

## 新溶解工場の建設とその立上がり操業

## Construction and Operation of New Melting Shop at Muroran Plant of JSW

(株)日本製鋼所室蘭製作所 浅野岩生\*・鈴木 忠・舟崎光則  
室蘭研究所 竹之内朋夫・山田久

## 1. 緒言

次世代エネルギーシステムとして、発電効率を高めるべく超電導発電、コンバインドサイクルなどの研究開発事業化が行われている。それらのシステムに使用されている部材は、使用条件が極めて厳しいため高級な高合金材料が使用され、かつ厳しい品質が要求される。

これらの部材の製造を目的として、当製作所では、最新鋭の真空溶解炉(VIM)、および再溶解により更に品質を高めるエレクトロ・スラグ溶解炉(ESR)を設置した工場(第3製鋼工場)を新設した。これらの溶解装置は、コンピュータによるプログラム溶解が可能な設備で、最新鋭の自動溶解が具備されており、かつ100tのESR能力は国内最大である。

この新設設備により、高合金部材から従来から製造している超大型高級鍛鋼品まであらゆる分野の鍛鋼品の製造が可能となった。以下に、本工場の設備概要および本設備の最大鋼塊径である1800mm $\phi$ (70t)鋼塊の品質評価について報告する。

## 2. 新溶解設備の特徴

## 2・1 設備概要

本工場の設備概要をTable 1に示す。ESR装置として100tESR, 5tESRの2基, また5tVIMを有し, 生産能力は, 製品内容にもよるが, ESR装置として600~650t/月(約7500t/年)である。

以下, 100tESR, 5tESR, 5tVIMの順に設備内容を簡単に紹介する。

## 2・2 100t ESR

2 Heads 2 溶解ステーション(固定モールド方式: Aステーションおよび鋼塊引抜方式: Bステーション)からなり, 以下に示す特長を有している。

- ①Aステーションにおいて, トランス2台を並列につなぎ, トランス容量を5400kVA(2700kVA $\times$ 2)とし, 単一の電極を使用して最大100t(1800mm $\phi$  $\times$ 5000mm $l$ )の鋼塊の製造が可能である。
- ②トランス2機をそれぞれ独立に稼働させることにより, A, B両ステーションにおいて, 同時溶解が可能である。
- ③Bステーションにおいて, A, B両ヘッドに設置した電極の溶解が可能である。

これにより, 5tVIMで溶製した電極を交換しながら溶解することにより最大20t(1000mm $\phi$  $\times$ 3250mm $l$ )の鋼塊の製造が可能である。

## 2・3 5t ESR

1 head 2 溶解ステーションからなり, 最大5t(500mm $\phi$  $\times$ 3300mm $l$ )の鋼塊の製造が可能である。この構造により, 溶解前の段取作業中に, ヘッドを使用ステーション外に振ることにより段取時間の短縮化を図ることができる。

## 2・4 5t VIM

本炉は, 公称5t炉であるが, 炉体交換により3t炉の使用も可能であり, 2~5tの鋼塊の溶製が可能である。また, 排気系はメカニカルポンプ+ブースタポンプを使用し, 到達真空度は $10^{-3}$ Torrの高真空が得られる。さらに, 溶鋼の攪拌にパルス攪拌方式を採用することにより,

Table 1. Main Specifications of No.3 Melting Shop.

| Facility           |          | ESR                          |                      |                    | VIM  |
|--------------------|----------|------------------------------|----------------------|--------------------|--|
| Equipment          |          | 100 <sup>t</sup> ESR         | 5 <sup>t</sup> ESR   | 5 <sup>t</sup> VIM |  |
| Unit Type          |          | 2 Heads<br>2 Stations        | 1 Head<br>2 Stations | Hydraulic Tilt     |  |
| Capacity           | Weight   | 100ton                       | 20ton                | 5ton               | 3 or 5 ton   |
|                    | Power    | 5400kVA<br>(2700 $\times$ 2) | 2700kVA              | 1380kVA            | 1500kW<br>200Hz  |
| Max. Ingot Size    | Diameter | 1800mm <sup>*</sup>          | 1000mm <sup>*</sup>  | 500mm <sup>*</sup> | Melt Chamber<br>3.8 $\times$ 3.3 $\times$ 5.0(m)<br>Mold Chamber<br>4.0 $\times$ 2.7 $\times$ 5.0(m) |
|                    | Height   | 5000mm                       | 3300mm               | 3300mm             |  |
|                    | Weight   | 100ton                       | 20ton                | 5ton               |  |
| Slag Melt Capacity |          | Max. 3300kg                  |                      | Max. 160kg         | Vacuum Degree<br>$10^{-3}$ Torr  |
| Atmosphere         |          | Dry Air or Inert Gas         |                      |                    |  |

平成7年1月27日受付 (Received on Jan. 27, 1995)

\*Iwao Asano(Muroran Plant, The Japan Steel Works,Ltd.,4 Chatsumachi Muroran 051)

