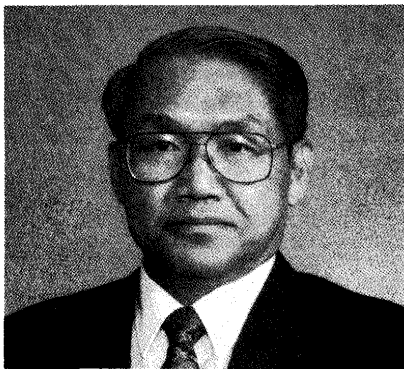


熱処理設備の現状と課題

阪野 喬*

Takashi BANNO

Review of Recent Developments and Improvements of Heat Treating Equipment



中外炉工業(株)
常務取締役
プラント事業本部技術統括
阪野 喬

1935年4月7日生

1958年 大阪大学冶金学科卒業

同年 中外炉工業(株)入社

1989年 同社取締役

1991年 同社常務取締役熱処理事業部長

1994年 同社常務取締役プラント事業本部技術統括

1 はじめに

自動車部品をはじめとする機械部品の熱処理設備は、日本の産業の発展とともに成長し、それぞれの時代の要求に応じて変遷をしてきた。昨今はまた新しい国際環境の下で、日本の産業全体が大きな転換点を迎えている中であってとくに熱処理設備に求められていることは、

- 1) 地球環境にやさしい設備
- 2) 使う人にやさしい設備
- 3) より高品質な製品が得られる設備

でなければならないということが出来る。

2 熱処理設備における地球環境対策

この問題を大別すると次の三つの項目となる。

- 1) 省エネルギー
- 2) NO_xの低減
- 3) 塩素系有機溶剤の削減

以下にそれぞれの対策について現状を述べてみたい。

2・1 熱処理設備の省エネルギー対策

使用するエネルギーの80%以上を輸入し、全消費エネルギーの50%以上を産業界で使用していることは、ご承知のとおりであるが、近年の地球温暖化対策上、CO₂の排出規制が、国際的な重要テーマとなってきたこととも相まって、省エネルギー対策は我が国における最重要課題の一つである。

我々の業界においても、オイルショック以来、さまざまな省エネルギー対策が講じられてきたが¹⁾、ここでは最近の代表的な対策について取り上げる²⁾。

2・1・1 電熱式からオイル、ガス焚への転換

電熱炉と燃焼炉を比較すると、電熱炉の効率を発電効率を加味して考えると次のようになる。

電熱炉：37% (A) × 95% (B) = 35%

燃焼炉：100% - 30% (C) = 70%

(A)：発電効率 (B)：送電効率

(C)：排ガス損失(排熱回収後)

したがって、電熱式を燃焼式に転換することにより、約50%の省エネルギーとなる。これはすでに、電力料金、ガス料金に反映されており、燃焼式に改造することにより、

平成5年10月本会講演大会における浅田賞受賞記念特別講演 平成5年11月12日受付 平成6年1月14日受理 (Received on Nov. 12, 1993; Accepted on Jan. 14, 1994)

* Managing Director, Chugai Ro Co., Ltd., 2-4-7 Kyomachibori Nishi-ku, Osaka 550

Key words : energy saving ; CO₂ emission ; NO_x ; organic solvent ; heat source ; ceramic fiber ; gas generator ; gas carburizing ; washing method ; salt quenching ; distortion.

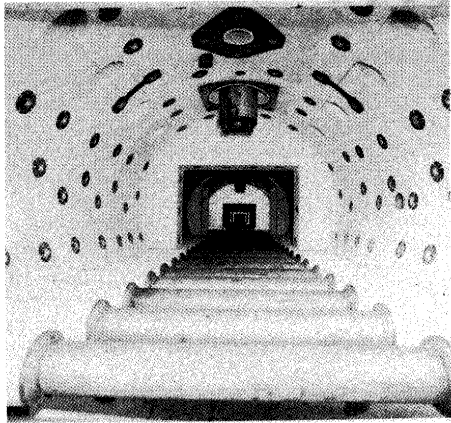


図1 セラミックファイバーの雰囲気炉への使用

大幅なランニングコストの削減を達成されているところが多く、今後さらに、全国的な天然ガスパイプラインの設置とともに、燃焼式への転換が進むものと思われる。

2.1.2 セラミックファイバー断熱材の雰囲気炉への使用

一見いまさらと思われるが、実際には雰囲気熱処理炉ではセラミックファイバーの使用に懸念をもたれているところが多いのが実状である。

その主な理由は、断熱材に雰囲気ガスが浸透しやすく、その結果、断熱性能の低下、寿命の低下等が心配されることによるものと思われる。図1に示す写真は、ローラーハース型の連続ガス浸炭炉にセラミックファイバーを使用している例であるが、最近では、連続炉といえども土、日曜日の停炉が一般化し、省エネルギー対策と同様に、クイックスタート、クイックストップに対応できる熱処理炉が要求され、セラミックファイバーのもつ、低比熱、低熱伝導率を有効に活用した、バッチ型のガス浸炭炉では270基を、また連続ガス浸炭炉でも、60基を越す実績がある。

