

技術解説

Technical Review

真空浸炭炉導入のメリットと現場（熱処理）が求める設備の将来像

田中辰実*

Advantages and Future Vision of Vacuum Carburizing Furnace

Tatsumi Tanaka

Synopsis

Productivity improvement and energy saving of heat treatment furnaces are permanent mission. This paper will introduce the advantages of vacuum carburizing furnace manufactured by Daido Steel installed in Honda Hamamatsu Factory. "Future vision for heat treatment furnace" which Honda believes to be is also described herein. In addition to "surface oxidation free" benefits, vacuum carburizing furnaces has production cost superiority to conventional gas carburizing furnaces caused by lower energy consumption and less labor cost. Besides above, recipe determination process improved much easier by Daido's calculation software, that has achieved skill-free, not dependant on experience and expert. In order to realize in-line heat treatment furnaces synchronized to pre- and post-machining line as Honda seeks in future, further progress of material and equipment is essential and is also strongly expected.

1. はじめに

熱処理は鋼の機械的性質向上には欠かせない技術ではある。しかし、適切な処理温度まで加熱するには、大量のエネルギーを必要とする。地球環境保全が叫ばれる中において、熱処理に携わる者として、「エネルギー消費量の削減・生産効率の向上」は永遠のテーマである。本稿では真空浸炭炉導入のメリットの紹介と、本田技研工業(株)（以下、当社と呼ぶ）が考える熱処理設備のありたい姿を紹介する。

2. ありたい姿と紹介事例の位置付け

浸炭焼入れの「将来のありたい姿」を当社の熱処理部

会は以下のように考えている。

従来熱処理は前後工程から分断され、どんな部品も同じ熱処理設備で対応しようと考えられて来た。





しかしそれが前後工程との同期性を阻害し、多くの在庫を生み、部品トータルでの生産性向上の障害となっている。将来のありたい姿は熱処理のインライン化であると考え、生産される部品に合わせた最適ライン形態の選択が重要と考える。（Table 1 参照）

熱処理のインライン化は前後工程とのタクト差をいかに短縮するかであり、浸炭時間の短縮が一番の課題となる。そこで有効なのが高温浸炭化であり、設備としては高温に耐えうる構造を取りやすい真空浸炭が有効であると考えている。

2013年10月29日受付

*本田技研工業(株) 浜松製作所 (Hamamatsu Factory, Honda Motor, Co., Ltd.)

Table 1. Line compositions.

Production volume	Application				Carburizing process		Quenching method		Line composition
	For low cost material	IH heating	High Temp. carburizing	Carbo-nitriding	Gas carburizing	Vacuum carburizing	Oil quench	Gas quench	
Large	◎	 Small size	◎	○	—	◎	—	◎	In line with tray
	◎	 Large size	◎	○	—	◎	—	◎	In line one piece flow
Small	◎		○	◎	◎	○	◎	—	Off line gas carburizing
	○		○	○	◎	○	◎	—	

3. 真空浸炭炉導入の目的と品質上のメリットとデメリット

次に浜松製作所における真空浸炭炉の導入事例を紹介する。

熱処理は使用する設備の危険性や、取扱いに必要な知識や技能に専門性が必要などの理由から、設備を一箇所に集約し管理するケースが多いと思われる。当社も創業以来同じ考えで、「熱処理工場」を設けて生産活動を行なって来た。しかし生産量の増加に伴い、物流効率の悪さが顕在化して来た。

そこで中・大型2輪車の熊本製作所への移管に伴う空きスペースを活用し、部品単位での工場完結化を行うこととした。その際目指したのは工場内でレース・歯切り・熱処理・仕上げ・出荷を完結させる「素加工一貫化」であり、部品工場毎に熱処理設備を設置することが必要となった。

従来のガス浸炭炉を工場毎に設置した場合と、真空浸炭炉を設置した場合で比較すると、インシヤルの設備投資は真空炉が高いが、土日含めた休日の保安要員が不要なため、25年間の総発生費用で比較すれば真空浸炭炉が優位と判断した。(Fig. 1 参照)

