

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：13701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21042

研究課題名(和文)加工で生じる残留応力を低減させ、鉄損増加を抑制した高効率回転機コアの新製法研究

研究課題名(英文)High efficient motor core suppress iron loss increment by reducing residual stress from process

研究代表者

尹 己烈 (YUN, KYYOU)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号：50596020

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：Zirconium()Butoxideを用いて電磁鋼板を接着させた試料の磁気特性を測定した。その結果、35A270の場合、放電加工によって短冊状に切断した試料は焼き鈍しても磁気特性の変化はほとんど無かった。またセラミックス前駆体を用いて接着した試料も材料では磁気特性はほとんどかわらなかつた。つまり35A270の場合、焼鈍による磁気特性の改善が無い状態でセラミックス絶縁層によって磁気特性が悪化することも無いことが明らかになった。したがって、35A270を用いてセラミックス前駆体でモータコアを作る場合、絶縁層の厚みがコアの特性に直結することが分かった。

研究成果の概要(英文)：a new metal bonding method using a ceramic precursor (titanium tetraisopropoxide and Zirconium butoxide) were proposed. The magnetic properties of toroidal core such as hysteresis curve, residual magnetization, coercive force, iron loss are deteriorated by interlocking and thermal inserting process after punching process. It is from the residual stress of each process. Magnetic properties of ceramic bonded toroidal core with DC magnetization are reduced by 40 % compared with as punched core. Because ceramic bonding process includes the stress relief heat treatment at 750 degree for 2 h in a reducing atmosphere. Eddy current loss is increased incredibly. Because ceramic bonded insulation layer is not sufficiently formed.

研究分野：磁性材料

キーワード：モータコア 鉄損増加抑制 セラミック前駆体 加工応力

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災後、原子力発電の安全性問題によって発電所の稼働中止など厳しい電力供給事情へ対応が緊迫になった。国内電力消費は 9,996 億 kWh であり、57.3% である 5,728 億 kWh を回転機(モータや発電機など電気を利用して回転力を発生する装置、または回転力を利用して電気を発生する装置。回転機の効率は出力によって異なる。現在常用回転機の場合、小型は 90%、大型は 96% の効率を持っているが、欧米では更なる回転機の効率向上を要求している)が消費(富士経済、2009 年)している。「回転機損失」を低減することで電気エネルギーの利用効率上昇可能であり、浮いた分ほかのどこかで利用できることからネガワット(負(ネガティブ)の電力(ワット)を意味する造語で、需要家の節約により余剰となった電力を発電したことと同等にみなす考え方。回転機(特にモータ)の効率が 1% 上がると原子力発電所約 1 基が発電する電気エネルギーを補うことが可能である)が実現できる。

2. 研究の目的

回転機コアに使用されている電磁鋼板は残留応力によって磁気特性が悪化されるので、高い占積率を持ちながら材料の残留応力が発生する従来の回転機製法を減らし、鉄損を抑制する必要がある。しかしながら現在の回転機製作工程では残留応力を減らす方法が熱処理による低減方法や電磁鋼板の絶縁皮膜を塗布するとき張力をかける方法しかない。これらによる鉄損増加を抑制する効果は大きくない。新しい回転機コアの製作方法が必要である。

3. 研究の方法

課題 1) 材料特性解明および材料接合法確立

A) 絶縁膜の生成原理解明

バレル窒化法を用いた絶縁膜を含んだ電磁鋼板複合材料は界面に投入するアルミインサートの厚みによって図 3 のように絶縁膜の形状が大きく変化する。→ 絶縁特性が悪化する可能性がある。→ 生成される絶縁膜を制御し、均一な膜を得るためには窒化層の生成原理を明らかにする必要がある。

推定：現時点で予測できる反応は炉内の Al-Mg 粉末(溶融点は約 470℃)が 640℃ で溶け、窒素を含む。窒素を含んだ熔融液が電磁鋼板 - アルミ板の界面に毛細管現象で入り、電磁鋼板およびアルミ表面の酸化膜を透過し材料内部に拡散すると考えている。

