

た。その結果、コーク・ケーキと炉壁とのクリアランスは、嵩密度の増加、乾留温度上昇により減少し、窯詰まりの危険性が增大する。また乾留熱量を低減するには、炉高方向の加熱温度分布の適正化を図る必要がある。一方、広幅コークス炉は生産性の低下を来すことを指摘した。この発表に対して、石炭膨張の取扱いと水分の炉幅方向の移動比率、クリアランス推定に関して討論がなされた。

(討5) 室炉における乾留現象の解析

(新日本製鉄(株)第三技術研究所 有馬 孝ほか)

X線断層撮影装置による乾留進行状況の観察にもとづいてコークスの気孔率推定モデルを作成し、コークス強度推定モデルを開発した。また炭化室内のガス流れを考慮して、副産物の歩留り・性状を推定するタール生成モデルを開発した。そしてモデルを使った操業条件変更下でのコークス品質、幅産物への影響を試算した。

また炉幅の乾留進行状況、生産性および品質への影響についても検討した。

この講演に対して、広幅炉の利害得失が議論された。

(討6) コークスおよび幅産物品質制御に関する理論モデルの開発と実操業への適用

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 井川勝利ほか)

炭化室内の乾留反応を考慮したコークスおよび副産物品質制御に関する理論モデルを開発した。モデルの特徴は、操業因子と石炭性状因子を同時に考慮する気孔構造指数を定義し、これによるコークス強度評価を行うことと、コークス炉炭化室上部空間での熱分解特性を考慮した2次元伝熱モデルにより副産物評価を行う点にある。

この発表に対して、モデルを用いた実操業における配合管理や炭化室上部温度管理などコークスや副産物の品質安定化のための適用状況が討論された。

(討7) コークス炉伝熱反応シミュレーションモデルの開発とその応用

(三菱化成(株)黒崎工場 吉野良雄ほか)

石炭の熱分解反応として KREVELIN らの逐次反応を考慮した反応モデルを構築した。このモデルに基づき反応熱、物質移動を加味したコークス炉の伝熱、反応シミュレーションモデルを開発し、乾留過程の炉内状況、発生ガス、タール等の経時変化を推定可能とした。次いで種々の操業条件変更時の乾留時間、乾留熱量等への影響を比較検討し、プログラム加熱における最適加熱パターンを探索した。そしてプログラム加熱の実用化を図り、シミュレーションによる予想を上回る乾留熱量低減の効果を挙げた。

また2次分解を受けやすいエチレンの濃度変化が、炉内コークス化の進行のモニターとなることを実証した。

この発表に対して、モデルパラメーターの妥当性について議論され、本討論会で紹介された各モデルについても同様のパラメーターの比較が必要であると認識された。

(討8) 装入原料の水分および嵩密度分布制御による乾留均一化技術

(住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 三浦 潔ほか)

コークス炉の窯内不均一乾留は、冷間実炉大装入試験

装置による嵩密度分布測定と水冷プローブによる燃焼室炉壁温度分布測定結果から、炉上部における装入原料が低嵩密度で炉壁温度が低いことに起因するものと確認した。炉壁温度を一定としたときの理想の装入原料条件をモデル試算し、その条件に近づける方法として炉上部に調湿炭を炉下部に湿炭を配置する調湿炭部分装入法とレベラーの先端に荷重板を備えた荷重レベラーにより炉上部の原料を填圧する方法を実炉にて検討した。そして乾留の均一化に有効であると確認した。また2次元ガス流れ数式モデルにより、乾留途中のコークス炉内の水分移動について考察した。

この講演に対して、とくに調湿炭部分装入法の実用化の可能性について討論が交わされた。

パネルディスカッションでは、現行コークス炉を前提にして、相関解析の効用と限界を明らかにして、今後さらにシミュレーションの予測精度をいかに向上するか目標と課題とを論じた。これから10~20年の寿命を持つとされている我が国のコークス炉の最大限に利用する方策が広角的に討論できた。さらに現行室炉の限界の明確化とともに、次世代コークス炉の具備すべきイメージが固まりつつあることも認識された。

最後に、ここ数年間までの我が国鉄鋼業の不況はコークス製造技術開発のための研究を相当に萎縮させたが、このところの好況もあってか多数の若い研究者が本討論会に参加してもらえたことは心強い限りである。継続的前進こそ未来を拓く唯一のアプローチであることを特に銘記したい。

