

は一括して主要な論点と代表的発言を紹介する。

1. モデルの相似性とレースウェイの形成機構

1) 2次元モデルの相似性—2次元モデルでもガス流れやレースウェイの形状が3次元的となるような配慮をしてあれば、その限りで一応問題はない。ただしガス流れの拡がりについては問題がないとはいえない。

2) コールドモデルの高温系への相似性—i) レースウェイ形成機構とも関係し、相似条件は明らかでない。ii) 形成機構についていえば、レースウェイ内ガス圧と外部コークス層荷重との釣合によって形成されるとするこれまでの力学モデルは不十分である。レースウェイ内でのコークスの運動を考慮して、ガスと静止コークス層とが流動状態にあるコークス層を介して釣り合うとみるべきである。

3) ホットモデルの実炉への相似性—i) 実験結果を無次元量間の関係として解析することによって相似性を成立させうる。ii) 相似条件の厳密な実現は難しいからできるだけ原形に近い条件で実験を行なうべきである。

2. レースウェイの形状と下方へのガス流れ

コークスの粒度や強度が適正であつて球形のレースウェイが形成される場合には下方への流れがあるが、三角形の場合にはそれがない。なおレースウェイ内でのコークスの粉化の原因は、レースウェイへの降下による熱衝撃と送風ジェットの効果による摩耗であろう。

3. レースウェイ内ガス上昇速度分布

i) レースウェイ上部におけるコークス充填密度は不均一とみられるので、小講演(4)における速度分布の仮定には問題がある。ii) この仮定は1次元分布に関するものであり、ガスの旋回を考慮していない点でも十分のものとはいえない。

4. レースウェイ内への融体の流入

i) 重油吹込の有無によりスラグ流入割合に大きな差があるという計算結果は、熱の効き具合の影響をうけやすい SiO_2/CaO を基礎としたためで、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ を基礎とすれば両者の差は小さい。吹込時の流入率は過大にすぎる。ii) 流入率の値は変動するもので、絶対値には問題がある。しかし実炉で羽口先に生降りがみられることからみて、レースウェイ内にスラグが存在するとみえることは妥当である。ii) レースウェイ内へは液体が流入しにくいという実験結果をえているが、試験高炉と実高炉とはレースウェイの占有面積比が異なるという事情があり、一般に後者の方が液体の流入が起こりやすい。

5. レースウェイと溶解帯高さ、レースウェイの最適な大きさ

i) 重油吹込の有無により燃焼帯温度、発生ガス量が異なるはずであるが、それによつて溶解帯はどのように変わるか。ii) この場合には重油吹込時の方が溶解帯が羽口により接近するとみられる。iii) レースウェイの最適な大きさはガス流と溶解帯の構造との関係の観点から検討すべきである。iv) 吹込重油の燃焼室という意味である大きさが必要である。v) 荷下がり条件からみて小さすぎではならないが、しかし球状の適正な形のものでなければならない。

6. コークスの燃焼と高炉の生産性

これについては基調講演者が座長の要請に応じ、大要

つぎのように発言した。「現在の高炉では燃焼帯におけるコークスの燃焼能力が生産性を規定するという状態でない。生産性は他の要因によつて規定される」

以上のように、討論は、燃焼帯の研究方法を別とすれば、帯の形成機構とコークス性状の役割、帯内でのガス速度分布、帯とその近傍での固・液相の流れ、帯と溶解帯との関係など、総じてこの帯の力学的、流体力学的機能をめぐって行なわれ、化学反応や高炉の生産性との関係などについての論及は不十分であつた。しかしこれらの諸問題が討論参加者の関心を集めたのは、それらが諸反応の進行状態の検討にさきだつて明らかにされるべき諸条件に関するものという意味でも、それらが高炉全体の機能にとつて決定的な意味をもつ溶解帯のあり方にかかわるものという意味でも、当然のなりゆきであつたというべきであろう。

提起され論議された諸問題には、今後の研究によつて解明されるべきものが多いが、この討論会を通じて、燃焼帯の容積、その形状とコークス性状およびガス流れとの関係、帯およびその近傍における気・液流分布、などの法則性について、新しい認識がえられたことは大きな成果であつた。

なおここにいちいち紹介できなかつたが、討論参加者から、燃焼帯の最適大きさや溶解帯との関係などの重要な問題提起、この種の研究そのものの方法論、小講演や討論全体の適切な評価などに関する発言があり、討論を活発に進めることができた。ここに付記して深謝の意を表明したい。