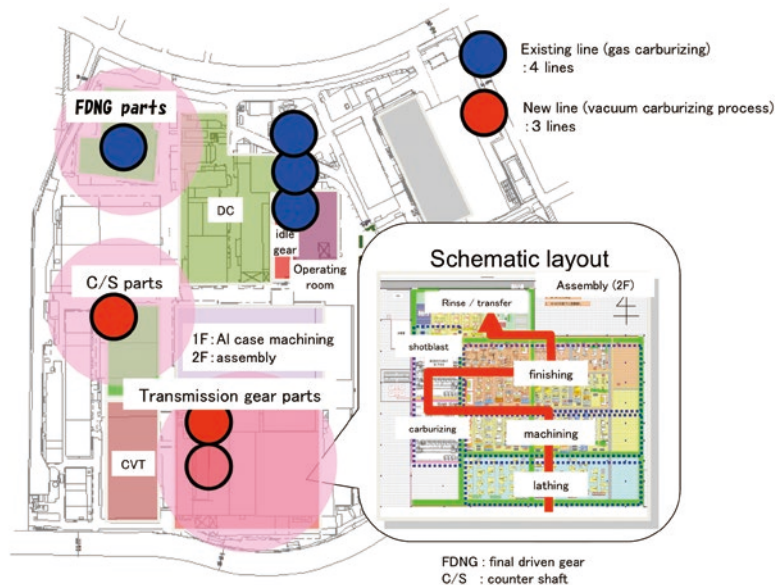


Fig. 1. Continuous process for gear machining / heat treatment in Hamamatsu factory.

次に真空浸炭炉のメリットとデメリットを紹介する。
 (Table 2参照)
 品質上のメリットは粒界酸化層の発生が無いことにある

が、約10%の高強度化（平面）のため、製品鋭角部は過剰浸炭となりやすく、条件設定や製品形状に制約を受けることがある。(Fig. 2, Fig. 3参照)

Table 2. Merits/demerits of vacuum carburizing.

Item	Gas carburizing	Vacuum carburizing
Thermal insulation	Heat resistant brick + insulator	Vacuum + ceramic or carbon panel
Vessel structure	Pressurized tank	Vacuum tank
Heating method	Gas generating catalyst/electric heater	Heat radiation
Required carbon mass	200~300 times to required	2~5 times
Internal transportation	Pusher (heat resistant)	Shuttle conveyor (not heat resistant)
Operation parameter setting	Incapable for each tray	Capable for each tray
Environment	With pilot burner, exhaust gas	Without exhaust gas, without fire
Merit	<ul style="list-style-type: none"> Compatibility for mass production Without limitation in shape Constantly controlled carbon potential 	<ul style="list-style-type: none"> Less labor cost for start-up and maintenance Better uniformity in distortion and case depth Without surface oxidation
Demerit	<ul style="list-style-type: none"> Worse uniformity in distortion and case depth Higher labor cost for start-up, weekend standby, and maintenance Less flexibility about maintenance period 	<ul style="list-style-type: none"> Efforts for operating parameter decision Difficulty about CP control on edge / thin part

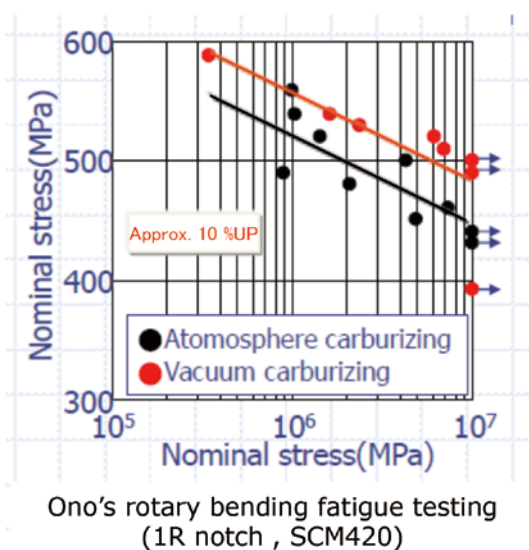


Fig. 2. Results of rotary bending fatigue testing.

