

炭・酸素を同時に吹き込むことにより、レースウェイ内の温度が確保され、粉鉱石の還元反応が進展すること、また、微粉炭と粉鉱石との接触により、未燃チャーのガス化が促進されることを試験高炉および実炉試験で明らかにした。特に、粉鉱石 200 kg/t 吹込みでも燃料比の上昇が少ないことが注目される。さらに、実用化上の課題である粉鉱石の輸送方法として、プラグ輸送技術を開発し、配管摩耗を 1/100 まで低減させている。この発表に対して、粉鉱石吹込みによる焼結鉱強度の管理値緩和、レースウェイ内での粉鉱石の必要還元率などについて討論がなされた。

(討 6) 二段羽口式整型炉による粉鉱石製錬

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 桃川秀行ほか)

粉鉱石吹込み時に予想される炉床部への未還元融体の降下を防止するため、炉体に二段の羽口を設置し、上部羽口から粉鉱石を吹き込む方法について検討した。燃焼試験炉での実験では、羽口前温度が低いと融体の滴下が困難となるが、送風中酸素濃度を高めることにより上下羽口間での還元と昇温が向上し、安定操業が達成されることを示した。実炉対象のシミュレーション結果では、粉鉱石吹込みにともなう上部 O/C の減少(熱流比の減少)により塊状帯の温度が上昇する。その結果、吹込み鉱石による直接還元の増加分はシャフト部での間接還元の増加分で補われ、ソルロス反応量はほぼ一定であった。この発表に対して、粉鉱吹込み量の限界を制約する因子や上下段羽口の風量バランスなどについて討論がなされた。

(討 7) 高出銑比操業下での炉底管理

(日新製鋼(株)鉄鋼研究所 田中勝博ほか)

高出銑比操業時の炉底れんがの保護方法について検討した。炉底部でのコークスの充填状態に着目した溶銑流れと伝熱解析から、コークスの非充填領域が形成されると炉底部での溶銑流れが強くなり、凝固層が消失しやすいことを示した。また、高出銑比操業時には、炉内ガス流量が増大する(装入物に対するガス揚力が増大する)ため非充填領域が発達して炉底侵食が進むことを示し、その対策として、湯溜まり深さの増大、炉底冷却水温度の管理が重要であると提案した。一方、溶銑環状流に起因した側壁部の保護策として、出銑口から 50~150 度離れた羽口からの Ti 源吹込みが有効であることを示した。この発表に対し、炉底の局所的な管理方法、炉芯の通液性の影響などについて討論がなされた。

以上の講演終了後、「21 世紀に向けて、高炉機能をどう拡大すべきか」のテーマで総合討論を行った。機能拡大に対する各社のコンセプトは、

- ①コークス炉や原料問題に対応できる生産弾力性の強化、
- ②コスト低減と環境対応のためのエネルギーミニマム化、
- ③安定した品質の確保、
- ④ヒューマンフレンドリーなプロセスの構築、に集約され、その効果的な手段

として進められている微粉炭や粉鉱石吹込みなど、原料の直接利用技術について活発な討論が行われた。総合討論の後、東北大学選鉱製錬研究所 徳田昌則教授から、革新的なプロセスを目指す上でのソフトとハードのあり方について貴重なコメントがなされた。

最後に、今回の討論会には非常に多くの方が参加され、活発な討論と本会成功への御協力をいただいたことに深く感謝いたします。

鋼中非金属介在物の諸問題

座 長 豊橋技術科学大学工学部

川 上 正 博

座 長 東北大学選鉱製錬研究所

水 渡 英 昭

副座長 (株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所

小 山 伸 二

近年、鋼材品質特性におよぼす鋼中非金属介在物の影響がクローズアップされ、精錬・鑄造技術は極限への挑戦を続けてきた。さらに、鋼中介在物の評価についても従来の酸素分析、面積率、チャートによる評点等では製品特性を予測できず、共通の物差しがなくなってきた。また、介在物の迅速評価技術の開発が望まれている。