溶湯の均一化および脱ガスを促進する。

### 3. 1800mmφ ESR鋼塊の品質評価

当製作所では、新溶解設備により70t鋼塊(1800mmφ×3500mm $l$ )を溶製した。ESR条件をTable 2に示す。材質はNiCrMoV鋼であり、化学成分をTable 3に示す。また、この鋼塊を切断・調査し内部性状を評価した結果を以下に述べる。

#### 3.1 冷却速度の推定

デンドライト2次アーム間隔を測定することにより、次式により冷却速度を計算した。デンドライト2次アーム間隔測定結果をFig. 1に示す。

$$\epsilon = -n \sqrt{\frac{S_{II}}{a}} \quad (1)$$

ただし、 $\epsilon$ は、冷却速度 ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ )、 $S_{II}$ は、デンドライト2次アーム間隔 ( $\mu\text{m}$ )、 $n$ と $a$ は、材質で決まる定数である。これより算出した冷却速度をFig. 2に示す。また、比較のため普通鑄造法における冷却速度も併せて示す。

これより、普通鑄造法の冷却速度は、表面から200mm程度までは、ESR法よりも大きい。それ以上内部になるとESR法が大きいと推定される。

#### 3.2 凝固パターンの推定

内部品質の状況は、凝固の進行形態と熱的条件によって決定される。そこで、凝固の進行パターンを普通鑄造法は凝固解析によりESR法は、以下の仮定にしたがって推定した。凝固界面の進行は、電極が溶解された量だけ凝固する定常凝固を仮定すると、溶解速度とモールド径から求められる。

$$V = \frac{MR}{(D/2)^2 \times \pi \times \rho} \quad (2)$$

また、次式の関係から凝固界面での温度勾配を求めることができる。

$$G = \epsilon / V \quad (3)$$

ただし、 $V$ は凝固速度 ( $\text{cm}/\text{min}$ )、 $MR$ は溶解速度 ( $\text{g}/\text{h}$ )、 $D$ はモールド径 ( $\text{cm}$ )、 $\rho$ は密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )、 $G$ は温度勾配 ( $^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ )、 $\epsilon$ は冷却速度 ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ )である。

Fig. 3に普通鑄造鋼塊とESR鋼塊の凝固進行状況を比較して示す。これによると、普通鑄造鋼塊では、凝固進行の不均一性と、凝固遷移層の幅(固相率0.3と0.7の間)が次第に拡大する(軸心位置の縦方向で3cmから60cmまで変化)傾向が認められる。

しかし、ESR鋼塊では、凝固遷移層の幅が最大でも3cm程度で推移しており、凝固に伴う種々の偏析現象は軽減される。

また、凝固界面の角度変化により逆V偏析の発生は抑制される方向にあり、ESR法の優位性が認められた。

Table 2. ESR Condition.

| Item              | Content   |
|-------------------|---|
| Ingot Weight      | 68'000  |
| Fill Ratio        | 0.73  |
| Surface Treatment | Grinding  |
| Slag System       | CaF <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>-CaO-SiO <sub>2</sub> |
| Current           | 54 ~ 45 kA  |
| Voltage           | 96 ~ 80 V   |
| Start Pattern     | Hot Start   |
| Atmosphere        | Dry Air   |

Table 3. Chemical Composition. (mass % / N, O, H ppm)

|        | C   | Si  | Mn  | P    | S     | Ni   | Cr   | Cu  | Mo  | V   | Al    | N  | O  | H   |
|--------|-----|-----|-----|------|-------|------|------|-----|-----|-----|-------|----|----|-----|
| Top    | .24 | .10 | .30 | .004 | .0010 | 3.27 | 1.69 | .04 | .36 | .10 | <.005 | 96 | 11 | 2.8 |
| Bottom | .22 | .09 | .31 | .008 | .0010 | 3.20 | 1.59 | .04 | .36 | .09 | <.005 | 97 | 11 | -   |

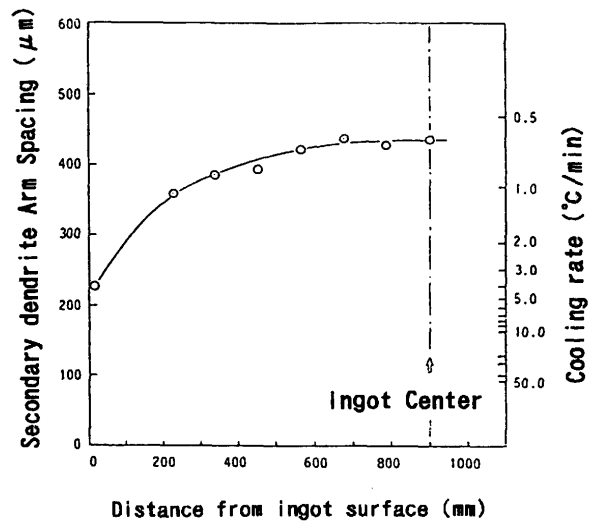


Fig. 1. Secondary dendrite arm spacing of 1800mmφ ESR ingot.

