

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年5月7日(07.05.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/090160 A1

(51) 国際特許分類:

C22C 38/00 (2006.01) C21D 9/46 (2006.01)
B21B 1/22 (2006.01) C22C 38/14 (2006.01)
B21B 3/02 (2006.01) C22C 38/60 (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01) H01F 1/147 (2006.01)
C21D 9/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/027949

(22) 国際出願日: 2019年7月16日(16.07.2019)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2018-204956 2018年10月31日(31.10.2018) JP

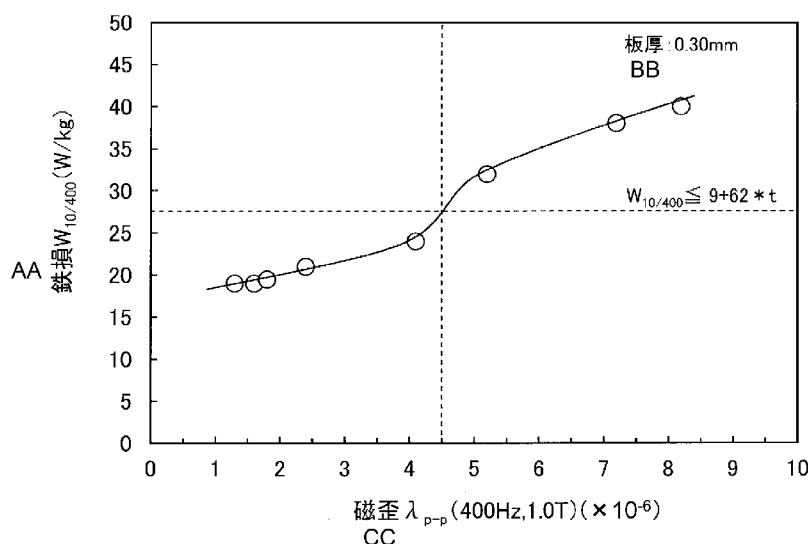
(71) 出願人: J F E スチール株式会社(JFE STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 財前 善彰(ZAIZEN Yoshiaki); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 大久保 智幸(OKUBO Tomoyuki); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 尾田 善彦(ODA Yoshihiko); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 宮本 幸乃(MIYAMOTO Yukino); 〒1000011 東京

(54) Title: NON-ORIENTED ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME, AND MOTOR CORE AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: 無方向性電磁鋼板とその製造方法およびモータコアとその製造方法

[図1]



AA... IRON LOSS
BB... SHEET THICKNESS
CC... MAGNETOSTRICTION

(57) Abstract: This non-oriented electromagnetic steel sheet in which the strength and iron loss are excellent and that has an average magnetostriction λ_{p-p} of less than or equal to 4.5×10^{-6} at 400 Hz and 1.0 T, an area percentage of recrystallized particles at the cross section in the steel sheet rolling direction of 40-95%, and an average particle size of the non-oriented electromagnetic steel sheet of 10-40 μm , is obtained, in performing hot rolling, hot-rolled sheet annealing, cold rolling, and finish annealing of a steel slab that contains, in mass%, less than or equal to 0.005% of C, 2.8-6.5% of Si, 0.05-2.0% of Mn, less than or equal to 3.0% of Al, less than

都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチ
ール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人銀座マロニエ特許
事務所(GINZA MARONIE P.C.); 〒1040061 東
京 都 中 央 区 銀 座 2 丁 目 8 番 9 号 木 挽
館銀座ビル Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

or equal to 0.20% of P, less than or equal to 0.005% of S, less than or equal to 0.005% of N, less than or equal to 0.003% of Ti, less than or equal to 0.005% of V, and less than or equal to 0.005% of Nb and that satisfies $Si-2Al-Mn \geq 0$, by appropriately applying a cold rolling condition and a finish annealing condition. This motor core is manufactured by using the steel sheet.

(57) 要約: mass%で、C: 0.005%以下、Si: 2.8~6.5%、Mn: 0.05~2.0%、Al: 3.0%以下、P: 0.20%以下、S: 0.005%以下、N: 0.005%以下、Ti: 0.003%以下、V: 0.005%以下、Nb: 0.005%以下を含有し、 $Si-2Al-Mn \geq 0$ を満たす鋼スラブを、熱間圧延し、熱延板焼鈍し、冷間圧延し、仕上焼鈍する際、冷間圧延条件、仕上焼鈍条件を適切にすることで、400Hz、1.0Tにおける平均磁歪 λ_{p-p} が 4.5×10^{-6} 以下、銅板圧延方向断面における再結晶粒の面積率が40~95%、平均粒径が10~40 μm の強度と鉄損に優れた無方向性電磁銅板を得るとともに、その銅板を用いて、モータコアを製造する。

明 細 書

発明の名称：

無方向性電磁鋼板とその製造方法およびモータコアとその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、自動車用モータの鉄心材料として用いられる無方向性電磁鋼板およびその製造方法ならびに上記無方向性電磁鋼板を用いたモータコアおよびその製造方法に関するものである。

背景技術

[0002] 近年の世界的な電気機器に対する省エネルギー化への要求の高まりにともない、回転機の鉄心に使用される無方向性電磁鋼板に対しても、より優れた磁気特性が要求されるようになってきている。また、最近では、H E V（ハイブリッド車）やE V（電気自動車）の駆動モータ等に対する小型化・高出力化に対するニーズが強く、本要求を達成するため、モータの回転数を上昇させて対応している。

[0003] モータコアは、ステータコアとロータコアに分けられるが、H E V駆動モータは外径が大きいことからロータコアに大きな遠心力が働くことや、構造によってはロータコアブリッジ部と呼ばれる非常に狭い部分（1～2 mm）が存在することなどから、ロータコアに用いられる無方向性電磁鋼板は、従来よりも高強度であることが望ましい。一方、ステータコアに用いられる無方向性電磁鋼板は、モータの小型化・高出力化のため、高磁束密度・低鉄損であることが望ましい。すなわち、モータコアに使用される鋼板の特性としては、ロータコア用には高強度、ステータコア用には高磁束密度・低鉄損であることが理想的である。

[0004] このように、同じモータコアに使用される電磁鋼板であっても、ロータコアとステータコアでは要求される特性が大きく異なる。しかし、モータコアの製造においては、材料歩留りを高めるため、打ち抜き加工で、同一の素材鋼板からロータコア材とステータコア材を同時に採取し、その後、それぞれ

の鋼板を積層してロータコアまたはステータコアに組み立てるのが望ましい。

[0005] 上記のように高強度で低鉄損の無方向性電磁鋼板を製造する技術として、例えば、特許文献1には、仕上焼鈍後の鋼板に3%以上10%未満のスキンプラス圧延を行って高強度の無方向性電磁鋼板を製造し、該鋼板から打抜加工でロータコア材とステータコア材を採取し、ロータコアとステータコアを組み立てた後、ステータコアのみに歪取焼鈍を施すことで、高強度のロータコアと低鉄損のステータコアを同一素材から製造する技術が開示されている。この技術では、歪取焼鈍における結晶粒成長を促すため、鋼中に含まれる不純物元素（Ti、S、N、V、Nb、ZrおよびAs）を極めて低いレベルまで低減し、さらにNiを添加している。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2008-50686号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、上記特許文献1の開示の技術は、高強度と歪取焼鈍における粒成長促進のために仕上焼鈍後にスキンプラス圧延を施していることから、製造コストが高くなるという問題がある。さらに、原料コストが高いNiを相当程度添加する場合には、より高コストになる問題がある。

[0008] 本発明は、上記従来技術が抱える問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、自動車用モータの鉄心材料として好適に用いることができる高強度かつ低鉄損の無方向性電磁鋼板とその鋼板を用いたモータコアを提供するとともに、それらの安価な製造方法を提案することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 上記の課題を解決し、上記の目的を実現するために開発した本発明は、第一に、C：0.005mass%以下、Si：2.8～6.5mass%、

Mn : 0.05 ~ 2 mass%、Al : 3.0 mass%以下、P : 0.20 mass%以下、S : 0.005 mass%以下、N : 0.005 mass%以下、Ti : 0.003 mass%以下、V : 0.005 mass%以下およびNb : 0.005 mass%以下を含有し、かつ、Si、MnおよびAlが $Si - 2Al - Mn \geq 0$ を満たし、残部がFeおよび不可避免の不純物からなる成分組成を有する無方向性電磁鋼板において、周波数400Hz、磁束密度1.0Tにおける圧延方向の磁歪 $\lambda_{p-p}(L)$ と圧延方向に対し直角方向の磁歪 $\lambda_{p-p}(C)$ の平均値が 4.5×10^{-6} 以下であり、さらに、鋼板圧延方向断面における再結晶粒の面積率が40 ~ 95%で、かつ、平均粒径が10 ~ 40 μm であることを特徴とする無方向性電磁鋼板を提供する。

