

製品紹介

Products

スリムバッチ真空浸炭炉 “シンクロサーモ”[®]

1. はじめに

減圧下で浸炭処理を行う真空浸炭炉は、従来のガス浸炭炉と比べて以下の特長がある。

- ①短時間で立ち上げ・立ち下げが可能
- ②省エネ・省人化
- ③酸素のきわめて少ない雰囲気中で熱処理を行うため、製品の浸炭異常層（粒界酸化）がほとんど発生しない
- ④設備の構造上、高温浸炭が容易
- ⑤浸炭機構上、炭化物を活用する高濃度浸炭が容易
- ⑥粒界酸化フリーを利用した材料開発の可能性

大同特殊鋼(株)（以下、当社という）が独 ALD Vacuum Technologies 社（以下、ALD という）から真空浸炭技術を導入し、2005 年より販売を開始した真空浸炭炉「ModulTherm（モジュールサーモ）」は、既に自動車メーカーを初めとする顧客の生産現場で稼働している。モジュールサーモは上述の特長に加えて、以下に挙げる独自の特長を備えている。

- ①理論に基づいた高精度レシピ計算機能
- ②アセチレンガスと高精度レシピの組み合わせによる高効率・低排出プロセス（定期的なバーンオフ不要）
- ③すべての処理室に炉外から直接アクセス可能（容易なメンテナンス）
- ④保温室を活用した焼入前降温均熱工程
- ⑤バッチ炉の集合体を自動運転することによる連続多量生産

モジュールサーモが市場で一定の評価を得る一方で、少量の製品を高頻度に熱処理する場合には、モジュールサーモは生産能力が過剰で、また、製品重量当たりのランニングコストも割高であるため、本来の特長を活かしきれしていない。ALD および当社はこのようなニーズに応える新商品「SyncroTherm（シンクロサーモ）」を開発したので、以下にその詳細を紹介する。

2. シンクロサーモ

2. 1 商品コンセプト

図1にギヤ製造ラインを模式的に表現した例を示す。

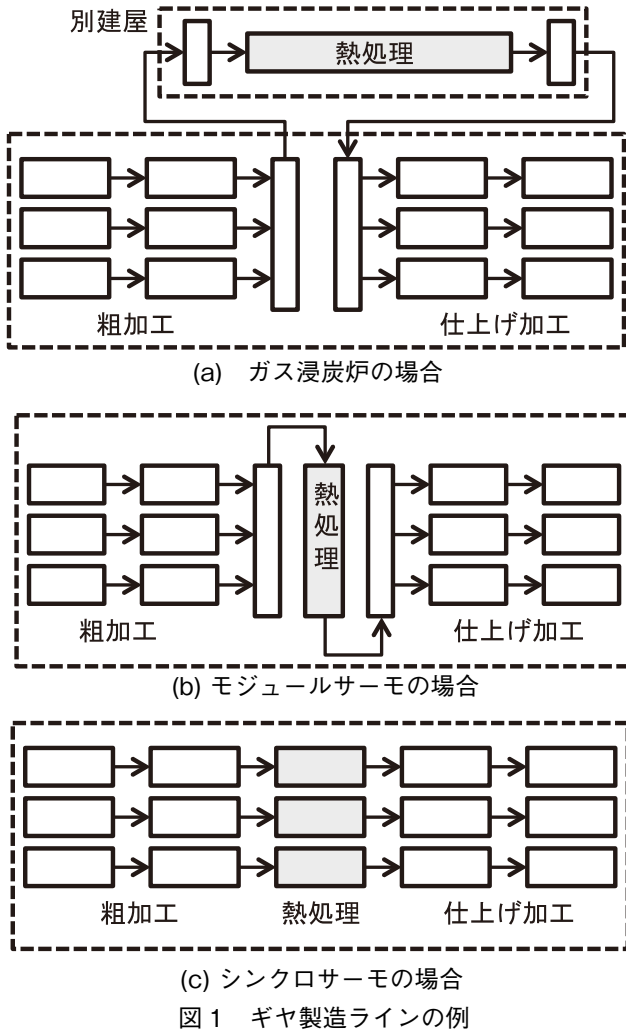
ガス浸炭炉を使用する場合、炉体からの放熱によって周囲が高温になり、また炉内に爆発性ガスを保持しているため、前後の加工工程とは別の建屋に設置されることが多い。（図1(a)）

