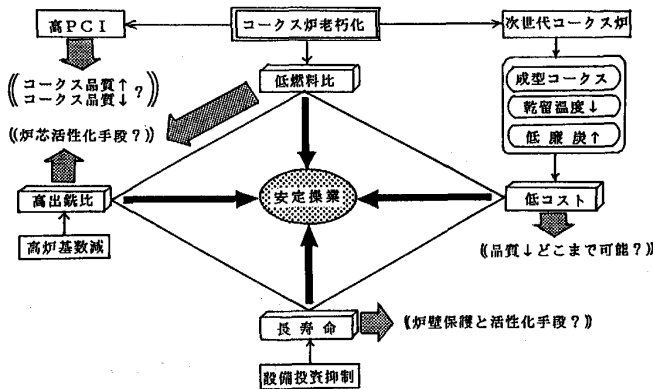


図1 高炉内におけるコークスの劣化機構



【研究課題】	【技術課題】
① コークス劣化モデルの精度アップ →コークスの内部摩擦角、せん断強度 →高炉内のせん断応力分布 ② レースウェイ部粉発生のモデル化 ③ 粉の移動・蓄積のモデル化 ④ 炉芯コークス更新機構の解明 →落下FeOによる細粒化現象 ⑤ 熱間強度の管理方法 (or管理は必要か?) → $\Delta CSR / \Delta CRI$ (CSR) CRI=const 	① 柔軟性のあるコークス品質管理 { 高出鉄比 } { 低燃料比 } { 高PCI } ② 品質の総合管理 →焼結鉄品質との互換性 $\begin{pmatrix} TI \\ RDI \\ RI \end{pmatrix} \xleftrightarrow{\text{粒度}} \begin{pmatrix} DI \\ CRI, CSR \\ TI \end{pmatrix}$ (空隙率) ③ 炉芯状態の計測・制御方法の確立

図2 高炉におけるコークス使用技術の今後の課題

これを踏まえた実炉検証が必要である。また、この実炉検証と操業管理の精度を上げるためにも、新センサー・サンプラーの開発も必要となる。

(テーマ4) 成型コークスの将来の位置づけ

成型コークス製造技術そのものは既に開発は完了しており、高炉での多量使用には、高嵩密度による通気抵抗の上昇への対策が課題である。今後一般炭と原料炭の価

格差の拡大、現有コークス炉の寿命など、投資効率を満足させる環境が整えば、実用化の可能性は高い。

以上の総合討論の後、副座長が今回の各発表の要点のまとめを行い(表1, 図1, 2), 最後に、東北大学 八木順一郎, 新日本製鉄(株) 須賀田正泰の両氏から、今後の課題と進むべき方向について貴重なコメントがなされた。

今回の討論会によって、従来あまり明確でなかった炉下部におけるコークスの挙動、および炉芯コークスの活性化のためのコークス品質管理と高炉操業法について、かなり体系的に整理することが可能となった。今後は、高炉での微粉炭多量吹込み、高炉、コークス炉の生産弾力性の向上、コークス炉での一般炭多量使用に向けて、前述の課題についてさらに研究開発が進められることが期待される。

最後に、今回の討論会を成果の多い極めて有意義なものにしていただいた発表者、参加者の方々に心から感謝いたします。

II. 極低炭素鋼・低窒素鋼の精錬技術の現状と課題

座長 名古屋大学工学部

佐野正道

副座長 川崎製鉄(株)鉄鋼研究所

藤井徹也

高度な材料特性を持つ鉄鋼材料の需要は年々増大しつつある。そのため、製鋼段階では、不純物元素の極限までの低減と合金濃度の狭幅制御の技術開発が重要な課題となっている。炭素濃度についてその例をみると、延性と絞り性に優れる冷延鋼板を連続焼鈍プロセスで製造するにはTiやNbの添加と共に炭素濃度を30ppm以下とする必要がある。また、プレス成形時には軟質で加工性に富み、その後の焼付け塗装時の熱処理で降伏強度を上げて完成部品の強度の上昇が可能な焼付け硬化型の高張力冷延鋼板においても極低炭素濃度化が要求される。

以上のような観点から、極低炭素溶鋼の経済的な大量生産技術の研究開発が活発に行われている。また、炭素と同様に侵入型元素である窒素に関してもいっそうの低減技術の確立が望まれている。

