

第91回講演大会討論会報告*

I. 製鋼における脱燐と低燐鋼の製造

東京大学工学部 工博

座長 松下 幸雄

製鉄原料事情は溶銑の燐含有量を上昇させる傾向にあり、製鋼の負荷が増す一方、鋼材品質への要求は低燐化に向っている。この討論会では、材質に対する燐の影響を若干の特性面から検討するとともに、脱燐と復燐の機構を考え、さらに実用上いかなる対策が有効であるかを討論するものである。

討1は細井祐三(新日鉄・基礎研)による「鋼の特性よりみた脱燐の必要性」であり、燐の影響の大きい焼戻し脆性、引張り強度、延性、溶接性、耐食性、応力腐食割れ性について概説している。鋼材の使用目的によりどの特性を重視するかが異なるので、脱燐の要求は一概にいえませんが、たとえばオーステナイトステンレス鋼の応力腐食割れに対しては約50ppm以下が目標であるといっている。なお、今後は製鋼と材質の研究者が一層協力しながら、問題を一つ一つ解決してゆくべきであると強調している。

これに対し、小指軍夫(鋼管・技研)は低温靱性、溶接性の面から意見を述べ、一般的な許容燐量については鋼材の用途とコストの両面から総合的に考える必要があるといっている。鎌田晃郎(川崎製鉄・技研)は焼戻し脆性と溶接における高温割れについて燐の影響を述べ、燐は硫黄とともに偏析しやすい元素なので、これを考慮に入れた許容限度を論ずべきであるといっている。小若正倫(住友金属・中研)は炭素鋼の酸による腐食、ステンレス鋼の応力腐食割れを例にとり、燐の影響は鋼材の使用環境によって著しく異なるので、実際の環境条件で脱燐の必要性を考えるべきであるといっている。行俊照夫(住友金属・中研)は燐の悪影響の反面、高速増殖炉用燃料被覆管(SUS 316)などでは燐を低下させるとクリープ破断強度が著しく低下する例もあると述べた。鈴木健一郎(川崎製鉄・技研)は製鋼面で低燐化に努めることも必要であるが、燐の粒界偏析を低減するような方向についても開発が必要であると強調している。

討2は森克巳(九州大学工学部)他による「溶銑-スラグ間の燐の移動速度」であり、実験室規模で溶銑の脱燐と復燐の反応速度を調べ、燐の移動律速を前提として溶銑側ないしスラグ側境膜の寄与を論じている。

これに対し、萬谷志郎(東北大学工学部)は、(1)脱燐反応は $2P + 5O \rightarrow (P_2O_5)$ でなくスラグの酸化鉄を考慮に入れて $(FeO) \rightarrow Fe + O$, $2P + 5O \rightarrow (P_2O_5)$ を基にすべきである、(2)燐の移動は酸素の移動と併せて考えるべきである、(3)復燐反応が Al, Si の添加によって促進される事実も、前項の立場で考える必要がある、(4)脱燐反応を電気化学反応で取扱うのはよいが、 Fe^{3+}

$3e \rightarrow Fe$ の還元は $Fe^{3+} + e \rightarrow Fe^{2+}$, $Fe^{2+} + 2e \rightarrow Fe$ の2段階で考えるべきであるなど述べた。荒谷俊夫(川崎製鉄・技研)は脱燐と復燐とで律速段階が異なる理由、また界面反応も考えた混合律速の可能性、復燐におよぼす脱酸元素の影響などについて討論した。鈴木健一郎(川崎製鉄・技研)は燐の分配に関する HEALY の式の適用範囲、反応界面積の評価、脱燐時に溶銑の酸素を支配する因子、スラグにおける燐の濃度分布などについて討論した。

討3は数土文夫(川崎製鉄・千葉)他による「2回吹錬法による低P鋼の製造」であり、85t 転炉で高Mn鋼を実験溶製した結果を述べている。予備吹錬は通常時の40%送酸時点で終え、出湯排滓後通常と同じ吹錬を行なうて鋼塊燐50~80ppmを得ている。

これに対し、田口喜代美(鋼管・福山)のコメントは2回吹錬法のメリットとデメリットを挙げ、転炉能率の阻害、コストアップ、スラグ量の増大などに対する対策を提案している。丸川雄洋(住友金属・鹿島)は予備吹錬吹止時期におけるスラグ組成、予備吹錬後出湯時における若干の脱燐現象などについて討論した。

