

---

知多工場低周波誘導炉設備の建設と操業について

Construction and Operation of a Large-Type Low Frequency Induction Furnace for Cast Iron, Cast Iron Roll and Ductile Roll at Chita Works

小玉 寛(Yutaka Kodama) 有本 武司(Takeshi Arimoto)

---

要旨：

公害防止とコストダウンを目的として設置された鑄鉄鑄物、鑄鉄ロールおよびダクタイルロール鑄物溶解用低周波誘導炉3基（4t、25t、40t）が、1973年1月知多工場で操業を開始した。誘導コイルは、25t炉は2分割、40t炉は3分割方式とし、溶解量に応じて通電コイルが撰択できるようにするなど、いくつかの新しい設計がとりいれられている。操業開始以来大きな操業上のトラブルもなく順調に稼働している。40t炉の操業実験では次のようなことがわかった。(1)平均加炭効率は98%である。(2)電力原単位、生産性の点を考慮すると、残湯率は37%ぐらいが最適である。(3)Fe-SiのSi歩どまりは平均96%、装入材料中のSiロス冷材法で約23%である。(4)溶湯の温度上昇速度は湯量が多くなるほどよく、湯量が25t以上の場合は7.0~7.5°C/minで安定し、これに要す電力は13kWh/°Cである。

---

Synopsis：

With the aim of pollution prevention and cost reduction, three units (4t, 25t, 40t) of low frequency coreless induction furnaces for cast iron, cast iron roll and ductile iron roll were installed at Chita Works and put into their operation in January 1973. The induction coil system is divided into two segments in the case of the 25t furnace, and three segment in the case of 40t furnace. This setup makes it possible to select induction coil suitable for the amount of material charged. No serious troubles have been encountered ever since the start of the operation. From the operational experiments of the 40t furnace, the following items have been found: 1) Average carbon yield is 98% 2) The optimum residual molten iron rate is around 37% considering unit power consumption and productivity. 3) Si yield of ferro-silicon is about 96% on the average and silicon loss about 23% in case of cold charge. 4) The rate of temperature increase is higher as the amount of molten iron increases. In case where the amount of molten iron is 25t and up, the temperature increasing rate becomes stabilized at 7.0 or 7.5°C/min, with power consumption 13kWh/°C.

本文は次のページから閲覧できます。

## 知多工場低周波誘導炉設備の建設と操業について

Construction and Operation of a Large-Type Low Frequency Induction Furnace for Cast Iron, Cast Iron Roll and Ductile Roll at Chita Works

小 玉 寛\*

Yutaka Kodama

有 本 武 司\*\*

Takeshi Arimoto

### Synopsis:

With the aim of pollution prevention and cost reduction, three units (4t, 25t, 40t) of low frequency coreless induction furnaces for cast iron, cast iron roll and ductile iron roll were installed at Chita Works and put into their operation in January 1973.

The induction coil system is divided into two segments in the case of the 25t furnace, and three segment in the case of 40t furnace. This setup makes it possible to select induction coil suitable for the amount of material charged. No serious troubles have been encountered ever since the start of the operation. From the operational experiments of the 40t furnace, the following items have been found:

- 1) Average carbon yield is 98%
- 2) The optimum residual molten iron rate is around 37% considering unit power consumption and productivity.
- 3) Si yield of ferro-silicon is about 96% on the average and silicon loss about 23% in case of cold charge.
- 4) The rate of temperature increase is higher as the amount of molten iron increases. In case where the amount of molten iron is 25t and up, the temperature increasing rate becomes stabilized at 7.0 or 7.5°C/min, with power consumption 13 kWh/°C.

