

明 細 書

発明の名称：

回転電機、ステータの鉄心及びロータの鉄心のセット、回転電機の製造方法、ステータ用無方向性電磁鋼板及びロータ用無方向性電磁鋼板の製造方法、ステータ及びロータの製造方法、及び、無方向性電磁鋼板のセット

技術分野

[0001] 本発明は回転電機、ステータの鉄心及びロータの鉄心のセット、回転電機の製造方法、ステータ用無方向性電磁鋼板及びロータ用無方向性電磁鋼板の製造方法、ステータ及びロータの製造方法、及び、無方向性電磁鋼板のセットに関する。

本願は、2021年3月31日に、日本に出願された特願2021-061620号及び2021年6月4日に、日本に出願された特願2021-094807号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] ステータ鉄心が筐体に收容されたモータの特性を改善する種々の技術が知られている。例えば、非特許文献1には、ステータ鉄心のティース部に巻き回されたコイルの銅損により発生した熱が、ステータ鉄心を介してステータ鉄心の外周に沿って配置される筐体から大気、または冷却ジャケットに通水される冷却水に放熱されることが記載されている。さらに、非特許文献1には、車両に搭載されるモータにおいて急坂路を登るとき等の高トルク領域が多用されて銅損が支配的な状態で、筐体までの熱伝導経路が長いコイルエンドの温度上昇が、モータの出力を制限する要因になることが記載されている。

[0003] 非特許文献2および非特許文献3には、コイルエンドの温度上昇を抑制するために、動力電動部および軸受等を潤滑するATF（Automatic Transmission Fluid）によりモータを冷却して、コイルエンドからの放熱特性を改善する技術が記載されている。

[0004] また、打抜き加工およびシェーピング加工等の種々の成形加工が施された鋼板を積層することによりモータのステータ鉄心を成形する種々の技術が知られている。例えば、特許文献1には、打抜き加工が施された端面に1回当たり被加工板材の板厚の5～25%に相当する領域を除去するシェーピング加工を施して、被加工板材の板厚の40～60%に相当する領域を除去する技術が記載される。特許文献1に記載される技術によれば、被加工板材の板厚に対して所定の割合に相当する領域を除去することで、回転電機鉄心を焼鈍することなく、低鉄損の回転電機鉄心を得ることができる。但し、所定の割合に相当する領域を除去するに際して、若干の歩留り低下を余儀なくされる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：日本国特許第5598062号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：「HV駆動用モータの高出力密度化に関する研究」、神谷宗宏、博士論文、2008年

非特許文献2：「ハイブリッド電気自動車（HEV）のATFを用いたモータ冷却構造の熱解析」、鬼丸貞久、松井啓仁、田口知成、大高健二、市岡英二、水谷竜彦、自動車技術会、学術講演会前刷集、No. 68-06、P. 19-24、2006

非特許文献3：“Development of a new hybrid transmission for FWD sports Utility Vehicles”, Hata, H., Kojima, M., Watanabe, H., Mizutani, T. et al., SAE Technical Paper 2005-01-0272, 2005

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] モータにおいて鉄損および銅損等により温度が上昇すると、絶縁破壊の発生、磁石の減磁、および銅損増加等の種々の不具合が発生するおそれが高く

なるため、巻線およびステータ鉄心等は、効率的に冷却されることが好ましい。ステータ鉄心の熱伝導率又は熱拡散率は空気の熱伝導率又は熱拡散率よりも高いため、巻線およびステータ鉄心等で発生した熱の多くは、ステータ鉄心を介してモータの外部に放散される。ステータ鉄心が筐体に收容されたモータでは、巻線およびステータ鉄心等で発生した熱の多くは、筐体を介して放散されるため、ステータ鉄心と筐体との間の熱伝導特性は、良好であることが好ましい。

一方で、ロータは、熱伝導率又は熱拡散率が低いと温度上昇により、鉄損は低下するのでこの観点では熱伝導率又は熱拡散率が低い方が好ましい。これらの熱伝導率又は熱拡散率の特性を活かしたモータはない。

[0008] そこで、本発明は、銅線のあるステータの熱伝導率又は熱拡散率を上げて銅損の増加を防ぎ、ロータは熱伝導率又は熱拡散率を下げて発熱による鉄損低下を行うことで、ステータ鉄心と筐体との間の熱伝導特性又は熱拡散特性を向上させつつ、モータの効率を高める技術を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明は、上記課題を解決するため、以下を要旨とするものである。

(1) 本発明の第一の態様は、ステータと、ロータと、前記ステータ及び前記ロータを收容する筐体とを有し、

条件 1 . . . 前記ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱伝導率 A が、 $12 \sim 35 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、前記ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱伝導率 B が、 $10 \sim 33 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であって、且つ両者の熱伝導率が、式 (1) : $A > B$ の関係

条件 2 . . . 前記ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱拡散率 A_1 が、 $3.0 \times 10^{-6} \sim 9.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、前記ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱拡散率 B_1 が、 $2.5 \times 10^{-6} \sim 8.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であって、且つ両者の熱拡散率が、式 (3) : $A_1 > B_1$ の関係

の少なくとも一つを満たす回転電機である。

(2) 上記(1)に記載の回転電機では、前記条件1を満たしてもよい。

(3) 上記(1)に記載の回転電機では、前記条件2を満たしてもよい。

(4) 上記(1)～(3)のいずれか一項に記載の回転電機では、前記ステータの鉄心及び前記ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、C：0.0100%以下、Si：2.6%以上4.5%以下、Mn：0.1%以上3.0%以下、P：0.15%以下、S：0.0030%以下、N：0.0040%以下、Al：0.1%以上2.0%以下、Sn及びSbから選択される1種以上：0～0.200%、Cr：0～0.400%、Ni：0～5.0%、Cu：0～5.0%、Ca：0～0.010%、Mg：0～0.0100%、希土類元素(REM)：0～0.010%、B：0～0.0050%、Ti：0.0030%以下、O：0.0200%以下、及び残部：Fe及び不純物から成ってもよい。

(5) 上記(4)に記載の回転電機では、前記ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の下記式(2)の値が、前記ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の式(2)の値よりも低くてもよい。

式(2)： $9.9 + 12.4 \times \text{Si (質量\%)} + 6.6 \times \text{Mn (質量\%)} + 10.0 \times \text{Al (質量\%)}$

(6) 上記(4)又は(5)に記載の回転電機では、前記無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、P：0.03%未満を含有してもよい。

(7) 上記(4)～(6)のいずれか一項に記載の回転電機では、前記無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、Cr：0.001～0.400%を含有し、式(4)を満たしてもよい。

式(4)： $\text{Cr (質量\%)} \times \text{O (質量\%)} < 8.0 \times 10^{-5}$

(8) 上記(1)～(7)のいずれか一項に記載の回転電機では、前記ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の結晶粒径が80μm未満であってもよい。

[0010] (9) 本発明の第二の態様は、上記(1)～(8)のいずれか一項に記載の回転電機に用いられる、ステータの鉄心及びロータの鉄心のセットである。

[0011] (10) 本発明の第三の態様は、上記(9)に記載のステータの鉄心及びロータの鉄心のセットを用いて回転電機を製造する回転電機の製造方法である。

。

[0012] (11) 本発明の第四の態様は、化学組成が、質量%で、C : 0.0100%以下、Si : 2.6%以上4.5%以下、Mn : 0.1%以上3.0%以下、P : 0.15%以下、S : 0.0030%以下、N : 0.0040%以下、Al : 0.1%以上2.0%以下、Sn及びSbから選択される1種以上 : 0~0.200%、Cr : 0~0.400%、Ni : 0~5.0%、Cu : 0~5.0%、Ca : 0~0.010%、Mg : 0~0.0100%、希土類元素(REM) : 0~0.010%、B : 0~0.0050%、Ti : 0.0030%以下、O : 0.0200%以下、及び残部 : Fe及び不純物から成る無方向性電磁鋼板を、製鋼、熱間圧延、熱間圧延板焼鈍、酸洗、冷間圧延、仕上焼鈍を含む工程で製造するに際し、式(1) : $A > B$ と式(3) : $A1 > B1$ の少なくとも一つを満たすように、前記仕上焼鈍の焼鈍温度を2種類設定し、前記ロータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度を600℃~900℃とし、且つ前記ステータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度よりも低くする、上記(1)に記載の回転電機のステータ用無方向性電磁鋼板及びロータ用無方向性電磁鋼板の製造方法である。

(12) 上記(11)に記載の回転電機のステータ用無方向性電磁鋼板及びロータ用無方向性電磁鋼板の製造方法では、前記式(1)を満たしてもよい。

(13) 上記(11)に記載の回転電機のステータ用無方向性電磁鋼板及びロータ用無方向性電磁鋼板の製造方法では、前記式(3)を満たしてもよい。

(14) 上記(11)~(13)のいずれか一項に記載の回転電機のステータ用無方向性電磁鋼板及びロータ用無方向性電磁鋼板の製造方法では、前記無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、P : 0.03%未満を含有してもよい。

(15) 上記(11)～(14)のいずれか一項に記載の回転電機のステータ用無方向性電磁鋼板及びロータ用無方向性電磁鋼板の製造方法では、前記無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、Cr:0.001～0.400%を含有してもよい。