II. 偏析制御の現状と将来展望

座長 北海道大学名誉教授

高橋 忠義

副座長 (株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所

安中 弘行

鋼塊や連铸鑄片における偏析の制御は材質向上の基本条件であり、偏析の生成機構の解明およびその防止対策が盛んにおこなわれてきた。連続鑄造では低S、低P化や低温鑄造、電磁攪拌による凝固組織制御が指向されてきており、また鋼塊では、インゴット形状の最適化やホットトップ法による偏析制御がおこなわれている。一方、粉末冶金に代表される急冷凝固法による組織の均一化も広くおこなわれている。

今回は、オスプレー法、大型鋼塊の偏析制御について、また連続鑄造ではおもに圧下による偏析制御について、その将来展望も含めて討論をおこなった。発表件数は9件であり、その主な内容および討論の概要は以下のとおりである。

(討9) オスプレー法の開発

(住友重機械工業(株)産機事業部・商品事業部

井川良雄ほか)

高純度化した溶湯を不活性雰囲気中でアトマイズし、そのまま最終製品に近い形状のものを製造するオスプレー法の現在までの開発状況および将来展望について報告

した。オスプレイ法により得られる凝固速度は $10^2 \sim 10^4$ °C/s と推定され、偏析制御が可能である。また、凝固組織は従来法により得られる鋼塊の組織に比べ微細化されている。しかしながら、アトマイズガスによるガス含有量の増加は避けられず鋼種によって使用ガスの種類を考慮する必要があることを示した。

この発表に対し、どのような製品への適用を考えているか、オスプレイ法の定常状態における固液共存領域の形状制御方法、複合材への適用などに関して討論がなされた。

(討10) 大型鋼塊における偏析の予測と制御

((株)日本製鋼所室蘭研究所 山田久人ほか)

大型鍛鋼品は、高温、高圧、高速回転などの苛酷な条件下で使用されることが多い。製品の機械的性質の劣化や異方性の原因となる偏析を低減することが重要な課題であり、大型鋼塊の凝固過程で生成する逆 V 偏析、V 偏析、成分偏析の予測方法および制御方法について論じた。逆 V 偏析の程度は液相の密度差とデンドライト 2 次間隔 (S II) をパラメータとして予測可能であり、低 Si 化や Mo の添加が逆 V 偏析の抑制に効果的である。また V 偏析の制御には鋼塊形状の適正化が重要である。

この発表に対し、逆 V 偏析と S II との相関性、V 偏析生成の周期性について質疑討論がなされた。また大型鋼塊の偏析制御の将来展望に関して討論がなされ、大型鋼塊には制御の自由度が少なく、抜本的な改善が必要との意見が述べられた。

(討11) 鋼の連続铸造スラブにおける凝固末期溶鋼流動と中心偏析

(住友金属工業(株)鹿島製鉄所 渡部忠男ほか)

鹿島 1 CC を用いて、厚み 235~300 mm の中炭素鋼スラブを対象とし、凝固末期溶鋼流動の観点から中心偏析の低減方法を論じた。中心偏析は凝固末期におけるデンドライト樹間溶鋼のマクロ的移動と集積に起因するため、凝固末期溶鋼流動抑制実験をおこなった。凝固組織制御のための電磁攪拌、凝固・熱収縮に見合ったテーパーライメントの設定、ロール間のバルジング防止のためのロールピッチの短縮、2 次冷却の強化により溶鋼流動の抑制が可能でありマクロ中心偏析および粒状偏析共に低減できた。

この発表に対し、偏析の低減には柱状晶と等軸晶のいずれの凝固組織が有効か、鋼種による適正等軸晶率の求め方などについて討論がなされた。

(討12) 連铸スラブ偏析の改善技術

(新日本製鉄(株)中研本部 松崎孝文ほか)

大分 5 CC におけるウォーキングバーブロックおよび君津 2 CC における稠密分割ロールを用いた凝固末期軽圧下法による中心偏析改善技術について論じた。凝固末期溶鋼流動を抑止するためには、凝固収縮に相当する体積を圧下により補償してやれば良い。バーブロックによる面圧下法においてもロール圧下法においても V 偏析を防止する適正圧下量が存在し、過圧下の場合には逆 V 偏析が生成する。また適正な圧下を行うためには圧下