### 1. 緒 言

知多工場铸造部では、これまで20年らい、キューボラおよび反射炉により、铸铁系のロール、定盤、インゴットケースおよび機械铸件を溶製してきたが、公害防止対策と溶解作業の合理化を目的として低周波誘導炉設置の計画をすすめ、昭和47

年4月より設計を始め、約9ヶ月後の48年1月より稼動にはいった。

当低周波誘導炉は、富士電機—JUNKERの設計、製作によるもので、公称能力40t炉(6000kW)1基、25t炉(4000kW)1基、および4t炉(1000kW)1基の計3基である。

特に铸铁系の溶解炉として、40t炉は日本では最大級の炉容である。またこれらの炉にはいくつ

\* 知多工場铸造部製鋼課課長

\*\* 知多工場铸造部铸造課課長

かの新しい設計がとりいれられており、特に25 t 炉、40 t 炉のコイルは2～3ヶに分割されているため、溶解量に応じて、通電コイルを撰択できるようになっている。

当設備は稼動以来5ヶ月を経過し、操業も順調に行なわれているので、以下に設備の概略と操業実績を報告する。

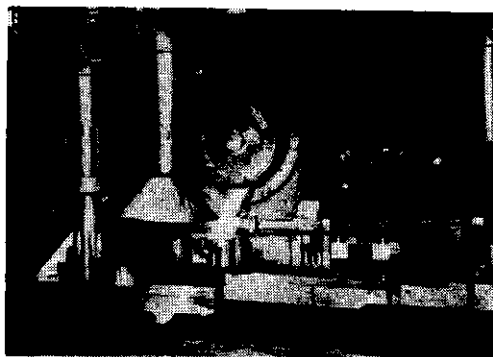


写真 1 出湯中の40 t 低周波誘導炉

## 2. 設備の計画

低周波誘導炉が工業的規模で初めて建設されて以来すでに久しく経過したが、当初のものはいづれも溶解能力が5 t 前後の小型炉が多く10 t 以上の炉容では技術的な面で採用されにくかった。しかしここ数年間の技術の改良はめざましく、10 t 以上のものが次々に建設され、その安定操業が認められるとともに低周波誘導炉に対する信頼性が広く認識されるようになった。特に自動車鑄物業界を中心として大型炉が、これまでのキューボラにかわって採用されるようになってから、その他の業界でもあらためて低周波誘導炉の優秀性が注目をあび、全国的に普及するようになった。

最近では急激に公害問題がきびしくなり、また作業環境の改善も重視されるようになって、ますます低周波誘導炉が採用されはじめた。当所においても、これらの観点から、キューボラおよび反射炉を廃棄して低周波誘導炉を建設することを目的として計画を進めたが、計画に当たって考慮した点は次のとおりである。

(1) 低周波誘導炉で溶解する対象品種は主とし

て鑄鉄ロールであるが、普通鑄鉄鑄物およびダクタイル鑄物も溶解する。

(2) 炉容の設定に当っては厚板圧延用ロールが溶解可能であることを基本とし、外湯用の炉として40 t 炉を1基、中抜湯用の炉として25 t 炉を1基採用した。4 t 炉は鑄鉄鑄物およびダクタイル鑄物溶解用として設置する。なお各炉の所要電力はロールの場合それほど迅速溶解の必要がないので、自動車用鑄物溶解炉に比較して小さくしてある。

(3) 炉形はロール溶解の場合、間歇操業を行なうのでルツボ型を採用し、いくぶん細長くしている。

(4) 誘導用コイルは、この炉の最大の特徴の一つであり、分割方式になっている。これは大小種々のロールを溶製する場合、湯面の高さが異なり、特に軽装入時は溶湯の攪拌が激しく、酸化されやすくなるので、上段または中段コイルの通電を中止し、中・下段コイルのみ通電することにより、溶湯の攪拌をある程度押えることができる。その他40 t 炉の製作で注意した点は次の通りである。

(i) 大型炉では炉体の自重やライニングの膨脹などによって大きな力を受けるので、これに十分に耐え得る構造にするために円形かご形状の鋼製枠で外殻をかため、またコイル自体も強度メンバーの一つとして強固な構造になっている。

(ii) 大型炉ではコイルの内側に大量のライニング材を使用するが、これから発生する水分をできるだけはやく除去する必要があるので、炉底部にガス抜き機構を取り入れている。

