

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7439993号
(P7439993)

(45)発行日 令和6年2月28日(2024.2.28)

(24)登録日 令和6年2月19日(2024.2.19)

(51)国際特許分類	F I
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 0 3 U
C 2 2 C 38/06 (2006.01)	C 2 2 C 38/06
C 2 2 C 38/60 (2006.01)	C 2 2 C 38/60
C 2 1 D 8/12 (2006.01)	C 2 1 D 8/12 A
H 0 1 F 1/147(2006.01)	H 0 1 F 1/147 1 7 5

請求項の数 7 (全20頁)

(21)出願番号	特願2023-520344(P2023-520344)	(73)特許権者	000001258 J F E スチール株式会社 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
(86)(22)出願日	令和4年12月12日(2022.12.12)	(74)代理人	110002147 弁理士法人酒井国際特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/045666	(72)発明者	田中 孝明 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
(87)国際公開番号	WO2023/112892	(72)発明者	大久保 智幸 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
(87)国際公開日	令和5年6月22日(2023.6.22)	審査官	J F E スチール株式会社 知的財産部内 鈴木 葉子
審査請求日	令和5年4月3日(2023.4.3)		
(31)優先権主張番号	特願2021-203934(P2021-203934)		
(32)優先日	令和3年12月16日(2021.12.16)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 無方向性電磁鋼板およびその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【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 : 0.005% 以上、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50 μm 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 $S_A - S_B \geq 0$ 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 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ を満たす、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、750 以上850 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150mm 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。

【発明の詳細な説明】

【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、電気機器に対する省エネルギー化への要求が世界的に高まっている。これに伴い、モータコアに使用される電磁鋼板に対して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、ハイブリッド電気自動車（HEV）や電気自動車（EV）の駆動モータ等において、小型化及び高出力化のニーズが強く、本ニーズに応えるためにモータの回転数を上昇させることが検討されている。

【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、HEV駆動モータのロータコアには、その外径が大きいため大きな遠心力が働く。また、ロータコアは構造上ロータコアブリッジ部と呼ばれる非常に狭い部分（幅：1～2mm）が存在し、この部分はモータ駆動中に特に高応力状態となる。このため、遠心力によるロータコアの破損を防止するために、ロータコアに用いられる電磁鋼板は高強度である必要がある。一方、ステータコアに用いられる電磁鋼板は、モータの小型化及び高出力化を実現するために高周波域で駆

10

20

30

40

50

動されることから、高磁束密度かつ高周波域で低鉄損であることが望ましい。したがって、モータコアに使用される電磁鋼板は、ロータコア用については高強度、ステータコア用については高磁束密度かつ高周波域で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、ロータコア用とステータコア用とでは要求される特性が大きく異なる。しかしながら、モータコアの製造においては、材料歩留りや生産性を高めるために、同一の素材鋼板からロータコア材とステータコア材とを打ち抜き加工により同時に採取し、その後、それぞれの鋼板を積層してロータコア及びステータコアに組み立てるのが望ましい。

【0005】

モータコア用の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、高強度の無方向性電磁鋼板を製造し、該鋼板から打ち抜き加工でロータコア材とステータコア材を採取して積層し、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り焼鈍を施すことにより、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。また、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2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】

【0006】

【文献】特開2008-50686号公報

【文献】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】

【0007】

しかしながら、本発明者らの検討によると、上記特許文献1に開示されている技術では、歪取り焼鈍後の磁気特性のうち、鉄損は大きく改善されるが、磁束密度が大幅に低下するといった問題がある。一方、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2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答えることができない。

【0008】

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、高強度かつ歪取り焼鈍を施した場合においても高磁束密度・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】

【0009】

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、平均結晶粒径dを50 μ m以下に微細化し、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 $S_A - S_B = 0$ を満たすように鋼板組織を制御することによって、ロータコア用材料に適した高強度特性を有し、また、ステータコア用材料として歪取り焼鈍を施した場合においても、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至った。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。

【0010】

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。

【0011】

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50 μ m以

10

20

30

40

50

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 $S_A - S_B > 0$ を満たす。

【0012】

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 $5 \times S_C - S_D > 0$ を満たすとよい。

【0013】

質量%で、さらにCoを0.0005%以上、0.0050%以下含むとよい。

【0014】

質量%で、さらにZnを0.0005%以上、0.0050%以下含むとよい。

【0015】

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。

【0016】

・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

【0017】

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、750 以上850 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。

