

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4507316号
(P4507316)

(45) 発行日 平成22年7月21日(2010.7.21)

(24) 登録日 平成22年5月14日(2010.5.14)

(51) Int.Cl.		F I	
H02K 29/00	(2006.01)	H02K 29/00	Z
C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/00	303U
C22C 38/06	(2006.01)	C22C 38/06	
C22C 38/60	(2006.01)	C22C 38/60	
C21D 8/12	(2006.01)	C21D 8/12	A

請求項の数 2 (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願平11-335597	(73) 特許権者	000001258
(22) 出願日	平成11年11月26日(1999.11.26)		JFEスチール株式会社
(65) 公開番号	特開2001-152300(P2001-152300A)		東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(43) 公開日	平成13年6月5日(2001.6.5)	(74) 代理人	100147485
審査請求日	平成18年10月26日(2006.10.26)		弁理士 杉村 憲司
		(74) 代理人	100114292
			弁理士 来間 清志
		(74) 代理人	100072051
			弁理士 杉村 興作
		(72) 発明者	藤山 寿郎
			岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし)
			川崎製鉄株式会社 水島製鉄所内
		(72) 発明者	酒井 敬司
			岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし)
			川崎製鉄株式会社 水島製鉄所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 DCブラシレスモーター

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

無方向性電磁鋼板を積層してなるDCブラシレスモーターであって、上記無方向性電磁鋼板が、

- C : 0.0050wt% 以下、
- Si : 0.5 ~ 4.5 wt%、
- Mn : 0.1 ~ 2.5 wt% および
- Al : 0.2 ~ 2.5 wt%

を含有し、かつ

- S : 0.01wt% 以下

に抑制した組成になり、エプスタイン試験片を用いた圧延方向(L方向)、圧延直角方向(C方向)および圧延方向に対して45°をなす方向(D方向)の磁気特性測定値について、1.5 T、50HzにおけるL, C平均鉄損 $W_{15/50}(L+C)$ [W/kg]と5000 A/mでのL, C平均磁束密度 $B_{50}(L+C)$ [T]との間に、次式(1)

$$B_{50}(L+C) \geq 0.03 \cdot W_{15/50}(L+C) + 1.63 \quad \text{--- (1)}$$

の関係が成立し、かつ1.0 T、400HzにおけるD鉄損 $W_{10/400}(D)$ [W/kg]のL, C平均鉄損 $W_{10/400}(L+C)$ [W/kg]に対する比が、次式(2)

$$W_{10/400}(D) / W_{10/400}(L+C) \leq 1.2 \quad \text{--- (2)}$$

の範囲を満足し、さらに上記無方向性電磁鋼板の板厚が0.35mm厚または0.50mm厚であり、その硬度: Hv₁ (JIS Z 2244、試験荷重: 9.807 N) 値が、鉄損値: $W_{15/50} \leq 5.0$ W/kg

の範囲において、それぞれ次式(3)、(4)

$$0.35\text{mm} \pm 0.02\text{mm厚時} : H v_1 - 83.3 \cdot W_{1.5/5.0}(L+C) + 380 \quad \text{--- (3)}$$

$$0.50\text{mm} \pm 0.02\text{mm厚時} : H v_1 - 63.6 \cdot W_{1.5/5.0}(L+C) + 360 \quad \text{--- (4)}$$

の関係を満足することを特徴とする DC ブラシレスモーター。

【請求項2】

請求項1において、前記無方向性電磁鋼板の鋼成分が、さらに

$$\text{Sb} : 0.005 \sim 0.12\text{wt} \%$$

を含有する組成になることを特徴とする DC ブラシレスモーター。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10

【発明の属する技術分野】

この発明は、DC ブラシレスモーターに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、省エネルギー化の要請が強化されるに伴って、電気機器類の高効率化指向が高まってきた。鋼板メーカーは上記の要請に応えるべく、以下に述べるような様々な手段によって電気機器類用電磁鋼板の鉄損特性の改善に努めてきた。

【0003】

さて、電磁鋼板に対するSiの添加は、鋼板の比抵抗を高めることによって鉄損を低減させる最も有効な手段であり、この手段は、電磁鋼板の分野において広く用いられている。また、添加元素としては、AlもSiと同様の効果を有することが知られる。

