

雰囲気制御システムを搭載した 真空浸炭炉

河田 一喜*

概要

真空浸炭法は、環境に対して優しい、浸炭速度が速い、粒界酸化層が生じない等の理由により、最近、世界中で注目されている。しかし、現状の真空浸炭法は、炉内雰囲気の影響を分析・制御を全く行っておらず、処理の品質保証という観点から大きな問題を抱えていた。そこで、当社では、2000年に世界で初めて雰囲気制御システムを搭載した真空浸炭炉を開発した。独自開発した雰囲気センサにより真空浸炭炉内の雰囲気を分析・制御することにより安定して、しかも再現よく浸炭処理ができるようになった。

1. はじめに

真空浸炭法は、環境に対して優しい浸炭法としてヨーロッパにおいて普及が進んでいるが、国内においても最近その動向が注目されている。

最近の真空浸炭法は、従来の真空浸炭法より低い圧力、例えば100～4,000 Paの圧力で C_3H_8 、 C_2H_2 、 C_2H_4 等の炭化水素ガスを短周期でパルス添加することによりスケーリングを抑え処理している。その利点としては、浸炭速度が速い、スケーリングが少ない、細穴内面に均一に浸炭できる、粒界酸化層がない等といわれている。

しかし、最近の真空浸炭法も従来の真空浸炭法と同様に、ガス浸炭のようなカーボンポテンシャル (CP) のフィードバック制御がなされていないという欠点がある。すなわち、雰囲気制御が全くなされておらず、炭素濃度と浸炭深さは、浸炭+拡散を利用した、最初から決められた条件どお

りに行う飽和値調整法によって調整されている。そのため、処理品表面積、荷姿、炉内リーク、処理品の酸化状態等に変化があった場合に全く対応できなかった。

そこで、当社では、独自に開発した雰囲気センサにより雰囲気制御しながら安定して再現よく浸炭ができる真空浸炭炉¹⁾を開発したのでその内容について報告する。

2. 設備概要

今回製作したバッチ型真空浸炭炉の概略図を図1に示す。その仕様は、最大処理量：200 kg/グロス、有効寸法：380 mmW × 350 mmH × 760 mmLである。最大の特徴は、加熱室に直接2種類の雰囲気センサが装備されていることである。炉の構造としては、浸炭を行う加熱室と冷却（ガス冷、油冷）を行う前室とに分かれている。

また、品物は加熱室で浸炭後、①ガス冷却、②油冷却、③ガス冷却+再加熱+油冷却が選択できるようになっている。油槽については、攪拌機のインバータ制御や整流板可変機構が設けられてい

