

での低下に対して、極値 CaO を大きく超えた高 CaO とすることにより RDI を維持できた。また、高 CaO 擬似粒子と低 CaO 擬似粒子を別々に造粒し混合焼成するプロセスを開発し、RDI および生産性を損なうことなく高 Al₂O₃ 原料や微粉原料を増配することができた。

この発表にたいして、高・低 CaO 領域での RDI 改善メカニズム、生産性にたいする CaO, SiO₂ の影響、分割造粒時の高温滴下挙動等に関する討論がなされた。

(討5) 整粒・分散式新装入方式による高通気・高歩留り焼結法の開発

(新日本製鉄(株)製鉄研究センター 稲角忠弘ほか)

焼結操業においては、原料装入時に粒度やカーボンなどの偏析や局所的な装入乱れが生じている。上層と下層の反応状況が根本的に異なる下方吸引式の焼結では、上記現象の影響があり、原料特性と焼結性との関係を複雑化している。原料充填層の形成に関する検討を行い、装入時の偏析等の影響を全体的に把握することは、鉱石特性の研究に劣らず重要である。そこで、原料装入シミュレーターを用いて原料充填構造に関する解析を行い、現状のシュート装入においては、焼結機ごとの装入条件の違いによる原料充填構造の差が、ベッド内での原料特性分布の変化を通して、通気・歩留りなどに影響していることを明らかにした。ベッド内部において、均一な焼成を進め高歩留り・高通気を図るための基本条件としては、層高方向に連続的な粒度偏析をつけ、整粒度を高めることが有効であることを見出し、これを実現できる装入設備を開発し実機化した。

この発表に対しては、粒度偏析および熱源の偏析の最適値、層高方向の溶融性の分布のあり方についての討論があつた。

(討6) 原料特性を考慮した新塊成鉱プロセスの制御

(NKK 鉄鋼研究所 坂本 登ほか)

焼結鉱およびペレットと比較して、品質、プロセスの両面で優れた新塊成鉱プロセスを開発した。本プロセスの特徴は(1)微粉原料を全量造粒する、(2)粉コークスはグリーンボール表面に被覆する、(3)グリーンボールの崩壊を抑制するため点火前に予備乾燥する等である。このようなプロセスの特徴を考慮し、本プロセスにとって望ましい原料条件はどうあるべきかを検討した。さらに、基礎的検討結果をもとにパイロットプラントによる新塊成鉱の連続製造試験を行いプロセス評価、実用化時の問題点を検討した。本プロセスでは原料中40~70%をペレットフィードとすることから、その造粒性が重要な要素となる。各種ペレットフィードについて、基礎特性から検討し本プロセスに適したものを明らかにした。粉コークス粒度については被覆特性から、1mm以下が望ましい。さらにパイロット試験結果から、造粒機、装入装置、輸送工程等の最適化に関する知見を報告した。

この発表に対して、本プロセスにおいて粗粒原料を使用する時の造粒技術、高 SiO₂ 原料使用時の新塊成鉱の形状、グリーンボール装入後の層高方向の偏析のあり方等についての討論がなされた。

以上、各講演ごとに報告と討論の内容を概説したが、全体に共通した問題意識として、「擬似粒子設計の考え方」と「焼成の制御」が塊成鉱プロセスの本質的課題であることが改めて認識された。発表後の総合討論では、各発表者が、この2点に関する考え方を補足説明を行い討論を深め、さらに新日鉄製鉄研究センター肥田主任研究員と東北大学選鉱製錬研究所大森教授からコメントをいただいた。その結果、今後の資源動向の変化に対応して良質で低コストの塊成鉱を製造してゆくためには、鉱石の特性研究とプロセスの制御技術を合わせた形での研究開発が重要であるとの結論を得た。

本討論会においては、講演者をはじめ討論者も要領よく話をすすめられ、おおむね予定時間内で密度の高い討論を展開することができた。

講演者ならびに本討論会に参加していただいた皆様方に深く感謝して、概要報告を終える。

II. 二次精錬の役割

座 長 東北大学工学部

萬 谷 志 郎

副座長 NKK 鉄鋼研究所

河 井 良 彦

最近十数年における鋼材の高純度化、高潔浄度化には目を見張るものがある。H, S, Oなどは数 ppm, P, N, C,などは数十 ppmのオーダーで議論され制御される一方、非金属介在物の低減、形態制御、マイクロロイニングなど、材質改善の上で著しい成果があげられている。これらは主として炉外精錬法(二次精錬)の技術的發展によるものである。高品質の鋼を安定してより安価に供給することは今後の鉄鋼業における最も重要な技術的課題であり、二次精錬の役割はますます増大しているといえる。

