高磁束密度ステータコアの開発

Development of High Induction Stator Core

三　好　健　宏*
Takehiro MIYOSHI

要　旨

高磁束密度材料である鉄コバルト合金の板厚と組織を最適化し，接着剤と表面処理技術を新規開発してステータコアの鉄損を60%低減させた．磁気特性と寸法精度を満足する製造プロセスを開発し，積層部品の生産体制を構築した．本ステータによりモータを 20%小型化することができた．

ABSTRACT

Stator core iron loss was reduced by 60% by optimizing the thickness and microstructure of iron-cobalt alloy, which shows a high induction, and by developing a new adhesive and surface treatment technology. A manufacturing process was developed that satisfies the required magnetic characteristics and dimensional accuracy, and a new production system was constructed for laminated parts. The newly developed stator enabled a 20% reduction in the motor size.

1．まえがき

2009 年より F1 レース車両にハイブリッドシステムの適用が計画され，モータ関連部品の追加による重量増や空力への影響が課題となった．競争力維持のためにはモータ部の小型軽量化が必須であり，ステータコアに高磁束密度パーメンジュール(Fe 49%，Co 49%，V 2%，以下FeCo材)を適用してコンパクト化をねらった．FeCo材は軍事航空宇宙などの領域で用いられるが鋼種仕様が限定され製造リードタイムも長い．レース使用を目的に高磁束密度化と低鉄損化を追求し，さらに寸法精度と生産性を満足する材料仕様とステータコア製法の確立を目指した．

2．開発技術

2.1. 材料開発

材料の特性目標値を Fig. 1 に示す．Si 鋼(Fig. 1 Base)に比べ，既存FeCo材(Fig. 1 original)は鉄損が高いので，Si鋼以下の鉄損を目標とした．鉄損は渦損とヒステリシス損の２種類に分類され，渦損は板厚の二乗に比例するため，薄板化することで渦損を低減可能である[1]．しかし薄板化による占積率の低下，圧延加工やプレス加工の品質低下，積層枚数増加による生産性の低下といった課題がある．

冷間圧延を施した板厚 10 μm から 150 μm までの素材に対し，1.0 T，400 Hz で鉄損値を測定した．磁気特性は外径 25 mm，内径 15 mm のトロイダル形状の積層リングで測定した．圧延後の組織を Fig. 2 に，磁気特性を Fig. 3 に示す．板厚 50 μm にて鉄損は最小値であった．薄板化で渦損は低下するが組織微細化が同時に起こり，ヒステリシス損が上昇し，板厚 50 μm 以下では全鉄損は低下しないと考えられる．50 μm では積層時の占積率が低下するため，占積率と鉄損のバランスを考慮し板厚を 100 μm に設定した．

