

.....  
 報 告  
 .....

## 第 4 回 ESR 国際シンポジウム会議報告

### 第 4 回 ESR 国際シンポジウム協力小委員会

#### Report of 4th International Symposium on Electroslag Remelting Processes

##### Executive Sub-Committee of the 4th ESR Symposium

1973 年 6 月 7 日と 8 日の両日東京において、第 4 回 ESR 国際シンポジウムが第 4 回真空冶金国際会議と並行しておこなわれた。

ESR 国際シンポジウムは従来会議運営のための正式な国際的組織機関がなく、過去 3 回のシンポジウムはすべて、米国の Carnegie-Mellon 工科大学で開催された。第 1 回 (1967 年) と第 2 回 (1969 年) は Carnegie-Mellon 工科大学と米国の航空材料研究所の共催によって組織され、主として ESR の基本的小およびその応用技術が討論された。第 3 回シンポジウム (1971 年) は主催が AIME の Pittsburgh 支所に移され、そこでは新たに ESR 以外の特殊溶解技術、超大型 ESR 炉の問題も提起された。

今回の第 4 回は以上のような経過の下で、米国以外の国で開かれた初めてのシンポジウムであったが、日本および諸外国から 32 編の論文が提出され、また出席者の数も 250 名におよんで非常に盛況であった。

論文はそれぞれの内容に応じて、次のような 5 つの Session に分類されて討論がおこなわれた。

Session 1. Heat, Mass and Momentum Transfer in the Electrode-Flux-Ingot System

Session 2. Relation between the Operating Parameters and Chemical, Physical and Mechanical Properties of the ESR Products

Session 3. New Applications of ESR Technique

Session 4. Manufacturing and Properties of Tool, Bearing, High Alloy Steels and Super Alloys

Session 5. Equipments and Operations for Production and the Properties of Large Ingots

本報告では、これらの Session でおこなわれた講演および討論の概要について述べることにする。

シンポジウムの冒頭では、田畑鉄鋼協会専務理事の司会によつて、中野鉄鋼協会会長および斎藤実行委員長 (東北大名誉教授) から歓迎の挨拶がなされた後、Dr. G. K. Bhat (米・Mellon Inst. of Carnegie-Mellon

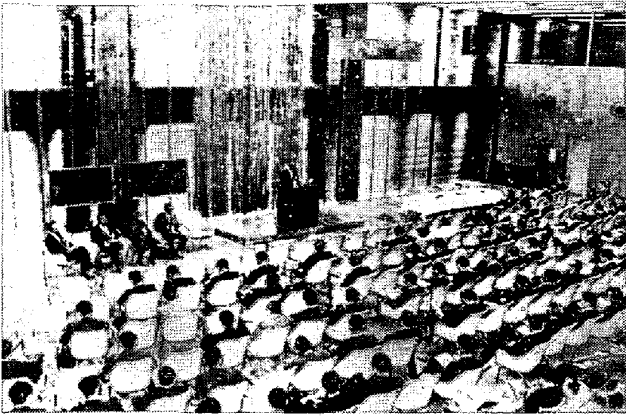
Univ.) から過去の ESR シンポジウムの経過とその意義が述べられた。また後藤実行委員 (東工大助教授) からは日本における ESR 設備の現状について報告がおこなわれたが、これらの内容は紙面の都合上割愛する。なおシンポジウムの論文集は鉄鋼協会から 9 月に発刊された。

#### I. Session 1. Heat, Mass and Momentum Transfer in the Electrode-Flux-Ingot System

Session 1 の講演は第 1 日目の 6 月 7 日の午前から午後にかけておこなわれ、ESR の基礎的あるいは理論的な研究に関する論文 8 件の報告があり討論がなされた。

(1) A. Mitchell (カナダ・Univ. of British Columbia) は “Macro-segregation, Liquid Movement and Heat Flow in the ESR Process” という題目で、マクロ偏析と熱移動におよぼす溶融プール内の液体の攪拌の影響について講演した。モールド直径 8 cm の ESR 炉で、AISI 1015, W80 の溶解中プール内の Sn, S 濃度を急激に変化させて得られた鋼塊について、これらの Tracer 元素の濃度分布を調べた。実験から Sn, S の実効分配係数を計算するといずれも 0.8 になり、その値は溶解条件に依存しないことがわかった。そのためプールには攪拌が存在し、凝固前面には攪拌の影響を受けない拡散層があると結論した。攪拌はプール内の温度勾配によつて生ずる対流によつてもたらされ、その程度は外周で大きく中心付近では小さいと述べた。

Szekely (米) はこの講演に対して tracer 元素の分布を均一と考えてよいかと質問し、またこの講演の中では effective thermal conductivity を考えていたが、local thermal conductivity を考える必要があると述べた。Mitchell は tracer 元素は完全に混合されていること、および両者の thermal conductivity の差は小さいことなどを答えた。J. F. Elliott (米) は実効分配係数の計算の仮定で用いたプール内での完全混合モデルに対し、また thermal conductivity による攪拌の説明に対して反論した。さらに真殿 (理研ピストン) は Mitchell が



シンポジウム会場風景 (経団連会館国際会議場)

用いたモデルの大型鋼塊に対する適応性について質問したが、定常状態モデルは鋼塊の大きさには関係なく、直径1mの鋼塊に対しても適応させることができるという答があつた。

(2) P. O. Mellberg (スウェーデン・Royal Inst. of Technology) は“Temperature Distribution in Slag and Metal during Electroslag Remelting of Ball-Bearing Steel”について、直径100mmのAC・ESR炉を使用してスラグおよび溶鋼プール内の温度分布を実測する方法と、その結果を発表した。実験では水冷モールドの側面から内部にBN製の保護管を介して熱電対を挿入し、スラグ量、電圧、電流を変化させることによつて、溶解条件、温度分布、凝固組織の間の関係を調べた。電流が一定の条件下ではスラグ量を多くするとプールの底は平坦になる。デンドライトアームスペーシングは凝固速度の増大に伴い小さくなること、および鋼塊の中心から $1/2R$ 部までは冷却速度の差は小さく、その外側で急激に大きくなることなどについて述べた。

この講演に対して真殿、川合(日立金属)らが実験装置と実験方法に関する質問をした。またJ. F. Elliottはこの研究における実験技術を称賛した。

(3) 萩野和己、原 茂太(大阪大・工)はESRにおける脱硫反応機構を研究した。“Desulphurization of Steel with Electroslag Refining Type Flux”を発表し、原が講演した。実験室的な溶解によつて溶鉄とスラグとの脱硫反応を検討し、一部X線を使用して脱硫過程における溶滴の形状の変化も観察した。脱硫反応は溶鉄に接するスラグ中の拡散層内の物質移動によつて律促されることがわかつた。その反応速度は非常に大きく、実際のESR溶解では電極-スラグ界面で反応がほとんど終了すると述べた。また反応過程における溶滴の形状の変化を溶鋼の界面張力の変化と関連づけた。