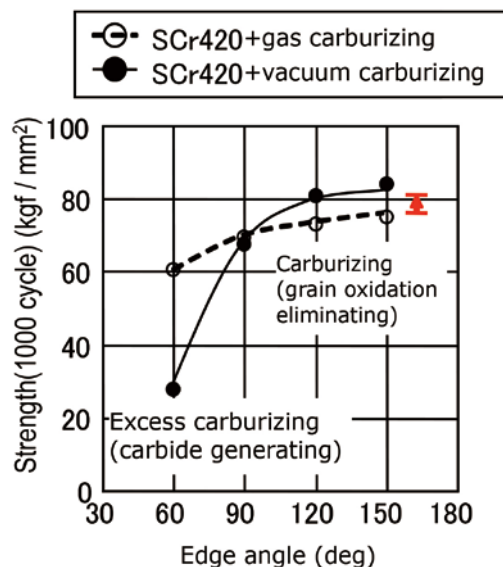


Fig. 3. Correlations between edge angle and strength.

4. 設備導入実績

次に実際に設備導入を行ってみて、良かった点と悪かった点を紹介する。

今回導入した大同特殊鋼(株)製真空浸炭炉は、ガス浸炭の連続炉に比べ、量産立上げまでの日程の大幅な短縮が可能である。その理由は大同特殊鋼(株)社内に専用のテス

ト炉を持っており、設備製造中に立上げのための種々のテストが可能である。それが可能なのもテスト炉と、購入炉での品質が変化しないからである。品質の再現性の高さを、改めて確認することができた。(Table 3参照)

また量産立上げ日程が短縮できるだけでなく、オペレーターの習熟日程短縮の面でも優位な設備であるといえる。今回の設備稼働に対して、熱処理の経験が無いオ

ペレーターに対し、品質確認から設備の取扱いまでの教育を行い、3ヶ月という短期間で1人で作業が行えるまでに習熟を行うことができた。

その理由は発生しうる異常に対して、その対処方法がマニュアル化されていること、炉内にガスが無いため

に、対処作業中にガスに対する知識が不要な点である。オペレーターはその「生産支援システム」と「危険の少ない設備」によって、安心して業務に就くことが可能となった。(Fig. 4 参照)

Table 3. Start-up schedules about each type of carburizing furnaces.

