受賞記念講演

鉄系焼結機械部品の生産技術開発

島田 一男

東京焼結金属(株)川越工場, 〒350-11 川越市南台1-10-3.

Developments of the Production Engineering in Ferrous Sintered Machine Parts

Kazuo Shimada

Kawagoe Plant, Tokyo Sintered Metals Corp., 1-10-3 Minamidai, Kawagoe 350-11.

Received July 12, 1995

SYNOPSIS

The demand of ferrous sintered machine parts continues to grow favorably mainly for automotive parts, in spite of influence of current domestic economic recession. However, in recent years, it is strongly requested that the performance and quality of ferrous sintered machine parts must be further improved following on surrounding equipments and further economical pursuit. Therefore, this paper describes how our developments go on in production engineering for high strength machine parts and high toughness machine parts, high performance soft magnetic parts and plastic composite sintered parts.

KEYWORDS

production engineering, ferrous sintered parts, high strength, high toughness, soft magnetic, plastic composite

1 緒言

我が国の鉄系焼結機械部品の生産技術の歴史は、戦後欧米より良質の鉄粉、成形プレス、連続焼結炉の導入に始まり、それらの国産化の進展の流れの中で、家庭電化製品、ミシン部品の量産技術として認められてから40年近く経過した。

当初の焼結部品は含油軸受などの低密度多孔質部品であったが、1960年代に入ると粉末冶金法の持つ量産性、経済性が自動車産業などにより注目され、さらに適用範囲の拡大のため、中密度機械構成部品の量産へと拡大した。1970年代には高圧縮性の鉄粉、低合金鋼粉、大型多段成形プレス、高温焼結炉、連続真空焼結炉などが開発され、ニアネットシェイプ、あるいはネ

ットシェイプでの高密度機械構成部品の量産へと発展していった。近年には経済性の追求と周辺機器の高性能化と相まって、適用範囲の維持、拡大のため、より一層の生産技術開発が進められている現状である。

これらの中にあって私どもがたずさわった、(1)鉄系高強度、高靱性焼結部品、(2)メカトロニクス分野で需要が増えている高性能軟磁性焼結部品、および(3)異種材料と複合化して摺動性向上を図った焼結部品の生産技術開発について紹介する。

2 高強度・高靱性鉄系焼結機械部品

自動車用焼結部品の進歩は、一面においては高強度化の生産技術、材料開発といっても過言ではない。焼

結部品の高密度化としては気孔の減少，すなわち高密度化，粉末粒子結合部の強化と気孔形状の球状化，合金元素添加によるマトリックスの強化と熱処理性の改善，結晶の微細化などがあげられる。

1970年代の後半，高圧縮性合金粉の使用，高温焼結を試みた。高精度確保の点からサイジングでの寸法矯正が容易なように，原料粉への黒鉛粉添加は行わず，浸炭焼入れによってCを付与し，さらに残留圧縮応力による疲れ強さを改善しようとの考え方で開発を進めた¹⁾。ちょうどその頃市場へ供給の始まった高圧縮性合金鋼粉，Ni-Mo系部分拡散合金鋼粉を使用して，高温焼結，浸炭焼入れ・焼もどしにより，引張強さ1,000MPa，疲れ強さ400MPa級の高強度，高靱性焼結材料を開発し，パワーステアリング・ベーンポンプ部品の用途を開拓した²⁾。その後，耐摩耗性向上，さらに高強度化の要請に対して，Table 1に示すように，完全合金粉のCr-Mn系低合金鋼粉を使用したもの（CMG-Q）。

Ni-Mo系部分拡散合金鋼粉にNi-Cu-Moの三元合金微粉を添加したもの（KF-Q），2回圧縮2回焼結によったもの（J-Q）などにより，引張強さ1,200MPa，疲れ強さ570MPaのものまで開発した。適用範囲も，トランスミッション部品，ドアミラー部品などに多岐にわたっており，適用例をPhoto.1に示してある。

高強度，高靱性焼結部品の製造上のポイントとしては，成形段階では密度の均一化である。使用されている密度は7.0～7.4Mg/m³と高密度であり，これぐらいの密度になると，密度のばらつきは浸炭焼入れの際，表面からの炭素量分布に大きな影響を与え，静的・動的