そこで本討論会では、介在物にかかわる諸問題に関する発表を広く求め、活発な討論を行った。以下に講演内容と討論の概要を記す。

(討 8) 疲労強度に及ぼす非金属介在物の定量的評価と介在物評価法

(九州大学工学部 村上敬宜)

疲労強度に及ぼす微小欠陥と介在物の影響の類似性に着目し、人工微小表面欠陥(人工穴、き裂、切欠き)を与えた試験片による疲労試験結果を整理し、疲労限度は材料の硬さと欠陥投影面積の平方根の関数で表された。また、疲労限度はき裂の伝播停留限界で決まり、介在物の種類にはほとんど依存せず、疲労き裂発生と共に介在物は力学的に微小空洞と等価となった。次に、介在物の検鏡結果を極値統計解析して最大介在物寸法を推定し、その値から疲労強度の下限値を予測できた。この報告に対し、介在物形状の影響の取扱い等につき討論があった。

(討 9) 軸受用鋼中の酸化物系介在物の新しい定量的評価法とその応用

(日本精工(株)材料技術研究所 奈良井弘ほか)

画像解析法、EB 法および大被検面積(6 000 mm²)観察による大型介在物(> 12.5 μm)計数法の比較検討結果を示した。一定視野面積の画像解析法による介在物粒径分布を極値統計解析して最大介在物径および大型介在

物数を推定したところ、EB法による結果と相関があった。以上の結果に基づき画像解析法とEB法の併用による介在物粒径分布と最大介在物数の評価結果は軸受鋼の寿命保証ならびに超清浄鋼の製鋼プロセス開発に有効に活用できることを結論した。

以上2件の発表に対し、市橋弘行氏(住友金属工業(株)鉄鋼技術部)から介在物評価法の現状と問題点について簡潔なレビューが示された。また、今後の課題として、検鏡データの統計処理による最大介在物の推定については精度向上に必要な被検面積の決定、および介在物種と形状に応じた推定方法の検討などが指摘された。また、EB法においては溶融抽出に伴う介在物の形態変化に注意して適正な溶解条件を選定すること、およびサンプル重量の決定等が重要とコメントされた。

(討10) 鋼中微小酸化物の分散制御と利用技術

(新日本製鉄(株)君津技術研究部 後藤裕規ほか)

鋼の結晶粒成長抑制、粒内フェライトおよびセメンタイト析出制御に働くMnSが微小酸化物上に不均質核生成することに着目し、実験的にMn, Si, Al, Zrなどによる脱酸条件を調べ、MnSの析出核として有効な酸化物種を明らかにした。実際の連铸工程において微小酸化物を均一に生成させるための脱酸条件と[O]量、冷却凝固速度等の影響を調べ、上記の材質制御に有効な微小介在物の分散制御技術確立に有用な知見を与えた。

(討11) 酸化カルシウム基鋼中非金属介在物の熱力学的安定性

(東京工業大学工学部 永田和宏)

CaとAl, ZrないしTiとの複合脱酸に関する従来の熱力学データを詳細に検討し、報告者自身の固体電解質による最近の測定結果と合わせてAl-Ca-O系, Zr-Ca-O系の生成介在物相と平衡[O]値を推定した。更に、Al-Zr-Ca-O系につき、脱酸元素の添加順序と生成介在物相の関係を示した。報告者も指摘しているが、討論では、基本的な多成分系の正確な熱力学データとそれに基づく複合脱酸技術の進展が今後も重要研究課題と認識された。

(討12) 溶鋼中介在物の運動に関するモデル実験

(依頼講演)

(東北大学工学部 菊池 淳ほか)

流れ場における介在物の挙動のモデルとして、管内水流れ中の微小粒子の挙動の実験結果を示した。粒子泳動の違いにより、上昇流と下降流で粒子の集まる場所が異なることを理論的、実験的に示した。粒子径が大きいくほど、粘性が低いほど壁への付着効率は大きかった。また、微小介在物の凝集について、ブラウン、ストークス、乱流等のモデル、および粒子間の分散力による相互作用の適用の可能性の提案をした。これに対し、実際のノズル詰まりへの適用の可能性等について討論された。