本討論会では、極低炭素鋼・低窒素鋼の精錬技術の現状と課題として基礎研究と工業規模の製造技術開発について、大学と企業合わせて8件の講演が行われた。講演内容を大別すると、

- (1)高純度化のためのプロセス工学概説
- (2)小型溶解炉を用いた基礎研究
- (3)反応の容量係数に関するアンケート結果のまとめ
- (4)RH脱ガス装置の脱炭反応モデル
- (5)RH脱ガス装置による極低炭素鋼製造の操業解析と改善

以上の5項目であり、特に、30~40ppm以下の極低炭素濃度領域で脱炭反応速度が急速に低下する理由、および、10ppmレベルの超極低炭素鋼の製造技術に関して

活発な議論が行われた。

以下に、講演の内容と討論の概要を述べる。

(討 6) 高純度鋼のプロセス工学

(名古屋大学工学部 佐野正道)

高純度鋼の効率的な製造技術の開発のためには、新しいプロセス工学的観点からの基礎と応用研究が必要である。二つの観点から不純物除去工程でのプロセス工学的諸問題を解説した。まず、異相系反応操作における反応速度について、速度定数、反応界面積、推進力の一般的な増大法を述べた。また、界面現象の重要性について表面活性成分や界面での界面張力分布などの影響の例を示した。

異相系分散操作では分散に要するエネルギーの与え方やその大きさについて論じた。溶鋼の攪拌混合状況も重要であり、モデル解析の手法を示し、種々の異相系接触操作法で効率を比較した。

以上の講演に対して、投入エネルギーと気泡分裂の関係式の適用例や、装置内溶鋼の滞留領域の検出方法、また、攪拌動力の消費についてマクロな流れとミクロな流れへの配分比に関する討論がなされた。

(討 7) 低窒素・低炭素濃度領域における溶鉄の減圧下での脱窒、脱炭速度

(新日本製鉄(株)製鋼研究センター 原島和海ほか)

12kg容量の真空誘導溶解炉を用い、減圧下での脱窒、脱炭反応を研究した。脱窒反応速度は酸素と硫黄濃度の低下と共に増大し、雰囲気圧力の増加と共に減少する。従来の常圧下での実験ではガス側物質移動抵抗の大きいことを指摘した。脱炭反応の総括反応速度定数が炭素濃度に依存し、また、酸素や硫黄濃度にも依存することから界面反応  $C + O \rightarrow CO$  が極低炭素濃度領域で反応の律速段階となる可能性を述べた。ただし、脱炭反応速度を酸素と硫黄の界面吸着の影響のもとに検討しているが、酸素は反応成分でもあり不明な点もあるため、さらに今後の研究が必要である。

以上の講演に対して、るつば材質の影響、ガス側物質移動抵抗の評価法に関連して吸着、解離過程の圧力依存性について討論された。

(討 8) ガス吹込みプロセスにおける窒素-溶鉄間反応と容量係数

(豊橋技術科学大学 川上正博ほか)

20 kg 容量の溶解炉の炉底のノズルより溶鉄中に  $N_2$  と Ar を吹き込み、吸窒と脱窒実験を行った。吸窒は液側の物質移動で脱窒はガス側の物質移動として反応の容量係数  $A_{kg}$ 、 $A_{km}$  を求めた。ステンレス鋼と炭素鋼の  $A_{kg}$  は 2 倍の差があり、ガス側の物質移動のみでは説明できない。浴表面での反応の影響を差し引いた  $A_{km}$  はガス流量の 0.65 乗に比例し、溶鉄での測定値と一致した。 $A_{km}$  と  $A_{kg}$  の活性化エネルギーはそれぞれ 30 kcal/mol、43 kcal/mol となり、溶鉄での値より大きい。

鉄鋼基礎共同研究会界面移動現象部会で実施された容量係数に関するアンケート結果をまとめ、容量係数は脱炭、脱水素、吸窒素の順に小となることを示した。

以上の講演に対して、上昇気泡と浴表面間の反応の寄

与の分離方法、 $A_{kg}$  と  $A_{km}$  の活性化エネルギーが拡散定数のそれより大きい理由、脱水素の容量係数と脱炭の容量係数の差が討論された。

(討 9) 極低炭素鋼の製造

((株)神戸製鋼所加古川製鉄所 勝田順一郎ほか)