的強度特性にばらつきを生ずる。特にキャビティへの充填量の均一化が重要であり，成形プレスの充填位置，使用粉末の見掛け密度均一化の管理が求められる。そのため充填位置の制御にはセンサを取り付けて異常を検知できるようにし，さらに焼結部品を全数重量測定し，平均重量の約0.7%を管理幅としたキャビティ自動調整機構をプレスに組み込んで，圧粉密度ばらつきに対処した。その後給粉方法の改良，重量測定方法，プレス調整機構の改良，さらに鉄粉メーカーの見掛け密度改善もあり，近年大幅にばらつきが改善された。

焼結段階では，1,523～1,573Kの高温焼結を試みたが，高温化することによってのトラブル，エネルギー費の増大に対して，先ず最初に着手したことは，炉内雰囲気清浄化で，製品取り出し時の加熱ゾーンへの

Photo.1 Applications of high strength sintered materials: rotor and cam (left), shift lever for manual transmission (middle) and door mirror gear(right).

Table 1 Compositions and properties of high strength materials.

Code	Typical composition mass%	Heat ⁽¹⁾ treatment	Density Mg/m ³	Mechanical Properties					Applications
				Tensile strength MPa	Elongation %	Impact value J ⁽³⁾	Bending strength MPa	Fatigue strength MPa ⁽³⁾	
M-Q	Fe-4Ni-1.5Cu -0.5Mo-C Surface carbon contents : 0.7~0.9	a	>7.0	1,000 — 1,200	1.5-2.5	20-30	1,700 — 2,000	380-430	Door mirror gear Shift lever Rotor Cam ring
CMG-Q	Fe-1Cr-0.7Mn -0.3Mo-C Surface carbon contents : 0.5~0.9	b	>6.9	1,100 — 1,300	0.5-2.0	15-25	1,800 — 2,200	350-380	Cam ring
J-Q	Fe-0.6Ni-0.9Mo -0.2Mn-C core carbon : 0.3	a	7.4	1,200	1.3	21	—	570	Cam ring
KF-Q	Fe-7Ni-2Cu-1Mo-C	a	7.3	1,200	2.7	35	—	440	Cam ring

(1) a : Endothermic gas carburizing - quenching - tempering

b : Vacuum quenching - tempering

(2) Charpy impact test (unnotched)

(3) Rotary bending fatigue strength

大気侵入阻止のために二重遮断機構を取り付け、さらに雰囲気ガスの流れを制御するなどによってランニング状態での加熱ゾーンの露点を228K以下にし、Cr-Mn鋼系部品の焼結化を可能にした。

次に省エネルギーのために N_2 ガス化を推進し、さらに加熱ゾーン炉殻の円形断面化を試みて、炉表面積を小さくすることによりヒータの熱負荷を低減するなどして、プッシャー炉で、約30~40%のエネルギー節減を果たした²⁾。

浸炭焼入れ・焼もどし段階では、連続式の浸炭焼入れ炉を用い、炉内温度分布の均一化と雰囲気ガスのコントロールを重視した。炉内の温度分布は、1,193Kの設定温度で数度以内に入るようにした。この温度範囲では、温度ばらつきによる含有炭素量への影響は約0.05 mass%であった。

雰囲気ガスのコントロールは、直接炉内で雰囲気ガスを O_2 センサーで測定し、Fe-C系のカーボンポテンシャルに換算してコントロールする方式を採用した²⁾。

Fig.1に、1,193K×2h、C.P.: 0.8%, 1.0%, 1.2%の条件で、Ni-Mo系部分拡散合金鋼粉(Distaloy AE)を使用したものと、混合法によるFe-2%Cuの試験片でのデータを示してある。炉内の温度分布の影響、製品のセット方法の違い、合金元素の拡散状況もあり約0.2%のばらつきを生じたが、雰囲気ガスコントロールとしては使用できると判断した。また焼結部品によって炉内に持ち込まれた油脂による O_2 センサ電極の汚れに対しては、電極をエアで洗浄する機構を取り付けて、長期間無保守で連続使用に耐えられるように改良した。

Ni-Mo系部分拡散合金鋼粉を使用した焼結部品は、

Fig.1 Relation between predetermined carbon potential and measured carbon potential.