* オリエンタルエンジニアリング㈱研究開発部部長
K. Kawata

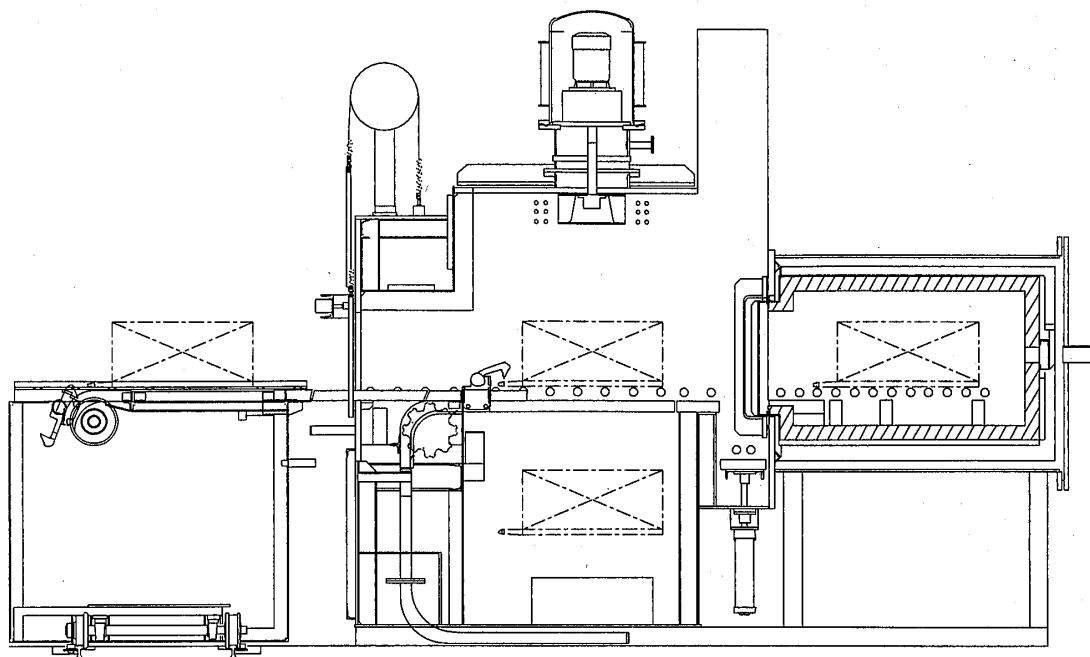


図1 雰囲気制御式真空浸炭炉の概略図

表1 各型式の真空浸炭炉の仕様

型 式	VCQ-200	VCQ-400	VCQ-600
浸炭ガス	プロパン，又はその他の炭化水素ガス		
操作圧力	4 kPa 以下		
使用温度	常用800～1,050℃ 最高1,100℃		
加熱方式	電気抵抗加熱		
ヒータ容量	60 kW	87 kW	108 kW
最大装入量	200 kg (グロス)	400 kg (グロス)	600 kg (グロス)
有効寸法	W 380×H 350×L 760	W 600×H 600×L 900	W 600×H 600×L 1,200
焼入れ油量	常用2,400 L	常用4,800 L	常用6,000 L

る。さらに、雰囲気制御しながら真空浸炭を行い、その後の各種の冷却まで全自動で行えるようになっている。表1に各型式の真空浸炭炉の仕様を示す。

3. 雰囲気制御技術

真空浸炭炉内の雰囲気制御用として、当社では以下のような二つの方式のセンサを開発し採用している。

3.1 炭化水素ガスの分解度を検知するセンサ

浸炭炉内に導入された炭化水素は、浸炭温度、

圧力、炭化水素ガス流量、ガス種、処理品表面積、炉内リーク量、炉内脱ガス量、炉内構築物や処理品の吸着酸素量等によりその分解度が異なり、浸炭室内のガス組成が変化する。その分解度の程度によっては、ある炭化水素ガス量で適切に浸炭されるときもあれば、スーティングする場合もある。また、浸炭が不十分でばらつきを生じる場合もある。

ここにいう分解度は、供給状態の炭化水素量と浸炭炉内において熱変化等により分解した炭化水素量の比を、ある係数化して表したもので、実際

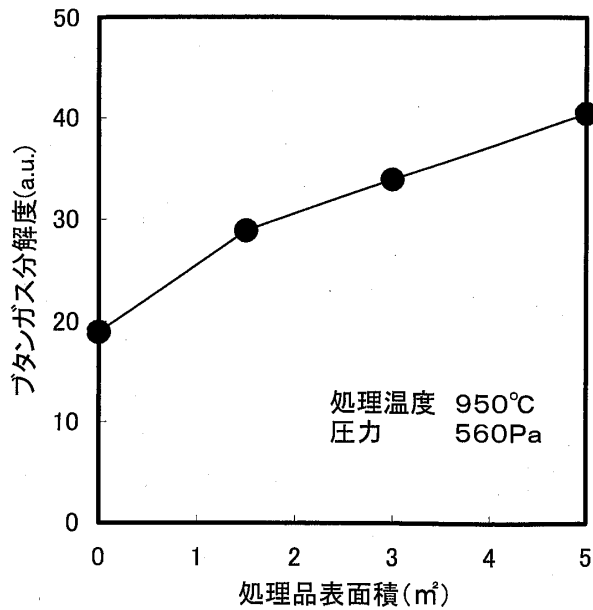


図2 ブタンガス分解度と処理品表面積の関係

には、浸炭室内のガス成分が変化したときにそれに対応して変化するガスの熱伝導度を測定することにより炭化水素の分解度を推測する。そのことにより雰囲気浸炭強度を推測できることになる。

