

報 告

第6回日ソ製鋼物理化学合同シンポジウム報告

合同シンポジウム実行委員会

Report of the 6th Japan-USSR Joint Symposium on Physical
Chemistry of Metallurgical Processes

1. 第6回日ソ製鋼物理化学合同シンポジウム開催にいたるまでの経緯

前回の標記シンポジウムは、1975年5月19日～29日にわたつてソ連邦で開催され、その概要は日本鉄鋼協会訪ソ学術使節団によつて報告されている(本誌 61 (1975) 15, p. 3167～3188参照)。それにも触れられているように、第6日シンポジウムは1977年5月～6月を目途に日本で開催することとし、アゲエフ科学アカデミー会員を団長とする使節団を受入れることとなつた。また、その主題は当方の提案に沿ひ書簡の交換によつて決定することとした。

使節団の受入れに当つては、原則として第5回シンポジウムの日本側参加者が実行委員会を構成する手筈で、とりあえず当時の団長松下幸雄が先方と予備段階の交渉を行なつた。その結果、大筋の合意に基づき1975年12月19日準備委員会が招集され、シンポジウム主題は「非金属介在物と偏析」、その具体的内容は下記のように決定した。

1. 非金属介在物

a) 介在物の性状

- i) 生成の機構
- ii) 分布
- iii) 形態
- iv) 組成
- v) 熱間変形抵抗
- vi) その他

b) 介在物の鋼質におよぼす影響

- i) 機械的性質
- ii) 溶接性
- iii) 耐食性
- iv) 被削性
- v) その他

2. 凝固過程における偏析

a) マクロ偏析

- i) インゴットのV偏析、逆V偏析および負偏析
- ii) 連铸鑄片の中心偏析

b) ミクロ偏析

c) 偏析の鋼質におよぼす影響

また、開催時期は1977年5月16日より約2週間、シンポジウムは16日～18日の3日間、その後工場、研究所などの見学ということにした。論文数は双方合わせて20～25の従来の線に沿ひ、第6回は本シンポジウムの10周年に当ることからそれに伴う記念行事も検討することになつた。

その後若干の準備段階を経て、1976年6月29日の日本鉄鋼協会理事会において、シンポジウムの開催計画ならびに実行委員会の設置が承認され、同年7月2日以降公式の準備活動を行なつた。正規の実行委員会は前記7月2日、1977年2月17日および5月9日の3回であつたが、その間緊急連絡のため累次にわたつて在京委員を煩せた。なお、実行委員会の構成は下記のとおりである。

委員長	松下幸雄	東京大学工学部
顧問	的場幸雄	新日本製鉄
	不破 祐	東北大学工学部
	盛 利貞	京都大学工学部
委員	浅野鋼一	新日本製鉄広畑製鉄所
	荒木 透	金属材料技術研究所
	一瀬英爾	京都大学工学部
	江島彬夫	川崎製鉄技術研究所
	小田光雄	住友金属工業中央技術研究所
	小野清雄	大同特殊鋼中央研究所
	郡司好喜	金属材料技術研究所
	坂尾 弘	名古屋大学工学部
	栢山太郎	鈴鹿高専
	鉛木是明	日本製鋼所室蘭研究所
	田畑新太郎	日本鉄鋼協会
	宮下芳雄	日本鋼管技術研究所

日ソ論文の交換は1976年12月末を目標に、日本側は依頼論文10編を選定し期日までに送付を終えたが、ソ連側論文10編とアゲエフ科学アカデミー会員の10周年記念特別講演原稿は分割送付や船便郵送などの手違いで1977年3月末にようやく揃ひ、しかも5月上旬に1編の追加があつたので、プログラムと前刷の作製、討論の事前依頼などに一苦勞であつた。その前刷については5月9日発行の Special Report No. 25, The Sixth Japan-USSR Joint Symposium on Physical Chemistry

of Metallurgical Processes を参照されたい。本シンポジウムは討論に重きをおいて運営することとしたため、従来形式の報告書は発行せず、前記の論文集に加えてシンポジウム討論集 (Special Report No. 25, Supplement) を刊行することとなつている。また、10周年記念日本側特別講演としては、本シンポジウムの創設に貢献された場幸雄先生を煩すこととした。

実行委員会のもう一つの苦勞は、使節団の構成が直前まで分らなかつたことで、しかも夫人同伴で来日される予定であつたアゲエフ科学アカデミー会員が健康上の理由で断念され、5月上旬に届いた書簡では使節団はバトリーン科学アカデミー会員を団長とする10名であるとのことであつた。結局公式にはそれ以外不明で、事務局の苦勞は並大抵ではなかつた。しかし、無事5月15日ドゥップ博士がSU 575便で、バトリーン団長他8名がSU 585便で来日し予定通り本シンポジウムを開催することができた。なお、日本側参加者は実行委員会が委嘱した約90名であつた。

2. 使節団の構成とシンポジウム日程

使節団は以下の10名であり、団長は上記のとおりバトリーン科学アカデミー会員である(アルファベット順に示し、便宜上英文名とする。また、上記の理由でシンポジウム当日配布の記載と異つている箇所がある)。

- BANNYKH, O. A. Deputy Director, A. A. Baikov Institute of Metallurgy
- DUB, V. S. Dr. Science, Central Research Institute of Engineering Technology
- EROKHIN, A. A. Professor, A. A. Baikov Institute of Metallurgy
- GABISIANI, A. G. Dr. Science, Institute of Metallurgy, Tbilisi
- LATASH, Yu. V. Dr. Technical Science, E. O. Paton Institute of Electric Welding
- REVVAKIN, A. V. Senior Scientific Worker, A. A. Baikov Institute of Metallurgy
- SHALIMOV, A. G. Director of New Metallurgical Technology, Central Scientific Research Institute of Iron and Steel
- TULIN, N. A. Vice Minister of Ferrous Metal Industry
- VATOLIN, N. A. Member of Academy of Science, (Head of the USSR Delegation) Director of Institute of Metallurgy, Vice president of Ural Scientific Center of Academy of Science