20

例えば特開昭53-66816号公報には、鋼板の比抵抗を高め、かつ微細なAlNの析出による粒成長抑制作用を避けるために、Alの積極添加が提案されている。

また、特開昭55-73819号公報では、Alを添加し、かつ焼鈍雰囲気調整により鋼板表面の内部酸化層を低減することによって、良好な高磁場特性を達成している。

さらに、特開昭54-68716号公報および特開昭58-25427号公報では、Alを添加すると共に、REMとSbを複合添加したり、高純化したりして、集合組織を改善することにより鉄損を低減している。

【0004】

その他、特開昭61-87823号公報では、Alを添加し、仕上げ焼鈍時の鋼板冷却速度を制御することによって、また特開平3-274247号公報では、Alを添加すると共に、B、Sb、Snの複合添加により酸窒化を防止することによって、特開平3-294422号公報では、Alを添加し、冷間圧延を制御して鋼板LC特性比を低減することによって、特開平4-63252号公報では、MnとAlを複合添加することによって、特開平4-136138号公報では、Alを添加すると共に極低Siとし、かつP、Sbの添加により集合組織を改善することによって、いずれも磁気特性の改善を達成している。

30

以上述べた技術はいずれも、電磁鋼板自体の特性改善によって、それを使用する電気機器の効率向上につながるものであった。

【0005】

一方、最近では、半導体の性能向上、価格の低下と共に、その周辺技術の飛躍的な向上によって小型回転機器の制御技術が急速に進歩し、インバーターによる回転制御が行われたり、また永久磁石素材の進歩によりDCブラシレスモーターのような高効率回転機の製造が可能となった。

40

しかしながら、これに伴って特にモータの駆動条件は複雑化し、高回転域のみならず低回転域においても励磁条件は歪などによる高周波成分を多く含むようになってきた。しかも、これが原因で、前述したような従来材料を用いたモーター鉄心においてはこれ以上の鉄損低減が困難となり、モーターの効率改善は頭打ちとなってきていた。

【0006】

加えて、低鉄損化のために、SiやAl等の比抵抗元素の含有量を増加すると、鋼板の硬度が上昇し、モーターや変圧器のプレス加工時に金型寿命の低下を招いたり、打ち抜き不良が

50

増加するという問題も発生した。

【 0 0 0 7 】

【 発明が解決しようとする課題 】

この発明は、上記の現状に鑑み開発されたもので、電源トランスの高磁場設計による高効率化に対応する無方向性電磁鋼板、または高効率回転器の効率をさらに高めることを目的とした高周波域における磁気異方性が小さい回転機器用無方向性電磁鋼板で、しかもプレス加工性も併せて改善した、高周波域における磁気異方性が小さくかつプレス加工性に優れた無方向性電磁鋼板を積層して作製したDCブラシレスモーターを提案することを目的とする。

【 0 0 0 8 】

【 課題を解決するための手段 】

さて、発明者らは、鋼板の磁気特性を詳細に調査するだけでなく、それを用いて実際に回転機を作製し、その実機特性と素材特性との関係について詳細に検討した結果、実機のモーター効率を高めるためには、商用周波数よりも高周波の領域における素材の磁気異方性を小さくすることが極めて重要であることの知見を得た。

また、打ち抜き等のプレス加工時に懸念される磁気特性の劣化を防止するには、鋼板の硬度をその鉄損値に応じて適正範囲に制限することが有効であることも併せて見出した。

この発明は、上記の知見に立脚するものである。

【 0 0 0 9 】

すなわち、この発明の要旨構成は次のとおりである。

1. 無方向性電磁鋼板を積層してなるDCブラシレスモーターであって、上記無方向性電磁鋼板が、

C : 0.0050wt% 以下、

Si : 0.5 ~ 4.5 wt%、

Mn : 0.1 ~ 2.5 wt% および

Al : 0.2 ~ 2.5 wt%

を含有し、かつ

S : 0.01wt% 以下

に抑制した組成になり、エプスタイン試験片を用いた圧延方向 (L 方向)、圧延直角方向 (C 方向) および圧延方向に対して 45° をなす方向 (D 方向) の磁気特性測定値について、1.5 T、50Hz における L, C 平均鉄損 $W_{15/50}(L+C)$ [W/kg] と 5000 A/m での L, C 平均磁束密度 $B_{50}(L+C)$ [T] との間に、次式 (1)