効率を考慮する必要がある。圧下に適した固相率は面圧下法では 0.6 以下、ロール圧下法では 0.3~0.7 である。また、圧下時の凝固組織は柱状晶の方が有利であり、不均一圧下防止のためには 2 次冷却の強化が必要である。これらにはデンドライト樹間並みの偏析レベルが得られることを見出した。

この発表に対し、0.8 以上の高固相率での圧下に対する考え方やバーブロックの変形やその偏析レベルに及ぼす影響などについて討論がなされた。

(討13) 軽圧下铸造による連铸スラブの中心偏析改善

((株)神戸製鋼所加古川製鉄所 木村雅保)

中心偏析改善のために、加古川 3 CC 及び 4 CC において、スラブ幅方向全域にわたって均一な偏析レベルを得るための铸造条件について論じている。軸芯部固相率が 0.3~0.7 に相当する領域で適正量圧下することにより、中心偏析が改善されるが、そのためにはクレーターエンドを幅方向全体にわたって常に適正な位置にコントロールすることが重要であると述べた。これを実現するために、高精度の凝固解析プログラムを開発し、クレーターエンドを平滑化するミストノズル配列を求めた。また軽圧下ロールスタンドの圧下荷重を実測および解析により求め、必要油圧力を設定し幅方向全域にわたる偏析改善を達成した。

この発表に対し、凝固組織と偏析に関する考え方や凝固遅れ部に対する吐出流の影響、軽圧下のダイナミック制御に対する考え方などが討論された。

(討14) 新軽圧下法による連続铸造スラブの中心偏析制御

(NKK 福山製鉄所 小林日登志ほか)

福山 4 CC に小径分割ロール軽圧下セグメントを設置し、スラブ幅方向の偏析のばらつきの低減を図ることを目的として、軽圧下帯前のロールギャップを連続的に拡げて、強制的にバルジングさせた後に軽圧下する方法について論じた。軽圧下時の凝固組織が等軸晶の場合には、偏析度の高い偏析粒が観察され、軸心部の結晶組織の整合性が乱れやすいため、柱状晶化が望ましい。また、スラブ幅方向で偏析にばらつきがあり、とくにスラブ端部側で铸造方向への溶鋼流動があり偏析を悪化させている。このため、スラブを強制的にバルジングさせ残溶鋼厚みを幅方向で均一に調整した後軽圧下を実施している。

この発表に対し、クレーターエンドの制御方法、軽圧下法実施時の 2 次冷却のあり方などについて討論がなされた。

(討15) 凝固末期軽圧下による連铸ブルーム中心偏析の低減

(新日本製鉄(株)君津技術研究部 荻林成章ほか)

君津 1 CC、室蘭 3 CC、八幡 1, 2 CC においてロール形状および圧下条件を種々変更して偏析改善効果と適正圧下条件について調査し、更に適正圧下量の理論解析をおこなった結果について論じた。いずれのロールの場合も圧下量および圧下時期の適正化により、V 偏析はほとんど消失し中心偏析は極小となるが、過圧下の場合

には逆 V 偏析が生成する。また、鑄片の圧下挙動を解析した結果、鑄片表面の圧下は大半が鑄片の幅広がりと共に先に消費され、圧下効率はロール形状や未凝固幅率によって大きく異なることが示された。

この発表に対し、ブルーム CC の圧下方式（油圧圧下かスパーサー圧下か）や非定常部の圧下に対する対応について討論がなされた。

(討16) 未凝固大圧下法による連続鑄片中心偏析の改善
(川崎製鉄(株)水島製鉄所 藤村俊生ほか)

未凝固鑄片の大圧下については、中心部に強い負偏析帯が生ずることから詳細な研究開発がなされなかったが、圧下金型を用いて未凝固部を連続的に圧下する方法を用いて実機実験をおこなった結果について報告した。未凝固大圧下によりセンターポロシティーの圧着が可能である。圧下比が小さい場合には中心部に負偏析が生じるが、圧下比を十分大きくすることにより C/Co が 1.0 に近いものが得られた。また、大圧下による液相中の溶質の濃化が懸念されたが、モデル解析および実験から濃化は実用上ほとんど問題ないことを示した。

この発表に対し、電磁攪拌の効果、圧下が小さいときの負偏析の生成機構、大圧下しても内部割れの発生しない理由などに対して質疑討論がなされた。

(討17) 強圧下によるブルーム鑄片中心偏析の改善
(株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所 中田 等ほか)