YAVOISKY, V. I. Professor, Institute of Steel and Alloy, Moscow

使節団は、5月15日正午前後に来日し翌16日から18日までシンポジウムに出席、19日からは休む間もなく見学旅行とかなりきびしいスケジュールで行動したが幸いさしたるトラブルもなくドゥップ博士は5月28日、他の9名は翌29日無事帰国の途についた。2日半にわたるシンポジウムおよび18日午後の特別講演については別項で述べることとし、16日夕刻は小林佐三郎会長招待の歓迎晩餐会(国際文化会館)、翌17日夕刻はシンポジウム10周年記念パーティ(経団連会館)と行事が続ぎ、使節団の疲労はかくせないように見受けたが両国間の友好親善を深めるには有意義であつた。19日以降のスケジュールについては各大学、研究所、事業所などのご協力で、順に東北大学、京都大学、住友金属中央技術研究所、大同特殊鋼星崎工場および中央研究所(同所訪問の際の記念撮影を同社のご好意で掲載する—写真1)、新日鉄名古屋製鉄所、日本鋼管京浜製鉄所および技術研究所、川崎製鉄千葉製鉄所および技術研究所、金属材料技術研究所が組込まれていたが、先方の要請により田畑新太郎専務理事の格別のご尽力と各社のご好意で、一部の変更と少数団員のための見学先追加(日本製鋼所室蘭、新日鉄基礎研、神戸製鋼中央研究所、日本真空技術茅ヶ崎など)があつた。ただし、次回の日本鉄鋼協会訪ソ学術使節団に対しては、その間の事情を考慮し日本側の要請を尊重するように申入れてある。

なお、この誌面をかりて見学旅行に同行した日本鉄鋼協会佐藤公昭技術部次長、各見学先在住の実行委員各位のご尽力に厚く感謝する。

3. シンポジウムの概要

会場は16、17日は経団連会館1001室、18日は都合により同会館904-5室であつた。1論文に対する割当時間は45minとし、討論には通訳を含めて30minを当てることとした。したがつて、ソ連側論文は露語による約5minの発表と実行委員(ラポーターとして論文ごとに選定)による日本語の解説約10minということにし、日本側論文は著者による日本語の発表約5minおよび露語通訳約10minの原則で進行したが、必ずしも円滑に消化されたとはいえずなお改善の余地と今後への課題を残している。通訳については3日間を通し、日商岩井(株)東西貿易部の長堀芳靖、中尾至、鈴木勇の諸氏を煩せた。また、各論文の討論のまとめについては後記の論文整理番号(4)、(5)、(6)、(7)、(14)は荒木透、郡司好喜両実行委員、(1)、(2)、(3)は坂尾弘、小野清雄両実行委員、(17)、(18)、(19)、(20)は浅野鋼一、一瀬英爾両実行委員、(8)、(9)、(10)、(11)、(21)は鈴木是明、宮下芳雄両実行委員、(12)、(13)、(15)、(16)は江島彬夫、小田光雄両実行委員が分担した。シンポジ