[0010] 本発明の上記無方向性電磁鋼板は、上記成分組成に加えて、下記A ~ D群のうちの少なくとも1群の成分を含有することが好ましい。

記

・ A群 : MoおよびWから選ばれる1種または2種を合計で0.0020 ~ 0.10 mass%

・ B群 : SnおよびSbから選ばれる1種または2種を0.005 ~ 0.20 mass%

・ C群 : CaおよびMgから選ばれる1種または2種を合計で0.001 ~ 0.010 mass%

・ D群 : CuおよびNi、Crから選ばれる1種または2種以上を合計で0.01 ~ 1.0 mass%

[0011] また、本発明の上記無方向性電磁鋼板は、降伏応力が500MPa以上であり、板厚 t (mm)と鉄損 $W_{10/400}$ (W/kg)とが下記(1)式；

$$W_{10/400} \leq 9 + 62 \times t \quad \cdots (1)$$

の関係を満たすことが好ましい。

[0012] また、本発明は、第二に、C : 0.005 mass%以下、Si : 2.8 ~ 6.5 mass%、Mn : 0.05 ~ 2.0 mass%、Al : 3.0 mass%以下、P : 0.20 mass%以下、S : 0.005 mass%以下、

下、 $N : 0.005 \text{ mass \%}$ 以下、 $Ti : 0.003 \text{ mass \%}$ 以下、 $V : 0.005 \text{ mass \%}$ 以下および $Nb : 0.005 \text{ mass \%}$ 以下を含有し、かつ、 Si 、 Mn および Al が $Si - 2Al - Mn \geq 0$ を満たし、残部が Fe および不可避免的不純物からなる成分組成を有する鋼スラブを熱間圧延して熱延板とし、熱延板焼鈍を施した後、1回または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延により最終板厚の冷延板とし、該冷延板に仕上焼鈍を施す一連の工程からなる無方向性電磁鋼板の製造方法において、最終冷間圧延における平均圧延速度を $100 \sim 900 \text{ m/min}$ 、最終パス時の摩擦係数を $0.01 \sim 0.10$ とし、全圧下率 $R_t (\%)$ と最終パスの圧下率 $R_s (\%)$ との比 (R_s / R_t) を $0.15 \sim 0.45$ とし、かつ、仕上焼鈍の均熱温度を $700 \sim 820^\circ\text{C}$ の範囲とすることを特徴とする無方向性電磁鋼板の製造方法を提案する。

[0013] 本発明の無方向性電磁鋼板の製造方法に用いる上記鋼スラブは、上記成分組成に加えて、下記A～D群のうちの少なくとも1群の成分を含有することが好ましい。

記

・ A群： Mo および W から選ばれる1種または2種を合計で $0.0020 \sim 0.10 \text{ mass \%}$

・ B群： Sn および Sb から選ばれる1種または2種を $0.005 \sim 0.20 \text{ mass \%}$

・ C群： Ca および Mg から選ばれる1種または2種を合計で $0.001 \sim 0.010 \text{ mass \%}$

・ D群： Cu および Ni 、 Cr から選ばれる1種または2種以上を合計で $0.01 \sim 1.0 \text{ mass \%}$

[0014] また、本発明は、第三に、上記いずれかに記載の無方向性電磁鋼板を積層したステータコアとロータコアからなるモータコアにおいて、ロータコアの平均結晶粒径が $10 \sim 40 \mu\text{m}$ であり、ステータコアの平均結晶粒径が $80 \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とするモータコアを提供する。

[0015] さらに、本発明は、第四に、上記モータコアの製造方法において、平均結晶粒径が $10 \sim 40 \mu\text{m}$ の無方向性電磁鋼板を積層したステータコアに、歪取焼鈍を施して平均結晶粒径を $80 \mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とするモータコアの製造方法を提案する。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、高強度が求められるロータコアと、低鉄損が求められるステータコアを同一の無方向性電磁鋼板から製造することができるので、自動車用モータの鉄心用材料を安定して安価に提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]仕上焼鈍後の鋼板の磁歪 λ_{p-p} と鉄損 $W_{10/400}$ との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0018] まず、本発明を開発するに至った実験の一例を説明する。

<実験1>

高周波域の鉄損 $W_{10/400}$ に及ぼす磁歪の影響について調査するため、表1に示す成分組成を有するA～Hの鋼スラブを熱間圧延して板厚 2.0 mm の熱延板とし、該熱延板に $960^\circ\text{C} \times 30 \text{ 秒}$ の熱延板焼鈍を施し、酸洗した後、1回の冷間圧延で最終板厚が 0.30 mm （全圧下率 $R_t: 85\%$ ）の冷延板とした後、 $20 \text{ vol}\% \text{ H}_2 - 80 \text{ vol}\% \text{ N}_2$ の非酸化性雰囲気下で、 $750^\circ\text{C} \times 10 \text{ 秒}$ の仕上焼鈍を施して無方向性電磁鋼板とした。

ここで、上記最終板厚とする冷間圧延は、5スタンドのタンデム圧延機を用いて行い、その際、各スタンドの平均圧延速度は 600 m/min 、最終スタンドの摩擦係数は 0.03 、最終スタンドの圧下率 R_s は 25% （ $R_s/R_t = 0.29$ ）となる条件とした。

[0019] その後、上記仕上焼鈍後の鋼板から、幅 $30 \text{ mm} \times$ 長さ 280 mm のL方向サンプルおよびC方向サンプルを採取し、レーザー変位計を用いて仕上焼鈍後の鋼板の磁歪 λ_{p-p} （周波数 400 Hz 、磁束密度 1.0 T ）を測定した。

また、上記磁歪測定後のサンプルを用いて、JIS C 2550-1:2011に準拠し、エプスタイン試験で鉄損 $W_{10/400}$ を測定した。

また、上記磁歪測定後のL方向サンプルから、JIS 5号引張試験片を採取し、JIS Z 2241:2011に準じて引張試験を行い、降伏応力（上降伏点）を測定した。

さらに、上記サンプルから、L方向:15mm×C方向:10mmの試料を採取し、鋼板の圧延方向断面（板幅方向に垂直な断面）を研磨、エッチングして光学顕微鏡で観察し、再結晶率（再結晶粒の面積率）を求めるとともに、再結晶粒の平均粒径を求めた。再結晶粒の平均粒径は、鋼板断面（板厚×1000 μ m）の領域を3視野撮影し、画像処理等により再結晶粒の個々の面積を求め、これらを平均した面積から算出した円相当径とする。

[0020] 上記測定の結果を表1に併記した。この結果から、本実験の仕上焼鈍後の鋼板は、いずれも再結晶率が75%で再結晶粒の平均粒径が20 μ mの未再結晶組織が残存したミクロ組織を有し、降伏応力も500MPa以上が得られていること、また、Si-2Al-Mnの値が0以下の鋼板では、磁歪 λ_p - ρ も鉄損 $W_{10/400}$ も大きな値を示していることがわかる。

[0021]

[表1]

鋼 符 号	化 学 成 分 (mass%)										仕上焼鈍後の鋼板特性					備 考		
	C	P	Si	Mn	Al	S	N	O	Ti	V	Nb	Si-2Al-Mn	磁歪平均値 $\lambda_{ps}(\times 10^{-5})$	鉄損 W_{1000} (W/kg)	再結晶粒 の面積率 (%)		再結晶粒の 平均粒径 (μm)	降伏応力 (MPa)
A	0.0022	0.01	3.3	0.4	0.8	0.0015	0.0021	0.0021	0.0011	0.0008	0.0011	1.3	2.4	21	75	20	550	発明例
B	0.0018	0.01	3.8	0.5	0.7	0.0013	0.0019	0.0018	0.0014	0.0012	0.0013	1.9	1.6	19	75	20	608	発明例
C	0.0017	0.01	3.5	0.9	1.2	0.0018	0.0018	0.0017	0.0015	0.0011	0.0014	0.2	4.1	24	75	20	615	発明例
D	0.0028	0.01	2.5	1.2	1.2	0.0019	0.0017	0.0024	0.0014	0.0012	0.0012	-1.1	5.2	32	75	20	505	比較例
E	0.0024	0.01	2.8	1.6	1.5	0.0014	0.0023	0.0023	0.0012	0.0011	0.0009	-1.8	8.2	40	75	20	561	比較例
F	0.0027	0.01	3.0	1.3	1.6	0.0018	0.0018	0.0029	0.0011	0.0009	0.0011	-1.5	7.2	38	75	20	586	比較例
G	0.0018	0.01	4.1	0.2	0.5	0.0015	0.0019	0.0014	0.0011	0.0012	0.0008	2.9	1.3	19	75	20	625	発明例
H	0.0023	0.01	3.9	0.4	0.7	0.0017	0.0017	0.0021	0.0010	0.0011	0.0012	2.1	1.8	19.5	75	20	618	発明例