(iii) 大型炉では投入電力が多くなり、漏洩磁束が多くなると、炉殻機構に熱が発生しやすくなるので、これの防止にくふうがなされている。

(iv) 炉容が大きくなるほど、湯洩れによる事故損失が多くなるので、湯洩れ検出装置には特に注意している。

以上の他に省力化や作業環境の改善、公害問題の解決もこの計画の大きな理由であった。

(a) 省力化は低周波誘導炉が1種の電気設備であり、作業の自動化や、管理が行なわれやすいので、キューボラ、反射炉に比較して要員が少なくてすむ。

(b) 低周波誘導炉は、炉修が少なく、キュボラや反射炉に比較して粉塵が少ないので作業環境が良くなる。

(c) 公害問題については、低周波誘導炉は本質的にあまり粉塵およびガスを発生しないが、諸情勢を考慮して炉体上部に集塵フードを取り付け完全集塵をはかっている。

### 3. 設備概略

#### 3.1 レイアウト

図 1 に低周波工場のレイアウトを、図 2 に 40 t 低周波誘導炉および電気設備の断面図を示す。  
装入材料は原料ヤードで、装入バケットまたはバ

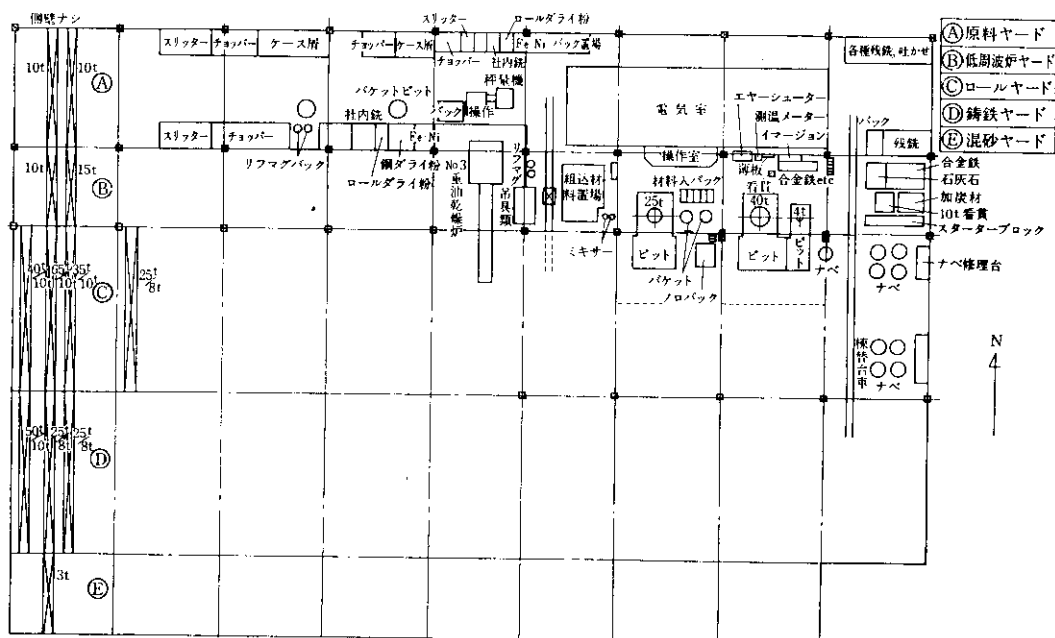


図 1 低周波炉工場レイアウト

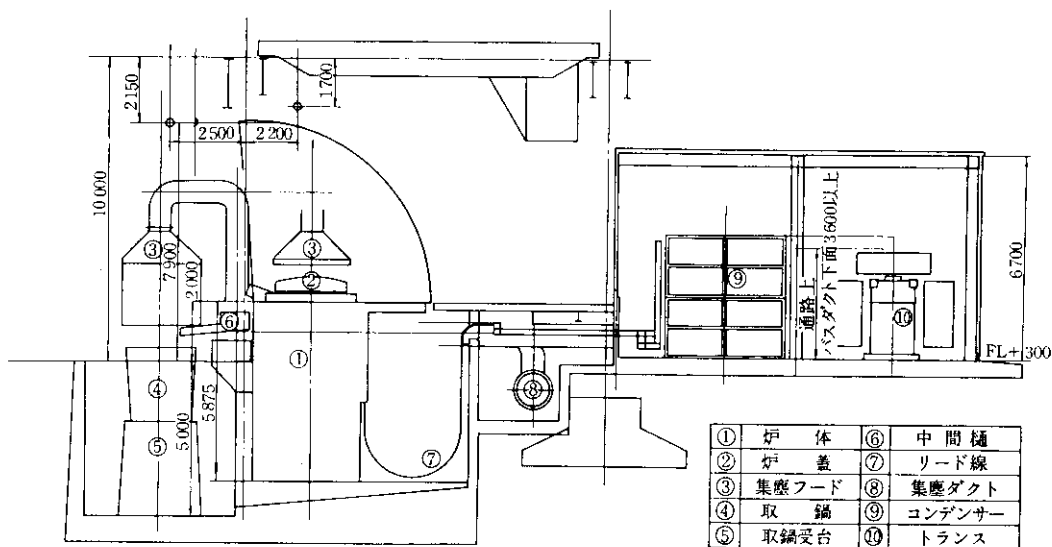


図 2 40 t 低周波炉・電気設備断面図

ックにリフマグで装入し、自動秤量機で調整後、自動棟替台車で低周波炉ヤードに運ばれ、溶解作業デッキ付近の床に仮置きしておく、副原料は同一ヤードの反対側に搬入保管しておく、溶解作業デッキは  $FL+2000\text{mm}$  とし、デッキ面は加炭材の粉塵などで滑らないように安全面を考慮して

赤煉瓦張りにしている。

低周波炉の溶解では、棚吊り事故などのトラブルが発生しない限り酸素は使用しないため、電気炉に比較して非常にダストは少ないが、溶解期および出湯時に若干ガスが発生するので、これを完全に集塵するため180°旋回できる集塵フードを取



写真 2 溶解中の40 t炉低周波炉



写真 3 操作室

表 1 低周波の性能表

|            | 炉 形 式                    | NET <sub>Ge</sub> 4000/1000 | NET <sub>Ge</sub> 25000/4000 | NET <sub>Ge</sub> 40000/6000 |
|------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 一 般<br>仕 様 | 炉 容 量 (t)                | 4                           | 25                           | 40                           |
|            | 炉 入 力 (kW)               | 1000                        | 4000                         | 6000                         |
|            | 炉 効 率                    | 0.80                        | 0.82                         | 0.82                         |
|            | 保 温 電 力 (1250°C) (kW)    | 95                          | 247                          | 334                          |
|            | 保 温 電 力 (1450°C) (kW)    | 110                         | 280                          | 380                          |
|            | ライニング蓄熱量 (室温)<br>(kWh/t) | 90                          | 68                           | 64                           |
|            | 〃 (800°C)<br>(kWh/t)     | 40                          | 30                           | 28                           |
| 溶 解 率      | 冷材スタート (室温より)<br>(kg/h)  | 970                         | 4350                         | 6670                         |
|            | 〃 (800°C予熱より)<br>(kg/h)  | 1080                        | 4800                         | 7260                         |
|            | 1/3 残温 (kg/h)            | 1700                        | 7300                         | 11000                        |
|            | 1/2 残湯 (〃)               | 1860                        | 7970                         | 12000                        |
| 電 力<br>消 費 | 冷材スタート (室温より)<br>(kWh/t) | 750                         | 690                          | 675                          |
|            | 〃 (800°C予熱より)<br>(kWh/t) | 690                         | 625                          | 620                          |
|            | 1/3 残湯 (〃)               | 540                         | 505                          | 500                          |
|            | 1/2 残湯 (〃)               | 516                         | 488                          | 486                          |