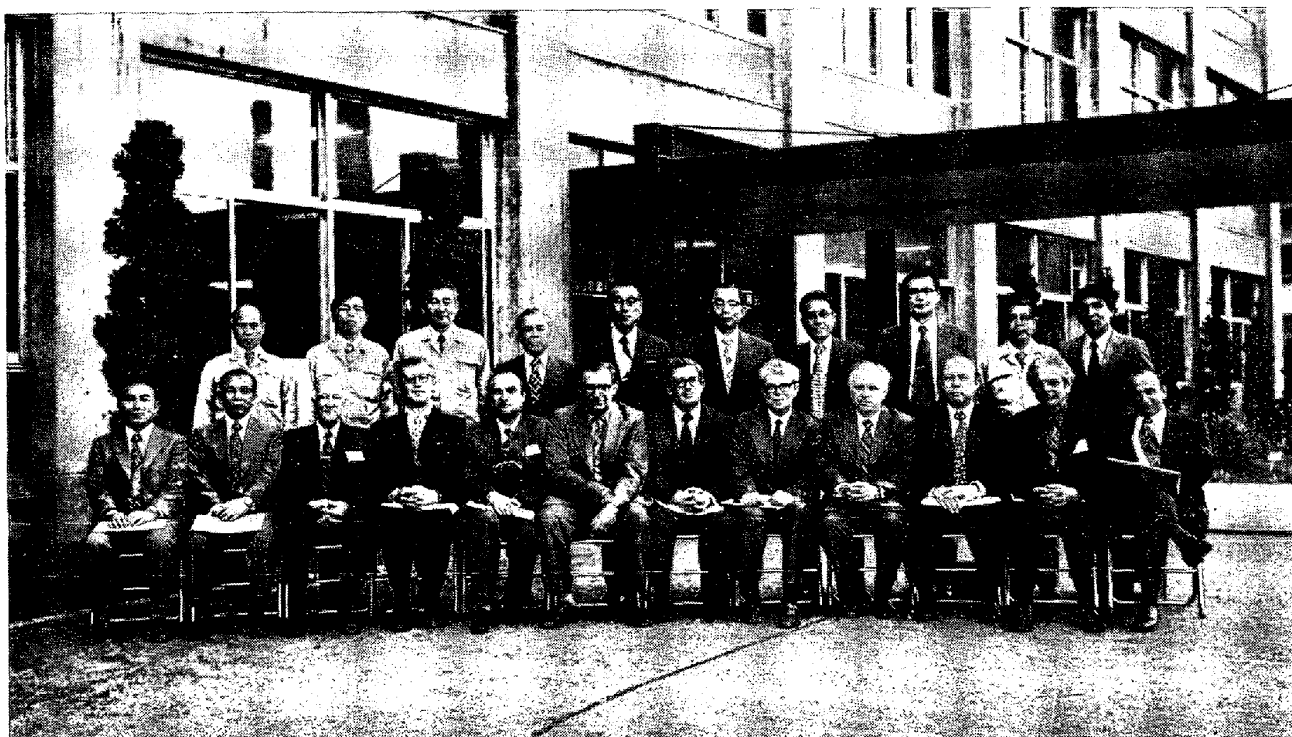


写真1 大同特殊鋼訪問時のソ連使節団

前列左端より佐藤公昭, 坂尾弘, エローヒン, ドゥプ, ラターシュ, トゥリン, バトーリン, ヤボイスキー, パンスフ, シャリモフ, レビヤーキン, ガビシアーニの諸氏。後列は大同特殊鋼関係者。

ウムの実施プログラムは下記のとおりである。なお、都合で論文整理番号と発表順序は必ずしも一致していない。

5月16日 午前の部(I)

開会挨拶 松下実行委員長, バトーリン団長

論文発表および討論 座長: バトーリン, 松下幸雄

以下発表者は*印で示し, ソ連側論文2編の代読者は著者名につづいて括弧内に示す。

- (1) 荻野和巳*, 西脇諄および野城清(大阪大学工学部): 溶鉄合金によるアルミナの濡れとスラグへのアルミナの溶解

午前の部(II)

論文発表および討論 座長: パンスフ, 坂尾弘

- (2) A. G. GABISIANI*, F. N. TAVADZE, and G. A. GONGADZE: 脱酸時における非金属介在物の生成 (ラポーター: 坂尾弘)

- (3) N. N. RYKALIN and A. A. EROKHIN*: プラズマーク再溶解における非金属介在物 (ラポーター: 小野清雄)

午後の部(I)

論文発表および討論 座長: エローヒン, 荒木透

- (4) A. G. SHALIMOV*: 軸受鋼の製鋼法-非金属介在物と軸受寿命 (ラポーター: 荒木透)

- (6) V. N. LEBEDEV, V. I. YAVOISKY*, V. A. OSNOVIN, G. I. SPERANSKAYA, G. M. CHURSIN,

V. N. SYROV, and S. I. JULIEV: 大型酸性鋼塊の組織の不均一性と非金属介在物 (ラポーター: 瀬英爾)

午後の部(II)

論文発表および討論 座長: ガビシアーニ, 盛利貞

- (7) 梨和甫, 森明義, 浦知(住友金属和歌山), 池田隆果*, 松野二三朗および石川遼平(住友金属中研): カルシウム添加鋼の非金属介在物と機械的性質

- (5) 丸橋茂昭* および長谷川守弘(日新製鋼周南): Fe-40%Ni 合金における硫化物の形態と分布

5月17日 午前の部(I)

論文発表および討論 座長: シャリモフ, 宮下芳雄

- (21) V. I. YAVOISKY*, A. F. VISHKAREV, S. A. BLIZNJUKOV, V. V. SAVINOV, and A. R. CAMALOV: 鋼の冷却時における脱酸過程 (ラポーター: 盛利貞)

- (9) N. A. VATOLIN* and A. A. ROMANOV: 鋼の凝固時における非金属介在物の生成機構 (ラポーター: 宮下芳雄)

- (10) 垣生泰弘*, 江見俊彦および北岡英就(川崎製鉄技研): アルミキルド鋼塊沈殿晶帯の大型介在物の集積機構

午前の部(II)

論文発表および討論 座長: レビヤーキン, 鈴木是明

(8) 森 一美および野村宏之(名古屋大学工学部):
鉄の凝固時における CO 気泡生成を支配する化学
反応

(11) 高橋忠義* (北海道大学工学部): 鋼塊の組織と
偏析におよぼす流動の効果

午後の部(I)

論文発表および討論 座長: ラターシュ, 不破 祐

(12) V. S. DUB*, I. N. STUL, Ya. M. VASIL'EV,
O. A. FEDOROVA, V. P. RABINOVICH, A. A.
REBRIK, and V. I. VOROPAEV: ローターシャフ
ト類機械部品の逆V偏析と強度 (ラポーター: 鈴木
是明)

(13) 鈴木是明* および宮本剛汎(日本製鋼所室蘭):
逆V偏析の生成機構

午後の部(I)

論文発表および討論 座長: ヤボイスキー, 江島彬夫

(14) I. N. STUL', V. A. MIRMEL'SHTEIN, N. A.
GREKOV, Ya. M. VASIL'EV, V. S. DUB*, and
E. P. SILINA: タービン発電機用ローター支持環
の性能向上を目的とした高Mn鋼のエレクトロス
ラグ再溶解 (ラポーター: 郡司好喜)

(15) B. I. MEDSVAR, Yu. G. EMEL'YANENKO, V. A.
TIKHONOV, and S. A. POKOTILO (ラターシュ代
読): 30 t ESR 鋼塊中の非金属介在物とその分
布 (ラポーター: 江島彬夫)

