(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
2023年6月22日(22.06.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/112891 A1

(51) 国際特許分類:
B21B 3/02 (2006.01) *C22C 38/06* (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01) *C22C 38/60* (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01) *B21B 1/22* (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01) *H01F 1/147* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2022/045664

(22) 国際出願日： 2022年12月12日(12.12.2022)

(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 2021-203933 2021年12月16日(16.12.2021) JP

(71) 出願人: ＪＦＥ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: 田 中 孝 明 (**TANAKA, Takaaki**); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目２番３号 ＪＦＥ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 ＪＦＥスチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人酒井国際特許事務所 (**SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE**); 〒1000013 東京都千代田区霞が関３丁目８番１号 虎の門三井ビルディング 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, 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, ME, 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：
— 国際調査報告（条約第21条(3)）

WO 2023/112891 A1

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

(54) 発明の名称： 無方向性電磁鋼板およびその製造方法

(57) **Abstract:** A non-oriented electromagnetic steel sheet according to the present invention contains no greater than 0.010% of C, 1.0% to 5.0% (inclusive) of Si, 0.05% to 5.0% (inclusive) of Mn, no greater than 0.1% of P, no greater than 0.01% of S, no greater than 3.0% of Al, and no greater than 0.005% of N by mass, the balance being Fe and unavoidable impurities, and has an average crystal grain size between 60 μm and 200 μm (both inclusive), wherein a sum S_A of area ratios of crystal grains in which <100> is oriented in a rolling direction or a direction perpendicular to rolling, and a sum S_B of area ratios of the crystal grains in which <111> is oriented in the rolling direction or the direction perpendicular to rolling satisfy $S_A - S_B \geq 0$.

(57) 要約：本発明に係る無方向性電磁鋼板は、質量％で、C：0.010％以下、Si：1.0％以上、5.0％以下、Mn：0.05％以上、5.0％以下、P：0.1％以下、S：0.01％以下、Al：3.0％以下、N：0.005％以下、を含み、残部Feおよび不可避不純物であり、平均結晶粒径が60μm以上200μm以下であり、圧延方向または圧延直角方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Aと圧延方向または圧延直角方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Bが$S_A - S_B \geqq 0$を満たす。

明　細　書

発明の名称 ： 無方向性電磁鋼板およびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、無方向性電磁鋼板およびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、地球温暖化等の環境問題への配慮からCO_2排出量の削減および省エネルギー化が求められており、自動車分野では、エンジンとモータを併用したハイブリッド電気自動車（ＨＥＶ）、電動モータのみで駆動する電気自動車（ＥＶ）および燃料電池電気自動車（ＦＣＥＶ）等の開発が進められている。上記ＨＥＶ，ＥＶおよびＦＣＥＶ等に用いられるモータは、モータ効率の高効率化のために高速回転に有利な高周波域で駆動されるのが一般的である。上記モータの鉄心材料には無方向性電磁鋼板が多く使用されており、モータ効率の高効率化を達成するために上記鋼板には高周波域での低鉄損化が強く求められている。

[0003] 従来、無方向性電磁鋼板は、主にＳｉやＡｌ等の合金元素を添加して固有抵抗を高めたり、板厚を薄くしたりして渦電流損を低減することにより低鉄損化を図ってきた。しかしながら、合金元素の多量の添加は、低鉄損化を達成できても、飽和磁束密度の低下を招く。飽和磁束密度の低下は、モータの銅損増加を招くため、モータ効率の低下に繋がる。また、板厚の減少は、熱延鋼板の板厚を薄くしたり、冷延圧下率を高めたりする必要があるため、生産性の低下を招く。そこで、飽和磁束密度の低下や生産性の低下を招くことのない高磁束密度－高周波低鉄損の無方向性電磁鋼板が開発できれば、モータの高効率化に大いに寄与するものと考えられる。

[0004] 高周波域で低鉄損の無方向性電磁鋼板を得る技術として、例えば特許文献１には、Ｃｒを添加することにより鋼の固有抵抗を高め、高周波域での低鉄損化を図る方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平１１－３４３５４４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、Ｃｒは飽和磁束密度を低下させる元素である。このため、特許文献１に開示されている技術では、高磁束密度と高周波低鉄損を両立させることができず、昨今の無方向性電磁鋼板に対する要求には十分に応えることができない。

[0007] 本発明は、上記課題を解決すべくなされたものであり、その目的は、飽和磁束密度の低下や生産性の低下を招くことのない、高磁束密度－高周波低鉄損の無方向性電磁鋼板およびその製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明者らは、上記課題の解決に関し鋭意検討したところ、圧延方向または圧延直角方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Aと圧延方向または圧延直角方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Bが$S_A-S_B\geqq 0$を満たすように鋼板組織を制御することによって、磁束密度が高く、かつ高周波域で低鉄損である無方向性電磁鋼板が得られることを知見するに到った。さらに、焼鈍工程における加熱時の急熱停止温度や中間保持時間等を適切な範囲とすることにより、特定の方位を向いた結晶の面積率を制御できることも見出した。

[0009] 本発明はかかる知見に基づきなされたものであり、以下の構成を有する。

[0010] 本発明に係る無方向性電磁鋼板は、質量％で、C：0.010％以下、Si：1.0％以上、5.0％以下、Mn：0.05％以上、5.0％以下、P：0.1％以下、S：0.01％以下、Al：3.0％以下、N：0.005％以下を含み、残部Feおよび不可避不純物であり、平均結晶粒径が60μm以上200μm以下であり、圧延方向または圧延直角方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Aと圧延方向または圧延直角方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Bが$S_A-S_B\geqq 0$を満たす。

[0011] 圧延45°方向および圧延-45°方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Cと

圧延45°方向および圧延-45°方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Dが5×S_C－S_D≧0を満たすとよい。

[0012] 質量％で、さらにCoを0.0005％以上、0.0050％以下含むとよい。

[0013] 質量％で、さらにZnを0.0005％以上、0.0050％以下含むとよい。

[0014] 質量％で、さらに、下記A～D群のうち少なくとも１群の成分と、Cu：0％以上0.5％以下、Ni：0％以上0.5％以下、W：0％以上0.05％以下、Ti：0％以上0.005％、Nb：0％以上0.005％以下、V：0％以上0.010％以下、Ta：0％以上0.002％以下、B：0％以上0.002％以下、Ga：0％以上0.005％以下、Pb：0％以上0.002％以下、As：0％以上0.05％以下およびGe：0％以上0.05％以下から選んだ１種又は２種以上を含有するとよい。

[0015] ・A群；Mo：0.01％以上0.20％以下

・B群；Cr：0.1％以上5.0％以下

・C群；Ca：0.001％以上0.10％以下、Mg：0.001％以上0.10％以下およびREM：0.001％以上0.10％以下のうちのいずれか１種又は２種以上

・D群；Sn：0.001％以上0.20％以下およびSb：0.001％以上0.20％以下のうちのいずれか１種又は２種

[0016] 本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造方法は、本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造方法であって、前記無方向性電磁鋼板の組成を有する鋼素材に熱間圧延を施すことにより熱延板を得る熱間圧延工程と、必要に応じて前記熱延板に熱延板焼鈍を施す熱延板焼鈍工程と、前記熱延板および前記熱延板焼鈍が施された前記熱延板に酸洗を施す酸洗工程と、前記酸洗が施された前記熱延板に冷間圧延を施すことにより冷延板を得る冷間圧延工程と、前記冷延板を、200℃から400℃以上600℃以下の保持温度T_1までの平均昇温速度V_1が50℃/s以上、保持温度T_1での保持時間ｔが1秒以上10秒以下、保持温度T_1から750℃の平均昇温速度V_2が15℃/s以上の条件で、875℃以上1050℃以下の焼鈍温度T_2まで加熱し、冷却することにより冷延焼鈍板を得る焼鈍工程と、を含む。

[0017] 前記冷間圧延工程を最終パスのワークロール径が150mmφ以上、最終パスの

圧下率が15%以上、最終パスのひずみ速度が100s^{-1}以上1300s^{-1}以下の条件で行うとよい。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、飽和磁束密度の低下や生産性の低下を招くことのない、高磁束密度－高周波低鉄損の無方向性電磁鋼板およびその製造方法を提供することができる。従って、本発明に係る無方向性電磁鋼板およびその製造方法を用いることにより、モータの高効率化を達成することができる。打抜き時の歪みによる鉄損の上昇を低減することを目的として、本発明に係る無方向性電磁鋼板に歪取り焼鈍を施しても、上記効果は何ら影響を受けない。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、本発明の詳細をその限定理由とともに説明する。

[0020] 〈鋼板の成分組成〉

先ず、本発明に係る無方向性電磁鋼板（以下、「鋼板」と略記）およびモータコアが有する好適な成分組成について説明する。成分組成における元素の含有量の単位はいずれも「質量%」であるが、以下、特に断らない限り単に「%」で示す。

[0021] Ｃ：0.010%以下

Ｃは、モータの使用中に炭化物を形成して磁気時効を起こし、モータの鉄損特性を劣化させる有害元素である。磁気時効を回避するためには鋼板中に含まれるＣは0.010%以下とする。好ましくは0.004%以下である。Ｃ添加量の下限は特に規定しないが、過度にＣを低減した鋼板は非常に高価であることから、0.0001%程度とするのが好ましい。

