

インライン熱処理装置「ICBP」

パーカー熱処理工業(株) 安部 寿士

1. はじめに

機械構造部品の特性の良否を左右する熱処理を司る装置は、その重要な使命を持ちながら従来機械加工エリアより隔離された場所に設置されてきた。原因として、数々ある中で最も大きな点は安全性が指摘される。例えば、雰囲気ガス熱処理炉の場合プロセスガスとして可燃性ガス若しくは液体を用いることにより安全に留意した配置を行なう必要がある。また、従来炉は大半がホットウォール構造の為、炉壁放散熱による設置環境温度の上昇による工作機械への影響が問題とされる。これらの課題を解決する手法として真空熱処理設備が普及しているが生産能力、フレキシビリティにおいて機械加工とのインライン化が難しい。

本スタディではコールドウォール真空技術をベースに全ての環境阻害要因を解消し、機械加工とインライン化が可能となるように開発、製造された熱処理装置を紹介する。本装置は、仏国 ECM 社が 1980 年後半に開発した連続低圧浸炭焼入装置「ICBP」(Installation de Cementation Bass Pression)で、当社が 1995 年技術提携し日本に導入した設備である。本装置を用いて浸炭はもとより、工具鋼の焼入れ、ろう付、焼鈍等多目的熱処理が可能であるが、今回は浸炭を中心に紹介する。

2. 装置の特徴

ICBP は縦型と水平型との二種類に大別される。いずれも連続式を第一に考慮し、縦型は有効サイズ 450×750^H 、グロス $200\text{kg}/\text{ch}$ 、水平型は $610^W \times 960^L \times 660^H$ 、グロス $500\text{kg}/\text{ch}$ の能力を持つ。熱処理装置内のフローは、外部搬送機を用いてエアロックセルと称する気密ドア付真空排気セルを経由し、一定の制御分圧下にある搬送室内の内部ロボットが加熱セルへワークを搬送する。熱処理が終了したワークは再び内部ロボットにより冷却セルへ搬入され、焼入れが行われる。焼入方法としては、材料のジョミニ値や質量により油冷若しくは最大 2MPa の N_2 ガス冷が行われる。油冷部品は油切り、大気復圧した後に外部搬送機によって系外へ搬出する。又、ガス冷却品は加圧ガスを回収、若しくは大気放出

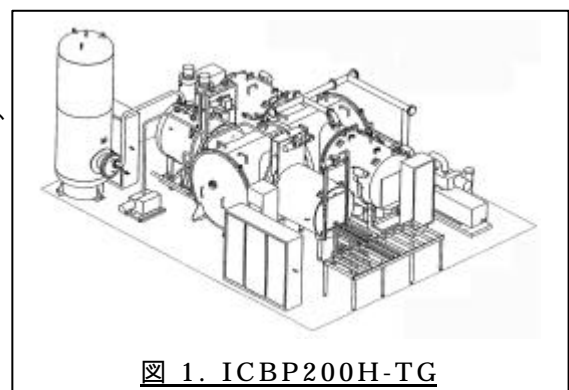


図 1. ICBP200H-TG

後セル内を搬送室と同圧にした後、内部ロボットによりエアロックセルを経由し、外部搬送機で系外へ搬出する。図 1 に水平型 ICBP の一例として加熱セル 2 基とガス冷セル及びエアロックセルで構成する ICBP200H-TG の 3 次元配置図を示し、熱処理設備でありながら何故工作機械とインライン化が可能であるのかを説明する。

環境阻害因子が無く、安全である事。

従来型熱処理炉は周知のように耐火、断熱材を大量に内蔵し、伝熱により炉壁温度は 50 を超過し、炉壁放散熱によりこれらの炉を設置する環境温度は高温化する。半導体を大量に内蔵する工作機械は、このような高温環境には設置不可能である。また、従来型熱処理炉は可燃性ガスを大量に使用するため不測の事態を配慮した製造工程を作らざるを得なかった。これに対し本装置はコールドウォール型真空炉であるために、炉壁からの放散熱は全く無く、精密工作機械との隣接は何ら支障無い。また、プロセスガスとして極少量のプロパンガスを用いるが真空排気系から排出される可燃性成分は微量の為、そのまま大気放出が可能である。勿論、この排出成分には CO 及び CO₂ は全く含まない。