(16) Yu. V. LATASH*, A. E. VORONIN, and V. A.
NIKOLAEV: 高純度で均一な大型鍛造用鋼塊の新
しい製造法 (ラポーター: 小田光雄)

5月18日 午前の部(I)

論文発表および討論 座長: ドップ, 浅野鋼一

(17) V. V. LEMPITSKY(シャリモフ代読): 連鑄ビレ
ットの非金属介在物 (ラポーター: 浅野鋼一)

(18) 川和高穂* (日本鋼管福山研究所): 連鑄銹片の
中心偏析

午前の部(II)

論文発表および討論 座長: トゥリン, 郡司好喜

(19) 森 隆資*, 綾田研三および成田貴一(神戸製鋼
中央研究所): 緩冷却連鑄銹片の凝固プロフィール
と品質について

(20) 田代 清, 伊藤幸良, 前出弘文* および岡島忠
治(新日鉄室蘭): 電磁誘導攪拌による連鑄銹片の
凝固組織の微細化について

閉会挨拶 トゥリン団員, 不破顧問

以上で2日半にわたるシンポジウムを終え, 14時から
公開の特別講演が行なわれた。不破祐東北大学教授の司
会によつて, まず的場幸雄先生より「日ソシンポジウム
10年に寄せて—鉄鋼製錬技術の動向—」と題する講演が
あつた(写真2参照)。その要旨は, はじめに本シンポジ
ウム創設に貢献された故サマーリン科学アカデミー会員



写真2 シンポジウム 10 周年記念特別講演中の
的場幸雄先生

(日本鉄鋼協会名誉会員)の功績を回顧し, つづいて製鋼
法別粗鋼生産シェアの変遷, 日本の高炉の10年間にお
ける進歩, 直接還元製鉄法の擡頭などを柱に技術進歩の
動向を総説しつつ, 今後の10年, さらに21世紀に向
けての課題を提起している。ついで, アゲエフ科学アカ
デミー会員の「冶金プロセスの基礎」は, パンヌフ団員
が要旨を代読した後, 郡司好喜実行委員がラポーターと
して明快な内容紹介を行なつた。その要旨は, ロモノソ
フ, メンデレーフからサマーリンにいたる著名科学者の
業績を挙げた後, 科学アカデミー科学評議会の組織, 活
動およびその事例を述べるとともに, 本シンポジウムを
高く評価している。

なお, この2つの特別講演は英文パンフレットが当日
配布されていることを付記する。

4. 提出論文の内容

上記日程による全論文の詳細および討議ないしコメン
トの細部は Special Report No. 25 とその Supplement
にゆずるとして, その要約は以下のとおりである。論文
の配列は日程による発表順とし, 著者および題目は重複
をさけるため論文番号のみにとどめている。なお, 各項
末尾の括弧内は要約担当者である。

論文(1):

Al 脱酸において Te を添加するとアルミナクラスター

の排出に効果がある現象を界面化学的に検討している。表面活性元素 (O, S, Se, Te など) を含む溶鋼とアルミナの界面張力を測定した結果, Te を添加した場合溶鋼とアルミナが極めて濡れにくく, かつ付着の仕事が極めて小さくなることを見出している。また, 溶鋼がスラグでおおわれていると, 介在物はスラグに濡れて捕捉, 合体するが, アルミナと $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系スラグ (B_2O_3 , CaF_2 , Na_2O など) も添加している) の濡れ性がよいことを確かめ, 同じ系のスラグへの円筒状アルミナの溶解速度を測つてその律速過程を考察している。川合保治は, 界面張力の測定でアルミナの表面性状を考慮する必要があると指摘し, Fe-O 系合金とアルミナの界面張力が 0.04%O 以上で急激に減少する測定結果については, バトーリン, 川合保治に対しハースナイトの生成によるとの答えがあつた。また, 江見俊彦, ヤボイスキー, バトーリンは Te を添加した溶鋼で, 付着の仕事を紹介するアルミナの浮上速度への寄与について意見を述べさらにレビヤークンからはアルミナの溶解速度に関して質疑があつた。(松下幸雄)

論文(2):

鋼の Si および Al による脱酸において介在物の生成機構, 形状, 分布, 組成について調べた研究である。実験には Bogdandy などによる方法を採用し, 結果の検討として核生成理論による過飽和度の計算, さらに凝固過程における溶質の濃化の影響を調べた。

Si 脱酸では, 溶鋼中の均質核生成はほとんど不可能であり, 酸素の大部分は過飽和のまま凝固過程まで持込まれ凝固による濃縮によつて始めて核生成が可能になる。これに対して Al (Al-Si を含む) 脱酸では, 溶鋼中で十分に均質核生成が行われる。したがつて通常の脱酸の添加順序は Si→Al であるが, 酸素の過飽和をさける点では, 逆の Al→Si の方が合理的であり, 実操業でも優れた鋼が得られていると述べている。

これに対する討論は, (1) Si 脱酸における核生成理論の応用, 過飽和度計算のデータ(坂尾 弘, 坂上六郎), (2) Al 脱酸における球状アルミナ介在物の成因(坂上六郎, 草川隆次) について行われた。(坂尾 弘)

論文(3):

アルゴン・プラズマ・アークによる鋼再溶解時の精錬効果は, 被再溶解材の先端で熔融層が形成され, それが液滴となつて先端から離脱するまでの過程で発揮されるとの考えの下で, 鋼の精錬効果と被再溶解材中の介在物の地鉄への溶け込み速度, 介在物のサイズならびに再溶解速度との関係を, 主として酸化物系介在物について調べたものである。脱酸法を変えて溶製した Fe-Mn-Cr スピネル系, シリケート系およびアルミナ系の介在物を専有している 3 種の 18Cr-12Ni ステンレス鋼を, 再溶解試験対象材とした。結論として, 再溶解速度が大きいほど精錬効果が減少すること, シリケート系に比較し