低温鑄造および鑄型内と凝固末期の電磁攪拌により中心偏析の改善を目指してきたが、今回神戸 3 CC に圧下ロールを設置し、種々の条件で圧下テストをおこなった。また未凝固層内の固相率変化に着目した解析モデルを用いて圧下パターンと中心偏析の関係を求めた。偏析度は鑄片の総圧下量ではほぼ整理できるが、必ずしも依存しない場合もある。凝固界面の変形解析および固相率変化を考慮した偏析算出モデルにより、中心偏析度は固相率が 0.2~0.55 まで変化する時間に依存することを明らかにした。

この発表に対し、凝固時間と偏析の対応、過圧下時の逆 V 偏析の生成の有無、内部割れの発生などに関して討論がなされた。

最後に、副座長より各社の連続鑄造における圧下の実施方法について、まとめの報告があった。スラブ連続では柱状晶圧下か等軸晶圧下か、またブルーム連続では総圧下量に各社の特徴が現れていた。このうち、圧下時の凝固組織に関して総合討論がなされた。

また、座長より、オスプレイ法、大型鋼塊、連続鑄造の偏析制御に関する問題点、将来展望についてのとりまとめがなされた。

会場は終始盛況であり本テーマに対する深い関心がうかがわれた。終わりに講演者ならびに討論会に参加いただいた皆様方に、また、偏析制御方法に関するアンケートに心良く応じていただいた各社の方々に深く感謝致します。

Ⅲ. 箔製造技術の現状と問題点

座長 金沢工業大学工学部

川 並 高 雄

副座長 (株)神戸製鋼所機械研究所

高 橋 洋 一

各種の金属材料箔は電子機器、自動車、建材、包装材、日用品をはじめとする広い分野で開発、使用が進められており、製品の高機能化、高精度化はもとより、より薄手、より広幅サイズへの要望も強く、根底には合理的な生産法でのコストダウンが待ち望まれている。

近年行われたシンポジウムとしては、日本塑性加工学会の 121 回 (1989)「非鉄金属薄板圧延技術の現状と展望」、104 回 (1986)「最近の極薄金属板の製造技術」が、軽金属学会の 32 回 (1988)「最近のアルミニウム箔における諸問題と今後の動向」があり Al, Cu, Steel, Ti 箔の製造技術や需要構造などが発表されている。今回は Al 4 件、ステンレス鋼 4 件、スチール 3 件の合計 11 件の最新技術の発表があり、以下にその要旨を示す。

(討18) アルミニウム箔圧延設備技術の進歩

(石川島播磨重工業(株)圧延機設計部 細井劫平)

アルミニウム箔圧延設備の発展を総括し、現状では国内で約 40 台の圧延機が 9 工場稼働し、12 万 t/年生産しており、高速化、自動化、高品質化、広幅化がますます進んでいることを示した (1987 年に操業開始した西独 VAW 社の箔ミルは 2500 m/min、幅 2100 mm に達している)。AFC (自動形状制御) や AGC (自動板厚制御) 装置をはじめ各種の新設備技術が導入されつつあるが、理論的解明は不完全で今後の研究がまたれる。

(討19) 箔圧延ロールの製造技術

(関東特殊製鋼(株)研究開発部 清水茂樹ほか)

アルミニウム箔圧延のワークロールは、高 C-高 Cr 系の鍛鋼ロールが多く、通常の冷間圧延用に比べ高潔性、高硬度で更に優れた研削性、光輝性が要求される。後半の 2 者に関しては微量硬質非金属介在物つまり Ti 系介在物の影響が大きく、少なれば研削粗さは大きくなり白色光沢を呈し、多ければ低粗度かつ黒色光沢となりスクラッチの発生が顕著となることを明らかにした。また、その許容含有量を厳しく管理することで研削性の制御が可能としている。

(討20) アルミニウム箔圧延におけるトライボロジー

(横浜国立大学工学部 小豆島 明ほか)

10 μm 以下のアルミニウム箔の重ね圧延では、圧延に長時間を要し生産性向上の観点から圧延速度あるいは圧下率の増加が必要である。ところが、圧延速度を上げれば表面光沢は低下し、圧下率を増加すればヘリングボーンが発生しやすくなる。最終パス圧延で表面光沢を維持しつつ圧延速度を増す研究を行い、(1)表面光沢は圧延速度、