技術資料

自動車部品と真空処理

中西洋一*

Engineering Parts for Automobiles Treated by Vacuum Equipment

Yoh-ichi Nakanishi

Synopsis

In recent years, technological innovations in automobiles are so remarkable to obtain high-power, fuel saving and reduction of pollution.

In these current, many engineering parts of automobiles are treated by vacuum equipment. Some kind of vacuum equipments such as investment casting furnace, sintering furnace, plasma carburizing and quenching furnace, ion-plating furnace are introduced. The relationships between these equipments and technological innovations are explained.

1. はじめに

自動車部品の真空処理と言っても、自動車の部品点数が数万点にも及び、それぞれの部品が多数の工程を経て生産されていることを考えれば、真空が関与する部分は膨大になると思われる。その全部について解説を試みるのは筆者の能力を超えるので、ここでは最近特に話題となっているCAFE対策に端を発する軽量化及び高出力化に関する真空処理設備とその周辺の話について述べる。

自動車用に限らず真空を利用する部品製作は大別すれば、①形状を作る(溶解鑄造、焼結)、②素材改質(浸炭、窒化、熱処理、表面改質)、③接合

(ろう付け、拡散接合)に分類できる。例を上げればターボチャージャのブレードは真空溶解後精密鑄造で作られ、エンジン回りのカムは真空焼結で成形すると同時に中空シャフトにろう付けされている。トランスミッションやディファレンシャルのギヤ類は浸炭して表面硬度を増した物が使用される。ラディエータや燃料パイプは一体に組み立てた状態で真空炉中でろう付けされるといった具合である。これらの利用状況と真空炉に対する期待の内容を整理したものが表1である。真空の幅広い利用範囲と軽量化に対する大きな期待が理解できる。以下現在使用されている真空設備を主体に、処理の内容と設備の特徴について述べる。

2. 溶解、鑄造

シリンダブロック、ピストン、シリンダヘッドなどは鑄造部品の代表例であるが真空はほとんど

1991年10月17日受付

*大同特殊鋼機械事業部

表1 技術の展開と真空との関連

技 術 分 野		部 品 例	真 空 へ の 期 待
素 形 材 技 術	溶解・鋳造	ターボチャージャ	無酸化雰囲気溶解
	焼結（プレス成形）	カム，ロッカーアーム バルブリテーナ	合金成分の酸化防止 密度，強度の向上
	焼結（MIM）	ドアロック部品	同上及び部品の一体化 による原価低減
	焼結（アルミなど）	開発途上	高強度による鍛造品への 対抗
	焼結（セラミックス， 複合材）	ターボチャージャ ロッカーアームチップ	高純度雰囲気を作るため の真空
接 合 技 術	ろう付	アルミラジエータ 燃料パイプ，触媒， ロッカーアームとセラミック ステップのろう付	ノンフラックスによる 環境改善 新素材への展開
素 材 改 質	熱処理	加工用工具，金型など	極く一般的に普及 部品熱処理への展開
	浸炭，窒化	歯車，摺動部材	高速かつスーティングの 無い処理
	薄膜	ピストンリング，カムなど	硬質，耐磨耗膜

関与していない。しかし、エンジンの高出力化にともなってターボチャージャが登場し、900℃、10～20万rpmの苛酷な条件下で使用されるタービンが真空誘導溶解による精密鋳造で生産されている。最近ではセラミックターボも登場しているがまだ主流は耐熱鋼タービンである。精密鋳造炉は高合金鋼を高速で真空溶解し、ろう型にセラミックス粉を吹き付けて製作した鋳型（セラミックシェルモールド）に注湯して、複雑でしかも精密な製品を作る方法で、ジェットエンジンや発電機のタービンプレード生産用に常用されている装置である。代表的な真空溶解精密鋳造炉の構造を図1に示す。生産性向上のために溶解室と鋳型挿入室の2室構成になっており、溶解室を真空に保ったまま原料投入、鋳型の入れ替えなどの操作ができる半連続炉である。原料は高Ni耐熱鋼をあらかじめ真空溶解して丸棒状にしたメルティングストックが使用され、鋳型は湯回りを良くするために700～800℃に予熱されたものをすばやく鋳型室にセットし冷めないうちに鋳込まれる。鋳型は、ブレードの大きさにもよるが、通常数個から十数個の製品を鋳込めるツリーになっている。操業サイ

