

熱処理設備と省エネルギー

オリエンタルエンジニアリング(株) 益田明英

1. はじめに

各種機械部品の製造工程に於いて使用される熱処理設備は、第一次石油ショック及び第二次石油ショック以来、炉内構築材料、炉内構成材料、加熱プロセス等の見直しにより種々の省エネルギーを計ってきた。

当社に於いても、炉内断熱材のセラミックファイバー化、炉内構成材料のセラミック採用による軽量化、炉体断面の円形形状による炉体表面からの放散熱量の低減、及び炉内を真空引き後、 N_2 ガスに置換し雰囲気遮断するフレームレス炉（当社名；スペリア炉）の開発等、積極的に省エネルギー熱処理設備の開発に取り組んできた。

1990年代になって、オゾンホール拡大及び地球温暖化の問題がクローズアップされ、地球サミットの開催に続き、昨年は第三回地球温暖化防止京都会議（COP-3）が開催され、我国も2012年までに CO_2 を6%削減する国際的な公約が決定し、各産業界から熱処理設備に対しても、より一層の省エネルギー及び地球環境に対応した設備の開発が望まれている。

ここに紹介する省エネルギー型のスペリア式連続光輝焼鈍炉は、冷間鍛造部品の焼鈍、焼準用として開発された設備である。設備の稼働後種々のテストを実施してきたので、その結果をここに報告する。