2.1.3 雰囲気ガス発生機の見直し

一般に雰囲気熱処理で使用する雰囲気ガスは、別置型のガス発生機によって発生したガスを、一度冷却した後それぞれの熱処理炉に送って使用するが、最近のガス浸炭炉では、所定の比率に混合した反応ガスを直接炉内に導入する、いわゆる発生機レス型が主流である。

これにより、従来型に比べて約80%のエネルギーを節約することができる³⁾。

また、発熱型の N_2 ベースガス発生機では、炉の加熱用ラジアントチューブバーナの排ガスを利用し、これをリファインディングして、雰囲気ガスとして使用している。

2.1.4 炉型の見直し

従来から炉の断面は角型が一般的であるが、最近では丸型断面の熱処理炉が採用されるようになってきている。

丸型のメリットは、1)放熱面積の減少による放熱量の削減、2)炉内雰囲気の均一な攪拌、3)炉内温度分布の均一化、4)炉体の軽量化、が図れることである。

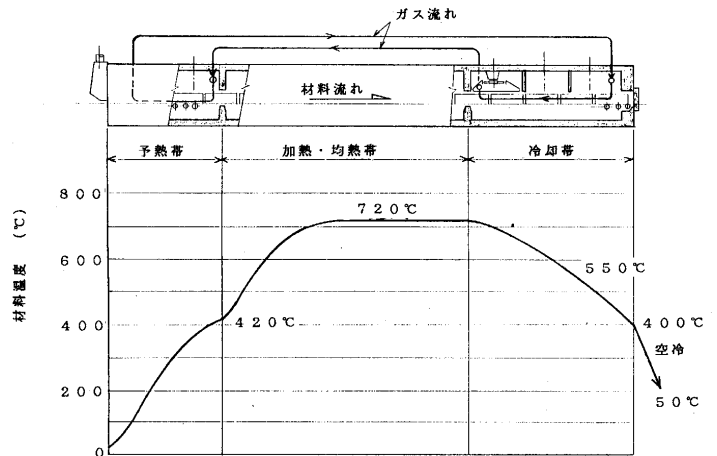


図2 冷却時の材料熱を回収し、予熱に利用している省エネルギー型焼なまし炉

2.1.5 処理材の冷却熱の回収

例えば、焼鈍等においては、加熱、均熱後所定温度に冷却してから炉外に取り出すことが多い。この場合の材料の冷却熱を回収し、加熱時の予熱に利用することができれば、非常に有効にエネルギーを使うことができる。図2にその一例を示す⁴⁾。

2.1.6 真空ベスチブルによる雰囲気ガスの削減

トレイやバスケットを使った連続式の雰囲気熱処理炉では、炉内と炉外の間にはベスチブルを設けて、外気を遮断する。この場合、ベスチブル内のガスパージのためには、一般にその部屋の約5倍の容積のガスが必要となる。大型でしかもサイクルの速い炉では、多量のパージガスが必要になるため、この部屋を真空にできる構造とし、ガスの置換を一容積のガス量で行える真空パージ型のベスチブルが採用されている⁵⁾。

2.1.7 リジェネレーティブバーナの利用

蓄熱室をもったバーナを2本ペアで使用し、燃焼と排気、蓄熱を交互に行うことができるバーナで、欧米ではかなりの使用実績がある。図3に示すように、このバーナの特徴は、蓄熱式の空気予熱方式のため、従来の熱交換器型に比べて、非常に高い予熱空気温度が得られることである。

例えば、炉温 $1200^{\circ}C$ で、従来型のセラミックレキュペレータでは、約 $600^{\circ}C$ の予熱空気しか得られないが、リジェネ型では、約 $1100^{\circ}C$ の予熱空気を得られる。また、熱焼用空気の予熱と排気が分散して行われるため、大型のダクトが不要になるとともに、熱交換器保護のために、炉尻温度を下げる必要はなく、したがって炉長も短縮することができる。