[0022] Si：1.0%以上5.0%以下

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。このような効果を得るためには、Si添加量を1.0%以上とすればよい。一方、Si添加量が5.0%を超えると、飽和磁束密度の低下に伴い磁束密度が顕著に低下するため、上限を5.0%以下とする。したがって、Si添加量は1.0%以上5.0%以下の範囲とする。好ましくは1.5%

以上4.5%未満の範囲、より好ましくは2.0%以上4.0%未満の範囲である。

[0023] Mn：0.05%以上5.0%以下

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る。このような効果を得るためには、Mnを0.05%以上含有する必要がある。一方、5.0%を超える添加は、MnCの析出を促進してモータの磁気特性を劣化させる場合があるため、上限は5.0%とする。したがって、Mn添加量は0.05%以上5.0%以下とする。好ましくは0.1%以上3.0%以下の範囲である。

[0024] Ｐ：0.1%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。しかしながら、Ｐ添加量が0.1%を超えると、靭性が低下し、加工時に割れを生じやすいため、上限は0.1%とする。下限は特に規定しないが、過度にＰを低減した鋼板は非常に高価であることから、0.001%とする。Ｐ添加量は好ましくは0.003%以上0.08%以下の範囲である。

[0025] Ｓ：0.01%以下

Ｓは、微細析出物を形成してモータの鉄損特性に悪影響を及ぼす元素である。特に、Ｓ添加量が0.01%を超えると、その悪影響が顕著になるため、上限は0.01%とする。下限は特に規定しないが、過度にＳを低減した鋼板は非常に高価であることから、0.0001%とする。Ｓ添加量は好ましくは0.0003%以上0.0080%以下の範囲である。

[0026] Al：3.0%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。このような効果を得るためには0.005%以上添加することが好ましい。より好ましくは0.010%以上、さらに好ましくは0.015%以上である。一方、3.0%を超える添加は鋼板表面の窒化を助長し、磁気特性を劣化させることがあるため、上限を3.0%とする。より好ましくは2.0%以下である。

[0027] Ｎ：0.0050%以下

Ｎは、微細析出物を形成して鉄損特性に悪影響を及ぼす元素である。特に、添加量が0.0050%を超えると、その悪影響が顕著になるため、上限は0.005

0%とする。下限は特に規定しないが、過度にＮを低減した鋼板は非常に高価であることから、0.0005%とする。Ｎ添加量は好ましくは0.0008%以上0.0030%以下の範囲である。

[0028] 本発明に係る無方向性電磁鋼板では、上記成分以外の残部はFeおよび不可避的不純物である。さらに、要求特性に応じて、上記成分組成に加えて、Co、Zn、Mo、Cr、Ca、Mg、REM、Sn、Sb、Cu、Ni、W、Ti、Nb、V、Ta、B、Ga、Pb、AsおよびGeのうちから選ばれる１種または２種以上を下記の範囲で含有することができる。

[0029] Co：0.0005%以上0.0050%以下

Coには、焼鈍工程における加熱時の急熱停止温度や中間保持時間等を適切な範囲としたときに、圧延方向または圧延直角方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Aを増加させ、圧延方向または圧延直角方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Bを低下させる効果がある。すなわち、Coの微量添加により$S_A-S_B \geqq 0$を安定的に実現することができる。このような効果を得るためには、Co添加量を0.0005%以上とすればよい。一方、Coは0.0050%を超えると効果が飽和し、いたずらにコストの上昇を招くため、上限を0.0050%とする。したがって、Coは0.0005%以上0.0050%以下の範囲で添加することが好ましい。

[0030] Zn：0.0005%以上0.0050%以下

Znには、焼鈍工程における加熱時の急熱停止温度や中間保持時間等を適切な範囲としたときに、圧延45°方向および圧延-45°方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Cを増加させ、圧延45°方向および圧延-45°方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Dを低下させる効果がある。すなわち、Znの微量添加により$5\times S_C-S_D \geqq 0$を安定的に実現することができる。このような効果を得るためには、Zn添加量を0.0005%以上とすればよい。一方、Znは0.0050%を超えると効果が飽和し、いたずらにコストの上昇を招くため、上限を0.0050%とする。したがって、Znは0.0005%以上0.0050%以下の範囲で添加することが好ましい。

[0031] Mo：0.01%以上0.20%以下

Moには、鋼中で微細な炭化物を形成し、鋼板の強度を高める効果がある。このような効果を得るためには、Mo添加量を0.01%以上とすればよい。一方、Mo添加量が0.20%を超えると過度に炭化物が形成され鉄損が劣化するため、上限を0.20%する。したがって、Moは0.01%以上、0.20%以下の範囲で添加することが好ましい。

[0032] Cr：0.1％以上5.0％以下

Crは、鋼の固有抵抗を高め、鉄損を低減する効果がある。このような効果を得るためには、Cr添加量を0.1％以上とすればよい。一方、Cr添加量が0.1％を超えると、飽和磁束密度の低下に伴い磁束密度が顕著に低下するため、上限を5.0％する。したがって、Crは0.1％以上5.0％以下の範囲で添加することが好ましい。

[0033] Ca：0.001％以上0.10％以下

Caは、硫化物としてＳを固定し、鉄損の低減に寄与する元素である。このような効果を得るためには、Ca添加量は0.001％以上とすればよい。一方、Ca添加量が0.10％を超えると効果が飽和し、いたずらにコストの上昇を招くため、上限を0.10％とする。したがって、Caは0.001％以上0.10％以下の範囲で添加することが好ましい。

[0034] Mg：0.001％以上0.10％以下

Mgは、硫化物としてＳを固定し、鉄損の低減に寄与する元素である。このような効果を得るためには、Mg添加量は0.001％以上とすればよい。一方、Mg添加量が0.10％を超えると効果が飽和し、いたずらにコストの上昇を招くため、上限を0.10％とする。したがって、Mgは0.001％以上0.10％以下の範囲で添加することが好ましい。

[0035] REM：0.001％以上0.10％以下

REMは、硫化物としてＳを固定し、鉄損の低減に寄与する元素群である。このような効果を得るためには、REM添加量は0.001％以上とすればよい。一方、REM添加量が0.10％を超えると効果が飽和し、いたずらにコストの上昇を招くため、上限を0.10％とする。したがって、REMは0.001％以上0.10％以下の

範囲で添加することが好ましい。

[0036] Sn：0.001％以上0.20％以下

Snは、集合組織改善により磁束密度向上および鉄損低減に効果的な元素である。このような効果を得るためには、Sn添加量は0.001％以上とすればよい。一方、Sn添加量が0.20％を超えると効果が飽和し、いたずらにコストの上昇を招くため、上限を0.20％とする。したがって、Snは0.001％以上0.20％以下の範囲で添加することが好ましい。

[0037] Sb：0.001％以上0.20％以下

Sbは、集合組織改善により磁束密度向上および鉄損低減に効果的な元素である。このような効果を得るためには、Sb添加量は0.001％以上とすればよい。一方、Sb添加量が0.20％を超えると効果が飽和し、いたずらにコストの上昇を招くため、上限を0.20％とする。したがって、Sbは0.001％以上0.20％以下の範囲で添加することが好ましい。

[0038] Cu：0％以上0.5％以下、Ni：0％以上0.5％以下

Cu、Niは、鋼の靭性を向上させる元素であり、適宜添加することができる。しかしながら、0.5％を超えて添加しても上記効果が飽和するため、添加量の上限はそれぞれ0.5％とするのが好ましい。より好ましくは、添加量はそれぞれ0.01％以上0.1％以下の範囲である。

[0039] W：0％以上0.05％以下

Wは、微細炭化物を形成し、析出強化により鋼板強度を高めることを介して打抜き疲労強度を向上させるため、適宜添加することができる。一方で、添加量が上記範囲を超えると過度に炭化物が形成され鉄損が劣化する。したがって、Wの添加量は0％以上0.05％以下の範囲とする。好ましい添加量の上限は0.02％である。

[0040] Ti：0％以上0.005％以下、Nb：0％以上0.005％以下、V：0％以上0.010％以下、Ta：0％以上0.002％以下

Ti、Nb、V、Taは、微細な炭窒化物を形成し、析出強化により鋼板強度を高めることを介して打抜き疲労強度を向上させるため、適宜添加することがで

きる。一方で、添加量が上記範囲を超えると過度に炭窒化物が形成され鉄損が劣化する。したがって、Ti、Nb、V、Taの添加量はそれぞれ、Ti：0%以上0.005%以下、Nb：0%以上0.005%以下、V：0%以上0.010%以下、Ta：0%以上0.002%以下の範囲とする。好ましい添加量の上限はTi：0.002%、Nb：0.002%、V：0.005%、Ta：0.001%である。

[0041] B：0%以上0.002%以下、Ga：0%以上0.005%以下

B、Gaは、微細な窒化物を形成し、析出強化により鋼板強度を高めることを介して打抜き疲労強度を向上させるため、適宜添加することができる。一方で、添加量が上記範囲を超えると過度に窒化物が形成され鉄損が劣化する。したがって、B、Gaの添加量はそれぞれ、B：0%以上0.002%以下、Ga：0%以上0.005%以下の範囲とする。好ましい添加量の上限はB：0.001%、Ga：0.002%である。