Mitchellはこの講演に対しESR過程における物質移動はスラグの攪拌強度に依存していると述べ、さらに溶鋼プールとスラグとの反応による脱硫はほとんどおこなわれないという考えは自分の実験結果とよく一致して

いると述べた。Gammal(独)は原の実験では黒鉛るつぽを使用していたので、溶滴へのCOガスの付着の有無について質問した。原はX線の像の中にCO気泡は認められず、溶滴の表面の形状が一部不規則であったのは局所的な界面張力の違いがもたらしたものであると答えた。

(4) 小島 康、加藤 誠、豊田剛治、井上道雄(名古屋大・工)はウッドメタルとNaOH水溶液を用いたモデル実験によるESRの溶解現象についての研究“A Model Study on the Metallurgical Phenomena of Consumable Electrode in Electroslag Remelting Process”を発表し、小島が講演した。溶解速度が小さいときには溶滴の大きさは電極径に依存したが、溶解速度が1g/sec以上になると溶滴径は電極径に無関係となつた。溶解速度が1g/secの場合にはlaminar flowの長さは溶滴の直径よりも大きい0.6~1cmにもなり、実際のESR過程ではこれが溶鋼プールまで達することが考えられた。また高速カメラによる観密からスパーク現象があることを確認し、発熱はこのアーク現象にもとづいてると結論した。

Gammalは次の2点について質問した。(1)電極とNaOHとの間に反応があるかどうか、(2)ガスが溶滴に付着しないか、これに対して小島はウッドメタルは耐蝕性が強いのでNaOHとの反応はないこと、および溶滴に付着するガスは影響が小さいことなどを答えた。

(5) EL Gammal(独・Inst. für Eisenhüttenkunde Tech. Univ. AACHEN)は“The Role Played by the Electric Current on Metal Droplet Formation in the ESR-Process”という題目で、ウッドメタル-NaCl水溶液系でESRのモデル実験をおこない、溶滴の形成におよぼす電流密度と周波数の影響について研究した結果と、実際の鋼をエレクトロスラグ溶解した場合の結果との比較を発表した。電流密度を上昇させると溶滴の直径は減少する。周波数との関係については、溶滴の直径は400 cycle/minで不連続的に極小値を生ずるが、周波数の増加に伴つて直径は増大することがわかつた。またモデル実験で得られた結果は実際のESR過程における現象、とくにガス成分の挙動をよく説明できると述べた。

Schwerdtfeger(独)は電解質中の水素は $H^+$ として存在するかあるいは $OH^-$ として存在するかと質問したが、Gammalは $OH^-$ は分解して $H^+$ になると答えた。また加藤(早稲田大・工)は水素分析試料の採取法について質問し、これに対しては鋼塊から採取したと述べた。

(6) K. Schwerdtfeger, K. Klein(独・Max-Planck-Inst. für Eisenforschung)は $CaF_2$ を含有するスラブからのFの揮発に関する研究“Rate of Fluorine Volatilization from Fluoride Containing Liquid Slags”について発表し、Schwerdtfegerが講演した。 $CaF_2$ -

CaO, CaF<sub>2</sub>-CaO, SiO<sub>2</sub> 系からなる 3 成分のスラグを 1600°C で 1 atm の He, N<sub>2</sub> 雰囲気さらに、スラグの重量変化を熱天秤によつて測定した。またガス拡散が律促過程であると仮定して理論計算もおこなつた。スラグからの F の揮発はおもに CaF<sub>2</sub> の蒸発と HF の生成によつておこなわれ、HF の生成はガス中の水蒸気分圧の増大に伴い増加することがわかつた。また SiO<sub>2</sub> 含有量が多いスラグからの SiO<sub>4</sub> の蒸発速度は CaF<sub>2</sub> の蒸発速度より大きいことを計算によつて明らかにした。実験結果をもとに、F を含有するスラグからこれらの揮発を防ぐためには、材料を十分に乾燥するとともに、雰囲気内の水分を除く必要があると述べた。

後藤は  $\text{CaF}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{HF}$  の反応は考えないかと質問し、Schwerdtfeger はその反応による組成変化は考える必要がないと答えた。不破 (東北大・工) は自分の実験室における CaF<sub>2</sub> を含んだスラグの H<sub>2</sub>O 溶解度を測定した実験で、 $\text{CaF}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{HF}$  の反応でスラグの組成が多少変化したことを覚えていると述べた。また加藤は CaF<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=7/3 のスラグで CaF, Ca<sub>2</sub>F<sub>3</sub>, CaF<sub>2</sub> の存在が確認されたと述べた。

(7) J. D. W. Rawson, D. I. Dawson, N. Kirkham (英・BSC Corporate Development Lab.) は透明物質を使用したモデル実験によるスラグと溶融プールの動きに関する研究“Slag and Metal Flow in Electroslag Remelting”を発表し、Rawson が講演した。実験ではスラグに LiCl と KCl の共晶組織を用い、モールドにはパイレックスガラスを使用して Al, Cu を溶解した。スラグの動きはおもに電磁力の影響によつて発生し、対流の影響は小さいことがわかつた。単相、単極の場合にはその動きは電流の通路に依存し、toroidal circulation になる。Bifilar 電極および 3 相の場合にはスラグは非常に複雑な動きをする。外的な電磁場によつてスラグに回転運動を与えると、溶滴はスラグ内で螺旋状の運動をしながらモールドの壁に沿って落ちるので、プールの底は平坦になり、鑄塊の肌および内部組織が改善されると述べた。

Mitchell はスラグと溶融プール界面での運動量の伝達について、およびスラグ内の対流と熱移動との関係について質問した。Rawson は前者の質問に対しては溶融プールには溶滴の落下による攪拌とスラグ内での toroidal stirring の影響による攪拌が存在すると述べた。また後者の質問に対してはこの実験はモデル実験なので難しい問題であるが、スラグの温度が高くなるほど電磁力の攪拌に加えて対流の影響も存在するであろうと答えた。Cremisio (米) は真空アーク溶解では溶融プールにおける一方向攪拌は鋼塊にマクロ偏析を発生させるが、この実験で周期的な攪拌をおこなつたかと質問した。これに対して Rawson はおこなつていないと答え、さらに ESR 法では攪拌の状況が VAR 法とは異なつて、溶

融プール内の攪拌はおもにスラグ内の攪拌の影響によつて生じ、この程度では鋼塊に攪拌は発生しないと述べた。

(8) J. F. Elliott (米・Massachusetts Inst. of Technology) は“Steady State Model in ESR System”という題目で、ESR の凝固プロセスを電子計算機で解析した結果を発表した。半径 20 cm の鋼塊に対して熱移動の微分方程式を電極、スラグ、鋼塊における種々の境界条件を入れて解き、固液共存相領域の形状と位置におよぼす溶融プール表面の温度、鋼塊表面から冷却水までの熱伝達率、プール内の熱伝導率などの影響を計算した。その結果によると鋼塊と冷却水間の熱伝達率が増加して冷却速度が大きくなるとプールは浅くなり、モールド壁付近での二相領域の勾配が減少する。また液体金属の熱伝導率が増加するとプールの深さも増加する。プール表面の温度分布は液相線の形状をほとんど変化させないことがわかつた。このモデルによる解析は鋼塊の高さが半径の 2~2.5 倍に達した後で有効であると結論した。