[0022] また、図1には、仕上焼鈍後の磁歪 λ_{p-p} （L方向とC方向の値の平均値）と鉄損 $W_{10/400}$ との関係を示した。この図から、仕上焼鈍後の磁歪 λ_{p-p} と鉄損 $W_{10/400}$ とは相関があり、磁歪 λ_{p-p} が小さくなれば、鉄損 $W_{10/400}$ が低減する傾向があること、さらに、磁歪 λ_{p-p} が 4.5×10^{-6} 以下であれば鉄損 $W_{10/400}$ が 27.6 W/kg 以下の優れた鉄損特性が得られることがわかる。この理由は、磁歪が大きくなると磁気弾性エネルギーが大きくなり、ヒステリシス損が大きく増加するためであると考えられる。

[0023] <実験2>

次に、上記結果に基づき、更なる鉄損低減および高強度化を実現するため、下記の実験を行った。

C : 0.0027 mass%、Si : 3.61 mass%、Mn : 0.31 mass%、P : 0.01 mass%、S : 0.0018 mass%、Al : 1.2 mass%、N : 0.0017 mass%、O : 0.0023 mass%、Ti : 0.0013 mass%、Nb : 0.0007 mass% および V : 0.0008 mass% を含有し、残部が Fe および不可避免的不純物からなる成分組成を有する鋼スラブを熱間圧延して板厚 1.9 mm の熱延板とし、該熱延板に $940^\circ\text{C} \times 30$ 秒の熱延板焼鈍を施し、酸洗した後、1 回の冷間圧延で最終板厚 0.25 mm（全圧下率 $R_t = 87\%$ ）の冷延板とした後、該冷延板に、 $20 \text{ vol}\% \text{ H}_2 - 80 \text{ vol}\% \text{ N}_2$ の非酸化性雰囲気下で、 $790^\circ\text{C} \times 10$ 秒の仕上焼鈍を施して無方向性電磁鋼板とした。

その後、この仕上焼鈍板の板幅中央部（コイル内 100 m 毎に）から、幅 30 mm $\times$ 長さ 280 mm の L 方向サンプルおよび C 方向サンプルを採取し、仕上焼鈍後の鋼板の鉄損 $W_{10/400}$ を JIS C 2550-1:2011 に準拠し、測定した。

また、上記鉄損測定後の L 方向サンプルから、JIS 5 号引張試験片を採取し、JIS Z 2241:2011 に準じて引張試験を行い、降伏応力 Y_S （上降伏点）を測定した。

[0024] その結果、鉄損、降伏応力ともに、大きなバラつきが生じていることが明

らかになった。このバラツキの原因を調査したところ、冷間圧延時の条件（圧延速度、摩擦係数、圧下率配分）が影響している可能性が考えられた。

[0025] そこで、仕上焼鈍後の磁歪および降伏応力に及ぼす冷間圧延条件の影響を調査するため、上記した鋼スラブと同じ成分組成を有する熱延板焼鈍後の熱延板を素材とし、5段タンデム圧延機を用いて、表2に示したように平均圧延速度、最終パスの摩擦係数および全圧下率 R_t に対する最終パスの圧下率 R_s の比（ R_s/R_t ）を種々に変化させて最終冷間圧延を行い、最終板厚が0.25mmの冷延板とした後、該冷延板に20vol% H_2 －80vol% N_2 の非酸化性雰囲気下で、790℃×10秒の仕上焼鈍を施して、無方向性電磁鋼板とした。なお、最終冷間圧延の最終パスの摩擦係数の調整は圧延油の変更により行った。

[0026] 次いで、上記仕上焼鈍後の鋼板（コイル）の各圧延条件に該当する位置から、サンプルを採取し、上記＜実験1＞と同様にして、磁歪 λ_{p-p} 、鉄損 $W_{10/400}$ および降伏応力を測定するとともに、圧延方向断面に観察される再結晶粒の面積率（再結晶率）と平均結晶粒径を測定した。

[0027]

[表2]

鋼板 No.	最終冷間圧延の圧延条件					仕上焼鈍後の鋼板特性					備 考
	平均 圧延速度 (m/min)	最終パス の摩擦係数	全圧下率 R _t (%)	最終パスの 圧下率R _s (%)	R _s /R _t	磁歪平均値 λ _{pp} (×10 ⁻⁶)	鉄損W _{10/400} (W/kg)	再結晶粒 の面積率 (%)	再結晶粒の 平均粒径 (μm)	降伏応力 (MPa)	
1	50	0.02	86.8	21	0.24	8.1	35.0	35	25	570	比較例
2	200	0.02	86.8	21	0.24	3.5	23.2	45	28	565	発明例
3	400	0.02	86.8	21	0.24	2.9	22.1	55	29	563	発明例
4	600	0.02	86.8	21	0.24	2.7	21.0	70	32	558	発明例
5	800	0.02	86.8	21	0.24	2.5	20.2	85	35	550	発明例
6	1000	0.02	86.8	21	0.24	2.1	19.5	98	55	480	比較例
7	650	0.005	86.8	28	0.32	7.6	34.2	30	20	560	比較例
8	650	0.02	86.8	28	0.32	2.5	20.0	60	24	560	発明例
9	650	0.08	86.8	28	0.32	2.9	19.3	70	28	554	発明例
10	650	0.15	86.8	28	0.32	3.9	20.5	80	50	475	比較例
11	650	0.20	86.8	28	0.32	3.7	20.4	98	55	465	比較例
12	500	0.03	86.8	10	0.12	7.5	36.0	30	22	570	比較例
13	500	0.03	86.8	20	0.23	2.5	19.5	55	25	555	発明例
14	500	0.03	86.8	30	0.35	2.6	19.6	70	28	540	発明例
15	500	0.03	86.8	45	0.52	3.6	21.1	98	50	470	比較例
16	500	0.03	86.8	50	0.58	3.4	20.5	98	55	460	比較例

[0028] 上記測定の結果を表2に併記した。この結果から、平均圧延速度を遅くす

るほど、最終パスの摩擦係数を低くするほど、および、最終パスの圧下率比を低くするほど、再結晶粒の面積率が低下し、再結晶粒の平均粒径が小さくなり、降伏応力が上昇していることがわかる。一方、平均圧延速度を遅くし過ぎると、最終パスの摩擦係数を低くし過ぎると、あるいは、最終パスの圧下率を低くし過ぎると、磁歪が急激に大きくなり、鉄損も大きく上昇していることがわかる。

上記の結果から、上記コイル内の鉄損特性および強度特性のバラツキの原因は、コイル内での最終冷間圧延条件の変動が大きく影響していることが裏付けられた。

[0029] なお、冷間圧延条件が、磁歪特性および仕上焼鈍後の再結晶粒の面積率や平均結晶粒径に影響を及ぼすメカニズムについて、現時点では十分に明確となっていないが、冷間圧延条件の変動によって、導入される歪量や変形機構が変化し、その後の仕上焼鈍時の再結晶挙動や粒成長挙動が変わることによって、仕上焼鈍後の再結晶率や再結晶集合組織が変化し、磁歪特性や強度特性に影響を及ぼしているものと考えられる。

本発明は、上記の新規な知見に、さらに検討を重ねて開発したものである。

[0030] 次に、本発明の無方向性電磁鋼板の特性について説明する。

降伏応力：500MPa以上

ロータコアは、一般に、仕上焼鈍後の鋼板を、打抜加工等でコア形状に加工した後、積層し、溶接やカシメ等でクランプ（固定）したものであり、歪取焼鈍が施されることはない。しかし、ロータコアには、先述したように、大きな遠心力が働く。したがって、ロータコアに用いられる鋼板は、先述したように仕上焼鈍後の状態で高強度であることが望ましい。また、一般に、鋼板の疲労強度（疲労限度）は、降伏応力が高いほど高くなる。そこで、本発明は、仕上焼鈍後の鋼板の好ましい降伏応力を500MPa以上と規定する。より好ましくは520MPa以上である。ここで、上記降伏応力は、JIS 5号引張試験片をJIS Z 2241：2011に準拠して引張試験

したときの上降伏点である。

[0031] 再結晶粒の面積率：40～95%、再結晶粒の平均粒径：10～40 μm

本発明の無方向性電磁鋼板は、上記したように仕上焼鈍後の降伏応力が500MPa以上であることが望ましい。上記強度を確保するため、本発明の無方向性電磁鋼板は、仕上焼鈍後において、再結晶粒の面積率（再結晶率）が40～95%、かつ、再結晶粒の平均粒径が10～40 μm の範囲内にあることが必要である。再結晶粒の面積率が40%未満、再結晶粒の平均粒径が10 μm 未満では、先述したように、再結晶が不十分となり、磁歪が大きくなり、鉄損も大きく上昇してしまう。一方、再結晶粒の面積率が95%を超え、再結晶粒の平均粒径が40 μm を超えでは、逆に再結晶が進行し過ぎて、降伏応力500MPa以上を確保できなくなる。好ましくは、再結晶粒の面積率は50～90%、再結晶粒の平均粒径は15～30 μm の範囲である。