(討13) 極低炭素 Ti-Al キルド鋼における介在物低減

技術

(日新製鋼(株)呉製鉄所 野口 計ほか)

薄板表面のふくれ疵はモールドパウダーの巻込みに起因していた。その減少対策として、铸型内流動について3次元の熱流体解析を行った。それに基づき、浸漬ノズル角度および铸造速度の適正化によりふくれ疵の発生が低減できた。また、溶鋼の清浄性向上として、タンディッシュ(以下TD)内3重堰およびCaO質フィルター、取鍋内スラグ量削減により、5 μ m以上の介在物減少に効果を認めた。これに対し、CaO質フィルターの材質やTi, Al脱酸の順序等について討論された。

(討14) 連铸プロセスにおける介在物低減技術

(新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 木村秀明ほか)

TDでの溶鋼清浄化機能について詳細な調査を行い、非定常部に品質劣化のあることを示した。取鍋交換作業による溶鋼清浄性の悪化メカニズムを定量的に評価するために「TD内溶鋼清浄化モデル」を構築した。TD内での介在物の物質収支を説明され、スラグの巻込み、空気酸化の影響の重要性を指摘した。取鍋内溶鋼の清浄性悪化と取鍋注入点での溶鋼汚染の改善策として、スライディングノズルを二か所装備した取鍋と舟型TDを組み合わせ、スラグ混入量の減少により改善効果を得た。これに対し、再酸化およびその防止策、舟型TD内における汚染等について討論された。

(討15) 清浄鋼製造のための再酸化防止法の開発

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 原 義明ほか)

RH処理およびRH~TD間の[O]_Tと[Al]の挙動を調査し、それらに及ぼす溶鋼再酸化の影響を定量的に評価した。その結果、溶鋼清浄度向上にはスラグ中の低級酸化物低減、耐火物中のSiO₂含有量低減、空気酸化防止による[Al]酸化速度低下が有効であることを明らかにした。これに対し、TD内のサンプリング位置、介在物の形状と粒径分布、詰め砂との反応等について討論された。

(討16) 高炭素鋼の介在物低減技術

((株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所 小川兼広ほか)

アルミナ介在物の吸収能の大きなフラックス組成を明らかにした。凝集分離のための攪拌法として、ガス攪拌より電磁攪拌が優った。さらに、スラグ中のFeO, MnOによる再酸化防止策、および空気による再酸化の防止策を明らかにした。その結果、8ppm以下の鋼片酸素濃度が安定して溶製可能となった。これに対し、アルミナのフラックスに対する濡れ性等について討論された。

(討17) 高清浄鋼の非金属介在物低減技術

(NKK 京浜製鉄所 伊吹一省ほか)

軸受鋼の介在物低減技術として、スラグ中SiO₂が再酸化源となることを指摘し、取鍋精錬炉におけるスラグ脱酸技術を確立した。また、取鍋精錬炉、ガスインジェ

クション, RHにおける介在物除去速度を比較し, RHの優位性を示した. ステンレス鋼の介在物低減技術として, 窒素ガスを用いた加減圧精錬法により, 従来のガス吹込みとくらべ, 製品品質が大幅に向上することを示した. これに対し, 窒素気泡の発生メカニズムや微細気泡による介在物除去メカニズム等について討論された.

(討18) 高潔淨鋼溶製技術の開発

(住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 城田良康ほか)

高潔淨軸受鋼の溶製技術として, アルミナ介在物の吸収能の高いスラグ組成の選択, 再酸化を考慮した耐火物材質の選択, TDヒーターの効果等を検討した. カルシウム処理による介在物の形態制御では, 最適な $[Ca]/[O]_T$ を明らかにした. 連鑄においては, 垂直-曲げ型の湾曲型に対する優位性を明らかにし, モールド内電磁ブレーキの効果を数値シミュレーションにより明らかにした. これに対し, TDヒーターの効果, 耐火物との反応等について討論された.