据付が簡便である事。

図から明らかな様に、本装置はフロア置きの為、工作機械と同様に自由な配置変更が可能である。図 2 に欧州のメーカーにインライン熱処理装置として採用された ICBPv600¹⁾を示す。本装置はエアロックセル、ガス冷セル及び 6 つの

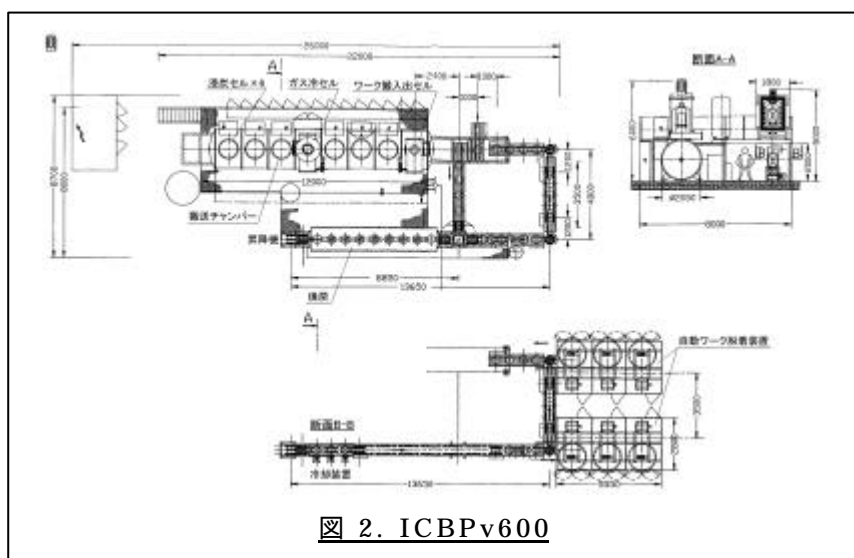


図 2. ICBPv600

加熱セルと内部ロボットを内蔵した搬送室から構成される縦型 ICBP 本体に焼戻炉を付帯した全自動熱処理装置である。本装置は空調された工場内に設置され、部品は自動治具脱着装置を経て、前後機械加工とインライン化されている。このメーカーは本装置を 6 ライン保有し、1 ライン当り 0.7mmECD の浸炭を 300 ~ 340kg/hr 処理している。

装置の耐久性があり故障時に迅速対応が出来る事。

工作機械とインライン化させて使用する設備は同様の設備耐久性が要求され、かつ故障時に迅速な対応が可能である必要がある。この観点に基づき本装置は設計されており、例えばワークの搬送機構について説明すると、従来型炉で採用されているローラーコンベアやウォーキングビーム方式の場合、耐熱性を加味して設計しても一定使用後必ず熱変形による交換が必要となる。また、トレイプッシャー方式であれば摩耗損を考慮する必要がある。これに対し本装置は搬送機構全体を常温部分の真空搬送室内に配置し、高温劣化を考慮する必要が無い様に設計

している。テレスコピック式搬送機構を採用している為ワーク受け台の損耗は無いし、駆動部と外部との機密性も考える必要が無い。更に、連続式真空熱処理炉の課題として各チャンバーの真空気密構造が挙げられるが、高温部の気密構造は複雑となり結果的に耐久性に問題が発生する。本装置はこの課題を解決する為にモジュール化したセルの内、エアロック、ガス冷等冷間部分は気密構造とするが、熱間部分である加熱セルは温度分布特性を考慮したシンプルな断熱扉のみとし、かつ熱処理特性を維持する構造としている。このように耐久性に考慮した装置でも、治具の破損、部品の落下等の不測のトラブルが発生する。このような場合、ホットウォール型熱処理炉の場合、大量の断熱材を内蔵している為、即ち蓄熱容量が莫大な為に復旧着手までの降温時間に長時間を要する。これに対し本装置は真空断熱を前提としたコンパクトな断熱構造とコールドウォール技術により、必然的に短時間の降温が可能となる。また、復旧後の昇温も断熱材の熱容量が少ない為15分程度で可能である。