[0013] (16) 本発明の第五の態様は、化学組成が、質量%で、C:0.0100%以下、Si:2.6%以上4.5%以下、Mn:0.1%以上3.0%以下、P:0.15%以下、S:0.0030%以下、N:0.0040%以下、Al:0.1%以上2.0%以下、Sn及びSbから選択される1種以上:0～0.200%、Cr:0～0.400%、Ni:0～5.0%、Cu:0～5.0%、Ca:0～0.010%、Mg:0～0.0100%及び、希土類元素(REM):0～0.010%、B:0～0.0050%、Ti:0.0030%以下、O:0.0200%以下、及び残部:Fe及び不純物から成る無方向性電磁鋼板を、製鋼、熱間圧延、熱間圧延板焼鈍、酸洗、冷間圧延、仕上焼鈍を含む工程で製造し、得られた無方向性電磁鋼板からステータに用いる素材とロータに用いる素材を打ち抜いて積層し、式(1): $A > B$ と式(3): $A1 > B1$ の少なくとも一つを満たすように、前記ステータのみに対し歪取り焼鈍を行う上記(1)に記載の回転電機のステータ及びロータの製造方法である。

(17) 上記(16)に記載の回転電機のステータ及びロータの製造方法では、前記式(1)を満たしてもよい。

(18) 上記(16)に記載の回転電機のステータ及びロータの製造方法では、前記式(3)を満たしてもよい。

(19) 上記(16)～(18)のいずれか一項に記載の回転電機のステータ及びロータの製造方法では、前記無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、P:0.03%未満を含有してもよい。

(20) 上記(16)～(19)のいずれか一項に記載の回転電機のステータ及びロータの製造方法では、前記無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、Cr:0.001～0.400%を含有してもよい。

[0014] (21) 本発明の第六の態様は、回転電機の鉄心素材に用いられる無方向性電磁鋼板のセットであって、

条件1・・・ステータ用の無方向性電磁鋼板の熱伝導率Aが、 $12 \sim 35 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、ロータ用の無方向性電磁鋼板の熱伝導率Bが、 $10 \sim 33 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であって、且つ両者の熱伝導率が、式(1)： $A > B$ の関係

条件2・・・前記ステータ用の無方向性電磁鋼板の熱拡散率A1が、 $3.0 \times 10^{-6} \sim 9.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、前記ロータ用の無方向性電磁鋼板の熱拡散率B1が、 $2.5 \times 10^{-6} \sim 8.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であって、且つ両者の熱拡散率が、式(3)： $A1 > B1$ の関係

の少なくとも一つを満たす。

(22) 上記(21)に記載の無方向性電磁鋼板のセットでは、前記条件1を満たしてもよい。

(23) 上記(21)に記載の無方向性電磁鋼板のセットでは、前記条件2を満たしてもよい。

(24) 上記(21)～(23)のいずれか一項に記載の無方向性電磁鋼板のセットでは、化学組成が、質量%で、C：0.0100%以下、Si：2.6%以上4.5%以下、Mn：0.1%以上3.0%以下、P：0.15%以下、S：0.0030%以下、N：0.0040%以下、Al：0.1%以上2.0%以下、Sn及びSbから選択される1種以上：0～0.200%、Cr：0～0.400%、Ni：0～5.0%、Cu：0～5.0%、Ca：0～0.010%、Mg：0～0.0100%、希土類元素(REM)：0～0.010%、B：0～0.0050%、Ti：0.0030%以下、O：0.0200%以下、及び残部：Fe及び不純物から成ってもよい。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、ステータ鉄心と筐体との間の熱伝導特性を向上させつつ

、モータ効率を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]実施例で使用されるモータの部分平面図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下に本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、特に断らない限り、数値 a および b について「 $a \sim b$ 」という表記は「 a 以上 b 以下」を意味する。かかる表記において数値 b のみに単位を付した場合には、当該単位が数値 a にも適用される。

[0018] 本発明の第一の実施形態は、以下の構成を備える回転電機である。

ステータと、ロータと、ステータ及びロータを収容する筐体とを有し、前記ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱伝導率 A が、 $12 \sim 35 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、前記ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱伝導率 B が、 $10 \sim 33 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であって、且つ両者の熱伝導率が、式 (1) : $A > B$ の関係式を満たすことを特徴とする回転電機。

また、本発明の第一の実施形態は、この回転電機に用いられるステータの鉄心及びロータの鉄心のセットも含む。

また、本発明の第一の実施形態は、上記ステータの鉄心及びロータの鉄心のセットを用いて回転電機を製造する回転電機の製造方法を含む。

[0019] 以下、本実施形態に係る回転電機について具体的に説明する。

本実施形態に係る回転電機は、少なくともステータと、ロータと、ステータおよびロータを収容する筐体とを有する。ステータ、ロータ、および筐体は、それらの形状、構成に関して特に限定されるものではなく、後述する構成（例えば熱伝導率、熱拡散率）を除き、通常の形状、構成を備える。

[0020] 本実施形態において、ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板は、 $12 \sim 35 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の熱伝導率 A を有し、ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板は、 $10 \sim 33 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の熱伝導率 B を有し、且つ両者の熱伝導率は、式 (1) : $A > B$ の関係 (条件 1) を満たす。ここで、熱伝導率は、温度勾配に対する熱流密度の比である。

本実施形態において、ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板およびロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱伝導率は次の方法によって測定できる。

- [0021] 熱伝導率の測定は、回転電機からステータ鉄心、ロータ鉄心を複数の鉄心素材に分解して得られる試料を用い、以下の様に実施する。なお、本願において熱伝導率とは回転電機の鉄心を構成する無方向性電磁鋼板の面内方向の室温における熱伝導率を指す。また、無方向性電磁鋼板が表面に絶縁皮膜を有している場合は、絶縁皮膜のある状態で測定する。
- [0022] 熱伝導率は直接測定せず、下記の式により求める。
- $$\text{熱伝導率} = \text{熱拡散率} \times \text{比熱} \times \text{密度}$$
- [0023] 熱拡散率はレーザフラッシュ法により求める。具体的には京都電子工業(株)製レーザフラッシュ法熱物性測定装置 L F A - 5 0 2 を用いて大気中にて測定する。この際の試料形状は $\phi 10 \text{ mm} \times$ 板厚の円盤状であり、測定時はこの試料を重ねずに鋼板 1 枚の状態で測定する。
- [0024] 比熱は示差走査型熱量計法 (D S C 法) により求める。具体的には N E T Z S C H 社製 D S C 3 5 0 0 S i r i u s を用いて A r 雰囲気中にて測定する。雰囲気ガスの流量は $50 \text{ mL} / \text{分}$ とする。この際の試料形状は $\phi 5 \text{ mm} \times$ 板厚の円盤状であり、測定時はこの試料を 2 枚重ねて測定する。
- [0025] 密度は熱拡散率測定用の試料の質量から体積を除いて求める。この時、熱拡散率測定用の試料の厚みはマイクロメータで求める。
- [0026] ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱伝導率 A は、 $12 \sim 35 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の範囲である。熱伝導率 A が $12 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ 未満であると、ステータの温度が上昇し、銅損の増加を招き、また $35 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ を超えると、実現するためには合金量を減らす必要があるため、鉄損の増加を招く。熱伝導率 A は、 $15 \sim 33 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の範囲であるのが好ましく、さらに好ましくは $17 \sim 26 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の範囲である。
- [0027] ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱伝導率 B は、 $10 \sim 33 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の範囲である。熱伝導率 B が $10 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ 未満であると、

ロータの発熱がステータに空気等を介して伝わり、銅損の増加を招き、また $33 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ を超えるとロータ自体が発熱しにくくなり、鉄損低減効果を得られなくなる。熱伝導率 B は、 $12 \sim 30 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の範囲であるのが好ましく、さらに好ましくは $15 \sim 24 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の範囲である。

[0028] 本実施形態において、ステータ、ロータはそれぞれ、鉄心に用いる無方向性電磁鋼板が上述の熱伝導率範囲を有すると同時に、両者の熱伝導率が、式 (1) : $A > B$ の関係式を満たすことが重要である。両者の熱伝導率が式 (1) : $A > B$ の関係にある場合は、ステータの熱伝導率は、ロータの熱伝導率よりも大きいので、ステータの温度はケース等を通じて外部に放出されやすく成り、モータの温度上昇を抑制することができる。同時に、ロータの熱伝導率は、ステータの熱伝導率よりも小さいので、ロータはステータよりも温度上昇し、ロータで生じる鉄損が低減する。これらの効果によって、従来よりもモータ効率が上昇する。なお、 $A > 1.003 \times B$ の関係式を満たすことがより好ましい。

[0029] 一方、 $A = B$ の場合には上記効果が得られない。また、両者の熱伝導率が $A < B$ の関係にある場合は、ステータの温度がロータよりも上昇しやすく成り、モータの温度上昇を抑制することができない。同時に、ロータの熱伝導率は、ステータの熱伝導率よりも大きいので、ロータの高温化による鉄損低減効果を享受できなくなる。

[0030] 尚、本発明の別の観点として、ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱拡散率 A_1 が $3.0 \times 10^{-6} \sim 9.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱拡散率 B_1 が、 $2.5 \times 10^{-6} \sim 8.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であって、且つ両者の熱拡散率が、式 (3) : $A_1 > B_1$ の関係 (条件2) を満たす構成であってもよい。

