

NACHI  
**TECHNICAL  
REPORT**  
Materials

Vol. **33** B5  
May/2018

マテリアル事業

■ 新商品・適用事例紹介

## 改良型真空浸炭炉

Improved NACHI Vacuum Carburizing Furnace  
NVC Series

〈キーワード〉 真空浸炭・EN-CARBO・バッチ型真空浸炭炉  
真空浸炭シミュレーション・リファイニング  
高濃度浸炭

サーモテック事業部／技術部  
宮腰 昇 Noboru Miyakoshi

# 要 旨

世界各国で電気自動車(EV) シフトが急速に進む中、自動車の材料・熱処理に対する要求はますます高くなり、さらなる小型高強度化・低ひずみ化などの高品質化が求められている。熱処理の一つである浸炭焼入れは、自動車産業界を中心とし、耐摩耗、高強度が必要な変速機歯車、産業用減速機、建設機械の歯車などに広く適用されている。最近では真空浸炭炉が得意とする高濃度浸炭、高濃度浸炭窒化処理での産業用部品への適用が拡大している。

NACHIでは2000年のバッチ型真空浸炭炉発売以降、実操業での課題・問題点を解決するため、ハード・ソフト面での改良を重ねてきた。本稿ではNACHIバッチ型真空浸炭炉「NVC-6,-10」の2機種の特長を中心にハード・ソフト面での改良点について説明する。

## Abstract

In the midst of rapid preference shift of consumers to Electric Vehicle (EV) around the world, demands for materials and heat treatment of automobile parts are increasingly becoming higher. Thus, high quality of small, high-strength material with lesser distortion is required. A method of carburizing and quenching that is one of the heat treatment methods is widely applied to transmission gears centering around the automobile industry, industrial reduction gears and construction machine gears that require abrasion-resistance and high strength.

In recent years, application of high-concentration carburizing and high-concentration carbonitriding treatment with excellent performance of a vacuum carburizing furnace is expanding to industrial parts.

Since the launch of a batch-type vacuum carburizing furnace in 2000, NACHI has repeatedly made improvements in its hardware and software to resolve issues and problems in the actual operation. In this paper, we will explain the improvements made in hardware and software, focusing on the features of two models, “NVC-6” and “NVC-10” of NACHI Batch-Type Vacuum Carburizing Furnaces.

## 1.はじめに

浸炭焼入れは、自動車産業界を中心とし、耐摩耗、高強度が必要な変速機歯車、産業用減速機、建設機械の歯車などに広く適用されている。自動車産業界では十数年前の大ロット用のバッチ型、セル型処理からインライン化した小ロットあるいは1個とりの熱処理システムへと変化が出てきている。一方、多品種・少量の熱処理が中心である中堅メーカーや熱処理加工業ではバッチ型が中心である。エンドユーザーからの短納期対応、熱処理要求品質も厳しくなっており、条件設定の容易化、安定した熱処理品質、設備信頼性、生産性をいかに向上させていくかがますます重要になってきている。本稿ではNACHIバッチ型真空浸炭炉「NVC-6,-10」の2機種の特長を中心にハード・ソフト面での改良点について説明する。



## 2. バッチ型真空浸炭炉「NVC-6,-10型」の特長

表1にバッチ型真空浸炭炉「NVC-6,-10型」の基本諸元を示す。浸炭ガスは開発時から採用しているエチレンに加えアセチレンも対応可能とした。また、2015年に発表した真空浸炭シミュレーション「EN-CARBO Calc.」を付属し、熱処理条件の事前検討や品質確認に掛かっていた工数が1/3程度になるなどのメリットが出ている。今後の需要拡大が見込まれる高濃度浸炭、高濃度浸炭窒化処理での再加熱処理前の熱処理品冷却に必要なリファイニング

装置(RFU)の設計を見直し、ユニット化した。標準仕様「NVC-10型」の正面、側面写真をそれぞれ図1および図2に示す。炉前にはリフタ機能付き搬送装置があり油槽専用ピット施工なしで設置できる。炉前搬送装置は自動搬送台車にも変更でき、全自動化ライン対応も可能である。また、真空排気装置、ガス制御盤、給排水装置は各々ユニット設計をしており、ユーザー設置エリアに対応した柔軟なレイアウト対応できるように配慮している。

