

焼結部品

ニーズに応える高機能化・高付加価値化製品

—第47回 日本粉末冶金工業会賞受賞製品の紹介—

日本粉末冶金工業会〔会長：園田修三＝福田金属箔粉工業株式会社 代表取締役社長，東京都台東区台東 3-42-7，TEL(03)5846-8722〕では，粉末冶金技術水準の一層の向上と普及啓蒙に役立てるため，1979年度に工業会賞を創設，以来毎年実施しており，2025年度で47回目となります。

本賞は，業界発展に寄与された個人を表彰する業界功労賞と，優れた製品，原料，設備を開発，製造した会員企業を表彰する新製品賞（デザイン部門，材質部門，製法開発部門），原料賞，設備開発賞及び奨励賞からなっており，2003年度から特に優れた受賞案件を工業会大賞として表彰しております。今年度の受賞者は次のとおりです。

▼業界功労賞＝植月義夫氏。

▼新製品賞・デザイン部門＝高気密熱処理材を採用したEV向け冷却モジュール用焼結平衡車（ダイヤモンド）。

▼新製品賞・材質部門＝推薦なし。

▼新製品賞・製法開発部門＝モータの高性能化に貢献する薄肉・高絶縁耐圧塗装付き圧粉磁心の開発（住友電気工業），焼結接合キャリア省人化ラインの開発（住友電気工業）。

▼原料賞＝高強度焼結材の製造を実現するNiフリー低合金鋼粉（JFEスチール）。

▼設備開発賞＝推薦なし。

▼奨励賞＝カーエアコン用コンプレッサー容量制御弁（ECV）ガイドブッシュの焼結化（ポーライト）。

工業会賞の紹介記事は，1995年度受賞製品より一般社団法人粉体粉末冶金協会のご協力を得て，機関誌「粉体及び粉末冶金」にご掲載いただいております。各受賞内容についても同協会春季大会の「工業会賞受賞記念特別セッション」において発表の機会をいただいております。

選考を終えて

選考委員長 伊井 浩

日頃より当工業会の各種事業に対しまして，会員各社の多大なるご協力を賜り感謝申し上げます。

さて，日本粉末冶金工業会賞は1979年の創設以来，本年度（2025年度）を持ちまして，第47回を迎えました。

本年度は全7件の応募をいただき，学識者をはじめエンドユーザー，製品および原料メーカーからなる選考委員会において厳正なる審査を重ねて参りました。選考基準には新規性，独自性および業界への貢献度に重点をおき，工業会賞4件（新製品賞・デザイン部門1件，新製品賞・製法開発部門2件，原料賞1件）と奨励賞1件を選出いたしました。

近年，自動車の電動化，低燃費化が急速に加速し，構成部品には高精度，高品質はもとよりコストへの要求が一層厳しくなる状況の中，応募各社のたゆまぬ努力と創

意工夫が感じられる応募ばかりとなっております。

高難度の形状付与と各熱処理の融合による冷却モジュール部品，高絶縁耐圧を有した低コスト化を実現したアキシシャルギャップモーター用圧粉磁心，製造・検査工程を一貫ラインによる低コスト・低エネルギーを実現した焼結接合キャリア，Niフリーかつ低コスト・環境負荷低減を実現した高強度焼結材料用合金粉の新原料など，社会環境の変化に対応し環境負荷低減にも貢献する粉末冶金の有用性を広く世に示した製品が選出されております。

末筆となりましたが，会員各位におかれましては今後とも工業会賞に多くの応募をいただき，粉末冶金業界の発展および活性化にご協力いただきますようお願い申し上げます。

〔株式会社ダイヤモンド 代表取締役社長〕

高気密熱処理材を採用した EV 向け冷却モジュール用焼結平歯車

(株)ダイヤモンド

1. 開発の背景

自動車業界における電動化(BEV化)の加速に伴い、熱マネジメントシステムの高度化が喫緊の課題となっている。特に、LLC(ロングライフクーラント)回路のポンプ、バルブ、配管を統合し、冷却機能を一括管理する「冷却モジュール」は、システムの省スペース化と効率化を両立する基幹ユニットとして、今後の需要拡大が見込まれている。本開発の対象は、当該モジュール内の流路切替えバルブを作動させるアクチュエータユニットに搭載される平歯車(写真1)である。当初、当該部品には樹脂製ギヤが検討されていたが、高出力化に伴う強度不足および耐摩耗性の課題から、焼結歯車の採用が検討されるに至った。しかし、焼結部品を実用化するには、高負荷に耐えうる「機械的強度」に加え、部品の一部がユニット外部に露出する設計構造上(図1)、内部流体の漏れを防ぐ「高度な気密性」の両立が不可欠であった。



