

# 省エネルギーのための連続式高速浸炭焼入れ炉の開発

## Development of Continuous Type High-speed Carburizing Furnace

宗 真臣 M. SOU

In our manufacturing plant, each production process has been improved from the point of environmental protection (energy-saving). Especially, much energy is consumed in the heat treatment process, and so, this reduction is an urgent and indispensable subject. In this paper, development of a continuous type high-speed carburizing furnace is reported as an example of energy-saving approach. This furnace has been developed with adoption of high carbon oxide carburizing technique in collaboration with Koyo Thermo Systems Co., Ltd.

This furnace has been already installed in the plant, and reduction effect of 54% carburizing time, and 50% energy cost has been achieved comparing with a conventional process.

**Key Words:** high-speed carburizing furnace, bearing, energy saving

### 1. はじめに

当社の生産工場においては地球環境保護(省エネルギー)を目的として各工程別に様々な取り組みを実施している。その中でも特に熱処理工程における消費エネルギー割合は大きく(図1)、この工程での省エネルギーは緊急かつ必須の課題として受け止めている。熱処理工程の中でも特に浸炭処理はその処理温度が高く、処理時間も長いことから最優先に対策を進めている。

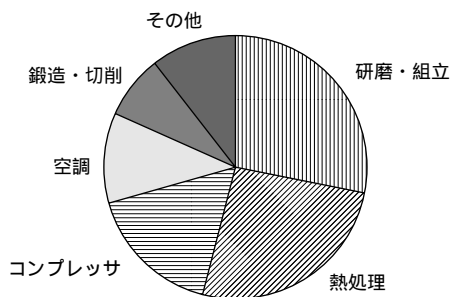


図1 軸受の製造工程別エネルギー消費割合

Energy consumption ratio for each production process of bearings

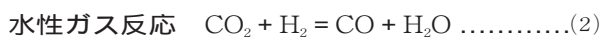
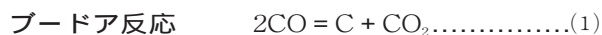
近年この浸炭処理に関して、今後主流になると思われる新しい知見が相次いで公表されており(例えば真空浸炭など)、これらを踏まえて当社としては近未来の循環型社会に対応するために浸炭処理の進むべき方向を見据えた上で省エネルギーへの取り組みを開始している。

本稿ではその取り組みの一例として、高濃度CO浸炭技術を採用して光洋サーモシステム(株)と共同で開発した連続式高速浸炭焼入れ炉につい

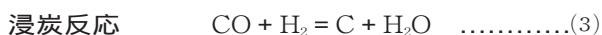
て報告する。

### 2. 高濃度CO浸炭について

雰囲気ガスから鋼表面への炭素の移動(浸炭)は、おもに以下の浸炭反応により起こっている。



(1)+(2)より、



ここで、下線は鋼中への侵入を示す。

この(1)・(3)式における平衡関係はそれぞれ以下の式で表わされる。

$$A_c = (P_{\text{CO}})^2 / \{ K_1 (P_{\text{CO}_2}) \} \dots\dots\dots(4)$$

$$A_c = K_2 (P_{\text{CO}} \chi P_{\text{H}_2}) / (P_{\text{H}_2\text{O}}) \dots\dots\dots(5)$$

$A_c$  : 炭素活量,  $K_1, K_2$  : 平衡定数  
 $P_{\text{CO}}, P_{\text{CO}_2}, P_2, P_{\text{H}_2\text{O}}$  : 各気体の分圧

上記(4)・(5)式の $K_1$ および $K_2$ はそれぞれの式の平衡定数であり温度により決定される。また、 $A_c$ は炭素活量で、この値の大小により浸炭能力が左右され、大きいほど浸炭反応が活発に行われる。つまり、(4)・(5)式よりCOの分圧およびCOとH<sub>2</sub>の分圧の積が大きいほど $A_c$ が大きくなり雰囲気ガスによる浸炭速度が向上するといえる。

ここで浸炭反応における雰囲気ガスから鋼表面部への炭素移動に関しては以下の2段階がある。

第1段階の浸炭期は雰囲気ガスと鋼との浸炭反応による炭素の移動段階である。第2段階の拡散期では雰囲気ガスと鋼表面部のカーボンポテンシャルがほぼ等しくなった後、鋼表面部の炭素が内部へ拡散し表面部のカーボンポテンシャルが雰囲気ガスに対して下がった分が雰囲気ガスから炭素が補充される段階で、つまり鋼表面部の炭素の内部への拡散が律速となる段階である。以上より効率の良い浸炭を行い処理時間の短縮を図るためには、浸炭の前半の雰囲気ガスから鋼表面への炭素移動が律速の間は、雰囲気ガスの炭素活量は可能な限り高い方がよいということになる。よって浸炭期にはCOの分圧を高く、同時にCOとH<sub>2</sub>の分圧の積を最大にするのが良いと言える。