【0018】

本発明に係る無方向性電磁鋼板の製造方法は、上記発明において、前記冷間圧延工程を最終パスのワークロール径が150mm 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。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、高強度かつ歪取り焼鈍を施した場合においても高磁束密度 - 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。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明の詳細をその限定理由とともに説明する。

【0021】

鋼板の成分組成

まず、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

10

20

30

40

50

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。

【0022】

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。

【0023】

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。

【0024】

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、Mn₂C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。

【0025】

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、靱性が低下し、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。

【0026】

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。

【0027】

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。

【0028】

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0.0050%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。

【0029】

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および不可避免的不純物で

10

20

30

40

50

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。

【0030】

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 $S_A - S_B > 0$ 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。

10

【0031】

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 $5 \times S_C - S_D > 0$ 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。

20

【0032】

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%とする。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。

【0033】

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%とする。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。

30

【0034】

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。

40

【0035】

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。

【0036】

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

50

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。

【0037】

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。

【0038】

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。

【0039】

Cu：0%以上0.5%以下、Ni：0%以上0.5%以下

Cu、Niは、鋼の靱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。

【0040】

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。

【0041】

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。

【0042】

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。

【0043】

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。

【0044】

10

20

30

40

50

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。

【0045】

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。

【0046】

《平均結晶粒径dが50 μ m以下》

本発明者らの検討によると、平均結晶粒径dが粗大であると鋼板強度が低下する。すなわち、平均結晶粒径dを50 μ m以下とすることにより目標の強度特性を達成することができる。平均結晶粒径dの下限については特に規定する必要はないが、本発明に記載の手法で製造した場合において、通常5 μ m以上である。

10

【0047】

《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 $S_A - S_B \geq 0$ 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 $S_A - S_B \geq 0$ を満たす鋼板組織とすることで、歪取り焼鈍後において、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 $^\circ$ とした。すなわち、 $S_A - S_B \geq 0$ であれば、磁束密度および鉄損がHEV、EVおよび燃料電池電気自動車(FCEV)に適用するモータで必要とされる値を満足するため、 $S_A - S_B \geq 0$ とした。好ましくは $S_A - S_B \geq 2\%$ 、より好ましくは $S_A - S_B \geq 5\%$ である。

20

【0048】

《圧延45 $^\circ$ 方向および圧延-45 $^\circ$ 方向に100が向いた結晶粒の面積率の和 S_C と圧延45 $^\circ$ 方向および圧延-45 $^\circ$ 方向に111が向いた結晶粒の面積率の和 S_D が $5 \times S_C - S_D \geq 0$ 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 $^\circ$ 方向および圧延-45 $^\circ$ 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 $^\circ$ 方向および圧延-45 $^\circ$ 方向に111が向いた結晶粒の面積率の和 S_D が $5 \times S_C - S_D \geq 0$ を満たす鋼板組織とすることで、歪取り焼鈍後において、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、 $5 \times S_C - S_D \geq 0$ を満足することが好ましい。より好ましくは $5 \times S_C - S_D \geq 1\%$ である。

30

【0049】

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。

【0050】

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。

40

【0051】

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。

50

【 0 0 5 2 】

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。

【 0 0 5 3 】

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。

10

【 0 0 5 4 】

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。

【 0 0 5 5 】

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。

20

【 0 0 5 6 】

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150mm 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($\dot{\epsilon}_m$)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。

30

【 0 0 5 7 】

(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150mm 以上とする。最終パスのワークロール径Dを150mm 以上とした理由は、 $5 \times S_C - S_D > 0$ 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150mm 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 $5 \times S_C - S_D > 0$ を満足できない。一方、最終パスのワークロール径Dが150mm 以上である場合には、 $5 \times S_C - S_D > 0$ 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170mm 以上、さらに好ましくは200mm 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、700mm とすることが好ましい。

40

【 0 0 5 8 】

(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

50

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。

【0059】

(最終パスのひずみ速度($\dot{\epsilon}_m$))

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($\dot{\epsilon}_m$)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($\dot{\epsilon}_m$)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 × S_C - S_D = 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($\dot{\epsilon}_m$)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 × S_C - S_D = 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($\dot{\epsilon}_m$)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 × S_C - S_D = 0を満足する。最終パスのひずみ速度($\dot{\epsilon}_m$)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($\dot{\epsilon}_m$)は、以下の数式(1)に示すEkelundの近似式を用いて導出した。