2. スペリア連続光輝焼鈍炉の構成

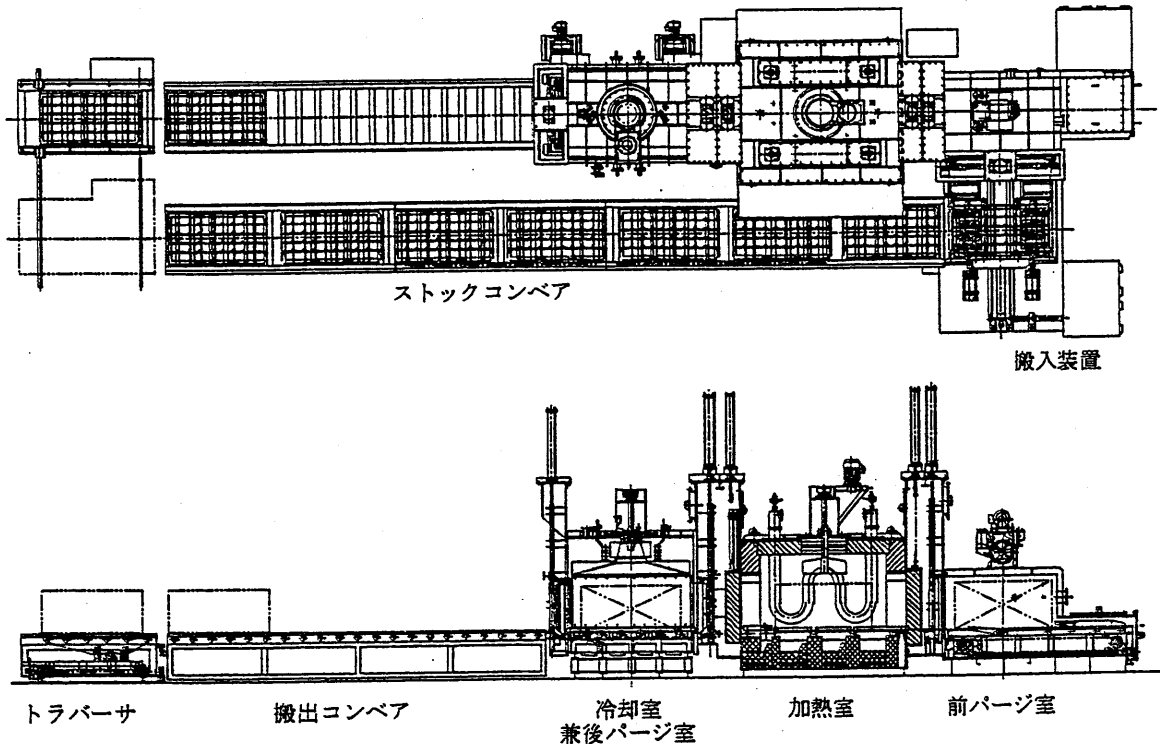


図-1 全体構成図

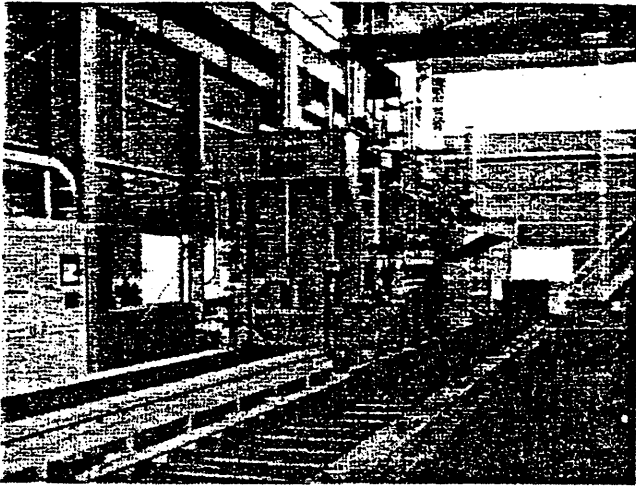


写真-1 スペリア連続光輝焼鈍炉全景

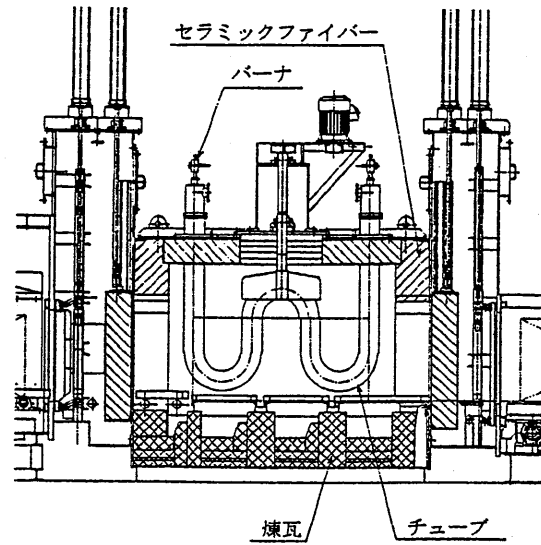


図-2 加熱室断面

2-1 概要

前パージ室、加熱室、冷却室兼用後パージ室及び搬送コンベアで構成する連続式の焼鈍炉である。処理品が前パージ室に搬入されると、真空パージ（真空排気、 N_2 復圧）が行われ、外気の混入無く加熱室へ搬送される。加熱処理終了後冷却室へ搬送され、冷却後の真空パージを経て、炉外へ搬出される。

2-2 仕様

- 用途 : 冷間鍛造品の光輝焼鈍、球状化焼鈍、焼準
- 処理能力 : 2500 [kg/charge]
- 処理有効寸法 : $800'' \times 1500'' \times 700''$ [mm] (トレイを含む)
- 処理温度 : 常用 600 ~ 880[°C] (最高 900[°C])

2-3 真空パージ方式の採用

真空パージ方式の採用は、空気が加熱炉内に入ることを最も効率良く防止することができる。この方式を取り入れることによって、設備休止中も中に空気を入れずに保持できるようになり、炉の稼働開始が非常に簡単で、準備時間も短縮される。又、フレームカーテン等の炎が不要となり、安全で清潔な環境を提供している。

2-4 酸素センサによる雰囲気制御

スペリア方式では雰囲気ガスとして最も安定している窒素をベースとし、微量な酸素の影響に対して、還元ガスとしてプロパン等の炭化水素ガスを極少量供給し、炉内の残存酸素の量で雰囲気を制御している。スペリア方式は真空パージと窒素ベース雰囲気の採用によって、光輝処理を極めて安全に行うことが可能となり、自動化対応が容易となる。