### 3. 高濃度CO浸炭評価試験

この高濃度CO浸炭技術を量産炉へ展開するにあたり、前項の理論を検証するための評価試験を実施した。結果を以下に述べる。

#### 3.1 試験内容

使用する雰囲気ガスとしては、高濃度CO雰囲気ガスおよび比較用に一般的によく使用されている吸熱型の変成ガス(RXガス)を用いた。それぞれのガス組成を表1に示す。

表1 雰囲気ガスの組成  
Compositions of atmospheric gases

(単位: vol%)

	CO	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	P <sub>CO</sub> × P <sub>H<sub>2</sub></sub> × 100
RXガス	24	29	47	7
高濃度COガス	30	70	-	21

処理炉としては、一般的なバッチ型浸炭炉を用い、カーボンポテンシャルの制御にはO<sub>2</sub>センサを使用した。なお、各雰囲気ガスのCOの濃度が異なるため、炉内ガスをサンプリングしCOの濃度を測定、その値をO<sub>2</sub>センサの演算器にフィードバックすることで各種雰囲気ガスのカーボンポテンシャルを同一の設定で浸炭処理するようにした。

ヒートパターンは図2に示す内容で処理を行った。テスト温度は処理温度による影響調査も兼ねて図に示す3水準とした。また、高濃度COガスのテストの際は、前項で述べたように高浸炭能力雰囲気である高濃度COガスの特徴を生かせるのは浸炭処理の第1段階であるため、図2の浸炭期のみを高濃度COガスとし、その他拡散期などはRXガスを使用した。

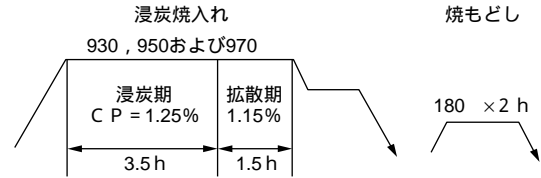


図2 評価試験でのヒートパターン  
Heating pattern in an evaluation test

#### 3.2 評価試験結果

各雰囲気ガスを用いて浸炭処理された処理品の有効硬化層深さについて調査した結果を図3に示す。

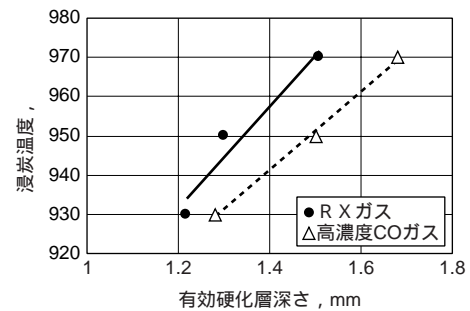


図3 各雰囲気ガスによる有効硬化層深さ  
Effective case depth by each atmospheric gas

図3より、どの処理温度においても高濃度COガスの方が明らかに浸炭能力に優れた結果を示した。また、グラフの傾きよりRXガスに比べ処理温度を高くした場合の有効硬化層深さの増加率が大きい。これは処理温度が高くなることで鋼表面部から内部への炭素の拡散速度が速くなったことで、雰囲気から鋼表面への炭素の移動がより活発に行われる高濃度COガスの特徴が十分に発揮されたためと考えられる。以上より高濃度COガスを使用する場合はその相乗効果も期待できることから処理温度は高く設定する方がよいと言える。

### 4. 開発炉の特徴

高濃度COガスを使用しての浸炭時間短縮による省エネルギーを図るにあたり、その短縮効果を最も大きく発揮できるのは連続タイプの熱処理炉であるため、連続式高速浸炭焼入れ炉を開発した。その概略構造を図4に、外観を図5に示す。