注：溶解率および電力消費は出湯温度1450°Cとする

付けて既設の電気炉用集塵機にダクトで導入している。

装入は、装入バケット、バッグの外に、鋳型屑、ロール屑などの大きなブロックはリフマグで装入できるようになっており、炉蓋は油圧で90°旋回できる。操作室は操作盤、記録装置および各種の保護装置用計器が取り付けられており、故障発生の場合は保護装置の作動—主電源開閉器の遮断—ブザー警報およびランプ表示がなされる。シンター（焼結）はプログラムコントロールで自動的にできるようになっている。

炉の傾倒は油圧機構で行なわれ、傾倒角度は出湯ピット側に95°傾倒可能であり、炉底ピットは万一の湯洩れ事故が発生した時溶湯が出湯ピットに流れるように若干の傾斜をつけ煉瓦張りとしている。出湯は、低周波炉ヤード15tクレーンと造型ヤードの65tクレーンのフック位置間隔が4280mmあるため直接取鍋で受銑できないので、あらかじめピット内の受台にセットした取鍋に、中間樋を通して受銑するレイアウトになっている。

除滓は、溶湯量が少ないときは炉を傾倒して行

なわなければ困難であるので、出湯ピット上に電動式移動除滓台車を設置した。環水設備は、電気炉および集塵機で使用しているものにポンプ2台増設して共用している。

表1に4t、25t、および40t炉の性能表を示す。

### 3.2 炉外形、コイル、および湯洩れ検出

図3に25t炉の外形、図4にコイル断面を、図5にコイル支持構造を示す。炉の傾倒は油圧式で、作業床上に設置された操作盤で行なわれ、炉体重心点④を油圧シリンダーで押し上げること

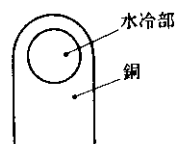


図4 コイル断面

により傾動支点⑧を中心に、出湯口側に95°傾倒可能である。(図3参照)

コイルは、4t炉は1体であるが、25t炉は上、

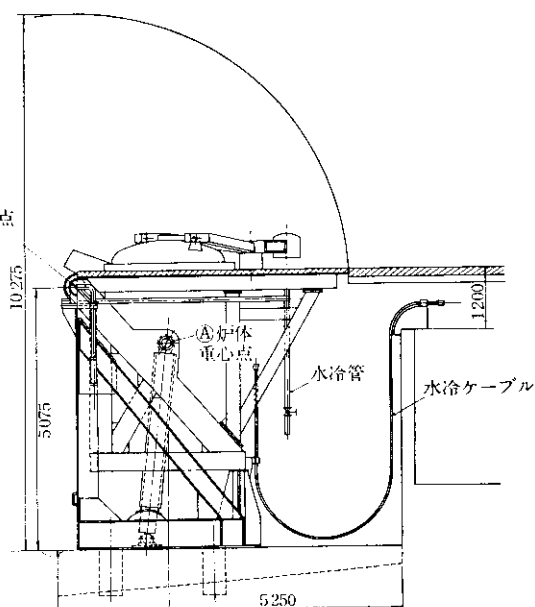
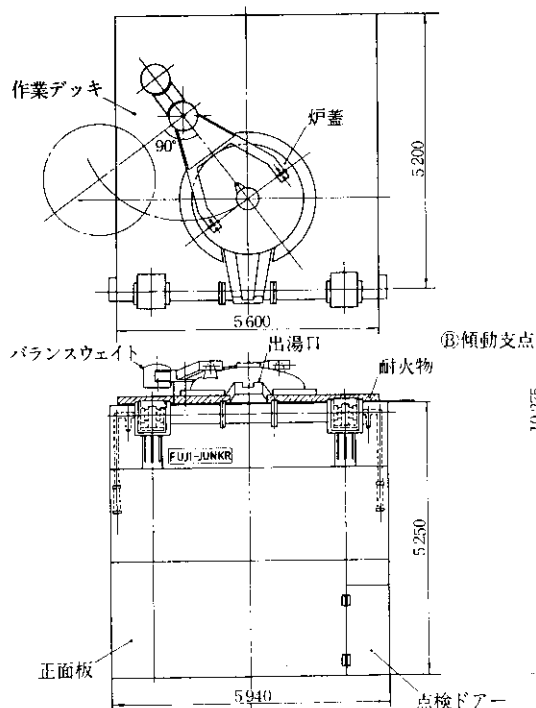