2-5 リジェネバーナの採用

「リジェネ」とは「Regenerate = 再生させる」の意味で、ここでは蓄熱型交互燃焼を行うことで排熱回収し再利用するものである。本設備にはW型ラジアント

チューブにラジアントチューブ用リジェネレータを使用した。図-3、図-4にバーナの構造を示す。

バーナガン、蓄熱体ケース、エアーケース、及びハニカム蓄熱体により構成されたバーナ本体がW型ラジアントチューブの両端に取り付けられる。

Aバーナが燃焼すると燃焼排ガスはB側蓄熱体を通過し、蓄熱体を加熱することにより、排ガスの温度が低下する。四方切換弁により燃焼エアーと排ガスが切り替わり、Bバーナが燃焼する。Bバーナが燃焼する際には、燃焼エアーはAバーナの排ガスで蓄熱された蓄熱体を通過し、熱交換された高温の燃焼エアーとなってチューブ内に流入、ガスと混合されて燃焼する。この動作を30秒ごとに切り換え、AバーナとBバーナの交互燃焼を行う。蓄熱体にセラミックハニカムを使用しており、高効率の熱交換が行われるとともに、燃焼音を抑える効果がある。従来の一方向燃焼のバーナはチューブ温度が不均一であったのに対し、リジェネレータは交互燃焼によりチューブ温度が均一となる。グラフ-1はW型ラジアントチューブの表面温度を示したもので、従来型では入口側と出口側とでかなりの温度差があるのに対し、リジェネレータではその差が無く、全体にバランスがとれている。

バーナ仕様

バーナ型式：HRS-RTW-G1

2台

燃焼容量：1台当たり

95500 kcal/h (= 111 kW)

燃料：都市ガス (13A)

チューブ：W型 6-inch SCH-24 2本

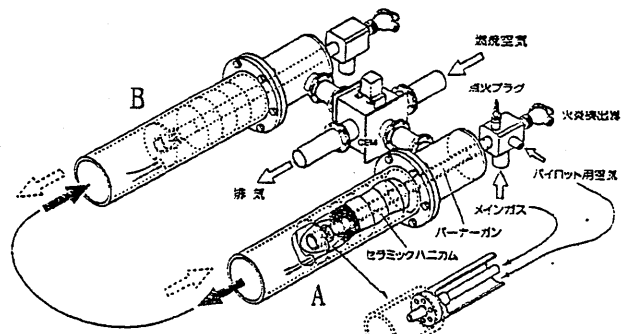


図-3 バーナ構造

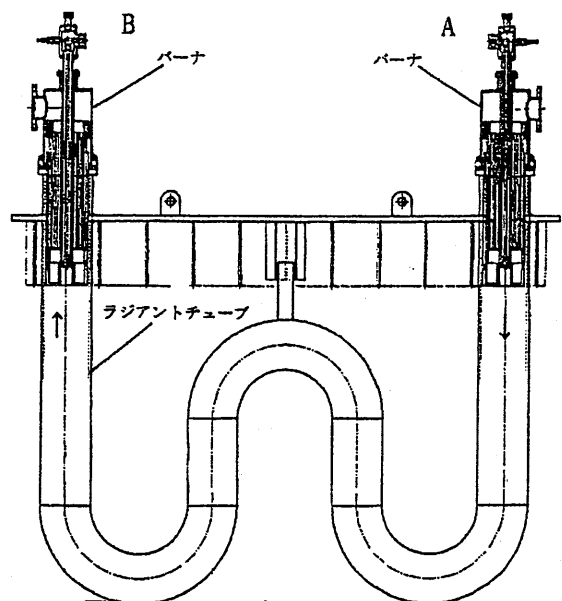
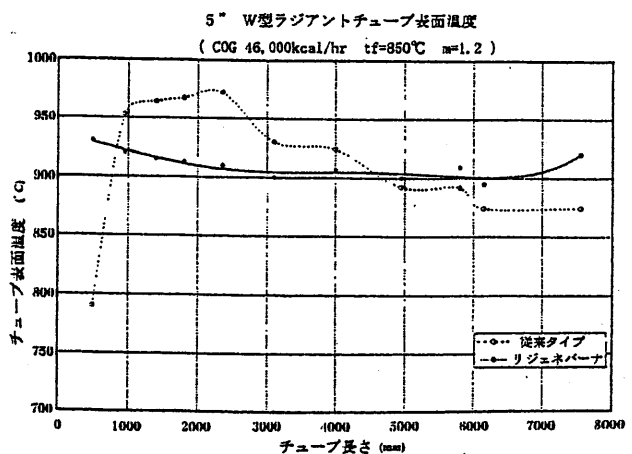


