


## 学 位 論 文 の 要 旨

専攻名	工学	ふりがな氏名	きのした つくる 木下 創 
学位論文題目	無方向性電磁鋼板の強磁場中熱処理による磁気特性制御に関する研究		
<p>本研究は、電動機の高効率化に向けた基礎的検討として、電動機の特性に大きく寄与すると考えられる電磁鋼板の低鉄損化、高透磁率化および磁気異方性の高度活用に着目し、無方向性電磁鋼板の強磁場中熱処理による誘導磁気異方性を用いた磁気特性制御に関する検討を行った。本論文では、電動機の実出力トルクを確保することを念頭に、市販の電磁鋼板の中でも比較的高飽和磁束密度を有する低 Si 濃度材料の電磁鋼板を選定し、強磁場下での熱処理により、特異な磁気特性を発現させることを試みた。この結果、無方向性電磁鋼板は強磁場中で熱処理されることにより、無磁場中熱処理とは異なる磁気特性を有することが明らかとなった。この、磁場の有無による磁気特性の変化について、集合組織および磁区構造の評価を通して考察を行った。これら一連の、無方向性電磁鋼板に対する強磁場中熱処理の評価により、従来とは異なる現象が確認され、軟磁性材料に関連する基礎的な理解を深めることができたといえる。以下に、本論文の要旨をまとめる。</p> <p>第1章では、本研究の社会的背景と意義、また先行研究による到達点および課題について言及し、それらの内容を踏まえて、本研究の目的を述べた。さらに、本研究で取り扱う磁気特性を定義し、各々の磁気特性に対する制御手法の基本的な考え方について明らかにした。</p> <p>第2章では、強磁場下での熱処理における諸現象について検討を行い、結晶粒成長の基本モデルから、従来の規則格子場における隣接原子対の再配列による誘導磁気異方性に加えて、結晶磁気異方性を誘発する可能性について理論的な調査を行った。その結果、優先的に成長する結晶面方位を特定するとともに、熱処理中の強磁場が結晶粒界の移動度に作用することで、二次再結晶の駆動力に影響を及ぼすことを明らかにし、選択的な結晶粒成長が可能であることを示した。この選択的結晶粒成長により、磁気特性の制御を基本的な方針を示した。</p> <p>第3章では、強磁場中熱処理試料の作製方法と磁気特性測定技術およびそれを用いた磁気特性測定について検討を行った。強磁場中熱処理試料を製作するための磁場中冷却装置は、超伝導マグネットと熱処理炉を組み合わせることで、十分に均一な温度、磁場中での熱処理が可能であることを示した。しかしながら、熱処理装置の制約により、JIS で規定される標準的な磁気特性測定に用いられる大きさの試料の製作が行えない。そこで、磁場中熱処理試料の磁気特</p>			

性を評価するために、1次元磁気特性評価用の小型 SST と 2次元磁気特性評価用の R-SST を開発し、10mm×50mm および□10mm の試料の磁気特性評価が可能であることを示した。

開発した磁気特性評価システムを用いて磁場中熱処理試料の磁気特性評価を行い、熱処理中の磁場印加効果により磁気特性は変化し、磁気特性制御を行う上で、強磁場中熱処理が有効な手段であることが、実験的にも確認された。また、磁場中熱処理効果は熱処理温度、磁場強度、磁場方向と材料方位の関係、材料の組成および磁場を印加するタイミングにより異なることが明らかとなった。それぞれの条件によって熱処理された試料の磁気特性測定結果を蓄積し、分析して最適な磁場中熱処理条件の探索を行った結果、TD に磁場を印加して熱処理を施した無方向性電磁鋼板において、均一な面内磁気特性が得られ、低鉄損、高透磁率、小磁気異方性を目的とした磁気特性制御の目標を達成した。