すなわち、条件1と条件2の少なくとも一つを満たすことによって、モータの効率を高めることができる。

- [0031] ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱拡散率 A_1 は、 $3.0 \times 10^{-6} \sim 9.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の範囲である。熱拡散率 A_1 が $3.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ 未満であると、ステータの温度が上昇し、銅損の増加を招き、また $9.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ を超えると、実現するためには合金量を減らす必要があるため、鉄損の増加を招く。熱拡散率 A_1 は、 $3.5 \times 10^{-6} \sim 8.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の範囲であるのが好ましく、さらに好ましくは $4.0 \times 10^{-6} \sim 8.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の範囲である。
- [0032] ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱拡散率 B_1 は、 $2.5 \times 10^{-6} \sim 8.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の範囲である。熱拡散率 B_1 が $2.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ 未満であると、ロータの発熱がステータに空気等を介して伝わり、銅損の増加を招き、また $8.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ を超えるとロータ自体が発熱しにくくなり、鉄損低減効果を得られなくなる。熱拡散率 B_1 は、 $3.0 \times 10^{-6} \sim 8.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の範囲であるのが好ましく、さらに好ましくは $3.5 \times 10^{-6} \sim 7.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ の範囲である。
- [0033] ステータ、ロータはそれぞれ、上述の熱拡散率範囲を有すると同時に、両者の熱拡散率が、式 (3) : $A_1 > B_1$ の関係式を満たすことが重要である。両者の熱拡散率が式 (3) : $A_1 > B_1$ の関係にある場合は、ステータの熱拡散率は、ロータの熱拡散率よりも大きいので、ステータの温度はケース等を通じて外部に放出されやすく成り、モータの温度上昇を抑制することができる。同時に、ロータの熱拡散率は、ステータの熱拡散率よりも小さいので、ロータはステータよりも温度上昇し、ロータで生じる鉄損が低減する。これらの効果によって、従来よりもモータ効率が上昇する。なお、 $A_1 > 1.005 \times B_1$ の関係式を満たすことがより好ましい。
- [0034] 一方、 $A_1 = B_1$ の場合には上記効果が得られない。また、両者の熱拡散率が $A_1 < B_1$ の関係にある場合は、ステータの温度がロータよりも上昇しやすく成り、モータの温度上昇を抑制することができない。同時に、ロータ

の熱拡散率は、ステータの熱拡散率よりも大きいので、ロータの高温化による鉄損低減効果を享受できなくなる。

[0035] 尚、ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱伝導率 A が、 $12 \sim 35 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱伝導率 B が、 $10 \sim 33 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であって、且つ両者の熱伝導率が、式 (1) : $A > B$ の関係 (条件 1) を満たし、且つ、

ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱拡散率 A_1 が、 $3.0 \times 10^{-6} \sim 9.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱拡散率 B_1 が、 $2.5 \times 10^{-6} \sim 8.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であって、且つ両者の熱拡散率が、式 (3) : $A_1 > B_1$ の関係 (条件 2) も満たす

ことがより好ましい。この場合には、ステータの熱がより外部に放出されやすい。

[0036] 上述の回転電機のステータとロータの熱伝導率又は熱拡散率の関係は、例えば、ステータおよびロータに用いられる無方向性電磁鋼板の化学組成を制御することによって得ることができる。

[0037] すなわち、これらの無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、C : 0.0100%以下、Si : 2.6%以上4.5%以下、Mn : 0.1%以上3.0%以下、P : 0.15%以下、S : 0.0030%以下、N : 0.0040%以下、Al : 0.1%以上2.0%以下、Sn 及び Sb から選択される1種以上 : 0~0.200%、Cr : 0~0.400%、Ni : 0~5.0%、Cu : 0~5.0%、Ca : 0~0.010%、Mg : 0~0.0100%、希土類元素 (REM) : 0~0.010%、B : 0~0.0050%、Ti : 0.0030%以下、O : 0.0200%以下、を含有し、並びに残部 : Fe および不純物であり、ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の下記式 (2) の値が、ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の下記式 (2) の値よりも低いことを特徴とする。

式 (2) : $9.9 + 12.4 \times \text{Si (質量\%)} + 6.6 \times \text{Mn (質量\%)}$

+ 10.0 × A I (質量%)

[0038] C : 0.0100%以下

Cは不純物として含有される。鉄損低減のため、含有量は0.0100%以下とするのが好ましい。上限はより好ましくは0.0025%、さらに好ましくは0.0020%である。

[0039] Si : 2.6%以上4.5%以下

Siは鋼板の強度を高める元素である。また、比抵抗を増加させる元素であり、鉄損低減のために含有させる。また、鋼板の強度を向上させるのにも有効である。この効果と、飽和磁束密度の低下や鋼の脆化を防ぐ観点から、含有量は2.6~4.5%とするのが好ましい。下限はより好ましくは2.8%、さらに好ましくは3.0%である。上限はより好ましくは4.2%、さらに好ましくは4.0%である。

[0040] Mn : 0.1%以上3.0%以下

Mnは、Si、Alと同様に比抵抗を増加させる作用を有しているので、鉄損低減のために含有させる。また、鋼板の強度を高める元素でもある。この効果と、飽和磁束密度の低下や鋼の脆化を防ぐ観点から、含有量は0.1~3.0%とするのが好ましい。下限はより好ましくは0.6%、さらに好ましくは0.8%である。上限はより好ましくは2.8%、さらに好ましくは2.5%である。

[0041] P : 0.15%以下

Pは鋼板の強度を向上させる元素である。鋼板の強度はSiやMnでも向上させることができるので、Pは含有させなくともよい。鋼板の脆化を防ぐ観点から、含有量は0.15%以下とするのが好ましい。上限はより好ましくは0.08%、さらに好ましくは0.06%、さらに好ましくは0.03%である。

[0042] S : 0.0030%以下

Sは不純物として含有させる。鉄損低減のため、含有量は0.0030%以下とするのが好ましい。上限はより好ましくは0.0025%、さらに好

ましくは0.0020%である。

[0043] N : 0.0040%以下

窒素(N)は不純物である。Nは、追加熱処理後の磁気特性を低下させる。したがって、N含有量は0.0040%以下である。N含有量は、好ましくは0.0020%以下である。

[0044] Al : 0.1%以上2.0%以下

AlはSiと同様に比抵抗を増加させる元素であり、鉄損低減のために含有させる。鉄損低減の効果はSiでも得られるので、Alは含有させなくともよい。飽和磁束密度の低下を防ぐ観点から、含有量は2.0%以下とするのが好ましい。上限はより好ましくは1.8%、さらに好ましくは1.5%である。

[0045] Sn及びSbから選択される1種以上 : 0~0.200%

Snは磁気特性にとって好ましい結晶方位を発達させる元素である。Snは含有される必要はなく含有量の下限は0である。Sn含有の効果は微量であっても得られるが、含有の効果を実に得るためには、含有量は0.01%以上とするのが好ましく、0.02%以上とするのがより好ましい。磁気特性の劣化を防ぐ観点から、含有量の上限は0.200%とすることが好ましく、0.100%とすることがより好ましい。

Sbは磁気特性にとって好ましい結晶方位を発達させる元素である。Sbは含有される必要はなく含有量の下限は0である。Sb含有の効果は微量であっても得られるが、含有の効果を実に得るためには、含有量は0.01%以上とするのが好ましく、0.02%以上とするのがより好ましい。磁気特性の劣化を防ぐ観点から、含有量の上限は0.200%とすることが好ましく、0.100%とすることがより好ましい。

[0046] Cr : 0~0.400%

Crは耐食性や高周波特性を向上する元素である。Crは含有される必要はなく含有量の下限は0である。Cr含有の効果は微量であっても得られるが、含有の効果を実に得るためには、含有量は0.01%以上とするのが

好ましく、0.02%以上とするのがより好ましい。製品コストの観点から、含有量の上限は0.400%であり、0.300%とすることが好ましく、0.200%とすることがより好ましい。

更に、Crは、0.001%以上であれば、ロータとステータの熱伝導率及び熱拡散率を高めることができるため、更に好ましい。

[0047] Ni : 0~5.0%

Niは鋼板の電気抵抗を高め、鉄損を低減する元素である。Niは含有される必要はなく含有量の下限は0である。Ni含有の効果は微量であっても得られるが、含有の効果を実際に得るためには、含有量は0.01%以上とするのが好ましく、0.02%以上とするのがより好ましい。製品コストの観点から、含有量の上限は5.0%であり、0.5%とすることが好ましく、0.4%とすることがより好ましい。

[0048] Cu : 0~5.0%、

Cuは鋼板の電気抵抗を高め、鉄損を低減する元素である。Cuは含有される必要はなく含有量の下限は0である。Cu含有の効果は微量であっても得られるが、含有の効果を実際に得るためには、含有量は0.01%以上とするのが好ましく、0.02%以上とするのがより好ましい。製品コストの観点、鋼の脆化を防ぐ観点から、含有量の上限は5.0%であり、0.5%とすることが好ましく、0.4%とすることがより好ましい。

[0049] Ca : 0~0.010%

Caは硫化物を粗大化させ、熱処理工程での結晶粒の成長性を改善し、低鉄損化に寄与する元素である。Caは含有される必要はなく含有量の下限は0である。Ca含有の効果は微量であっても得られるが、含有の効果を実際に得るためには、含有量は0.005%以上とするのが好ましく、0.0010%以上とするのがより好ましい。磁気特性の劣化を防ぐ観点から、含有量の上限は0.010%であり、0.0050%とすることが好ましく、0.0030%とすることがより好ましい。

[0050] Mg : 0~0.0100%

Mgは結晶粒の成長を促進する作用を通じて鉄損を低減させる元素であるとともに、介在物中の硫化物を、Mgを含有するより硬化した介在物とし、疲労強度を向上させる元素である。この効果を得るために、コスト面を考慮し、含有量は0～0.0100%とするのが好ましい。下限はより好ましくは0.0005%、さらに好ましくは0.0010%である。上限はより好ましくは0.0040%、さらに好ましくは0.0030%である。