図4に鋼片加熱炉に、採用した場合の比較を示す。

2.1.8 熱処理プロセスの見直し

(1)非調質鋼の採用

従来、多くの自動車部品は、熱間鍛造後、焼入、焼戻、焼準といった、いわゆる調質熱処理が行われていたが、最近ではこれらはほとんど非調質鋼が使用され、熱処理プロ

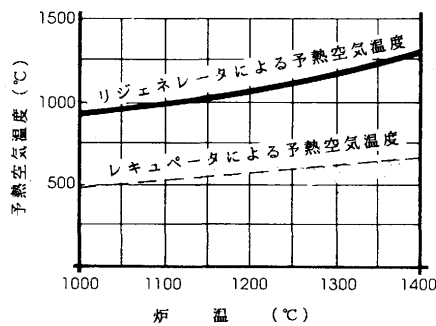
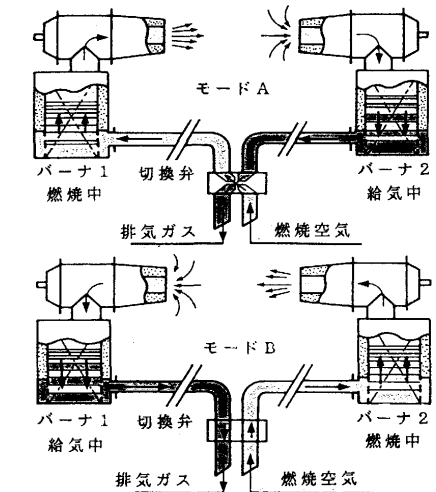


図3 リジェネレーティブバーナの概念図

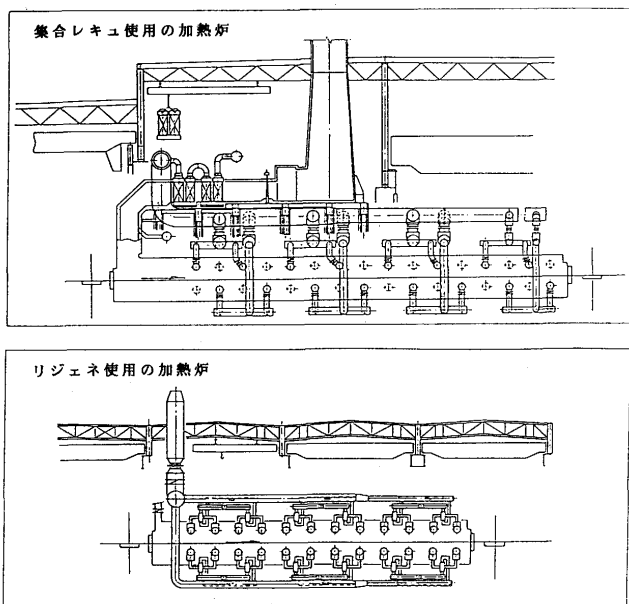


図4 鋼片加熱炉におけるレキュペレータとリジェネレーティブバーナの使用比較例

セスそのものが不要になっている。

このように、熱処理プロセスを見直すことによって、非常に大きな省エネルギーを達成することができる⁶⁾。

(2) 雰囲気熱処理から真空熱処理への転換

表1 真空圧力と相当する不純物量および露点

真空度 mmHg	100	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵
相当不純物量 % PPM	13.4	1.34	0.134	0.0134	13.4	1.34	0.134	0.0134
相当露点 °C		+11	-18	-40	-59	-74	-88	-101

真空という環境は、特殊なものではなく、一種の保護雰囲気と考えることができる。表1に真空度とそれに相当する雰囲気ガスの露点の比較を示す。真空という環境下で熱処理することにより、雰囲気ガスは不要となり、またそのためのガス発生機も不要となる。

(3) 雰囲気ガスと真空との複合熱処理

一方において真空熱処理の欠点は、加熱、冷却が輻射伝熱で行われることである。このため、加熱冷却時間が雰囲気熱処理に比べて長くなり、温度分布も悪くなる傾向にある。したがって真空熱処理において、加熱及び冷却を雰囲気ガス中で行い、均熱時に真空にすることができれば好都合である。

しかしながら、従来型の真空炉は水冷室の中に加熱室があり、加熱中に雰囲気ガスを導入すれば、加熱と冷却を同時に行うという、矛盾したことになる。これらの問題を解決し、効率の良い熱処理を可能にしたホットウォール型の真空炉が開発され、利用されている。