第4章では、X線回折測定およびEBSDによる集合組織の観察と縦Kerr効果を利用した、偏光顕微鏡による磁区観察方法の検討と、それらを用いた試料の集合組織および磁区構造の評価を通して、第3章で得られた磁気特性に対して考察を行った。X線回折測定結果とEBSD測定結果は同様の結果を示し、両手法とも有効な手段であることを確認した。集合組織分析の結果、磁場中熱処理による磁気特性の変化は、二次再結晶による結晶粒成長の抑制効果および電磁鋼板面内での結晶方位の回転に起因することを示した。さらに、結晶粒の回転はSi濃度が2wt%以上の電磁鋼板において観測されるが、低Si濃度材料では起きないことや、必ずしも結晶磁気異方性エネルギーが小さくなる方位に回転するわけではないことが示された。これは、従来の理論であるSi-Si原子対の再配列による誘導磁気異方性の効果であると考えられ、面内結晶方位の回転と規則性原子の再配列は独立した現象であり、それぞれの改質処理を行うことで、磁気特性の制御性をさらに向上させる可能性を示した。

第5章では、各章の結言を要約し、本研究の主要な知見をまとめて総括とした。さらに、残された研究課題と将来に向けた展望を明確にした。

【1930文字(語)】

(注) 和文 2,000 字又は英文 800 語以内

続紙 有 無

## 学位論文審査結果の要旨

専攻	工学専攻	氏名	木下 創
論文題目	無方向性電磁鋼板の強磁場中熱処理による磁気特性制御に関する研究		
主査	戸高 孝		
審査委員	秋田 昌憲		
審査委員	小川 幸吉		
審査委員	槌田 雄二		
審査結果の要旨 (1000字以内)			
<p>電動機の高効率化に向けた取組として、その特性に大きく寄与する電磁鋼板の低鉄損化、高透磁率化および磁気異方性の高度活用に着目し、無方向性電磁鋼板の強磁場中熱処理による誘導磁気異方性を用いた磁気特性制御に関する検討を行った。電動機鉄心の磁場中熱処理による磁気特性制御が可能となれば、内部組織の改変によって電動機鉄心に適した磁気特性を実現できる。</p> <p>可能性の検証として、結晶粒成長の数値モデルを用いて、従来の規則格子場における隣接原子対の再配列による誘導磁気異方性に加えて、結晶磁気異方性を誘発する可能性について理論的な解析を行い、優先的に成長する結晶面方位を特定するとともに、熱処理中の強磁場が結晶粒界の移動度に作用することで、二次再結晶の駆動力に影響を及ぼすことを明らかにし、選択的な結晶粒成長が可能であることを示した。</p> <p>強磁場中熱処理には、超伝導マグネットと熱処理炉を組み合わせた装置を用い、磁場中熱処理試料の磁気特性を評価するために小型磁気試験器を開発した。開発した磁気特性評価システムを用いて磁場中熱処理試料の磁気特性評価を行い、熱処理中の磁場印加効果により、磁気特性制御を行う上で強磁場中熱処理が有効な手段であることを実験的に実証した。また、磁場中熱処理効果は熱処理温度、磁場強度、磁場方向と材料方位の関係、材料の組成および磁場印加のタイミングにより異なることを明らかにした。様々な条件で磁場中熱処理した試料の特性を分析し、最適な磁場中熱処理条件の探索を行った結果、圧延垂直方向に10Tの磁場を印加して850℃の熱処理を施した無方向性電磁鋼板において、均一な面内磁気特性が得られ、低鉄損、高透磁率、小磁気異方性を目的とした磁気特性制御の目標を達成した。さらに、X線回折とEBSD測定による集合組織分析の結果、磁場中熱処理による磁気特性の変化は、二次再結晶による結晶粒成長の抑制効果および電磁鋼板面内での結晶方位の回転に起因することを示した。</p> <p>本審査ではモデリングや計測方法とその精度について、公聴会では実用化に向けた位置づけについて質問が行われたが、いずれも的確に答えられ、十分な研究資質を備えていることを示した。以上の審査結果を踏まえて、本研究は将来の電動機の低損失化・高効率化技術の発展に大きく寄与するものであると高く評価できる。よって、審査委員会は本研究論文が博士(工学)の学位論文として相応しいものと判断した。</p>			