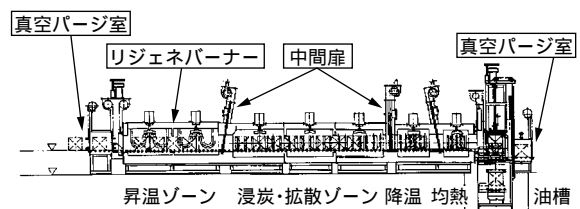


図4 連続式高速浸炭炉の構成  
Continuous high-speed carburizing furnace

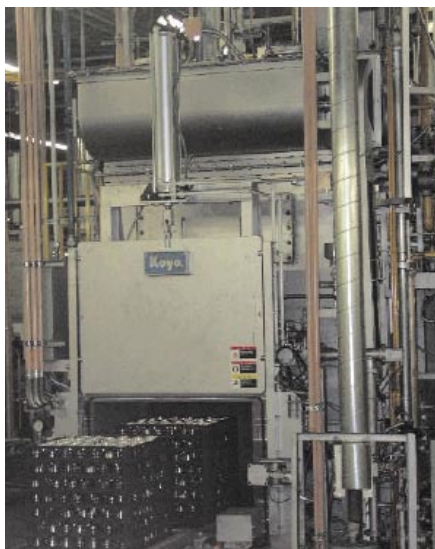


図5 連続式高速浸炭炉の外観

Appearance of high-speed continuous carburizing furnace

#### 4.1 高濃度CO雰囲気

本熱処理炉の最大の特徴は浸炭ゾーンにおける高濃度CO雰囲気の安定化である。一般にバスケットを搬送してゆくタイプの連続炉では一定のサイクルで製品の入出炉、油冷などを行うため、その都度炉内圧が変動し、外気の侵入等の外乱が発生することとなる。この外乱対策として、まず前後扉に真空パージ方式を採用し、最も外乱を避けねばならない浸炭ゾーンの前後には中間扉を設置した。また、雰囲気ガスの導入位置と導入量および前後の排気ブリーダの排気量を確実に制御することでガスの流れを最適化し、浸炭ゾーンの高いCO濃度を維持すると共に雰囲気ガスの精密制御性を確保している。

#### 4.2 高温浸炭

浸炭の高速化を実施するためには、高温浸炭が必要になる。そのため本熱処理炉は高温処理仕様としている。また、浸炭時間の短縮に伴い短いサイクルで高温までの昇温が必要なため、昇温ゾーンを長くし浸炭ゾーンに入るまでに均一に所定の温度まで昇温できるようにした。このエネルギーを最も必要とする昇温ゾーンには燃焼効率の良いリジェネレーターを設置し、省エネルギーに寄与している。

### 5. 省エネルギー効果

高濃度CO・高温浸炭処理により従来の電気ヒーターを使用した同タイプの熱処理炉と比較して、浸炭時間については54%短縮、エネルギーコストとしては50%の削減効果となり、この連続式

高速浸炭焼入れ炉により大幅な省エネルギー効果を得ることができた(図6)。

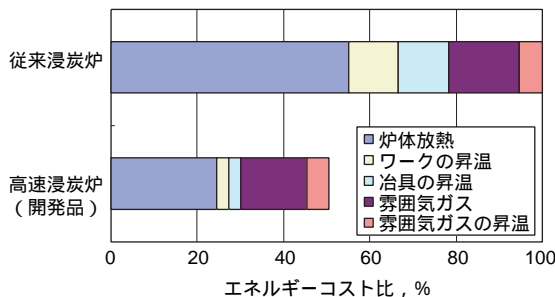


図6 高速浸炭炉と従来浸炭炉のエネルギーコスト比較

Energy cost comparison of new and conventional carburizing furnaces

また、中間扉の多用に対応するために本熱処理炉は口-ラーハース方式の搬送形式を取っているが、高速浸炭効果と本搬送方式の採用により従来のトレープッシャー方式に比べて段取り替え時間が75%短縮され、リードタイム短縮に大きな効果を上げていることも付け加えておく。

### 6. おわりに

今回、当社で取り組んでいる省エネルギー事例のひとつとして光洋サーモシステム(株)と共同で開発した連続式高速浸炭焼入れ炉を紹介したが、前項で紹介したように大きな効果を生み出しており、これからの地球環境を考慮した上で、また製造メーカーとしてのコスト削減を大前提とした取り組みの中で大きな戦力になると確信している。

今後、本設備にとどまらない革新的な設備、製造方法の開発を推進し、地球環境保護、循環型社会に向けた展開に貢献するよう努めていきたい。

### 筆者



宗 真臣\*  
M. SOU

\* 取締役 軸受事業本部 副本部長  
生産技術センター