[0042] Pb：0%以上0.002%以下

Pbは、微細なPb粒子を形成し、析出強化により鋼板強度を高めることを介して打抜き疲労強度を向上させるため、適宜添加することができる。一方で、添加量が上記範囲を超えると過度にPb粒子が形成され鉄損が劣化する。したがって、Pbの添加量は0%以上0.002%以下の範囲とする。好ましい添加量の上限は0.001%である。

[0043] As：0%以上0.05%以下、Ge：0%以上0.05%以下

As、Geは、集合組織改善により磁束密度向上および鉄損低減に効果的な元素であり、適宜添加することができる。しかしながら、0.05%を超えて添加しても、上記効果が飽和する。このため、添加量の上限はそれぞれ0.05%とするのが好ましい。より好ましくは、添加量はそれぞれ0.002%以上0.01%以下の範囲である。

[0044] 〈鋼板のミクロ組織〉

次に、本発明に係る無方向性電磁鋼板のミクロ組織について説明する。

[0045] 《平均結晶粒径ｄが60μm以上、200μm以下》

本発明者らの検討によると、平均結晶粒径ｄが粗大であると鉄損が低下す

る。すなわち、平均結晶粒径ｄを60μm以上とすることにより目標の鉄損特性を達成することができる。一方、平均結晶粒径ｄが過度に粗大であると渦電流損の増加により逆に鉄損が上昇する。すなわち、平均結晶粒径ｄを200μm以下とすることにより目標の鉄損特性を達成することができる。

[0046] 《圧延方向または圧延直角方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Aと圧延方向または圧延直角方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Bが$S_A-S_B\geqq 0$を満たす》

本発明者らの検討によると、所定の成分組成を有する鋼について、圧延方向または圧延直角方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Aおよび圧延方向または圧延直角方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Bが$S_A-S_B\geqq 0$を満たす鋼板組織とすることで、鋼板の磁束密度が向上するとともに鉄損が低減することが判明した。結晶方位の許容誤差は15°とした。すなわち、$S_A-S_B\geqq 0$であれば、磁束密度および鉄損がＨＥＶ、ＥＶおよびＦＣＥＶに適用するモータで必要とされる値を満足するため、$S_A-S_B\geqq 0$とした。好ましくは$S_A-S_B\geqq 2$%、より好ましくは$S_A-S_B\geqq 5$%である。

[0047] 《圧延45°方向および圧延-45°方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Cと圧延45°方向および圧延-45°方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Dが$5\times S_C-S_D\geqq 0$を満たす》

本発明者らの検討によると、前記鋼板組織に加えて、圧延45°方向および圧延-45°方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Cおよび圧延45°方向および圧延-45°方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Dが$5\times S_C-S_D\geqq 0$を満たす鋼板組織とすることで、磁気特性の異方性が低減することが判明した。異方性の低減はモータ効率の向上に寄与するため、ＨＥＶ、ＥＶおよびＦＣＥＶに適用するモータ用材料としてより好ましい。このため、$5\times S_C>S_D$を満足することが好ましい。より好ましくは$5\times S_C>S_D\geqq 1$%である。

[0048] 次に、本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造方法について説明する。

[0049] 概略的には、本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造方法は、上記成分組成を有する鋼素材に、熱間圧延、必要に応じて熱延板焼鈍、酸洗、冷間圧延、

焼鈍を順次施すことにより、上述した本発明に係る無方向性電磁鋼板を得る方法である。本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造方法においては、本発明で規定する成分、冷間圧延、焼鈍条件が本発明の範囲内であれば、それ以外は通常公知の手法でかまわない。

[0050] 〈鋼素材〉

鋼素材は、上記組成を有する鋼素材であれば、特に限定されない。鋼素材の溶製方法は、特に限定されず、転炉または電気炉等を用いた公知の溶製方法を採用できる。生産性等の問題から、溶製後に、連続鋳造法によりスラブ（鋼素材）とすることが好ましいが、造塊－分塊圧延法または薄スラブ連鋳法等の公知の鋳造方法によりスラブとしてもよい。

[0051] 〈熱間圧延工程〉

熱間圧延工程は、上記組成を有する鋼素材に熱間圧延を施すことにより熱延板を得る工程である。熱間圧延工程は、上記組成を有する鋼素材を加熱し、熱間圧延を施して所定寸法の熱延板が得られる工程であれば特に限定されず、常用の熱間圧延工程を適用できる。

[0052] 常用の熱間圧延工程としては、例えば、鋼素材を、1000℃以上1200℃以下の温度に加熱し、加熱した鋼素材に800℃以上950℃以下の仕上圧延出側温度で熱間圧延を施し、熱間圧延が終了した後、適正な圧延後冷却（例えば、450℃以上950℃以下の温度域を、20℃/s以上100℃/s以下の平均冷却速度で冷却する）を施して、400℃以上700℃以下の巻取温度で巻き取り、所定寸法形状の熱延板とする熱間圧延工程を例示できる。

[0053] 〈熱延板焼鈍工程〉

熱延板焼鈍工程は、上記熱延板を加熱し高温保持することにより、熱延板を焼準する工程である。熱延板焼鈍工程は、特に限定されず、常用の熱延板焼鈍工程を適用できる。この工程は必須ではなく省略することもできる。

[0054] 〈酸洗工程〉

酸洗工程は、上記熱延板焼鈍工程後の鋼板あるいは、熱延板焼鈍工程を省略する場合には上記熱延板に酸洗を施す工程である。酸洗工程は、酸洗後の

鋼板に冷間圧延を施すことができる程度に酸洗できる工程であれば特に限定されず、例えば塩酸または硫酸等を使用する常用の酸洗工程を適用できる。この酸洗工程は、前記熱延板焼鈍工程と同一ライン内で連続して実施しても良いし、別ラインで実施しても良い。

[0055] 〈冷間圧延工程〉

冷間圧延工程は、酸洗工程を経た酸洗板に冷間圧延を施す工程である。冷間圧延工程は、酸洗後の鋼板を所望の板厚まで圧下できる工程であれば特に限定されず、常用の冷間圧延工程を適用できる。また、必要に応じて中間焼鈍をはさんだ２回以上の冷間圧延により所定寸法の冷延板としても良く、この場合の中間焼鈍条件は特に限定されず、常用の中間焼鈍工程を適用できる。好ましくは、最終パスのワークロール径Ｄが150mmφ以上、最終パスの圧下率ｒが15％以上および、最終パスのひずみ速度(ε'_m)が100s^{-1}以上1300s^{-1}以下の条件で冷間圧延を施すことにより冷延板を得る冷間圧延工程である。

[0056] （最終パスのワークロール径Ｄ）

本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造において最終パスのワークロール径Ｄは150mmφ以上とする。最終パスのワークロール径Ｄを150mmφ以上とした理由は、$5\times S_C-S_D\geqq 0$とし、所望の鋼板組織を得るためである。最終パスのワークロール径Ｄが150mmφより小さい場合、平面圧縮の状態から遠く隔たることになるため、ワークロール径が大きい場合に比較して結晶粒単位でのせん断ひずみの不均一性が増強される。続く焼鈍工程における核生成および粒成長が特定の方位の領域に集中しやすくなるため、圧延45°および-45°方向に〈100〉が配向した結晶粒の面積率の和S_Cが減少し、同方向に〈111〉が配向した結晶粒の面積率の和S_Dが増加する。結果として$5\times S_C-S_D\geqq 0$を満足できない。一方、最終パスのワークロール径Ｄが150mmφ以上である場合には、$5\times S_C-S_D\geqq 0$を満足し、所望の鋼板組織が得られる。最終パスのワークロール径Ｄは、好ましくは170mmφ以上、さらに好ましくは200mmφ以上である。上限は特に設ける必要はないが、過度にロール径が大きい場合には圧延荷重が増大するため、700mmφとすることが好ましい。

[0057]（最終パスの圧下率ｒ）

本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造において最終パスの圧下率ｒは15%以上であることが好ましい。最終パスの圧下率ｒを15%以上とした理由は、一連の冷間圧延制御の効果を得て、所望の鋼板組織を得やすいためである。最終パスの圧下率ｒが15%未満の場合、圧下率が低すぎるために、焼鈍後の組織を制御するのが難しくなる。一方、最終パスの圧下率ｒが15%以上である場合には、一連の冷間圧延制御の効果が発揮される。その結果、所望の鋼板組織が得やすくなる。最終パスの圧下率ｒは、好ましくは20%以上である。本発明において最終パスの圧下率ｒの上限を規定する必要は無いが、高すぎる圧下率は多大な装置能力を要求し、また冷延板の形状制御も難しくなることから、通常50%以下である。