●導入立上げ日程

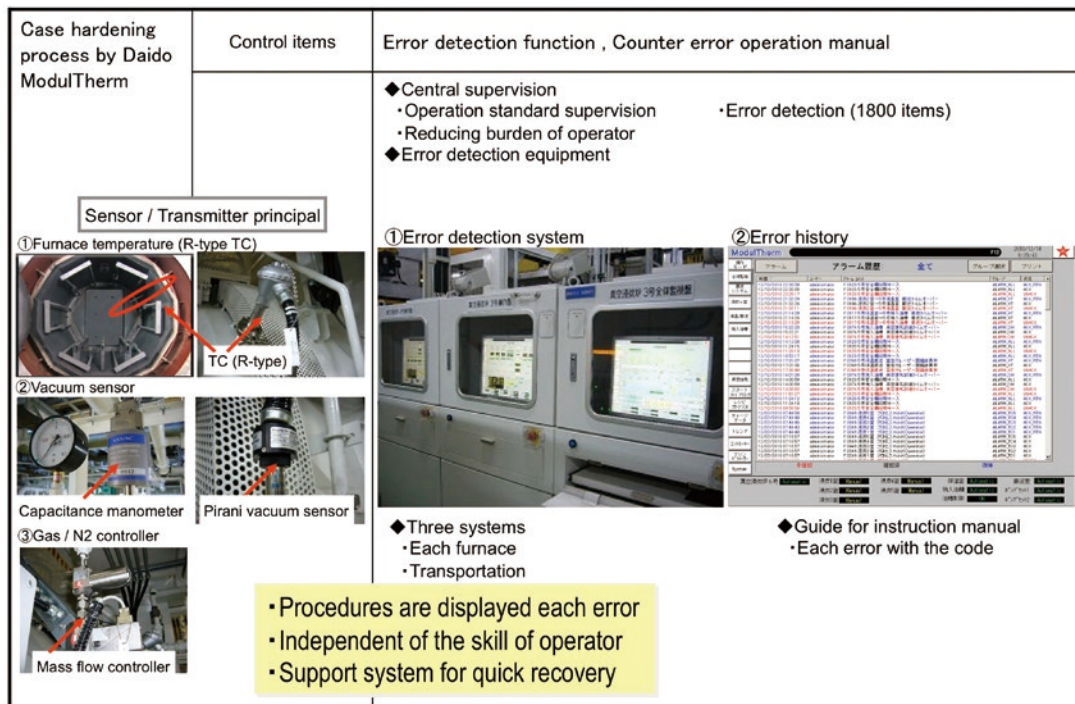
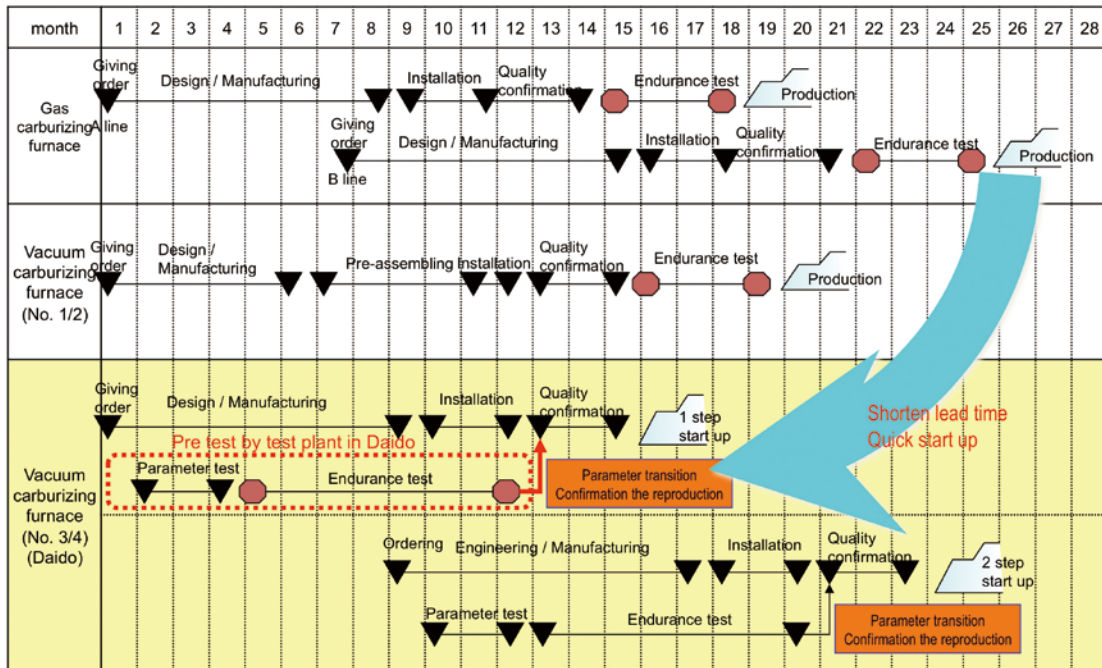


Fig. 4. Production support system.

もう一つの日程短縮の事例は、熱処理条件設定までのプロセスの短さである。

真空浸炭は製品表面積に対し、如何に適切な量のガス（炭素）を与えるかである。必要量に対し少なければ炉内の均一性が失われ、部分的な浸炭抜けなどの不具合を生じる。逆に多過ぎれば浸炭に寄与しないガスが煤化し、排気系の詰りの原因となり操作性が悪化する。したがって適度なガス量の設定が、最も重要となる。

しかし我々の生産する部品には多くの種類があり、その部品毎に条件を見定めるのは非常に多くの労力を必要とする。今回の導入炉には、条件設定のシミュレーションソフトが付随しており、製品の必要な情報を入力する

ことで、ガス投入量・時間・回数など必要な条件を計算してくれる。

入力する製品の情報は、材質・製品総表面積（単品の表面積×取り付け数）であるが、製品の表面積を正しく把握することが最も重要となる。当社では歯車のような複雑な部品であっても、3D 図面が用いられていることから、表面積の把握に関しては3D 図面での計算値を元にしていく。

この計算結果を元にテストを行い、ほぼ一回のテストで規格内の品質が得られることを確認した。これによりカンコツで設定していた条件設定が、より短時間でできるようになった。（Fig. 5 参照）