て, サイズの小さいアルミナ系やサイズも若干小さくしかも溶け込み速度の大きいスピネル系の介在物は, 同一再溶解条件下で減少の割合が少ないことを明らかにした。また, 硫化物は, 液滴形成前に溶け込むため中性雰囲気下の再溶解では除去されず, 脱硫はスラグを用いて可能になることを示唆した。

これに対して, 介在物の物理的性質の介在物低減度合におよぼす影響ならびに硫化物系介在物除去に有効なスラグやスラグを用いたプラズマ再溶解法の問題点について討論がなされた。(小野清雄)

論文(4):

1%C, 1.5%Cr の軸受鋼の転動疲労寿命に及ぼす,

1) 原料配合, 2) 溶解炉の容量, 3) 非金属介在物の性状, の 3 要因について, 10~100 t 電気炉による試溶解により詳細に調べたものである。炉容量の小さいものは清浄度がよく寿命がよい傾向がある。原料鉄は不純元素に影響を及ぼすが, 寿命にはむしろ通常の外部屑鉄使用のものがよく, 寿命は酸化物介在物との負相関が最も有意であり, 硫化物には正の相関が認められた。さらに戻り屑溶解で Al 脱酸のものと海綿鉄使用還元スラグ精錬との比較も行なわれたが, 結局寿命は酸化物の総量とくに粗大シリケート, 粒状酸化物などによつて著しく左右されることがわかつた。

成田貴一, 松岡滋樹等は軸受鋼に Ca 脱酸が用いられぬ理由およびいおうが寿命に好影響を与える理由などについて私見を混え質問したが, 著者もほぼ同様の意見を述べた。しかし, 硫化物の影響についてはなお不明の点を残した。荒木透は前刷 Table 7 の誤りなどをただし酸化物総量値が訂正された。また, ストリンガーはアルミナ系のもののみを指すことが述べられた。(荒木 透)

論文(6):

酸性平炉 Si 脱酸による Cr-Ni 鋼の真空鑄造 70 t 鋼塊について, マクロおよびミクロ組織, 介在物の組成, 量, 形状, さらに熱間における介在物挙動ならびに機械的性質を調べた。

その結果, 真空鑄造された大型鋼塊では, 大型酸化物介在物の集中を伴う沈殿晶部が認められず, 鋼塊下部ではデンドライト組織が微細化し, 1 次アームは 8 mm を超えず, 2 次アームはほとんど認められず健全性にすぐれていることなどが確められた。また介在物の発生位置による組成, 融点などの変化, 逆 V 偏析部での介在物の様相やそれと関連した材質上の特徴などを報告している。これに対して, 真空処理効果の機構, 介在物の生成機構などについて質問が出され, 質疑応答を通じて, 真空処理によるガス量 (H_2 , $[\text{C}] \times [\text{O}]$) の減少が凝固時の湯の動きを弱め, 沈殿晶部の形成を抑制する。また液滴真空処理中の溶鋼温度の低下, さらには 2 次酸化の防止などの効果がある, などの考えが明らかにされた。

(一瀬英爾)

論文(7) :

Al 脱酸した溶鋼に Ca を添加し、生成する介在物の形状と組成の変化ならびに機械的諸性質を調べ、Ca を 20~30ppm 添加すると MnS と Al₂O₃ クラスターが減少し、C 型の球状介在物に変化すること、また球状介在物は内部が Al₂O₃-CaO、外部は CaS-MnS-Al₂O₃ のものが多いが、Ca 含有量が増加すると 1 相になること、C 型の球状介在物の場合は圧延方向に直角の方向ならびに板厚の方向の靱性が顕著に改善されることなどを報告した。

これに対して介在物が球状化する理由、Ca 合金の添加方法とその歩留り、Ca/S 比、Ca 脱酸した場合の介在物は 1 次脱酸生成物か 2 次脱酸生成物か、Ca 添加鋼の現場生産、ラインパイプの場合の衝撃値などについてバトーリン、シャリモフ、トゥリン、伊藤幸良、石黒守幸らと著者との間に多くの質疑応答があつた。Ca 添加鋼は REM 添加鋼とともに現在注目されている鋼種であることを示した論文である。(盛 利貞)

論文(5) :

Fe-40%Ni 合金の 14 kg の 1 方向凝固鋼塊中の硫化物の形態と分布について、凝固前の S 含有量と凝固条件との関係を研究した結果を報告した。コロニー状に分布する樹間に析出した II 型 MnS はデンドライトの形状と密接な関係があるが、棒状、卵状、球状あるいは塊状の II 型 MnS は凝固条件とあまり明確な関連性はない。硫化物の大きさとコロニーの占める面積はチル底面からの距離が大きいほど増加し、その数は低下するなどの結果を得た。溶質元素の富化に関する Flemings の式を用い、硫化物の析出には過飽和を必要としないなどの仮定のもとに II 型 MnS の共晶反応による生成量を計算し、実測値と比較している。

ドップは含有量と III 型硫化物に言及しない理由や硫化物の平均サイズが S 含有量に依存しない理由などについて、また梅田高照は過飽和度がなくても MnS が析出するとの仮定の妥当性など質疑討論が行なわれた。(盛利貞)

論文(21) :