[0032] 鉄損 $W_{10/400}$ ：9 + 62 t (W/kg) 以下 (t：板厚 (mm))

モータのロータコアは、強度のみならず発熱も問題となるため、低鉄損であることが望ましい。そこで、本発明では、HEV駆動モータの駆動・制御条件に合わせ、鉄損特性の指標として鉄損 $W_{10/400}$ （周波数：400Hz、磁束密度 $B = 1.0\text{ T}$ ）(W/kg)を用い、鉄損 $W_{10/400}$ が、製品板厚（最終冷延板厚）t (mm)との関係において、下記(1)式；

$$W_{10/400} \leq 9 + 62 \times t \quad \dots (1)$$

を満たすことと規定した。これは、鉄損値は、板厚に依存すること、および、鉄損値が上記(1)式を満たさない場合には、モータコアの発熱が大きくなり、モータ効率が著しく低下するためである。

[0033] 磁歪 λ_{p-p} ：4.5 × 10⁻⁶以下

図1に示したように、仕上焼鈍後の鋼板の鉄損 $W_{10/400}$ は、磁歪 λ_{p-p} と強い相関があり、仕上焼鈍後の磁歪 λ_{p-p} を低くすることで、仕上焼鈍後の鉄損 $W_{10/400}$ も低い値にすることができる。そこで、本発明においては、仕上焼鈍後の磁歪 λ_{p-p} を、図1において、鉄損 $W_{10/400}$ が(1)式を満たす4.5 × 10⁻⁶以下に制限する。好ましくは、4.0 × 10⁻⁶以下である。な

お、上記磁歪 λ_{p-p} の値は、周波数：400Hz、磁束密度 $B=1.0\text{ T}$ で測定した圧延方向（L）および圧延方向に対し直角方向（C）の磁歪 λ_{p-p} の平均値である。

[0034] 次に、本発明の無方向性電磁鋼板の製造に用いる鋼素材（鋼スラブ）および製品板の成分組成について説明する。

C：0.0050mass%以下

製品板中に含まれるCは、炭化物を形成して磁気時効を起こし、鉄損特性を劣化させる有害元素である。そのため、素材中に含まれるCの上限は0.0050mass%に制限する。好ましくは、0.0040mass%以下である。なお、Cの下限は特に規定しないが、精錬工程での脱炭コストを抑制する観点から、0.0001mass%程度とするのが好ましい。

[0035] Si：2.8～6.5mass%

Siは、鋼の固有抵抗を高め、鉄損を低減する効果があり、また、固溶強化により鋼の強度を高める効果があるため、2.8mass%以上含有させる。一方、6.5mass%を超えると、圧延することが困難になるため、上限は6.5mass%とする。好ましくは3.0～6.0mass%の範囲である。

[0036] Mn：0.05～2.0mass%

Mnは、Siと同様、鋼の固有抵抗と強度を高めるのに有用な元素であり、また、硫化物を形成して熱間脆性を抑止する元素でもあるため、0.05mass%以上含有させる。一方、2.0mass%を超える添加は、スラブ割れ等を起こし、製鋼工程での操業性を悪化させるため、上限は2.0mass%とする。好ましくは0.1～1.5mass%の範囲である。

[0037] P：0.20mass%以下

Pは、鋼の強度（硬さ）調整に用いられる有用な元素である。しかし、0.20mass%を超えると、鋼が脆化し、圧延することが困難となるため、上限は0.20mass%とする。なお、下限は特に規定しないが、精錬工程での脱Pコストを抑制する観点から、0.001mass%程度とする

のが好ましい。好ましくは0.01～0.1mass%の範囲である。

[0038] Al : 3.0mass%以下

Alは、Siと同様、鋼の固有抵抗を高め、鉄損を低減する効果がある有用な元素である。しかし、3.0mass%を超えると、圧延することが困難になるため、Alの上限は3.0mass%とする。好ましくは2.0mass%以下である。

なお、Alの含有量が0.01mass%超え0.10mass%未満の範囲では、微細なAlNが析出して鉄損が増加するため、Alは0.01mass%以下もしくは0.10mass%以上の範囲とするのが好ましい。特に、Alを低減すると、集合組織が改善され、磁束密度が向上するので、磁束密度を重視する場合はAl : 0.01mass%以下とするのが好ましい。より好ましくは0.003mass%以下である。

[0039] S, N, NbおよびV : 0.005mass%以下

S, N, NbおよびVは、微細析出物を形成し、歪取焼鈍時の粒成長を阻害して鉄損特性に悪影響を及ぼす元素であり、特に、0.005mass%を超えると、その悪影響が顕著になるため、上限をそれぞれ0.005mass%に制限する。好ましくはそれぞれ0.003mass%以下である。

[0040] Ti : 0.003mass%以下

Tiは、同じく微細析出物を形成し、歪取焼鈍時の粒成長を阻害して鉄損特性に悪影響を及ぼす元素であり、特に、0.003mass%を超えると、その悪影響が顕著になるため、上限を0.003mass%に制限する。好ましくは0.002mass%以下である。

[0041] $Si - 2Al - Mn \geq 0$

本発明の無方向性電磁鋼板は、上記成分が上記所定の範囲の組成を満たすことに加えて、Si, AlおよびMnの含有量(mass%)が下記(2)式;

$$Si - 2Al - Mn \geq 0 \quad \cdots (2)$$

を満たして含有していることが必要である。上記(2)式から外れる、すな

わち、(2)式の左辺が0未満となると、周波数：400Hz、磁束密度 $B = 1.0\text{ T}$ における仕上焼鈍後のヒステリシス損が大きくなり、磁歪 λ_{p-p} も大きくなるためである。なお、(2)式の左辺の値は、好ましくは0.2mass%以上である。

[0042] なお、本発明の無方向性電磁鋼板は、上記成分に加えて以下の成分を含有してもよい。

MoおよびW：合計で0.0020～0.10mass%

MoおよびWは、いずれも鋼板の表面欠陥（ヘゲ）の発生を抑止するのに有効な元素である。特に、本発明の無方向性電磁鋼板は、高合金鋼で、表面が酸化され易いため、表面割れに起因するヘゲの発生が懸念されるが、高温強度を高める元素であるMoやWを添加することで、上記割れを抑制することができる。上記効果は、MoおよびWの合計含有量が0.0020mass%を下回ると十分ではなく、一方、0.10mass%を超えて添加しても、上記効果が飽和し、合金コストが上昇するだけである。よって、MoやWを添加する場合は、MoおよびWの合計で0.0020～0.10mass%の範囲とするのが好ましい。より好ましくはMoおよびWの合計で0.0050～0.050mass%の範囲である。

[0043] SnおよびSb：それぞれ0.005～0.20mass%

SnおよびSbは、再結晶集合組織を改善し、磁束密度、鉄損特性を改善する効果がある。上記効果を得るためには0.005mass%以上の添加が必要である。しかし、0.20mass%を超えて添加しても、上記効果が飽和する。よって、Sn、Sbを添加する場合は、それぞれ0.005～0.20mass%の範囲とするのが好ましい。より好ましくはそれぞれ0.01～0.1mass%の範囲である。

[0044] CaおよびMg：合計で0.001～0.010mass%

CaおよびMgは、いずれも安定な硫化物やセレン化物を形成し、歪取焼鈍時の粒成長性を改善する効果がある。上記効果を得るためには、CaおよびMgを合計で0.001mass%以上の添加が必要であり、一方、0.

0.10 mass %を超えて添加すると、却って鉄損が上昇してしまう。よって、CaやMgを添加する場合は、合計で0.001～0.010 mass %の範囲とするのが好ましい。より好ましくはCaおよびMgの合計で0.003～0.008 mass %の範囲である。

[0045] Cu、NiおよびCr：合計で0.01～1.0 mass %

Cu、NiおよびCrは鋼の固有抵抗を上昇させ、鉄損を低減し、かつ鋼の強度を上昇させる効果がある。上記効果を得るためには、Cu、NiおよびCrを合計で0.01 mass %以上添加する必要があるが、1.0 mass %以上の添加はコストの上昇を招く。よって、上記元素の添加は、合計で0.01～1.0 mass %の範囲とすることが好ましい。より好ましくは、0.1～0.5 mass %の範囲である。さらに好ましくは、0.1 mass %以上0.5 mass %未満である。

[0046] 次に、本発明の無方向性電磁鋼板の製造方法について説明する。

本発明の無方向性電磁鋼板の製造方法は、上記した成分組成を有する鋼素材（スラブ）を製造し、該スラブを熱間圧延して熱延板とし、熱延板焼鈍を施した後、1回または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延により最終板厚の冷延板とし、仕上焼鈍を施す一連の工程からなる。以下、具体的に説明する。