浸炭室内に直接設置された分解度センサによりブタンガスの分解度と処理品表面積の関係を調査した結果を図2に示す。図2から、分解度センサは表面積の違いを明確に捉えることができることが分かる。また、同図から処理品表面積が増加するほどブタンガスの分解が進んでいることも分かる。このように、分解度センサは、形状荷姿に関係なく、浸炭炉内に入った処理品表面積を瞬時に把握し、過不足のない添加炭化水素量を自動設定できる。

次に、図3に温度、圧力、表面積一定という条件下で、ブタンガス添加量のみを変化させた場合の処理品表面炭素濃度と分解度センサ値との関係を示す。この図から分解度センサ値と表面炭素濃度とは一定の関係があることが分かる。すなわち、分解度センサにより処理品表面炭素濃度を制御できる。

さらに、図4にブタンガス分解度とロット内9点ばらつき幅の関係を示す。図4から、ブタンガス分解度が大きいと炉内の浸炭ばらつきが大きくなり、逆に、分解度が小さいと浸炭ばらつきが小さくなっている。これは、ガスの分解度が大きい

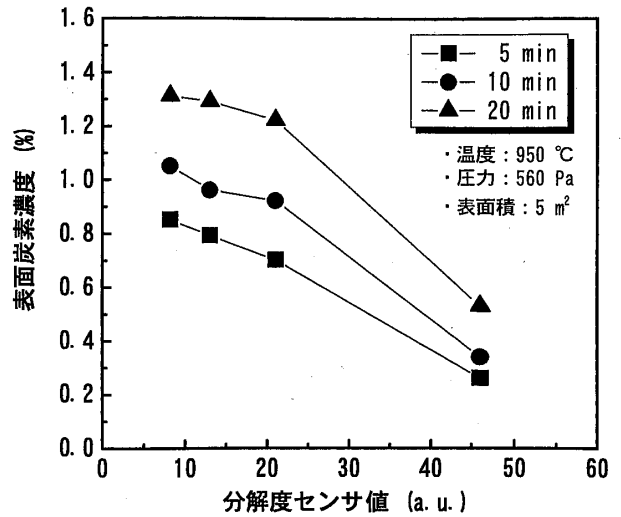


図3 表面炭素濃度と分解度センサ値の関係

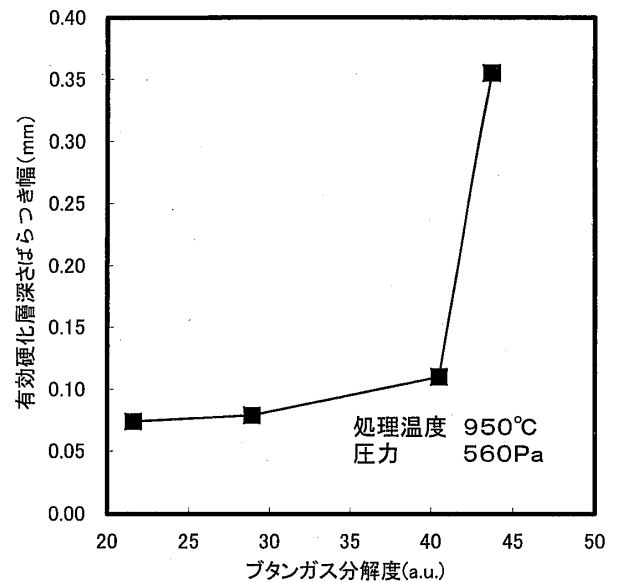


図4 ブタンガス分解度とロット内9点ばらつき幅の関係

と処理品が均一に炭素を吸収するのに必要な炭素供給量が少ないことを意味している。

すなわち、カーボンポテンシャルが低いと浸炭ばらつきが大きくなり、カーボンポテンシャルが高いと浸炭ばらつきが小さくなると推察される。