Mitchell は非定常状態の場合モデルをどのように関係づけるかと質問したのに対し、J. F. Elliott は普遍的な適用はできないと述べた。また Szekely は攪拌の影響を考えるために effective thermal conductivity を使用していたが、局所的な熱伝導の違いを考える必要はないかと質問した。J. F. Elliott は局所的な攪拌に伴う熱伝導の変化はプールの深さに対して大きく影響しないと述べた。

以上のように Session 1 の講演は溶融プール、スラグ内の動き、鑄塊の凝固、スラグ内の反応など ESR の基礎的および理論的研究に関する論文が報告された。ESR 法は電極-スラグ-溶融プール-鑄塊という独特のシステムを有し、スラグに覆われている溶融プールは通常直接には観察することが不可能なため、諸現象の解析は小型 ESR 炉について透明な無機化合物を用いたモデル実験、tracer 元素を使用した実験、あるいは電子計算機によるモデル化した計算などによつて多くおこなわれていた。

鑄塊の凝固組織および偏析現象と密接な関連性を有する溶融プール内の動きは、従来からも VAR 法との比較において述べられてきたが、ESR 法の場合にはマクロ偏析を発生させるほどの流動は少ないにしても、熱的対流あるいはスラグ-溶融プール界面での運動量の伝達による攪拌などがこの Session でおもに議論の対象になっていた。

スラグ内の溶滴の挙動およびスラグとの反応についても興味ある実験データが多数発表されたが、これらは ESR の溶解プロセスを理解し、実際的には適切な操業条件を把握するための貴重なデータになると思われる。さらにスラグと溶融プール内の温度の実測に関する研究も一件報告されたが、良質な鋼塊を製造するためには鋼塊が大型になるほどスラグおよび溶融プールの温度管理

が重量となるので、この種の研究は実験技術上困難を伴うが進歩していくものと考えられる。

ESR 法は溶解、反応、凝固が連続しておこなわれるシステム化されたプロセスであり、今後もさらに個々の過程の詳細な解析、あるいはそれらの総合的見地からの解析が進むであろうが、現象がより複雑な大型鋼塊の溶解と凝固過程を理論化する研究へと進展していくことも期待される。

## II. Session 2. Relation between the Operating Parameters and the Chemical, Physical and Mechanical Properties of the ESR Products

Session 2 の講演は第2日目の6月8日の午前におこなわれ、ESR 法の操業要因と材料の性質に関する論文が6件提出された。

(1) 山口国男、船津政彦、市原 忠 (大同製鋼) は電極-モールド直径比と野塊の性質に関する研究 “Effect of Electrode-Mold Diameter Ratio on ESR of Steels” を発表し山口が講演した。鋼塊直径 230~530 mm の ESR 条件に対する電極-モールド直径比の影響を調査し、直径比が減少すると溶解速度は減少して電力費が増加すること、また同一溶解速度においては直径比が減少するとスラグの温度が高くなりスラグ殻が薄くなることを指摘した。鋼塊の性質および経済性の面から直径比は 0.65~0.55 が最適であり、溶解速度は鋼塊直径 (mm)  $\times 0.8$  kg/hr が好ましいことを報告した。

江見 (川崎製鉄) よりスラグの固相・液相温度幅とスラグ殻の厚さとの関係について質問があつた。山口はスラグの性質についての実測は困難であるが、共晶組成のスラグでは良好な鋼塊肌が得られ、固液共存の温度範囲の広いものではスラグ殻が厚くなり鋼塊肌が悪化すると述べた。なお江見からスラグ殻に対する因子としてスラグの粘性があるとの追加意見があつた。

(2) 梶岡博幸、山口 紘 (新日鉄) は “Effects of Various Melting Parameters on the Qualities of Electro-Slag Remelted Ingots” について発表し山口が講演した。鋼塊直径 230 mm と 350 mm の低合金鋼、ステンレス鋼、superalloy を溶解し、溶解速度とプール深さに影響する要因および鋼塊品質におよぼすスラグ組成の影響などを調べた。溶解速度と溶鋼プールの形状は投入電力によつて最も大きな影響を受け、その他電極-鋼塊直径比、鋼種、スラグ量、鋼塊高さなどによつても影響されることを指摘した。また鋼塊肌とスラグ成分との関係、水素含有量におよぼす操業条件の影響、Al, Si などの酸化性成分の挙動および介在物の減少率と電極の品質との関連性などについて報告した。

この講演に対して Mitchell はスラグ中の FeO をコントロールすることが重要であり、介在物含有量などの電極の品質が製品の品質に影響するという意見に賛成す

るとの見解を述べた。

(3) 鈴木禎一、杉原 徹 (日立金属) は ESR における精錬効果の研究 “The Quality of Remelted Steel by ESR” を発表し杉原が講演した。VAR 法と ESR 法 (AC, DC+, DC-) とを鋼塊直径 300 mm の溶解で比較した。溶解速度、成分偏析、介在物量などに関しては VAR 法または AC-ESR 法が優れており、DC (-)-ESR 法が最も悪いことを指摘した。DC (+)-ESR 法では Mn の減少が認められ、TiO<sub>2</sub> を含むスラグではこの減少が大きい。また DC (-)-ESR 法では Al の増加が認められた。AC-ESR 法では鋼塊酸素含有量はスラグ中の FeO 濃度に影響されることなどを述べた。

Roberts (米) はこの講演に対し、自分の実験では DC (-)-ESR 法でも大きな溶解速度が得られたことを述べた。また Mitchell は硫黄と酸素とは関係があるので、介在物組成、酸素含有量、硫黄含有量、機械的性質の間の関係を論じる場合、介在物がどのような型に属しているかを明確にすることが重要であるとの意見を述べた。山口 (紘) は TiO<sub>2</sub> を含有するスラグを使用した場合に鋼塊中の酸素含有量が増加したかと質問したのに対し杉原は増加したと答えた。

(4) D. M. Longbottom, A. A. Greenfield, G. Hoyle (英・British Steel Corp.) はエレクトロスラグ溶解の効率と鋼塊品質におよぼす溶解条件の影響についての研究 “A Statistical Evaluation of E. S. R. Operating Parameters” を発表し、Rawson が論文を代読した。実操業上の溶解条件として鑄型断面積、スラグ深さ、電極-モールド断面積比、モールド円周、投入電力の五つの条件を変化させた場合のスラグ抵抗値、溶解速度、消費電力、鋼塊表面状況、溶鋼プールの形状を16溶解の結果から統計的に数式化した。スラグ抵抗値はその深さを増すほど、また電極断面積比を小さくするほど大きくなる。溶解速度は投入電力および電極断面積比の増加に伴い大きくなる。消費電力はスラグ深さ、電極断面積比が増加するとともに小さくなる。鋼塊表面はスラグ深さ、電極断面積比、投入電力が大きくなるほど改善される。プールの形状はスラグ深さが大きく投入電力が小さいほど良く、投入電力が小さい場合には電極断面積比が大きいほど良いことを指摘した。