本討論会は、二次精錬に関する最近の発展と成果、および将来の技術的展望につき討論することを目的としており、今回は約10件の講演申込みがあつた。その内容は、溶鋼の攪拌と物質移動速度および介在物除去、鋼中微量不純物除去、介在物の形態制御、取鋼精錬炉の機能と役割などに関するものである。これらの内で基礎研究的色彩の強い5件を前半、実際的かつ技術的内容の報告5件を後半として、計10件につき次のような発表と討論があつた。

(討7) 二次精錬のプロセス工学基礎

(名古屋大学工学部 佐野正道ほか)

ガス吹込み攪拌下におけるガス-メタル間、およびスラグ-メタル間の物質移動容量係数とガス吹込み量の関係につき著者らのこれまでの研究成果をまとめて報告した。また攪拌と溶鋼中介在物の挙動につき興味のある結果を述べた。ガス吹込み下におけるスラグ-メタル間反応の物質移動係数は気泡径とガス吹込み量により三領域に分けられることを明らかにした。これに対して三領域が介在する現象論的または理論的裏付けについて討論があつた。また実操業範囲は領域Ⅲに入っていると考えられ、領域Ⅲにおける今後の解析が必要であることが強調された。

(討8) 取鍋精錬プロセスにおけるスラグ-メタル間物質移動と介在物挙動

((株)神戸製鋼所鉄鋼技術センター 小川兼広ほか)

二次精錬で有効な精錬効果を得るためには、精錬機能に応じた最適攪拌条件を知る必要がある。本研究では、大型水槽を利用したコールドモデル実験により、ガス吹込み攪拌(ガス吹込み)および誘導攪拌(小型水中ポンプ使用)下における、スラグ-メタル間物質移動特性と介在物浮上分離特性を定量的に評価した。介在物浮上分離には容器内の表面流が遅く、底面流の速い攪拌が効果的であり、介在物の合体および浮上には最適攪拌方法のあることを明らかにした。得られた結果を実機に適用して Al_2O_3 系介在物の低減に利用した。これに対してガス吹込み羽口の構造による物質移動速度の相違、容器内の流体の流れ(方向と流速)と介在物浮上率などにつき質問があつた。

(討9) 微細気泡の形成条件と介在物浮上促進効果

(新日本製鉄(株)八幡技術研究部 鎌取英宏ほか)

アルゴン-アルミナ-溶鋼系の界面張力より計算して、溶鋼中アルミナ粒がアルゴン気泡と衝突すれば、アルミナ粒はその界面に吸着されて浮上分離が促進されると考えられる。介在物除去効果は粒子径が大きく、気泡径の小さいほど有効である。従つてまず水モデル実験により、取鍋底広域面からのガス吹込み法と回転ノズル法について微細気泡を多数生成せしめる条件を検討した。次いで、これを 1t 規模の取鍋および大型タンデッシュに適用して、微細気泡の吹込みは微量介在物の除去に非常に有効であることを示した。これに対して電気探針法を利用して気泡径を実測すること、また超音波振動ノズルによる気泡の微細化などが提案された。

(討10) 回転磁界攪拌取鍋精錬炉の冶金特性

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 桜谷敏和ほか)

二次精錬における攪拌の重要性より、電磁力により強い攪拌力を投入できる、5t 規模の回転磁界攪拌取鍋精錬炉を開発した。そして攪拌動力を $\dot{e} = 1 \sim 10 \text{ kW/t}$ の強い攪拌条件下で各種不純物の精錬特性を調査した。その結果、攪拌力の増強により脱硫、脱りん、介在物除去、脱窒反応が著しく促進されることを確認した。これに対

して容器内邪魔板の有効性、精錬炉の大型化に対する問題点などが討論された。

(討11) 鋼中微量不純物元素の冶金挙動

(大同特殊鋼(株)中央研究所 出向井登ほか)