図-4 ラジアントチューブ



グラフ-1 チューブ表面温度

2-6 断熱材

築炉は炉床が煉瓦、他の部分は全てセラミックファイバ施工となっている。セラミックファイバはほとんどの部分にブロック式を採用（ラジアントチューブ周りはブランケット）。セラミックファイバは熱伝導率が低く、断熱厚さを薄くすることが可能であり、ブロック式では取り付けピンが炉内面に出ていないため金属部分による局所的な熱放出がない。又、蓄熱量が少ないため、炉の昇温、降温時間を短縮することが可能である。施工においては煉瓦の場合高度な熟練工を必要とするのに対し、セラミックファイバの場合はこれを必要としない。

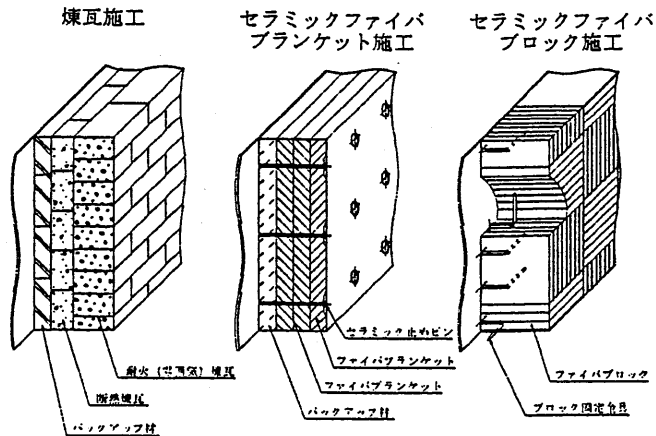


図-5 断熱材施工方法

3. 炉内温度分布測定

3-1 温度制御

本設備の温度制御は HIGH-LOW 時間比例制御であるが、当初の予定では制御温度に対する偏差設定を設け、偏差値未満では HIGH 燃焼で、それ以上では LOW 燃焼で制御する計画であった。しかし、偏差値を越えてからの LOW 燃焼ではなかなか設定温度まで達しないという不具合が生じた。そこで実際には偏差値の使用を中止し、HIGH 燃焼で制御させる方式に変更を行った。(図-6) オーバーシュートやハンチングが懸念されたが、特に問題なく制御している。

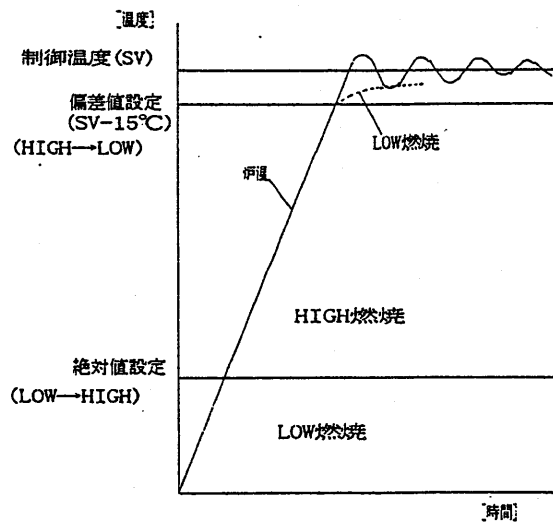


図-6 温度制御

3-2 温度分布測定

図-7に示す位置に熱電対をセットし、炉温 780℃に保持された加熱室へ 2500kg の処理品を挿入して温度分布を測定した。バスケット型の治具を使用し、処理品はほぼ満杯状態である。このため有効の中心 (No. 9) の昇温は非常に遅く、その回復に 5 時間近くを要する。最終測定結果を表-1に示す。指定規格値/幅 20℃に対し、幅 14.2℃の結果を得た。これは同サイズの電気炉と比較して約 4℃向上している。今回の設備は攪拌機サイズアップも行っており、攪