Mitchell は実験において種々の値を測定した鋼塊の高さ方向の位置について質問し、Rawson は鋼塊下端からの冷却の影響が無視できる直径の2倍以上の高さであると答えた。

(5) R. S. Cremisio (米・Consultant to Zak Inc.), E. D. Zak (米・Zak Inc.) は ESR のモールドに関する “Consideration of Mold Design Parameters and ESR Production Technology” を発表し、Cremisio が講演した。種々の ESR モールド (固定、可動、鋼塊引抜き、円形、矩形など) についての実用上の問題

点および設計上の問題点, たとえば構造物のクリープ, 冷却面の鉍物付着防止, 冷却水の沸騰防止のための流速, 内面材 (Cu) の厚み制限, 熱膨張の逃げ方, 脱型のためのテーパなどについての考え方を述べた。

Mitchell はモールド内面の最高温度について質問し, Cremisio は溶解法によつて異なるが, 銅モールドでは約 200~220°C であると答えた。Wahlster (独) は銅の材質とモールドの寿命との関係について質問し, Cremisio はこれに対して次のように述べた。銅の純度を高めれば寿命は伸びるが高価である。現在銅合金のモールドについて研究を進めており, 近い将来これが使用される可能性がある。

(6) J. Luchok, R. J. Roberts (米・Consar Corp.) は ESR 法の生産性に関する研究 “An Evaluation of Factors Influencing ESR Furnace Operating Efficiency” を発表し Roberts が講演した。直径 203 mm と 330 mm の電極を用いて直径 406 mm の鋼塊を溶解した。同一溶解速度では電極-モールド直径比が大きい方が溶鋼プールは浅く使用電力が少ないことを指摘した。電極径はモールドとのスパーク溶損がおこらない範囲において大きくすべきである。モールド上昇方式または鋼塊引下げ方式では銹肌を良くするためにあるいは漏鋼を防止するために直径比を小さくすることが普通である。この場合抵抗値の高いスラグを使用すれば溶鋼プールは浅くなり消費電力は小さくなる傾向にあるが, 経済性の面から品質に悪影響をおよぼさない限り直径比を大きくすることが望ましいと述べた。

J. F. Elliott はこの講演に対し電極直径比を大きくすることによって溶鋼プールが浅くなるのは大きな鋼塊の場合には考えられるが, この実験のような鋼塊では電極直径比が小さい場合の溶鋼プールを深くしている原因としては投入電力が高いことになると指摘した。これに対して Roberts はここでは溶解速度を一定にした場合の電極直径比の影響を報告したのであって, 入力を一定にした初期の実験ではこれと逆の結果が得られている。工業的には溶解速度を大きくすることが直要であると述べた。Holzgruber (オーストリア) はスラグ殻に関して質問したが, Roberts は電極直径比が大きくなるとスラグ殻は厚くなるがこれはスラグ温度が低かつ攪拌が少なくなるためであると答えた。さらに Holzgruber は電極直径比がより小さな場合でも浅く均一なプールが得られることおよび電極直径比を大きくした場合にはゴーストなどの問題が生じると述べた。

以上この Session では実操業上の問題点が活発に討論された。比較的小型の鋼塊の場合における溶解条件が鋼塊品質に与える影響については従来から定性的に求められていたが, 本シンポジウムでは系統的な実験によって定量化する試みが数社から報告された。また VAR と ESR の比較およびモールド設計上の問題点なども報告

された。

ここで取り上げられたおもな溶解条件としては電極の品質, 電極-モールド直径比 (あるいは断面積比), モールドの形状, スラグ量, 電源の種類などがあつたが, 一般的には電極-モールド直径比がおもな議論の対象になつていた, 直径比が大きくなれば消費電力が小さくなり, 経済的であることは大方の一致する意見であつたが, 溶鋼プールの形状との関連において品質に与える影響については意見が分かれていた。すなわち直径比が増加すると前述のような利点はあるが, 溶鋼プールを深くするので悪いという見解と, もう一つは溶鋼プールの深さは溶解速度によつて調節することができ, 直径比が大きな場合には表面近くでの温度勾配がゆるやかになるので逆に良いという見解である。

このような直径比に関する一見矛盾する議論は実操業面での他のいろいろな溶解条件 (たとえば鋼種, 鋼塊高さ, 使用スラグなど) によつて左右されるし, スラグの温度や電磁攪拌などが定量的に体系づけられていない現状においては一致した結論を得ることは難しいように思われた。

### III. Session 3. New Applications of ESR Technique

Session 3 の講演は第 1 日目の 6 月 7 日の午後 Session 1 にひき続いておこなわれ, ESR 法の新しい分野への応用に関する興味ある論文が 5 件発表された。

(1) J. B. Tobias, M. Bisnette, W. R. Foley (米・Teledyne Surface Eng.) は ESR 法によるロール表面被覆技術に関する研究 “Some Resign, Operational and Economic Considerations of an Electroslag Roll-Rebuilding Machine” について発表し, Tobias が講演した。ロール表面被覆の実験的設備については第 2 回シンポジウムで報告したが, 今回はそれを工業的規模まで拡大した機械の構造, 操業法および経済性を説明した。前もって表面仕上をした芯金ロールを水冷銅モールドの中に垂直にセットし, さらにロールとモールドの間には最高 27 本までの電極を兼ねたワイヤーを円周状に配置してエレクトロスラグ被覆をおこなう。1本の電極当りの最大溶着速度は 25 lb/hr であり, 被覆できるロールの最大直径は 36 インチである。ESR によるロール表面の再生は他の方法よりも被覆速度が大きく経済的であり, ロール総コストの約 25% の低減が可能である。また溶着金属を適切に選択すればロールの寿命の向上にもつながる。

Rawson はクラッドロールの実際の使用実績と被覆した後の表面の仕上について質問した。Tobias はまだ使用実績は得られていないが 6 カ月後には若干のデータが得られること, また仕上代は少ないことを答えた。Holzgruber はロールの種類と組成および被覆後のクラックの発生の危険性について質問した。これに対して

Tobias はホットワークロール用としてダイス鋼を用いた経験しかないこと、および後者についてはロールをモールドから抜き出した後すばやく一定温度の炉に装入することによつてクラックの発生は防げると答えた。最後に電極にワイヤーを使用する理由については Teledyne 社ではワイヤーを製造していること、またワイヤーは非常に応用範囲が広く大量のストックが可能であることなどを述べた。