[0058]（最終パスのひずみ速度(ε’$_m$)）

本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造において最終パスのひずみ速度(ε’$_m$)は100s^{-1}以上1300s^{-1}以下であることが好ましい。最終パスのひずみ速度(ε’$_m$)を100s^{-1}以上1300s^{-1}以下とした理由は、圧延中の破断を抑制しつつ$5\times S_C-S_D\geqq 0$とし、所望の鋼板組織を得るためである。最終パスのひずみ速度(ε’$_m$)が100s^{-1}未満である場合には、冷延板の結晶粒単位でのせん断ひずみの不均一性が増強され、続く焼鈍工程における核生成および粒成長が特定の方位の領域に集中しやすくなるため、圧延45°および-45°方向に<100>が配向した結晶粒の面積率の和S_Cが減少し、同方向に<111>が配向した結晶粒の面積率の和S_Dが増加する。結果として$5\times S_C-S_D\geqq 0$を満足できない。理由は必ずしも明確ではないが、本発明者らは、ひずみ速度が低いことにより流動応力が低下し、変形しやすい結晶方位の結晶粒にひずみが集中し易くなり、ひずみ分布が不均一化されるためと推定している。一方、最終パスのひずみ速度が1300s^{-1}超である場合には、流動応力が過度に増大し、圧延中の脆性破断が生じ易くなる。最終パスのひずみ速度(ε’$_m$)が100s^{-1}以上1300s^{-1}以下である場合には、圧延中の破断を抑制しつつ$5\times S_C-S_D\geqq 0$を満足する。最終パスのひずみ速度(ε’$_m$)は、好ましくは150s^{-1}以上であり、好ましくは1300s^{-1}以下である。本

発明における冷間圧延時の各パスにおけるひずみ速度(ε’ $_m$)は、以下の数式（１）に示すEkelundの近似式を用いて導出した。

[0059] [数1]

$$\varepsilon_m' \fallingdotseq \frac{v_R}{\sqrt{R'h_1}} \frac{2}{2-r} \cdot \sqrt{r} \qquad \cdots(1)$$

[0060] ここで、v_Rはロール周速度（mm/s）、R’はロール半径（mm）、h_1はロール入側板厚（mm）、rは圧下率（％）である。

[0061] 〈焼鈍工程〉

焼鈍工程は、冷間圧延工程を経た冷延板に焼鈍を施す工程である。より詳細には、冷間圧延工程を経た冷延板を200℃から400℃以上600℃以下の保持温度T_1までの平均昇温速度V_1が50℃/s以上、保持温度T_1での保持時間が1秒以上10秒以下、保持温度T_1から750℃の平均昇温速度V_2が15℃/s以上の条件で、875℃以上1050℃以下の焼鈍温度T_2まで加熱し、冷却することにより冷延焼鈍板を得る焼鈍工程である。焼鈍工程の後に冷延焼鈍板の表面に絶縁コーティングを施すが、この方法およびコーティング種類は特に限定されず、常用の絶縁コーティング工程を適用できる。

[0062] （保持温度T_1）

本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造において加熱昇温中の保持温度T_1は400℃以上600℃以下とする。保持温度T_1を400℃以上600℃以下とした理由は、圧延方向または圧延直角方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Aと圧延方向または圧延直角方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Bが、$S_A-S_B \geqq 0$を満足する範囲とし、所望の鋼板組織を得るためである。保持温度T_1が400℃未満である場合には、温度が低すぎるために保持の効果が得られずにS_Bが高くなってしまい、結果として$S_A-S_B \geqq 0$を満足できない。一方、保持温度T_1が600℃以上である場合には、面積率の和S_Bだけでなく面積率の和S_Aも低下してしまうため、結果として$S_A-S_B \geqq 0$を満足できない。

[0063] （200℃から保持温度T_1までの平均昇温速度V_1）

本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造において200℃から保持温度T_1までの

平均昇温速度V_1は50℃/s以上とする。平均昇温速度V_1を50℃/s以上とした理由は、圧延方向または圧延直角方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Aと圧延方向または圧延直角方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Bが、$S_A-S_B \geqq 0$を満足する範囲とし、所望の鋼板組織を得るためである。平均昇温速度V_1が上記速度未満である場合には、保持温度T_1での保持以前に回復が生じてしまうため、回復挙動を十分に制御することができず、S_BおよびS_Aがともに低下し、結果として$S_A-S_B \geqq 0$を満足できない。200℃から保持温度T_1までの平均昇温速度V_1は、好ましくは70℃/s以上、より好ましくは100℃/s以上である。上限は特に設ける必要はないが、過度に昇温速度が高いと温度ムラを生じ易いことから500℃/sとすることが好ましい。

[0064] （保持温度T_1での保持時間ｔ）

本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造において、保持温度T_1での保持時間ｔは1秒以上10秒以下とする。保持時間ｔを1秒以上10秒以下とした理由は、圧延方向または圧延直角方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Aと圧延方向または圧延直角方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Bが、$S_A-S_B \geqq 0$を満足する範囲とし、所望の鋼板組織を得るためである。保持時間ｔが1秒未満である場合、組織の回復が十分に生じないためS_Bが高くなってしまい、結果として$S_A-S_B \geqq 0$を満足できない。一方、保持時間ｔが10秒超である場合には、過度に組織の回復が生じ、S_BだけでなくS_Aも低下してしまうため、結果として$S_A-S_B \geqq 0$を満足できない。

[0065] （保持温度T_1から750℃までの平均昇温速度V_2）

本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造において、保持温度T_1から750℃までの平均昇温速度V_2は15℃/s以上とする。平均昇温速度V_2を15℃/s以上とした理由は、圧延方向または圧延直角方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Aと圧延方向または圧延直角方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Bが、$S_A-S_B \geqq 0$を満足する範囲とし、所望の鋼板組織を得るためである。平均昇温速度V_2が15℃/s未満の場合、再結晶核の生成位置の選択性が強まり、圧延方向または圧延直角方向に<111>が向いた結晶粒の生成頻度が高まるために、S_Bが増加

する。結果として、$S_A-S_B \geqq 0$を満足出来ない。平均昇温速度V_2は、好ましくは20℃/s以上、より好ましくは30℃/s以上である。上限は特に設ける必要はないが、過度に昇温速度が高いと温度ムラを生じ易いことから200℃/sとすることが好ましい。

[0066] （焼鈍温度T_2）

本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造において焼鈍温度T_2は875℃以上1050℃以下とする。焼鈍温度T_2を875℃以上1050℃以下とした理由は、平均結晶粒径を60μm以上とし、所望の鋼板組織を得るためである。焼鈍温度T_2が875℃未満である場合、再結晶粒が十分に粒成長せず、平均結晶粒径を60μm以上とすることができない。焼鈍温度T_2が875℃以上である場合には、十分な粒成長が生じ平均結晶粒径を60μm以上とすることができる。焼鈍温度T_2は好ましくは900℃以上である。一方、焼鈍温度T_2が1050℃超である場合には、再結晶粒が過度に成長し、平均結晶粒径を200μm以下とすることができない。従って、焼鈍温度T_2は1050℃以下とする。好ましくは1025℃以下である。上記の焼鈍温度まで加熱したのち冷却するが、この冷却は、冷却ムラ防止の観点から50℃/s以下の速度で行うことが好ましい。

実施例

[0067] 以下、実施例を挙げて本発明を具体的に説明する。但し、本発明はこれらに限定されない。

[0068] ＜冷延焼鈍板の製造＞

表１－１，２に示す成分組成を有する溶鋼を通常公知の手法により溶製し、連続鋳造して厚み230mmのスラブ（鋼素材）とした。得られたスラブに熱間圧延を施すことにより、板厚2.0mmの熱延板を得た。得られた熱延板に公知の手法により熱延板焼鈍および酸洗を施し、次いで、表２－１，２に示す板厚まで冷間圧延を施して冷延板を得た。得られた冷延板に表２－１，２に示す条件で焼鈍を施し、次いで公知の手法によりコーティングを施し、冷延焼鈍板（無方向性電磁鋼板）を得た。

[0069]

[表1-1]

(表1-1)