討4は岡崎卓(住友金属・中研)他による「転炉における低燐鋼溶製法について」であり、ダブルスラグ法によらないで自溶性合成造滓剤を用いる転炉での脱燐促進、転炉滓-酸化鉄系脱燐剤による溶銑の炉外脱燐処理を述べ、この処理溶銑を転炉で吹錬すると燐含有量が40ppmまで低下するといっている。

これに対し、梶岡博幸(新日鉄・生産研)は溶銑の脱燐処理につき、45t規模で高い脱燐率が得られるための条件、低燐銑を転炉で使用する場合前回ヒートの影響で吹止燐が低下しないことがあるなどを討論し、自溶性合成造滓剤についてはスラグ量が増大しスロッピングが発生しやすいこと、またダブルスラグ法と比較して技術的、経済的にどのような差があるかについて意見がかわされた。

討5は片山裕之(新日鉄・生産研)他による「溶銑の転炉外脱燐処理について」であり、1t および 30t 規模で溶銑を攪拌しながら酸素を上吹し、かつ副材料を投入してスラグ化させ脱炭を抑制しながら脱燐するものである。なお、この処理溶銑で低燐鋼を溶製するには、燐による汚染を少なくするため低燐鋼を数ヒート連続溶製することが望ましく、これが不可能ならば出鋼時の二次脱燐処理が効果的であるといっている。

これに対し、新谷光二(北大工学部)は円筒形ローターで溶銑に攪拌を与えながら酸素吹精によって低燐化した経験から質疑を行なった。佐野信雄(東大工学部)は全スラグ量の減少、転炉スラグの粉化防止、石灰の節減などの観点から転炉の優先脱炭、溶銑の二次脱燐について討論した。伊東修三(神鋼・神戸)は低燐および低硫へへの指向について概括的なコメントを述べ、溶銑予備脱燐技術については予備脱硫技術との関連で実用性、生産性、経済性などを討議した。また、転炉における各種

* 本報告は昭和51年4月4, 5, 6日に行なわれた第91回講演大会における討論会のまとめです。

の低燐対策につき生産コストと生産性の指数比較を行なつて意見を交換した。江島彬夫（川崎製鉄・技研）は溶銑の炉外脱燐処理を併用する低燐鋼製造プロセスと2回吹錬法の比較について意見を述べ、転炉出鋼時の二次脱燐処理については温度降下の補償とその全工程への影響を討論した。

討6は中村泰（新日鉄・基礎研）他による「ESR工程におけるCa-CaF₂融体による脱燐」であり、金属CaがPと親和力の大きいことを利用し金属Caを含む安定なクラックス中でSUS 304, S50C, 25Crなどを精錬（ESR法）して極低燐化を達成している。

これに対し、後藤和弘（東工大工学部）は本原理を炉外脱燐へ適用する実用性、Pの見掛けの分配比とフラックス中Ca濃度の関係について討論した。この後者については鈴木健一郎（川崎製鉄・技研）も意見を述べ、さらに実用段階（ESR法によらない）における問題点を指摘した。

以上、本討論会は4時間の限られた時間内で6件の論文について討論するというやや無理なスケジュールで、自由討議に当てる時間が事実上なかつたことは大変残念である。しかし、この種のテーマがまとまつて討議されたのははじめてであり共通した話題を中心に考える基盤は固まつてきていると考える。今後の問題点は、各論文に対する質疑、コメントをめぐる討論内容にほぼつくされておられ、このような機会が繰返されることによつて技術レベルも向上し、鋼材の要求に対応するプロセスも確立されてゆくものと思われる。

II. 大型鋼塊の凝固と品質

(株)神戸製鋼所鑄鍛鋼事業部

座長 鈴木 章

各種機械の大型化は、その部品としての鍛鋼品の大型化をもたらし、500 t 鋼塊も製造されている。これらの鍛鋼品への品質要求は、その使用条件の厳しさから、大型になつてもゆるめられることはなく、かえつてきびしくすらなつていく。したがつて、大型鍛鋼品の品質に決定的な影響をもつ大型鋼塊の品質が問題であり、従来もいろいろな調査、研究が行なわれてきた。これまで経験の豊富な大型鍛鋼品メーカーの方々に、最近の研究結果を報告し、相互に討論していただくことができたので、その概要を報告する。