モジュールサーモを初めとする真空浸炭炉の場合、炉体からの放熱は冷却水が回収するため周囲が高温になることはなく、また炉内は減圧されているため爆発の潜在的リスクが解消されたことにより、熱処理工程が加工工程と同じ建屋に設置されるようになった。（図1(b)）ただし、依然として大きなバッチ処理である点に変わりはなく、熱処理の前後に中間在庫を保有する必要があったり、少量の熱処理を行う場合は、ランニングコストが割高であるという課題があった。

シンクロサーモは、モジュールサーモで実現した作業環境、安全性を一層向上させながら、さらに上記の課題を解決することを目指して開発されたものであり（図1(c)）、商品のコンセプトは次の通りである。

- ①処理能力は前後の機械加工工程と同等
- ②コンパクトな設置スペース
- ③油槽設置用のピット不要

なお、シンクロサーモの商品コンセプトは浸炭焼入に限定するものではなく、いわゆるズブ焼入、焼結など現在真空炉で熱処理が行われる幅広い用途に適用することができる。



2. 2 装置構造

図2にシンクロサーモの炉体の外観を、また表1にシンクロサーモの主な仕様を示す。炉体はハウジングと冷却室から構成されており、同一の台枠上で組み立てられている。また図2に示すほかに、真空ポンプおよびインバータ盤が炉体に近接して設置される。炉体の全高が3.8 mに満たないため、低床トレーラーに積載して日本国内の主要な公道をそのまま運送することができ、またピットが不要のため、装置をアンカーボルトでFL (Floor level) 上に固定すれば設置は完了する。

ハウジング内部は6段に仕切られた浸炭室、および各浸炭室と冷却室の間で製品の受け渡しを行う搬送機構に分割されている。浸炭室は各段が独立に制御されるため、バッチごとに異なるレシピを実行することができる。また、冷却室は加圧ガス冷却するために第2種圧力容器となっており、内部には送風機、熱交換器が収められている。製品の装入・抽出は冷却室正面の扉から行われる。

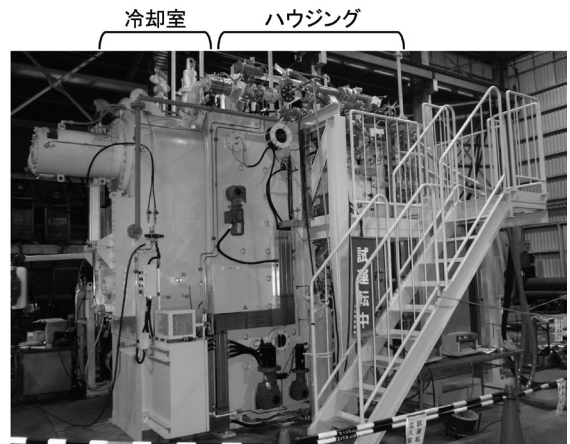


図2 シンクロサーモ炉体

表1 シンクロサーモの主な仕様

項目	諸元
トレー有効寸法	L600 × W500 × H150 [mm]
トレー積載重量	max. 50 kg (グロス)
常用最高温度	1100 °C (浸炭室)
冷却ガス	窒素
冷却圧力	max. 900 kPa
設置スペース	約 2.8 m × 6.0 m

2. 3 シンクロサーモの特長

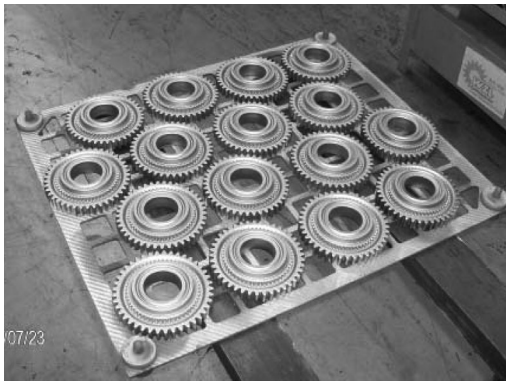
1) 処理時間短縮

従来型の浸炭炉では製品を取り付けた治具を複数段重ねて1つのバッチを形成することが多く（以下、このような荷姿を3Dバッチという）、シンクロサーモの場合は、高さ方向の有効寸法が小さいため、製品を平面的に配置してバッチを形成することとなる。（以下、2Dバッチという）それぞれの例を図3に示す。