渦損低減には鋼板層間に絶縁層が必要であり，薄さと絶縁性，生産性が求められる．Si鋼用のリン酸亜鉛系絶縁被膜は薄板上の塗布が困難で必要な絶縁性が得られなかっ

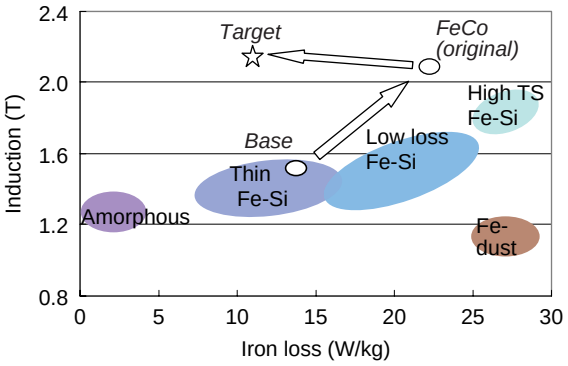

Fig. 1　Target properties

＊四輪R&Dセンター

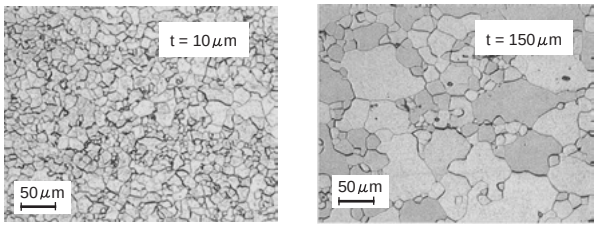

Fig. 2　Iron loss and thickness

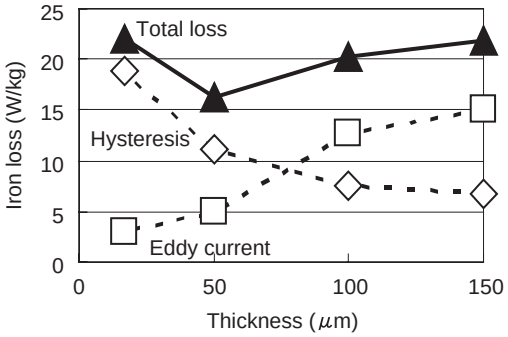

Fig. 3　Microstructure

た．各種絶縁処理を評価した結果，酸化被膜が最も渦損を低減できた．本皮膜は磁気焼鈍後に熱処理工程を追加し製膜した．

積層材の固定は，かしめや溶接はひずみによる鉄損上昇を招くために接着とした．接着剤には接着強度，薄さ，耐熱耐油性が必要で，低粘度の耐熱接着剤を新規開発し適用した．Fig. 4に絶縁被膜層を示す．両面の絶縁層と接着層をあわせ 3 μm と薄く，ステータの占積率を 97%以上確保できた．

2.2. 熱処理および積層プロセス

磁気焼鈍の熱で固定治具が凝着し変形するため，新たに通気性のあるセラミックを用い変形を抑制した．本工法にて数台分のステータを同時に熱処理できた．

FeCo材は磁気焼鈍により規則不規則変態を起こし，処理前後で寸法が変化する．熱処理前に熱変形を見込んだ金型で加工しプレス精度を確保した．

接着後の端面の平面度確保が困難であったが，治具の高精度化，真空脱泡，転積と積み手順の最適化により，部品精度を確保した．

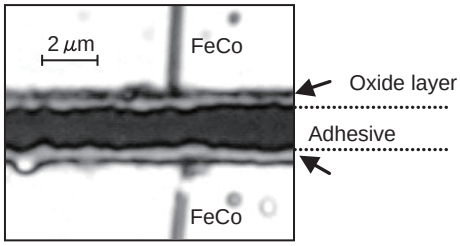

Fig. 4　Surface treatment and adhesive layer

3．性能効果

ステータコア実体の磁気特性確認のため，コアのヨーク部に銅線を巻き，直流 BH 特性と鉄損値を測定した．試験体の外観を Fig. 5 に示す．結果磁束密度 B50 は 2.0 T 以上，鉄損 W10/400 で 12 W/kg 以下と目標達成した．本材料を用いたモータは Si 鋼板比でトルクを 15%向上し，20%小型化できた．

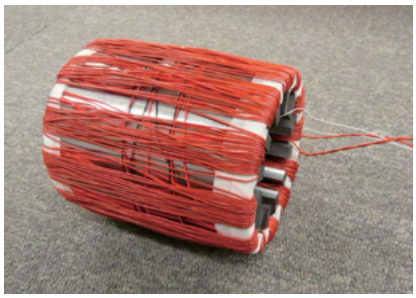

Fig. 5　BH measurement sample

4．結論

（1）既存の FeCo 材をベースに，板厚組織最適化と表面処理を開発し高磁束密度と低鉄損を両立した．
（2）寸法精度を満足しかつ高い生産性を有する極薄積層材の加工工程を開発した．
（3）モータを 20 %小型化した．

参考文献

（1）松岡秀夫:わかる電磁鋼板，新日本製鐵株式会社，P.40 (1985)

謝　　辞

本部品の製造工程確立にご協力いただいた，株式会社ジェフテックの方々に感謝の意を表します．

■著　者■

三好 健宏