図1 従来型真空溶解精密鋳造炉

クルはおよそ15～25分/チャージである。

図2にさらに生産効率を高めた米国ヒッティナー社の精密鑄造装置(CLV法、大同特殊鋼が専用使用権を所有)を示す。2室構成である点は図1と変わらないが、溶解炉と鑄型が上下逆の配置になっており、図1が傾動注湯であるのに対して図2は真空吸い上げ方式になっている点が大きな差異である。このため下記のような大きな特徴を持った設備となっている。

- (1) 真空吸い上げ鑄造であるため欠陥ができてにくい。
- (2) 鑄型の製品部分が凝固した段階で中央湯道部の湯を落下させて溶解炉に戻すので原料歩留りが圧倒的に高い。
- (3) 溶解炉の湯は数チャージごとの原料追装によって維持されるので、出鋼温度管理が容易で耐火物寿命が長く、汚染も少ない。
- (4) チャージごとに真空排気するスペースが小さく、短時間サイクルが可能
- (5) 操炉は鑄型室の周辺のみで可能なため操炉者の移動範囲が狭く作業負荷が小さい。

以上のように、タービンに限らず比較的小物の複雑形状部品は真空の精密鑄造で生産されるが、鑄造工場全般にいえる作業環境の悪さ(真っ赤に

焼けた鑄型のハンドリング)、労働生産性の低さ(自動化が進んでもしよせん1炉に一人の作業者が張り付けとなる)、工程の複雑さ(セラミックシェルの製作には吹き付けと乾燥を何度も繰り返す)といった弱点はここでも同様である。一方、OA機器の分野ではプリンタヘッドやヨークなど従来精密鑄造で作られていた部品がどんどん焼結に置き変わっており、MIMで作ったターボチャージャの試作品展示も増えてきた。従って、精密鑄造には、今後も相当だいたんな生産効率向上策が要求されていくものと思われる。

3. 鉄、ステンレス系の焼結

自動車には焼結部品が大量に使用されているがその理由は下記のようなものと考えられる。

- (1) プレス成形、焼結、コイニングという簡潔な工程が大量生産に適している。
- (2) 鑄物や溶製品を加工するのに比べてコストが安価。
- (3) 焼結を前提とした部品設計が行われている。

焼結部品の発展は原料粉の品質や供給能力、焼結技術と部品製作のニーズが相互に補完しあって成長してきた結果といえる。

一方軽量化の観点から見ると、焼結品自体が既にニアネットシェイプを達成しており大きな貢献をしてきたといえるが、さらなる軽量化を進めるために従来の鉄系部品の高強度化、耐摩耗性向上、耐食性向上を狙った高合金鋼への移行に拍車がかかっている。この展開を支えているのが真空焼結炉である。トレイブッシャ式の水素雰囲気炉に代表される雰囲気焼結に対する真空焼結の特徴には次のようなものがある。

- (1) 焼結密度や機械的強度が向上する。
- (2) 合金成分の酸化による強度劣化がない。
- (3) 脱脂性が良く(または制御しやすい)ので製品の炭素濃度制御が可能であり、ばらつきも小さい。
- (4) ロットごとに厳密な温度制御が可能で品質が安定する。
- (5) ローラースタイルの場合、焼結以外の処理(時効、溶体化、焼入れ)との連続処理が可能。

このような背景で多用され始めた真空焼結炉は、大量生産に威力を発揮する製法であることが

図2 CLV型真空溶解精密鑄造炉

ら考えて連続炉でかつインラインを狙った装置が主流になっている。連続炉はイニシャルコストは高いがその分生産性も高く、安定操作が得られればバッチ炉よりも優れるのは自明の理である。また、小ロット品はバッチ炉、量産品は連続炉といった使い分けも当然必要になって来る。ヤマザキマザックの無人工場が話題になって久しいが、現在では複数基で20室にも及ぶ連続式真空焼結炉がワークの積載も含めてほとんど無人で運転されている例もある。