[0051] 希土類元素 (REM) : 0～0.010%

希土類元素 (REM) は硫化物を粗大化させ、熱処理工程での結晶粒の成長性を改善し、低鉄損化に寄与する元素である。希土類元素 (REM) は含有される必要はなく含有量の下限は0である。希土類元素 (REM) 含有の効果は微量であっても得られるが、含有の効果を実に得るためには、含有量は0.005%以上とするのが好ましく、0.0010%以上とするのがより好ましい。磁気特性の劣化を防ぐ観点から、含有量の上限は0.010%であり、0.0050%とすることが好ましく、0.0030%とすることがより好ましい。

なお、REMとは、Rare Earth Metalの略であり、Sc、Yおよびランタノイド系列に属する元素をさす。

[0052] Ti : 0.0030%以下

Tiは不純物として含まれる元素である。Tiは、地鉄中のC、N、Oなどと結合してTiC、TiN、Ti酸化物などの微小析出物を形成し、焼鈍中の結晶粒の成長を阻害して磁気特性を劣化させるので、含有量は0.0030%以下とするのが好ましい。上限はより好ましくは0.0020%、さらに好ましくは0.0010%である。Tiは含有される必要はないので、含有量の下限は0である。精錬コストを考慮し、下限を0.0003%または0.0005%としてもよい。

[0053] B : 0～0.0050%

Bは、少量で熱伝導率や熱拡散率の増加に寄与する。そのため、Bを含有させてもよい。上記効果を得る場合、B含有量を0.0001%以上とする

ことが好ましい。Bは含有される必要はないので、含有量の下限は0である。

一方、B含有量が0.0050%を超えると、Bの化合物が焼鈍時の粒成長を阻害し、結晶粒径が微細となり、鉄損増加の要因となる。そのため、B含有量は0.0050%以下とする。

[0054] O: 0.0200%以下

Oは、鋼中のCrと結合し、 Cr_2O_3 を生成する。この Cr_2O_3 は熱伝導率や熱拡散率の増加に寄与する。そのため、Oを含有させてもよい。上記効果を得る場合、O含有量を0.0010%以上とすることが好ましい。

一方、O含有量が0.0200%を超えた場合、 Cr_2O_3 が焼鈍時の粒成長を阻害し、結晶粒径が微細となり、鉄損増加の要因となる。そのため、O含有量は0.0200%以下とする。

[0055] また、CrとOは、下記の式(4)を満たす含有量であることが好ましい。

$$\text{式(4)}: \text{Cr (質量\%)} \times \text{O (質量\%)} < 8.0 \times 10^{-5}$$

式(4)を満たさない場合、 Cr_2O_3 が焼鈍時の粒成長を阻害し、結晶粒径が微細となり、鉄損増加の要因となる。そのため、式(4)を満たす方が好ましい。

[0056] 化学組成の残部はFeおよび不純物である。不純物とは、原材料に含まれる成分、または製造の過程で混入する成分であって、意図的に鋼板に含有させたものではない成分をいう。

[0057] 上述した母材鋼板の化学成分は、一般的な分析方法によって測定すればよい。例えば、鋼成分は、ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry) を用いて測定すればよい。なお、CおよびSは燃焼-赤外線吸収法を用い、Nは不活性ガス融解-熱伝導度法を用い、Oは不活性ガス融解-非分散型赤外線吸収法を用いればよい。

[0058] 第一の実施形態の回転電機のステータとロータは、上記化学組成を有する

無方向性電磁鋼板であって、ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の下記式（２）の値が、ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の下記式（２）の値よりも低いことを特徴とする。

$$\text{式（２）： } 9.9 + 12.4 \times \text{Si（質量％）} + 6.6 \times \text{Mn（質量％）} + 10.0 \times \text{Al（質量％）}$$

[0059] 式（２）の値は、得られる無方向性電磁鋼板の熱伝導率（又は熱拡散率）に密接に関連している。即ち、式（２）は、無方向性電磁鋼板の室温における抵抗値概算である。金属については電気伝導及び熱伝導（又は熱拡散）は共に自由電子が担っており、この二つは相関している。この関係を定式化したのがウィーデンマン・フランツの法則であり、この法則では同一温度の時に熱伝導率（又は熱拡散率）と抵抗値は反比例することを意味する。

[0060] したがって、ステータおよびロータに用いられる無方向性電磁鋼板の化学組成を制御し、ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の式（２）の値が、ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の式（２）の値よりも低くすることによって、両者の熱伝導率の式（１）： $A > B$ の関係をより確実に得ることができる。

[0061] 第一の実施形態では、上述したロータ及びステータを用いて回転電機を製造する。これにより、ステータ、ロータの両方にとって良い磁気特性を持たせて、モータ効率を向上させることができる。

[0062] 本発明の第二の実施形態は、第一の実施形態で説明した回転電機に用いるロータ用無方向性電磁鋼板およびステータ用無方向性電磁鋼板の製造方法である。第一の実施形態の回転電機のステータとロータの熱伝導率又は熱拡散率の関係は、ステータおよびロータに用いられる無方向性電磁鋼板の製造工程における仕上焼鈍温度を制御することによっても得ることができる。

[0063] すなわち、質量％で、C：0.0100％以下、Si：2.6％以上4.5％以下、Mn：0.1％以上3.0％以下、P：0.15％以下、S：0.0030％以下、N：0.0040％以下、Al：0.1％以上2.0％以下、Sn及びSbから選択される１種以上：0～0.200％、Cr：0

～0.400%、Ni：0～5.0%、Cu：0～5.0%、Ca：0～0.010%、Mg：0～0.0100%、希土類元素（REM）：0～0.010%、B：0～0.0050%、Ti：0.0030%以下、O：0.0200%以下、及び残部：Fe及び不純物から成る、無方向性電磁鋼板を、製鋼、熱間圧延、熱間圧延板焼鈍、酸洗、冷間圧延、仕上焼鈍を含む工程で製造するに際し、式（1）： $A > B$ 、又は、式（3）： $A1 > B1$ を満たすように、前記仕上焼鈍の焼鈍温度を2種類設定し、ロータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度を600℃～900℃とし、且つステータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度よりも低くすることによって、第一の実施形態で説明した回転電機のステータとロータの熱伝導率又は熱拡散率の関係を導くことができる。

したがって、

ステータ用の無方向性電磁鋼板の熱伝導率Aが、 $12 \sim 35 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、ロータ用の無方向性電磁鋼板の熱伝導率Bが、 $10 \sim 33 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であって、且つ両者の熱伝導率が、式（1）： $A > B$ の関係を満たす無方向性電磁鋼板のセット、又は、

ステータ用の無方向性電磁鋼板の熱拡散率A1が、 $3.0 \times 10^{-6} \sim 9.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、ロータ用の無方向性電磁鋼板の熱拡散率B1が、 $2.5 \times 10^{-6} \sim 8.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であって、且つ両者の熱拡散率が、式（3）： $A1 > B1$ の関係を満たす無方向性電磁鋼板のセットが得られる。

[0064] 本発明の第二の実施形態の製造方法は、製鋼、熱間圧延、熱間圧延板焼鈍、酸洗、冷間圧延、仕上焼鈍、および必要に応じて行われるスキンプス圧延を含む工程で製造されるものであり、前述の仕上焼鈍以外の工程については特に規定するものではないが、各工程において次のような条件が採用できる。

[0065] 熱間圧延のスラブ加熱温度については1000～1200℃の標準的な条

件でよい。ただし巻取り温度については熱間圧延板の靱性の点から600℃以下が好ましく、更に好ましくは550℃以下である。

[0066] 極力熱間圧延板の厚みについては薄い方が酸洗通板や冷間圧延通板時の割れや破断防止に有利であるため、熱間圧延板の靱性と生産効率等を勘案して適宜調整できるものとする。

[0067] 熱間圧延板焼鈍については磁性の観点からは900℃以上1100℃以下で30秒以上行ない、冷間圧延前の結晶粒径を50～300μm程度まで粒成長させることが好ましい。ただし熱間圧延板の延性が低下するため、成分と生産性を考慮した上で条件を決定すればよい。

[0068] 冷間圧延後の仕上焼鈍については所要の熱伝導率又は熱拡散率に応じて焼鈍温度を2種類設定する。ロータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度を600℃～900℃とし、ステータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度よりも低くする。

仕上焼鈍温度は、得られる無方向性電磁鋼板の熱伝導率又は熱拡散率に密接に関連している。即ち、ロータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度を、ステータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度よりも低い600℃～900℃の範囲に設定すると、ロータの無方向性電磁鋼板の結晶粒径が微細となり、鋼中の格子欠陥（結晶粒界）が増え、熱伝導率又は熱拡散率が低くなる。したがって、ロータに用いられる無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度をステータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度よりも低くすることによって両者の熱伝導率の式（1）： $A > B$ の関係又は熱拡散率の式（3）： $A_1 > B_1$ の関係を導くことができる。

尚、強度と磁気特性を高めるために、ロータ用の無方向性電磁鋼板の結晶粒径は80μm未満であることが好ましく、70μm未満とすることがより好ましい。結晶粒径は、縦断面組織写真において、板厚方向および圧延方向について切断法により測定した結晶粒径の平均値を用いればよい。この縦断面組織写真としては光学顕微鏡写真を用いることができ、例えば50倍の倍率で撮影した写真を用いればよい。

[0069] ロータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度範囲は、 $600^{\circ}\text{C}\sim 900^{\circ}\text{C}$ である。 600°C 未満であると、冷間圧延で入った歪が残存し、鋼板が脆化するため、好ましくない。また 900°C を超えると、結晶粒径が粗大となり、熱伝導率又は熱拡散率が高くなるため好ましくない。ロータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度の特に好ましい範囲は、 $750^{\circ}\text{C}\sim 850^{\circ}\text{C}$ である。