合金元素の拡散状況は不均一であり、組織的には残留オーステナイト、時としてはトルスタイトの出現があり、特に残留オーステナイトは靱性改善に効果があるが、過剰生成は耐摩耗性、強度の点から好ましくなかった。そこで生産性向上も考え、焼入れ時の冷却能力を向上すべく、装置的には攪拌と噴射がかかるようにした。さらに焼入れ油は対流段階の冷却性向上のため粘度を下げ、熱安定性の点からアスファルト系冷却向上剤を選択して対応した。さらに引火点を上げることを検討し、粉末冶金製品に特有の浸炭時間が短いことによる焼入れ油の熱負荷大に対処した。

3 焼結軟磁性部品

焼結軟磁性部品は、粉末冶金法の特徴である量産性、経済性を生かして、OA関連機器から自動車のメカトロニクス分野機器まで、広く使用されるようになってきている。しかしながら、直流磁界用が主であり、交流磁界用としては約1KHzまでに金属系材料が使用され、それ以上になるとフェライト系材料の使用が一般的であった。しかし、自動車部品は使用部位によっては脆い材料は選択できない場合があり、そこで焼結軟磁性材料の開発を検討した。

材料としては、Fe-Si系、Fe-Ni系、Fe-Cr系が有望であるが、経済性を勘案して、Fe-13%Cr系焼結材料を選択した。

原料粉末の圧縮性を改善して圧粉密度を高めることを試みた。原料粉末の圧縮性の改善ポイントは、[C],[N],[O]などの含有量を少なくすることであり、これに対してはメーカーと共同して490MPaの成形圧力で圧粉密度を0.15~0.20Mg/m³改良できた³⁾。しかし、低[C],低[N]は図れたが、[O]はどうしても0.2 mass%程度の含有は避けられなかった。そこで原料粉末に黒鉛粉を添加して、真空焼結中に脱炭させる方法を検討した。添加黒鉛粉の量が少ないか、あるいは粒径が非常に小さいと、所定の還元温度になるまでに消耗してしまい、量が多すぎると残留[C]が多くなり、交流磁気特性を悪化させた。

Fig.2に示すように、10 μ mの黒鉛粉を0.05 mass%添加した場合に交流磁気特性が最大となった。焼結には連続式真空焼結炉を採用した。通常潤滑剤としてはステアリン酸亜鉛が一般的であるが、焼結軟磁性部品の場合は金属成分の残留による磁気特性の劣化や焼結室の汚染を避けるため、エチレンビスアミド系の潤滑剤を使用するとともに、メーカーと共同して脱ワック

ス排気システムを開発した (Fig.3)³⁾.

Fe-Cr系焼結部品を真空焼結すると、脱Cr現象があることは知られている。特に3KHzくらいの高周波になると、磁束の浸透深さは約0.1mmとなり、表面の状況は非常に重要である。この脱Cr現象を抑える手段として、数百PaのH₂ガス分圧下での焼結を採用した⁴⁾。

焼結温度からある温度まで、毎分数度に冷却速度を制御した後、N₂ガスなどによる急冷をすることにより

Fig.2 Effects of graphite addition and particle size on the magnetic property of 410L sintered stainless steel.

Fig.3 Dewax system for vacuum sintering furnace.

交流磁気特性が7~8%向上した³⁾。Fig.4に、交流磁界における誘起電圧とインダクタンスの関係を示す。図に示すように焼結軟磁性部品の交流磁気特性においてインダクタンスと誘起電圧の間に相関があることを見だし、その全数保証手段として、研究機関と共同で製品の誘起電圧測定装置を開発して信頼性を確保した³⁾。

これらの生産技術開発した軟磁性Fe-13%Cr焼結部品の交流磁気特性は、Table 2に示す通り従来材に比べて大幅に改善され、Fe-17%Cr系のレベルまで達成することができた³⁾。用途例として電動パワーステアリング用焼結センサ部品をPhoto.2に示してある⁴⁾。

4 樹脂複合部品

近年Photo.3に示す自動車用ショックアブソーバ・ピストンへの、高精度化、高性能化の要請が強くなってきた。従来までは焼結部品の摺動部に硫化被膜処理したり、プッシュをはめ込んだりしていたが、パイプとのクリアランスに起因する音、オイルリークの問題があり、焼結部品と樹脂の複合化を検討した。走行状

Fig.4 Schematic for measuring the difference of induced voltage between a standard specimen and a test specimen.

Table 2 Properties of sintered Fe-Cr soft magnetic materials.