連続式真空焼結炉に要求される特性のうち基本的な物は下記の通りである。

- (1) 少なくとも、脱脂、焼結、冷却の3室を持つ。
- (2) 各室は真空仕切りにより独立な雰囲気を持。
- (3) 各室間をワークが任意に移動可能。

この条件を満たすのが従来から熱処理用にも使用されている3室のフォーク搬送式連続炉である。しかし、さらに高機能化を狙った装置では下記の機能が必要になる。

- (1) 前室、脱ガス室、徐却室など処理の範囲を広げるための任意の部屋構成が可能であること。
- (2) 各室の稼働率を最大にするための部屋構成が可能なこと。

(3) 密度や寸法精度向上のために温度分布がよいこと。

(4) 各室間で、ワークと治具以外の余分な物を移動させないこと(ワックスで汚染した断熱材やフォークが、ワークに付帯して焼結室に移送されたのでは焼結室のクリーン度は保てない)。

図3に示すローラハース式真空焼結炉はこれらの特徴をすべて盛り込んだ装置で、既に20台(平均5室)が稼働している。用途は、自動車部品に限らず、希土類磁石(自動車用のモータに採用されつつある)、MIM(時計バンド、OA機器、電子部品)と広範な広がりを見せている。

さらに最新鋭の連続焼結炉として図4に示すコンパクトローラハース炉が開発されつつある。従来のローラハースの保守性を改善しつつ小ロット化を狙うというコンセプトから生まれた装置で次のような特徴が付加されている。

- (1) 従来型のネックであった保守性を抜本的に見直し、炉内構造物は上蓋の取り外しにより、また仕切り弁のOリングは点検窓からの交換が可能とすることにより大幅な改善がなされている。
- (2) 上記保守方法の改善により小型炉の設計が可能となった。
- (3) 非水冷ロールの採用により大幅な省エネと温度分布の向上を実現した。

図3 ローラハース式真空焼結炉

図4 コンパクト型ローラハース式真空炉

(4) 新タイプの仕切り弁の採用によりピットを不要とし、かつ建屋の高さを3.5m以下で設置可能としている。

4. MIM 焼 結

プレス成形焼結（粉末粒径50～150 μ m）に比べて細かな粉末（5～30 μ m）を使用し、これに多量の（5～15wt%）バインダを加えて流動性を付加した後プラスチックと同様に射出成形してから脱脂焼結する方法がMIM（Metal Injection Molding）である。腕時計の鎖のような複雑な3次元曲面形状に採用されて話題を呼び、その後もOA機器、カメラ、ミシンなどに採用するとの話題は豊富であるが、自動車部品への採用となるとほとんど例が無く、水面下での開発段階と思われる。MIMはまだ開発途上の技術であり、脱脂に長時間を要することと原料単価が高いことの2点が製品の原価を押し上げており、20～50円/gと高価なものとなっている。また、寸法変化が大きいことから製品サイズの制約も大きく、自動車の主要部品として大幅に採用されていくとは考えにくい。ただし、小物部品類で例えばプレス加工→機械加工→接合組立といった工程で製作されている部品を、MIM用に設計変更した上で一体製作することにより、加工、組立を省略する方向が検討され実用化に向かっている。このようにMIMのコスト高を吸収するには、MIMの特性を良く理解した上での設計変更が不可欠になると思われるので、各メーカーが秘密主義から脱してオープンな技術交流を展開することが望まれる。

MIMの製品ロットは、現状のところ数万個／月程度と小さく、また部品サイズも小さい物が多いので、脱脂と焼結を1炉で処理するマッフル付きパッチ炉が主流となっている。しかし、パッチ炉は、毎チャージの大気解放による汚染や、ワックスの炉内への蓄積などに問題があるので、ロットの大型化に伴って専用の連続炉に転換されていくと考えられる。このとき、焼結炉は前出のローラハースタイプを少しモディファイすれば良いが、脱脂用の連続炉はまだこれからである。