写真1. 平歯車の外観写真

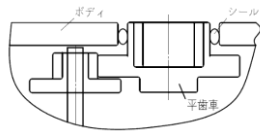


図1. 断面イメージ

2. 開発のポイント

(1) 気密性の確保

焼結部品の気密性を確保する手法として樹脂含浸などが一般的であるが、本開発ではコスト競争力および生産性を重視し、表面気孔を酸化被膜で封止するスチーム処理を選択した。しかし、本部品は浸炭焼入れによる高強度化を前提としており、通常のスチーム処理条件では、処理時の熱履歴により焼入れ組織が戻り、硬度および強度が低下する懸念があった。そこで、浸炭焼入れによって得られた機械的性質を損なうことなく、かつ焼結空孔を封止して新設されたエア漏れ量規格をクリアできる温度・時間条件の最適化試験を重ねた。その結果、強度維持と気密封止を両立する独自の熱処理プロセスを確立し、顧客要求を達成した。(図2)

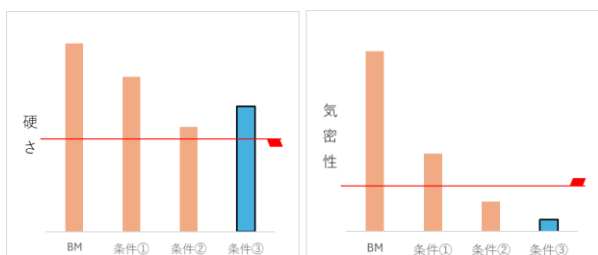


図2. 硬さと気密性

(2) 外観不良削減(スチーム汚れへの対応)

スチーム処理後、部品表面に赤茶色の変色が発生し、顧客の外観判定基準を満たせない事象が確認された。詳細な成分分析の結果、原因は浸炭焼入れ時に気孔内に残留した焼入れ油に含まれる特定の添加剤が、スチーム工程の高温下で熱分解・酸化反応を起こしたものであることが判明した。従来の超音波洗浄では、気孔深部に保持された油分を完全に除去することが困難であったため、洗浄液の化学的性質を再考し、微細気孔内への浸透性を強化した特殊洗浄方式を採用した。これにより、焼入れ油の脱脂効率が飛躍的に向上し、変色のない安定した外観品質の量産化に成功した。(図3)

(3) 相手部品への攻撃性改善(表面粗さの最適化)

ユニット評価において、平歯車のボス外径部に接触するシール部品が破損する不具合が発生した。調査の結果、表面粗さ(Ra)は顧客要求値を満足していたものの、旋削加工による微細な螺旋形状(送り目)がシールリップに物理的なダメージを与えていることが特定された。これに対し、加工工程を荒引きと仕上げに分離し、特に荒加工時における送り速度および工具刃先形状(ノーズR等)を再設計することで、仕上げ面における加工目の山谷形状を平滑化した。この改善により、シール部品への攻撃性を低減し、摺動部の長期信頼性を確保した。(図4)