溶鋼の複合脱酸に際し、O を極小にするための脱酸剤添加量と O との関係を実験的数値を用いて理論計算し Ca 脱酸の場合 Al、Ti の添加は効果がないこと、Al 脱酸の場合 Ti の添加はやはり効果がないなどを示し、つぎに Fe-Si 合金 4 種類を 1700°C から 1300°C まで徐冷する間の O の変化を電気化学的手法で測定し、log a_o と Si 含有量および温度との関係を求め、Si+2O=SiO₂ 反応は冷却の途中でも起こると述べた。さらに不均一応力場での非金属介在物の再分布の可能性についてテンソルを用いた解析を行ない、不純物の物質移動が応力の少ないゾーンで起こる可能性を示した。

坂尾 弘は Si 含有量が固液両相で同一なら $d \log a_o$

(凝固過程における酸素溶解度の変化)は一定のはずであると質したが、応答がかみ合わなかつたように思われる。梅田高照は応力テンソルのもとでの溶質の移動と介在物の拡散流束式における係数について質問した。

この複合脱酸の場合の脱酸力の計算結果はきわめて興味のあるデータである。(盛 利貞)

論文(9) :

Al 脱酸した連鋳ブルーム鋼片を 1240°C に 6h 保つと介在物の総量は加熱前にくらべ 1.2~4.5 倍に増える(酸素として 0.007% 以上)という著者らの実験結果を、凝固過程における脱酸元素のデンドライト樹間での濃縮状況を基に解析し、凝固時の脱酸反応は平衡に達しておらず、固体試料の長時間加熱によりはじめて平衡に近い状態に近づくとの結論を得ている。これに対し 3 名の日本側討者論は実験の手法、結果の解釈について疑問点を提出したが、著者らは試料の酸素分析をしておらず、また実験結果に固執したため討論はかみ合わないままにおわつた。(宮下芳雄)

論文(10) :

Al キルド鋼塊の沈殿晶部に存在する大型介在物の生成機構を解明するために、凝固初期におけるメニスカス近傍の過熱度を変えた実験を行ない、早期高発熱パウダーを使用すると上層部での鉄結晶の生成をおさえ得るため、これに基づく底部粘稠層の生成とそこへの介在物の集積を防ぎ得るとの結論を得ている。これに対しソ連、日本合せて 4 名から実験結果、機構の解釈、実操業への応用の状況について質疑応答があつた。(宮下芳雄)

論文(8) : 高周波誘導コイル引上げによる鉄の 1 方向凝固で、凝固時の CO 気泡時生成を支配する化学反応を考察し、気泡生成の臨界における C と O の濃度関係、およびこれに対する Si と Mn の影響を求めている。Fe-C 系では C が 0.15% 以上では CO 気泡生成の臨界 O 濃度は C 含有量によらず一定で、C が 0.15% 以下では臨界 O 濃度は C の減少とともに増加する。C 0.10~0.15% の範囲では凝固時のデンドライト側枝の発達が弱く、単純モデルで凝固分率を表わすことができるので、臨界凝固分率における濃縮液と CO 気泡との間の化学平衡から上記実験結果を数式化できる。その前後の C 含有量においては、凝固形態との関連で解釈する。Si の影響については、0.025~0.030% を超えると CO 気泡が発生しなくなることを類似のモデルで説明し、Mn の影響については微量の Si も考慮して実験結果を近似的に数式化できる。ラターシュ、丸川雄浄は工業規模における経験との関連で討議し、バトーリン、小野陽一は CO 気泡の核生成と成長をめぐる質疑を行なつた。(松下幸雄)

論文(11) :

水冷の回転軸を溶鋼中に浸漬した状態で凝固させた場合のデンドライト組織とマクロ偏析におよぼす流動の影響を調べ、デンドライトは流動速度が大きくなる程折れ

曲り角度が増加すること、デンドライト樹間の液の流動による洗滌効果の及ぶ固相率は流動速度とともに大きくなること、ならびにC, P, Sの実効分配係数が流動速度とともに小さくなることなどを明らかにした。これに対して、バトーリンらは洗滌効果が作用している条件下では粘稠層は存在しないはずだし、濃度分布も異なるのではないかと質問し、流動のある凝固では定常的な熱平衡は考えられず結晶成長には流動に打ち勝つだけの過冷が必要で、このような流動下では成長中の結晶が分離されて粘稠層を形成する自由結晶の沈降があり、濃度分布も理論と実験値が一致するとの回答があつた。

その他、ドップ、ラターシュより理論式の物理的根拠、実験条件と実用鋼塊の条件との相似性についての質問があり、リムド鋼の実測流動速度とキルド鋼の75 t 鋼塊のマクロ偏析の結果とも一致するとの回答があつた。

(鈴木是明)

論文(12) :

逆V偏析の生成機構を Local Zone Melting with Temperature Gradient (LZMTG) の考え方で説明できることを述べ、ストリング中の濃度分布を予測する理論式を EPMA による実測値で評価し、18%Mn-4%Cr の非磁性鋼を 18 t の ESR で再溶解した際発生した偏析ストリングの形態と濃度分布を調べて LZMTG と理論式の正当性を確認した。また 52 t 鋼塊から製造した Ni-Cr-Mo 鋼のローターシャフトの偏析ストリングの形態、濃度分布を調べ破壊靱性値 L_{IC} に及ぼすストリングの影響を明らかにした。これに対して宮本剛汎は LZMTG の意味について質問し、LZMTG は Pfann の 1 方向凝固の考えによるもので固体中には不純物の濃化した液相の存在があり、この部分への温度勾配による物質移動の発生を考えているとしている。満尾利晴はストリングの傾く理由の説明を求め、熱流の方向にストリングが成長し、その接線と法線の関係で角度の決まることを示した。江見俊彦は逆V偏析の生成に関して凝固に関する日米セミナーでの論議をコメントとして紹介した。