2Dバッチの場合、製品の大部分が加熱室内の発熱体から直接輻射熱伝達を受けるため、短時間で昇温が完了する。3Dバッチの場合、バッチの中央付近に位置する製品は間接的な熱伝達しか受けられないため、外周部と比べて昇温時間が遅れる。バッチ全体の昇温時間は最遅部の温度到達に依存するため、結果として2Dバッチは3Dバッチと比べてきわめて短時間で昇温が完了する。図4に昇温特性を実測した例を示す。



(a) 3D バッチ



(b) 2D バッチ

図3 2D バッチ・3D バッチの例

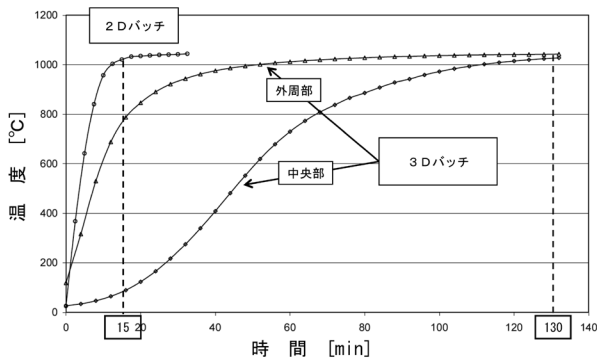


図4 2D バッチと3D バッチの昇温時間比較

さらに処理時間を短縮する場合は、浸炭温度の高温化が有効である。これは高温ほど炭素の拡散速度が速く、炭素固溶限が拡大するためであり、例えば920℃をベースに考えると、950℃の拡散時間は35%、980℃の場合は55%の時間短縮が見込まれる。なお、シンクロサーモの常用最高温度は1100℃であり、高温化のメリットを十分活用することができる。

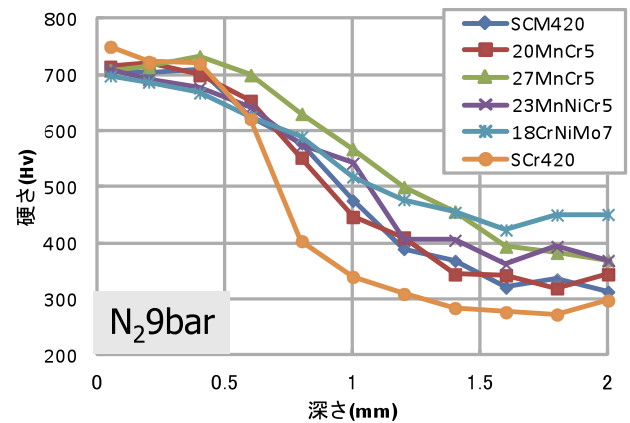
一方で、処理温度の高温化は製品の結晶粒粗大化による強度低下を引き起こす恐れがある。当社は高温環境における結晶粒の粗大化をピンニング粒子を用いて防止する

技術を所持しており、その技術を用いた結晶粒粗大化防止鋼「ATOM 鋼」を開発している。この鋼を用いて、工程を最適化することにより、1000℃以上の高温浸炭でも結晶粒の粗大化を防止し健全な処理品を得ることができる。

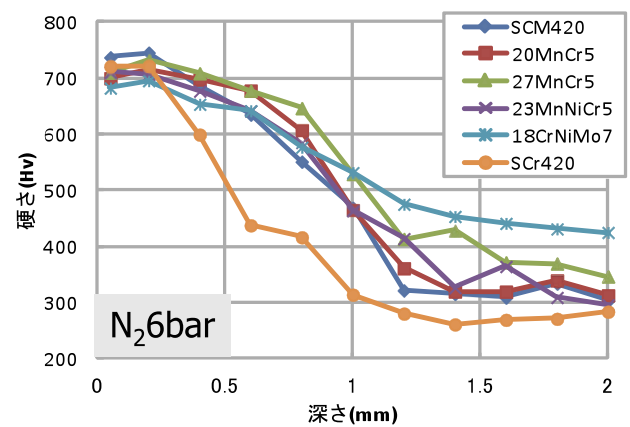
2) 加圧ガス焼入

現在わが国で稼働している浸炭炉は、大部分が油焼入または塩浴焼入仕様である。これはSCr420、SCM420など一般的な肌焼鋼のマルテンサイト変態に必要な冷却速度が、油焼入の冷却速度に相当するためと解されるが、焼入時の製品の冷却速度は焼入の方法だけでなく、製品の形状や治具取付方法、バッチ重量などにも影響される。すなわち、少量の製品を投入する場合は、必ずしも油焼入が必要ではない。