以上のことから、炭化水素の分解度とカーボンポテンシャルとは一定の関係があるために、炭化水素の分解度を測定し、均一に浸炭できる分解度、すなわち、設定分解度になるように添加炭化水素量を制御する、いわゆる「フィードバック制御」を行えば良いことになる。

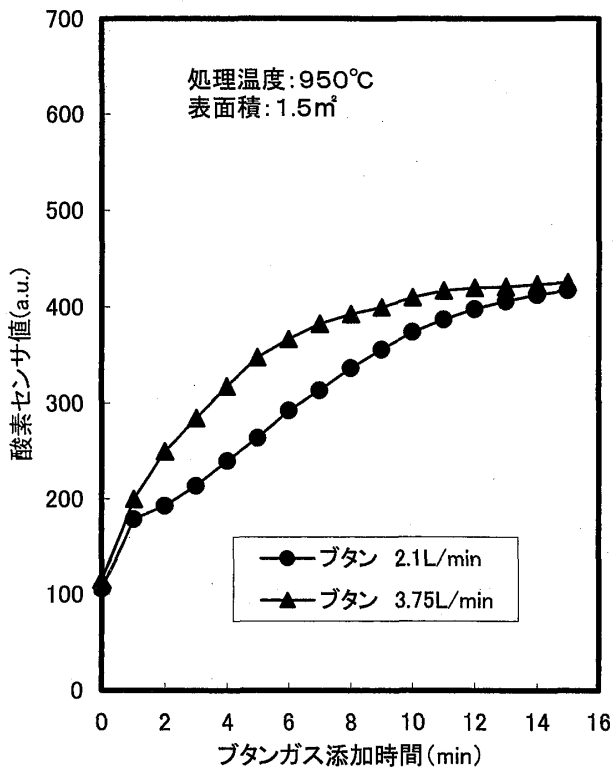


図5 ブタンガス添加量と酸素センサ値の関係

その他、分解度センサにより炭化水素の分解度と浸炭温度、圧力、添加炭化水素ガス量、炉内リーク量、炉内脱ガス量、炉内構築物や処理品の吸着酸素量との関係も知ることができる。このように、分解度センサを使えば、スーティングしないで適正な炭素濃度になるような添加炭化水素ガスを制御できる。

3.2 酸素センサ

次に、減圧下の浸炭雰囲気中の酸素濃度を直接測定することができる特殊酸素センサについて説明する。図5にブタンガス添加量と酸素センサ値との関係を示す。ブタンガス添加量が多いほうが、酸素センサ値が速く上昇することが分かる。また、図6に酸素センサ値の異常現象例を示す。

図6から、正常に浸炭しているときのセンサ値に比べて炉内にエアリークが生じた場合には、そのセンサ値が低くなるため、異常を検知できることが分かる。また、スーティングが生じてくると、正常時のセンサ値より、その値が高くなる。すなわち、処理品が適正に吸収する炭素以上に過剰に炭素供給源があると、炉内の酸素濃度が極端に少なくなり、スーティングが生じてきているこ