(2) 氏家 昭, 佐藤昭三, 酒井幸雄, 永田順一 (三菱重工) は ESR による耐熱合金管の製造法および製品の品質についての研究 “Development of New Dynamic Casting for Application of Cylindrical Products” を発表し氏家が講演した。種々の断面形状を有するパイプおよびH型製品の製造に対して開発された技術は溶造法と称され、固定水冷モールドと引抜き機構に特徴がある。鑄造されたパイプの内外面はスラグ膜を通して急速に冷却されるので結晶粒の微細な製品を得ることができる。溶造法による HK40, HK50 のパイプの特性について説明したが、表面性質は良好で成分も均質であり機械的性質も優れていた。粒界における共晶炭化物が少なく炭素の固溶度が大きいので、2次炭化物が充分析出して熱間強度が上昇した。溶造管を実際のエチレンプントで使用した実績も良好であると報告した。

(3) 鈴木健三 (理研ピストン) は Cu-Fe 合金のエレクトロスラグ溶解に関する “Production of Cu-Fe Alloy by Electroslag Melting Process” を発表した。Cu-Fe合金は均質な鑄造組織が得られがたい合金で有用な性質を有するにもかかわらず工業的に生産することは困難であつたが、ESR 法によつてこの問題は解消した。80CaF<sub>2</sub>-10MgF<sub>2</sub>-10Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のスラグを用いて溶解した場合、微細で均質な組織の鋼塊が得られた。鋼塊の直径が60 mm から 250 mm に増加するとマイクロ組織は粗くなるが、均質性は失われなかつた。Cu-Fe合金は通常の溶解法では熱間加工性はきわめて悪いが ESR 法では40~90%Cu の領域でそれが改善され、鑄造、圧延のほか冷間加工も可能となつた。このような製造法によつて得られた合金の機械的性質、電気伝導度、磁気特性についても述べ、さらに製品の例を説明した。

この講演に対して 50Fe-50Cu 合金の鍛造温度に関して質問があり約 850°C であるという返答があつた。またスラグに MgF<sub>2</sub> を混合する理由については表面性質の向上のためであるとの返答があつた。

(4) G. K. Bhat (米・Mellon Inst. of Carnegie-Mellon Univ.) は中空鋼塊の製造を主とした “Manufacture of Shaped Castings through the Electroslag Remelting Process” について講演した。ESR 法によつて製造される合金とその製品について概説したあとで、例えばガスタービン用の superalloy の場合でも VAR 法は将来 ESR 法に置き換えられることを指摘し

た。さらに回転ディスク用素材としての中空 ESR 鋼塊の製造が重要になることを述べた。ESR 法によつて中空鋼塊を製造する場合の問題点として、(1) マンドレルの引抜き、(2) マンドレルの冷却、(3) 内外面の表面状況、(4) コストなどをあげ、Mellon 研究所で製造した種々の中空鋼塊の機械的性質を説明した。将来は中空鋼塊を低コストで製造する方法を開発することが必要であることを指摘し、一本電極および複数電極を使用した製造法を提案した。その他 ESR 法の応用範囲として大型鋼塊の製造、複雑な断面形状の鋼塊の製造の可能性を述べ、最後に非消耗電極を使用したスクラップ供給方式の溶解法についても説明した。

この講演に対しては非消耗電極溶解法に関する質疑応答が数多くおこなわれた。まず Gammal よりスラグの脱酸およびスラグの組成に関する質問がなされ、それに対して Bhat はスラグの脱酸が非常に重要で溶解中数分間隔で Al, Ca などの脱酸剤を周期的に添加すること、またスラグは溶解する合金に適した組成を選ぶが、CaF<sub>2</sub> 30~70% に MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を混合したものが標準であることなどを述べた。脱硫、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系介在物の問題に関しては脱硫は完全におこなわれ、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> はスラグに集まるので問題ないと述べた。Holzgruber は非消耗電極式 ESR 炉で溶解される合金の種類と電極の材質について質問した。Bhat は前者については Inco 718, Inco 600 であり、多量に発生する切粉を有効に使用することが目的の一つであると述べた。後者については表面にタングステンをスプレーした水冷銅電極を用い電極はゆつくり回転させると説明した。Roberts は電極の回転の目的と溶解電圧、電流について質問したが、Bhat は回転はスラグによる局所的な侵食を防ぐためであり、また溶解は 30~32 V, 8 KA でおこなつていると答えた。

(5) B. E. Paton, B. I. Medovar, G. A. Bojko, I. I. Kumish (ソ連・E. O. Paton Electric Welding Inst.) は ESR 技術による大型機械部品の接合に関しての “Shaped Electroslag Casting in Workpiece Production” を発表し Bojko が講演した。ESR 鑄造 (ESC) と ESR 溶接 (ESW) を組合わせた ESR 技術 (EST) の概念を一部映画により説明し、製造された種々の大型機械部品の例を紹介した。ESR 鑄造品は性能が熱間加工品に劣らない製造が得られるが、EST はこの長所を利用して多数の部品を接合し大型の複雑な形状の製品を作る方法である。ソ連では大型ディーゼル用クランクシャフト、圧力容器、冷間圧延用ロール、コネクティングロッド、中空鋼塊などがこの方法によつて製造されている。複雑で大型の構造物の製造は将来鍛造方式から EST 技術へ移行することが考えられ、高品質で精密性を有する部品の製造にも応用が期待されていると述べた。

この講演に対しては ESR 材と鍛造材の強度の比較について質問があり、Bojko はまったく問題ないと答えた。また Gammal は材料を ESR で接合した場合接合面にスラグ膜が形成されないかと質問したが、そのような膜は形成されず介在物も少ないとの答があつた。

以上のごとくこの Session では ESR 法の新しい分野への応用について活発な討論がおこなわれたが、講演数が 5 件と少なかつたにもかかわらず内容は比較的豊富であつた。ここで述べられた ESR 法の新しい分野としては Session 5 の大型 ESR 鋼塊は別として次の 4 項目に分類できる。

- (i) 溶着、被覆あるいは接合による複合材料、大型複合製品の製造
- (ii) ESR 材の品質を生かし、加工工程を簡略化するための複雑な断面形状の鋳塊の製造
- (iii) superalloy, 非鉄金属などエレクトロスラグ溶解する合金の範囲の拡大
- (iv) スクラップを直接原料とする溶解

これらの技術はいずれも完成されたものではなく、将来の応用技術としてますます研究が進むであろうし、それに付随してまったく新しい応用分野が開発されることも期待される。

#### IV. Session 4. Manufacturing and Properties of Tool, Bearing, High Alloy Steels and Super Alloys

Session 4 の講演は第 1 日目の 6 月 7 日の午後および 6 月 8 日の午後の 2 日間に分けておこなわれた。この Session では低合金鋼、工具鋼、高合金鋼などの製造と品質に関する論文が集められ 7 件の研究結果が発表された。