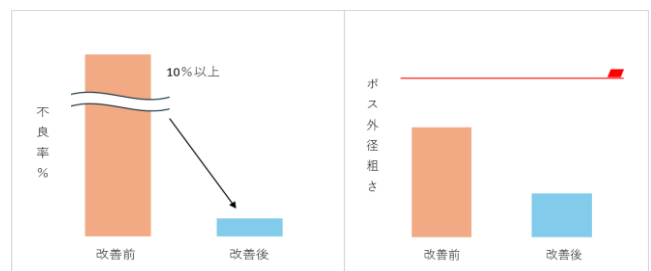


図3. 外観不良率の改善

図4. ボス外径粗さの改善

3. 開発の成果

本開発により、BEV用冷却モジュールの基幹部品として、高強度・高气密を兼ね備えた焼結平歯車の実用化および量産化を達成した。浸炭焼入れとスチーム処理という、従来は特性が相反しやすい二つの熱処理工程を融合させ、粉末冶金製品のポテンシャルを最大限に引き出した点が挙げられる。また、高価な樹脂含浸処理を排し、プロセス技術の最適化によって低コストで高機能化を実現したことは、BEV部品のコスト競争力向上に直結する成果である。本技術は、今後さらに複雑化する電動車両の熱マネジメントシステムにおいて、焼結部品の適用範囲を大きく広げるものである。

モータの高性能化に貢献する薄肉・高絶縁耐圧塗装付き圧粉磁心の開発

住友電気工業(株)

1.開発の背景

近年、電動機器の小型軽量化・高効率化を実現するために、高性能モータの需要が増加している。モータの定格出力は最も温度が上がりやすいコイル（被覆銅巻線）の耐熱温度で決まるため、モータ出力の向上にはコイルの熱を効率よく放散し、コイル温度が上がりづらいモータ構造設計が重要である。ここで、コアとコイル間は電氣的に絶縁する必要があり、一般的には絶縁紙や樹脂ボビンを介す必要があるが、絶縁材によりコイルの放熱が断熱される点がコイル温度上昇の一因である（図1）。更に、モータ設計視点で圧粉磁心に対する懸念事項のひとつに、圧粉磁心を機械的に固定できず、接着剤や樹脂モールドといった化学的な固定に限定される点があった。これら課題に対して、当社は、圧粉磁心に薄膜且つ高絶縁耐圧を有する新たな絶縁塗装を付与する技術の開発及び、ネジ止めによる機械的固定を実現し、量産適用に成功した。

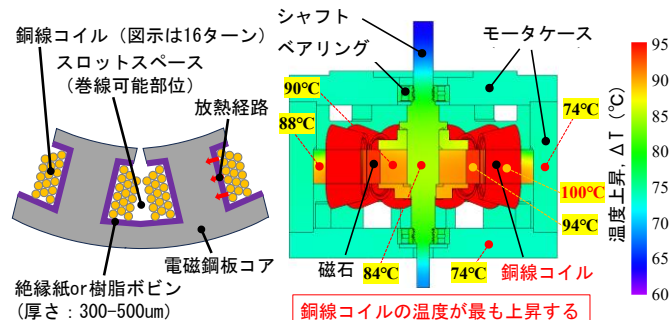


図1 一般的なモータ構造と熱解析の結果

2.開発のポイント

今回開発した製品は、高付加価値民生機器の駆動部に搭載されるアキシアルギャップモータ（AGM）用の絶縁塗装付きコアである（図2）。本製品に求められる特徴的な仕様として、①従来の絶縁部材（絶縁紙、樹脂ボビン等）の肉厚より圧倒的に薄く、高い絶縁耐圧を有する絶縁塗装を適用することで、コイルの放熱性を高めると共に、コイルの占積率向上に貢献すること、②完成品の製造コストに影響を与えない安価な塗装方法を実現すること、③圧粉磁心をモータハウジングケースに機械的に固定できること、の3点が挙げられた。



図2 開発品の形状

2-1.薄く高絶縁耐圧を有する絶縁塗装の開発

塗料と製法の両面から新規絶縁塗装の開発に取り組み、母材の圧粉磁心に対し、反応・析出型の絶縁塗装の開発に成功

した。絶縁性の高い樹脂溶液を用いて、圧粉磁心の表面に樹脂を析出させた後、加熱により乾燥及び架橋反応を起こし成膜する。本開発技術の利点は、反応・析出型のため、圧粉磁心の形状に依らず絶縁塗装を薄く均一に制御できる点である。開発した絶縁塗装の断面観察像及び、絶縁性能を当社従来法と比較した結果を示す（図3）。膜厚40μmで比較すると、従来のスプレー塗装に対して新開発塗装は3倍以上の高絶縁耐圧を有することに成功した。