表1 バッチ型真空浸炭炉NVCシリーズ2機種 基本諸元

設備型式	「NVC-6型」	「NVC-10型」
有効寸法(mm)	W610×L950×H610	W760×L1,220×H760
処理量(kg/G.C)	600	1,000
使用温度(°C)	800 ~ 1,050(最高1,080)	
電気容量(kW)	100	160
焼入油量(L)	8,000	10,000
浸炭ガス	エチレン・アセチレン(選択)	
処理ソフト	EN-CARBO Calc. (真空浸炭シミュレーションソフト)	
オプション	高濃度浸炭・高濃度浸炭窒化	



図1 「NVC-10型」設備正面(ピットレス仕様)

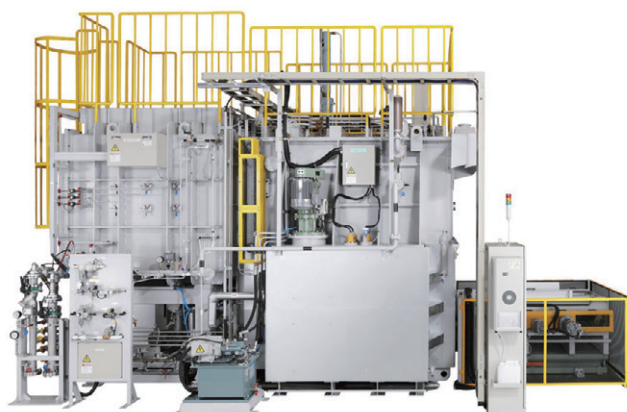


図2 「NVC-10型」設備側面(ピットレス仕様)

### 3. 項目解説

#### 1) 浸炭ガスの互換性

NACHIはエチレンを用いた真空浸炭方法で2000年に特許取得し、NVCシリーズを販売してきた。しかしながら、海外需要家での入手性の悪さ、顧客要求もあり、アセチレンを対応可能とした。エチレンとアセチレンでは浸炭時の鋼表面での浸炭機構、適した処理圧力が異なる<sup>1)</sup>。反応性がマイルドなエチレンプロセスでは通常炉圧2～3kPa(abs)での処理であり、油回転真空ポンプの排気能力で十分である。一方、反応活性なアセチレンでは処理圧を1kPa(abs)以下で行なう必要がある。そのため、油回転真空ポンプ+メカニカルブースタポンプの真空排気構成となる。浸炭ガス種選択は基本的にユーザー要求仕様によるが、過去納入事例より歯車などの鋭角部位の炭化物抑制が重要な場合はエチレン浸炭、ノズル部品などの細穴内部浸炭にはアセチレン浸炭といったように、NACHIでは熱処理品形状、炭化物抑制に適した浸炭ガスをNACHI試験炉で品質確認し提案している。

#### 2) 真空浸炭シミュレーション「EN-CARBO Calc.」

真空浸炭の条件設定は難しい? ガス浸炭から真空浸炭を初めて検討する場合、異なる条件設定が障壁になる場合がある。このような需要家向けに条件設定を容易化するツールとして「EN-CARBO Calc.」<sup>2)</sup>がある。NACHIでは3年前から「EN-CARBO Calc.」を試験処理に導入し、SCr、SCM材などの肌焼鋼の共析浸炭に対し、処理品質の条件出し精度および、必要工数低減に効果を挙げている。「EN-CARBO Calc.」に熱処理品諸元(材質、形状、表面積など)と目標とする浸炭深さを入力設定することで浸炭パラメータが算出される。初回処理でも狙いの浸炭深さに対し、誤差±10%以内の結果を得ることができる(図3)。結果、需要家向け試験において量産条件出しまでの時間が従来比で1/3となり、材料検査工数、試験処理費用も大幅に低減した。さらに、「EN-CARBO Calc.」で得られる炭素濃度勾配の算出結果をもとに従来の浸炭条件を見直し歯車の歯筋精度の改善にとり組んでいる例もある。多品種少量の熱処理品、混載処理での条件設定に困っておられる小事業者や熱処理加工業において「EN-CARBO Calc.」が品質、生産性向上の課題解決の一つ手段となれば幸いである。