Material ¹⁾	Green density ²⁾ (Mg/m ³)	Sintered density ²⁾ (Mg/m ³)	Dimensional change (%)	Specific inductance permeability(μ _i)	Electrical resistivity(μΩ·cm)
Developed Fe-13%Cr	6.7	7.2	-1.0	74	69
Conventional Fe-13%Cr	6.5	7.1	-1.5	65	69
Conventional Fe-17%Cr	6.3	7.0	-2.8	72	71

1) Fe-13%Cr: SUS410L, Fe-17%Cr: SUS430L

2) Compacting pressure: 686MPa, 1% lubricant added

3) Sintering condition: 1,433K × 1h in vacuum

Photo.2 Various kinds of 410L sintered stainless steel parts for torque sensor of electric power steering system.

Photo.3 Developed plastic composite shock absorber pistons.

態で373Kを超えるため、複合化する樹脂は、低い摩擦係数だけではなく耐熱性も必要な点から、Polytetrafluoroethylene(PTFE)樹脂で開発を進めた。

しかしPTFE樹脂は、摩擦係数は著しく低いが耐摩耗性に欠点があり、PTFE本来の摩擦係数を損なうことなく耐摩耗性を改善するため充填材を検討した。Fig.5に動摩擦係数と面圧の関係を示す。充填剤としては耐摩耗性も考慮して黒鉛粉を採用した⁵⁾。

焼結部品と樹脂の複合化については、PTFE樹脂は射出成形はできず、良好な寸法精度の確保、大きな接合強度を考慮して、焼結部品への樹脂の熱間圧着による複合方法を採用した。

Photo.4は、ピストン素材へ樹脂シートをセットし、

Fig.5 Relation between dynamic friction coefficient and surface durability of various kinds of composite pistons.

Photo.4 Apparatus for setting and banding PTFE sheet to sintered material.

これらを圧着複合する設備を示す。この圧着複合設備は、外周に凹形状溝を付与した焼結素材と、スライスした樹脂を準備した後、自動的に素材の表裏選別と搬送、樹脂と素材のセット、樹脂の素材への圧着を一連の動きの中で行い、1サイクル5~6sで生産している。

Fig.6はその圧着複合部の概要を示す⁵⁾。図示され

Fig. 6 Schematic of banding die of PTFE sheet to sintered piston.

るように、樹脂シートをセットされたピストン素材は、連続的に配置した約503~573Kに加熱した金型と、冷却水で冷却した金型を通すことにより、ピストン素材外径に形成された凹形状溝に、高延伸性を利用して樹脂シートを機械的に圧着している。

Fig. 7に示すように、樹脂複合したショックアブソーバ部品の実機試験でのオイルリークは、従来品に比べ大幅に改善され、音も小さくすることができた⁵⁾。

この複合化方法で得られたショックアブソーバ・ピストンの特徴的なことは、ばらつきが約0.03mmの良好な寸法精度であり、また圧着された樹脂の抜け荷重は試験用金型とのクリアランス0.10mmで、約150MPaあり、高い接合強度が得られた。

おわりに

経済性の追求と周辺機器の高性能化の中で求められてきた、適用範囲の維持、拡大のための生産技術開発において、私どもが進めてきた、(1)鉄系高強度、高靱性焼結部品、(2)メカトロニクス分野で需要が増えている高性能軟磁性焼結部品、および(3)異種材料と複合化して摺動性向上を図った焼結部品の開発について紹

Fig. 7 Comparison of oil leakage from clearance between cylinder and piston with developed and conventional shock absorber piston.

介した。

我が国の焼結機械部品業界も昨今の経済情勢により、厳しい国際環境下の中に置かれ、安定した品質のものを如何に安く製造するかが最大の課題となっている。これらを克服するには、画期的な材料開発、生産技術開発が急務となっており、一層の努力を続けていきたいと考えている。

おわりに当たり、今回の受賞に際し、種々ご指導、ご援助を戴いた本協会の諸先生方、メーカー、研究機関の方々、弊社各位に対し、心からお礼申し上げる。

文 献

- 1) 田端孝章: 粉体および粉末冶金, 37(1990), 391.
- 2) 島田一男: 日本粉末冶金工業会粉末冶金開発事例発表テキスト, 1(1983)53.
- 3) 山口昌樹: 日本粉末冶金工業会粉末冶金開発事例発表テキスト, 5(1990)23.
- 4) M. Yamaguchi: Proc. 1993 Powder Met. World Cong., (1993) 991.
- 5) 山本政幸: 日本粉末冶金工業会粉末冶金開発事例発表テキスト, 4(1988)25.