(1) B. Sjöberg, A. Cederlund, C. Engström (スウェーデン・Uddenholms Aktiebolag Steel Research Dept.) は ESR 条件と工具鋼の性質の間の関係に関する研究 “The Influence of the ESR Melting Rate and Ingot Size on Some Important Properties of Tool Steels” を発表し、Sjöberg が講演した。AISI H13 の衝撃強度におよぼす溶解速度の影響および AISI D2 の炭化物組織におよぼす溶解速度と鋼塊サイズの影響を調べた。H13 については溶解速度を 475~750 kg/hr の間で変化させた 600 mm $\phi$  の鋼塊を 275 mm $\phi$  に鍛伸した材料について衝撃試験をおこなったが、衝撃値は溶解速度の増加に伴って悪化した。これは溶解速度が増加するとマイクロ偏析、大型介在物の量が増加するためである。D2 については 120, 300 mm $\phi$  と 400 mmsq. の鋼塊について実験したが、炭化物組織におよぼす溶解速度の影響は鋼塊サイズによつてかなり異なつた様相を示した。300 mm $\phi$  の鋼塊は炭化物量は溶解速度に依存しないが、400 mmsq. の鋼塊では溶解速度の増加に伴って炭化物組織は改善された。120 mm $\phi$  の場合には溶解速

度が増加すると表面部の炭化物組織は良くなるが中心部では逆に悪化した。

Mellberg は溶解速度は電圧、電流、スラグ組成など種々の因子の相互関係で決まるが、溶解速度を何によつて変化させたかと質問したのに対して、Sjöberg は電極直径、スラグ組成、量、電極のスラグ中の浸入深さなどを一定に保ち入力増減のみによつて変化させたと答えた。J. F. Elliott は凝固組織は局部凝固時間に依存するので、単に溶解速度と凝固組織の関係は述べることはできず、溶解速度と局部凝固時間との間の直接的な関係は種々の因子を一定に保つてはじめて考えることができるという意見を述べた。

(2) 湯浅悟郎、矢島忠正、椎名堅太郎(日本特殊鋼) は高合金鋼、superalloy などの ESR における精錬効果および材料の品質に関しての “Quality Improvements of High Alloy Steels by ESR” を発表し椎名が講演した。モールドの直径は 160~570 mm でスラグは通常  $\text{CaF}_2\text{-30Al}_2\text{O}_3$  の組成であるが、superalloy の場合には 100%  $\text{CaF}_2$  を用いた。高合金鋼の脱硫率は電極中の S 濃度に依存し、これが 40 から 240 ppm に増加すると脱硫率は 30 から 50% に上昇する。Al, Ti を含む superalloy の場合には 65% の脱硫率が得られた。13% Cr 鋼では酸素含有量は平均 35 ppm まで減少する。また非金属介在物は A 系が 80%, B+C 系が 50% 減少し、さらに鋼塊サイズの増大および Si, Al の増加に伴って減少量は大きくなる。ESR 高速度工具鋼についてはとくに炭化物組織が良好で、一般鋼塊に比較して一次炭化物が細かく均一に分散した。そのため鍛伸後も一般鋼塊材との差異は明らかに認められ、ESR 高速度工具鋼は鍛伸率が小さくても結晶粒は微細で高い硬さが得られた。

(3) 門瀬益雄、添野 浩、柴田 勲、生田 勲、石川 勾(日立製作所) は冷延ロール用鋼の品質について VAR 材と ESR 材を比較した “The Quality of Vacuum Arc and Electro Slag Remelted High Carbon Chromium Steel” を発表し柴田が講演した。0.8%C-2%Cr の冷延ロール用鋼を直径 500 mm の VAR 炉および直径 750 mm の ESR 炉で溶解した。VAR の場合には半分を回転攪拌溶解、半分を静止溶解でおこなつたが、前者の場合にはフレックルが多数観察された。静止溶解の場合にはフレックルは減少するが完全には消失しなかつた。一方 ESR 鋼塊ではマクロ偏析のない清浄度の良い鋼塊を得ることができた。しかしデンドライト組織は ESR 鋼塊より VAR 鋼塊の方が微細で、ロールに要求されるミクロ的な均質性の面では VAR 材の方が優れていた。合金元素含有量と共晶炭化物の量を測定し、それらの間の関係を定量的に表わした。その結果から均質なロールを作るのに必要な C, Cr, Mo などの組成範囲を指摘した。

Cremisio は VAR における攪拌は自然に発生したものかあるいは強制的に与えたものかと質問し、柴田は外部磁場によつて過大に与えたと答えた。また鑄造状態で ESR 鋼塊の方が VAR 鋼塊より炭化物が細くなることかとの質問に対して柴田はこの研究では共晶炭化物の面積とデンドライトセルサイズを測定し、炭化物の大きさは測定しなかつたと答えた。

(4) 望月俊男、大賀栄次(三菱製鋼)は ESR ロール材の品質に関する“On the Quality of Forged Hardened Rolls Made by Electroslag Remelting”を發表し望月が講演した。ESR 溶解した 0.9%C-3%Cr-Mo-V の 800 mm $\phi$  の鋼塊から鍛造した 450 mm $\phi$  の冷延用ロールについて諸性質と実際の使用実績を述べた。ESR 鋼塊は表面肌が良く内部のマクロ組織はほぼ全体的に柱状晶から成りマクロ偏析は存在しない。非金属介在物は通常鋼塊の 1/3 に減少し、樹枝状晶間における炭化物の分布も均一である。ロールにおける Cr の偏析指数は通常鋼塊からのものが 1.55 であるのに対して、ESR 材では 1.32 に減少する。実際の使用の面からは ESR ロールは耐肌荒れ性、ダル加工性、ダルの耐摩耗性が優れている。また耐スポーリング性も向上するので、将来 ESR 法は鍛鋼焼入ロールの製造に対して重要性を増すであろうと結論した。

山口(紘)は写真における ESR 鋼塊中の介在物はアルミナクラスターのように思われるが、鋼塊中に多く存在するかと質問したのに対して、望月はまれであると答えた。

(5) R. S. Cremisio (米・Consultant to the U. S. Air Force), D. A. Shinn (米・Air For Materials Lab.) は特殊鋼および superalloy 中の微量元素に関しての“Trace and Residual Element Consideration in Vacuum and ESR Melting of Specialty Steels and Super-Alloys”を發表し Cremisio が講演した。Superalloy の性質に悪影響をおよぼす微量元素を有益なものとして有害なものに分類して概説し、VIM, VAR, ESR, EB などの各種溶解法における微量元素の挙動を述べた。つぎに具体的に superalloy の機械的性質を劣化させる有害な微量元素 Bi, Te などの作用および superalloy の熱間加工性を改良する Ca, Mg の添加の効果を説明した。また米国において製造されている superalloy 中の微量元素含有量の実態を述べるとともにこれの分析技術に関して現状では問題点があることを指摘した。さらに真空溶解における有害な微量元素の除去についての実験結果を説明し、将来の研究方法なども提案した。