●分析方法：XRD、EDS、EPMA などの分析装置で生成原理を解明する。

□バレル窒化法：比較的低温(約 640℃)でアルミ表面を窒化する方法。窒素雰囲気攪拌電気炉でアルミナと Al-Mg 粉末でアルミ表面を減摩しながら窒化する方法。

B) 界面に生じる絶縁膜の均一化

a) 0.1mm のアルミ板を使用した場合、大きい空洞(図 3 の中央下部)、絶縁層の分散(図 2)の問題が生じる。→ 5μm 以下の緻密な絶縁膜が必要。

b) Fe-Al 層は強磁性体であり、この層が電磁鋼板の特性を悪化させる可能性がある。→ 窒化層および Fe-Al 層の制御が必要。

●分析方法：ドメインスコープ(Kerr 効果)、MFM などで磁区構造を分析する。

C) リング試料製作用の装置改良

現在使用しているバレル窒化装置は板材あるいは小さい角形材料(50 mm × 10 mm × 2.5 mm)を作る装置である。→ 磁気特性を計るリング試料の規格に備える必要がある。

●解決方法：バレル窒化装置の電気炉および窒化容器をスケールアップすることで解決可能。

4. 研究成果

歪み取り焼鈍によって残留応力を抑制しながら絶縁膜を生成する電磁鋼板の接合法を実施した。提案した方法で IJMMSE の学会誌に査読つき論文として掲載された。しかし国内発表などでは「時間がかかりすぎる」、「工程が複雑である」、「特集な設備が必要」など改選すべき部分が多々あった。

バレル窒化装置の改善は順調に進んでおり、内径が 300mm 以上のトロイダルコアが製作可能なガス雰囲気電気炉は 28 年度前半に完成できる見込みである。

そのほか、電磁鋼板を用いた新たなモータコアへの可能性を海外で発信した。Soft Magnetic Materials Conference 22 では最後の学会要約で取り上げられるくらいに世界中の学者たちにいい評価を得られた。国内ではマグネティックス研究会および電気学会全国大会で発表し国内に向け発信をした結果いろいろな学者や企業の方々に興味をもたせるテーマであった。

全体的には最初の目標である「歪み取り焼鈍時に窒化処理を行うことで電磁鋼板間に窒化物の絶縁層を生成する新たな回転機コアの製作方法を確立する」という大きな目標を達成することまでには至っていない。工業的には向いてない方法であることが分かったが学術的には研究を続ける価値があることが国内外の発表で分かったことが 27 年度の大きい成果であると判断する。

電気エネルギーの節約に直結する、回転機(モータ、発電機など)の効率を上げる方法はいろいろある。その一つが回転機を稼働するとき、回転機コア(ステータコア、ロータコア)に生じる鉄損増加を抑制することである。鉄損は回転機コアを励磁するとき生じるが、残留応力によって劣化する。この残留応力は、従来の回転機製法であるカシメ、溶接、焼きばめなどの加工によって生じてしまう。そ

ここで、本研究では、「絶縁皮膜を除去した電磁鋼板間に窒化物の絶縁層ができる金属接合方法」を用いて残留応力を低減し鉄損増加を抑制した「新たな回転機コアの製作方法を確立すること」を研究目的とする。歪み取り焼鈍によって残留応力を抑制しながら絶縁膜を生成する電磁鋼板の接合方法を実施した。提案した方法で去年指摘された加工時間の長さ、工程の複雑さや設備の簡略化をすることが難しかったので接着方法をセラミックス前駆体を用いて接着する方法も追加で実施した。セラミックス前駆体を用いた接着方法は 61st Annual Conference on Magnetic and Magnetic Materials, 電気学会全国大会およびマグネティックス研究会に発表を行なった。また IASET: IJMMCE に投稿し査読付き論文として掲載された。当初提案した方法では「歪み取り焼鈍時に窒化処理を行なうことで電磁鋼板間に窒化物の絶縁層を生成する新たな回転機コアの製作方法を確立する」という大きな目標を達成できていない。しかしセラミックス前駆体を用いて電磁鋼板を接着することで歪み取り焼鈍と接着を同時にすることが可能となった。