図5に丸棒試験片をシンクロサーモで焼入した時の硬さを、図6にマイクロ組織を示す。少量の製品を2Dバッチで焼入れするシンクロサーモは、600 kPa (6bar) あるいは900 kPa (9bar) の窒素ガスで十分な焼入硬さおよび健全なマルテンサイト組織が得られる。



(a) 窒素 900 kPa 焼入



(b) 窒素 600 kPa 焼入

図5 シンクロサーモによる丸棒の焼入硬さ

図7～9に示す通り，一般的な機械的特性は従来の真空浸炭+油焼入と同等であることが分かる．なお，最高使用圧力が1000 kPa（10bar）以下の場合には高压ガス設備に該当しないため，設備の製造および保守に関して高压ガス保安法の規制を受けず，比較的容易に設備を導入することができる．

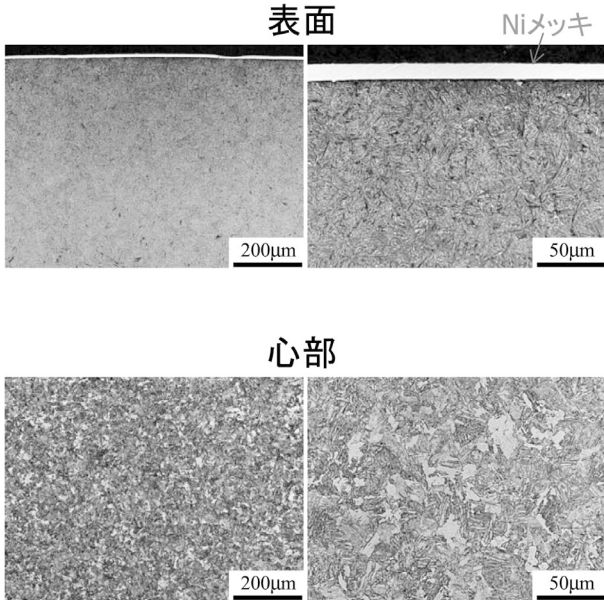


図6 シンクロサーモによる丸棒の焼入マイクロ組織

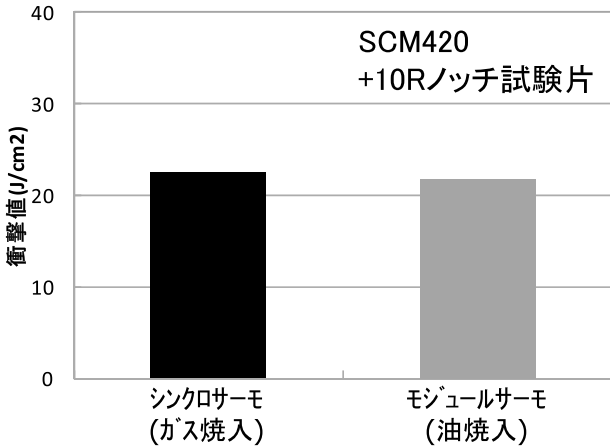


図7 シャルピー衝撃試験結果

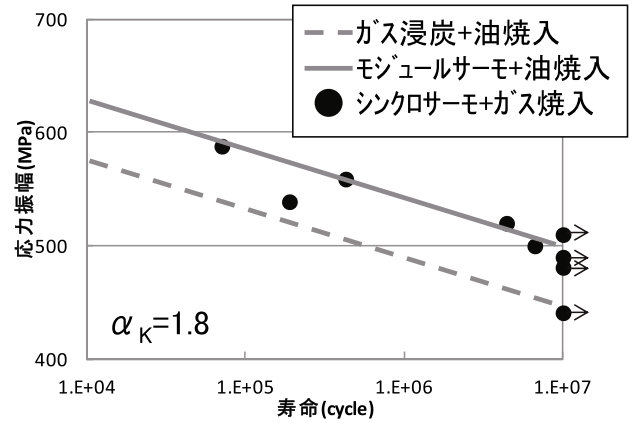


図8 回転曲げ強度

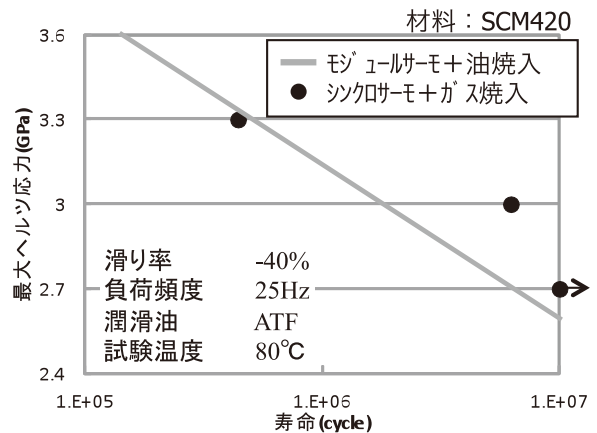


図9 ローラーピッチング試験結果

またガス焼入を採用することによって，焼入後の製品の洗浄工程が削減できるほか，焼入油の品質管理や廃油処理も不要となるなど，得られるメリットは数多い．

さらに油焼入の場合は，一旦冷却媒体を決定すれば，冷却速度の可変範囲はきわめて限定されるのに対して，ガス冷却の場合は，圧力および風速（風量）を制御することによって，冷却速度の特に下方への可変範囲が拡大する．

3) スキルフリー化