5. その他の焼結

焼結軸受け、セラミックス部品、アルミ部品などがあるが、焼結軸受けの一部に真空焼結が利用

されている他、セラミックスはせいぜい真空置換の付属した雰囲気パッチ炉で処理されるのが一般的である。アルミは鍛造の主流になっておりごく一部で真空焼結への挑戦が始まっている。しかし、粉末自身の持つ若干の酸化物が、真空中でもなかなか還元できないため焼結密度が上がらず、その結果高強度部品への適用は困難であるとの見方もでている。

6. 熱処理、浸炭、窒化

熱処理、窒化などは直接自動車部品製作ではなく、部品製作のための金型や工具の処理用として広い範囲で使用されているが、あまりに広範に及ぶのでここでは説明を省略する。

浸炭については、従来から雰囲気炉によって歯車などの耐摩耗、高強度部品の処理が行われてきたが、軽量化達成のためにより均質な高強度化を狙う昨今では、浸炭の均一性と粒界腐食による強度低下に問題が指摘され、プラズマ浸炭が脚光を浴び始めている。プラズマ浸炭炉の原理を図5に、特徴を以下に示す。

- (1) 真空処理であるため粒界酸化が無い。
- (2) プラズマ放電を利用しており浸炭速度が早い。
- (3) ステンレスなどの難浸炭材でも浸炭が可能。
- (4) スーティングがほとんど無く高深度浸炭が可能。
- (5) 放電の特性を利用して焼結品にも表層の浸炭が可能。

油焼入装置付きのプラズマ浸炭炉の構造図を図

図5 プラズマ浸炭炉の原理

図6 プラズマ浸炭炉 (PMF)

6に示す。既に生産規模の炉が数台稼働しており、例えば従来は刃先だけで満足されていた浸炭部を、歯元まで均一にしかも粒界酸化無く浸炭するための手段として積極的な採用が検討されている。

7. 表面処理装置

自動車の高効率化を進める手段としてエンジンや動力伝達部の摩擦係数を減らす方法も古くから検討されている。例えば、ピストン系の摩擦損失は全摩擦損失の半分を占めており、この対策としてピストンとシリンダとの接触面積を減らすことによりエンジンの出力を5%弱も改善している例がある¹⁾。接触抵抗の削減には保油性、表面硬度、耐摩耗性の改善が要求されるが、現状の対策は、CrやNiを始めとするメッキと窒化、浸炭、あるいは耐摩耗材の溶射などで大部分が処理されている。しかし多用されているメッキについては公害問題も叫ばれており、将来は無公害、膜質の豊富さ、膜の硬度、さらには素材のアルミ化などの点からいって、マグネトロンスパッタ方式によるイオンプレーティングがメッキに替わる処理として期待されている。現在イオンプレーティングは装

飾、工具類（ドリル、ホブカッタなど）に実用化されているが、均一性、量産性、コストの点でメッキに劣るため、自動車部品用としての検討は始まったばかりである。しかし、上記のような状況の変化に伴って乾式メッキに対する期待は高まるものと思われ、装置の改良と試作評価の、より積極的な推進が要求される分野である。

8. ま と め

以上、自動車部品と真空炉について述べたが、他にも素材や電子部品まで含めれば、チタン合金溶解装置、半導体薄膜装置、セラミックスや複合素材の生産装置など、枚挙に暇がない。真空の持つ特徴が広い範囲で評価されてきた結果であり、真空は特殊なものでは無くなっている。作業環境、公害、省力、省資源などに対するニーズは刻々厳しくなっており、適切な設備の選択基準もこれに伴って変化する。現在真空以外の方法で処理されている部品についても見直しが進められていくと思われる。

(文 献)

- 1) 三宅譲治他：自動車技術，45（1991）6，72