2.1.9 連続ガス浸炭炉の省エネルギー事例

図5に最近の代表的な連続ガス浸炭炉を示す。また、従来型の同種炉と比較した燃料原単位を図6に示す。

ここで行われた主な省エネルギー対策は、

- 1) バーンオフ炉による前洗浄と予熱の兼用
- 2) 角型炉型から丸型炉型への変更
- 3) セラミックファイバーの採用
- 4) 別置型ガス発生機を炉内発生型へ変更
- 5) 燃焼用空気の前熱
- 6) 装入ベスチブルと予熱室の兼用
- 7) 使用後の浸炭ガスを予熱の熱源に利用

であり、これらの対策により、従来型に比べて、50%以上の省エネルギーを達成した一例である⁷⁾。

2.2 NO_xの低減対策

熱処理設備の環境対策としての次の問題はNO_xの低減である。燃焼装置のNO_x低減対策は、大別して以下の三つの方法に分けられる⁸⁾。

- 1) 2段燃焼方式
- 2) 排ガス循環方式
- 3) 水又は水蒸気吹込方式

熱処理炉においては上記のうち、1)と2)の方式が多く採用されているが、ここでは2段燃焼方式によるガスバーナのNO_x低減状況を図7に示す。

2.3 塩素系有機溶剤の削減対策

トリクロロエタンの使用は、1995年で禁止されることが

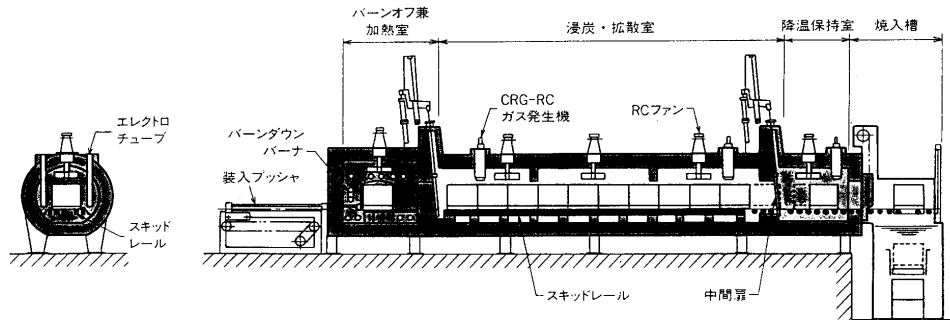


図5 3室トレイプッシャ型連続ガス浸炭炉の構造例

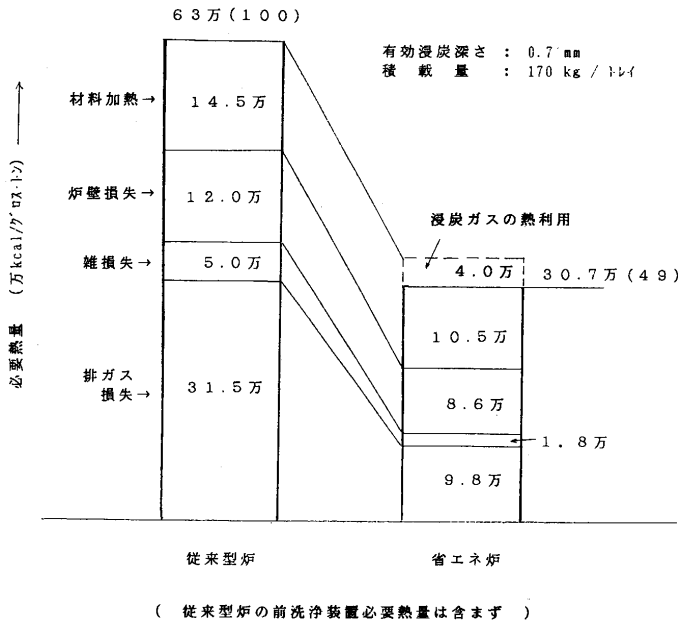


図6 RT式連続ガス浸炭炉の燃料原単位比較

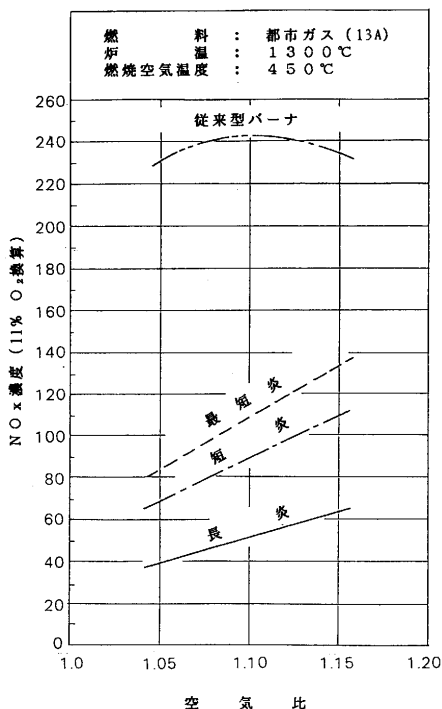


図7 2段燃焼式低NO_x型ガスバーナのNO_x特性

確定しているが、熱処理においては、熱処理前後の前洗浄と後洗浄に多く使用されており、現在その対応策が急がれている。

2・3・1 前洗浄における削減対策

前洗浄対策として以前から省エネルギーを目的とした燃焼洗浄方式（バーンオフ炉）が採用されており、最近では有機溶剤対策として見直されている。図8にその構造を示す。