[0047] まず、本発明の無方向性電磁鋼板の製造に用いる鋼スラブは、上記した本発明に適合する成分組成を有する鋼を、転炉や電気炉、真空脱ガス装置等を用いた通常公知の精錬プロセスで溶製し、常法の連続鑄造法あるいは造塊一分塊圧延法で製造することができる。なお、直接鑄造法で100 mm以下の厚さの薄鑄片を製造してもよい。

[0048] 次いで、上記鋼スラブは、通常公知の方法で熱間圧延して熱延板とする。なお、上記鋼スラブは、通常、加熱炉で所定の温度に再加熱してから熱間圧延に供するが、鑄造後、再加熱することなく直ちに熱間圧延に供してもよい。また、薄鑄片の場合は、熱間圧延しても良いし、熱間圧延を省略して、そのまま以後の工程に進めてもよい。

[0049] 熱間圧延に続く熱延板焼鈍は、均熱温度は $800\sim 1100^{\circ}\text{C}$ の範囲とするのが好ましい。 800°C 未満では、熱延板焼鈍の効果が小さく、十分な磁気特性改善効果が得られず、一方、 1100°C を超えると、結晶粒が粗大化して、冷間圧延時の脆性破壊（板破断）を助長したり、製造コスト的に不利となったりするおそれがある。また、均熱時間は、生産性を確保する観点から、 3 min 以下とするのが好ましい。より好ましくは、均熱温度は $850\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 、均熱時間は 1 min 以下である。

[0050] 上記熱延板焼鈍後の熱延板は、その後、酸洗してから、1回または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延により最終板厚の冷延板とする。この際、先述したように仕上焼鈍後の鉄損と強度を両立させる観点から、最終板厚とする最終冷間圧延における平均圧延速度、最終パスの摩擦係数および全圧下率に対する最終パスの圧下率の比（ R_s/R_t ）をそれぞれ以下の説明する所定の範囲に調整することが重要である。なお、最終板厚（製品板厚）は、 $0.1\sim 0.35\text{ mm}$ の範囲とすることが好ましい。 0.1 mm 未満では生産性が低下し、一方、 0.35 mm 超では、鉄損低減効果が小さいためである。

[0051] まず、最終冷間圧延における平均圧延速度は、 $100\sim 900\text{ m/min}$ の範囲とする必要がある。先述したように、最終冷間圧延における平均圧延速度が 100 m/min 未満では、磁歪が大きくなり、鉄損も大きく上昇する。一方、 900 m/min を超えると、再結晶粒の結晶粒径が大きくなり、強度が低下するからである。好ましい平均圧延速度は、 $200\sim 800\text{ m/min}$ の範囲である。

ここで、上記平均圧延速度とは、最終冷間圧延としてゼンジミア圧延機を用いて n パスで行う場合には、 $1\sim n$ パスの平均圧延速度を、また、 n スタンドのタンデム圧延機で行う場合には、 $1\sim n$ スタンドの平均圧延速度のことをいう。

[0052] また、最終冷間圧延における最終パスの摩擦係数は、 $0.01\sim 0.10$ の範囲とする必要がある。先述したように、最終パスの摩擦係数が 0.01 未満では、磁歪が大きくなり鉄損も大きく上昇する。一方、 0.10 を超え

ると、再結晶粒の平均粒径が大きくなり、強度が低下するからである。好ましい最終パスの摩擦係数は0.02～0.08の範囲である。

なお、上記摩擦係数は、板厚、張力、圧延荷重、変形抵抗などからBrand & Fordの式により求めることができる。また、上記摩擦係数の調整は、圧延油の変更、圧延ロールの粗度調整などにより行うことができる。

[0053] また、最終冷間圧延における全圧下率 R_t に対する、最終パスの圧下率 R_s の比(R_s/R_t)は、0.15～0.45の範囲に制御する必要がある。先述したように、 R_s/R_t が0.15未満では、磁歪が大きくなり、鉄損も大きく上昇する。一方、 R_s/R_t が0.45を超えると、再結晶粒の平均粒径が大きくなり、強度が低下してしまうからである。好ましい R_s/R_t は0.20～0.40の範囲である。

[0054] 次いで、最終板厚とした冷延板は、仕上焼鈍を施すが、この条件は、焼鈍温度（均熱温度）を700～820℃とする連続焼鈍とするのが好ましい。均熱温度が700℃未満では、再結晶が不十分となり、再結晶粒の面積率が40%以上、平均粒径を10 μ m以上とすることができず、良好な磁気特性が得られないことに加えて、連続焼鈍における形状矯正効果が十分に得られない。一方、820℃を超えると、逆に再結晶が進行し過ぎて、再結晶粒の面積率が95%を超えとなったり、結晶粒径が粗大化して40 μ mを超えたりし、仕上焼鈍後に500MPa以上の降伏応力を確保できなくなる。また、均熱時間は、1～300秒とするのが好ましい。なお、ロータコアに求められる仕上焼鈍後の強度を確保する観点からは、仕上焼鈍条件は、形状矯正が可能な範囲でできる限り低温・短時間とする、具体的には、720～800℃×1～20秒の範囲とするのが好ましい。

[0055] 上記仕上焼鈍後の鋼板は、その後、積層時の絶縁性を確保するため、鋼板表面に絶縁被膜を被成するのが好ましい。この絶縁被膜は、良好な打ち抜き性を確保するためには、樹脂を含有する有機被膜を、一方、溶接性を重視する場合には、半有機や無機被膜を選択するのが望ましい。

[0056] なお、再結晶粒の面積率が95%以下で、結晶粒径が40 μ m以下の材料

を、モータのステータコアに使用すると、鉄損が増加し、モータ効率が低下するという問題がある。しかし、この問題は、例えば、ハイブリッド自動車（HEV）の動力源に用いられるSPMやIPM等の永久磁石型モータのコアのように、モータ全体の鉄損に対するロータコアの鉄損比率が小さく、ステータコアの鉄損が支配的である場合には、ロータコアは、再結晶率や結晶粒を小さいままとして強度を確保する一方、ステータコアには、コアに組み立てた後、歪取焼鈍を施して結晶粒を大きくし、鉄損を低減することが有効である。上記の鉄損低減効果を得るためには、歪取焼鈍後の再結晶粒の面積率は100%、平均粒径は80 μ m以上とするのが好ましい。より好ましい平均粒径は90 μ m以上、さらに好ましくは100 μ m以上である。なお、上記歪取焼鈍は、一般的な条件、例えば、均熱温度が700～950℃、均熱時間が10～300minの条件で行うことができる。

実施例

[0057] 表3-1および3-2に示す、成分組成が異なるA～BCの鋼スラブを、1100℃で30分間加熱した後、熱間圧延して板厚2.0mmの熱延板とし、該熱延板に980℃×30秒の熱延板焼鈍を施した後、4スタンドのタンデム圧延機を用い、1回の冷間圧延かつ表4-1および4-2に示す条件で種々の最終板厚の冷延板とし、その後、同じく表4-1および4-2に示す温度で10秒間均熱する仕上焼鈍を施し、無方向性電磁鋼板（製品板）を製造した。

次いで、上記製品板から、幅：30mm×長さ：280mmのL方向サンプルおよびC方向サンプルをコイル幅中央部から採取し、レーザー変位計を用いて、L方向およびC方向の平均磁歪 λ_{p-p} 、および、エプスタイン試験にて鉄損 $W_{10/400}$ を測定した。また、上記磁歪および鉄損測定後のL方向サンプルからJIS5号引張試験片を採取し、JIS Z2241：2011に準拠して引張試験を行い、降伏応力（上降伏点）を測定した。さらに、上記L方向サンプルから、15mm×10mmの試料を採取し、圧延方向の断面組織を観察し、仕上焼鈍後の再結晶粒の面積率（再結晶率）および再結晶粒

の平均粒径を測定した。

[0058] 上記測定の結果を、表4－1および4－2中に併記した。この結果から、本発明に適合する成分組成を有する素材を用いて、本発明に適合する条件で製造した仕上焼鈍後の鋼板は、いずれも500MPa以上の降伏応力を有し、かつ、鉄損特性が優れていることがわかる。

[0059]

[表3-1]