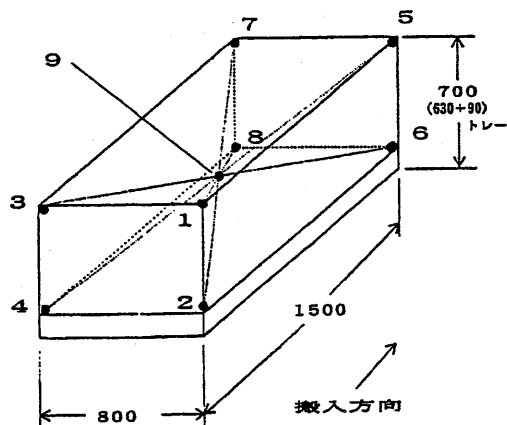


図-7 温度分布測定位置

拌能力の向上が関与しているとも考えられる。

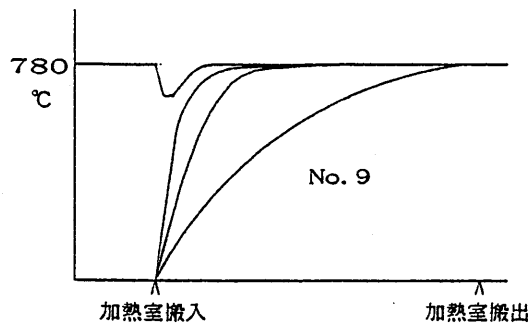


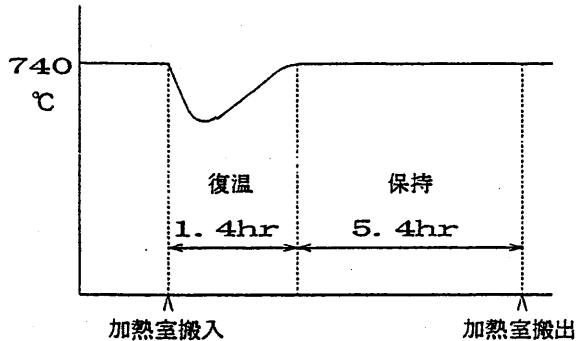
図-8 昇温カーブ

| 熱電対位置 | 測定値[°C] | 設定温度(780°C)との差 | |
|----------|---------|----------------|---------|
| | | 最高値[°C] | 最低値[°C] |
| No.1 | 781.8 | | |
| No.2 | 776.2 | | |
| No.3 | 780.2 | | |
| No.4 | 775.3 | | |
| No.5 | 782.2 | | |
| No.6 | 774.2 | | |
| No.7 | 783.9 | +3.9 | |
| No.8 | 774.8 | | |
| No.9 | 770.7 | | -9.3 |
| 温度差 [°C] | | 14.2 | |

表-1 温度分布測定結果

4. 熱精算

本設備において実稼働時の諸元及び実測データに基づき、熱精算を行った。処理品挿入量は 2500kg / グロスで、ヒートサイクルは図-9 に示す通りである。復温時と保持時に分け各項目を計測した。加熱設定温度がやや低いため、排ガス残留 O₂ 量をやや高めに調整したが、NO_x 量は復温時 88ppm、保持時 54ppm と低い値を得た。(表-2 参照) 熱精算の結果を「表-3 熱精算のまとめ」、及び「図-10 熱流れ図」に示す。表-3 より本設備の熱効率_熱は 67%、又バーナ効率_熱は 86% (100% - 排ガス損失分) の値を得た。



加熱源 : 都市ガス (13A)
 挿入量 : 2500 kg/グロス
 設定温度 : 740°C

図-9 ヒートサイクル

| 測定項目 | 復温時 | 保持時 |
|---|-------|-------|
| 炉壁平均温度 [°C] | 71.4 | 72.9 |
| 排ガス温度 [°C] | 283.5 | 220.5 |
| ガス消費量 [m ³ /h] | 19.2 | 2.9 |
| 排ガス O ₂ [%] | 8 | 9.7 |
| 排ガス CO ₂ [%] | 7.5 | 6.6 |
| 排ガス CO [ppm] | 75 | 8 |
| 排ガス NO _x [ppm] (O ₂ =11%換算) | 88 | 54 |