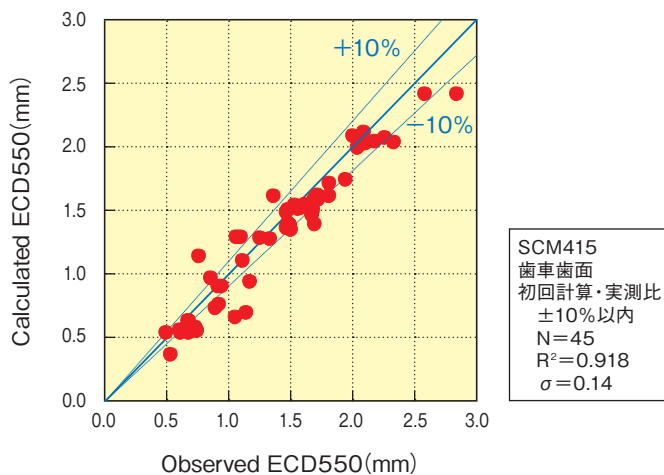


図3 シミュレーション・実測値対比(NVC-6型)

### 3) 加熱方式

長期間でも安定した温度分布性能を確保するため、ヒータ構造は初期型と比較し、改良型(現行機種)では大きく設計変更している。表2に初期型および現行機種の比較を示す。主変更点は、加熱方式を従来の炭化珪素発熱体+セラミック保護管から金属発熱体+炭化珪素製ラジアントチューブ(SiC-RT)にした点である。初期型では真空容器中の炉内部に発熱体を20～30本近く設置し、放電防止のため端子電圧を下げる必要であった。この方式では余剰浸炭ガス由来の煤が、ヒータ表面および端子部に付着する。このため、

高温減圧下環境でのヒータ表面変質による経年劣化を回避することができず、ヒータ表面のバーンアウト、定期的な清掃、ヒータ交換、温度分布測定での加熱ゾーン毎での出力調整が必要となり、保守作業の負担となっていた。改良型では、従来の加熱方式を見直し、SiC-RT内部に金属発熱体を配置し発熱体表面と浸炭ガスの接触を完全遮断する設計とした(図4)。結果、煤によるヒータ抵抗値変動がなくなったことで、温度分布性能の信頼性が向上し、ヒータ交換寿命も3倍以上にのびた。

表2 浸炭室加熱方式の比較

項目	初期型	改良型(現行)	改良型の特長
ヒータ種類	炭化珪素発熱体	金属発熱体	金属発熱体は温度での抵抗変化率が低く、ヒータ設計の自由度が高い。
ヒータ保護管	多孔質アルミナチューブ	特殊炭化珪素製チューブ(RT:ラジアントチューブ)	熱間強度が強く、ガス透過性も低いため真空シールが可能。初期費用は高い。
ヒータ配置	炉内(真空下)	炉外(大気圧)	ヒータは真空シールされたRT内配置となり、プロセスガスと完全遮断。ヒータ性能劣化の影響が少ない。
ヒータ配列	上下面(計21本、計27本)	左右側面(計12本)	熱処理品側面でのヒータ配置となり、熱処理品、熱処理油落下などによる損傷リスクが少ない。
ヒータ端子部	炉内(真空下)	炉外(大気圧)	ヒータ端子部が炉外のため、放電防止用の降圧用変圧器が不要になる。