[0070] 第一の実施形態の回転電機のステータとロータの熱伝導率又は熱拡散率の関係は、上述のステータおよびロータに用いられる無方向性電磁鋼板の製造工程で、特に仕上焼鈍温度を制御しなくても、通常の、製鋼、熱間圧延、熱間圧延板焼鈍、酸洗、冷間圧延、仕上焼鈍を含む工程で製造して得られた無方向性電磁鋼板から、ステータに用いる素材とロータに用いる素材を打ち抜いて積層し、式(1)： $A>B$ 又は式(3)： $A_1>B_1$ を満たすように、ステータのみを歪取り焼鈍を行うことによっても得ることができる。

[0071] 打ち抜き加工後にステータのみに実施する歪取焼鈍については、打ち抜き歪を開放するために 700°C から 900°C の温度範囲で120分以上の焼鈍を施すのが好ましい。スキンプラス圧延によって歪を付与した場合は、特に高温かつ長時間で焼鈍することが好ましい。このように、ステータのみに歪取焼鈍を適切に行なうことで、歪取焼鈍後のステータのとロータにおいて、式(1)： $A>B$ の関係、又は、式(3)： $A_1>B_1$ の関係を得ることができる。

実施例

[0072] 以下、実施例を用いて、本発明の実施形態をさらに説明する。

なお、実施例に用いた条件はその確認のための一条件例であり、本発明は、この例に限定されるものではなく、本発明を逸脱せず、本発明の目的を達成する限りにおいて種々の条件を採用し得るものである。

[0073] 図1は、モータの部分平面図である。モータ300は、電気学会Dモデルをベースとして作製されたIPMモータである。ステータ鉄心3の外径は112mmφであり、ロータ302の外径は54mmφであり、ステータ鉄心

3の積み高さは100mmである。スロット数は24スロットである。ステータ鉄心3は、筐体301に焼き嵌めにより固定される。ロータ302の外径は54mmφであり、ステータ鉄心3の内径は55mmφであり、ロータ302とステータ鉄心3との間のギャップは0.5mmである。また、ステータ鉄心3の外径は112mmφ(=54mm+0.5mm×2+28.5mm×2)である。ステータ鉄心は24スロットであり、ステータ鉄心のティース部に巻き回す銅線の1相当りりの巻線数は35ターンであり、ロータ磁石の磁束密度Brは1.25Tである。

[0074] 本実施例において、波高値3Aの巻線電流を位相角30度で流して、1500RPMの回転数で60分駆動した時のモータで発生した損失をモータ損(W)として求めた。

[0075] (実施例1)

溶鋼の連続鋳造を行い、下記表1、表2に示す化学組成を有する250mm厚のスラブを準備した。次いで、上記スラブに対し、熱間圧延を施し、熱間圧延板を作成した。その時のスラブ再加熱温度は1200℃、仕上げ圧延での仕上げ温度は850℃、巻取り時の巻取り温度は650℃で仕上げ板厚は2.0mmであった。次に、上記熱間圧延板において、熱間圧延板焼鈍として、表1、表2に記載の温度で1分間の焼鈍を行い、酸洗によりスケール除去し、0.35mm厚に冷間圧延を行った。そして、800℃で30秒の仕上焼鈍を行った。

[0076] 次に、磁気特性の鉄損 $W_{15/50}$ (最大磁束密度1.5T、周波数50Hz時の鉄損)を測定した。測定試料は55mm角の試料片を採取し、圧延方向と幅方向の特性の平均値を求めた。磁気測定は、JISC2556(2015)に記載の電磁回路に準じた55mm角の試験片や更に微小な試験片を測定できる装置を用いて測定した。測定結果を表1、表2に示す。また、材料の熱伝導率と熱拡散率の測定を行った。測定の方法は上述した方法で行った。

[0077] モータのステータ、ロータに用いたそれぞれの素材として、表1、表2に

示すA～Xの各素材と、ほぼ同じ組成および同じ鉄損を有し、かつ、熱伝導率の低い材料であるA'～X'の材料とをそれぞれ用意した。A'～X'の材料では、仕上焼鈍の焼鈍温度をA～Xの各素材の焼鈍温度よりも高くした。A～Xでは結晶粒径は約30 μ m、A'～X'では結晶粒径は約40 μ mであった。

これらの素材から、ステータ、ロータの鉄心を作成し、モータを作成した。表3、表4にステータ、ロータに使用した素材、式(1)～式(3)の成立/不成立、及びモータ損を示す。発明例であるモータでは、同じ鉄損素材を用いた他のモータ(比較例)よりもモータ損が低かった。

尚、比較例167～169では素材(W、W')の鉄損は良いが、熱伝導率、熱拡散率が本願の範囲から外れており、モータとして運転させた場合、熱がこもり、モータ損としては悪くなった。特に、比較例168からは、式(1)と式(3)が成立していても、熱伝導率、熱拡散率が本願の範囲から外れている場合にはモータ損としては悪くなってしまうことがわかる。

[0078]

[表1]

素材 符号	C mass%	Si mass%	Mn mass%	Al mass%	P mass%	S mass%	O mass%	他 mass%	式 (2)	板厚 mm	W15/50 W/kg	熱伝導率 W/(m·K)	熱拡散率 m ² /sW/(m·K)
A	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	—	47.6	0.35	9.1	24.76	6.87 X 10 ⁻⁶
A'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0021	—	53.8	0.37	9.1	21.70	5.89 X 10 ⁻⁶
B	0.0018	4.08	0.21	0.29	0.010	0.0019	0.0019	—	64.8	0.35	8.7	17.58	4.77 X 10 ⁻⁶
B'	0.0018	4.41	0.20	0.30	0.009	0.0020	0.0021	—	68.8	0.36	8.7	16.81	4.56 X 10 ⁻⁶
C	0.0021	2.71	0.19	1.50	0.009	0.0019	0.0022	—	59.7	0.35	8.9	19.24	5.31 X 10 ⁻⁶
C'	0.0020	2.68	0.22	1.92	0.010	0.0018	0.0020	—	63.8	0.36	8.9	18.40	5.10 X 10 ⁻⁶
D	0.0018	3.49	2.49	1.48	0.010	0.0022	0.0019	—	84.5	0.35	8.4	13.84	3.81 X 10 ⁻⁶
D'	0.0023	3.51	2.91	1.48	0.011	0.0021	0.0020	—	87.5	0.36	8.4	13.08	3.60 X 10 ⁻⁶
E	0.0095	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0020	—	47.6	0.35	9.4	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
E'	0.0095	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0021	—	53.7	0.35	9.4	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
F	0.0018	2.69	0.11	0.30	0.011	0.0021	0.0022	—	47.0	0.35	9.2	25.12	6.82 X 10 ⁻⁶
F'	0.0020	3.20	0.11	0.28	0.010	0.0017	0.0019	—	53.1	0.35	9.2	22.22	6.03 X 10 ⁻⁶
G	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.144	0.0021	0.0018	—	47.6	0.35	8.8	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
G'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.144	0.0017	0.0020	—	53.7	0.35	8.8	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
H	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0028	0.0021	—	47.6	0.35	9.3	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
H'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0028	0.0018	—	53.7	0.35	9.3	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
I	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0019	N:0.0035	47.6	0.35	9.3	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
I'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0022	N:0.0035	53.7	0.35	9.3	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
J	0.0018	2.69	0.20	0.12	0.011	0.0021	0.0021	—	45.8	0.35	9.2	25.78	6.98 X 10 ⁻⁶
J'	0.0020	3.20	0.20	0.12	0.010	0.0017	0.0019	—	52.1	0.35	9.2	22.65	6.14 X 10 ⁻⁶
K	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0021	Sn:0.195	47.6	0.35	8.8	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
K'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0020	Sn:0.195	53.7	0.35	8.8	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
L	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0019	Sb:0.195	47.6	0.35	8.8	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
L'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0020	Sb:0.195	53.7	0.35	8.8	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶

[0079]

[表2]

素材 符号	C mass%	Si mass%	Mn mass%	Al mass%	P mass%	S mass%	O mass%	他 mass%	式 (2)	板厚 mm	W15/50 W/kg	熱伝導率 W/(m·K)	熱拡散率 m ² /sW/(m·K)
M	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0020	Cr:0.3500	47.6	0.35	8.8	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
M'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0021	Cr:0.3500	53.7	0.35	8.8	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
N	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	Ni:4.67	47.6	0.35	8.8	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
N'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0022	Ni:4.67	53.7	0.35	8.8	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
O	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0019	Cu:4.67	47.6	0.35	8.8	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
O'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0019	Cu:4.67	53.7	0.35	8.8	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
P	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0021	Ca:0.0095	47.6	0.35	8.8	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
P'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0022	Ca:0.0095	53.7	0.35	8.8	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
Q	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0020	Mg:0.0095	47.6	0.35	8.8	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
Q'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0020	Mg:0.0095	53.7	0.35	8.8	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
R	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0021	REM:0.0095	47.6	0.35	8.8	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
R'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0018	REM:0.0095	53.7	0.35	8.8	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
S	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0020	Ti:0.0026	47.6	0.35	9.3	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
S'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0019	Ti:0.0026	53.7	0.35	9.3	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
T	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0019	B:0.0045	47.6	0.35	8.9	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
T'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0020	B:0.0045	53.7	0.35	8.9	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
U	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0196	—	47.6	0.35	9.3	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
U'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0196	—	53.7	0.35	9.3	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
V	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0051	Cr:0.0150	47.6	0.35	9.3	24.80	6.73 X 10 ⁻⁶
V'	0.0020	3.20	0.20	0.28	0.010	0.0017	0.0050	Cr:0.0150	53.7	0.35	9.3	21.97	5.97 X 10 ⁻⁶
W	0.0018	6.50	2.49	1.48	0.010	0.0022	0.0019	—	121.7	0.35	8.4	9.69	2.40 X 10 ⁻⁶
W'	0.0023	6.00	2.91	1.48	0.011	0.0021	0.0021	—	118.3	0.36	8.4	10.20	2.81 X 10 ⁻⁶
X	0.0018	2.69	0.20	1.38	0.011	0.0021	0.0020	—	58.4	0.35	8.8	20.21	5.57 X 10 ⁻⁶
X'	0.0018	2.59	2.00	0.30	0.011	0.0021	0.0021	—	58.2	0.35	8.8	20.27	5.50 X 10 ⁻⁶