【0060】

【数1】

$$\dot{\epsilon}_m \cong \frac{v_R}{\sqrt{R'h_1}} \frac{2}{2-r} \cdot \sqrt{r} \quad \dots(1)$$

【0061】

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。

【0062】

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、750 以上850 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。

【0063】

(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、 $S_A - S_B = 0$ 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

10

20

30

40

50

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 $S_A - S_B = 0$ 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 $S_A - S_B = 0$ を満足できない。

【0064】

(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、 $S_A - S_B = 0$ 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 $S_A - S_B = 0$ 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。

10

【0065】

(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、 $S_A - S_B = 0$ 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 $S_A - S_B = 0$ 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 $S_A - S_B = 0$ を満足できない。

20

【0066】

(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、 $S_A - S_B = 0$ 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、 $S_A - S_B = 0$ 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。

30

【0067】

(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750 以上850 以下とする。焼鈍温度 T_2 を750 以上850 以下とした理由は、平均結晶粒径を50 μm 以下とし、所望の鋼板組織を得るためである。焼鈍温度 T_2 が750 未満である場合、再結晶が十分に進展せず、加工組織が多数残存した鋼板組織となる。この未再結晶部は圧延直角方向に 111 が配向した領域を多く含むため、 S_B が増加する。結果として $S_A - S_B = 0$ を満足できない。焼鈍温度 T_2 が750 以上である場合には、十分な再結晶が生じ、 $S_A - S_B = 0$ とすることができる。焼鈍温度 T_2 は好ましくは775 以上である。一方、焼鈍温度 T_2 が850 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50 μm 以下とすることができない。従って、焼鈍温度 T_2 は850 以下とする。好ましくは、825 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。

40

50

【実施例】**【0068】**

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。

【0069】**<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。

【0070】

10

20

30

40

50

【表 1 - 1】

細種	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

(表 1-1)

【 0 0 7 1 】

10

20

30

40

50

【表 1 - 2】

(表1-2)

鋼種

成分組成(質量%)

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	備考	
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	—	0.0007	—	—	—	—	—	—	—	適合例	
BA	0.0031	2.2	0.5	0.003	0.0029	1.8	0.0026	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0045	—	—	—	—	—	—	—	—	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	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例	
BP	0.0030	3.0	1.3	0.009	0.0036	2.0	0.0027	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	適合例	
																													適合例

10

20

30

40

【 0 0 7 2 】

50

【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 [°C]	昇温速度 V ₁ [°C/s]	保持時間 t[s]	昇温速度 V ₂ [°C/s]	焼鈍温度 T ₂ [°C]	
1	A	0.25	290	28	780	-	490	270	2	34	1000	参考例
2	B	0.25	330	23	860	-	480	460	3	53	990	参考例
3	C	0.25	360	31	300	-	590	120	9	33	920	参考例
4	D	0.25	390	27	260	-	470	120	7	31	1010	参考例
5	E	0.25	360	23	200	-	420	480	2	55	940	参考例
6	F	0.25	340	25	190	-	590	320	9	49	1000	参考例
7	G	0.25	290	29	700	-	440	310	5	37	1010	参考例
8	H	0.25	360	24	510	-	420	350	3	33	960	参考例
9	I	0.25	200	33	690	-	500	380	3	54	990	参考例
10	J	0.25	210	34	710	-	510	190	3	47	910	参考例
11	K	0.25	360	24	510	-	420	340	3	34	960	参考例
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	参考例
14	N	0.25	210	34	710	-	510	190	3	49	910	参考例
15	O	0.25	210	34	710	-	510	180	3	49	910	参考例
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	参考例
19	S	0.25	390	27	260	-	470	120	7	31	1010	参考例
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	参考例
23	W	0.25	200	33	690	-	500	380	3	54	990	参考例
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	参考例
26	Z	0.25	360	31	300	-	590	120	9	32	920	参考例
27	AA	0.25	360	31	300	-	590	120	9	33	920	参考例
28	AB	0.25	360	31	300	-	590	120	9	31	920	参考例
29	AC	0.25	290	28	780	-	490	260	2	33	1000	参考例
30	AD	0.25	290	28	780	-	490	280	2	35	1000	参考例
31	AE	0.25	290	28	780	-	490	270	2	34	1000	参考例
32	AF	0.25	290	28	780	-	490	270	2	33	1000	参考例
33	AG	0.25	290	28	780	-	490	270	2	35	1000	参考例
34	AH	0.25	290	28	780	-	490	260	2	33	1000	参考例
35	AI	0.25	290	28	780	-	490	270	2	34	1000	参考例
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	参考例
40	D	0.25	390	27	260	-	470	90	7	32	1010	参考例
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	参考例
45	I	0.25	200	33	690	-	500	380	3	24	990	参考例
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	参考例
48	C	0.25	360	31	300	-	590	120	9	34	1040	参考例
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	参考例
51	A	0.25	160	28	780	-	490	280	2	35	1000	参考例
52	A	0.25	180	28	780	-	490	270	2	33	1000	参考例
53	A	0.25	290	9	780	-	490	270	2	35	1000	参考例
54	A	0.25	290	17	780	-	490	280	2	34	1000	参考例
55	A	0.25	290	28	60	-	490	260	2	34	1000	参考例
56	A	0.25	290	28	120	-	490	260	2	33	1000	参考例
57	A	0.25	290	28	1400	一部破断	490	260	2	34	1000	参考例