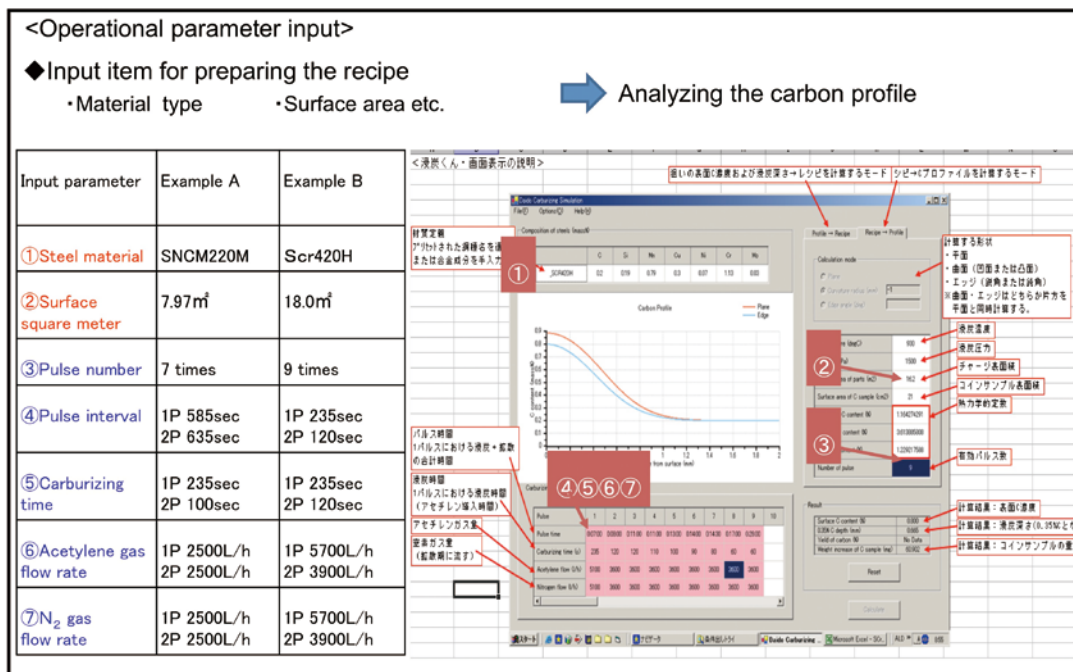


Fig. 5. Simulation software about heat treatment conditions.

最後に真空浸炭炉の環境性能を紹介しておく。浜松製作所で所有している浸炭炉6ラインの比較をしたのが Fig. 6 である。エネルギー原単位は1 kg の製品を処理する際、何 kg の CO₂ が発生するかで表現している。今回導入した設備が真空炉3、4号炉であり、既存のガス浸炭炉の最も良い設備に対し、50% の削減効果が得られることが判った。設備自体の断熱性が高いなどの特長もあるが、休日の保持エネルギーが少ないことが大きい。

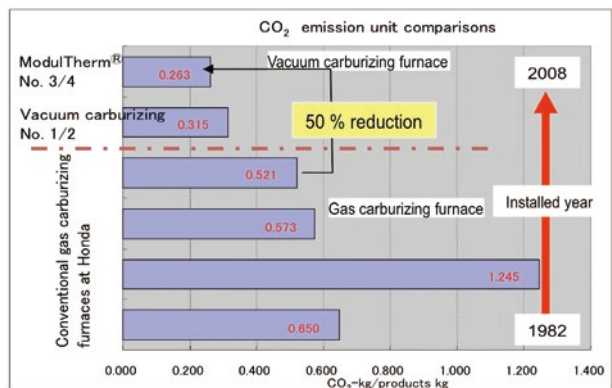


Fig. 6. Energy consumption of each type of carburizing furnaces.