$$B_{50}(L+C) = 0.03 \cdot W_{15/50}(L+C) + 1.63 \quad \text{--- (1)}$$

の関係が成立し、かつ 1.0 T、400Hz における D 鉄損 $W_{10/400}(D)$ [W/kg] の L, C 平均鉄損 $W_{10/400}(L+C)$ [W/kg] に対する比が、次式 (2)

$$W_{10/400}(D) / W_{10/400}(L+C) = 1.2 \quad \text{--- (2)}$$

の範囲を満足し、さらに 上記無方向性電磁鋼板の板厚が 0.35mm 厚または 0.50mm 厚であり、その硬度 : Hv_1 (JIS Z 2244、試験荷重 : 9.807 N) 値が、鉄損値 : $W_{15/50} = 5.0$ W/kg の範囲において、それぞれ次式 (3), (4)

$$0.35\text{mm} \pm 0.02\text{mm 厚時} : Hv_1 = 83.3 \cdot W_{15/50}(L+C) + 380 \quad \text{--- (3)}$$

$$0.50\text{mm} \pm 0.02\text{mm 厚時} : Hv_1 = 63.6 \cdot W_{15/50}(L+C) + 360 \quad \text{--- (4)}$$

の関係を満足することを特徴とする DCブラシレスモーター。

【 0 0 1 0 】

2. 上記 1 において、前記無方向性電磁鋼板の鋼成分が、さらに

Sb : 0.005 ~ 0.12wt%

を含有する組成になることを特徴とする DCブラシレスモーター。

【 0 0 1 1 】

【 発明の実施の形態 】

以下、この発明を具体的に説明する。

さて、発明者らは先ず、市販の種々の DC ブラシレスモーターを入手し、これらと同等の

10

20

30

40

50

形状に加工できる金型を作成し、種々の鋼板素材を打抜いてモーターを作製した。
 なお、素材特性の評価に際しては、従来の圧延方向、圧延直角方向のみのエプスタイン評価方法に加えて、圧延方向に対して45°をなす方向のエプスタイン試験片（各々L片，C片およびD片という）を用いた磁気測定を行った。また、商用周波数だけでなく、50 kHzまでの高周波域における磁気測定を行い、これらを詳細に解析検討した。

【0012】

図1に、モーター効率に及ぼす素材の鉄損と磁束密度の影響について調べた結果を示す。同図に示したとおり、素材の1.5 T、50HzにおけるL，C平均鉄損 $W_{15/50}(L+C)$ [W/kg]と5000A/mでのL，C平均磁束密度 $B_{50}(L+C)$ [T]との間に、次式(1)

$$B_{50}(L+C) = 0.03 \cdot W_{15/50}(L+C) + 1.63 \quad \text{--- (1)}$$

の関係が成立する場合に、モーター効率が92%以上の優れた特性が得られることが判明した。

【0013】

ただし、上掲式の条件を満足する場合であっても、必ずしも全てが92%以上の効率とはならなかった。

そこで、発明者らは、この原因を明らかにするために、さらに高周波域特性、角度別特性および歪み波解析などについて詳細な検討を行った。

得られた結果を図2に示す。

なお、上記の実験において、素材は全て上掲式(1)を満足するものを用いた。ここで、 $W_{10/400}(L+C)$ [W/kg] および $W_{10/400}(D)$ [W/kg] はそれぞれ、素材の圧延方向とその直角方向との平均および圧延方向に対して45°の方向の、1.0 T、400 Hzにおける鉄損値である。

同図から明らかなように、これらの比が、次式(2)

$$W_{10/400}(D) / W_{10/400}(L+C) = 1.2 \quad \text{--- (2)}$$

の範囲を満足する場合にのみ、良好なモーター効率が安定して得られることが判明した。

【0014】

上述したように、この発明に従い上掲式(1)，(2)の条件を満足する素材を使用した場合においてのみ、良好なモーター効率が得られる理由は、必ずしも明らかではないが、以下のように推察できる。

つまり、モーター効率は、モーターの鉄損および銅損が小さいものほど高くなる。ここに、鉄損は主に素材の鉄損に影響され、低鉄損材ほど低鉄損のモーターとなる。一方、銅損は、素材の磁束密度が高いものものほど透磁率が高くなり、励磁に要する電流が少なくて済むため、発生するジュール損すなわち銅損が低減される。