1) 鍛造用大型鋼塊の凝固と内部性状

川崎製鉄 松野・大井

30~100 t 鋼塊の凝固の進行を、バーテストによる実測と伝熱計算による解析とを対比し、水平方向の凝固速度は両者比較的よく一致するが、垂直方向の凝固速度は沈澱品の堆積により、実測値が大きくなる。

また、鋼塊の上下方向のマクロ偏析を沈澱品の沈降による物質移動のモデルにより解析し、実際の鋼塊の偏析結果と一致することを示した。

沈澱品の生成場所および時期についての質問に対し、水平方向の凝固が計算値よりおくれる時期があり、この分が沈澱品の堆積に対応すると考え、したがつて沈

澱品の生成場所は、主として側面柱状晶帯ということになるとの返答があつた。

また、100 t 鋼塊について逆V偏析線の状態を調査し、最大2 mに及ぶものがあり、ほとんどが鉛直面内に存在することから、偏析線はデンドライトが成長すると同時に（リムド鋼の気泡のように）成長するのではないかと提案された。

2) 大型鋼塊の凝固と健全性について

日本鑄鍛鋼 田代・渡辺・田村

有限要素法を用いて大型鋼塊の凝固パターンを計算し65 t 鋼塊の押湯枠および鑄型中の測温結果とほぼ一致することを示したので、その計算条件により大型鋼塊の凝固パターンを求め、押湯径絞り比（押湯下部径/鋼塊上部径）と鋼塊高径比の縦凝固速度に及ぼす影響を調べた。押湯径絞り比がほぼ同じ場合、高径比が小さい方が最大凝固速度が小さく、また高径比が同じ場合には押湯径絞り比が大きい方が最大凝固速度が小さくなる。そしてポロシティは凝固速度が加速するところで多くなつており、逆V偏析は水平方向の凝固速度が0.8 mm/minのところよりも内部に生成することを示した。

討論で、明確な結論はえられなかつたが、伝熱計算に有限要素法と差分法のどちらが有利かとの問題が提起された。

押湯高さを±20%変えても本体の凝固パターンには変化がなかつたし、押湯枠の断熱板の厚さを2倍にしても差がないという結果がえられたが、押湯の寸法などは偏析を考慮して決める必要があるというのは妥当な結論であろう。

3) 50 t 鋼塊に出現した巨大介在物の生因について

日立製作所 門瀬・吉岡・新山

50 t 鋼塊から製造した3% Ni-Mo-V 鋼の発電機軸材で発見された巨大な非金属介在物の成因を、介在物の組成、凝固進行状況と介在物の存在位置ならびに鋼塊製造時の電弧加熱中断というアクシデントと結びつけて、検討解明した。介在物の大きさは、軸材横断面で50 mmもあり、その組成にはAl₂O₃が多量に含まれていた。Alで脱酸していないので、Al₂O₃の源泉としては使用したAl系発熱保温剤およびスカムが考えられた。押湯保温剤の燃焼を主体として形成されたスカムが、鋼塊内部に沈降する機構として、電弧加熱の中断により生成した押湯上表面の凝固層が、電弧加熱の再開により部分的に再溶解し、沈降するというもので、これを伝熱計算から求めた凝固進行状況と介在物の存在位置とが一致するという事で裏付けている。

4) 鍛造用大型鋼塊の凝固組織と内部品質

神戸製鋼 岩田・戸田・新実・三浦・永田

3.5Ni-1.75Cr-Mo-V 真空C脱酸鋼の55 t 鋼塊の凝固組織、偏析、介在物の分布などを調査した。柱状晶帯、分枝柱状晶帯の占める割合が非常に大きく、沈澱晶帯は非常に狭く、逆V偏析は押湯下端に僅かだけしか認められなかつた。

デンドライトの2次アームの間隔、Lと冷却速度、Rの間には $L=AR^B$ の関係があり、常数Bは-0.33~-0.4の間にあるが、Aは合金によつて変化する常数である。一方向凝固により求めたこの鋼のAは368で、25