鋼 符 号	化 学 成 分 (mass%)														備 考	
	C	P	Si	Mn	Al	S	N	O	Ti	Nb	V	Sn	Sb	その他		Si-2Al-Mn
A	0.0022	0.01	3.5	0.40	0.90	0.0015	0.0024	0.0017	0.0013	0.0016	0.0011	0.001	0.001	-	1.3	発明鋼
B	0.0018	0.01	3.7	0.40	0.60	0.0019	0.0024	0.0014	0.0009	0.0014	0.0007	0.04	0.001	-	2.1	発明鋼
C	0.0019	0.01	1.8	0.40	0.80	0.0014	0.0024	0.0017	0.0013	0.0016	0.0011	0.001	0.001	-	-0.2	比較鋼
D	0.0019	0.01	4.5	0.20	0.30	0.0017	0.0021	0.0019	0.0011	0.0012	0.0009	0.001	0.001	-	3.7	発明鋼
E	0.0021	0.01	6.8	0.50	0.30	0.0017	0.0021	0.0019	0.0011	0.0012	0.0009	0.001	0.001	-	5.7	比較鋼
F	0.0024	0.01	3.4	1.20	0.30	0.0019	0.0029	0.0024	0.0013	0.0016	0.0011	0.001	0.001	-	1.6	発明鋼
G	0.0024	0.01	3.4	2.50	0.80	0.0019	0.0029	0.0024	0.0013	0.0016	0.0011	0.001	0.001	-	-0.7	比較鋼
H	0.0022	0.01	3.8	0.50	0.001	0.0019	0.0031	0.0028	0.0012	0.0011	0.0008	0.001	0.001	-	3.3	発明鋼
I	0.0022	0.01	3.8	0.50	0.001	0.0019	0.0031	0.0028	0.0012	0.0011	0.0008	0.10	0.001	-	3.3	発明鋼
J	0.0022	0.01	3.8	0.50	0.001	0.0019	0.0031	0.0028	0.0012	0.0008	0.0008	0.001	0.05	-	3.3	発明鋼
K	0.0022	0.08	3.8	0.50	0.001	0.0019	0.0031	0.0028	0.0004	0.0011	0.0008	0.001	0.001	-	3.3	比較鋼
L	0.0022	0.24	3.8	0.50	0.001	0.0019	0.0024	0.0023	0.0012	0.0011	0.0008	0.001	0.001	-	3.3	発明鋼
M	0.0022	0.01	3.8	0.50	0.001	0.0019	0.0031	0.0028	0.0012	0.0011	0.0008	0.001	0.001	Ca:0.003	3.3	発明鋼
N	0.0022	0.01	3.0	0.50	0.001	0.0019	0.0021	0.0018	0.0008	0.0006	0.0008	0.001	0.001	Mg:0.002	2.5	発明鋼
O	0.0019	0.01	3.4	0.20	1.40	0.0014	0.0024	0.0017	0.0013	0.0016	0.0011	0.001	0.001	-	0.4	発明鋼
P	0.0019	0.01	3.35	0.20	1.50	0.0014	0.0024	0.0017	0.0013	0.0016	0.0011	0.001	0.001	-	0.2	発明鋼
Q	0.0019	0.01	2.9	0.40	3.60	0.0014	0.0024	0.0017	0.0013	0.0016	0.0011	0.001	0.001	-	-4.7	比較鋼
R	0.0022	0.01	3.5	0.50	0.001	0.0019	0.0059	0.0028	0.0012	0.0011	0.0008	0.001	0.001	-	3.0	比較鋼
S	0.0022	0.01	3.5	0.50	0.001	0.0019	0.0018	0.0064	0.0012	0.0011	0.0008	0.001	0.001	-	3.0	比較鋼
T	0.0022	0.01	3.5	0.50	0.001	0.0019	0.0018	0.0021	0.0045	0.0011	0.0008	0.001	0.001	-	3.0	比較鋼
U	0.0022	0.01	3.5	0.50	0.001	0.0019	0.0018	0.0023	0.0012	0.0057	0.0008	0.001	0.001	-	3.0	比較鋼
V	0.0022	0.01	3.5	0.50	0.001	0.0019	0.0018	0.0023	0.0012	0.0014	0.0062	0.001	0.001	-	3.0	比較鋼
W	0.0024	0.01	3.6	0.60	0.65	0.0018	0.0022	0.0025	0.0011	0.0011	0.0008	0.001	0.001	W:0.0027	1.7	発明鋼
X	0.0019	0.01	3.4	0.60	0.65	0.0021	0.0024	0.0024	0.0010	0.0010	0.0007	0.001	0.001	W:0.0058	1.5	発明鋼
Y	0.0027	0.01	3.7	0.50	0.65	0.0017	0.0023	0.0021	0.0009	0.0009	0.0014	0.001	0.001	Mo:0.0035	1.9	発明鋼
Z	0.0015	0.01	3.5	0.40	0.65	0.0018	0.0021	0.0024	0.0012	0.0013	0.0012	0.001	0.001	W:0.0049, Mo:0.0028	1.8	発明鋼

[0060] [表3-2]

鋼 符 号	化 学 成 分 (mass%)														備 考	
	C	P	Si	Mn	Al	S	N	O	Ti	Nb	V	Sn	Sb	その他		Si-2Al-Mn
AA	0.0021	0.01	3.6	0.50	0.60	0.0019	0.0020	0.0024	0.0013	0.0013	0.0012	0.03	0.001	Cu0.3	1.9	発明鋼
AB	0.0023	0.01	3.5	0.60	0.90	0.0016	0.0021	0.0024	0.0012	0.0013	0.0009	0.04	0.001	Ni0.2	1.1	発明鋼
AC	0.0021	0.01	3.5	0.60	0.90	0.0018	0.0024	0.0021	0.0012	0.0011	0.0012	0.04	0.001	Cr0.5	1.1	発明鋼
AD	0.0024	0.01	3.5	0.60	0.90	0.0018	0.0021	0.0024	0.0012	0.0013	0.0012	0.04	0.001	Cu0.2, Cr0.3	1.1	発明鋼
AE	0.0025	0.01	3.5	0.60	0.90	0.0017	0.0019	0.0019	0.0012	0.0009	0.0013	0.04	0.001	Cu0.2, Ni0.1	1.1	発明鋼
AF	0.0019	0.01	3.5	0.60	0.90	0.0018	0.0021	0.0017	0.0012	0.0013	0.0011	0.04	0.001	Ni0.1, Cr0.4	1.1	発明鋼
AG	0.0023	0.007	3.5	0.60	0.90	0.0014	0.0021	0.0024	0.0012	0.0013	0.0012	0.04	0.001	Cu0.1, Ni0.1, Cr0.2	1.1	発明鋼
AH	0.0023	0.007	3.4	0.60	0.90	0.0018	0.0021	0.0024	0.0012	0.0013	0.0012	0.04	0.001		1.0	発明鋼
BA	0.0022	0.01	3.6	0.40	0.60	0.0021	0.0018	0.0024	0.0013	0.0014	0.0011	0.03	0.001	Cu0.02, Ni0.03	2.0	発明鋼
BB	0.0023	0.01	3.4	0.40	1.00	0.0016	0.0021	0.0024	0.0012	0.0013	0.0009	0.03	0.001	Ni0.05, Cr0.05	1.0	発明鋼
BC	0.0021	0.01	3.5	0.60	0.70	0.0018	0.0024	0.0021	0.0012	0.0011	0.0012	0.03	0.001	Cu0.5, Cr0.6	1.5	比較鋼

[0061] [表4-1]

鋼板 No.	鋼 符号	板厚t (mm)	最終冷間圧延の圧延条件					仕上焼鈍 温度 (°C)	仕上焼鈍後の鋼板特性						備 考
			平均 圧延速度 (m/min)	全圧下率R _t (%)	最終パスの 圧下率R _s (%)	最終パスの 摩擦係数 (-)	R _s /R _t		再結晶 面積率 (%)	再結晶粒の 平均粒径 (μm)	降伏応力 (MPa)	磁歪平均値 $\lambda_{sp}(\times 10^{-6})$	9+62 ^{tt}	鉄損W ₁₀₄₀₀ (W/kg)	
1	A	0.25	1000	87.5	25	0.03	0.29	790	96	50	450	3.4	24.5	22.5	比較例
2	A	0.25	80	87.5	25	0.03	0.29	790	35	25	530	8.4	24.5	34.9	比較例
3	A	0.25	500	87.5	50	0.03	0.57	790	97	51	445	3.2	24.5	22.4	比較例
4	A	0.25	500	87.5	10	0.03	0.11	780	38	21	535	8.9	24.5	35.9	比較例
5	A	0.25	500	87.5	24	0.20	0.27	780	98	55	440	3.7	24.5	22.9	比較例
6	A	0.25	600	87.5	25	0.03	0.29	740	70	20	520	2.5	24.5	19.8	発明例
7	A	0.15	550	92.5	35	0.03	0.38	760	75	26	528	2.6	18.3	16.2	発明例
8	A	0.30	650	85.0	21	0.03	0.25	760	75	26	528	2.7	27.6	20.4	発明例
9	A	0.35	700	82.5	20	0.03	0.24	720	68	21	560	2.4	30.7	21.7	発明例
10	B	0.20	500	90.0	32	0.03	0.36	750	72	25	570	2.9	21.4	18.4	発明例
11	B	0.25	600	87.5	28	0.03	0.32	750	72	25	570	2.8	24.5	19.9	発明例
12	B	0.25	600	87.5	14	0.03	0.16	770	80	24	560	2.8	24.5	20.3	発明例
13	B	0.25	600	87.5	38	0.03	0.43	750	72	28	565	2.8	24.5	19.8	発明例
14	C	0.25	400	87.5	25	0.03	0.29	740	65	20	420	3.9	24.5	22.9	比較例
15	D	0.20	400	90.0	28	0.03	0.31	780	80	28	630	2.7	21.4	17.5	発明例
16	F	0.25	700	87.5	24	0.03	0.27	790	85	25	580	3.1	24.5	19.4	発明例
17	H	0.20	650	90.0	26	0.03	0.29	730	64	24	535	3.7	21.4	19.1	発明例
18	I	0.20	500	90.0	26	0.03	0.29	750	72	30	570	2.0	21.4	16.9	発明例
19	J	0.20	500	90.0	26	0.03	0.29	750	72	30	570	1.9	21.4	16.7	発明例
20	K	0.20	500	90.0	26	0.03	0.29	790	85	35	555	2.1	21.4	17.2	発明例
21	M	0.20	500	90.0	26	0.03	0.29	790	85	35	555	1.8	21.4	16.6	発明例
22	N	0.20	500	90.0	26	0.03	0.29	790	85	35	555	2.0	21.4	16.9	発明例
23	O	0.25	700	87.5	28	0.03	0.32	770	78	32	565	1.9	24.5	16.7	発明例