この講演に対して Rawson はレアアース元素の添加を実験したことがあるかと質問した。Cremisio はおこなったと答え、さらに次のように述べた。レアアース元素の添加でいろいろな問題を解決することができた。レアアース元素は通常化合物の形で添加されるので Ce,

La などの個々の元素の適量については明らかでない。レアアース元素は非常に有効であり、個々の元素の果たす役割を充分理解した上で使用することが望ましい。たとえば Ce は Pb に対してきわめて有効であると述べた。真殿からの Ni 基合金の水素の問題に関する質問には、溶解中水素の pick up はなく電極も VIM 電極を用いるので問題はないと答えた。山口(紘)は ESR でスラグ成分とくに CaF<sub>2</sub> から微量元素が侵入することがあるかと質問し、Cremisio は Pb が侵入する場合がありますと答えた。

(6) V. J. Colangelo (米・Watervliet Arsenal), K. E. Holmes (米・AMMRC) は ESR 高抗張力鋼の機械的性質に関しての“Effect of Forging Reduction on ESR Melted High Strength 4337+V Steel”を發表し Colangelo が講演した。4337+V 高抗張力鋼の製造方法の改善と ESR 材の鍛錬比と機械的性質の関係を検討することを目的として直径 10 インチと 12 インチの鋼塊を製作した。鋼塊は鍛伸率 1.77, 2.56 の円筒および鍛伸率を 1.2 から 3.0 まで段階的に変えた段付き円筒に鍛伸し鑄造状態とそれぞれの鍛伸材について機械試験をおこなった。ESR 鋼塊は鑄造状態でも均質であり、強度および靱性が真空脱ガス鋼塊の鍛伸材より優れていた。さらに ESR 材においては衝撃値以外の機械的性質におよぼす鍛錬比の影響は小さい。これは樹枝状晶間のマイクロ偏析が少ないためである。高温で均質化処理をおこなうと降伏点と抗張力はさらに上昇した。これらの結果からテーパのない ESR 鋼塊からテーパ付きの高品質の鍛造品を作ることとも可能であると述べた。

Cremisio は均質性を調べる方法について質問したが、Colangelo は micro probe で確かめたと答えた。また Holzgruber は鍛伸率が小さい領域での機械的性質を、鍛伸温度、結晶粒度に関連させて意見を述べた。

(7) C. F. Elliott, J. W. Vorberger, M. G. Staton, G. L. Mills (米・Teledyne Allvac Co.) は A. C. ESR 炉での superalloy の溶解に関する研究“Super Alloy Melting Using an Ingot Bottom Withdrawal A. C. ESR Furnace”について發表し C. F. Elliott が講演した。炉は鋼塊引抜き、電極交換方式の ESR 炉で直径 20 インチ、15000 lbs までの鋼塊を溶解することができる。2 次側の出力は 100V, 15000A の 60 Hz 交流を用いる。Nickelvac H-X, H-C, 16-25-6, N155 などの固溶強化合金は良い表面性状を得るために以前は VAR 炉電源を使用して D. C. ESR 炉で溶解されていたが、現在では A. C. ESR 炉での生産体制が確立している。Mn, N などの volatile な元素を含む合金でも表面が良質の鋼塊を得ている。Ti, Al のような活性元素を含む A286, X750, Rene 95 のような析出硬化型合金の溶解も現在実験的におこないつつあり、成分偏析が極めて少ない鋼塊が製造されている。ESR による Superalloy の熱間加工



性は良く、特に Rene 95 については VAR 鋼塊に比較してそれがかなり改善されたが、ESR スラッグの脱硫効果によるものか否から今後の研究課題であると述べた。

真殿は操業時の出力電圧および fill ratio について質問し、前者については通常 50V であること、後者については面積比が 0.6 できると答えた。Cremisio はエレクトロslag溶解した superalloy 中には若干の Mg がスラッグの CaO とともに入る傾向があり、硫化物は  $TiSC_2$  に代つて細かく球状に分散してそのために横方向の靱性が改善されると述べた。J. F. Elliott は Ti, Al を含む superalloy の製造が ESR 法によつて容易になったことを認めたあとで、VAR 法と ESR 法では S の挙動に大きな違いがあると考えられているが Ti, Al を含む Co-Ni 合金中で Ca の溶解度があることを確認したかと質問した。C. F. Elliott は VIM でも CaO で脱硫すると熱間加工性が改善され ESR と同じ傾向が認められるが溶解度の点は明確でないと答えた。またソ連の文献では Ca, CaO を含むスラッグから Ca が減少するというデータがあるが、彼の以前の実験では Ca の減少は認められなかつたこと、およびその文献のデータはおそらく Ti, Al を含まない Ni 基合金の場合で Al, Ti を含む合金の場合についてはそのようなデータは見えないと述べた。また Mitchell からは高純 Ni を  $CaF_2$ -CaO スラッグで溶解した場合、電極先端から Ni 中に Ca が拡散することを確認したなどが述べられた。

Session 4 では以上のごとく構造用鋼、工具鋼、高合金鋼および superalloy などの主に ESR 材の品質に関する講演、討論が精力的におこなわれ、ESR 法の適用範囲が広いこと、および非常に大きな関心もたれていることが改めて認識される内容であつた。材料における均質性あるいは微細な炭化物組織が要求されている工具鋼、冷延ロール用鋼などに対しては ESR 法の一つの特徴である比較的速い冷却速度、あるいは一方向凝固プロセスを利用したものである。また均質性ととも機械的性質あるいは熱間加工性を悪化させる有害な微量元素が極力少ないことが要求されている高抗張力鋼、高合金鋼、superalloy などに対しては ESR 法のもう一つの特徴であるスラッグによる精錬反応を主に意図して適用されていると考えてさしつかえない。それによつて得られる材料はいずれも現状での溶解製造技術の最高水準に近い品質を有している。

このような理由から ESR 法で溶解される鋼種および合金の種類は、それぞれの目的に応じてますます広範囲に拡張されるであろうし、高合金鋼はいうまでもなく superalloy についても ESR 法が占める量的な比率は今後増加していくものと思われる。それに伴ない適切なスラッグ組成の開発、選択などに関する研究も活発におこなわれていくと考えられる。

## V. Session 5. Equipments and Operations for the Production and the Properties of Large Ingots

この Session の講演は第 2 日目の 6 月 8 日の午後におこなわれ、大型 ESR 鋼塊に関する論文が 6 件集められ討論された。

(1) 真殿統 (理研ピストン) は超大型 ESR 炉の概念に関する "Concept of Producing Very Large Ingot by Electroslag Melting" を報告した。ESR 炉を大型化する場合多極方式ではスラッグのエネルギーバランスが悪くスラッグ殻が不均一になる問題がある。また高電流による溶鋼攪拌も生ずるので、大型 ESR 炉には電極直径比を大きくした単相方式を採用すべきであると述べた。