鋼種	成分組成 [質量%]																備考
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Co	Zn	Mo	Cr	Ca	Mg	REM	Sn	Sb	
A	0.0016	3.5	0.3	0.004	0.0029	0.6	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
B	0.0038	2.4	1.2	0.011	0.0033	1.2	0.0021	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
C	0.0035	3.5	0.2	0.019	0.0017	1.1	0.0015	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
D	0.0034	2.1	1.3	0.015	0.0027	0.9	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
E	0.0033	2.2	0.6	0.005	0.0033	1.8	0.0026	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
F	0.0038	2.7	2.7	0.008	0.0021	0.5	0.0020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
G	0.0027	2.9	1.2	0.006	0.0031	1.9	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
H	0.0009	2.3	1.2	0.011	0.0024	1.4	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
I	0.0029	2.9	1.0	0.012	0.0037	1.2	0.0027	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
J	0.0015	3.9	0.7	0.013	0.0008	1.5	0.0023	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
K	0.0047	2.2	1.3	0.009	0.0021	1.3	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
L	0.0017	0.8	0.8	0.013	0.0007	1.5	0.0021	—	—	—	—	—	—	—	—	—	比較例
M	0.0016	1.2	0.8	0.012	0.0009	1.5	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
N	0.0013	1.5	0.7	0.011	0.0009	1.6	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
O	0.0015	4.8	0.7	0.015	0.0005	1.5	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
P	0.0017	5.2	0.7	0.014	0.0005	1.4	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	比較例
Q	0.0035	2.1	0.02	0.017	0.0028	0.9	0.0023	—	—	—	—	—	—	—	—	—	比較例
R	0.0036	2.1	0.08	0.013	0.0023	0.8	0.0026	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
S	0.0035	2.0	3.4	0.013	0.0030	0.8	0.0026	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
T	0.0034	2.1	5.1	0.015	0.0023	1.0	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	比較例
U	0.0031	3.0	1.0	0.011	0.0033	0.003	0.0028	—	—	—	—	—	—	—	—	—	比較例
V	0.0029	3.0	1.0	0.010	0.0038	0.012	0.0028	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
W	0.0028	2.8	1.0	0.014	0.0038	2.2	0.0027	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
X	0.0030	2.9	1.1	0.012	0.0039	3.4	0.0028	—	—	—	—	—	—	—	—	—	比較例
Y	0.0035	3.4	0.3	0.020	0.0018	1.1	0.0013	0.0007	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
Z	0.0037	3.5	0.2	0.017	0.0014	1.1	0.0016	0.0038	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AA	0.0037	3.4	0.2	0.018	0.0020	1.0	0.0014	—	0.0008	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AB	0.0033	3.6	0.2	0.019	0.0016	1.1	0.0013	—	0.0029	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AC	0.0016	3.5	0.3	0.003	0.0031	0.6	0.0023	—	—	0.035	—	—	—	—	—	—	適合例
AD	0.0015	3.5	0.3	0.005	0.0028	0.6	0.0023	—	—	—	0.14	—	—	—	—	—	適合例
AE	0.0017	3.6	0.4	0.005	0.0024	0.5	0.0023	—	—	—	—	0.004	—	—	—	—	適合例
AF	0.0014	3.5	0.2	0.003	0.0030	0.6	0.0020	—	—	—	—	—	0.003	—	—	—	適合例
AG	0.0018	3.5	0.3	0.002	0.0029	0.6	0.0023	—	—	—	—	—	—	0.005	—	—	適合例
AH	0.0017	3.5	0.4	0.006	0.0031	0.7	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	0.032	—	適合例
AI	0.0016	3.5	0.3	0.003	0.0033	0.6	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	—	0.054	適合例

[0070]

[表1-2]

(表1-2)

鋼種	成分組成[質量%]																									備考
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Co	Zn	Mo	Cr	Ca	Mg	REM	Sn	Sb	Cu	Ni	W	Ti	Nb	V	Ta	B	Ga	Pb	As	Ge	
AJ	0.0034	3.4	0.3	0.021	0.0013	1.0	0.0013	0.0021	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AK	0.0037	3.4	0.2	0.017	0.0021	1.0	0.0017	—	0.0046	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AL	0.0014	3.4	0.4	0.003	0.0031	0.6	0.0023	—	—	0.013	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AM	0.0015	3.5	0.4	0.004	0.0030	0.6	0.0021	—	—	—	4.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AN	0.0017	3.5	0.2	0.005	0.0030	0.6	0.0023	—	—	—	—	0.001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AO	0.0016	3.5	0.3	0.003	0.0032	0.5	0.0022	—	—	—	—	—	0.096	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AP	0.0015	3.5	0.3	0.003	0.0032	0.6	0.0023	—	—	—	—	—	—	0.093	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AQ	0.0015	3.5	0.3	0.003	0.0026	0.7	0.0020	—	—	—	—	—	—	—	0.17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AR	0.0018	3.6	0.3	0.005	0.0033	0.7	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	—	0.18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AS	0.0040	2.3	1.2	0.011	0.0031	1.2	0.0019	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AT	0.0038	2.5	1.2	0.011	0.0036	1.3	0.0021	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AU	0.0037	2.5	1.2	0.012	0.0037	1.2	0.0023	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AV	0.0037	2.5	1.1	0.013	0.0030	1.2	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AW	0.0032	2.3	0.5	0.003	0.0030	1.8	0.0026	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.006	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AX	0.0034	2.2	0.7	0.006	0.0029	1.8	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.043	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AY	0.0035	2.1	0.5	0.005	0.0036	1.8	0.0028	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0016	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
AZ	0.0032	2.1	0.5	0.005	0.0033	1.9	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0047	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例
BA	0.0031	2.2	0.5	0.003	0.0029	1.8	0.0026	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0007	—	—	—	—	—	—	—	適合例
BB	0.0032	2.2	0.5	0.005	0.0029	1.7	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0045	—	—	—	—	—	—	—	適合例
BC	0.0032	2.3	0.5	0.003	0.0032	1.7	0.0028	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0011	—	—	—	—	—	—	適合例
BD	0.0032	2.2	0.5	0.007	0.0038	1.9	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0095	—	—	—	—	—	—	適合例
BE	0.0034	2.2	0.6	0.003	0.0031	1.8	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0004	—	—	—	—	—	適合例
BF	0.0032	2.1	0.7	0.005	0.0030	1.8	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0017	—	—	—	—	—	適合例
BG	0.0039	2.7	2.7	0.007	0.0024	0.5	0.0020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0002	—	—	—	—	適合例
BH	0.0038	2.7	2.6	0.006	0.0016	0.5	0.0020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0018	—	—	—	—	適合例
BI	0.0039	2.7	2.7	0.010	0.0020	0.5	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0002	—	—	—	適合例
BJ	0.0039	2.6	2.6	0.008	0.0022	0.5	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0047	—	—	—	適合例
BK	0.0040	2.7	2.6	0.010	0.0022	0.4	0.0022	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0002	—	—	適合例
BL	0.0040	2.6	2.6	0.007	0.0020	0.5	0.0020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0019	—	—	適合例
BM	0.0028	2.9	1.1	0.004	0.0026	2.0	0.0023	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.004	—	適合例
BN	0.0028	2.9	1.1	0.004	0.0031	1.9	0.0024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.043	—	適合例
BO	0.0029	2.9	1.1	0.004	0.0036	1.9	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.002	適合例
BP	0.0030	3.0	1.3	0.009	0.0036	2.0	0.0027	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.046	適合例

[0071]

[表2-1]

（表2-1）

No.	鋼種	板厚 [mm]	冷間圧延工程				焼鈍工程					備考
			最終パスのワークロール径D [mmφ]	最終パスの圧下率r[%]	最終パスのひずみ速度 [s^{-1}]	圧延中の破断	保持温度 T_1[℃]	昇温速度 V_1[℃/s]	保持時間 t[s]	昇温速度 V_2[℃/s]	焼鈍温度 T_2[℃]	
1	A	0.25	290	28	780	－	490	270	2	34	1000	発明例
2	B	0.25	330	23	860	－	480	460	3	53	990	発明例
3	C	0.25	360	31	300	－	590	120	9	33	920	発明例
4	D	0.25	390	27	260	－	470	120	7	31	1010	発明例
5	E	0.25	360	23	200	－	420	480	2	55	940	発明例
6	F	0.25	340	25	190	－	590	320	9	49	1000	発明例
7	G	0.25	290	29	700	－	440	310	5	37	1010	発明例
8	H	0.25	360	24	510	－	420	350	3	33	960	発明例
9	I	0.25	200	33	690	－	500	380	3	54	990	発明例
10	J	0.25	210	34	710	－	510	190	3	47	910	発明例
11	K	0.25	360	24	510	－	420	340	3	34	960	発明例
12	L	0.25	210	34	710	－	510	190	3	47	910	比較例
13	M	0.25	210	34	710	－	510	200	3	47	910	発明例
14	N	0.25	210	34	710	－	510	190	3	49	910	発明例
15	O	0.25	210	34	710	－	510	180	3	49	910	発明例
16	P	0.25	210	34	710	－	510	190	3	46	910	比較例
17	Q	0.25	390	27	260	－	470	120	7	30	1010	比較例
18	R	0.25	390	27	260	－	470	120	7	32	1010	発明例
19	S	0.25	390	27	260	－	470	120	7	31	1010	発明例
20	T	0.25	390	27	260	－	470	130	7	33	1010	比較例
21	U	0.25	200	33	690	－	500	370	3	52	990	比較例
22	V	0.25	200	33	690	－	500	400	3	56	990	発明例
23	W	0.25	200	33	690	－	500	380	3	54	990	発明例
24	X	0.25	200	33	690	－	500	360	3	55	990	比較例
25	Y	0.25	360	31	300	－	590	130	9	32	920	発明例
26	Z	0.25	360	31	300	－	590	120	9	32	920	発明例
27	AA	0.25	360	31	300	－	590	120	9	33	920	発明例
28	AB	0.25	360	31	300	－	590	120	9	31	920	発明例
29	AC	0.25	290	28	780	－	490	260	2	33	1000	発明例
30	AD	0.25	290	28	780	－	490	280	2	35	1000	発明例
31	AE	0.25	290	28	780	－	490	270	2	34	1000	発明例
32	AF	0.25	290	28	780	－	490	270	2	33	1000	発明例
33	AG	0.25	290	28	780	－	490	270	2	35	1000	発明例
34	AH	0.25	290	28	780	－	490	260	2	33	1000	発明例
35	AI	0.25	290	28	780	－	490	270	2	34	1000	発明例
36	J	0.25	210	34	710	－	630	190	3	46	910	比較例
37	J	0.25	210	34	710	－	380	190	3	47	910	比較例
38	D	0.25	390	27	260	－	470	30	7	31	1010	比較例
39	D	0.25	390	27	260	－	470	60	7	31	1010	発明例
40	D	0.25	390	27	260	－	470	90	7	32	1010	発明例
41	G	0.25	290	29	700	－	440	300	0	37	1010	比較例
42	G	0.25	290	29	700	－	440	300	15	38	1010	比較例
43	I	0.25	200	33	690	－	500	380	3	8	990	比較例
44	I	0.25	200	33	690	－	500	400	3	17	990	発明例
45	I	0.25	200	33	690	－	500	380	3	24	990	発明例
46	C	0.25	360	31	300	－	500	120	3	33	860	比較例
47	C	0.25	360	31	300	－	590	120	9	33	880	発明例
48	C	0.25	360	31	300	－	590	120	9	34	1040	発明例
49	C	0.25	360	31	300	－	590	130	9	33	1070	比較例
50	A	0.25	110	28	780	－	490	270	2	32	1000	発明例
51	A	0.25	160	28	780	－	490	280	2	35	1000	発明例
52	A	0.25	180	28	780	－	490	270	2	33	1000	発明例
53	A	0.25	290	9	780	－	490	270	2	35	1000	発明例
54	A	0.25	290	17	780	－	490	280	2	34	1000	発明例
55	A	0.25	290	28	60	－	490	260	2	34	1000	発明例
56	A	0.25	290	28	120	－	490	260	2	33	1000	発明例
57	A	0.25	290	28	1400	一部破断	490	260	2	34	1000	発明例