[0080]

[表3]

モータ符号	ステータに 用いた素材	ロータに 用いた素材	式(1)	式(2)	式(3)	モータ損 (W)	備考
モータ符号101	A	A	不成立	不成立	不成立	47.8	比較例
モータ符号102	A'	A	不成立	不成立	不成立	48.1	比較例
モータ符号103	A	A'	成立	成立	成立	46.7	発明例
モータ符号104	B	B	不成立	不成立	不成立	45.9	比較例
モータ符号105	B'	B	不成立	不成立	不成立	46.1	比較例
モータ符号106	B	B'	成立	成立	成立	44.7	発明例
モータ符号107	C	C	不成立	不成立	不成立	46.9	比較例
モータ符号108	C'	C	不成立	不成立	不成立	47.2	比較例
モータ符号109	C	C'	成立	成立	成立	45.9	発明例
モータ符号110	D	D	不成立	不成立	不成立	44.7	比較例
モータ符号111	D'	D	不成立	不成立	不成立	44.9	比較例
モータ符号112	D	D'	成立	成立	成立	42.8	発明例
モータ符号113	E	E	不成立	不成立	不成立	49.4	比較例
モータ符号114	E'	E	不成立	不成立	不成立	49.7	比較例
モータ符号115	E	E'	成立	成立	成立	48.6	発明例
モータ符号116	F	F	不成立	不成立	不成立	48.3	比較例
モータ符号117	F'	F	不成立	不成立	不成立	48.6	比較例
モータ符号118	F	F'	成立	成立	成立	47.5	発明例
モータ符号119	G	G	不成立	不成立	不成立	46.2	比較例
モータ符号120	G'	G	不成立	不成立	不成立	46.5	比較例
モータ符号121	G	G'	成立	成立	成立	45.4	発明例
モータ符号122	H	H	不成立	不成立	不成立	48.9	比較例
モータ符号123	H'	H	不成立	不成立	不成立	49.2	比較例
モータ符号124	H	H'	成立	成立	成立	48.1	発明例
モータ符号125	I	I	不成立	不成立	不成立	48.9	比較例
モータ符号126	I'	I	不成立	不成立	不成立	49.2	比較例
モータ符号127	I	I'	成立	成立	成立	48.1	発明例
モータ符号128	J	J	不成立	不成立	不成立	48.3	比較例
モータ符号129	J'	J	不成立	不成立	不成立	48.6	比較例
モータ符号130	J	J'	成立	成立	成立	47.5	発明例
モータ符号131	K	K	不成立	不成立	不成立	46.2	比較例
モータ符号132	K'	K	不成立	不成立	不成立	46.5	比較例
モータ符号133	K	K'	成立	成立	成立	45.4	発明例
モータ符号134	L	L	不成立	不成立	不成立	46.2	比較例
モータ符号135	L'	L	不成立	不成立	不成立	46.5	比較例
モータ符号136	L	L'	成立	成立	成立	45.4	発明例

[0081]

[表4]

モータ符号	ステータに 用いた素材	ロータに 用いた素材	式(1)	式(2)	式(3)	モータ損 (W)	備考
モータ符号137	M	M	不成立	不成立	不成立	46.2	比較例
モータ符号138	M'	M	不成立	不成立	不成立	46.5	比較例
モータ符号139	M	M'	成立	成立	成立	45.4	発明例
モータ符号140	N	N	不成立	不成立	不成立	46.2	比較例
モータ符号141	N'	N	不成立	不成立	不成立	46.5	比較例
モータ符号142	N	N'	成立	成立	成立	45.4	発明例
モータ符号143	O	O	不成立	不成立	不成立	46.2	比較例
モータ符号144	O'	O	不成立	不成立	不成立	46.5	比較例
モータ符号145	O	O'	成立	成立	成立	45.4	発明例
モータ符号146	P	P	不成立	不成立	不成立	46.2	比較例
モータ符号147	P'	P	不成立	不成立	不成立	46.5	比較例
モータ符号148	P	P'	成立	成立	成立	45.4	発明例
モータ符号149	Q	Q	不成立	不成立	不成立	46.2	比較例
モータ符号150	Q'	Q	不成立	不成立	不成立	46.5	比較例
モータ符号151	Q	Q'	成立	成立	成立	45.4	発明例
モータ符号152	R	R	不成立	不成立	不成立	46.2	比較例
モータ符号153	R'	R	不成立	不成立	不成立	46.5	比較例
モータ符号154	R	R'	成立	成立	成立	45.4	発明例
モータ符号155	S	S	不成立	不成立	不成立	48.9	比較例
モータ符号156	S'	S	不成立	不成立	不成立	49.2	比較例
モータ符号157	S	S'	成立	成立	成立	48.1	発明例
モータ符号158	T	T	不成立	不成立	不成立	46.7	比較例
モータ符号159	T'	T	不成立	不成立	不成立	47.0	比較例
モータ符号160	T	T'	成立	成立	成立	45.9	発明例
モータ符号161	U	U	不成立	不成立	不成立	48.9	比較例
モータ符号162	U'	U	不成立	不成立	不成立	49.2	比較例
モータ符号163	U	U'	成立	成立	成立	48.1	発明例
モータ符号164	V	V	不成立	不成立	不成立	48.9	比較例
モータ符号165	V'	V	不成立	不成立	不成立	49.2	比較例
モータ符号166	V	V'	成立	成立	成立	48.1	発明例
モータ符号167	W	W	不成立	不成立	不成立	81.1	比較例
モータ符号168	W'	W	成立	成立	成立	81.2	比較例
モータ符号169	W	W'	不成立	不成立	不成立	81.5	比較例
モータ符号170	X	X	不成立	不成立	不成立	48.1	比較例
モータ符号171	X'	X	成立	成立	不成立	47.5	発明例
モータ符号172	X	X'	不成立	不成立	成立	47.5	発明例

[0082] (実施例2)

実施例 1 に示す素材 A、B、C、D、M の冷間圧延材を用いて、表 5、表 6 に示す温度で 30 秒の仕上焼鈍を行った。なお、なお、素材 A はモータ 201～203 及びモータ 216～224 に、素材 B はモータ 204～206 に、素材 C はモータ 207～209 に、素材 D はモータ 210～212 に、素材 M はモータ 213～215 に用いた。素材の鉄損、熱伝導率、熱拡散率、モータ損は実施例 1 と同様にして求めた。なお、仕上げ焼鈍温度が 600℃ の材料は平均結晶粒径が約 20 μm 、仕上げ焼鈍温度が 700℃ の材料は平均結晶粒径が約 25 μm 、仕上げ焼鈍温度が 800℃ の材料は平均結晶粒径が約 30 μm 、仕上げ焼鈍温度が 900℃ の材料は平均結晶粒径が約 65 μm 、仕上げ焼鈍温度が 1000℃ の材料は平均結晶粒径が約 120 μm であった。

[0083] 発明例であるモータ 203、206、209、212、215、218、221、224 は同じ成分を用いた他のモータ（比較例）よりもモータ損が低かった。

[0084]

[表5]