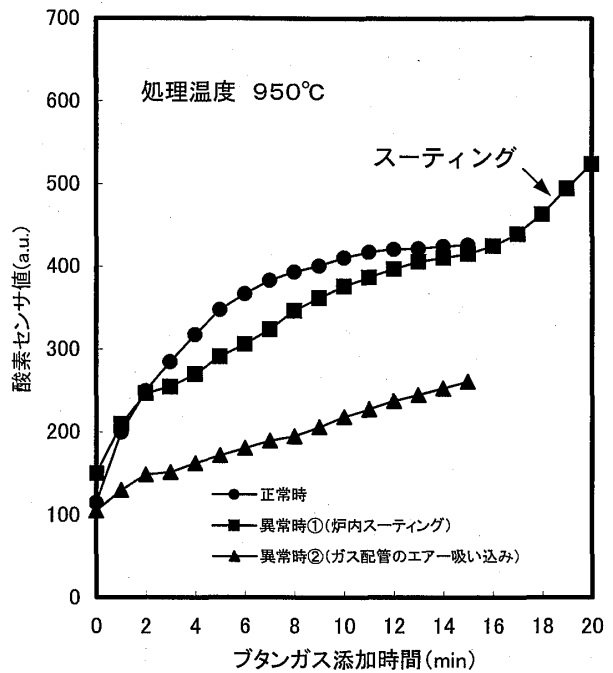


図6 酸素センサ値の異常現象例

とを示している。事実、このようなセンサ値の高い状態で処理した場合は、処理品や炉内にスーティングが生じていた。

その他、このセンサにより、炉内構築物や処理品の吸着酸素量、炭化水素ガスの過不足を判断できる。また、その測定値によっては、添加ガス流量等を適正に制御することも可能である。

以上のように、この二つの雰囲気センサで雰囲気制御及び管理ができれば、従来の真空浸炭のように経験に頼ることがなく、安定して再現よく処理できることになる。

4. 浸炭処理結果

4.1 浸炭均一性

図1の浸炭炉を使用し、ダミー品（質量：130 kg/グロス、表面積：5 m²）とテストピース（SCM415）を図7のサイクルで浸炭焼入れ処理を行い、炉内9点の位置（図8）におけるテストピースの有効硬化層深さのばらつきを測定した結果を表2に示す。通常、ガス浸炭で同様のヒートパターンで処理した場合、その有効硬化層深さは0.54 mmになる。

それに対し、表2から、雰囲気制御式真空浸炭法はガス浸炭法に比べて浸炭速度が速いため有効

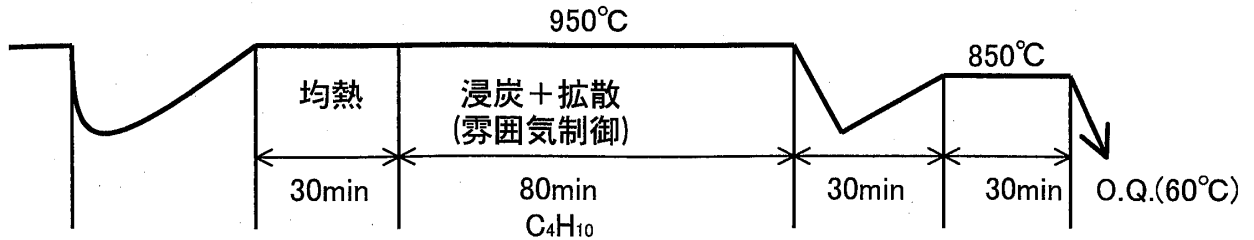


図7 真空浸炭処理サイクル(1)

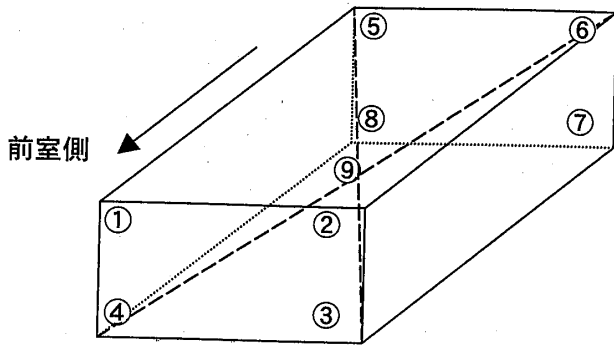


図8 テストピースの治具セット位置

硬化深さが約1.5倍と深く、浸炭ばらつきも小さいことが分かる。また、断面の表面組織においては、粒界酸化層、不完全焼入れ層、初析セメンタイトは全く観察されなかった。