しかしながら、素材特性が通常理想的な正弦波励磁下で行われるのに対して、モーターは複雑な形状や、磁路の影響を受け、磁束波形が歪み、高周波成分を持つことになる。また、最近では、高効率化のためにインバーター制御が用いられ、周波数を変えることによって回転数を変えることが可能になってきたが、このインバーター周波数は、キャリア周波数が高周波であるのみならず、基本周波数も比較的高周波数が用いられる。

【0015】

このように、実際のモーターでは、通常の素材評価では考慮されていない高周波成分が効いてくる。

また、通常の素材評価は、L，C試験片のみの評価が主体であるのに対して、モーターでは、使用される電磁鋼板のすべての方向（圧延方向に対して45°をなすD方向を含めた板面内）に磁束が流れる。

従って、上記したこの発明の範囲でモーター効率が改善されたのは、モーター内部では、D方向の特性、特に低磁場、高周波特性が相対的に重要な役割を果たしていることによるものと考えられる。

【0016】

次に、打ち抜きが磁気特性に与える影響について調査した結果を示す。

前述したモーター作製に用いた種々の素材の鋼板（板厚：0.35mm）について打ち抜きを行

10

20

30

40

50

い、30mm×280 mmおよび7.5mm×280 mmの2種類の試験片を採取した。これらの試験片において、7.5mm×280 mmの場合は4枚を並列に並べエプスタイン試験法により磁気測定を行った。試験では、長さ方向がそれぞれ圧延方向および圧延直角方向となるように打ち抜いたものを用い、平均の鉄損を求めた。

用いた素材のうち、式(1)および(2)の条件を満たさない素材について、30mm幅に対する7.5mm幅のもの鉄損の劣化傾向について調べた結果を、素材の硬度と鉄損 $W_{15/50}$ との関係で図3に示す。ここで、横軸となる鉄損 $W_{15/50}$ の値は30mm×280mmの素材の測定結果を用いた。

同図より、鉄損の劣化が10%以上となる場合は、硬度の上昇に伴って多くなるという一応の傾向は認められたものの、鉄損に対しては特段の傾向は認められなかった。

10

【0017】

ところが、式(1)および(2)の条件を満たす素材について、同様な調査を行ったところ、図4に示すように、鉄損が低くなるについて7.5mm幅の鉄損が10%以上劣化する限界の素材硬度が高くなることが判明した。

同図より、次式(3)

$$Hv_1 = 83.3 \cdot W_{15/50}(L+C) + 380 \quad \text{--- (3)}$$

を満足する場合には、打ち抜きによる鉄損劣化が軽減できることが明らかになった。

【0018】

さらに、板厚：0.50mmの素材について、上記した0.35mm厚の場合と同様な磁気測定を行った。

20

得られた結果を、図5に示すが、同図に示したとおり、次式(4)

$$Hv_1 = 63.6 \cdot W_{15/50}(L+C) + 360 \quad \text{--- (4)}$$

を満足する場合には、打ち抜きによる鉄損劣化が軽減できることが明らかになった。

【0019】

この理由については必ずしも明らかではないが、発明者らは次のように考えている。打ち抜きによって磁気特性が劣化するのは、打ち抜き端面が剪断される際の変形による歪みの影響が大きい。この変形の度合は、素材の結晶粒径や集合組織に影響を受けると考えられる。一般に、硬度が上がるにつれ打抜性は悪くなるが、結晶粒径や集合組織を適正化することにより、打ち抜き後の磁気特性を劣化させる限界の硬度が高くなると考えられる。鉄損 $W_{15/50}$ は、結晶粒径や集合組織に影響されると考えられるが、鉄損 $W_{15/50}$ が低くなるにつれて、結晶粒径や集合組織が打抜性に良好な状態に適正化されているものと考えられる。

30

このような打抜性が良好である限界硬度の鉄損 $W_{15/50}$ に対する依存性は、素材が式(1)および(2)を満たす場合に顕著になる。つまり磁気特性の異方性が小さくなることより、剪断された方向の差による打抜性の差(すなわち磁性劣化の差)が小さくなり、相対的に結晶粒径や集合組織が打抜性に与える影響が大きくなるためと考えられる。従って、打抜性が良好な硬度の範囲が式(3)あるいは式(4)で表されるようになったものと考えられる。