切削油等の付着した処理材は、直火雰囲気中で約500℃に加熱され付着油を気化洗浄するとともに、次の熱処理プロセスのための予熱も同時に行われる。

従来の溶剤洗浄に比べて、エネルギー消費量は50%となり、ランニングコストは25%となる⁹⁾。

連続ガス浸炭炉では、前述のごとく、装入側のベスチブル兼用として使用されている¹⁰⁾。

2・3・2 後洗浄における削減対策

焼入後の後洗浄としては、水系のアルカリ洗浄がよく使われているが、より強力な洗浄力が必要なところでは、トリクロロエタンが多く使用されており、これに代わる代替溶剤も含めたいろいろな洗浄方法が開発され、応用されようとしている。

(1)炭化水素系溶剤洗浄装置

代替溶剤として炭化水素系の溶剤を使用する洗浄装置を図9に示す。

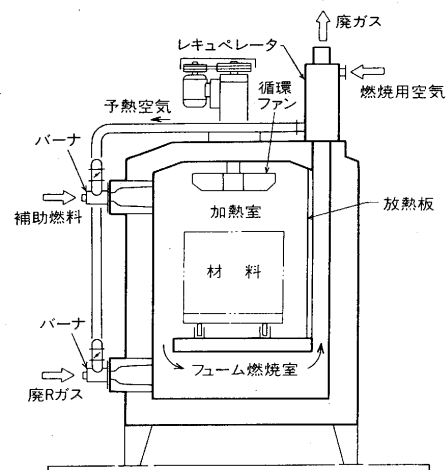


図8 バーンオフ炉の構造例

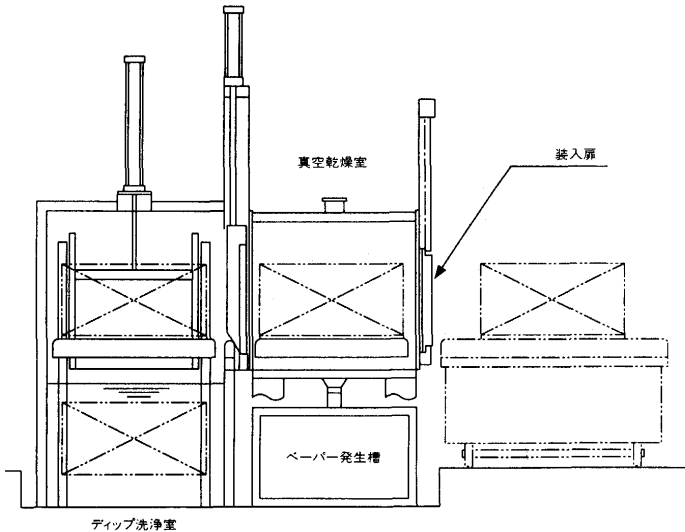


図9 2室型炭化水素系真空洗浄装置

この場合には、溶剤の低引火点に対する安全対策、洗浄後の乾燥、溶剤の再生が問題となるため、真空装置を利用することにより、これらの問題をすべてクリアした装置となっている。

この方法によれば、焼入後の後洗浄のみならず、鉄系、非鉄系のあらゆる金属洗浄や、非金属の洗浄も可能なために、現在各方面で応用開発が進められている。

(2)水系洗浄装置

水系洗浄としては、アルカリ洗浄が一般的であるが、比較的溶液が新しい間は、十分な洗浄力を発揮するが、次第に油の混入量が増加するにつれて、洗浄能力が低下してくる。したがって混入した油を効率よく分離、除去して常にクリーンな洗浄液を確保することができれば、洗浄力を良好に維持することができる。このために、こまかい気泡を発生させ、分離の困難な微細油粒子を気泡とともに浮上させて分離する、加圧浮上式油水分離装置や、静電方式など各種の分離装置が、開発されている。