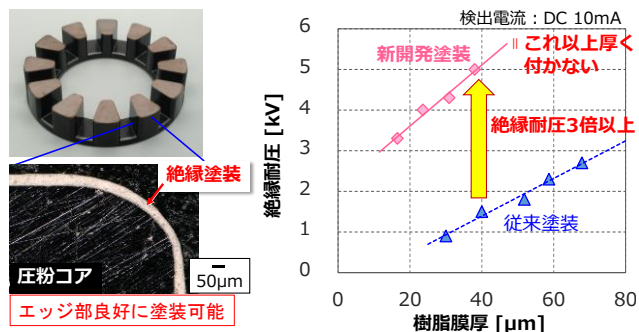


図3 絶縁塗装の断面像と絶縁性能

2-2.コスト低減

従来の圧粉磁心への絶縁塗装はスプレー塗布による複数回の重ね塗りが必要であったが、新開発塗装は1回の処理で塗膜形成が完結するため、コスト面も優れる方法である。プロセスの最適化と複数個同時処理技術の構築を図り、且つ歩留向上にも取り組んだ結果、従来の塗装法に対して1/10以下のコストでの絶縁塗装を実現した。

2-3.圧粉磁心の機械的固定

圧粉磁心を機械的固定する手法を複数検討した上で、タッピングネジ固定法を本命に開発に取り組み、汎用ネジを用いて十分な軸力を確保する手法を開発した。M2ネジ1本で軸力65kgfを得て、ロータ磁石からの磁気吸引力に対して十分な強度を確保した。なお、汎用ネジを使用するためコストアップはない。



図4 機械固定断面

3.開発の成果

薄く高絶縁耐圧を有する絶縁塗装付きモータ用圧粉磁心の量産を開始した。AGMの高性能化と市場普及に貢献すると共に、モータ市場における圧粉磁心の用途拡大に弾みを付けた。更に、本技術は圧粉磁心のAGM適用に留まらず、現在主流のラジアルギャップモータへの適用の突破口を拓く技術であり、焼結業界にとって販路拡大への貢献が期待できる。

焼結接合キャリア省人化ラインの開発

住友電気工業(株)

1 開発の背景・概要

BEV化の鈍化に伴い、HEVやP-HEVが再注目されており、トランスミッションに使用される遊星歯車減速機の部品の一つである焼結接合キャリアは今後も需要が伸びると予測されている。この焼結接合キャリアは複数の成形体を用いる為、広い成形体仕掛置き場の確保や、人の手による成形体組立・ろう材投入工程、接合保証、部品間をまたいだ寸法保証など、一般焼結部品より製造工程、検査工程が多く、出荷までのリードタイムが長くなり、製造コストも高額になる課題を抱えていた。今回当社は当該製品の生産ラインを新たに敷設するにあたり、上記課題に着目し、成形～出荷までの省人化ラインを開発した。

2 開発のポイント

本製品はブリッジとスプラインの2部品で構成されており、成形体の状態で組み合わせ、ろう材を接合界面に設置することで、焼結中に一体化する(図1)。

本生産ラインの開発のポイントは省人化によるコスト競争力の向上だけでなく、開発の背景に記載の課題に対応する為、①仕掛量の低減、②検査工程の連結化、更にはCO₂排出量低減の為、③生産エネルギーコストの低減、の三つとした。



図1 焼結接合キャリアの構成

2-1 仕掛量の低減

本製品は2部品から構成されている為、組立工程では最低でも1部品の仕掛が必要となる。我々は設備構想の段階からスプラインを成形体で保管し、ブリッジの成形スピードに合わせて組立、ろう材投入、焼結まで連続で同期生産できる成形体自動組立装置を立案した。組立、ろう材投入はインデックステーブル方式を用い図2の設備設計とした。

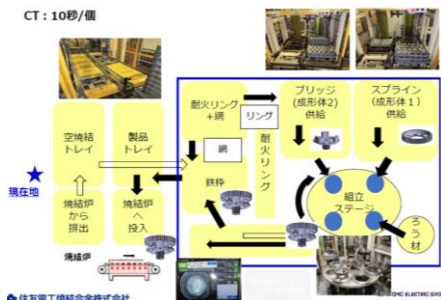


図2 キャリア組立装置レイアウト

2 部品の組立ずれ発生を防ぐ為、高精度カメラでブリッジの柱の位置を特定し、それに合わせてスプラインを置きに行く仕様とした。ろう材投入は、複数個同時に吸着できるハンドを開発し、一度にろう材を投入できるように工夫した。