注）下線部は発明範囲外であることを示す

[0072] [表2-2]

(表2-2)

No.	鋼種	板厚 [mm]	冷間圧延工程				焼鈍工程					備考
			最終パスのワークロール径D [mmφ]	最終パスの圧下率r [%]	最終パスのひずみ速度 [s^{-1}]	圧延中の破断	保持温度 T_1 [℃]	昇温速度 V_1 [℃/s]	保持時間 t [s]	昇温速度 V_2 [℃/s]	焼鈍温度 T_2 [℃]	
58	AJ	0.25	360	31	300	－	590	120	9	31	920	発明例
59	AK	0.25	360	31	300	－	590	120	9	32	920	発明例
60	AL	0.25	290	28	780	－	490	270	2	33	1000	発明例
61	AM	0.25	290	28	780	－	490	260	2	35	1000	発明例
62	AN	0.25	290	28	780	－	490	260	2	34	1000	発明例
63	AO	0.25	290	28	780	－	490	260	2	33	1000	発明例
64	AP	0.25	290	28	780	－	490	280	2	35	1000	発明例
65	AQ	0.25	290	28	780	－	490	280	2	33	1000	発明例
66	AR	0.25	290	28	780	－	490	260	2	34	1000	発明例
67	AS	0.25	330	23	860	－	480	470	3	53	990	発明例
68	AT	0.25	330	23	860	－	480	460	3	52	990	発明例
69	AU	0.25	330	23	860	－	480	480	3	53	990	発明例
70	AV	0.25	330	23	860	－	480	450	3	54	990	発明例
71	AW	0.25	360	23	200	－	420	480	2	57	940	発明例
72	AX	0.25	360	23	200	－	420	480	2	57	940	発明例
73	AY	0.25	360	23	200	－	420	470	2	57	940	発明例
74	AZ	0.25	360	23	200	－	420	470	2	54	940	発明例
75	BA	0.25	360	23	200	－	420	490	2	54	940	発明例
76	BB	0.25	360	23	200	－	420	460	2	55	940	発明例
77	BC	0.25	360	23	200	－	420	490	2	53	940	発明例
78	BD	0.25	360	23	200	－	420	490	2	55	940	発明例
79	BE	0.25	360	23	200	－	420	460	2	55	940	発明例
80	BF	0.25	360	23	200	－	420	500	2	52	940	発明例
81	BG	0.25	340	25	190	－	590	320	9	50	1000	発明例
82	BH	0.25	340	25	190	－	590	330	9	50	1000	発明例
83	BI	0.25	340	25	190	－	590	320	9	48	1000	発明例
84	BJ	0.25	340	25	190	－	590	330	9	51	1000	発明例
85	BK	0.25	340	25	190	－	590	330	9	48	1000	発明例
86	BL	0.25	340	25	190	－	590	320	9	51	1000	発明例
87	BM	0.25	290	29	700	－	440	320	5	36	1010	発明例
88	BN	0.25	290	29	700	－	440	290	5	38	1010	発明例
89	BO	0.25	290	29	700	－	440	300	5	37	1010	発明例
90	BP	0.25	290	29	700	－	440	320	5	39	1010	発明例

[0073] ＜評価＞

≪組織観察≫

得られた冷延焼鈍板から組織観察用の試験片を採取した。次いで、採取した試験片を、圧延方向に垂直な面（RD面）を観察面として樹脂埋めし、コロイダルシリカ研磨により鏡面化した。鏡面化した観察面に対し、電子線後方散乱回折（EBSD）測定を実施し、局所方位データを得た。このとき、ステップサイズ：5μm、測定領域：50mm^{2}以上とした。測定領域の広さは、続く解析において結晶粒の数が5000個以上となるように適宜調整した。測定は全域を１回のスキャンで行っても良いし、Combo Scan機能を利用して複数回のスキャン結果を結合しても良い。解析ソフト：OIM Analysis 8を用いて、得られた局所方位データの解析を行なった。データ解析に先立ち、試料座標系のA1軸//圧延方向、A2軸//圧延直角方向、A3軸//板面方向となるように座標回転処理を行った。また、解析ソフトのPartition PropertiesにてFormula：GCI[&;5.000,2,0.000,0,0,8.0,1,1,1.0,0;]＞0.1の条件で粒平均データ点の選別を行い、解析に不適なデータ点を除外した。このとき、有効なデータ点は98％以上であった。

[0074] 以上のように調整したデータに対して、結晶粒界の定義として、Grain Tolerance Angleを５°、Minimum Grain Sizeを２、Minimum Anti Grain Sizeを２、Multiple Rows RequirementおよびAnti-Grain Multiple Rows Requirementは共にOFFとして、以下の解析を行った。前処理を施したデータに対して、Grain Size(diameter)機能を用いて求めたArea Averageの値を平均結晶粒径とした。また、Crystal Direction機能を用いて、試料座標系の[A1,A2,A3]=[100],[010],[110],[1-10]の4方向に対して<100>および<111>が配向している結晶粒の面積率を求めた。面積率算出時のTolerance Angleは15°とした。試料座標系の[u’ v’ w’]方向に<uvw>が配向している結晶粒の面積率を$S_{<uvw>//[u'\ v'\ w']}$と表記すると、圧延方向又は圧延直角方向に<100>が配向した結晶粒の面積率の和S_Aは、$S_A=S_{<100>//[100]}+S_{<100>//[010]}$として求めることができる。<100>//[100]と<100>//[010]を共に満たす方位の面積率は２重に

カウントすることとする。以降についても同様である。同様に、圧延方向または圧延直角方向に<111>が配向した結晶粒の面積率の和S_Bは、$S_B=S_{<111>//[100]}+S_{<111>//[010]}$、圧延45°方向および圧延-45°方向に<100>が配向した結晶粒の面積率の和S_Cは、$S_C=S_{<100>//[110]}+S_{<100>//[1-10]}$、圧延45°方向および圧延-45°方向に<111>が配向した結晶粒の面積率の和S_Dは$S_D=S_{<111>//[110]}+S_{<111>//[1-10]}$、として求めた。

[0075] ≪磁気特性評価≫

得られた焼鈍板から、長さ方向を圧延方向または圧延直角方向とする、幅30mm、長さ280mmの磁気測定用試験片およびを採取し、JIS C2550-1：2011に準拠し、エプスタイン法で冷延焼鈍板の磁気特性を評価した。評価項目は、飽和磁束密度：Bs、磁界の強さ5000A/mでの磁束密度：B50、および鉄損W10/800とした。また、磁気特性の異方性を調査する目的で、長さ方向を圧延45°方向および圧延-45°とする、幅30mm、長さ280mmの磁気測定用試験片およびを採取し、JIS C2550-1：2011に準拠し、エプスタイン法で冷延焼鈍板の磁気特性を評価した。評価項目は、磁界の強さ5000A/mでの磁束密度：B50_45°とした。B50≧1．60（T）かつ、B50/Bs≧0.82の場合に磁束密度が良いと評価し、W10/800≦40（W/kg）の場合に高周波鉄損特性が良いと評価した。ΔB50＝B50－B50_45°≦0.120（T）の場合に磁気特性の異方性が小さいと評価した。

[0076]

[表3-1]

(表3-1)