4.2 歯車の浸炭

図1の浸炭炉を使用し、ダミー品（質量：100 kg/グロス、表面積：4 m²）とヘリカルギア（モジュール：1.3、歯数：35、厚さ：18.1 mm、外径：49.4 mm、内径：23.3 mm、材質：SCM420）を図9のヒートサイクルで浸炭焼入れを行った。図10にそのヘリカルギアの歯面（ピッチ円）と歯底の硬さ分布を示す。

この場合、雰囲気制御式真空浸炭法は、歯面と歯底の有効硬化層深さの差が0.02 mm と小さく、

表2 ロット内の有効硬化層深さのばらつき

MAX	0.87 mm
MIN	0.81 mm
\bar{x}	0.83 mm
R	0.06 mm

浸炭層の単体均一性に優れていることが分かる。

また、写真1に歯面部の断面組織写真を示す。この組織写真より、粒界酸化層、不完全焼入れ層、初析セメンタイトは全く観察されず、微細なマルテンサイトと少量の残留オーステナイトのみが観察された。

4.3 高温浸炭

SCM415を真空浸炭炉にて1,050°C×20分浸炭+ガス冷+860°C再加熱焼入れした場合の硬さ分布を図11に示す。図11から、有効硬化層深さは、0.76 mmであった。この有効硬化層深さを通常のがス浸炭で得るには、930°Cで180分かかかる。この結果から、真空浸炭のように浸炭温度を上げることにより、浸炭時間を大幅に短縮できるということが分かる。

4.4 難浸炭材の浸炭

従来、ガス浸炭法では、オーステナイト系ステ

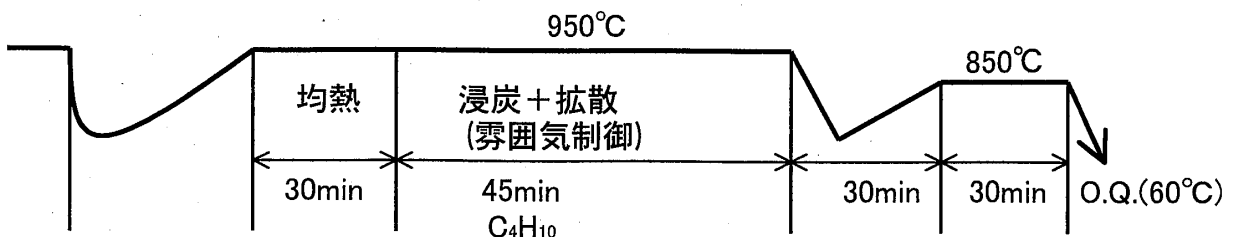


図9 真空浸炭処理サイクル(2)