		C mass%	Si mass%	Mn mass%	Al mass%	P mass%	S mass%	O mass%	Cr mass%	式(2)	板厚 mm	仕上げ 焼鈍 温度 °C	W15/50 W/kg	熱 伝導率 W/(m·K)	熱 拡散率 m ² /sW/ (m·K)	式(1)	式(3)	モータ 損 W	備考
モータ 201	ステータ201	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	800	9.1	24.76	6.87 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	47.8	比較例
	ロータ201	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	800	9.1	24.76	6.87 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	47.8	比較例
モータ 202	ステータ202	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	800	9.1	24.76	6.87 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	30.6	比較例
	ロータ202	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	1000	2.2	24.83	6.92 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	30.6	比較例
モータ 203	ステータ203	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	1000	2.2	24.83	6.92 X 10 ⁻⁶	成立	成立	29.6	発明例
	ロータ203	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	800	9.1	24.76	6.87 X 10 ⁻⁶	成立	成立	29.6	発明例
モータ 204	ステータ204	0.0018	4.08	0.21	0.29	0.010	0.0019	0.0019	-	64.8	0.35	800	8.7	17.52	4.77 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	45.9	比較例
	ロータ204	0.0018	4.08	0.21	0.29	0.010	0.0019	0.0019	-	64.8	0.35	800	8.7	17.52	4.77 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	45.9	比較例
モータ 205	ステータ205	0.0018	4.08	0.21	0.29	0.010	0.0019	0.0019	-	64.8	0.35	800	8.7	17.52	4.77 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	29.6	比較例
	ロータ205	0.0018	4.08	0.21	0.29	0.010	0.0019	0.0019	-	64.8	0.35	1000	1.9	17.57	4.83 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	29.6	比較例
モータ 206	ステータ206	0.0018	4.08	0.21	0.29	0.010	0.0019	0.0019	-	64.8	0.35	1000	1.9	17.57	4.83 X 10 ⁻⁶	成立	成立	28.4	発明例
	ロータ206	0.0018	4.08	0.21	0.29	0.010	0.0019	0.0019	-	64.8	0.35	800	8.7	17.52	4.77 X 10 ⁻⁶	成立	成立	28.4	発明例
モータ 207	ステータ207	0.0021	2.71	0.19	1.50	0.009	0.0019	0.0022	-	59.7	0.35	800	8.9	19.24	5.31 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	46.9	比較例
	ロータ207	0.0021	2.71	0.19	1.50	0.009	0.0019	0.0022	-	59.7	0.35	800	8.9	19.24	5.31 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	46.9	比較例
モータ 208	ステータ208	0.0021	2.71	0.19	1.50	0.009	0.0019	0.0022	-	59.7	0.35	800	8.9	19.24	5.31 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	30.3	比較例
	ロータ208	0.0021	2.71	0.19	1.50	0.009	0.0019	0.0022	-	59.7	0.35	1000	2.0	19.31	5.36 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	30.3	比較例
モータ 209	ステータ209	0.0021	2.71	0.19	1.50	0.009	0.0019	0.0022	-	59.7	0.35	1000	2.0	19.31	5.36 X 10 ⁻⁶	成立	成立	29.1	発明例
	ロータ209	0.0021	2.71	0.19	1.50	0.009	0.0019	0.0022	-	59.7	0.35	800	8.9	19.24	5.31 X 10 ⁻⁶	成立	成立	29.1	発明例
モータ 210	ステータ210	0.0018	3.49	2.49	1.48	0.010	0.0022	0.0019	-	84.5	0.35	800	8.4	13.82	3.81 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	44.7	比較例
	ロータ210	0.0018	3.49	2.49	1.48	0.010	0.0022	0.0019	-	84.5	0.35	800	8.4	13.82	3.81 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	44.7	比較例
モータ 211	ステータ211	0.0018	3.49	2.49	1.48	0.010	0.0022	0.0019	-	84.5	0.35	800	8.4	13.82	3.81 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	27.2	比較例
	ロータ211	0.0018	3.49	2.49	1.48	0.010	0.0022	0.0019	-	84.5	0.35	1000	1.7	13.88	3.85 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	27.2	比較例
モータ 212	ステータ212	0.0018	3.49	2.49	1.48	0.010	0.0022	0.0019	-	84.5	0.35	1000	1.7	13.88	3.85 X 10 ⁻⁶	成立	成立	26.1	発明例
	ロータ212	0.0018	3.49	2.49	1.48	0.010	0.0022	0.0019	-	84.5	0.35	800	8.4	13.82	3.81 X 10 ⁻⁶	成立	成立	26.1	発明例

[0085]

[表6]

		C mass%	Si mass%	Mn mass%	Al mass%	P mass%	S mass%	O mass%	Cr mass%	式(2)	板厚 mm	仕上げ 焼鈍 温度 °C	W15/50 W/kg	熱 伝導率 W/(m·K)	熱 拡散率 m ² /sW/ (m·K)	式(1)	式(3)	モータ 損 W	備考
モータ 213	ステータ213	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0020	0.35	47.6	0.35	800	8.8	24.81	6.91 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	44.5	比較例
	ロータ213	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0020	0.35	47.6	0.35	800	8.8	24.81	6.91 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立		
モータ 214	ステータ214	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0020	0.35	47.6	0.35	800	8.8	24.81	6.91 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	27.0	比較例
	ロータ214	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0020	0.35	47.6	0.35	1000	2.1	24.86	6.96 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立		
モータ 215	ステータ215	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0020	0.35	47.6	0.35	1000	2.1	24.86	6.96 X 10 ⁻⁶	成立	成立	25.9	発明例
	ロータ215	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0020	0.35	47.6	0.35	800	8.8	24.81	6.91 X 10 ⁻⁶	成立	成立		
モータ 216	ステータ216	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	600	9.5	24.69	6.81 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	48.2	比較例
	ロータ216	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	600	9.5	24.69	6.81 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立		
モータ 217	ステータ217	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	600	9.5	24.69	6.81 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	31.1	比較例
	ロータ217	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	1000	2.2	24.83	6.92 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立		
モータ 218	ステータ218	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	1000	2.2	24.83	6.92 X 10 ⁻⁶	成立	成立	29.9	発明例
	ロータ218	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	600	9.5	24.69	6.81 X 10 ⁻⁶	成立	成立		
モータ 219	ステータ219	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	700	9.3	24.72	6.83 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	48.0	比較例
	ロータ219	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	700	9.3	24.72	6.83 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立		
モータ 220	ステータ220	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	700	9.3	24.72	6.83 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	30.8	比較例
	ロータ220	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	1000	2.2	24.83	6.92 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立		
モータ 221	ステータ221	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	1000	2.2	24.83	6.92 X 10 ⁻⁶	成立	成立	29.7	発明例
	ロータ221	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	700	9.3	24.72	6.83 X 10 ⁻⁶	成立	成立		
モータ 222	ステータ222	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	900	5.1	24.79	6.89 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	35.5	比較例
	ロータ222	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	900	5.1	24.79	6.89 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立		
モータ 223	ステータ223	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	900	5.1	24.79	6.89 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立	30.3	比較例
	ロータ223	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	1000	2.2	24.83	6.92 X 10 ⁻⁶	不成立	不成立		
モータ 224	ステータ224	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	1000	2.2	24.83	6.92 X 10 ⁻⁶	成立	成立	28.1	発明例
	ロータ224	0.0018	2.69	0.20	0.30	0.011	0.0021	0.0022	-	47.6	0.35	900	5.1	24.79	6.89 X 10 ⁻⁶	成立	成立		

[0086] (実施例3)

表 7 に示すように、モータのステータ、ロータには実施例 1 で用いた素材 A、B、C、D、M を用いた。これらの素材から、鉄心を加工により打抜き加工をしたのち、表 7 に示す条件で歪取り焼鈍を行った。この際、歪取り焼鈍は 800℃ で 2 時間焼鈍した。歪取り焼鈍を行った条件については、熱電効率及び鉄損測定用の試料片も併せて歪取り焼鈍を実施した。素材の鉄損、熱伝導率、熱拡散率、モータ損は実施例 1 と同様にして求めた。なお、歪取り焼鈍未実施の材料は平均結晶粒径が約 30 μm 、歪取り焼鈍を実施した材料は平均結晶粒径が約 120 μm であった。

[0087] 発明例であるモータ 303、306、309、312、315 は同じ鉄損素材を用いた他のモータ（比較例）よりもモータ損が低かった。

[0088]

[表7]

モータ符号	ステータ			ロータ			式(1)	式(3)	モータ損 (W)	備考
	素材	歪取り 焼鈍	熱伝導率 W/(m/K)	熱拡散率 m ² /sW/(m・K)	素材	歪取り 焼鈍	熱伝導率 W/(m/K)	熱拡散率 m ² /sW/(m・K)		
モータ符号 301	A	なし	24.74	6.84 X 10 ⁻⁶	A	なし	24.74	6.84 X 10 ⁻⁶	47.8	比較例
モータ符号 302	A	なし	24.74	6.84 X 10 ⁻⁶	A	あり	24.79	6.88 X 10 ⁻⁶	30.1	比較例
モータ符号 303	A	あり	24.79	6.88 X 10 ⁻⁶	A	なし	24.74	6.84 X 10 ⁻⁶	28.9	発明例
モータ符号 304	B	なし	17.58	4.79 X 10 ⁻⁶	B	なし	17.58	4.79 X 10 ⁻⁶	45.9	比較例
モータ符号 305	B	なし	17.58	4.79 X 10 ⁻⁶	B	あり	17.62	4.81 X 10 ⁻⁶	29.1	比較例
モータ符号 306	B	あり	17.62	4.81 X 10 ⁻⁶	B	なし	17.58	4.79 X 10 ⁻⁶	29.0	発明例
モータ符号 307	C	なし	19.24	5.31 X 10 ⁻⁶	C	なし	19.24	5.31 X 10 ⁻⁶	46.9	比較例
モータ符号 308	C	なし	19.24	5.31 X 10 ⁻⁶	C	あり	19.29	5.34 X 10 ⁻⁶	29.8	比較例
モータ符号 309	C	あり	19.29	5.34 X 10 ⁻⁶	C	なし	19.24	5.31 X 10 ⁻⁶	28.7	発明例
モータ符号 310	D	なし	13.84	3.83 X 10 ⁻⁶	D	なし	13.84	3.83 X 10 ⁻⁶	44.7	比較例
モータ符号 311	D	なし	13.84	3.83 X 10 ⁻⁶	D	あり	13.89	3.86 X 10 ⁻⁶	26.9	比較例
モータ符号 312	D	あり	13.89	3.86 X 10 ⁻⁶	D	なし	13.84	3.83 X 10 ⁻⁶	25.8	発明例
モータ符号 313	M	なし	24.79	6.86 X 10 ⁻⁶	M	なし	24.79	6.86 X 10 ⁻⁶	47.1	比較例
モータ符号 314	M	なし	24.79	6.86 X 10 ⁻⁶	M	あり	24.81	6.86 X 10 ⁻⁶	29.5	比較例
モータ符号 315	M	あり	24.81	6.89 X 10 ⁻⁶	M	なし	24.79	6.89 X 10 ⁻⁶	28.2	発明例