フレキシブルな熱処理が可能である事。

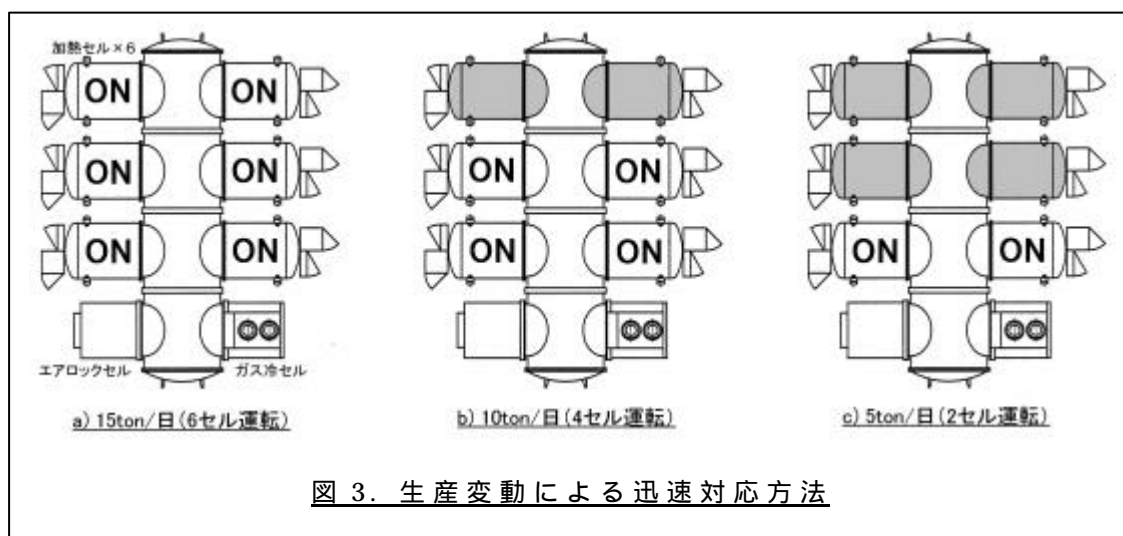


図 3. 生産変動による迅速対応方法

工作機械とインライン化する為には生産変動に対して熱処理もフレキシブルな対応が可能でなければならない。図 3 にフレキシブル熱処理の対応例を示す。本例は有効浸炭深さ 0.7mm の熱処理を 3 シフト体制で日産 15ton から 5ton 実施する場合であり、最大 15ton を処理する場合 a) に示す 6 つの加熱セルを稼働させる。生産変動により 10ton に調整する場合 b) に示す 4 つのセル、更に 5ton の場合は c) に示す 2 つのセルを運転させる。この作業はヒーター停止のボタン操作だけで可能であり、連続運転中何時でも容易に実施できる。また、稼働時間を 2 シフト、1 シフトに変更する事により、更にフレキシブルな生産が可能である。例えば、1 シフト 8hr 稼働後生産終了する場合、全加熱セルのヒーター及び真空排気ポンプを停止し、瞬時作業終了が可能である。翌日の生産開始操作は 30min で完了する。即ち本設備は前述の様に真空構造である為、長時間の排気

停止でもリーク量は極めて微量であり、短時間の排気運転で運転再開ができる。また、増産の場合は逆に必要とするセルのヒーターを入れるだけでよい。勿論この際、生産タクトがセル数に比例して増減する事を考慮しておく必要がある。更に本装置のフレキシビリティとして、構造部品の要求にマッチした細かい浸炭処理が可能な点である。図4のICBP400H-TGを用いて説明すると、例えば0.5mmECDの浅い浸炭、0.8mmECDの深い浸炭、また1mmを超える深い浸炭は短時間処理の為に高温浸炭、更にはCD浸炭等が全くの制約無く同時に処理が可能である。この特性は一定時間タクトで生産するストレート型連続熱処理設備では不可能な利点である。