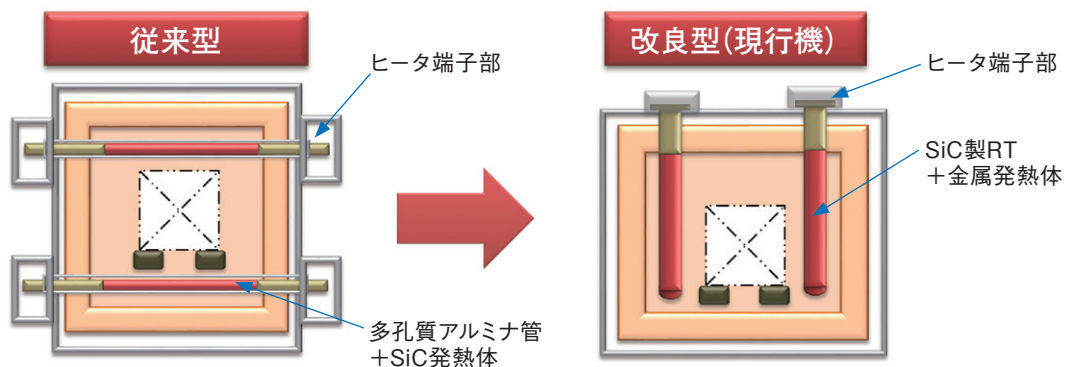
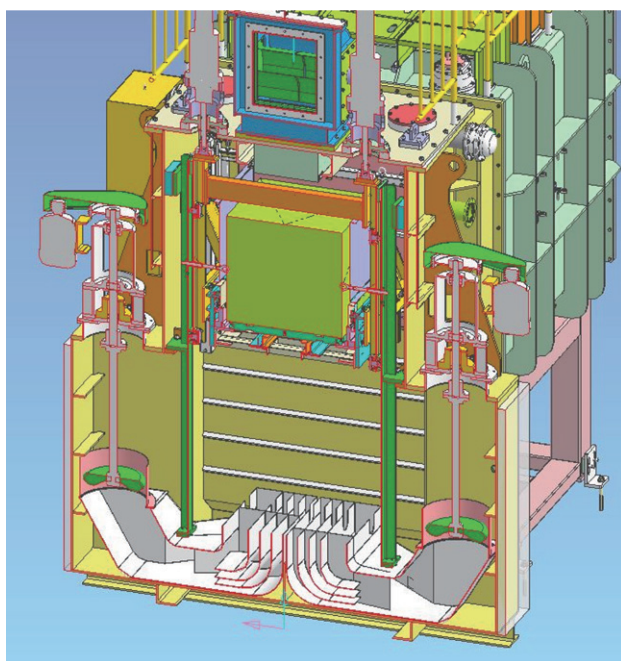


図4 従来型および改良型加熱方式模式図

#### 4) 焼入油槽十分な油面高さ、油量確保

焼入油槽は、本体、油槽攪拌機、オイルクーラで構成される。NVCシリーズでは、バスケット高さ方向での焼入れ性バラつき低減を狙い、バスケット油没位置でも油面から熱処理品上面までの高さを確保できる十分な深さとしている(図5)。攪拌方式は左右両側にプロペラ式攪拌機2台配置し、バスケット油没位置での底面を左右同などに噴き出すよう、整流ダクトを油槽底部に配置してある。整流ダクト内は乱流域で平均流速が最大0.4m/sec程度になるように設計し、流速は吐出流量を攪拌機INVモーター回転数の無断変速可能で

任意可能である。待機中(攪拌)ー静止(攪拌停止)ー弱攪拌や、強攪拌ー弱攪拌など製品にあわせた段階攪拌パターン設定も可能である。焼入れ後の温度上昇は定格量で20℃未満、通常は装填量での平均的な運用では10℃～15℃の油温上昇となる。操業温度は熱処理油(コールド油/ホット油)により異なるが、通常60～120℃で運用可能としている。オイルクーラは処理内容、運用方法にあわせ、熱交換容量を変更できるように配慮している。(浸炭の他、調質用途割合が高い場合などは容量増)



- 油面圧力設定 ～90kpa
- 攪拌機回転数 無断変速  
段階冷却(周波数設定)  
高速-低速  
攪拌-停止-高速
- 液面管理
- 自動給油(オプション)
- オイルクーラ  
排熱時間 2時間以内  
サイクルにあわせ容量設定可能
- 油温度上昇  
通常10～15℃
- 焼入れ遅れ時間 35秒前後  
30秒以内(引き出しから)

