが重要である。中心偏析について、モールド内を含む多段の電磁攪拌テストを行い、各位置において各々設置意義の異なることを強調し、さらにホワイトバンドを軽減する攪拌方法を見出した。電磁攪拌に関し、多段の意義、改善攪拌方法について質疑があつたが、明確な解答は得られなかつた。モールド内攪拌について、モールドパウダーの巻き込みを懸念する質問に対し、水平方向攪拌で回転流速が速いとパウダーの巻き込みがみられるが、それ以下の流速で十分目的は達成できると返答された。

討 10 機械構造用棒鋼の連鑄化について

新日本製鉄(株) 室蘭製鉄所

中心偏析の解消のために多段に電磁攪拌を設置し、1 段攪拌に比較して安定して等軸晶が得られた。介在物の低減のために、RH 槽内にフラックスを投入して激しく

環流させ、介在物を吸着分離する方法を確立した。主な介在物の起源はトレーサー実験により浸漬ノズル部の反応生成物とタンディッシュスラグの混入であることを確認し、また Sol Al, N の挙動からの各部の空気酸化を定量化した。ピンホールと湯じわの発生と湯面変動の関係を調査し、湯面上昇時にこれらの欠陥が発生しやすいことを見出した。以上の各項目に対して対策を行うことにより造塊材に比較してより均質な製品が得られた。主な討論として、電磁攪拌の適正攪拌力が炭素含有量に依存するか、攪拌力の増大に伴って等軸晶率の増大が飽和する現象の解釈に関するものがあつた。前者については極低炭素鋼および高炭鋼については適正攪拌域がきびしくなること、後者については、結晶核の供給と残存の問題であり、2 段攪拌の際の上段では攪拌力の増大により、過熱度の高い溶鋼を吸い込むために結晶核の再溶解が考えられるとされた。トレーサー実験でタンディッシュからの持ち込みが多いのは、BaO を多量に含むためスラグの特性が変化したためではないかとの指摘に対し、通常工程ではタンディッシュパウダーを使用していないこと、BaO を多量に含むための粘度低下があり、巻き込みやすくなっているが、SrO, ZrO₂ による収支計算も併せて行っていることが答えられた。

討 11 大断面ブルームおよびビームブランク連鑄における操業条件と鑄片品質について

川崎製鉄(株) 水島製鉄所 技術研究所

大断面ブルームから継目無鋼管、大径の機械構造用炭素鋼および合金鋼を製造する際の表面および内部欠陥の防止策を概説した。さらに断面サイズの鑄片内部品質(介在物および中心偏析)に及ぼす影響について溶鋼流動を中心に調査した。大断面になるほど介在物の集積量が少なく、また等軸晶率が増し中心偏析も低減することを明らかにした。前者は水モデル実験および鑄片の介在物実測により介在物の捕捉モデルをたて、吐出溶鋼流の減速効果が大きいこと、後者はモールド内における溶鋼過熱度低下の影響が大きいことを示した。また、中心偏析の解消に関し、電磁攪拌による攪拌力と等軸晶率の関係を示し、攪拌力を増大しても等軸晶率が飽和する現象は溶鋼流速の増大によりデンドライト状のシエル成長が止まり、分断デンドライトの供給が不足するためと解釈した。さらにビームブランクについて、モールド内凝固を中心にホットチャージを可能とする表面改善策を示した。表皮下割れについて Nb-V 鋼との比較が質問され、Nb-V 鋼の割れは凝固変態後の割れであるのに対し、本論文中のものは規格は S45C で MnS の濃化を伴っており、凝固界面近傍で割れたもので対策はモールド内および 2 次冷却帯での拔熱強化であるとされた。また断面サイズと等軸晶率の関係について、さらに断面が大きくなつた際の予測が問われたが、凝固前面の温度勾配が支配的であれば等軸晶は増大するであろうとされ

た。

討 12 継目無鋼管用大断面ブルームの操業と品質について

住友金属(株) 和歌山製鉄所

新ブルーム連铸機の高エネルギー操業と高ホットチャージ率を述べ、次いでスラブ連铸、スラブ連铸のツイン铸造と大断面ブルーム連铸を比較した。0.21/kg steel の低比水量 2 次冷却によるよこび割れの解消、湯面レベルの安定およびモールド湯面の保温好転によるピンホールの減少、鋼浴深さの深いタンディッシュや大曲率、大断面サイズの採用による介在物の減少、断面厚の増大による等軸晶の増大および中心偏析の軽減などが認められた。高速化に対する内部割れへの配慮が今後の課題であるとした。連铸材と造塊材の造管成績を比較し、連铸材の方が大幅に内面疵の発生が少ない結果を示した。内部割れについて 0.21/kg steel の低比水量で復熱により割れるか、およびロールのセット精度について質問があり、内部割れはピンチロールによる圧下割れと推定され、ロール精度は $\pm 0.5 \text{ mm}$ 以内に整備されていると答えられた。