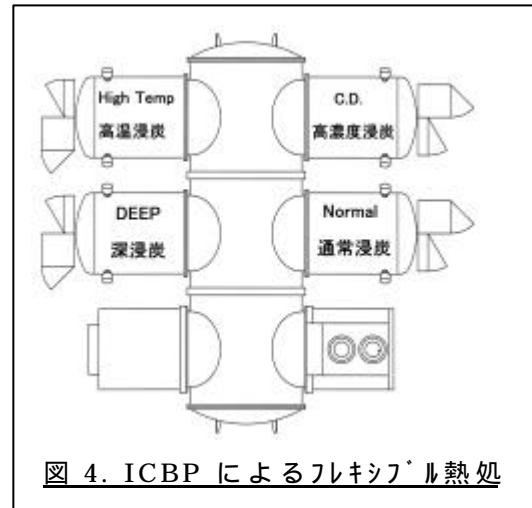


図4. ICBPによるフレキシブル熱処

また本装置のその他特徴について説明する。図

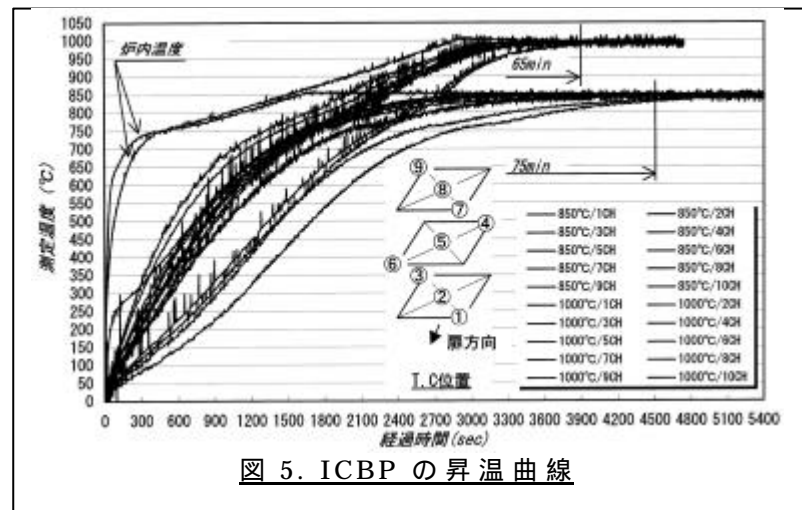


図5. ICBPの昇温曲線

5に、 N_2 ガス分圧500Paで制御された1000及び850の各々加熱セル内に、グロス350kgのチャージを装入した際のワーク単重1kg、25軸中央に取付けた熱電対を用いて計測した昇温カーブを示す。チャージ内に配置した9点が ± 5 に到達する時間は850において75min、1000においては65minで達成される。

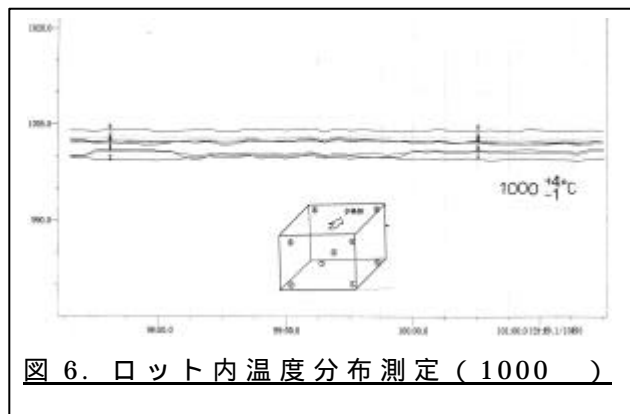


図6. ロット内温度分布測定(1000)

一般的に輻射加熱は対流加熱に比較して昇温速度は遅いが、最適なヒーター配置並びに出力を考慮する事により前述のような短時間昇温が可能である。逆に対流加熱を行う為には攪拌装置が必須となり昇温後、低压熱処理を実施するには高温ガスの排気をする必要がある。これら操作、即ち対流ガスの導入及び高温ガスの排気時間を加算し、かつ攪拌装置のコスト及び耐久性を考慮するならば決して効率的なプロセスとは言えない。図6に1000におけるロット内の温度分布測定結果を示すが ± 2.5 の高精度特性が得られる。