【0020】

次に、この発明において、素材である無方向性電磁鋼板の成分組成を前記の範囲に限定した理由について説明する。

40

C：0.0050wt%以下

Cは、 δ 相領域を拡大し δ - γ 変態点を低下させる。また、焼鈍中に δ 相が粒界にフィルム状に生成し δ 粒の成長を抑制するため、Cは基本的に少なくする必要がある。さらに、SiやAlの δ 相安定化元素を多く含有し、全温度域で δ 相が生成しない場合でもC含有量が0.0050wt%を超えると鉄損特性の時効劣化を引き起こすおそれがある。

従って、この発明では、C含有量は0.0050wt%以下に限定した。

【0021】

Si：0.5 ~ 4.5 wt%

Siは、鋼の比抵抗を高め鉄損を低下させる有用元素であり、その効果を得るためには最低

50

0.5wt%が必要である。しかしながら、過度の添加は硬度を上昇させ冷間圧延性を劣化させるので、上限を4.5 wt%とした。

【0022】

Al : 0.2 ~ 2.5 wt%

Alは、Siと同様、鋼の比抵抗を高め鉄損を低下させる働きがあるので、0.2 wt%以上添加するが、その含有量が多い場合には連続鋳造でのモールドとの潤滑性が低下し鋳造が困難となるので、上限は2.5 wt%とした。

【0023】

Mn : 0.1 ~ 2.5 wt%

Mnは、SiやAlほどではないが、鋼の比抵抗を高め、鉄損を低下させる作用があり、また熱間圧延性の改善にも有効に寄与するが、含有量が0.1 wt%に満たないとその添加効果に乏しく、一方含有量があまり多くなると冷間圧延性が劣化するので、上限は2.5 wt%とした。

【0024】

S : 0.01wt%以下

Sは、析出物、介在物を形成し、粒成長性を阻害するので、その混入は極力低減する必要があるが、混入量が0.01wt%以下であれば許容できる。

【0025】

以上、必須成分および抑制成分について説明したが、この発明では、その他にも必要に応じて以下の元素を適宜添加することができる。

Sb : 0.005 ~ 0.12wt%

Sbは、集合組織を改善して磁束密度を向上させるだけでなく、鋼板表層の特にアルミの酸窒化を抑制し、さらにこれに伴う表層細粒の生成を抑制することにより表面硬度の上昇を抑えて、打ち抜き加工性を向上させる作用があるが、含有量が0.005 wt%に満たないとその添加効果に乏しく、一方0.12wt%を超えると粒成長性が阻害され磁気特性の劣化するので、Sbは 0.005 ~ 0.12wt%の範囲で含有させるものとした。

【0026】

P : 0.1 wt%以下

Pも、SiやAlほどではないが、鋼の比抵抗を高め、鉄損を低下させる効果があり、また粒界偏析により冷延再結晶後の集合組織を改善して磁束密度を向上させる効果があるので、必要に応じて添加してもよい。しかしながら、過度の粒界偏析は粒成長性を阻害し鉄損を劣化させるので、その上限は 0.1wt%とする。

【0027】

その他、Ni, CuおよびCr等も比抵抗を高める元素であるので、添加してもよいが、いずれも10wt%を超えると圧延性が劣化するので、10wt%以下で添加することが好ましい。

【0028】

次に、この発明の素材である無方向性電磁鋼板の好適製造条件について説明する。

熱延条件は特に規定しないが、省エネルギーのため、スラブ加熱温度は1200 以下とすることが望ましい。

熱延板焼鈍は、800 以上でなければ磁束密度を向上させることが難しいので、800 以上の温度域で行うことが好ましい。

【0029】

ついで、1回または中間焼鈍を含む2回の圧延を施すが、この冷間圧延において、集合組織を適正とするためには、50 以上の温度域で少なくとも20%以上の圧下を施すことが好ましい。

つまり、比較的低磁場、高周波域でのD方向の鉄損を良くするには、磁化容易軸である < 1 0 0 > がD方向を向くのが理想的であるが、それに加えて磁化困難軸である < 1 1 1 > をある程度含んでいることが好ましいことが究明された。