セラミックス前駆体を用いて電磁鋼板を接着することに成功し、加工による鉄損増加を抑制する見込みがあることを発表した。本稿では放電加工後にも歪み取り焼鈍が行われた場合、材料およびコアにどのような影響を及ぼすかその結果を示す。

Zirconium()Butoxide を用いて電磁鋼板を接着させた試料の磁気特性を測定した。その結果、35A270 の場合、放電加工によって短冊状に切断した試料は焼き鈍しても磁気特性の変化はほとんど無かった。またセラミックス前駆体を用いて接着した試料も材料では磁気特性はほとんどかわらなかった。つまり 35A270 の場合、焼鈍による磁気特性の改善が無い状態でセラミックス絶縁層によって磁気特性が悪化することも無いことが明らかになった。したがって、35A270 を用いてセラミックス前駆体でモータコアを作る場合、絶縁層の厚みがコアの特性に直結することが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

(1) Yun Kyyoul, Yanase Shunji, Ban Takayuki, Ohya Yutaka, New Soft Magnetic Material Bonding Approach Using Ceramic Precursors and Ceramic Nanopowder, IEEE Transactions on Magnetics, 査読有, Vol. 53, 2017, pp.1-4, DOI: 10.1109/TMAG.2017.2720139.

(2) KYYOUL YUN, MASAKI HIRANO,

SHUNJI YANASE & YUTAKA OHYA, NEW FABRICATION METHOD SUGGESTION OF THE MOTOR CORE USING CERAMIC PRECURSOR, IJMMSE, 査読有 Vol. 6, Issue 3, 2016, pp. 1-8.

(3) KYYOUL YUN, JUNGHYUN KONG, SHUNJI YANASE & MASAHIRO OKUMIYA, NEW FABRICATION METHOD SUGGESTION OF THE MOTOR CORE WITH DISSIMILAR METAL BONDING METHOD, IASET: IJMMCE, 査読有, Vol. 1, Issue 3, 2016, pp. 1-8.

〔学会発表〕(計 4 件)

(1) 平野 雅貴, 尹 己烈, 柳瀬 俊次, 大矢 豊, “セラミックゾルを用いた接着コアの磁気特性”, 電気学会全国大会, 2-096, 2016.

(2) 尹 己烈, 平野 雅貴, 柳瀬 俊次, 大矢 豊, “セラミックス絶縁層による電磁鋼板の接着方法”, 電気学会マグネティックス研究会, MAG-16-212, LD-16-147, 2016.

(3) 平野 雅貴, 尹 己烈, 柳瀬 俊次, 大矢 豊, “モータコアのための新しい金属接着法”, 電気学会マグネティックス研究会, MAG-15-192, LD-15-102, 2015.

(4) KYYOUL YUN, MASAKI HIRANO, SHUNJI YANASE & YUTAKA OHYA, “New Fabrication Method Suggestion of the Motor Core using ceramic precursor”, Proceedings of 22nd Soft Magnetic Materials Conference, 2015.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: コア及びその製造方法
 発明者: 尹 己烈、柳瀬 俊次、大矢 豊
 権利者: 岐阜大学
 種類: 特許
 番号: 特願 2015-178969
 出願年月日: 平成 27 年 9 月 10 日(2015.9.10)
 国内外の別: 国内

取得状況 (計 1 件)

名称: コア及びその製造方法
 発明者: 尹 己烈、柳瀬 俊次、大矢 豊
 権利者: 岐阜大学
 種類: 特許
 番号: 特開 2017-054997
 出願年月日: 平成 29 年 3 月 16 日(2017.3.16)
 国内外の別: 国内

〔その他〕
 ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

尹 己烈 (YUN KYYOUL)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号：50596020