符号の説明

[0089] 3 ステータ鉄心

3 0 0 モータ

3 0 1 筐体

3 0 2 ロータ

請求の範囲

- [請求項1] ステータと、
 ロータと、
 前記ステータ及び前記ロータを収容する筐体と
 を有し、
 条件1・・・前記ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱伝導率Aが、 $12 \sim 35 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、前記ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱伝導率Bが、 $10 \sim 33 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であって、且つ両者の熱伝導率が、式(1)： $A > B$ の関係
 条件2・・・前記ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱拡散率A1が、 $3.0 \times 10^{-6} \sim 9.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、前記ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の熱拡散率B1が、 $2.5 \times 10^{-6} \sim 8.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であって、且つ両者の熱拡散率が、式(3)： $A1 > B1$ の関係
 の少なくとも一つを満たすことを特徴とする回転電機。
- [請求項2] 前記条件1を満たすことを特徴とする請求項1に記載の回転電機。
- [請求項3] 前記条件2を満たすことを特徴とする請求項1に記載の回転電機。
- [請求項4] 前記ステータの鉄心及び前記ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、
 C：0.0100%以下、
 Si：2.6%以上4.5%以下、
 Mn：0.1%以上3.0%以下、
 P：0.15%以下、
 S：0.0030%以下、
 N：0.0040%以下、
 Al：0.1%以上2.0%以下、
 Sn及びSbから選択される1種以上：0～0.200%、
 Cr：0～0.400%、

N i : 0 ~ 5 . 0 %、
C u : 0 ~ 5 . 0 %、
C a : 0 ~ 0 . 0 1 0 %、
M g : 0 ~ 0 . 0 1 0 0 %、
希土類元素 (R E M) : 0 ~ 0 . 0 1 0 %、
B : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、
T i : 0 . 0 0 3 0 %以下、
O : 0 . 0 2 0 0 %以下、及び
残部 : F e 及び不純物から成る

ことを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の回転電機。

[請求項5] 前記ステータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の下記式 (2) の値が、前記ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の式 (2) の値よりも低い

ことを特徴とする、請求項 4 に記載の回転電機。

式 (2) : $9 . 9 + 1 2 . 4 \times S i \text{ (質量\%)} + 6 . 6 \times M n \text{ (質量\%)} + 1 0 . 0 \times A l \text{ (質量\%)}$

[請求項6] 前記無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、P : 0 . 0 3 %未満を含有する

ことを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の回転電機。

[請求項7] 前記無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、C r : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 4 0 0 %を含有し、式 (4) を満たす

ことを特徴とする請求項 4 ~ 6 のいずれか一項に記載の回転電機。

式 (4) : $C r \text{ (質量\%)} \times O \text{ (質量\%)} < 8 . 0 \times 1 0^{-5}$

[請求項8] 前記ロータの鉄心に用いる無方向性電磁鋼板の結晶粒径が $8 0 \mu m$ 未満である

ことを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の回転電機。

[請求項9] 請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の回転電機に用いられる、ステータの鉄心及びロータの鉄心のセット。

- [請求項10] 請求項9に記載のステータの鉄心及びロータの鉄心のセットを用いて回転電機を製造することを特徴とする回転電機の製造方法。
- [請求項11] 化学組成が、質量%で、
C : 0.0100%以下、
Si : 2.6%以上4.5%以下、
Mn : 0.1%以上3.0%以下、
P : 0.15%以下、
S : 0.0030%以下、
N : 0.0040%以下、
Al : 0.1%以上2.0%以下、
Sn及びSbから選択される1種以上 : 0~0.200%、
Cr : 0~0.400%、
Ni : 0~5.0%、
Cu : 0~5.0%、
Ca : 0~0.010%、
Mg : 0~0.0100%、
希土類元素 (REM) : 0~0.010%、
B : 0~0.0050%、
Ti : 0.0030%以下、
O : 0.0200%以下、及び
残部 : Fe 及び不純物
から成る無方向性電磁鋼板を、製鋼、熱間圧延、熱間圧延板焼鈍、酸洗、冷間圧延、仕上焼鈍を含む工程で製造するに際し、式(1) : $A > B$ と式(3) : $A1 > B1$ の少なくとも一つを満たすように、前記仕上焼鈍の焼鈍温度を2種類設定し、前記ロータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度を600℃~900℃とし、且つ前記ステータ用の無方向性電磁鋼板の仕上焼鈍温度よりも低くする

ことを特徴とする、請求項 1 に記載の回転電機のステータ用無方向性電磁鋼板及びロータ用無方向性電磁鋼板の製造方法。

[請求項12] 前記式(1)を満たすことを特徴とする請求項 11 に記載の回転電機のステータ用無方向性電磁鋼板及びロータ用無方向性電磁鋼板の製造方法。

[請求項13] 前記式(3)を満たすことを特徴とする請求項 11 に記載の回転電機のステータ用無方向性電磁鋼板及びロータ用無方向性電磁鋼板の製造方法。

[請求項14] 前記無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、P : 0.03%未満を含有する
ことを特徴とする、請求項 11 ~ 13 のいずれか一項に記載の回転電機のステータ用無方向性電磁鋼板及びロータ用無方向性電磁鋼板の製造方法。

[請求項15] 前記無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、Cr : 0.001 ~ 0.400%を含有する
ことを特徴とする、請求項 11 ~ 14 のいずれか一項に記載の回転電機のステータ用無方向性電磁鋼板及びロータ用無方向性電磁鋼板の製造方法。

[請求項16] 化学組成が、質量%で、
C : 0.0100%以下、
Si : 2.6%以上4.5%以下、
Mn : 0.1%以上3.0%以下、
P : 0.15%以下、
S : 0.0030%以下、
N : 0.0040%以下、
Al : 0.1%以上2.0%以下、
Sn及びSbから選択される1種以上 : 0 ~ 0.200%、
Cr : 0 ~ 0.400%、

N i : 0 ~ 5 . 0 %、
C u : 0 ~ 5 . 0 %、
C a : 0 ~ 0 . 0 1 0 %、
M g : 0 ~ 0 . 0 1 0 0 % 及び、
希土類元素 (R E M) : 0 ~ 0 . 0 1 0 %、
B : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、
T i : 0 . 0 0 3 0 % 以下、
O : 0 . 0 2 0 0 % 以下、 及び
残部 : F e 及び不純物

から成る無方向性電磁鋼板を、製鋼、熱間圧延、熱間圧延板焼鈍、酸洗、冷間圧延、仕上焼鈍を含む工程で製造し、得られた無方向性電磁鋼板からステータに用いる素材とロータに用いる素材を打ち抜いて積層し、式 (1) : $A > B$ と式 (3) : $A 1 > B 1$ の少なくとも一つを満たすように、前記ステータのみに対し歪取り焼鈍を行うことを特徴とする請求項 1 に記載の回転電機のステータ及びロータの製造方法。

[請求項17] 前記式 (1) を満たすことを特徴とする請求項 1 6 に記載のステータ及びロータの製造方法。

[請求項18] 前記式 (3) を満たすことを特徴とする請求項 1 6 に記載のステータ及びロータの製造方法。

[請求項19] 前記無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、P : 0 . 0 3 % 未満を含有することを特徴とする請求項 1 6 ~ 1 8 のいずれか一項に記載の回転電機のステータ及びロータの製造方法。

[請求項20] 前記無方向性電磁鋼板の化学組成が、質量%で、C r : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 4 0 0 % を含有することを特徴とする請求項 1 6 ~ 1 9 のいずれか一項に記載の回転電機のステータ及びロータの製造方法。

- [請求項21] 回転電機の鉄心素材に用いられる無方向性電磁鋼板のセットであつて、
条件1・・・ステータ用の無方向性電磁鋼板の熱伝導率Aが、 $12 \sim 35 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、ロータ用の無方向性電磁鋼板の熱伝導率Bが、 $10 \sim 33 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であつて、且つ両者の熱伝導率が、式(1)： $A > B$ の関係
条件2・・・前記ステータ用の無方向性電磁鋼板の熱拡散率A1が、 $3.0 \times 10^{-6} \sim 9.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であり、前記ロータ用の無方向性電磁鋼板の熱拡散率B1が、 $2.5 \times 10^{-6} \sim 8.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であつて、且つ両者の熱拡散率が、式(3)： $A1 > B1$ の関係
の少なくとも一つを満たすことを特徴とする無方向性電磁鋼板のセット。
- [請求項22] 前記条件1を満たすことを特徴とする請求項21に記載の無方向性電磁鋼板のセット。
- [請求項23] 前記条件2を満たすことを特徴とする請求項21に記載の無方向性電磁鋼板のセット。
- [請求項24] 化学組成が、質量%で、
C：0.0100%以下、
Si：2.6%以上4.5%以下、
Mn：0.1%以上3.0%以下、
P：0.15%以下、
S：0.0030%以下、
N：0.0040%以下、
Al：0.1%以上2.0%以下、
Sn及びSbから選択される1種以上：0～0.200%、
Cr：0～0.400%、
Ni：0～5.0%、

Cu : 0 ~ 5.0 %、

Ca : 0 ~ 0.010 %、

Mg : 0 ~ 0.0100 %、

希土類元素 (REM) : 0 ~ 0.010 %、

B : 0 ~ 0.0050 %、

Ti : 0.0030 %以下、

O : 0.0200 %以下、及び

残部 : Fe 及び不純物から成る

ことを特徴とする、請求項 21 ~ 23 のいずれか一項に記載の無方向性電磁鋼板のセット。