そして、上記のような集合組織とするには、冷間圧延の際、50 以上の温度域で少なくとも20%以上の圧下を施すことが重要なのである。

10

20

30

40

50

【0030】

この理由は明確ではないが、磁区構造に起因するものと推定している。

ここに、圧延温度が50 未満であったり、圧下率が20%未満であったりすると $D// < 111 >$ の生成が不十分であり良好なD特性が得られない。

なお、この圧延は、ゼンジマー圧延でも達成可能であるが、生産効率の観点からはタンデム圧延の方が好ましい。

【0031】

仕上げ焼鈍については、その温度が 850 に満たないと粒成長が不十分で良好なL, C, D鉄損が得られないので、850 以上とすることが好ましい。

【0032】

【実施例】

実施例 1

表1に成分組成になる鋼スラブを、通常ガス加熱炉により1150 に加熱したのち、熱間圧延により2.6 mm厚の熱延板とした。ついで 950 で1分の熱延板焼鈍後、4スタンドのタンデム圧延機により0.35mm厚に仕上げた。この時、第4番目のスタンドの入側の温度は80 で、圧下率は32%とした。ついで 950 で再結晶焼鈍を施したのち、コーティング処理を施して製品板とした。

得られた製品板から、素材評価のためL, C, D方向のエプスタイン試験片を採取し、磁気特性を測定した。また、300WのDCブラシレスモーターを試作してそのモーター効率を測定した。さらに、各製品板の硬度： Hv_1 (JIS Z 2244、試験荷重：9.807 N) について

かくして得られた結果を整理して表2に示す。

【0033】

【表1】

鋼 記号	C (ppm)	Si (wt%)	Mn (wt%)	Al (wt%)	P (wt%)	S (ppm)	Sb (wt%)	Cu (wt%)	Ni (wt%)	Cr (wt%)	Ti (ppm)	O (ppm)	N (ppm)	備 考
A	32	2.1	0.2	0.5	0.02	25	0.05	0.01	0.02	0.01	10	15	22	適合例
B	25	1.3	0.5	1.5	0.02	35	tr	0.01	0.01	0.01	12	25	25	"
C	21	1.5	0.5	1.2	0.02	15	tr	0.02	0.05	0.01	14	16	14	"
D	18	1.6	1.2	0.6	0.05	20	tr	0.05	0.01	0.02	8	14	15	"
E	35	0.9	1.8	1.0	0.05	14	tr	0.08	0.02	0.01	5	13	18	"
F	8	2.0	0.8	1.2	0.06	10	tr	0.10	0.01	0.03	15	14	19	"
G	16	2.9	0.5	0.8	0.07	7	tr	0.01	0.01	0.01	14	15	25	"
H	21	2.8	0.5	0.3	0.02	2	0.02	0.01	0.02	0.01	21	19	24	"
I	22	0.9	0.4	0.7	0.05	15	0.03	0.01	0.01	0.01	30	21	15	"
J	12	0.4	1.5	0.1	0.02	10	tr	0.01	0.01	0.01	18	18	18	比較例

【0034】

【表2】

10

20

30

40

鋼 記号	$W_{Fe-30}(L+C)$ (W/kg)	$0.03 \times W_{Fe-30}(L+C)$ +1.63	$B_{10}(L+C)$ (T)	$W_{Fe-40L}(L+C)$ (W/kg)	$W_{Fe-70D}(D)$ (W/kg)	$W(D)/W(L+C)$	モータ効率 (%)	H_{V_1}	$-83.3 \times W_{Fe-30}(L+C)$ +380	$W_{Fe-30}(L+C)$ の 劣化割合 (%)	備 考
A	2.25	1.698	1.745	18.8	19.2	1.02	94.5	162	192	7.2	適合例
B	2.15	1.695	1.732	18.1	19.3	1.07	93.1	168	201	7.6	"
C	2.35	1.701	1.721	18.5	19.5	1.05	93.1	152	184	5.5	"
D	2.45	1.704	1.715	20.3	21.2	1.04	92.5	143	176	8.2	"
E	2.60	1.708	1.718	19.8	21.2	1.07	92.3	130	163	8.3	"
F	2.10	1.693	1.746	16.9	18.5	1.09	92.4	177	205	9.0	"
G	1.90	1.687	1.732	17.2	18.5	1.08	93.5	205	222	8.7	"
H	1.95	1.689	1.708	18.6	19.9	1.07	94.8	190	217	9.1	"
I	2.88	1.716	1.719	21.2	23.5	1.11	94.7	110	140	6.8	"
J	3.20	1.726	1.725	24.5	29.6	1.21	87.5	115	113	12.7	比較例