図3 25t低周波炉の外形

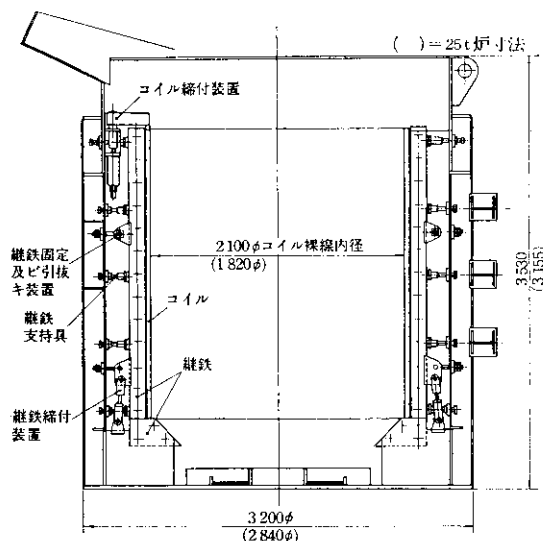


図5 40t (25t) 炉コイル支持機構

下の2分割, 40t 炉は上, 中, 下の3分割方式を採用しており, コイル内部は水冷されている。コイル間および, コイル自体の表面は完全に絶縁されていて, 背後から継鉄で強力に支えられている。この継鉄はまた形鋼製のC字形枠におさめられ, 枠からのボルトでコイル方向に押しつける構造を採用している。(図5参照)

湯流れ検出は, 溶湯がコイルに達する前に検出する必要があるため, コイルの内側にある絶縁物にアルミニウム箔をはり, これを陽極側とし, 溶

湯を陰極側として, 電流, 電圧を通ずることにより, 万一湯差しの場合は, コイルに達する前に警報でキャッチできる装置となっている。

### 3.3 ライニング材, スタンプ

ライニング材は, 高純度の天然シリカに, バインダーとして硼酸を適量配合したもので, ライニングはミキサーで十分混練後, ドライの状態で行なう。まず数部に混練したライニング材を適量入れ, 所定の厚みにパイプレーターでつき固め, 次に鋼製で円筒状の焼結用形枠(ラミングフォーマー)を挿入し, 形枠の外側と絶縁張りしたコイルとの間に, ライニング材を充填し, パイプレーターを形枠の中に入れてパイプレートすることによりライニング材をつき固める。

### 3.4 焼結

焼結は, ライニングのスタンプ完了後, 形枠内にスターティングブロック(炉容量の約25%の冷材)を装入し, 図6に示すような焼結プログラムで行なう。

#### (1) 昇温期間

形枠最高温度が, 1250°Cに達するまでの期間でじょじょに加熱しながら, バインダーの水分を炉外に排出するためと, シリカのα石英→β石英(593°C)とβ石英→トリジマイト(810°C)への変態に伴なり体積膨張をゆくり行なわせる期間である。

#### (2) 造湯期間

ダップ電圧を上げてスターティングブロックを溶かし始め, 続いて溶湯または, あらかじめ加炭を行なわなくともよい配合材料で, 錆, 砂などの付着物の少ない小形のものを適宜装入し, ライニング上端から70mmくらい下まで溶湯をつくる。