RH 脱ガス装置の脱炭反応モデルを作り、モデルによる計算結果と操業データとの整合性、操業条件と脱炭速度の関係を論じた。反応場所として Ar 気泡と減圧下の自由表面を考え、溶鋼中の炭素の物質移動、界面化学反応、および、気相内物質移動の三過程を考慮して脱炭速度式を求めた。本モデルによる計算結果は操業データとよく一致し、反応モデルの妥当性を確認した。また、モデルを用いて、真空度、環流ガス流量、Ar 気泡径、溶鋼中の酸素濃度などが脱炭速度に及ぼす影響を検討した。本モデルでは 30 min 処理で 2 ppm まで脱炭される結果が得られ、実操業との差が認められる。この理由について、槽内付着地金の溶解の影響を論じた。

以上の発表に対して、Ar の初期気泡径の見積もり方について、1.2 mm なる値の妥当性が討論された。

(討 10) 極低炭素鋼溶製技術の改善

(住友金属工業(株)鹿島製鉄所 青木伸秀ほか)

RH 脱ガス装置における脱炭速度増大法に関する実験結果と極低炭素濃度領域での脱炭反応機構を考察した。脱炭速度の増大のために環流管径を 500 mm から 750 mm に、真空槽内径を 3000 mm から 3500 mm に拡大した。その結果 30 ppm 以下まで脱炭するに要する時間は 25 min から 16 min に短縮された。また、環流速度と脱炭速度について定量的な計算を行い、環流管径が 660 mm 以上では径の増大効果の小さくなる理由を明らかにした。

極低炭素濃度領域での脱炭反応を考察し、20 ppm 以下で反応速度が急低下する理由として CO 気泡の核発生可能領域と発生気泡の成長速度の両者が急減するためと考えた。

以上の講演に対して、処理中の酸素濃度の影響、核生成時の気泡径、処理開始時の早期高真空化と到達炭素濃度の関係、20 ppm 濃度領域で脱炭速度の急減する理由が討論された。

(討 11) 転炉と RH 脱ガス法による極低炭素鋼の迅速脱炭技術の開発

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 加藤嘉英ほか)

RH 脱ガス装置の脱炭反応速度の増大法として真空槽内酸素上吹き法、および、各種操業条件と脱炭速度の関係を論じた。脱炭のために必要な酸素濃度の付加と二次燃焼による溶鋼の温度降下防止に酸素上吹き法は効果的である。脱炭反応機構を明らかとするために、処理溶鋼量を 300 t から 240 t に減少させる実験を行い、脱炭反応の容量係数の増大法を検討した。また、取鍋内の溶鋼混合と脱炭反応の関係を流体力学的に解析した。取鍋内は完全混合に近いが、不完全混合として解析する必要があることを示した。

以上の発表に対して、240 t 処理で期待値よりも脱炭反応が増大する理由、酸素上吹き法の着熱効率、脱炭に必要な酸素濃度の最適値、早期高真空化と到達炭素濃

度の関係について討論された。

(討12) RHにおける高速脱炭処理技術の検討

(NKK 鉄鋼研究所 井上 茂ほか)

RH 脱ガス装置における脱炭速度の増大方法を述べた。小型溶解炉実験で排気速度の増大効果を、モデル計算で環流速度の増大効果を確認し、実機の排気速度と環流速度を増大させた。その結果、15 min の処理時間で 15 ppm 以下の炭素濃度が得られた。さらに、水モデル実験で真空槽内への Ar ガス吹込み法を検討し、実機試験を行った。炭素濃度が 30 ppm レベルでの CO ガス発生速度に等しい 800 Nl/min の Ar 吹込みにより、200 ppm から 15 ppm までの脱炭所要時間は 3~6 min 短縮される。Ar 吹込みは反応界面積の増大に効果があり、800 Nl/min の吹込みで反応界面積が 1.6 倍に増大されるものと推算した。

以上の講演に対して、Ar ガス流量や吹込み方法などの操業条件、到達炭素濃度の低減に対して重要な操業条件、早期高真空化の程度について討論された。

(討13) RHにおける脱炭挙動の解析および操業改善

(新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 東 和彦ほか)