当社の取り組んで来た真空浸炭炉導入による生産効率の向上を、エネルギー原単位で確認してみた。

基点となる2000年当時は、ガス浸炭炉のみを所有していた。その後随時真空浸炭炉を導入し、2010年時点では、2000年比30.4%の原単位の削減を図ることができている。

今後老朽化し更新が予定されているガス浸炭炉を、真空浸炭炉に更新した場合2020年時点では、2000年比48.5%減の原単位となり原単位を半減するが可能である。

(Fig. 7 参照)

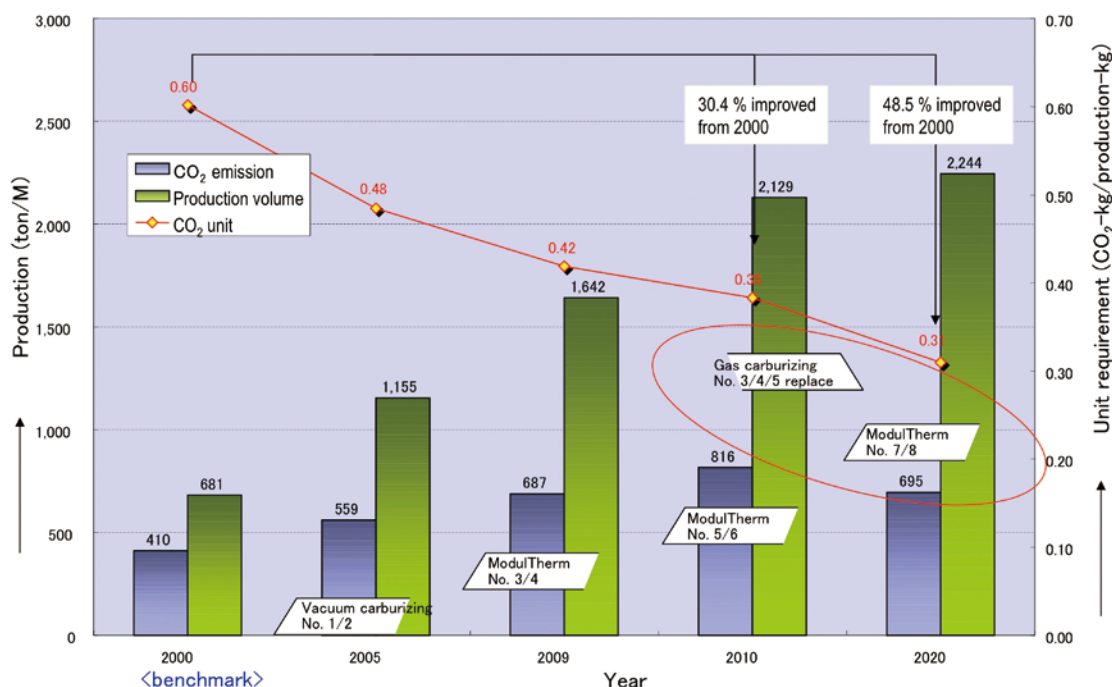


Fig. 7. Progress of energy consumption of each type of carburizing furnaces.

5. 真空浸炭炉導入のまとめと今後の期待

真空浸炭炉には弱点もあるが、多くの優れた点もある。

真空浸炭の技術は一見すると難しいと思われるかも知れないが、信頼性の高い設備と最適な条件設定がされれば、ガス浸炭炉より扱いやすい生産設備である。

しかしまだ課題も残っている。条件設定において最も重要な、製品表面積の把握である。

真空浸炭の技術を広く普及させようとする場合、ユーザーによっては正しく表面積を求めることができない場合があると思われる。

特に受託加工の場合においては、製品の詳細寸法が開示されないケースも多い。

そんな場合においても製品表面積を正しく求める技術

が必要であり、それは設備を販売する設備メーカーが開発し、ユーザーに提供すべき技術であると考えている。

今回、我が社が導入した真空浸炭炉は、従来通りのアウトラインで行うタイプの工程設計である。

それは多種多様な製品を処理する目的のためであり、このような工程設計は従来から進化していない。

今回の真空浸炭炉でも限定された部品を大量に処理する目的ならば、前後工程に組み込みインライン化することは可能である。しかしそれができない理由は、設備が大型で高額なためである。

従来の殻を破るには生産性を飛躍的に高め、設備価格を抑えることが必要で、生産性の向上には高温浸炭はなくてはならない技術となる。それと共に高温に耐えうる鋼材が必要であり、熱処理設備と鋼材の更なる進化が必要だと思っている。