2-2 検査工程の連結化

今回導入したラインでは、①1 部品間をまたぐ窓幅寸法、②接合状態を保証する超音波探傷、③高周波熱処理、④磁気探傷、⑤外観保証、を検査ラインとして設定し、各工程をベルトコンベアでつないだ1 個流しのライン構成とした。①、②工程は検査機を用い数値化、自動化が困難な④の磁気探傷と⑤の外観保証のみ人の官能検査とするラインとした。窓幅寸法、超音波探傷では品質の状態が数値化される事で定量的に管理する事が可能となり、変化点における品質変化の可視化に活用でき、品質向上に貢献できた。

2-3 生産エネルギーコストの低減

当該生産ラインではベルトコンベアによる1 個流し生産を採用している為、焼戻し工程にバッチ式焼戻し炉を使用すると1 個流しが実現できない。今回我々は高周波焼入れ後の焼戻しに高周波戻しを採用し1 個流しの実現に取り組んだ。高周波焼入れ・焼戻しを1つの装置で、それぞれの工程をターンテーブル化(図3)することで1 元化し、高効率化を実現した。高周波戻し法では、すべての製品が同様な冷却曲線となるようなライン設計とした。この方式を採用する事でバッチ式の焼戻し炉で発生する処理待ち品を撲滅するとともに、消費電力は従来方式と比較し、約60%削減できた。

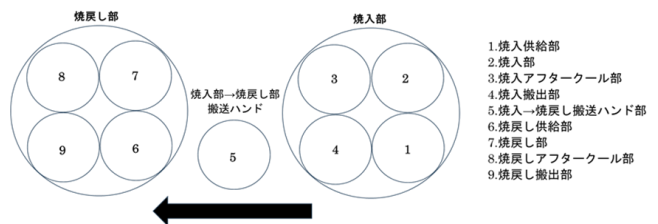


図3 高周波焼入れ・焼戻し ターンテーブル化構想

3 導入ラインの効果

今回の一貫生産ラインを導入する事で、製品(成形体)の仕掛量を大幅に削減でき、成形～出荷までのリードタイムを従来の工法対比90%の短縮を実現、製造コストも組立自動化や搬送自動化により従来の工法対比約30%原価低減を実現した。安価で高品質な焼結接合キャリアを供給できる製造ラインを構築できた事は粉末冶金業界にとって大きな貢献となった。

高強度焼結材の製造を実現する Ni フリー低合金鋼粉

J F E スチール(株)

1. 開発の背景

従来、自動車向けの鉄系高強度部品には 4%Ni 合金鋼粉 (Fe-4%Ni-1.5%Cu-0.5%Mo, 以下 4%Ni 粉) が広く用いられてきた。しかし、原料として使用される Ni 粉に関する供給不安や環境負荷への懸念を背景に、強度のみならず Ni 粉不使用化への要求も高まっている。このような状況に対応するべく、当社では新たに Fe-0.4%Mo 合金鋼粉をベースに、焼結促進による気孔微細化を志向した粒子構造適正化を取り入れた Ni フリー低合金鋼粉を開発した。

2. 開発のポイント

<粒子構造>

粉末設計の基本思想は、焼結促進による焼結体中気孔微細化と、それによる高強度化である。開発粉の粒子構造を、従来粉である 4%Ni 粉と比較して図 1 に示す。まず、ベースとなる純鉄粉の粒子を不定形化させることで焼結の駆動力となる粉末の表面積を増加させている。粒子の不定形化により粉末圧縮性の低下とそれによる焼結密度の低下が生じる。そのため、拡散付着合金化による圧縮性の向上と、銅粉の微粒化による焼結時の寸法膨張抑制を志向することで、密度低下を最小限に抑制している。