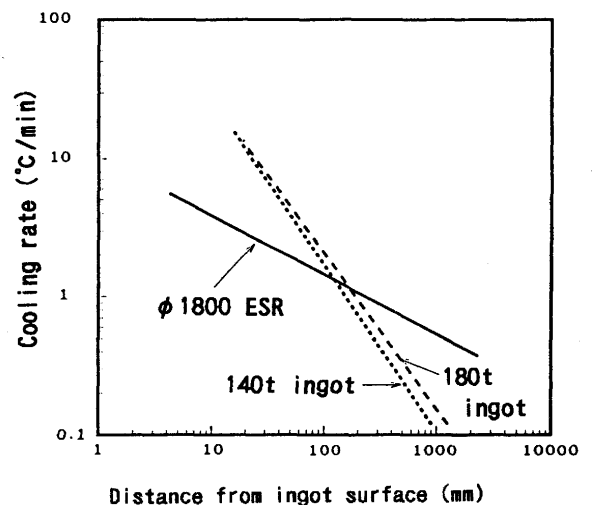


Fig. 2. Comparison of radius cooling rate between ESR and conventional ingot.

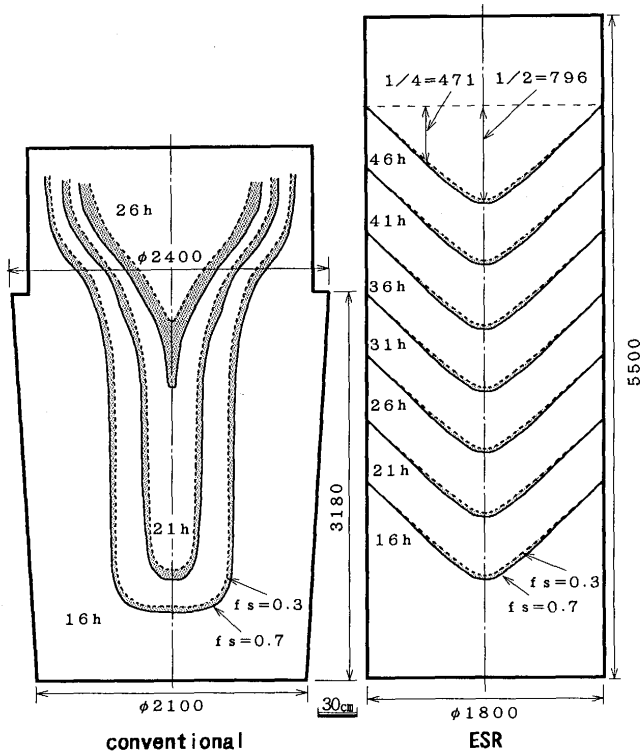


Fig. 3. Comparison of solidific pattern.

### 3・3 他の調査事項と結果

#### ①サルファプリント

偏析等に起因するindicationは認められなかった。

#### ②マクロ組織

スポット状の白点がわずかに観察されたが、ストリーク状のものはなく、非常に良好であった。

#### ③清浄度

介在物は、酸化物が主体であり、清浄度は、約0.01%と

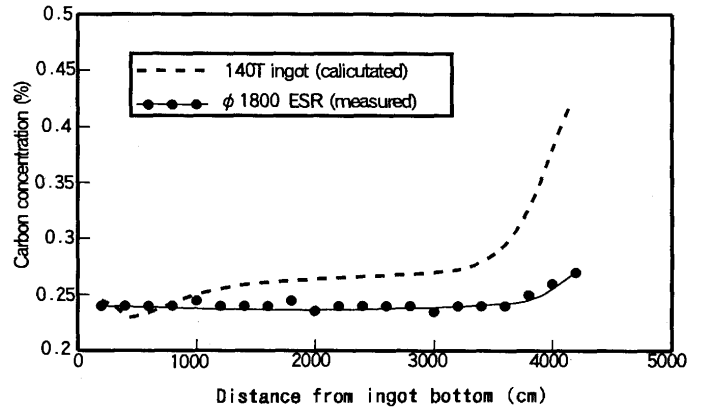


Fig. 4. Comparison of Carbon profile.

非常に低いレベルにあった。

#### ④成分分布

ESR法の特徴である積層逐次凝固により、普通鋼塊と比較して良好な均一性を示した。Fig. 4に普通鋼塊とESR鋼塊の軸心部におけるC分布を示す。ESR鋼塊は軸心Top側においてもほとんど濃化がなく、品質のみならず歩留も高いといった優位性が確認された。

## 4. 結言

最近のエネルギー効率の向上を目指した高純度材料、高合金材料の要求に対応すべく、ESRおよびVIM設備を新設した。

今回、本設備能力最大の1800mmφESR鋼塊を溶製し、評価を行った結果、特に冷却・凝固パターンにおいて、普通鑄造鋼塊と比較して著しい優位性が認められた。