*：鋼E、G、LおよびQから製造した鋼板は、冷間圧延時に板破断を起こしたため、記載せず。

[0062] [表4-2]

鋼板 No.	鋼 符号	板厚 (mm)	最終冷間圧延の圧延条件				仕上焼鈍 温度 (°C)	仕上焼鈍後の鋼板特性						備 考	
			平均 圧延速度 (m/min)	全圧下率R _t (%)	最終パスの 圧下率R _s (%)	最終パスの 摩擦係数 (-)		R _s /R _t	再結晶 面積率 (%)	再結晶粒の 平均粒径 (μm)	降伏応力 (MPa)	磁歪平均値 λ _{psl} (×10 ⁻⁶)	9+62 ^{tt}		鉄損W ₁₀₄₀₀ (W/kg)
24	P	0.25	700	87.5	28	0.03	0.32	770	78	32	565	2.0	24.5	16.9	発明例
25	R	0.30	750	85.0	22	0.03	0.26	750	72	30	510	7.2	27.6	32.4	比較例
26	S	0.30	700	85.0	22	0.03	0.26	750	72	30	510	7.6	27.6	32.8	比較例
27	T	0.30	700	85.0	22	0.03	0.26	750	72	30	510	7.9	27.6	33.6	比較例
28	U	0.30	700	85.0	22	0.03	0.26	750	72	30	510	7.4	27.6	32.6	比較例
29	V	0.30	700	85.0	22	0.03	0.26	750	72	30	510	7.2	27.6	32.4	比較例
30	W	0.25	600	87.5	25	0.03	0.29	760	75	32	560	2.9	24.5	19.7	発明例
31	X	0.25	600	87.5	25	0.03	0.29	760	75	32	540	2.7	24.5	19.5	発明例
32	Y	0.25	600	87.5	25	0.03	0.29	760	75	32	570	2.8	24.5	19.6	発明例
33	Z	0.25	600	87.5	25	0.03	0.29	760	75	32	555	2.7	24.5	19.5	発明例
34	Z	0.30	650	85.0	25	0.03	0.29	850	100	60	465	3.5	27.6	25.3	比較例
35	Z	0.30	650	85.0	25	0.03	0.29	650	10	15	550	7.2	27.6	38.9	比較例
36	AA	0.25	600	87.5	24	0.025	0.27	710	50	22	540	2.8	24.5	16.8	発明例
37	AB	0.25	600	87.5	24	0.025	0.27	710	50	22	570	2.7	24.5	16.3	発明例
38	AC	0.25	600	87.5	24	0.025	0.27	710	50	22	570	2.7	24.5	16.2	発明例
39	AD	0.25	600	87.5	24	0.025	0.27	710	50	22	570	2.7	24.5	16.1	発明例
40	AE	0.25	600	87.5	24	0.025	0.27	710	50	22	570	2.7	24.5	16.1	発明例
41	AF	0.25	600	87.5	24	0.025	0.27	710	50	22	570	2.7	24.5	16.0	発明例
42	AG	0.25	600	87.5	24	0.025	0.27	710	50	22	570	2.7	24.5	15.9	発明例
43	AH	0.25	600	87.5	24	0.025	0.27	710	50	22	550	2.8	24.5	16.9	発明例
44	BA	0.25	500	87.5	22	0.025	0.25	780	80	29	555	2.6	24.5	17.1	発明例
45	BB	0.25	500	87.5	22	0.025	0.25	780	80	29	555	2.9	24.5	17.2	発明例
46	BC	0.25	500	87.5	22	0.025	0.25	780	80	29	555	2.7	24.5	27.6	比較例

*：鋼E、G、LおよびQから製造した鋼板は、冷間圧延時に板破断を起こしたため、記載せず。

[0063] さらに上記で得られたNo. 6～11の鋼板に、ステータコアの歪取焼鈍と同様の $825^{\circ}\text{C} \times 1\text{hr}$ (N_2 雰囲気中)の歪取焼鈍を施し、エプスタイン試験にてL+C方向の鉄損を測定するとともに、圧延方向断面に観察される平均結晶粒径を測定した。結果を表5に示す。これらより、本発明においては高強度かつ低鉄損の材料が両立できていることがわかる。

[0064] [表5]

鋼板 No.	鋼 符 号	歪取焼鈍後の鋼板特性		備考
		結晶粒の 平均粒径 (μm)	鉄損 $W_{10/400}$ (W/kg)	
6	A	120	10.5	発明例
7	A	130	8.5	発明例
8	A	130	11.1	発明例
9	A	110	11.9	発明例
10	B	115	9.2	発明例
11	B	115	10.4	発明例

請求の範囲

- [請求項1] C : 0.005 mass %以下、Si : 2.8～6.5 mass %、Mn : 0.05～2.0 mass %、Al : 3.0 mass %以下、P : 0.20 mass %以下、S : 0.005 mass %以下、N : 0.005 mass %以下、Ti : 0.003 mass %以下、V : 0.005 mass %以下およびNb : 0.005 mass %以下を含有し、かつ、Si、MnおよびAlが $Si - 2Al - Mn \geq 0$ を満たし、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる成分組成を有する無方向性電磁鋼板において、
- 周波数400 Hz、磁束密度1.0 Tにおける圧延方向の磁歪 λ_{p-p} (L)と圧延方向に対し直角方向の磁歪 λ_{p-p} (C)の平均値が 4.5×10^{-6} 以下であり、さらに、
- 鋼板圧延方向断面における再結晶粒の面積率が40～95%で、かつ、平均粒径が10～40 μm であることを特徴とする無方向性電磁鋼板。
- [請求項2] 前記成分組成に加えてさらに、下記A～D群のうちの少なくとも1群の成分を含有することを特徴とする請求項1に記載の無方向性電磁鋼板。
- 記
- ・ A群 : MoおよびWから選ばれる1種または2種を合計で0.0020～0.10 mass %
 - ・ B群 : SnおよびSbから選ばれる1種または2種を0.005～0.20 mass %
 - ・ C群 : CaおよびMgから選ばれる1種または2種を合計で0.001～0.010 mass %
 - ・ D群 : CuおよびNi, Crから選ばれる1種または2種以上を合計で0.01～1.0 mass %
- [請求項3] 降伏応力が500 MPa以上で、板厚 t (mm) と鉄損 $W_{10/400}$ (

W/kg)とが下記(1)式の関係を満たすことを特徴とする請求項1または2に記載の無方向性電磁鋼板。

記

$$W_{10/400} \leq 9 + 62 \times t \quad \dots (1)$$

[請求項4]

C: 0.005mass%以下、Si: 2.8~6.5mass%、Mn: 0.05~2.0mass%、Al: 3.0mass%以下、P: 0.020mass%以下、S: 0.005mass%以下、N: 0.005mass%以下、Ti: 0.003mass%以下、V: 0.005mass%以下およびNb: 0.005mass%以下を含有し、かつ、Si、MnおよびAlが $Si - 2Al - Mn \geq 0$ を満たし、残部がFeおよび不可避免の不純物からなる成分組成を有する鋼スラブを熱間圧延して熱延板とし、熱延板焼鈍を施した後、1回または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延により最終板厚の冷延板とし、該冷延板に仕上焼鈍を施す一連の工程からなる無方向性電磁鋼板の製造方法において、

最終冷間圧延における平均圧延速度を100~900m/min、最終パス時の摩擦係数を0.01~0.10とし、全圧下率 R_t (%)と最終パスの圧下率 R_s (%)との比(R_s/R_t)を0.15~0.45とし、かつ、

仕上焼鈍の均熱温度を700~820℃の範囲とすることを特徴とする無方向性電磁鋼板の製造方法。

[請求項5]

前記鋼スラブは、上記成分組成に加えてさらに、下記A~D群のうちの少なくとも1群の成分を含有することを特徴とする請求項4に記載の無方向性電磁鋼板の製造方法。

記

・ A群: MoおよびWから選ばれる1種または2種を合計で0.0020~0.10mass%

・ B群: SnおよびSbから選ばれる1種または2種を0.005

～0.20 mass %

・C群：CaおよびMgから選ばれる1種または2種を合計で0.