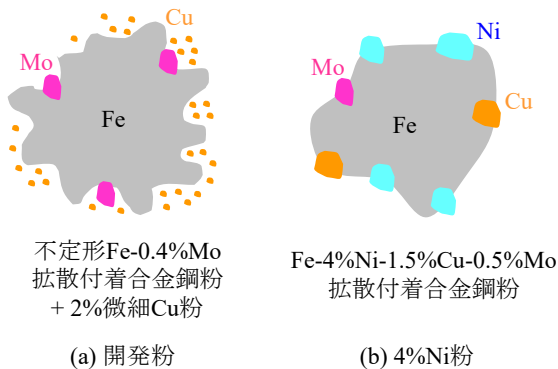


図1 開発粉と4%Ni粉の粒子構造

<焼結体気孔分布>

開発粉と 4%Ni 粉を用いて作製した焼結材のエッチングを行っていない微視組織を図 2 に示す。4%Ni 粉焼結材に対して、開発粉焼結材は粗大な気孔が減少している。気孔は微細なほど円形度が高くなり、焼結材に荷重がかかった際の気孔周辺での応力集中が緩和され、高強度化することが期待される。

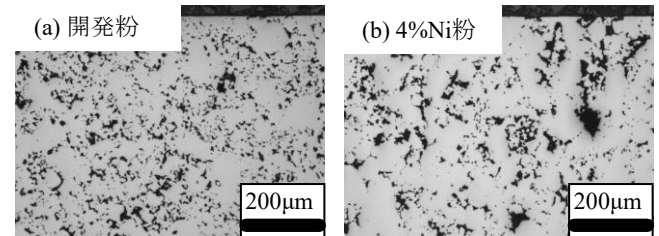


図2 開発粉と4%Ni粉の焼結微視組織 (エッチング無)

<機械特性>

開発粉および 4%Ni 粉を用いて作製した焼結・熱処理材の引張強さ、衝撃値を図 3 に示す。開発粉焼結・熱処理材は 4%Ni 粉焼結・熱処理材と比較すると、同一焼結密度で 100~140 MPa ほど高い引張強さを有している。また、衝撃値に関しても同一焼結密度で比較した場合、1~2 J cm⁻² ほど高くなっていた。4%Ni 粉焼結・熱処理材の微視組織は硬質マルテンサイトと軟質な Ni リッチオーステナイトから構成されており、後者が靱性改善寄与している。一方、開発粉焼結・熱処理材は硬質なマルテンサイトのみから構成されているものの、気孔が微細球形化することで変形時の応力集中を緩和し、高衝撃値となっている。

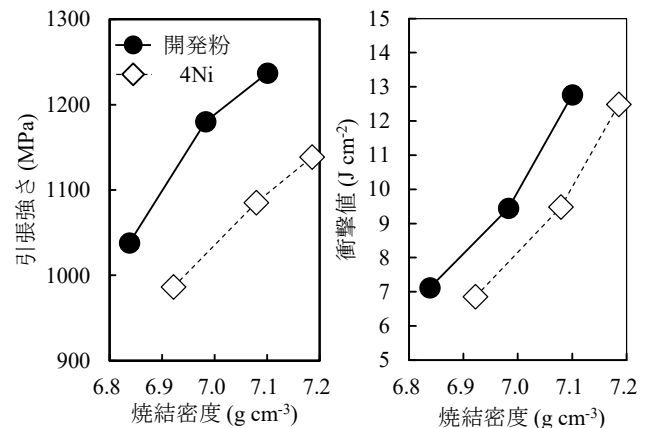


図3 開発粉と4%Ni粉の焼結・熱処理材機械特性

3. 開発の成果

開発粉を用いることにより、従来 4%Ni 粉と比較して、Ni 粉を使用しない省合金設計でありながら優れた機械特性を有する焼結・熱処理材が得られ、焼結・熱処理部品のコストダウンと環境負荷低減へ寄与することが出来た。

カーエアコン用コンプレッサー容量制御弁(ECV)ガイドブッシュの焼結化

ポーライト(株)

1.開発の背景と概要

カーエアコンにはコンプレッサーが搭載され、冷媒の気化熱（蒸発潜熱）を利用して吹き出し温度を調整する方式が一般的である。さらに、燃費向上を目的に広く用いられる可変容量型コンプレッサーでは、吹き出し温度の変動抑制と負荷低減のため容量制御弁（ECV）が搭載されている（図1）。この ECV では、可動弁をスライド方向に支持する真鍮製切削ブッシュが使われていたが、摺動特性向上とコスト低減に課題があり、焼結化が検討された。