【0035】

表2から明らかのように、この発明に従えば、高周波域における磁気異方性が小さい素材ひいては良好なモーター特性が得られている。また、この発明の適合例はいずれも適正な硬度を有していてプレス加工性にも優れている。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 6 】

実施例 2

表 1 の鋼記号 A , G の素材を用いて製品を製造するに当たり、タンデム圧延条件を種々変化させて圧延を行い、これを 880 で再結晶焼鈍後、コーティング処理を施して得た製品板から、素材評価のため L , C , D 方向のエプスタイン試験片を採取して特性を測定し、また 300W の DC ブラシレスモーターを試作してそのモーター効率を測定した。

なお、タンデム圧延機は 4 スタンドよりなり、このうちスタンド入側の温度が一番高いものについて、入側温度と圧下率を記載した。

さらに、各製品板の硬度： Hv_1 (JIS Z 2244、試験荷重：9.807 N) についても測定した。

素材特性およびモーター効率についての測定結果を表 3 に、また硬度の測定値を表 4 にそれぞれ示す。

【 0 0 3 7 】

【表 3】

鋼記号	圧延温度 (°C)	圧下率 (%)	$W_{1.3/2.50}(L+C)$ (W/kg)	$0.03 \times W_{1.3/2.50}(L+C) + 1.63$	$B_{30}(L+C)$ (T)	$W_{1.3/2.50}(L+C)$ (W/kg)	$W_{1.3/2.50}(D)$ (W/kg)	$W(D)/W(L+C)$	モータ効率 (%)	備考
A	30	30	2.34	1.700	1.715	19.2	23.5	1.22	88.7	比較例
"	55	10	2.20	1.686	1.682	19.5	24.6	1.26	88.9	"
"	60	25	2.34	1.700	1.742	18.5	19.5	1.05	94.1	適合例
"	83	33	2.09	1.693	1.749	18.4	18.4	1.00	94.8	"
"	154	28	2.11	1.693	1.761	17.5	19.0	1.09	94.9	"
"	256	25	2.25	1.698	1.755	19.1	19.5	1.02	94.8	"
G	81	35	2.01	1.690	1.723	15.2	16.5	1.09	93.3	"
"	165	21	1.95	1.689	1.724	16.2	16.5	1.02	93.2	"
"	238	24	1.87	1.686	1.731	14.9	15.3	1.03	93.7	"

【0038】

【表4】

10

20

30

40

鋼記号	Hv ₁	$83.3 \times W_{15/50}(L+C) + 380$	$W_{15/50}(L+C)$ の劣化割合 (%)	備考
A	160	185	9.1	比較例
〃	159	197	7.8	〃
〃	162	185	8.8	適合例
〃	161	205	6.5	〃
〃	162	204	6.7	〃
〃	160	192	7.3	〃
G	208	212	9.3	〃
〃	202	217	8.9	〃
〃	204	224	8.5	〃

10

20

【0039】

表3, 4から明らかのように、この発明鋼板はいずれも、高周波域における磁気異方性が小さく、良好なモーター特性が得られているだけでなく、適正な硬度を有していてプレス加工性にも優れている。

【0040】

【発明の効果】

かくして、この発明によれば、高周波域における磁気異方性が小さく、従って特に回転機器用としての磁気特性に優れ、しかも打抜性等のプレス加工性にも優れた無方向性電磁鋼板を得ることができ、その結果、良好なモーター特性を有するDCブラシレスモーターを安定して得ることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】 モーター効率に及ぼす素材の鉄損 $W_{15/50}(L+C)$ と磁束密度 $B_{50}(L+C)$ の関係を示したグラフである。

【図2】 モーター効率に及ぼす素材のD鉄損 $W_{10/400}(D)$ とL, C平均鉄損 $W_{10/400}(L+C)$ の関係を示したグラフである。

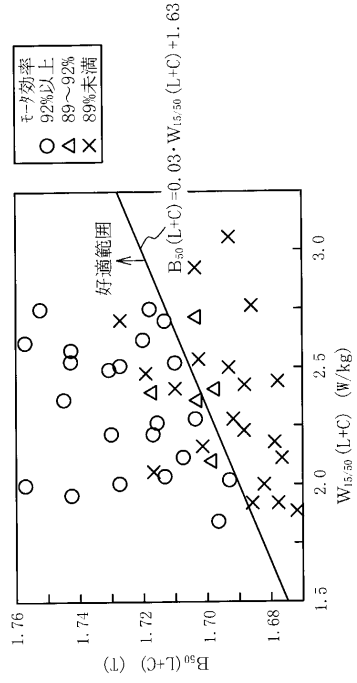
【図3】 式(1) および(2) の条件を満たさない素材(板厚: 0.35mm)の鉄損劣化に及ぼす素材の硬度と鉄損 $W_{15/50}$ の影響を示したグラフである。

