

A grain-oriented electrical steel RGE without forsterite ( $Mg_2SiO_4$ ) undercoating is recently developed aiming at the application to EI lamination transformer cores. The life of stamping dies in using RGE sheet is ten times longer than in using conventional grain-oriented steel sheet with forsterite undercoating. The iron loss of EI core stamped from RGE

## 1 はじめに

EI コアは小型変圧器の鉄心として一般的に使用されている。EI コアはE片とI片を組み合わせ積層して閉磁路となし、巻線を施すことにより製造される。E片とI片とは、図1に示されるような方式で、連続的に打抜加工により効率良く製造されている。この打抜方式は材料歩留の高い経済的な方法であり、さらに巻鉄心の作製に比べて、鉄心の組立作業と巻線作業を効率的に行えることもあり、電磁鋼板に限らず、フェライトやパーマロイなどの軟磁性材料を使用した変圧器の鉄心形状としても広く用いられている。

EI コアに適用する鉄心材料としては、家庭用の小型電気機器の電源アダプタを主用途として、Si含有量の低い低級グレードの無方向性電磁鋼板が主に用いられている。EI コアの磁気回路において、E片の縦方向にあたる1/5の長さ部分は圧延直角方向に一致し、残りの約4/5の長さが圧延方向となる。このようにEI

とその直前の工程である脱炭焼鈍工程で形成されたSiO

MgO<sub>2</sub>との固相化学反応により形成される。また方向性電磁鋼板の最終工程ではリン酸塩とコロイダルシリカからなる張力被膜を形成させ、鋼板への絶縁性を付与するとともに鋼板に張力を付与して鉄損を低減している。フォステライト被膜は、この張力被膜の鋼板への密着性を強

固にするバインダーとしての働きをも担っている。しかしフォルステライト被膜は極めて硬質であるため、打抜加工に使用する金型の寿命は無方向性電磁鋼板に比べて著しく短いという問題がある。

このため方向性電磁鋼板を EI コアに打抜加工を行う需要家においては、フォルステライト被膜を有しない方向性電磁鋼板が熟望されてきた。当社は、そのような需要家の要求に応えるため、フォルステライト被膜を有しない方向性電磁鋼板 RGE をこのほど開発した。

## 2 加工性の評価

表面に硬質被膜を有しない RGE の打抜加工性を、フォルステライト被膜を有する汎用方向性電磁鋼板 (CGO) と比較して調査した。RGE の表面には通常の無方向性電磁鋼板と同等の、鋼板に張力を付与しないリン酸塩系の無機系コーティングが施されている。

調査はスチール (SKD11) で作製した打抜金型により  $\phi 15$  mm 試



るようになるので、圧延直角方向の鉄損の寄与が増加してくるため、圧延直角方向の鉄損が極めて良好な RGE が CGO よりも良好な EI コア鉄損を示すものと考えられる。

バット積みの場合、磁束は必ず E 片縦方向部分を流れるので、圧延直角方向の鉄損が極めて優れた RGE が CGO より優れた EI コア鉄損を示すものと考えられる。

## 5 張力コーティングが圧延直角方向磁気特性に及ぼす影響

RGE と CGO との違いの最も本質的な点は表面状態の違いにある。CGO ではフォスフェイト被膜、その上にリン酸塩系の張力を有する絶縁被膜が施されている。これらの被膜の厚みは合計で約  $2.5\mu\text{m}$  であり、 $5\text{MPa}$  程度の張力が鋼板に付与されている<sup>1)</sup>。RGE では無方向性電磁鋼板と同等の絶縁被膜が施されている。絶縁被膜の種類としては打抜性を重視する場合には、半有機系の絶縁被膜を、すべり性および溶接性を重視する場合には無機系の絶縁被膜を施す。しかし、いずれも鋼板への張力付与効果はない。

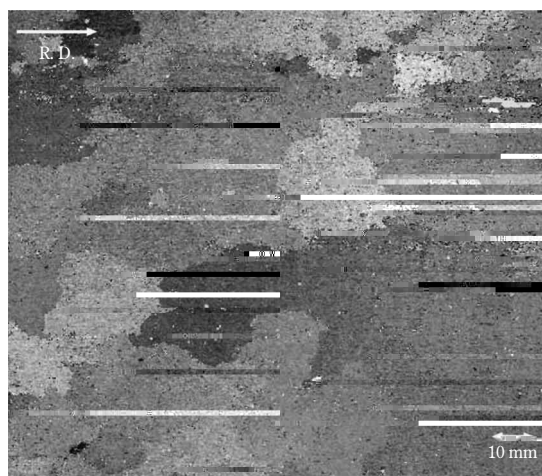


Photo 2 Macro structure of RGE sheet

は圧延方向の磁化を容易にするが、圧延直角方向の磁化を困難にする。RGE の場合、張力被膜が存在しないため、圧延直角方向に磁化成分を有する 90° 磁区が豊富に存在し、圧延直角方向の磁化が容易に行われているものと考えられる。また二次再結晶粒内に存在する微細結晶粒の存在も、周囲と異なる結晶方位を有するため、90° 磁区の生成に有利と考えられ、圧延直角方向の磁気特性改善に寄与しているものと推定される。

## 高周波鉄損

電磁鋼板を使用する EI コアの用途として、パソコンなどの電源における高調波ノイズを除去する素子であるチョークコイルの鉄心用途が増加しつつある。ノイズ規制の厳しい用途を中心に、ノイズの除去性を向上し、かつコアからの発熱を抑制するために方向性電磁鋼板が使用されている。このチョークコイル用途の場合、数百 Hz 程度の高周波における鉄損が良好なことが、ノイズの除去性能向上や発熱量の減少に有利である。

Table 2 に、RGE と CGO について素材の圧延方向、圧延直角方向の高周波鉄損の比較、さらに、3 章に述べた EI コアについて 1073 K、2h の歪み取り焼鈍後の高周波鉄損を比較した結果を示す。

に示されるように、RGE は圧延方向においても CGO よりも良好な鉄損であり、圧延直角方向の鉄損の寄与もある EI コアにおいてはさらに優位性を増していることが分かる。このように RGE は高周波鉄損が良好であるため、チョークコイルに適用した場合に特に良好なノイズ除去性と発熱量の抑制とが期待される。

高周波特性が良好な理由については、RGE にはフォルステライト被膜が存在しないので表面の平滑性に優れている影響と考えられる。

## まとめ

新規に開発した表面に硬質なフォルステライト被膜を有しない RGE は、EI コアに適用した場合、以下に示すような利点がある。

(1) つ、A 支両 益考 ; 善息全育蚤敵 藕欽頤 牙 / 順 幸 酋 圭