2・3・3 フレームトリートメント

前述のバーンオフ炉と同様に、燃焼洗浄法の一つであるが、この場合には、処理材を直接火炎の中において燃焼反応の完了以前に発生している各種のラジカルと、油分とを反応させて、分解、気化、蒸発させるとともに、燃焼フレ

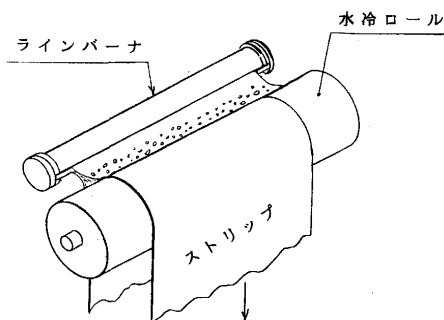


図10 フレームトリートメントの概念図

ームによって吹き飛ばす洗浄方法である。

図10に脱脂の概念図を示すが³⁾、鉄系、非鉄系等各種のストリップのインライン洗浄に応用されている。また金属以外のプラスチック、紙、あるいはボトル等の表面洗浄にも利用されている。

3 人にやさしい熱処理設備

一般に熱処理工場といえば、典型的な3K工場のようなイメージがあり、若い人が来てくれないという話が多い。このための作業環境対策として、次のような対策が行われている。

- 1) 自動化による省力化対策
- 2) メンテナンスフリー化対策
- 3) コンピューターによるサポート対策

3・1 無人全自動熱処理ライン

図11は、ラックビルと組み合わせたバッチ型浸炭炉ラインの一例である。ここでは、処理材の積込み、積卸しは熱処理ヤードから隔壁で仕切られた、別室で行われ、熱処理ヤードが24時間稼働に対して、ここでの作業は8時間である。処理材は、ラックビルから自動的に取り出されて熱処理が行われ、再びラックビルに戻される。

3・2 メンテナンス対策

人にやさしい設備を考える場合の次のテーマは、メンテナンスフリーな設備を指向することである。例えば、トレイプッシュ型の炉では、炉内レールやサポートブリックを少なくとも年1回は炉内に入って補修することになるが、もしこれを、ローラーハース型にした場合には、たとえローラーが損傷したとしても、炉外から取り替えられるし、一般的に数年間はメンテナンスは不要である。

次に、たとえメンテナンスをすとしても、自動的に装置の異常を発見し、メンテナンスステーションに連絡するシステムが採用されている。

図12は、ある小型ボイラーメーカーのシステムであるが¹¹⁾、今後とも通信ネットワークの完備とともに、熱処理設備においても、同様のシステムが採用されることになると思わ

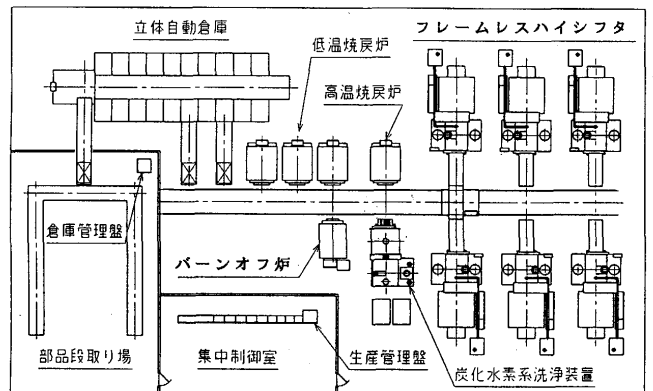


図11 無人全自動熱処理ラインのレイアウト例

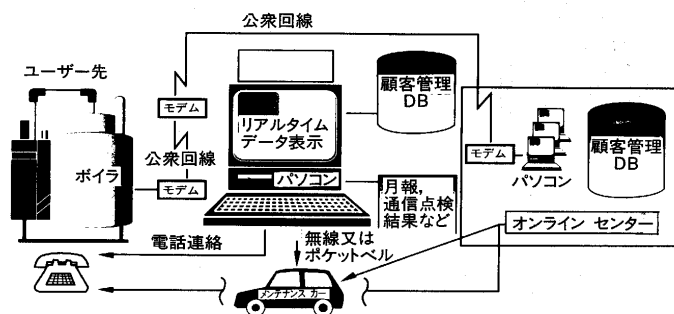


図12 オンラインメンテナンスシステム

れる。

3・3 コンピューターによるサポートシステム

前述の全自動化ラインにしても、自動メンテナンスシステムにしても、コンピューターなくしては成立しないが、そのほかにも、従来は人手に頼っていた多くの作業が、コンピューター化されている。その主なシステムは次のごとくである¹²⁾。