当社は，個人の熟練・技量への依存から脱却するために，複雑なレシピをパソコンで自動計算するシミュレーションソフト（浸炭くん）を開発し，モジュールサーモのお客様から好評をいただいているが，各種パラメータを最適化したシンクロサーモ版の浸炭くんを新たに開発し，シンクロサーモのお客様に提供することとしている．

浸炭くんは狙い通りの炭素濃度分布を得るためのレシピを計算すると同時に，歯先や歯幅方向の端部などエッジ形状の部位に炭化物が析出するかどうかを予測するこ

ともできる。炭化物の析出はレシピの修正によってある程度は制御できるが、確実に防止したいというニーズに応えるために、当社は真空浸炭時の過剰浸炭防止鋼 (DEG 鋼) を開発した。DEG 鋼は既に自動車部品用に採用実績があるほか、現在はお客様の要請に応じてサンプル提供している。

ガス焼入が広い制御範囲を持つと述べたが、その分最適な焼入条件を手探りで求めるのは困難である。当社は形状・重量などの製品条件および焼入条件から製品の焼入硬さを予測する技術を開発しており、一層のスキルフリー化を目指している。

4) 低歪み

シンクロサーモの冷却室では、冷却ガスが製品に対してダウンフローとなるよう強制循環している。ガスを製品に吹き付ける上流部分には整流機構が取り付けられており、トレー上の製品に均一にガスが当たるように工夫されている。

また、油焼入の場合は、冷却工程の進む間に熱伝達の形態が蒸気膜、核沸騰、対流と遷移するため、熱伝達率が大きく変化するが、窒素ガス焼入の場合は、熱伝達の形態が一定 (強制対流熱伝達) であるため、熱伝達率の変化が小さい。

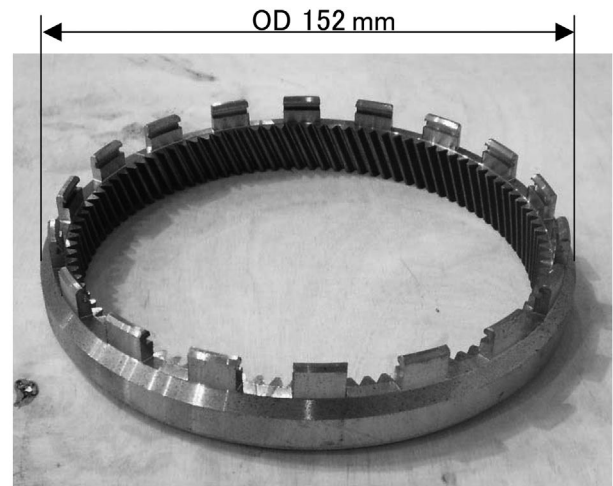
モジュールサーモとシンクロサーモで浸炭焼入を行った際の歪み量のばらつき比較例を図 10 に示す¹⁾。同じ測定数に対するねじれ角のばらつき幅を比較すると、シンクロサーモはモジュールサーモの約 1/2 である。