(鈴木是明)

論文(13) :

3 t の砂型鋼塊についての測温結果とダンプテストから逆V偏析は液体と考えられる領域 q_2 層と固体と考えられる領域 q_1 層の境界である凝固前面 (固相率 0.30) で生成され、その熱的臨界条件は逆V偏析の再現装置による実験から凝固速度 R 、冷却速度 ϵ が $R\epsilon \leq 8.75$ を満たした際発生することを示した。これに対してドップより逆V偏析が生成される最小固相率と 0.2~0.3% C 鋼に対する $R\epsilon$ の条件について質問がなされ、固相率は 0.3 が最小値であり、 $R\epsilon$ の一般的な条件は固相率変化 $\partial f_s / \partial t$ を導入して $R \cdot \partial f_s / \partial t \leq 8.75 \times 10^{-2}$ が得られることを示した。大河平和男は ESR 鋼塊におけるストリークはこの考え方では説明できないのではないかと質問し

ESR 鋼塊でもメタルプールが深ければこの考え方もあてはまるとの論議があつた。また、片山裕之は逆V偏析内の凝固は田代晃一によれば外側から進行するとの反対の見解があるがとの疑問を述べ、著者は内側から凝固が進行するのは実験事実であり、観察による推論とは異なることを強調した。(鈴木是明)

論文(14) :

発電機のローター支持環に用いる Cr-Ni-Mn あるいは Cr-Mn オーステナイト鋼の降伏強度を高めるための ESR 法を研究した。とくに“dark spot”と“strings”は同じ機構で生成することを確認し、その生成を防止するにはメタル・プールを浅くして固液共存域を狭くする必要のあることを示した。メタル・プールを浅くするために、電導度が低く、thermal coefficient of performance (再溶解速度とスラグ浴に放出される熱量の比) が低くて精錬能力の大きい $\text{CaF}_2\text{-MgO-SiO}_2$ 系フラックスを用いて精錬した。この新しいフラックスを用い、1000 kg/h の溶解速度で 18 t のインゴットを溶製し、脱硫率 40~50%、介在物も 0.009% 以下のインゴットを得ることができた。

新しいフラックスの組成、物性、組成変動、精錬能力およびその応用範囲などについての質問に対しては明快な回答は得られなかつた。その他、熱効率の定義、偏析を低減するためのフラックス以外の要因などについて討論が行われた。(郡司好喜)

論文(15) :

直径 150, 300, 1300 mm ϕ の 3 本の電極を同一条件下でエレクトロスラグ再溶解して得られた鋼塊中の非金属介在物について調査した。鋼塊中には 4~12 μm の wüstite と quartz および 6~12 μm の MnS と oxy-sulphide が支配的に、均一に分布している。しかし、鋼塊平均酸素濃度は電極が大きくなるほど減少する傾向を示し、12 μm 以上の硫化物は鋼塊表面より中心に向け著しく増加し、18 μm 以上の硫化物は電極 1300 mm ϕ の 30 t 鋼塊の等軸晶帯にのみ観察された。このように大型硫化物の分布が凝固組織 (デンドライトの粗大化) に良く対応することは、それらが凝固過程で生成、成長したことを示唆している。このような観点に立つた大型 ESR 鋼塊の凝固組織の改善策を示した。以上を要旨とする本論文に対し、平均酸素が電極直径に依存する理由、鋼塊 Al 含有量、凝固速度、および A. CHOUDHURY の報告 (Stahl u. Eisen, 95 (1975) 9, p. 408) との相違に対する著者の見解、などについて井上道雄、山口国男、大河平和男、谷口晃造が質問したが、代読のため討論集にまつことになっている。(江島彬夫)

論文(16) :

超大型均質鋼塊製造法である PESC (Portion Electroslag Casting) 法の概要と得られる鋼塊の品質について紹介したものである。

この方法は E S R 法と共通点をもつたスラグ精錬造塊プロセスであるが、その主な相違は消耗電極を使用することなく溶鋼からスタートする点である。その特徴は、まず水冷鑄型中で非消耗電極加熱により精錬用スラグを溶解してスラグ・プールをつくっておき、ついでこのスラグ層を通して別の炉で溶解した溶鋼を間欠的に注入して精錬するとともに順次 E S R 法類似のプロセスで凝固させることである。

これにより得られる鋼塊は普通造塊による鋼塊に比較して偏析、介在物が極端に少なく鋼塊内外部の密度差も小さくきわめてすぐれた品質であると報告された。

この報告に対し操業上の問題、鋼塊品質上の問題について多数の質問があつた。そのうち、操業上の問題についてはノウハウであるという理由でほとんど満足な回答は得られなかつた。(小田光雄)

論文(17) :

普通造塊と連鑄片の非金属介在物の量、および分布を比較している。炭素鋼、低合金鋼、高合金鋼の 3 種類を普通造塊法と連続鑄造法にて鑄造し、その鑄塊の非金属介在物を、形成時期と温度の観点から 3 種類に分類し凝固中に形成され dendrite 樹間に位置する介在物の量および分布を、主に硫化物系介在物について調査した。

連鑄片の介在物は、普通造塊のそれに比べ、鑄塊高さ方向での分布が均一であるばかりでなく、量も少なく微細である。この原因は連続鑄造法の凝固速度が大きいためであり、介在物の形成時間が短かく、その析出ならびに成長が抑えられた結果である。