- 1) 処理材の入出庫管理
- 2) トラッキング管理
- 3) 操業記録（日報、月報）
- 4) 温度、雰囲気、制御
- 5) 安全管理、警報システム
- 6) トラブル処理マニュアル、トラブル記録
- 7) メンテナンス情報管理

3・4 インテリジェントバーナシステム

従来のガスバーナは、数本をまとめて、ゾーンごとに制御をするのが一般的であるが、図13に示すシステムは、個々のバーナにマイコンを取り付け、これを上位のコンピューターにつないで、それぞれのバーナの燃焼量と空気比を任意に設定できるシステムである。

例えば大型の焼鈍炉では、処理材の大小に応じて、それぞれのバーナの燃焼量を調整したり、あるいは熱処理によっては、加熱、均熱の過程で空気比を調整して、炉内の雰囲気成分を調整する必要がある。従来はこれらのバーナ調整は、操炉者が、個々のバーナをそれぞれタイムリーに調整しなければならなかったが、このシステムでは現場での調整作業が不要となるとともに、ヒートパターンに従って任意の設定が自動的に行われるとともに、管理画面によって、常に現状を把握することができる。

4 より高い品質をめざす設備

熱処理における高品質化の一例として、焼入後の歪の問題がある。例えば自動車に使用される各種の歯車は、浸炭焼入が行われるが、近年自動車の軽量化に対応して歯車もまた薄肉化され、焼入後の歪が出やすくなっている。このために、プレスクエンチや仕上げ研削が行われるが、いずれもコストアップにつながるため、フリークエンチで歪のバラツキの少ない浸炭焼入方法が望まれている。

この対応策の一つとして、油焼入に替わる、ソルトクエンチが採用されている。これは M_s 点真上の温度に一度冷却し、内外の温度が均一になってから、 M_s 点以下に空冷して焼入する方法で、従来のいきなり M_s 点以下に焼入する方法に比べ、歪のバラツキが大幅に改善される。さらに最近では、空冷に代わって2段目の低温ソルトに2段焼入する方法も開発されている¹³⁾。

また一方では、従来の焼入油を使用しながら、これを真空中で焼入することによる、油の沸点低下を利用し、真空度を変えることによって、焼入油の冷却能を種々変化させ、処理材に最適な冷却曲線を選定することによって、より歪