5 kg VIF および 3 t GRAF を用いて鋼中微量不純物、特にトランプエレメントの蒸発除去について調査した。蒸気圧パラメーター ($P_o \gamma_o : P_o$ 純物質蒸気圧, γ_o 活量係数) の大きい Zn, Pb は大気圧下の Ar パージングによつても容易に蒸発除去できる。蒸気圧パラメーターの小さい As, Sn, Sb, Cu 除去は大気圧下では困難であり真空蒸発が必要であり、除去速度は真空度および温度に依存することを示した。屑鉄再利用の観点より、鋼中トランプエレメントの除去は今後の重要な問題であり、不純物の許容限度、有効な除去法などについて討論があつた。

(討12) 取鍋精錬炉の機能と役割

(NKK 京浜製鉄所 福島裕法ほか)

アーク加熱式取鍋精錬炉(NK-AP)は転炉における熱負荷を軽減して耐火材原単位を下げる目的で採用され成果を挙げてきた。その後、溶銑大量脱りん処理-転炉レススラグ精錬(NRP)の発展により、昇温および Mn 還元を再び転炉で行い NK-AP 昇温機能を省略するようになった。しかし、鋼材品質の高度化に対処するため NK-AP は Ca 添加による硫化物系介在物の形態制御、スラグ脱酸による低酸素鋼溶製、介在物除去などに利用して成果を挙げている。今後の方向としては、小ロット製品の対策、タンデッシュ精錬との組合せにより製品ニーズに対応していくことが課題である。これに対し NK-AP と PI との優劣、二次精錬炉としての NK-AP の今後の方向などにつき討論があつた。

(討13) 高品質構造用鋼における LF-RH の役割

(愛知製鋼(株)第一生産部 山田忠政ほか)

自動車用構造用鋼の品質要求に対処するため AF-VSC-LF-RH-BL/CC 複合プロセスを導入してきた。特に連続铸造を前提とする LF-RH 法の組合せは鋼材の品質向上、製品コストの低下に極めて有効である。すなわち、高純度化による品質向上の面では、 H , N , O の低減、非金属介在物の低下、表面きずの減少、Pb 快削鋼やボロン鋼の成分制御などに著しい成果をあげている。また製品コスト低下の面では、生産性の向上、各種原単位の低減、歩留り向上、在庫の低減と納期短縮などが挙げられる。今後の課題としてはいつそうのコスト低減、小ロット対策などが考えられる。これに対し、攪拌エネルギーと脱酸素率との関係、AIN に起因する粒界割れなどにつき討論があつた。

(討14) スラグ精錬による Si-Mn 脱酸鋼の介在物形態制御

((株)神戸製鋼所加古川製鉄所 松本 洋ほか)

タイヤコード用鋼に代表される高炭素粗粒鋼の製造に

LF を用い、Si-Mn 脱酸後にスラグ精錬することにより介在物の形態制御を行うことを試みた。介在物組成はスラグ精錬により脱酸生成物系から精錬スラグ系と変化する。従つて、 $\text{SiO}_2\text{-MnO} (+\text{CaO} + \text{MgO})\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系の適正なスラグ組成を選定することによつて、介在物は低融点で塑性変形しやすい形態に制御することができ、介在物品質の改善を図ることができた。これに対して、スラグ-メタル間の平衡到達度、スラグ捲込み、および使用耐火物などにつき質問があつた。

(討15) 不純物元素の低減 (真空下, 粉体上吹精錬の開発)

(住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 眞目 薫ほか)

2.5 t 高周波炉を用い、真空下で精錬用粉体を上方より吹き込み、溶鋼中に侵入分散させて不純物を除去する精錬炉を開発した。吹込み粒体は目的により選定する。これにより溶鋼中の C, N, H, S などの不純物を著しく低減せしめることができた。酸化性粉体を用いて脱炭した場合には CO 気泡が発生して N, H などの除去が促進される、また低酸素濃度での脱炭では脱窒反応が著しく進行する。脱硫剤粉体 (CaO-CaF_2 系) を用いての脱硫促進は溶鋼攪拌の弱い VOD 精錬に有利である。それぞれの到達値は $\text{C} = 3 \text{ ppm}$, $\text{N} = 4 \text{ ppm}$, $\text{H} = 0.35 \text{ ppm}$ および $\text{S} = 1 \text{ ppm}$ であつた。本研究に対して従来のインジェクション法との比較について質問があつた。