【図4】 式(1) および(2) の条件を満たす素材(板厚: 0.35mm)の鉄損劣化に及ぼす素材の硬度と鉄損 $W_{15/50}$ の影響を示したグラフである。

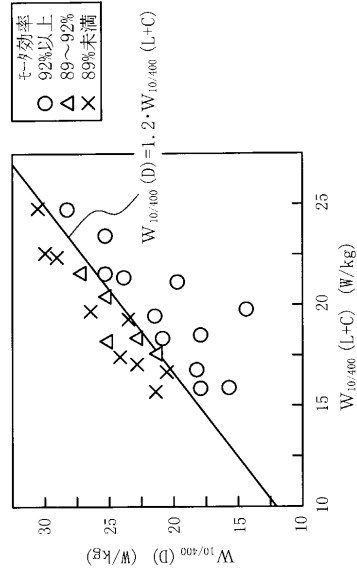
【図5】 式(1) および(2) の条件を満たす素材(板厚: 0.50mm)の鉄損劣化に及ぼす素材の硬度と鉄損 $W_{15/50}$ の影響を示したグラフである。

40

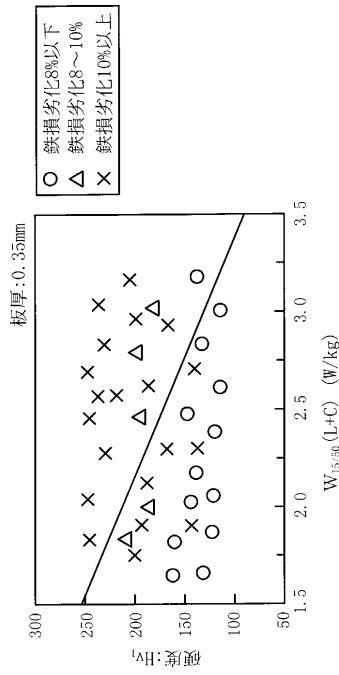
【 図 1 】



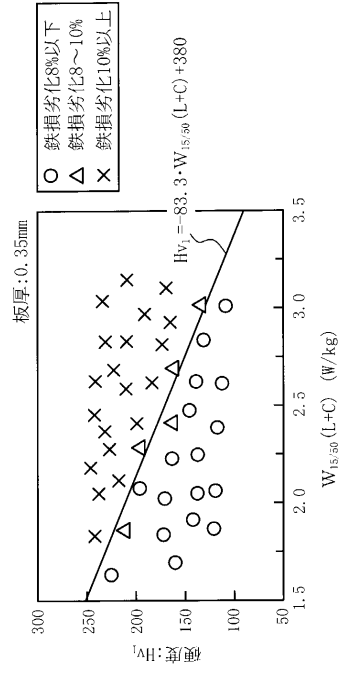
【 図 2 】



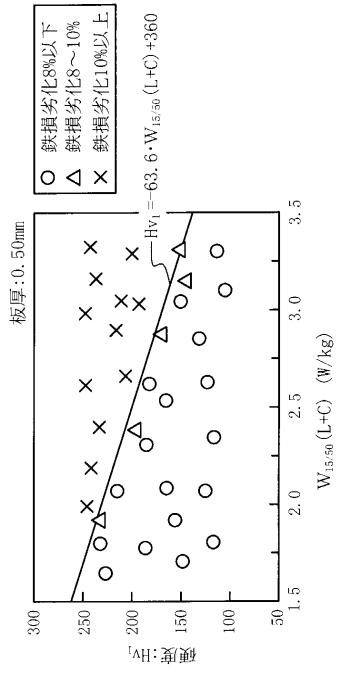
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 F 1/16 (2006.01) H 0 1 F 1/16 A

審査官 佐藤 陽一

(56)参考文献 特開平 0 8 - 0 4 1 5 3 8 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
C22C 38/00-38/60
C21D 8/12, 9/46,501