II. 鉄鋼製錬における界面現象

名古屋大学工学部金属工学科 工博

座長 坂尾 弘

1. 討論会の趣旨と計画

鉄鋼製錬反応は、ほとんどの場合、異相間における不均一反応であり、界面の挙動が非常に重要な役割を果たしていると考えられる。しかしこのような観点から研究が行なわれるようになったのは比較的最近のことでありそれも気体-液体の系を対象としたものが多かった。

そこで今回は主として液体-液体の系を対象として、界面の性質や構造、界面における反応、界面を通しての物質移動、実際操業にみられる界面現象などを問題にとりあげて討論会を計画した。

応募講演のうちから、討論会が基礎から応用へと一つの筋書に沿つて進行するように考えて、つぎの4篇を選んだ。

(討2) CaO-SiO_2 系スラグ-溶鉄界面を通しての Fe の移行に伴う接触角と界面張力の変化

九州工業大学

○向井 楠宏

〃 大学院(現三菱重工(株)) 古河 洋文

〃 大学院 土川 孝

(討3) 溶鋼のスラグによる脱硫のさいに見られる界面現象について

大阪大学工学部 荻野 和巳

〃 ○原 茂太

(討4) 連鑄鑄型内における熔融フラックスへの固体

アルミナの溶解機構

川崎製鉄(株)技術研究所 ○中戸 参

〃 江見 俊彦

〃 江島 彬夫

(討5) 上吹転炉内スラグのフォーミング現象について

新日本製鉄(株)生産技術研究所 ○立川 正彬

〃 島田 道彦

〃 石橋 政衛

〃 白石 惟光

2. 講演および討論の要旨(鉄と鋼, 60(1974)No. 2 附録参照)

2.1 (討2) について

本研究は界面の性質と直接関係がある問題で、今回の討論のうちでは最も基礎的なものである。CaO-SiO₂系スラグと溶鉄間の接触角 α 、および界面張力 σ_{ms} の経時変化を測定し、結果を主として、不可逆過程の熱力学の立場から解釈しようとしたものである。本研究の特色は、まず測定方法にあり、溶鉄上に溶融スラグを長時間とどめておくために白金バスケットを用いて目的を果たした。つぎに接触角 α の経時変化に最小値が現われるという測定結果を、界面の流れと、物質の流れの連結現象として解釈した点にある。これらは他方では問題点となり討論の中心的課題となった。

討論はつぎの諸氏によつて行われた。(討論順)

(i) 江見 俊彦(川崎製鉄技術研究所)

(ii) 白石 裕(東北大学選鉱製錬研究所)

(iii) 川合 保治・○森 克己・岸本 誠
(九州大学工学部)

(iv) 森田善一郎(大阪大学工学部)

討論をその内容により大別すると、(1)測定値の精度および、これが結果の解釈にどのように影響するか、(2)測定結果の表現および整理の方法、(3)現象論方程式による結果の解釈に対する討論である。

2.2 (討3) について

本研究はCaO-Al₂O₃-CaF₂系スラグによる溶鋼の脱硫反応過程を反応速度論および界面化学にもとづいて検討したものである。本研究の特色は、脱硫反応が進行している場合の界面状況を透過X線により観察し、界面のみだれおよび界面張力の経時変化の様子が脱硫反応の過程と対応しているという結果を得た点にある。さらにメタルとスラグの接触方法が界面張力の経時変化に著しい影響を与える点も注目された。

討論はつぎの諸氏によつて行われた。

(i) ○大谷 正康・世良田勝彦

(東北大学選鉱製錬研究所)

(ii) 吉井 周雄・○石井 邦宜・河合 隆成

(北海道大学工学部)

(iii) ○野崎 努・大井 浩

(川崎製鉄技術研究所水島研究室)

(iv) 成田 貴一(神戸製鋼所中央研究所)

討論の主な課題をあげると、(1)復硫現象を支配する要因について、(2)脱硫反応においてスラグ-メタル界面にみだれを生ずる機構、(3)スラグ-メタルの接触法により界面張力の経時変化に著しい差を生ずる理由など

になる。

2.3 (討4) について

本研究は薄鋼板用アルミニウムキルド鋼の連铸における適切なフラックス組成を見出すため、アルミナの溶融フラックスへの溶解過程について考察したものである。まず溶鋼から溶融フラックスへのアルミナの移動を界面における自由エネルギーバランスの点から検討して、これが可能なことを確かめた。ついで溶解速度が溶融フラックスのCaO/SiO₂比、NaF濃度の増加とともに大きくなる結果を得た。特にCaO/SiO₂比が1.1をこえると溶解速度が急に大きくなるが、これは溶解の律速段階が物質移動から化学反応に移行するためであると考えた。