(2) 新実高保、三浦正淑、松本重喜、鈴木章 (神戸製鋼) は 50 ton ESR 鋼塊の内部性状に関する研究 "An Evaluation of the Large Electroslag Remelted Ingot" を発表し新実が講演した。0.55% C 鋼の 1500 mm  $\phi$  の鋼塊の組織、成分偏析、機械的性質および水素含有量などを調査した。溶解条件が適切ならば偏析のない健全な鋼塊が得られるが、適切でない場合にはストリンガー状の偏析が発生する。鋼塊の水素含有量は大気中の水蒸気分圧の平方根に比例する。水素の問題はスラッグ面をアルゴンでシールすることによつて完全に解決すると述べた。

(3) M. Wahlster, R. Schumann (独・Leybold-Heracus GmbH & Co.) は超大型 ESR 鋼塊の品質に関する "A Contribution to the Electro-Slag-Remelting of Large Forging Ingots" について発表し Wahlster が講演した。4 極電極交換方式で製造した 1300 mm  $\phi$  (52 ton) および 2300 mm  $\phi$  (80 t) 鋼塊について品質の調査をおこない鑄肌、酸素、水素含有量、成分偏析、介在物含有量などの点がすべて良好なことを示した。したがつて 4 極電極交換方式で問題なく大型 ESR 鋼塊を製造できることを述べ、ロータなどの高品質大型鍛造用鋼塊に対して有効な手段であることを指摘した。

真殿はこの講演に対して多極 (4 極) 方式では磁力攪拌がおこり、さらに電極-モールド断面積比が小さいと電力消費量が大きく不経済であると述べた。Wahlster は各極が電氣的に独立しているため磁力攪拌はなく、また電力消費量の増加は全径費の 2~3% に過ぎず、それより品質上の問題から電極断面積比は小さい方が良いと答えた。さらに単極方式の場合には電流制限から 900 mm  $\phi$  以上に電極を大きくすることはできないとの意見が Wahlster から出されたが、真殿は Al の電解工場の例にもあるように投入電流の制限は全く無いと述べた。

(4) P. J. Wooding, J. Luchok (米・Consarc Corp.) は大型鍛造品用鋼塊の製造に関する "An Electroslag System for Large Forging Ingot Production" を発表し Luchok が講演した。3000  $\phi$   $\times$  6000 mm (300 t) の鋼

塊を溶解する ESR 炉の設計をおこなった。水素の問題に対しては装置を容器内に密閉し、磁場による攪拌の問題に対しては電極断面積比の大きい単極方式を採用し、これに伴う大型電極の製造および偏析の問題に対しては1/4円断面を有する鋼塊を横注ぎで4本製作し、これらを溶接によつて円柱状の電極に組立てる方式を採用した。溶解速度が8000 lb/hrの場合の高さ6000 mmの位置での溶鋼プールの形状を計算によつて求めると、プールの深さは約1000 mmになると報告した。

この講演に対し Holzgruber は溶鋼プールの深さについて、1000 mm  $\phi$  の鋼塊の実際の溶解で溶解速度を8000 lb/hr にすると深さは2000 mm以上にもなることから、計算結果の1000 mm というのは誤りで2500~3000 mm に達することが推定されるという意見を述べた。

(5) M. Wahlster (独・Leybold-Heraeus GmbH & Co.) は大型 ESR 鋼塊の経済性に関する“Comparison of the Economy of Manufacturing Forgings by Conventional Methods and BA the Electric Furnace Slag Remelt (ESR) Process”を報告した。大型 ESR 鋼塊の製造上の問題点の一つであると考えられる経済性について実際の製造実績をもとに検討し、ESR 法は最も経済的であることを指摘した。ESR の経済性は (a) 炉の生産量をも高める (固定費の減少)、(b) 小型炉では高合金鋼のみを溶解する、(c) 事故率の高いものを溶解する (d) 鍛造費の高いものを溶解する、などによつて高められると述べた。

(6) P. E. Paton, B. I. Medovar, V. P. Andreev, Yu. G. Emeljanenko, Yu. V. Sobolev (ソ連・E. O. Paton Electric Welding Inst.) は EST による大型鋼塊の製造に関する“Production of Super Large Billets Made of Ingots and Forgings on the Basis of Electroslag Technology”を報告した。電極と同一鋼種のモールドを用いてこの内面を溶かすことにより大きな ESR 鋼塊を製造する方法を述べ、100~150 t の鋼塊の製造が可能であることを示した。また ESR 双極方式により2つ以上の ESR 鋼塊を溶接し大型鋼塊を製造する方法について述べ、1500 mm  $\phi$  の実績が良好であるので、3000 mm  $\phi$  の鋼塊の溶接も好結果が期待されていると報告した。

この Session で講演された論文は既発表のものが一部あり、大型鋼塊としてはやや新鮮味に欠けていた感じもある。6件の講演の内容から大型鋼塊 (50 t 以上) の製造上の問題点を総括すると次のごとくなる。

- (i) 水素の pick up の防止手段
- (ii) 大電流による溶鋼の攪拌の防止手段
- (iii) 偏析の少ない大型電極の製造方法
- (iv) 溶鋼プールを浅くする方法

水素の pick up を防止する技術および溶解速度を小さくしてプールを浅くする技術はすでに解決されたということが2, 3の会社から報告され特に異議はなかつたが、プールの電磁力攪拌については意見が分れていた。すなわち多極方式では、極間の電氣的アンバランスおよび高電流による溶鋼攪拌は現技術では防止できないという意見、そして単相多極方式を採用すれば防止できるという意見である。またこれに関連する問題として、短尺モールド (moving mould, ingot withdrawal process) を使用する場合には、鋼塊収縮の不均一、スラグ殻の不均一によつてもたらされる漏鋼の危険性も指摘されたが、スラグを高温化し、しかも溶解速度を小さくすれば解決できるという意見があつた。



パーティー会場風景 (経団連会館ダイヤモンドルーム)

さらに多極電極交換方式を支持する理由として、偏析の少ない経済的な電極の製造が単極方式では難しいことをあげているが、縦方向に4分割したモールドに注入し後に円注状に溶接して組立てれば大きな電極の製造も可能であるという意見があつた。

いずれにしても超大型鋼塊の製造技術は経済性を含めて大きな問題を残しており、その点ソ連で研究されている溶接によつて大きな鋼塊を作る方法、および consumable mould 法などは今後現実的な手段として論議されていくものと思われる。

以上のように2日間にわたつておこなわれた今回の ESR 国際シンポジウムは内容的に基礎から応用までバラエティーに富み、多数の出席者の熱心な討論によつて実りのあるものであつた。今回のシンポジウムが今後の ESR 技術の発展に果たす役割は非常に大きいものと考えられる。

最後に 田畑専務理事より次回のシンポジウムは1976年にオーストリアのウィーンで Wahlster が幹事役となつて開催されることになつたと述べられた。

(三浦正淑, 金原 茂)