室温 : 33°C 天候 : 晴れ
 測定器: 赤外線放射温度計(IT-80: キーエンス製)
 燃焼排ガス分析計(GS-342-3: テストターム製)

表-2 測定値

| | 入熱 | | | 出熱 | | |
|--------|------|-----|-----|----------|------|----|
| | [MJ] | [%] | | [MJ] | [%] | |
| 燃料の発熱量 | 1774 | 100 | 有効熱 | 処理品の加熱 | 1184 | 67 |
| 燃料の顕熱 | 0 | 0 | 損失熱 | 炉壁損失 | 337 | 19 |
| 空気の顕熱 | 0 | 0 | | 排ガス損失 | 252 | 14 |
| 合計 | 1774 | 100 | | 未燃ガス、その他 | 1 | 0 |
| | | | 合計 | 1774 | 100 | |

表-3 熱精算のまとめ

熱精算は処理品搬入から搬出までのサイクルについて燃料の消費量を測定し、計算を行う。発熱量の計算においては燃料の真発熱量を用いる。

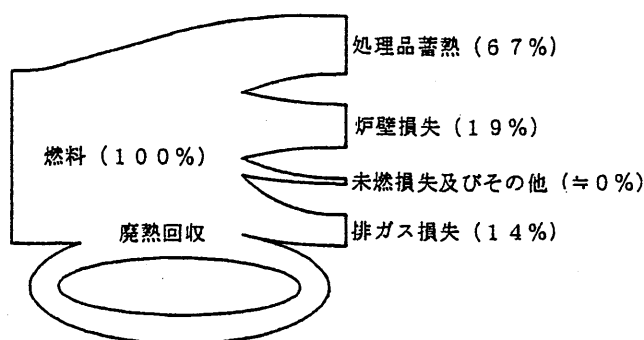


図 - 1 0 熱流れ図

4-2 加熱コスト

同型で同処理量の電気炉があり、この炉と今回の省エネ炉の加熱コストを試算し比較した。その結果、年間で約 356 万円の削減となる。(表 - 4) 本設備は連続式であり、この試算は実処理を想定しているもので、炉の起動、停止の部分は除く。実際にはこれらの部分も短縮されるため、さらにコストダウンされると考える。

| | 省エネ炉 | 電気炉 |
|---------|----------------------------|----------------|
| 加熱源 | 13A | 電気 |
| 加熱源消費量 | 42.54 m ³ /チャージ | 432.5 kWh/チャージ |
| 年間チャージ数 | 905 チャージ/年 | 905 チャージ/年 |
| 加熱源単価 | 60 円/m ³ | 15 円/kWh |
| 加熱源コスト | ¥2,309,922 円/年 | ¥5,871,188 円/年 |
| 差額 | ¥0 円/年 | ¥3,561,266 円/年 |

稼働時間 : 6336時間/年
 処理サイクル : 7 時間/チャージ
 処理量 : 2500 kg/チャージ

表 - 4 加熱コスト

5. おわりに

今後の設備開発にあたってはエネルギー問題と環境問題を相互に関連づけながら、これらに対応していかなければならない。これからの課題としては

- ・ サイクルを短縮するための高温浸炭技術
- ・ 無汚染、安全で高い熱伝達性能を有する冷却媒体、システム
- ・ より安い熱処理可能な材料
- ・ 汚染物質の削減、排除
- ・ 熱のリサイクル、再加熱の回避、熱損失の低減
- ・ 自動化、無人化
- ・ 熱処理の方法を含む材料と行程を選ぶための、ユーザに優しいソフト

などが上げられる。

今回、リジェネレータを使用した省エネルギー炉として連続光輝焼鈍炉を紹介したが、当社としては「環境と人間に優しい」をモットーに、これからもユーザのニーズに合った設備の開発を行っていく所存である。

最後に、ご協力いただいた中辻産業(株)様、日本ファーンエス工業(株)様をはじめとする関係者各位に深くお礼申し上げます。