討論はつぎの諸氏によつて行われた。

小舞 忠信(新日本製鉄名古屋製鉄所)

大河平和男(新日本製鉄八幡技術研究所)

杉谷 泰夫(住友金属工業中央技術研究所)

宮下 芳雄(日本鋼管技術研究所)

本研究は、実験結果の解釈における興味もさることながら、連铸におけるフラックスの適切な選択という実用上の意義が大きく、討論は両者にわたった。前者としては、(1)アルミナの溶解速度に対するNaFの影響の機構、(2)CaO/SiO₂=1.1を境として溶解の律速段階が変化する機構について討議があり、後者としては、(1)アルミナの溶解速度だけが適切なフラックス選択の指針になりうるか、(2)フラックス内でのアルミナの局所的偏在の影響をどう考えるかなどについて討論があつた。

2.4 (討5) について

この論文は、転炉吹錬時のフォーミング現象を制御する目的で、炉内スラグの高さを測定し、これに及ぼす種々の要因を調査したものである。スラグ高さの変化速度は泡沫の生成および崩壊速度で決まり、さらに崩壊過程は時定数をもつた現象として表わすことができた。ついで泡沫の生成、崩壊に対する諸条件の影響について検討しスラグ高さの制御法に対する2, 3の知見を得た。なお粘性や表面張力がフォーミング現象に関係することは十分推測できるが、現象の理論的解析には、そのモデル自体の問題のほかに、物性の面からも困難が多いと述べている。

討論はつぎの諸氏によつて行われた。

後藤 和弘(東京工業大学)

榊井 明(日本鋼管技術研究所)

今井 卓雄(川崎製鉄千葉製鉄所)

水谷 誠(住友金属工業小倉製鉄所)

討論の内容を要約すると、(1)スラグ高さの変化速度 $dH_s/dt = Q - (H_s - H_{s,\infty})/\tau$ についての解釈、意義あるいは有用性、(2)泡沫の生成および崩壊の機構ならびにこれらをスラグの表面張力、粘性などの物性で解釈することの妥当性、(3)実操業の経験と本研究との差異あるいは関連について討論があつた。

2.5 討論全般について

討論会を終わつていろいろ反省すべき点が多いと感じた。まず、どの講演もそれぞれについては活発な討論が行われたが、時間の都合もあつて総合討論は不十分であつた。また当初、計画した、各講演の間の基礎的問題

から応用へというつながりは形式的にはあつたが内容的には今一步というところであつた。これらはいずれも討論の範囲を広げすぎたことに大半原因があり、問題点をさらにしぼる必要があつたと反省している。特に後半の(討4)および(討5)はそれぞれこの問題だけをとりあげて討論する必要がある、その価値があろう。しかし今回の討論会は、これを出発点として、つぎへの問題提起を行なつたという意味で一定の成果があつたと思う。今後適当な間隔でこの分野の討論会が開かれるよう希望したい。

3. あとがき

討論会における各氏の質疑および講演者の回答は、文書として司会者の手許にあるが、紙数の都合で逐一の掲載はできなかつた。関係の方々の御了解を得たい。

最後に、本討論会の立案から実施に至るまで終始変らぬ御援助をいただいた郡司好喜(金材技研)、中村泰(新日鉄基礎研)、江島彬夫(川鉄技研)の諸氏に誌上を借りて謝意を表するしだいである。

III. 鋼の破壊靱性

東京工業大学精密工学研究所 工博

座長 田中 実

本討論会は4月3日午後1時より約3時間にわたつて4編の講演を中心として、約150人の会員の出席のもとに行なわれた。これらの発表講演の概要は、「鉄と鋼」60年2号(昭和49年2月)の巻末に添付されている。

第1の講演は、「鋼材の脆性破壊試験法と溶接構造物の安全性評価の現状」であり、新日本製鉄・製品技研の三波建市氏(共同発表者:金沢正午,谷口至良,征矢勇夫,萩原行人)によつて発表された。

大型化された構造物に対して脆性破壊の防止を目的とした材料の選択、欠陥の評価について、破壊力学的な靱性尺度として曲げCOD試験による亀裂開口変位 ϕ を中心に論じ、あわせて破壊靱性値 K_{IC} および限界塑性域寸法 ρc^+ などとV型切欠試片によるシャルピー値との相関についても従来の研究結果の展望が述べられた。