RH における脱炭の主反応場所について解析し、結果を実操業に反映させた。真空槽内、上昇管と下降管直下から採取した試料の分析値から主反応場所を求めることはできなかった。そこで、上昇管内での脱炭について単一気泡モデルで計算したが実績の脱炭速度を説明するには初期気泡径が 0.2 cm 以下となり現実的でないことを明らかにした。ついで、真空槽内のスプラッシュによる脱炭量を解析したがこの反応も実績値の説明には不十分であった。真空槽内の浴表面と浴内での脱炭反応について解析し、平衡圧力に加えて 0.01 atm の気泡生成圧力を考慮すると実績値の説明が可能であった。この結果に基づき、環流速度の増大に加えて槽内 Ar ガスを吹込みを行い、10 ppm 以下までの脱炭の可能なことを明らかとした。

以上の講演に対して、槽内ガス吹込みが脱炭速度を増加させる機構、真空度の向上と酸素濃度の増加の脱炭反応速度向上への寄与率、Ar ガス吹込みの場所について討論された。

本討論会においては、基礎的研究を除くと主として RH 脱ガス装置による極低炭素鋼製造について討議されたが、必ずしも統一的な見解が得られておらず、たとえば極低炭素濃度域における脱炭の停滞の原因、反応界面の特定、最適なアルゴン原単位、反応モデルの確立などを今後も検討してゆく必要がある。

本討論会は盛会裡に終始し、活発な討論が行われたことに対し、講演者、参加者の方々に深く感謝いたします。

### Ⅲ. 表面処理鋼板の成形性

座長 理化学研究所

林 央

副座長 川崎製鉄(株)鉄鋼研究所

角山 浩三

薄板成形に供される薄鋼板は近年表面処理化が積極的に進められ、各種の防錆鋼板が開発されている。特に防錆性能向上が強く求められる自動車車体への各種亜鉛めっき鋼板の使用比率は急速に高まっている。世界的にも亜鉛めっき鋼板に対する関心は高まっており、昨年 9 月に東京で開催された日本鉄鋼協会主催の GALVATECH '89 には世界各国から多くの参加者を迎え、活発な討論が展開されたことは記憶に新しい。

表面処理鋼板の二次加工においては、めっき層の剝離、押込み疵などの表面損傷が発生し、プレス作業効率の低下や防錆性能の劣化をもたらすと同時に、めっき層の存在が成形特性にも影響を及ぼし、従来の冷延鋼板と比較して成形上の問題が多いことが指摘されている。本討論会は表面処理鋼板を使用するサイドと製造するサイドの技術者・研究者が一同に会し、成形上の問題点を明らかにし、その解決の方向について議論することを目的に開催された。

(討14) 合金化溶融 Zn めっき鋼板のプレス成形性向上

(トヨタ自動車(株)第二生技部 森下忠晃ほか)

合金化溶融 Zn めっき鋼板 (GA) の耐食性のいっそうの向上を図るためにめっきの厚目付化を施すと、割れが発生し成形の不安定を招くこととめっき層の剝離が起こりやすくなるという問題が生じる。厚目付化によりめっき層内部の Fe 濃度変化が大きくなり、表面には Fe 濃度の低い  $\delta$  相が、地鉄との界面には Fe 濃度の高い  $\Gamma$  相が厚くなる。 $\delta$  相は軟質で表面に存在すると金型との凝着を生じ、摩擦抵抗を増加させ、割れ不良を誘発する。また、 $\Gamma$  相は脆いためにめっきと地鉄との密着力を低下させ、フレーク状の剝離が生じやすくなる。

この対策としてめっき表面に硬質の Fe リッチ上層めっきを行いその効果を調べた。ドロービード試験の結果から硬質の上層めっきにより凝着が抑制され、工具との摩擦抵抗が減少し、さらにめっき層の剝離も抑制されることが確認できた。実部品の成形においてもこの効果は確かめられ、安定したプレス成形が可能になった。表面処理鋼板の成形においては、機械的特性や皮膜特性だけでなく、摩擦特性も含めた成形性の検討が重要である。

(討15) 自動車用各種 Zn 系表面処理鋼板のプレス成形性

(NKK 鉄鋼研究所 由田征史)

日産自動車(株)第3技術部 菱田祐次ほか)

表面処理鋼板はプレス現場においては材料流入量の変化による成形成績の変動やめっき皮膜の剝離による表面欠陥の発生など従来の冷延鋼板に比べ成形上の問題点が多い。これらの問題を事前に予測するために実部品による成形可能領域の調査を行うとともに、適正に評価し得