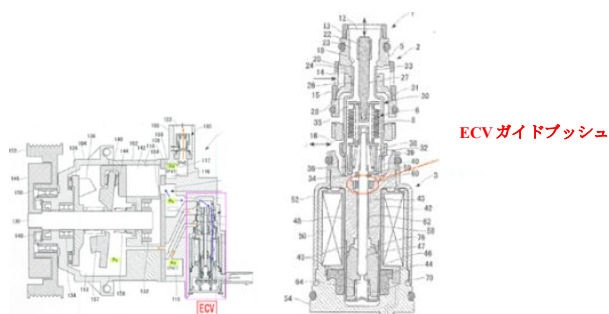


図1.可変容量型コンプレッサー断面・ECV 拡大図

2.開発ポイント

- ①冷媒（R134A）の流路を確保する形状設計
- ②冷媒内（R134A）におけるスライド摺動特性の確保

3.開発の概要

※本開発品の主工程

圧粉成形→焼結→バリレス→一次油浸→内径バリレス処理→再圧縮（サイジング）→洗浄→包装

3-1.形状設計

冷媒の流路として重要な外径溝は、従来品では深い R 溝を 2 本、切削加工で設けていた。開発品でも同形状の適用は可能だったが、以下の懸念があった。

- ・最圧縮工程でパーツフィーダー供給時に溝同士が引っ掛かり、流動が阻害される可能性
- ・組立工程でヨーク圧入時に溝の影響で内径が楕円化し、摺動性が低下する恐れ

これらを踏まえお客様と協議した結果、従来品と同等以上の流路面積を確保でき、量産実績もある 8 本溝形状を採用した（図2）。また、溝の均等配置により圧入時の内径収縮・変形を最小限に抑え、摺動性の安定化にも寄与した。

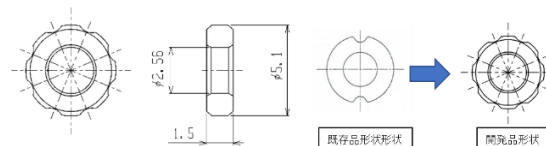


図2.製品寸法・外径溝形状

3-2.材料選定

冷媒中で使用する場合、一般的な含油軸受は含浸油が冷媒に置換されるため、潤滑効果が期待できない。そこで本開発品では、潤滑油を含浸せず、無含油で使用可能な固体潤滑剤（黒鉛）を多量に分散した Cu-Sn-P-C 系材料を採用した（表1）。※軸受密度 7.3 g/cm³（相対密度 90%）

COMPOSITION	Cu	Sn	C	P	OTHERS
wt%	BAL	8 ~ 11	2 ~ 3	0.3 MAX	1 MAX

表1.軸受材質化学成分

3-3.内径バリレス(BL)処理

従来品は切削加工で製造されていたため、コスト上の制約から軸受内径に R 形状を設けにくく、その結果、内径摺動面と端面の角部に微小バリが発生しやすく、駆動時にはシャフトとの接触でノイズや摺動抵抗増大を招く問題があった。

本製品では、内径摺動面と面取り部のつなぎに微小 R を付与してバリ発生を抑制し、シャフトのスライド運動に伴う摺動抵抗のばらつきを低減した。その結果、より安定した作動性能を実現した。（図3）

また、本製品は小型かつ短寸であるため、サイジング前工程で確実に処理することが課題だったが、供給装置内に BL 処理ピンを設置し、製品を片側ずつ確実に処理できる装置を考案することで、品質を維持したまま高効率生産を可能とした。

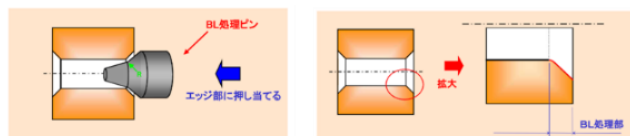


図3.内径バリレス(BL)処理

4.開発の成果

- ・開発により、摺動特性を向上させつつ、従来の切削加工品から焼結部品への切り替えを実現した。
- ・従来品比で 50%以上の原価低減を達成した。