高速焼入など歪み低減にコストのかかる部品にシンクロサーモを適用することで、工程・コスト削減に大きな効果を生むものと予想される。

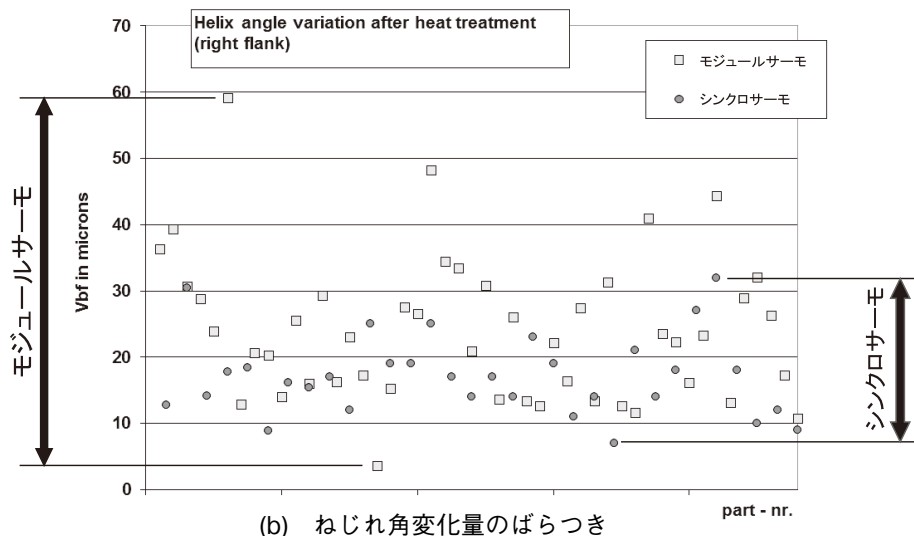
2. 4 実証炉の設置

シンクロサーモは既に当社から発売しているが、お客様向けの試作、設備見学などに応えるため、実証用設備を当社滝春テクノセンター (名古屋市) に設置し、2013 年 10 月頃の稼働を計画している。

供試材：SAE5130 硬化深さ：0.3 ~ 0.6 mm 表面硬さ：79 ~ 83 HRA モジュールサーモ：120 個/バッチ シンクロサーモ：8 個/バッチ



(a) 測定条件と測定ギヤ



(b) ねじれ角変化量のばらつき
図 10 インターナルギヤの歪み量比較例

3. 真空浸炭炉ラインアップ

当社の真空浸炭炉「モジュールサーモ」と「シンクロサーモ」を能力マップ上に示す。(図11)シンクロサーモはモジュールサーモではカバーできなかった少量・小能力のニーズに応える商品であり、お客様のニーズに合わせて、最適な商品を提案している。

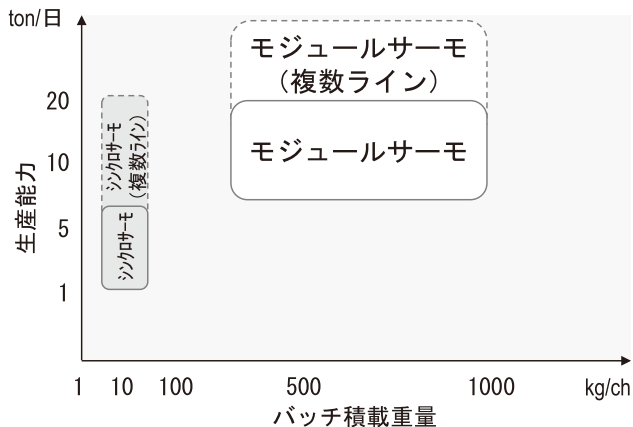


図11 真空浸炭炉の能力マップ

4. おわりに

わが国のものづくり産業は、いわゆる2007年問題による現場作業員の減少によって一層の生産性の向上が求められると同時に、台頭する新興国との競争に勝ち抜いていかなければならない。熱処理の現場も例外ではなく、品質の作り込みを現場の熟練に依存する体制は早晚限界が訪れる。モジュールサーモは熱処理現場のスキルフリー化に1つの解答を提示したが、シンクロサーモは超小バッチ生産、在庫低減、インライン化などの革新によってさらなる生産性の向上を実現することが期待され、当社はその普及によってわが国のものづくり力の向上に貢献できるものと考えている。

「シンクロサーモ」「SyncroTherm」は当社および独ALD社の登録商標です。

(文献)

- 1) V. Heuer, K. Loeser, T. Leist and D. Bolton: Enhancing Control of Distortion Through 'One Piece Flow- Heat Treatment', American Gear Manufacturers Association, 2012, 9. ISBN: 978-1-61481-054-4.

(問合せ先)

大同特殊鋼(株)

機械事業部 名古屋機械営業室 堀 哲

TEL: 052-613-6805 FAX: 052-613-6841

e-mail: s-hori@ac.daido.co.jp