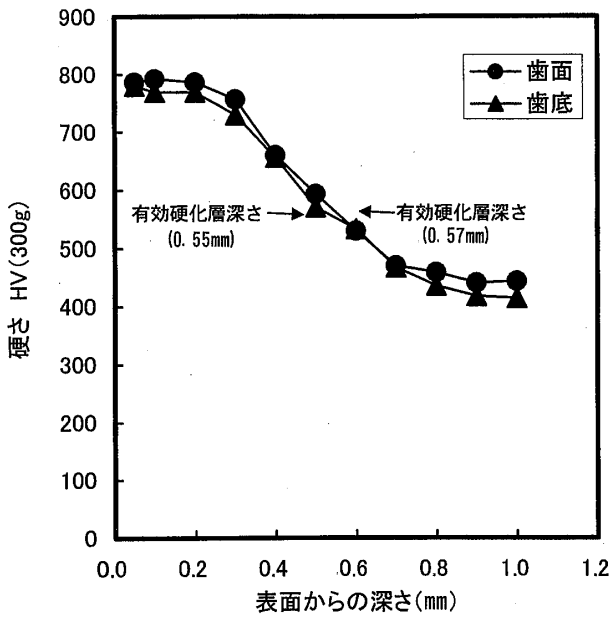


図10 ヘリカルギアの歯面と歯底の硬さ分布

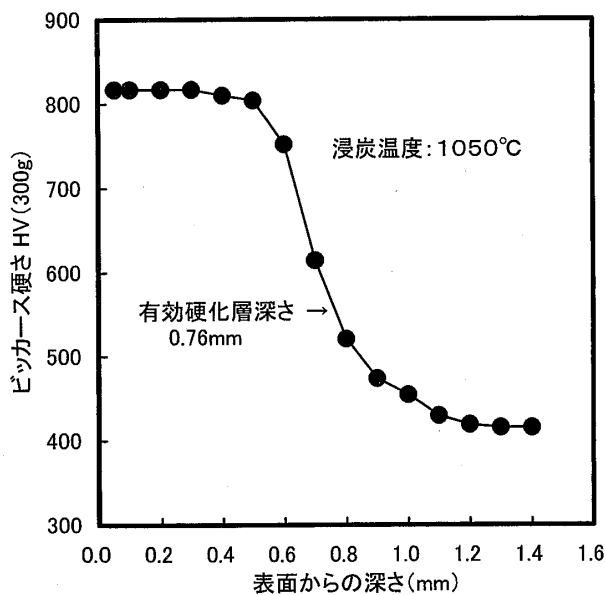
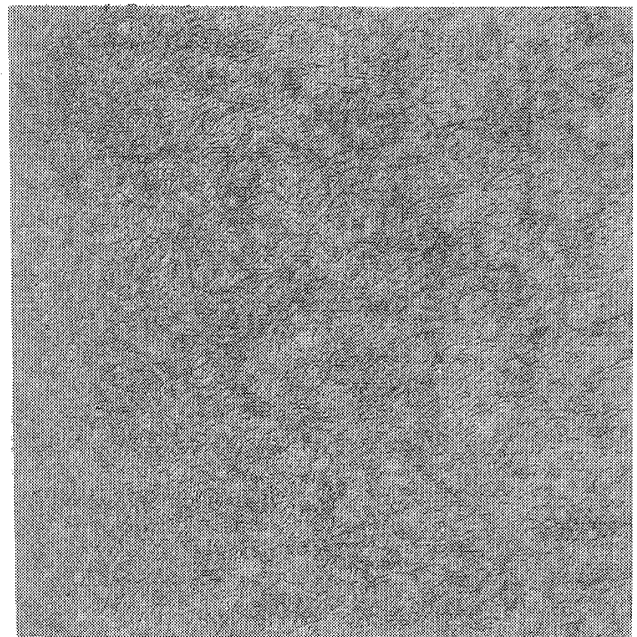


図11 高温浸炭した SCM415の硬さ分布

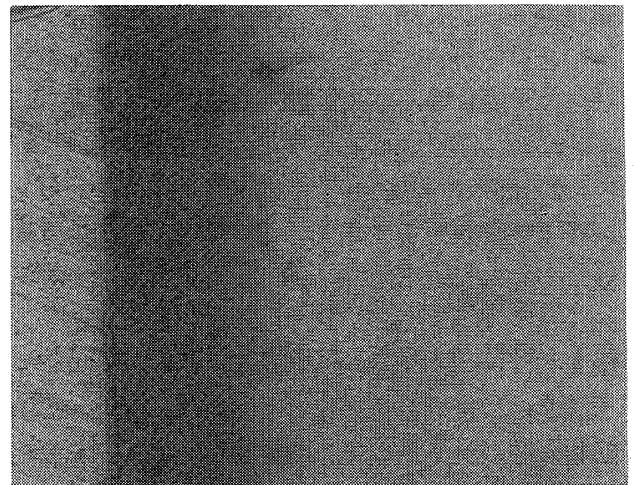
ステンレス鋼等は浸炭できなかったため、そのような難浸炭材に対してはプラズマ浸炭法が適用されてきた。ただ、プラズマ浸炭法は、穴等がある複雑形状品やジグとの接触部に対して浸炭層の均一性がない、処理品を密にジグにセットできない等の問題があった。