(総合討論)

すべての講演の後で, 脱酸, 介在物低減に関し現象として不明な点の洗い出しを行った. その結果, スラグによる再酸化のメカニズム, 介在物凝集と流動, 攪拌エネルギーと介在物除去, 耐火物への介在物の付着, 複合脱酸平衡等の問題点が指摘された. これらのいくつかについてはその場でも討議されたが, これからの研究課題であることが再確認された.

鉄鋼における知的情報処理技術

座長 東京工業大学大学院総合理工学研究科

小林重信

副座長 新日本製鉄(株)技術開発本部

中北輝雄

ここ3~4年の間に鉄鋼業では従来型のシステム技術では実現が困難であったオペレーターの勘と経験やスタッフのノウハウに頼っていた分野のシステム化, 自動化に対し, 知的情報処理技術の応用が急速に進展した.

これらはエキスパートシステムを主体とするものだが歴史も浅くその企画導入, 設計製作運用の各段階においての方法論や開発支援環境等種々の問題を抱えている.

そこで, ここではAI技術全体を展望しながら, 実施例とその評価, 今後の課題についての発表と積極的な討論を行った. 以下その要旨を示す.

(討19) 知的情報処理技術の展望(依頼講演)

(東京工業大学大学院総合理工学研究科 小林重信)

今回の討論に先立ち, 依頼講演の形で現状の知的情報処理技術の概観と動向, 更には将来の展望がなされた.

現状で実用化の進んだエキスパートシステム(ルールベース推論)は経験の範囲を超えず, またその知識の獲得が重要な課題である. また最近では分類, 診断問題に代表される解析型問題から計画設計問題に代表される合成型問題領域へのシフトがあるが, そこでは組合せ最適化問題を内包している. そこでこれらの課題解決のアプローチとして事例ベース推論及び説明に基づく学習, 遺伝アルゴリズムの三つをとりあげての解説があった.

(討20) 鉄鋼プロセスへの人工知能応用

((株)東芝重工システム技術部 丸山昭男)

鉄鋼でのAIの適用は10年に及び, 当初は研究開発的動機で適用していたが現在では投資対効果を事前評価する通常の形となった経緯が示され, エキスパート, ファジィ, ニューロの順での工業化実現の過程とその内容概略と将来課題, 期待されるツールについて提案がなされた.

これに対し, エキスパートツールのメンテ性やプロコンとEWSの結合の将来性等について討論があった.

(討21) 八幡製鉄原料エキスパートシステム開発を通じての知的情報処理技術応用に関する考察

(新日本製鉄(株)技術開発本部 福島徹二)

解釈・診断・制御型, 計画型を総合的に含むエキスパートシステム例の概要と効果を紹介し, その課題と対策を示した後, エキスパートシステム開発は操業技術の解析や体系化を進めるインパクトを与え得ることや, システム制御技術者の使命・意識の重要性が指摘された.

これに対し, 応用システムの具体的内容やエキスパートシステムでもモデル化が困難な問題の討論があった.

(討22) 高炉操業管理エキスパートシステムの開発

(NKK 福山製鉄所 青木太一ほか)

オンラインリアルタイムシステムとして世界初の本格的エキスパートシステムとしてその背景, 内容が紹介されAIは従来技術の補完であり, AIの開発適用を通じて技術の標準化・伝承, 操業の改善がなされたと報告. ただし, その開発維持環境は十分ではなく, より知的業務のシステム化は今後の課題とされた. これに対し, 従来制御との違いやメンテナンスの問題の討論があった.

(討23) 溶製方案作成エキスパートシステムの開発

(住友金属工業(株)システムエンジニアリング事業本部 村沢泰雄ほか)

スタッフ業務の効率化と専門技術の伝承をめざし, 計画立案, 設計を支援するシステムとして, 従来型システムのデータベースとの密結合や, 線形計画法の取込み等の内容が紹介された. しかし, 開発や, 実運用時はツールの機能不備やメインフレームの制約から困難を伴うことや, ナレッジエンジニアと保守要員の確保の必要性が示された. これに対し, 冶金技師が果たすべき理論的, 開発的業務のAI化の是非につき議論があった.

(討24) 自動知識獲得型エキスパートシステムの開発