#### (3) 焼結期間

続いて, 焼結温度1550°Cないし1580°Cまで昇温し, 最低タップにして1hないし2h保持して焼結後出湯する。

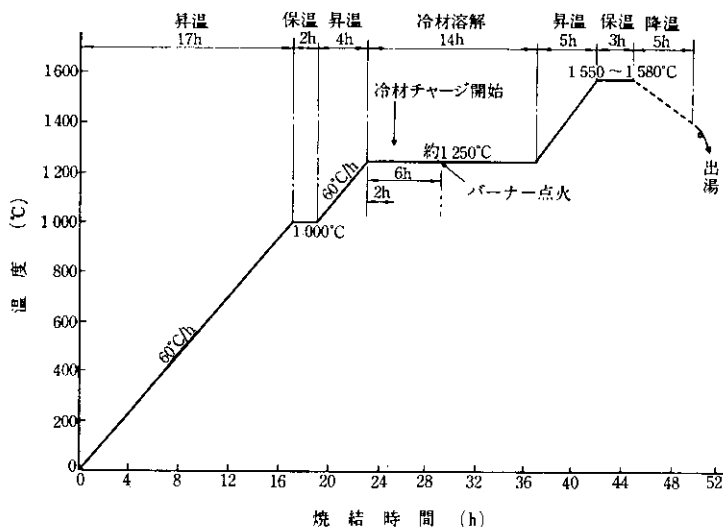


図6 25t 炉焼結プログラム

## 4. 操 業

### 4-1 操業状況

低周波炉の溶製品種は、鑄鉄ロールを主体として普通鑄鉄およびダクタイル鑄物である。一般に低周波炉で溶製した溶湯は、キューボラで溶製したものに比較して、品質上次のような相違点があるといわれている。

- (1) チルがはいりやすい。
- (2) 流動性が悪い。
- (3) 引けが大きい。
- (4) 同一鋼屑配合では抗張力が高い。

このような点を確認するため鑄鉄鑄物については、低周波炉、電気炉およびキューボラ製について、鑄鉄ロールについては反射炉と低周波炉製について品質のテストを行なったが、各品種における溶解炉別の決定的な差は認められなかったので、操業当初より現在に至るまで、装入材料および溶解

法に特別な方法は採用しておらず次の方法で行なっている。

#### (1) 冷材法

スターティングブロック溶解—材料装入—加炭—材料装入—溶落—分析—除滓—成分調整—温度調整—出湯

#### (2) 残湯法

溶湯—材料装入—加炭—材料装入—溶落—分析—除滓—成分調整—温度調整—出湯

### 4-2 操業実績

48年1月8日に25 t 炉、1月10日に4 t 炉、1月19日に40 t 炉の初出湯を行なった。溶解は2交替で行なっており、溶解のない場合、25 t、40 t 炉はライニングのクラック防止のため保温(800°Cないし900°C)を行なっており、品質のチェックを行ないつつ操業を続けているが、5月までの操業実績を表2に示す。

表2 低周波炉生産実績表(48/1~48/5)

| 月  | 炉 番             | チャージ回数 | 生産トン数     | 電力使用量①(kWh) | 保温電力量②(kWh) | ①+②         |
|----|-----------------|--------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| 1月 | (4 t 炉)<br>8-1  | 5      | 16.400    | 13,935      | 3,645       | 17,580      |
| 2月 | "               | 5      | 18.100    | 16,620      | 0           | 16,620      |
| 3月 | "               | 0      | 0         | 0           | 0           | 0           |
| 4月 | "               | 2      | 6.200     | 3,483       | 0           | 3,483       |
| 5月 | "               | 4      | 11.340    | 8,450       | 0           | 8,450       |
|    | 計               | 16     | 52.040    | 42,488      | 3,645       | 46,133      |
| 1月 | (40 t 炉)<br>8-2 | 19     | 435.325   | 358,060     | 66,240      | 424,300     |
| 2月 | "               | 77     | 1,689.035 | 992,268     | 104,200     | 1,096,468   |
| 3月 | "               | 78     | 1,939.765 | 1,127,744   | 87,670      | 1,215,414   |
| 4月 | "               | 32     | 938.610   | 489,500     | 140,545     | 630,045     |
| 5月 | "               | 37     | 892.265   | 497,955     | 149,750     | 647,705     |
|    | 計               | 243    | 5,895.000 | 3,465,527   | 548,405     | 4,013,932   |
| 1月 | (25 t 炉)<br>8-3 | 41     | 640.415   | 442,564     | 49,400      | 491,964     |
| 2月 | "               | 22     | 332.210   | 292,157     | 110,344     | 402,501     |
| 3月 | "               | 47     | 769.800   | 468,932.5   | 92,721      | 561,653.5   |
| 4月 | "               | 45     | 820.330   | 517,053     | 81,302      | 598,355     |
| 5月 | "               | 38     | 662.595   | 414,757     | 96,795      | 511,552     |
|    | 計               | 193    | 3,225.350 | 2,135,463.5 | 430,562     | 2,566,025.5 |
|    | 総 計             | 452    | 9,172.390 | 5,643,478.5 | 982,612     | 6,626,090.5 |