この違いは、高温での変形能に関係し、連鑄片の塑性変形能のすぐれていること、鑄塊から圧延された熱延板でもこの傾向が保持されていることが判明した。

この論文に対して、垣生泰弘、北川 融、伊藤幸良、大橋徹郎等から質問が行なわれた。主な質問内容は凝固開始以前に生成している介在物と凝固過程で析出して来る介在物の区別に集中したが、代読のためそれに対して明快な回答が得られなかつた。(浅野鋼一)

論文(18) :

連鑄鑄片に特徴的に現われる中心偏析についてその実態ならびに生成機構について論じている。

まず中心偏析と鑄造条件との関連については、これが主として等軸晶率とロール間バルジングによつて支配されていることを述べ、とくに凝固末期の溶鋼流動が重要であることを指摘している。

凝固末期の溶鋼流動については、アイソトープ入り的高速鋏打込みによりその実態を明らかにし流動の大小により偏析が著しく変化する様子を明らかにするとともにこれを dendrite 内溶質移動の観点から理論的に解析した。

これらの解析から導かれる結論として、凝固末期のロール間バルジングの抑制が重要であることを示唆してい

る。またその対策としてインラインリダクション法の有効であることを指摘している。

この論文に対して、バトーリンから主として解析の考え方につき質問が行なわれた。またレビヤークンからも温度測定の方法につき質問があつた。(浅野鋼一)

論文(19) :

Walking bar 方式連鑄機で鑄造したスラブの凝固過程を実測と数学モデルにより追跡し、スラブ鑄片の内部性状を検討した。全長 1200 mm の鑄型内での伝熱パターンでは 100 mm と 700 mm に伝熱のピークがあり、これによつて鑄型出口での凝固殻が厚くなり実操業が安定すると同時に、Walking bar 領域での冷却が弱くともバルジングなどの欠陥が起こり難くなる。過熱度 ΔT が約 30°C の場合には中央 20~30 mm の等軸晶帯が認められ、 ΔT が 10°C の場合には細かい粒状晶帯が広範囲に広がった。そして粗い等軸晶の場合にはバルジングに対して強い正負の偏析が 1, 2 個、細かい粒状晶の場合には正負の弱い偏析が多数発生することを明らかにした。

この連鑄機の運転装置の調整法、連々鑄の実績、到達し得る最高引抜速度、最高鑄型長さを決める要因、この連鑄機でのバルジング対策などについて討論された。ソ連で開発された機種であるにもかかわらずソ連側からの意見や質問が少なかつた。(郡司好喜)

論文(20) :

SUS 430 鋼の凝固組織におよぼす電磁攪拌の効果を、70 kg 丸型鑄型扁平鑄型および連鑄スラブによつて検討した。小型鋼塊に上下の分離板を設けても下部に電磁攪拌による微細化効果が顕著に現れた。一方、連続測温結果から、溶鋼に過熱状態が存在する間は電磁攪拌効果のないことが確かめられた。これらの事実から、電磁攪拌による凝固組織の微細化は、1) 流動による結晶核の生成 2) 結晶核が溶融せず安定成長するための温度条件によつて達成されると結論した。電磁攪拌を適用した連鑄スラブの凝固組織は表層部以外微細な等軸晶組織となり、溶鋼攪拌の強度の増加および鑄造温度の低下とともに等軸晶域の拡大することが明らかにされた。

この問題についてはソ連側の関心が強く、多くの討論が行われた。その主なものは、溶鋼の攪拌速度の絶対値、攪拌開始の時期、攪拌を適用した鋼の品質および性質、攪拌の凝固速度および結晶核の大きさへの影響、攪拌の非金属介在物の特性への影響などである。(郡司好喜)

5. ま と め

本シンポジウムは創設以来 10 周年に当ることでもあり、われわれとしては 1975 年 5 月末訪ソを終えるとともに、成果報告のまとめと併行しながら直ちに今回の準備に取りかかり、ともかく無事この伝統ある合同シンポジウムを終え安堵しているところである。次回は 1979 年訪ソ学術使節団が編成派遣されることとなるが、その

団長には不破祐東北大学教授が合意されており、すでにシンポジウム主題の交渉が開始されている。

今回の主題は、モスクワでの第5回シンポジウムを拡大したものであり、鋼中非金属介在物を精錬過程のみに限らず凝固現象とも関連させながら、鋼質向上に資することを目的としており、21編の論文による相互討論がいささかたりとも学術・技術の発展に貢献したとすれば幸せこれに過ぎるものはない。残念ながら、日本語と露語の通訳という形式はシンポジウムの席上のみでは意をつくせなかつたが、その後の見学スケジュール内でソ連団員も討論整理に努力をおしまなかつたようであるし、心から敬意を表する次第である。なお、本シンポジウムは5月16日発行のMainichi Daily Newsにも紹介され、それなりの意義があつたものと思う。唯一つ心残りは、

アゲエフ科学アカデミー会員（日本鉄鋼協会名誉会員）が団長として来日できなかつたことである。同氏の健康回復を願つてやまない。

すでに述べたように、使節団の見学日程については大学、その付置研究所、金属材料技術研究所、各事業所に多大の迷惑を掛けている。関係各位のご理解とご協力に厚く感謝する。同時に、これを契機として次回訪ソ学術使節団が一層の成果を挙げようよう期待している。

おわりに、シンポジウム運営には在京大学関係者を煩わし、通訳には前述のように日商岩井(株)東西貿易部関係者に協力頂いたことに感謝する。さらに、長期にわたつて本シンポジウム開催までの庶務事項に従事され、その運営に併せて努力を惜しまなかつた日本鉄鋼協会事務局国際課の諸氏に感謝する。