(討16) 多機能二次精錬技術 RH インジェクション法の開発

(新日本製鉄(株)大分製鉄所 遠藤公一ほか)

RH 法と取鍋粉体吹込み法を結合して機能の集約化を図つた多機能 2 次精錬技術 RH インジェクション法を開発した。これにより高能率の脱硫、脱炭、脱水素、介在物低減が可能となり、従来二工程で行つていた脱硫と脱水素を効率よく一工程で行い得る。特に脱硫は従来の取鍋粉体吹込み法より優れており、低いフラックス原単位で $\text{S} = 8 \text{ ppm}$ が達成できる。また極低炭素鋼の量産化が可能である。これに対して、フラックス粒度、ランス深さ、脱炭反応の容量係数などにつき質問があつた。

二次精錬の今後の問題として、二次精錬の機能と役割がどのように変化していくかに多くの興味を寄せられた。現状では RH-インジェクション法に代表されるように多機能集約化が図られる一方、また要求と目的に適した機能の特殊化や省略化が考えられ実行されている。従つて要求特性に応じた使いわけをいかにすべきかに問題が残されている。また小ロット対策や、タンデッシュ精錬との組合せによる合理的プロセスの開発など、今後に残された問題も多いといえる。

本討論会は発表件数が 10 件にのぼり、討論時間が必ずしも十分ではなかつたが、活発な討論が行われ、二次精錬の重要性が再認識された意義は大きいといえる。

最後に、講演者をはじめ討論会に参加いただいた皆様

方に深く感謝いたします。

Ⅲ. 超塑性の材料加工プロセスへの応用

座 長 東京都立大学

西 村 尚

副座長 国士館大学

西 原 公

当テーマについては、60 年秋季学会の萌芽・境界領域指定テーマに取り上げられて以来、数多くの研究が報告されている。対象材料はアルミニウム系、チタン系などの外に、セラミックス、複合材料などにも超塑性が見出されるようになり当時と比べてより広範な研究がなされている。また、加工技術としては板材の真空・ブロー成形、恒温鍛造などの他に拡散接合法なども加わりより多岐にわたるようになった。そこで、今回は超塑性の加工プロセスの応用に限つて討論会を開催した。依頼 1 件と 12 件の申込みがあり、11 月 4 日に 1 日を費して討論を行った。

これらの講演は、総論 (依頼講演) 超塑性材料、超塑性応用の加工技術に分けて配列した。以下に各講演の内容について概要を記す。

(討17) 最近の超塑性利用技術の動向

(長岡技術科学大学名誉教授 宮川松男)

最近の超塑性研究全般をまとめた総説であつて、材料および材料製造技術の開発、素材材および加工品の開発に分かれている。材料プロセスとしては、結晶粒微細化技術の進展にともなう急冷処理を行つた粉末及び薄膜、第二相のみが微細化して分散分布した通常粒度の合金、結晶粒界の構造および形態を制御した合金などの紹介があつた。加工プロセスとしては、次世代産業基盤技術制度における開発が主なもので、HIP 成形、適応制御超塑性鍛造、ウォームダイ・パック鍛造など生産ライン中での高速化技術、Ti 合金の超塑性鍛造など難加工性材料の加工技術についての紹介があつた。

(討18) 超高炭素鋼の超塑性

(立命館大学理工学部 時実正治)

過共析鋼など極めて加工性の悪い材料に超塑性を持たせて塑性加工可能にした例が示された。超高炭素鋼の加工熱処理法の改善、Si や Al の添加により高ひずみ速度側へ超塑性状態をシフトする方法、白鑄鉄の加工法として粉末を HIP する方法、同様にアグマイト鋼 ($\text{C} = 1.9\%$) のガスアトマイズ粉を HIP により緻密化する方法などを紹介している。SHERBY らによつて開発された超塑性超高炭素鋼の工業化へ向けての一連の研究が整理されている。実用化という点からみると、ビレットから鍛造するよりは粉末から HIP→超塑性鍛造の方がよい