雰囲気制御式真空浸炭法は従来の真空浸炭法と違って、SUS304、SUS310S等の難浸炭材も安定して再現よく浸炭できる。しかも、ジグに処理品



50 μm

写真1 歯面部の断面組織



20 μm

写真2 真空浸炭した SUS310S の断面組織

を密にセットでき、ジグとの接触部や穴等も均一に浸炭できる。そのため、プラズマ浸炭より浸炭層均一性等の品質向上が図れ、しかも、処理コストを大幅に下げることができる。写真2に、真空浸炭処理した SUS310S の断面組織写真を示す。

4.5 浸炭効率

一般に、最近の真空浸炭法は、従来のガス浸炭

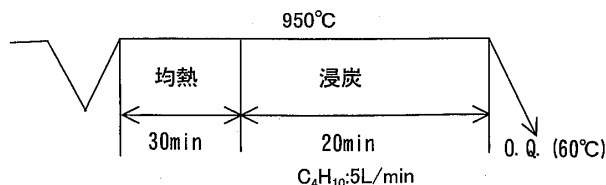


図12 真空浸炭処理サイクル(3)

法に比べて浸炭効率が低いといわれている。そこで、一例として、ブタンガスを使って真空浸炭した場合の浸炭効率を求めてみた。

処理品としては、表3のようなパイプ材 (STKM13A) を330個と浸炭深さ測定用テストピース (SCM415) 1個を図1の真空浸炭炉により、図12のようなヒートパターンで浸炭した。

その場合、浸炭後のテストピース (SCM415) の炭素濃度分布を蛍光分光分析計により測定し、そのテストピースと同様にパイプ材も浸炭されていると仮定して浸炭効率を計算した。

その結果は以下ようになった。

- テストピースの全硬化層深さ：0.52 mm
- 処理品に浸入した炭素質量：87.72 g
- 供給したブタンガス中の炭素質量：214.27 g
- 浸炭効率 = $(87.72 \div 214.27) \times 100\% \approx 41\%$

通常、変成炉式ガス浸炭において、0.8 mm の浸炭深さ (有効硬化層深さ) を得る場合、その浸炭効率は約10%といわれている。浸炭深さの違いはあるにしても、今回の真空浸炭によって得られ

表3 処理品とテストピース

処理品 (パイプ材)	材質：STKM 13 A 寸法：外径48.6 mm×内径41.6 mm ×高さ50 mm 処理数量：330個 質量：64,317 g (194.9個) 表面積：50,160 cm ² (152 cm ² /個)
テストピース	材質：SCM 415 寸法：直径30 mm×高さ10 mm

た浸炭効率は、変成炉式ガス浸炭に比べてかなり高いことが判明した。

5. おわりに

雰囲気制御式真空浸炭炉は、炉内の雰囲気を取りアルタイムに捉え、雰囲気制御することによって高品質の品物を再現良く処理できる。また、難浸炭材の浸炭処理、CD浸炭等の特殊な浸炭処理も行いやすい。そのため、このようなシステムを搭載した設備は、自動車等の機械メーカーだけでなく多品種の品物を処理している熱処理業者にとっても、安心して使える真空浸炭炉として採用が拡大していくものと思われる。

参考文献

- 1) 河田, 浅井, 佐藤: 第52回日本熱処理技術協会講演大会講演概要集, 5月 (2001), p. 49