コメント 1 日本鋼管(株) 京浜製鉄所

400×250 mm の断面を有する垂直機における継目無鋼管の製造状況が報告され、表面が良好ですべて温片装入されていること、介在物は $50 \mu\text{m}$ 以上で 100 mm^2 に数個と少なく、また等軸晶率が他社に比較して大きいことを指摘し、これらは垂直凝固の利点であるとした。また溶鋼過熱度、S 含有量と製品内面疵の関係を示し、それらの調整により、電磁攪拌なしで最大 $31.0 \text{ mm} \phi$ までの継目無鋼管用素材を安定して供給していることを述べた。

コメント 2 新日本製鉄(株) 八幡製鉄所

PPM 方式による継目無鋼管の製造工程を紹介し、最大 315 mm 角の铸片から約 $400 \text{ mm} \phi$ までの継目無鋼管を 1 ヒートで製造しており大断面サイズの 2 ヒートによる製造に対し、省エネルギー、省プロセスの点で有利であることを強調した。さらに製品の UT および内表面疵に関し造塊材と比較し、連铸材の方が良好であることを示した。

総括

まず長年の懸案となっていた継目無鋼管や機械構造用鋼の連铸化が達成されたが、その主な技術的背景として

1) 表面性状の改善 Ni-コーティングなどによるモード Cu の浸入防止、モールドパウダーの進歩、铸型振動条件の検討、2 次冷却パターンの適正化、自動注入によるモールド内液面の安定化などが表面性状の改善に大きく寄与した。

2) 非金属介在物の低減 周辺技術(転炉でのスラグカットや取鍋耐火物の選定を含めた取鍋内溶鋼処理技術)の向上が重要であり、連铸においては、取鍋〜モールド間の空気酸化の防止、鋼浴の深い大型タンディ

ッシュの採用、大曲率で大断面サイズの採用などが最近の重点的な指向となつている。

3) 中心偏析および凝固組織 大断面サイズの有位性が指摘されるとともに、今回発表の 5 編中 4 編が電磁攪拌について言及し、その効果を述べた。電磁攪拌技術は今後さらに発展普及するものと予想される。

以上が共通する技術的な傾向として指摘される。これらの技術成果をふまえた製品の品質特性は、いずれの報告も造塊材と同等あるいはより良好な成績を示しており、均質な連铸材の特性が活かされているといえる。

今後の課題

ブルームについて铸片品質の要請から大断面サイズが主流となつているが、これは新日鉄から指摘されたように最終製品までには、より多くの加熱と圧延を必要とする欠点がある。この意味で PPM 方式による継目無鋼管の製造は 1 つの解決法として評価されよう。さらに水平連铸機や同期回転式連続铸造機は、ブルームやビレットを安くかつ高生産性で製造するという観点から将来の発展が期待される。今後、各鋼種および用途に応じて、これら各種の連铸機の特性を活かしてどう組み合わせていくかが重要な課題であろう。次に条鋼用素材のうち、連铸化の遅れている形鋼および軟鋼線(リムド鋼)について、安価に製造するくふうをして連铸化を推める必要がある。さらに、一部では既に大幅に採用されているホットチャージであるが、大量実施のために製鋼と圧延を包含した同期化操業を図ることが今後の重要な課題といえる。

III. UO 鋼管成形技術の諸問題

日本鋼管(株) 技術研究所

座長 大須賀 立 美

UO 鋼管はラインパイプをはじめとして土木、建築の構造用鋼管、ガス水道用一般輸送管、鉄塔などその用途は非常に広いが、その品質の信頼性の高いことからとくに石油、天然ガス輸送用大径ラインパイプとして大量に使用されている。とくに近年のエネルギー危機を契機として一般の関心も高まり研究開発の分野でも高張力高靱性ラインパイプの製造を対象に、清浄鋼の製造や制御圧延法に関するテーマが脚光を浴びて来た。一方これらラインパイプの苛酷化する使用環境条件に耐え得る厚肉高張力鋼管の量産を支えかつその品質を世界一流の水準に維持しているものに成形技術の進歩があつたことを見落とすことはできない。わが国に現存する UO ミルの大部分は、その建設に際してその当時の世界最大級の造管能力を具備したものであつたにもかかわらず、その能力を上廻るような高張力化、厚肉化の需要が増大している。

このような背景から、この討論会に UO ミルを保有する 4 社から提出された論文はいずれも高張力厚肉管の製造を対象に、成形技術の改善、成形可能範囲の拡大に