3. 熱処理品種の一例

本装置で得られる浸炭特性については、酸素分圧を数 Pa に抑制した表面異常層の無い高硬度浸炭層である事、世界共通である“INFRACARB”と呼ぶ浸炭制御ソフトにより高精度浸炭層ができる事、また コールドウオール型真空技術により高温迅速浸炭ができる事、等報告²⁾してきたが、本項では CD³⁾ (Carbide Dispersion) 浸炭特性と熱処理歪の報告例について説明する。図 7 は INFRACARB を用いて SCM420 材を 1000 で高濃度浸炭処理した後、炭化物分散処理を行った SEM 写真である。マルテンサイト基地に 1~2 μm に粒状化した炭化物、(Fe,Cr)₃C が分散した組織は高温軟化抵抗が高く、図 8 に示すように著しく良好なピッチング特性を示す。本図は SCM415 製試験歯車を従来法による共析浸炭した物と、ICBP によって CD 浸炭した物とを動力循環式平歯車試験機を用いて調査した結果であるが、ICBP による CD 浸炭強度は共析浸炭強度に比較して 20%の向上、即ち伝達トルクとしては 40%アップが達成される。この特性は変速機の小型化やエンジンの高出力による耐ピッチング性に効果が期待される。



図 7. CD 浸炭 SEM 写真

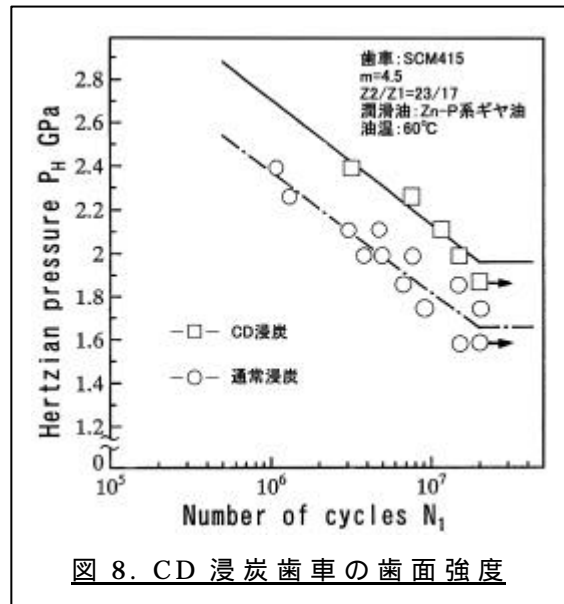


図 8. CD 浸炭歯車の歯面強度

次に図 9 にリングギヤ (16MnCr5) を用いたガス浸炭油冷品と ICBP ガス冷品の歯筋バラツキ調査結果を示す。調査はガス浸炭後 880 油冷品と ICBP960 浸炭後ダイレクトガス冷、更には 940 及び 880 降温後ガス冷した際の各々の左右歯筋のバラツキ量を示す。図より ICBP にて浸炭後 880 よりガス冷した品質 (C 及び C') が最もバラツキが少ない事がわかる。