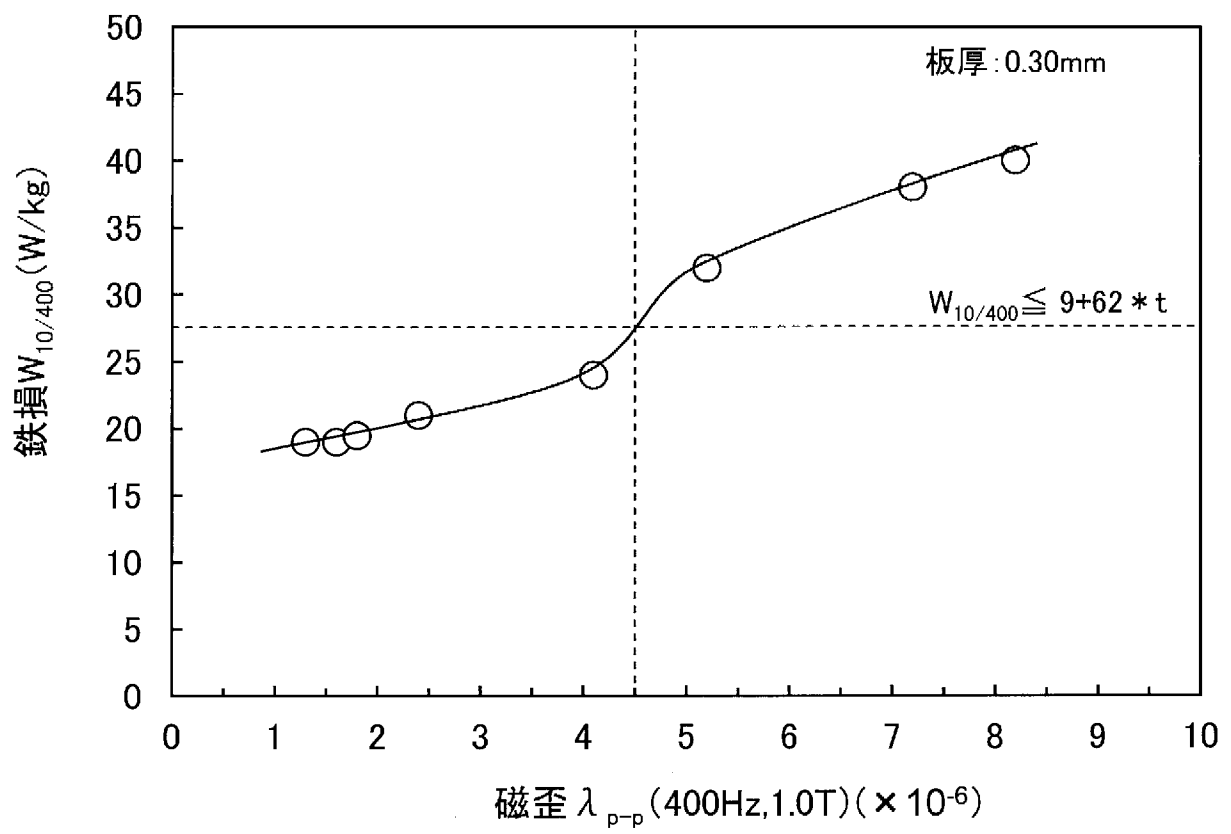
001～0.010 mass %

・D群：CuおよびNi, Crから選ばれる1種または2種以上を合計で0.01～1.0 mass %

[請求項6] 請求項1～3のいずれか1項に記載の無方向性電磁鋼板を積層したステータコアとロータコアからなるモータコアにおいて、ロータコアの平均結晶粒径が10～40 μm であり、ステータコアの平均結晶粒径が80 μm 以上であることを特徴とするモータコア。

[請求項7] 請求項6に記載のモータコアの製造方法において、平均結晶粒径が10～40 μm の無方向性電磁鋼板を積層したステータコアに、歪取焼鈍を施して平均結晶粒径を80 μm 以上とすることを特徴とするモータコアの製造方法。

[図1]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/027949

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. C22C38/00(2006.01)i, B21B1/22(2006.01)i, B21B3/02(2006.01)i, C21D8/12(2006.01)i, C21D9/00(2006.01)i, C21D9/46(2006.01)i, C22C38/14(2006.01)i, C22C38/60(2006.01)i, H01F1/147(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. C22C38/00-38/60, B21B1/22, B21B3/02, C21D8/12, C21D9/00, C21D9/46, H01F1/147

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2012-140676 A (JFE STEEL CORP.) 26 July 2012,	1-3
Y	claims, paragraphs [0036], [0037], [0043]-[0048]	1-3, 6-7
A	(Family: none)	4-5
X	JP 2012-136763 A (JFE STEEL CORP.) 19 July 2012,	2-3
Y	claims, paragraphs [0040]-[0042], [0052]-[0064]	1-3, 6-7
A	(Family: none)	4-5
X	WO 2016/017263 A1 (JFE STEEL CORP.) 04 February	2-3, 6-7
Y	2016, claims, paragraphs [0061]-[0072] & US	6-7
A	2017/0260600 A1, claims, paragraphs [0085]-[0096]	4-5
	& EP 3176279 A1 & KR 10-2017-0020481 A & CN	
	106574334 A	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
26.09.2019

Date of mailing of the international search report
08.10.2019

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/027949

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2018/179871 A1 (JFE STEEL CORP.) 04 October 2018, claims, paragraphs [0048]-[0056] & TW 201837200 A	1-3, 6-7 4-5
A	WO 2018/164185 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORP.) 13 September 2018 & TW 201835355 A	1-7
A	JP 2016-138316 A (JFE STEEL CORP.) 04 August 2016 (Family: none)	1-7
A	JP 2008-50686 A (NIPPON STEEL CORP.) 06 March 2008 (Family: none)	1-7
A	CN 105950960 A (WUHAN IRON AND STEEL (GROUP) CORP.) 21 September 2016 (Family: none)	1-7
A	JP 8-41603 A (KAWASAKI STEEL CORP.) 13 February 1996 (Family: none)	4-5
A	JP 61-264131 A (KAWASAKI STEEL CORP.) 22 November 1986 (Family: none)	4-5
A	JP 9-157744 A (KAWASAKI STEEL CORP.) 17 June 1997 (Family: none)	4-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C22C38/00(2006.01)i, B21B1/22(2006.01)i, B21B3/02(2006.01)i, C21D8/12(2006.01)i, C21D9/00(2006.01)i, C21D9/46(2006.01)i, C22C38/14(2006.01)i, C22C38/60(2006.01)i, H01F1/147(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C22C38/00-38/60, B21B1/22, B21B3/02, C21D8/12, C21D9/00, C21D9/46, H01F1/147

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2012-140676 A (JFE スチール株式会社) 2012. 07. 26, 特許請求の 範囲, [0036]-[0037], [0043]-[0048] (ファミリーなし)	1-3 1-3, 6-7 4-5
X Y A	JP 2012-136763 A (JFE スチール株式会社) 2012. 07. 19, 特許請求の 範囲, [0040]-[0042], [0052]-[0064] (ファミリーなし)	2-3 1-3, 6-7 4-5

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

26. 09. 2019

国際調査報告の発送日

08. 10. 2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

伊藤 真明

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

4 K

3640

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	WO 2016/017263 A1 (JFE スチール株式会社) 2016.02.04, 請求の範囲, [0061]-[0072] & US 2017/0260600 A1, 請求の範囲, [0085]-[0096] & EP 3176279 A1 & KR 10-2017-0020481 A & CN 106574334 A	2-3, 6-7 6-7 4-5
Y A	WO 2018/179871 A1 (JFE スチール株式会社) 2018.10.04, 請求の範囲, [0048]-[0056] & TW 201837200 A	1-3, 6-7 4-5
A	WO 2018/164185 A1 (新日鐵住金株式会社) 2018.09.13, & TW 201835355 A	1-7
A	JP 2016-138316 A (JFE スチール株式会社) 2016.08.04, (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2008-50686 A (新日本製鐵株式会社) 2008.03.06, (ファミリーなし)	1-7
A	CN 105950960 A (WUHAN IRON AND STEEL (GROUP) CORP.) 2016.09.21, (ファミリーなし)	1-7
A	JP 8-41603 A (川崎製鉄株式会社) 1996.02.13, (ファミリーなし)	4-5
A	JP 61-264131 A (川崎製鉄株式会社) 1986.11.22, (ファミリーなし)	4-5
A	JP 9-157744 A (川崎製鉄株式会社) 1997.06.17, (ファミリーなし)	4-5