図5 焼入れ油槽構造 「NVC-10型」

## 5) リファイニングファンユニット(RFU)

RFUは高濃度浸炭や高温浸炭で再結晶による組織調整が必要になる場合に必要なガス冷却ユニットであり、オプション搭載している。高濃度浸炭サイクルでの1次冷却（結晶粒微細化）では浸炭温度からA1変態点以下まで約30分での冷却能力を有している。金型専用の加圧冷却真空炉（第2種圧力容器）では、加圧ガス冷却機能を搭載する仕様が一般的だが、NVCシリーズは、真空油焼入れを基本としており、構造上、窒素ガスによる常圧（大気圧直下）冷却としている。1台の炉で真空浸炭と真空焼入れ処理を行なう需要家の場合、NVCシリーズにRFUを搭載し、ダイス鋼の窒素ガス雰囲気焼入れ、SKD61、SUS440などの金型、刃物やSUS410材の螺子部品の浸窒焼入れ（表面硬さHV600以上）への適用事例がある。ただし、構造上RFUでの雰囲気ガス冷却での処理量は油冷時の半分程度となる。

## 6) 加熱室ファンユニット

NVCシリーズでは、真空加熱中での処理品、バスケット、ジグからのCr脱元素防止のため、炉内に定流量の窒素ガスを導入し、パーシャル加熱を行なう回路を標準装備している。しかし、大型部品、あるいは数量が多く嵩張る荷姿の場合では、真空加熱（放射加熱）だけでは、バスケット外部とバスケット芯部の昇温速度が遅れ、処理サイクルが長くなる。このような場合に、室温～600℃付近での対流伝熱領域での昇温速度を上げる目的で、対流加熱ファン（オプション）を搭載する場合がある。ただし、対流加熱時には炉壁から放散熱量も増加するため省エネの点では好ましくない。真空加熱による800℃～1050℃温度域での温度分布は±3℃程度（設備仕様±5℃以内）、窒素ガス対流加熱の場合、±7.5℃程度となる。また、処理内容によりファンインペラを2種類の材質（耐熱鋳鋼製/C/Cコンポジット製）から選択可能としている。真空浸炭を行なう場合、一定使用間隔で加熱室内に付着した煤を燃焼除去するためにバーンアウト処理を行なう。この際、空気を炉内導入するため、C/Cコンポジット製インペラは消耗が早くなるため、耐熱鋳鋼製インペラとしている。

## 4. まとめ

NACHI真空浸炭炉の基本技術は、過去10年以上に渡る各所実績をふまえ汎用技術として普及し、部分的な改良を継続し安定運用している。今後、大手メーカーに続き、中堅部品加工業者、熱処理加工業への普及が促進すると予想される。NACHIは、真空浸炭炉を円滑に普及させるために、上述の熱処理レシピ作成負担の軽減、容易化も鍵になると考えており、より現場に即した実用的なシミュレーション技術をさらに磨き上げると共に、現在とり組んでいる処理プロセスにおける炉内雰囲気監視の量産レベルでの実用化、遠隔監視システムと連携し顧客のニーズに応じてゆく所存である。

### 用語解説

#### ※1 高濃度浸炭

通常浸炭は表面炭素濃度を共析点(C 0.78%)で調整するが、これよりも高い表面炭素濃度での組織(過共析)にし、表面組織に炭化物を生成させる処理。

#### ※2 高濃度浸炭窒化

高濃度浸炭後の焼入れ前にアンモニアガスを導入し、銅表面に窒素を侵入させる処理。

#### ※3 リファイニング

高温浸炭加熱による結晶粒の粗大化防止のため、一旦、A1変態点以下までガス冷却した後に、再度焼入れ保持温度まで昇温してから焼入れする処理のこと。

### 参考文献

- 1) 園部勝:NACHI TECHNICAL REPORT Vol.18(2014) A1 p5
- 2) 園部勝:工業加熱 Vol.52,No.1(2015)