

保磁力発現機構解明による純鉄圧粉磁心低鉄損化に関する研究

高下, 拓也

<https://hdl.handle.net/2324/4496035>

出版情報：九州大学, 2021, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

氏 名 : 高下拓也

論 文 名 : 保磁力発現機構解明による純鉄圧粉磁心低鉄損化に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では車載用途への適用拡大が期待されている圧粉磁心について、主要な磁気損失（鉄損）成分であるヒステリシス損の低減を目的に、ヒステリシス損の原因である保磁力支配因子について解析を行った。本論文は8章から構成され、第1章で研究背景、第8章で結論をまとめている。第2～7章における検討は以下に示すとおりである。

第2章 保磁力発現機構

従来の軟磁性材料の保磁力に及ぼす全ての微視組織因子についての知見を整理した。個々の微視組織因子については結晶粒界、気孔、転位密度および介在物の寄与に切り分けて従来知見の整理と、圧粉磁心に適用する上での課題を明確化した。また、Pfeiferらの保磁力に関するモデル式をもとに保磁力は個々の微視組織因子に起因する成分の和として示されると仮定した保磁力のモデル式を提案し、圧粉磁心に適用することを本研究の目的と位置付けた。

第3章 圧粉磁心の保磁力に及ぼす結晶粒径の影響

同一組成かつ結晶粒径の異なる圧粉磁心および鋼板リング磁心を作製し、その結晶粒径の保磁力依存性を調査することによって以下の知見を得た。その結果、圧粉磁心、および鋼板リング磁心のいずれの場合も、保磁力は結晶粒径の逆数に比例することが示された。

第4章 保磁力に及ぼす圧粉磁心の気孔率の影響

気孔率の異なる純鉄圧粉磁心を試作し、気孔率が保磁力に及ぼす影響を定量的に評価した。さらに減磁過程における磁区観察によって気孔の磁壁移動を阻害するメカニズムについて考察を行った。その結果、純鉄圧粉磁心では高密度化による気孔率の低減により、逆磁区生成を抑制する粗大気孔が減少し、粒子間の接触界面等の逆磁区生成を促す狭い空隙が増加することによって、保磁力が低減されることが示唆された。

第5章 保磁力に及ぼす圧粉磁心の気孔率の影響

純鉄圧粉磁心の保磁力に及ぼす転位密度の影響を、結晶粒径や介在物の影響から分離して評価することを試みた。結晶粒ごとに転位密度が異なる不均一な微視組織についても、磁壁ピンニングモデルを用いることによって、保磁力と微視組織の関係を定量的に説明できることが示された。

第6章 保磁力に及ぼす圧粉磁心の介在物の影響

原料粉末へのSiの添加量を変化させることにより、介在物量の異なる圧粉磁心を作製した。更に、その保磁力と微視組織を評価し、Pfeiferらのモデルに当てはめることによって微視組織中の個々の寄与が保磁力へ及ぼす影響を定量的に分離し、介在物の寄与として分離された実験値と介在物を考慮した磁壁移動モデルをもとに試算された理論値の比較を行った。その結果、介在物による保磁力増大が磁壁面積の変化によるとする Kersten model と良い一致を示した。

以上に示した第2章から本章までの研究により、ほぼ全ての微視組織因子の圧粉磁心の保磁力に

対する影響が定量化され、保磁力低減のための材料設計指針の導出が可能となった。

第7章 純鉄圧粉磁心の低損失化

前章までの知見を基にして主としてひずみの低減および結晶粒径粗大化の低減による圧粉磁心の低鉄損化を試みた。検討を行う上で、保磁力をヒステリシス損へ拡張し、残部の鉄損成分である渦電流損の定式化を行った。ヒステリシス損と渦電流損のバランスを考慮し、鉄損が最小となる熱処理温度が 873 K であることを見出した。更に原料粉の平均粒子径が $d_{p_50}=75.8 \mu\text{m}$ において最小の鉄損, 66.7 W kg^{-1} を示した。この鉄損は汎用的な板厚 0.35 mm の電磁鋼板に匹敵する。

以上により、圧粉磁心の保磁力を個々の微視組織因子に起因する成分の和として定量化し、各成分ごとに保磁力低減のための組織制御手法を検討し、原料鉄粉の粉体特性および圧粉磁心の製造プロセスを適正化することによって、電磁鋼板に匹敵する鉄損を有する圧粉磁心が作製可能であることを示した。また、本研究により圧粉磁心の鉄損と原料粉末の物性値および圧粉磁心のプロセスパラメータとの直接的な相関付けが可能となり、低鉄損化のための指針を明確に示すことが出来た。更に、本知見は他の軟磁性材料についても適用が可能であり、各材料に特有な構造因子の保磁力に対する寄与度の定量的推定が可能となる。これによって、軟磁性材料全般の低鉄損化に関する研究が大きく発展することが期待される。