### 4.3 操業実験

40 t 炉において、二、三のテストを行なったが、その結果の概要を次に示す。

#### (1) 加炭効率 (炉内加炭)

- (a) 加炭後の C 値が安定するためには、7min 以上必要である。
- (b) 溶湯量が 30 t くらいまでは良好であるが、これ以上に湯量が多くなると、攪拌力が弱まるので低下する。したがって、できるだけ早い時期に加炭を完了しておくことがのぞましい。
- (c) 1 回当りの加炭量が 150 kg までは歩止り上問題はない。
- (d) 加炭歩止りは、(b) および (c) の条件では 98 % と良好であった。

#### (2) 残湯法の比較

表 3 に 40 t 炉における残湯率と、電力原単位、生産性の実績を示す。残湯率が高くなると電力原単位は少なくなるが、生産性は低下するので、残湯率は 37 % が最適であろうと考えられる。

表 3 40 t 炉の残湯率と電力原単位、生産性の比較

| 残湯率(%) | 電力原単位<br>(kWh/t) | 生産性(t/h) | n |
|--------|------------------|----------|---|
| 15     | 539              | 6.1      | 3 |
| 37     | 532              | 7.0      | 4 |
| 58     | 533              | 6.1      | 5 |
| 80     | 489              | 4.7      | 1 |

#### (3) Fe-Si 歩止り, Si ロス

- (a) Fe-Si 添加後約 2 min で Si はほとんど溶解拡散する。
- (b) 添加合金鉄の Si 歩止りは約 96 % である。
- (c) 冷材法および残湯法における、溶落までの材料中の Si ロスは、冷材法で約 23 % である。残湯が高くなるにつれてロスは減少し、37 % 残湯率では 13 % であった。
- (4) 温度上昇速度、電力効率

温度上昇は湯量が多いほどよく、25 t 以上になると 7~7.5°C/min で安定しており、これに要する電力は 13 kWh/°C である。

### 4.4 操業上の問題点

操業開始以来 5 ヶ月を経過し、ある程度作業に慣れてきたが、この間、操業上のトラブルとしては溶解期における装入材料の棚吊りが 2 回発生しており、湯量が多く、コイル以上になる場合の後半の装入は、材料の形状、量、性状および方法について慎重に行なう必要がある。

ライニングは、炉壁に比較して炉底部が多く侵食される傾向があった。とくに 25 t 炉でこの傾向が強かった。これは焼結時におけるスターティングブロック底部の形状およびライニング時におけるパイプレート要領などの影響が考えられるが、ライニング原単位低減の点から炉壁と底部の侵食はバランスさせることが必要であるので、補修方法とともにライニング管理が今後の検討課題の一つである。

品質については、キューポラにくらべて流動性が小さいということから、鑄込温度と製品 C を従来よりやや高目を目指しているが、この点についても検討する必要がある。

大型低周波炉の欠点として、ライニングの冷却によるクラックの発生があげられる。したがって、2 シフト操業を行なっている当課では、1 日のうち 8 時間前後と休日には、ライニングの保温要員を 1 名出していたが、無人化装置を取り付けることにより 6 月以降保温要員をなくした。

## 5. 結 言

当工場の 40 t 低周波炉は、わが国最大容量である。従来のキューポラ、反射炉に比較して作業性の向上、コストの低減および公害防止上相当の効果を発揮し、操業以来大きなトラブルもなく比較的順調に稼動している。今後ライニングの管理、品質の向上およびコストの低減になおいっそうの努力をする必要がある。