これに対して越賀房夫(日本鋼管・技研)および雑賀喜規(石川島播磨重工・技研)の両氏よりコメントが提出された。

越賀氏は、鋼材の脆性破壊事故防止に対し、破壊靱性値のみを高くすることは、過剰品質化の傾向を必要以上に強める結果となるので、良質な鋼材の製造に心掛けることは当然であるが、(i)適正な設計、(ii)十分な施工管理と検査の徹底化および(iii)明確な使用条件などを均衡に考慮して問題に対処すべきであろうと示唆し、溶接構造物の脆性破壊は、そのほとんどが溶接接手部から発生するので、発生防止の研究は、亀裂伝播阻止のそれに比べればはるかに複雑であるとしても、この複雑さを克服する価値は十分に高いものであらうと強調した。さらにV型切欠試片のシャルピー試験結果の効用として鋼材の品質管理(QC)に役立つものであり、破壊力学的検討結果による設計基準を、このQC的なシャルピー試験結果の目安に反映させることが、脆性破壊事故防止の方法であらうと述べた。

雑賀氏は、溶接用鋼材について測定せられている破壊靱性値を実際の部品にいかに応用すべきかが第1の問題点であり、三波氏が紹介した表2:压力容器における許容欠陥寸法、について多少の疑問を述べるとともに、第2の問題点として検出された欠陥をどのように評価すべきかを挙げ溶接構造物の安全性を留意する技術者としては、おのずからあまり大胆にはなりえないと論じ、設計に当つては、実際の部品に近いものについての破壊試験が実施される傾向にある現状を指摘した。

以上の第1の講演およびこれに対するコメントについては、金沢武氏の解説(日本機械学会誌, 75(1972)No. 642, pp. 60~69)を参照されると理解しやすいであらう。

第2の講演は、「テーパ形DCB試験の開発とNi添加鋼板の脆性破壊伝播停止特性について」であり、住友金属工業・中央技研の川口嘉昭氏(共同発表者:長谷部茂雄)によつて発表された。

鋼材の破壊靱性値(K_{IC})を直接測定しうる小型試験法の開発は、この種の研究に従事する人々の願望であり、この講演では、試片の亀裂発生部の切欠先端に脆い溶着鋼をおき、試片の形状をテーパ形にしてDCB試験を試みている。この場合、 K_C 値を求める際に、種々なる亀裂長さ a についての試片のバネ常数 M を求めて、この関係曲線の微分値($-dM/da$)を図上から推定することが必要になる。実験に当たつて、この微分値の推定が困難であり、 K_C 値の精度を劣化させる。この点が討論者の布村成具氏(東京工大・精研)から指摘されたことは当を得たものであつた。講演者らは、この困難を避けるために a と M との曲線を $\beta \exp(\alpha - \beta a)$ 、ここに α と β は常数、なる実験式で近似している。この式は物理的意義を有するものではないが実験手法としての一つの試みであり、求められた K_{IC} 値の精度がある程度満足されるものであれば工学的には許されるであらう。この点については今後の資料の蓄積が期待される。

川口氏は、上記の手法により、低C-Mn構造用鋼にNiを添加した場合の脆性破壊伝播停止特性を調べ、Niの添加が有効であることを示した。またこの伝播停止特性と、シャルピー衝撃特性とに対するNiの影響には、必ずしも一致した傾向が認められなかつた。この種の試験の比較検討は、鋼材の金属組織と関連させて今後も広く行なわれるべきであらう。この講演に述べられた破壊靱性値の測定法については、小倉信和氏の解説(日本機械学会誌, 75(1972), No. 642, pp. 93~100)が参考にならう。

第3の講演は、「高張力鋼の靱性におよぼす組織とその他の要因について」であり、大阪大学の荒木孝雄氏(共同発表者菊田米男)によつて発表された。これは、80 kg/mm²級高張力鋼の等温変態および連続冷却変態処理により得られた各種金属組織状態の衝撃試験の結果について、オーステナイト粒度、フェライトラスの厚さあるいはセメンタイトの平均間隔と遷移温度の関係の報告であり、溶接接手部近傍で切欠靱性が低下することを考慮しての試験結果である。この講演に対し、須藤一氏(東北大学)は、鋼材の靱性におよぼす金属組織の影響について、とくに粒界破断が認められぬ場合には、フェラ