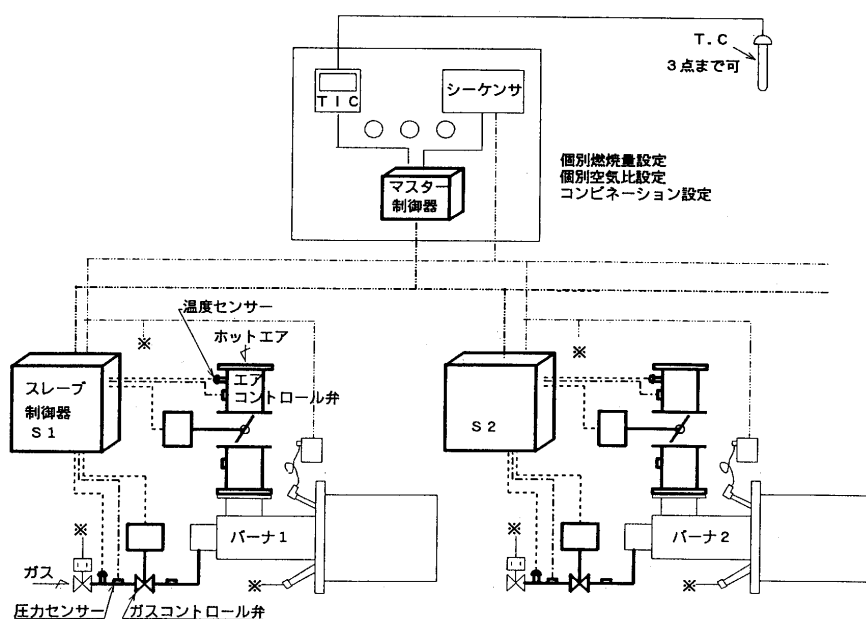
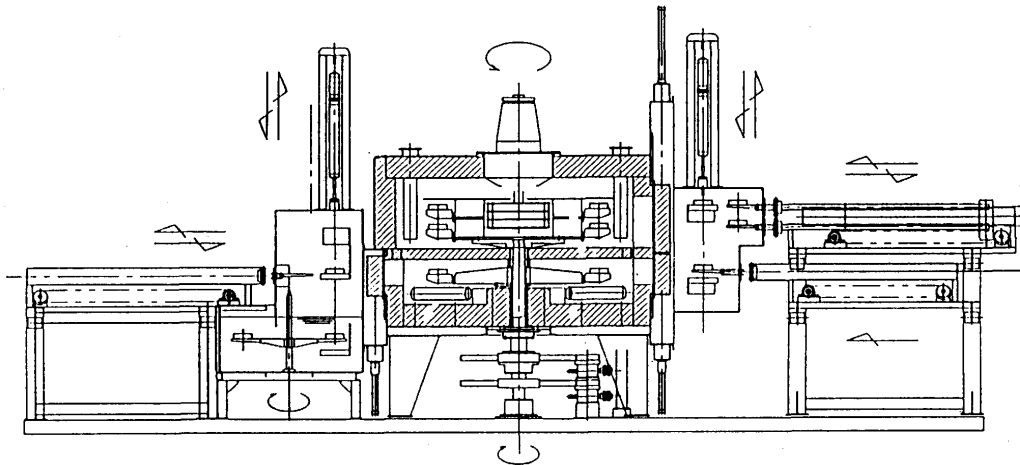


図13 インテリジェントバーナシステム フローシート



加熱・浸炭室 装入ベスチブル
 焼入槽 焼入・保持室

図14 ロータリハース型浸炭焼入炉

の少ない焼入が行える真空焼入法が開発されている¹⁴⁾。

このほか、従来の浸炭焼入では、処理材はバスケットあるいはトレイに多数同時に積載して処理するのが一般的であるが、これを一つずつ単品処理すれば、処理材の形状に合せた焼入方法が採用でき、より歪の少ない熱処理が可能になる。また、治具、トレイ、バスケットが不要になるため、大幅な省エネルギーが達成される。

図14は、3段の回転炉床に処理材を並べることにより、長時間の浸炭に必要なスペースを立体的に確保し、省スペース化した単品処理型連続ガス浸炭炉の一例であるが、ガス浸炭の分野においても、この様な熱処理設備によって、機械加工ラインに直結した、インライン熱処理が今後普及していくものと思われる。

5 おわりに

以上、最近の熱処理設備の現状と課題について、その一端を述べてきたが、いかに性能の良い設備であっても、コストパフォーマンスを満足しなければ意味がないことはい

うまでもないことである。今後共、時代の要求に応じた、新しい熱処理設備の開発に向かってユーザーの皆様共々努力を重ねていく所存であり、ますますのご指導、ご鞭撻をお願いする次第である。

文 献

- 1) T.Burakowski; *Fertigungstechnik und Betrieb*, Berlin, 35 (1985), p.301
- 2) 阪野 喬; *機械の研究*, 40 (1988) 2, p.40
- 3) 尾崎 彰; *工業加熱*, 22 (1985) 4, p.18
- 4) 宮部芳祥, 佐々木弘文; *工業加熱*, 21 (1984) 1, p.32
- 5) 柳 宏之; *工業加熱*, 24 (1987) 1, p.48
- 6) 田川寿俊, 白神哲夫; *熱処理*, 28 (1988) 1, p.18
- 7) 下里吉計; *工業加熱*, 21 (1984) 6, p.32
- 8) 森 康夫, 大屋正明ら; *燃烧に伴う環境汚染物質の生成機構と抑制法*(日本機械学会編), (1980), p.133
- 9) 田枝幸人, 堀田吉秀; *工業加熱*, 19 (1982) 4, p.17
- 10) 下里吉計; *ASM 6th International Congress of IFHT*, (1988), p.401
- 11) 三浦工業(株); *技術資料*
- 12) 野原 忠; *熱処理*, 28 (1988) 3, p.166
- 13) 小倉真義, 藤田博文, 河辺訓受, 越丸 肇; *公開特許公報, 特開平2-101113*
- 14) 福原和人; *潤滑通信*, 8月号, (1990), p.27