No.	鋼板組織							特性						備考
	平均結晶粒径 d(μm)	SA [%]	SB [%]	SC [%]	SD [%]	SA-SB [%]	5SC-SD [%]	磁束密度 Bs(T)	磁束密度 B50(T)	B50/Bs	鉄損 $W_{10/80}$ (W/kg)	磁束密度 B50_45° (T)	異方性 ΔB50(T)	
1	103	19	6	6	25	13	5	1.97	1.72	0.87	30.2	1.67	0.048	発明例
2	124	13	6	6	25	7	5	1.98	1.71	0.86	29.7	1.66	0.047	発明例
3	69	17	4	7	27	13	8	1.95	1.73	0.89	28.0	1.69	0.042	発明例
4	104	19	6	3	11	13	4	2.00	1.76	0.88	31.5	1.71	0.053	発明例
5	106	20	6	4	11	14	9	1.97	1.74	0.88	29.1	1.71	0.034	発明例
6	126	17	8	7	27	9	8	1.96	1.71	0.87	27.5	1.67	0.042	発明例
7	124	16	5	4	13	11	7	1.92	1.69	0.88	25.1	1.65	0.038	発明例
8	86	16	5	6	26	11	4	1.97	1.71	0.87	29.0	1.66	0.047	発明例
9	90	19	6	7	28	13	7	1.96	1.70	0.87	28.3	1.66	0.044	発明例
10	100	13	6	5	16	7	9	1.91	1.65	0.86	25.0	1.62	0.032	発明例
11	84	15	5	5	21	10	4	1.98	1.70	0.86	29.6	1.65	0.053	発明例
12	66	12	5	6	21	7	9	2.04	1.76	0.86	47.7	1.73	0.030	比較例
13	90	13	6	4	12	7	8	2.03	1.78	0.88	38.0	1.74	0.038	発明例
14	99	12	5	5	17	7	8	2.01	1.75	0.87	36.3	1.71	0.041	発明例
15	96	13	6	5	16	7	9	1.87	1.62	0.87	22.7	1.59	0.032	発明例
16	91	13	6	4	12	7	8	1.86	1.59	0.86	22.3	1.55	0.038	比較例
17	112	19	6	3	11	13	4	2.03	1.75	0.86	46.9	1.71	0.042	比較例
18	132	19	6	3	11	13	4	2.03	1.79	0.88	36.0	1.74	0.048	発明例
19	120	21	7	3	11	14	4	1.96	1.68	0.86	35.4	1.64	0.043	発明例
20	95	19	6	3	11	13	4	1.91	1.67	0.87	42.1	1.63	0.041	比較例
21	96	19	7	6	23	12	7	2.01	1.74	0.87	43.3	1.70	0.038	比較例
22	104	17	5	7	28	12	7	2.01	1.77	0.88	36.1	1.73	0.039	発明例
23	136	19	6	7	28	13	7	1.92	1.67	0.87	37.6	1.63	0.042	発明例
24	93	20	6	7	27	14	8	1.86	1.65	0.89	40.7	1.61	0.038	比較例
25	97	19	4	3	11	15	4	1.96	1.76	0.90	27.5	1.72	0.044	発明例
26	106	21	4	3	11	17	4	1.96	1.78	0.91	27.0	1.74	0.043	発明例
27	108	18	4	5	13	14	12	1.96	1.68	0.86	29.4	1.65	0.026	発明例
28	67	17	4	6	16	13	14	1.95	1.73	0.89	28.1	1.71	0.025	発明例
29	94	19	7	5	20	12	5	1.98	1.70	0.86	30.7	1.66	0.045	発明例
30	110	18	6	6	25	12	5	1.98	1.71	0.87	30.1	1.67	0.045	発明例
31	91	20	7	5	20	13	5	1.97	1.69	0.86	30.2	1.65	0.044	発明例
32	123	19	6	7	30	13	5	1.98	1.75	0.89	29.6	1.71	0.040	発明例
33	97	20	7	6	25	13	5	1.97	1.70	0.86	30.2	1.65	0.047	発明例
34	137	17	5	6	25	12	5	1.97	1.77	0.90	28.7	1.72	0.049	発明例
35	109	17	5	6	25	12	5	1.98	1.78	0.90	29.3	1.73	0.050	発明例
36	100	13	15	5	15	-2	10	1.91	1.54	0.81	42.3	1.50	0.037	比較例
37	93	5	6	5	16	-1	9	1.91	1.50	0.79	40.5	1.46	0.038	比較例
38	117	3	5	3	11	-2	4	2.00	1.55	0.77	45.4	1.50	0.047	比較例
39	115	9	7	3	11	2	4	2.00	1.69	0.84	35.9	1.64	0.050	発明例
40	117	9	5	3	11	4	4	2.00	1.69	0.84	35.9	1.64	0.051	発明例
41	106	17	18	4	13	-1	7	1.92	1.50	0.78	41.5	1.46	0.038	比較例
42	127	3	5	4	12	-2	8	1.92	1.53	0.80	40.9	1.49	0.042	比較例
43	95	16	17	8	32	-1	8	2.01	1.61	0.80	46.1	1.57	0.037	比較例
44	96	15	14	7	28	1	7	2.01	1.66	0.83	38.1	1.62	0.036	発明例
45	129	15	11	8	33	4	7	2.01	1.71	0.85	37.2	1.67	0.042	発明例
46	53	17	4	3	11	13	4	1.96	1.70	0.87	42.9	1.65	0.048	比較例
47	62	17	4	3	11	13	4	1.96	1.69	0.86	37.4	1.65	0.041	発明例
48	193	18	4	3	11	14	4	1.96	1.72	0.88	36.8	1.68	0.043	発明例
49	232	18	4	3	11	14	4	1.96	1.68	0.86	43.3	1.64	0.045	比較例
50	88	25	6	5	26	19	-1	1.97	1.74	0.88	29.6	1.60	0.139	発明例
51	106	25	6	5	24	19	1	1.97	1.76	0.89	29.3	1.69	0.070	発明例
52	122	25	7	4	17	18	3	1.97	1.75	0.89	29.5	1.70	0.055	発明例
53	116	24	6	5	27	18	-2	1.97	1.73	0.88	29.8	1.60	0.127	発明例
54	138	24	6	4	20	18	0	1.97	1.73	0.88	29.8	1.63	0.096	発明例
55	139	23	6	4	21	17	-1	1.97	1.75	0.89	29.5	1.62	0.131	発明例
56	99	25	6	5	24	19	1	1.97	1.75	0.89	29.5	1.68	0.067	発明例
57	94	19	6	6	25	13	5	1.97	1.73	0.88	30.0	1.69	0.045	発明例

注）下線部は発明範囲外であることを示す

[0077] [表3-2]

(表3-2)

No.	鋼板組織							特性					備考
	平均結晶粒径d（μm）	SA [%]	SB [%]	SC [%]	SD [%]	SA-SB [%]	5SC-SD [%]	磁束密度 Bs (T)	磁束密度 B50 (T)	B50/Bs	鉄損 $W_{10/800}$ (W/kg)	磁束密度 $B50_{45°}$ (T)	異方性 ΔB50 (T)	
58	98	19	4	3	11	15	4	1.95	1.78	0.91	27.1	1.73	0.051	発明例
59	103	18	4	5	12	14	13	1.95	1.67	0.85	28.8	1.64	0.028	発明例
60	107	19	7	7	29	12	6	1.97	1.68	0.85	30.8	1.64	0.038	発明例
61	99	19	6	6	25	13	5	1.97	1.68	0.85	30.5	1.64	0.040	発明例
62	109	21	7	6	25	14	5	1.97	1.74	0.88	29.6	1.69	0.047	発明例
63	139	17	5	5	20	12	5	1.97	1.70	0.86	30.2	1.66	0.044	発明例
64	120	19	6	6	25	13	5	1.97	1.72	0.87	29.9	1.67	0.046	発明例
65	116	21	7	6	25	14	5	1.97	1.77	0.90	29.2	1.72	0.046	発明例
66	120	20	7	6	25	13	5	1.97	1.76	0.89	29.3	1.72	0.040	発明例
67	113	11	5	7	30	6	5	1.98	1.68	0.85	30.2	1.64	0.038	発明例
68	102	14	7	5	20	7	5	1.98	1.74	0.88	29.3	1.70	0.039	発明例
69	96	13	6	6	25	7	5	1.98	1.70	0.86	29.9	1.66	0.040	発明例
70	112	13	5	5	20	8	5	1.98	1.68	0.85	30.2	1.64	0.045	発明例
71	91	20	7	4	11	13	9	1.97	1.70	0.86	29.7	1.67	0.032	発明例
72	117	19	5	4	11	14	9	1.97	1.68	0.85	29.9	1.64	0.040	発明例
73	88	18	5	4	12	13	8	1.97	1.71	0.87	29.5	1.68	0.033	発明例
74	71	19	6	4	11	13	9	1.97	1.69	0.86	29.8	1.66	0.035	発明例
75	85	19	6	4	11	13	9	1.97	1.69	0.86	29.8	1.66	0.035	発明例
76	77	19	6	4	12	13	8	1.97	1.75	0.89	29.0	1.72	0.031	発明例
77	85	18	5	4	11	13	9	1.97	1.73	0.88	29.2	1.70	0.032	発明例
78	116	21	7	4	10	14	10	1.97	1.70	0.86	29.7	1.67	0.035	発明例
79	75	21	6	4	10	15	10	1.97	1.73	0.88	29.2	1.70	0.030	発明例
80	91	19	6	4	11	13	9	1.97	1.70	0.86	29.7	1.66	0.038	発明例
81	133	18	9	7	27	9	8	1.96	1.71	0.87	27.5	1.68	0.032	発明例
82	90	18	9	7	27	9	8	1.96	1.72	0.88	27.4	1.68	0.042	発明例
83	100	17	9	8	32	9	8	1.96	1.68	0.86	27.9	1.65	0.034	発明例
84	140	16	7	6	22	8	8	1.96	1.68	0.86	27.9	1.64	0.041	発明例
85	113	18	9	6	23	9	7	1.96	1.71	0.87	27.5	1.67	0.042	発明例
86	97	16	7	7	27	9	8	1.96	1.70	0.87	27.7	1.66	0.038	発明例
87	101	16	6	4	13	10	7	1.92	1.75	0.91	24.4	1.71	0.040	発明例
88	124	15	4	4	12	11	8	1.92	1.77	0.92	24.2	1.73	0.039	発明例
89	96	17	5	4	12	12	8	1.92	1.73	0.90	24.7	1.69	0.042	発明例
90	100	17	6	4	13	11	7	1.92	1.75	0.91	24.4	1.72	0.035	発明例