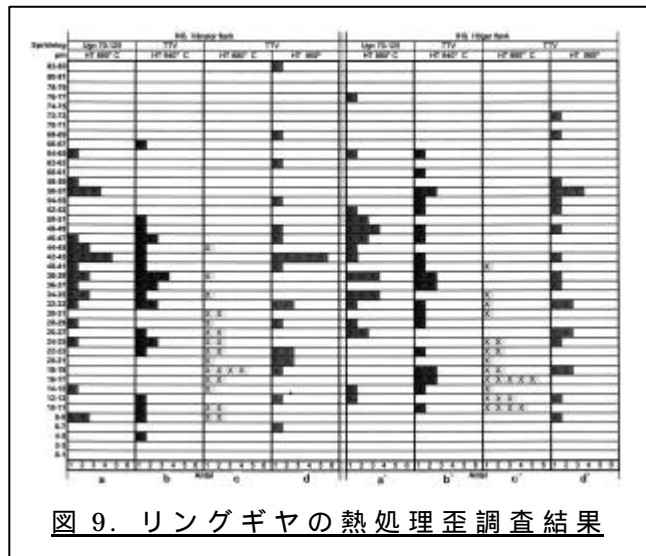


図 9. リングギヤの熱処理歪調査結果

4. トレイプッシャー式ガス浸炭炉とICBPとの比較

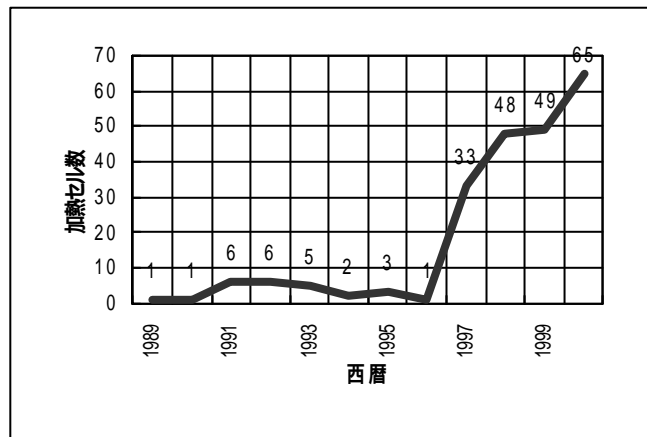
図 10 に欧州のトラックメーカーがトレイプッシャー式ガス浸炭炉を保有する工場とICBPを保有する工場で各々処理しているデフリングギヤ及びドライブギヤの製造コスト比較調査結果を示す。調査は材質 16NC13 の上記ギヤ(単重 10~40kg)を 1 セット、ECD1.5mm 処理する場合のサイクルタイム、設備スペース、生産ロス、不良率より算出した結果でありICBP工場の製造コストが連続ガス浸炭工場のコストに比較して 23%削減されている。このメーカーは上記実績により現在 2 ライン目のICBPが稼働している。

		浸炭室化油冷	ICBP ガス冷
トレイサイズ		600×450	600×900 (トレイプッシャーの2倍)
グロスワーク		150kg	460kg
設備設置面積		1500m ²	450m ²
生産量/日		410 セット	190 セット
処理品 1 セットに必要な面積		3.65m ²	2.36m ²
各々停止毎の生産ロス		8 日	13hr
内部硬化層		有	無
ECD の精度		±0.1mm	±0.05mm
不良率		1.5%	0.01%以下
処理条件	昇温	4hr	1.5hr
	浸炭/拡散	8hr	4.5hr
	冷却	1hr	上記に含む
	合計	13hr	6hr
1 セットの生産コスト		-	23%減

図 10. トレイプッシャー炉とICBPとの比較

5. おわりに

従来型熱処理装置はフレーム、煙、炉壁放散熱による環境温度の上昇、更にはCO₂排出等の環境阻害因子、可燃ガス取扱による安全性問題、重厚長大型による非柔軟性等により、永く熱処理工場という名称の中で隔離運営されてきた。今回紹介したICBPはこれら悪性因子を払拭し、物作りの現場で永年要望されてきた機械加工とのインラインを可能とすると共に高品質熱処理を提供する装置である。最後に、本装置の普及状況を図 11 に示す。1989年に欧州で1号機が稼働を開始し、1996年までの8年間にかけて徐々に産業界に浸透し、信頼性の蓄積を重ねた後、1997年より一気に普及し始め現在に至っている。当社が本装置を日本に導入し5年が経過したが、当初既存熱処理装置、制御技術と全く異なる為多くの抵抗があったが、最近同図と同様に多くの方々に理解を得始めた。



~ 参考文献 ~

- 1) ECM社 技術資料
- 2) 安部寿士; サーモスタディ 2000 講演会概要集
- 3) 千葉昂、藤田敬太郎、桜木彰彦; 日本金属学会誌、45、11、P1151(1981)