[0078] 表３－１，２の結果から、本発明に従う無方向性電磁鋼板は、いずれも、優れた磁束密度と優れた高周波鉄損特性とを両立していることがわかる。さらに、打抜き時のひずみによる鉄損低減を回復する目的で鋼板にひずみ取り焼鈍を施したところ、本発明の効果に何ら影響はなく、優れた磁束密度と優れた鉄損特性が両立されていた。

産業上の利用可能性

[0079] 本発明によれば、飽和磁束密度の低下や生産性の低下を招くことのない、高磁束密度－高周波低鉄損の無方向性電磁鋼板およびその製造方法を提供することができる。

請求の範囲

[請求項1] 質量％で、

C：0.010％以下、

Si：1.0％以上、5.0％以下、

Mn：0.05％以上、5.0％以下、

P：0.1％以下、

S：0.01％以下、

Al：3.0％以下、

N：0.005％以下、を含み、

残部Feおよび不可避不純物であり、

平均結晶粒径が60μm以上200μm以下であり、

圧延方向または圧延直角方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Aと圧延方向または圧延直角方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Bが$S_A-S_B\geqq 0$を満たす、

無方向性電磁鋼板。

[請求項2] 圧延45°方向および圧延-45°方向に<100>が向いた結晶粒の面積率の和S_Cと圧延45°方向および圧延-45°方向に<111>が向いた結晶粒の面積率の和S_Dが$5\times S_C-S_D\geqq 0$満たす、請求項１に記載の無方向性電磁鋼板。

[請求項3] 質量％で、さらにCoを0.0005％以上、0.0050％以下含む、請求項１又は２に記載の無方向性電磁鋼板。

[請求項4] 質量％で、さらにZnを0.0005％以上、0.0050％以下含む、請求項１～３のうち、いずれか１項に記載の無方向性電磁鋼板。

[請求項5] 質量％で、さらに、下記A～D群のうち少なくとも１群の成分と、Cu：0％以上0.5％以下、Ni：0％以上0.5％以下、W：0％以上0.05％以下、Ti：0％以上0.005％、Nb：0％以上0.005％以下、V：0％以上0.010％以下、Ta：0％以上0.002％以下、B：0％以上0.002％以下、Ga：0％以上0.005%以下、Pb：0％以上0.002％以下、As：0％以上0.05％以下

およびGe：0％以上0.05％以下から選んだ１種又は２種以上を含有する、請求項１～４のうち、いずれか１項に記載の無方向性電磁鋼板。

・A群；Mo：0.01％以上0.20％以下

・B群；Cr：0.1％以上5.0％以下

・C群；Ca：0.001％以上0.10％以下、Mg：0.001％以上0.10％以下およびREM：0.001％以上0.10％以下のうちのいずれか１種又は２種以上

・D群；Sn：0.001％以上0.20％以下およびSb：0.001％以上0.20％以下のうちのいずれか１種又は２種

[請求項6] 請求項１～５のうち、いずれか１項に記載の無方向性電磁鋼板の製造方法であって、前記無方向性電磁鋼板の組成を有する鋼素材に熱間圧延を施すことにより熱延板を得る熱間圧延工程と、必要に応じて前記熱延板に熱延板焼鈍を施す熱延板焼鈍工程と、前記熱延板および前記熱延板焼鈍が施された前記熱延板に酸洗を施す酸洗工程と、前記酸洗が施された前記熱延板に冷間圧延を施すことにより冷延板を得る冷間圧延工程と、前記冷延板を、200℃から400℃以上600℃以下の保持温度T_1までの平均昇温速度V_1が50℃/s以上、保持温度T_1での保持時間ｔが1秒以上10秒以下、保持温度T_1から750℃の平均昇温速度V_2が15℃/s以上の条件で、875℃以上1050℃以下の焼鈍温度T_2まで加熱し、冷却することにより冷延焼鈍板を得る焼鈍工程と、を含む、無方向性電磁鋼板の製造方法。

[請求項7] 前記冷間圧延工程を最終パスのワークロール径が150mmφ以上、最終パスの圧下率が15%以上、最終パスのひずみ速度が$100s^{-1}$以上$1300s^{-1}$以下の条件で行う、請求項６に記載の無方向性電磁鋼板の製造方法。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/045664

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B21B 3/02(2006.01)i; ***C21D 8/12***(2006.01)i; ***C21D 9/46***(2006.01)i; ***C22C 38/00***(2006.01)i; ***C22C 38/06***(2006.01)i; ***C22C 38/60***(2006.01)i; ***B21B 1/22***(2006.01)i; ***H01F 1/147***(2006.01)i
FI: C22C38/00 303U; C22C38/06; C22C38/60; C21D8/12 A; C21D9/46 501A; B21B3/02; B21B1/22 K; H01F1/147 175

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)

B21B3/02; C21D8/12; C21D9/46; C22C38/00-C22C38/60; B21B1/22; 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 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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.
A	JP 2002-146491 A (KAWASAKI STEEL CORP) 22 May 2002 (2002-05-22) claims, paragraphs [0010]-[0017], [0027]-[0039], examples 1, 3, tables 1, 4-5	1-7
A	JP 2019-163509 A (NIPPON STEEL CORP) 26 September 2019 (2019-09-26) entire text, all drawings	1-7
A	WO 2011/105609 A1 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION, YOKOHAMA NATIONAL UNIVERSITY) 01 September 2011 (2011-09-01) entire text, all drawings	1-7
A	KR 10-2021-0080726 A (POSCO) 01 July 2021 (2021-07-01) entire text, all drawings	1-7

☐ 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	Date of mailing of the international search report
08 February 2023	**21 February 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2022/045664

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2002-146491 A	22 May 2002	(Family: none)	
JP 2019-163509 A	26 September 2019	(Family: none)	
WO 2011/105609 A1	01 September 2011	US 2012/0312432 A1 entire text, all drawings EP 2540845 A1 CN 102869795 A KR 10-2012-0127652 A	
KR 10-2021-0080726 A	01 July 2021	EP 4079887 A2 entire text, all drawings WO 2021/125855 A2 CN 115176044 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/045664

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

B21B 3/02(2006.01)i; C21D 8/12(2006.01)i; C21D 9/46(2006.01)i; C22C 38/00(2006.01)i; C22C 38/06(2006.01)i; C22C 38/60(2006.01)i; B21B 1/22(2006.01)i; H01F 1/147(2006.01)i
FI: C22C38/00 303U; C22C38/06; C22C38/60; C21D8/12 A; C21D9/46 501A; B21B3/02; B21B1/22 K; H01F1/147 175

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））

B21B3/02; C21D8/12; C21D9/46; C22C38/00-C22C38/60; B21B1/22; 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	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３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
A	JP 2002-146491 A (川崎製鉄株式会社) 22.05.2002 (2002-05-22) 特許請求の範囲,0010-0017,0027-0039,実施例1,実施例3,表1,表4-表5	1-7
A	JP 2019-163509 A (日本製鉄株式会社) 26.09.2019 (2019-09-26) 全文,全図	1-7
A	WO 2011/105609 A1 (国立大学法人横浜国立大学) 01.09.2011 (2011-09-01) 全文,全図	1-7
A	KR 10-2021-0080726 A (POSCO) 01.07.2021 (2021-07-01) 全文,全図	1-7

☐ 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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
08.02.2023	21.02.2023

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
鈴木　葉子 4K 3557

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2022/045664

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2002-146491 A	22.05.2002	（ファミリーなし）	
JP 2019-163509 A	26.09.2019	（ファミリーなし）	
WO 2011/105609 A1	01.09.2011	US 2012/0312432 A1 全文,全図 EP 2540845 A1 CN 102869795 A KR 10-2012-0127652 A	
KR 10-2021-0080726 A	01.07.2021	EP 4079887 A2 全文,全図 WO 2021/125855 A2 CN 115176044 A	