注) 下線部は発明範囲外であることを示す

【 0 0 7 3 】

10

20

30

40

50

【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 [°C]	昇温速度 V ₁ [°C/s]	保持時間 t [s]		昇温速度 V ₂ [°C/s]	焼鈍温度 T ₂ [°C]
58	AJ	0.25	360	31	300	-	590	120	9	31	780	発明例
59	AK	0.25	360	31	300	-	590	120	9	32	780	発明例
60	AL	0.25	290	28	780	-	490	270	2	33	810	発明例
61	AM	0.25	290	28	780	-	490	260	2	35	810	発明例
62	AN	0.25	290	28	780	-	490	260	2	34	810	発明例
63	AO	0.25	290	28	780	-	490	260	2	33	810	発明例
64	AP	0.25	290	28	780	-	490	280	2	35	810	発明例
65	AQ	0.25	290	28	780	-	490	280	2	33	810	発明例
66	AR	0.25	290	28	780	-	490	260	2	34	810	発明例
67	AS	0.25	330	23	860	-	480	470	3	53	810	発明例
68	AT	0.25	330	23	860	-	480	460	3	52	810	発明例
69	AU	0.25	330	23	860	-	480	480	3	53	810	発明例
70	AV	0.25	330	23	860	-	480	450	3	54	810	発明例
71	AW	0.25	360	23	200	-	420	480	2	57	790	発明例
72	AX	0.25	360	23	200	-	420	480	2	57	790	発明例
73	AY	0.25	360	23	200	-	420	470	2	57	790	発明例
74	AZ	0.25	360	23	200	-	420	470	2	54	790	発明例
75	BA	0.25	360	23	200	-	420	490	2	54	790	発明例
76	BB	0.25	360	23	200	-	420	460	2	55	790	発明例
77	BC	0.25	360	23	200	-	420	490	2	53	790	発明例
78	BD	0.25	360	23	200	-	420	490	2	55	790	発明例
79	BE	0.25	360	23	200	-	420	460	2	55	790	発明例
80	BF	0.25	360	23	200	-	420	500	2	52	790	発明例
81	BG	0.25	340	25	190	-	590	320	9	50	810	発明例
82	BH	0.25	340	25	190	-	590	330	9	50	810	発明例
83	BI	0.25	340	25	190	-	590	320	9	48	810	発明例
84	BJ	0.25	340	25	190	-	590	330	9	51	810	発明例
85	BK	0.25	340	25	190	-	590	330	9	48	810	発明例
86	BL	0.25	340	25	190	-	590	320	9	51	810	発明例
87	BM	0.25	290	29	700	-	440	320	5	36	820	発明例
88	BN	0.25	290	29	700	-	440	290	5	38	820	発明例
89	BO	0.25	290	29	700	-	440	300	5	37	820	発明例
90	BP	0.25	290	29	700	-	440	320	5	39	820	発明例

(表2-2)

【 0 0 7 4 】

< 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：2.5 μm、測定領域：20mm²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10000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、A

10

20

30

40

50

2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。

【0075】

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、圧延方向又は圧延直角方向に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。

【0076】

機械特性評価

得られた焼鈍板から、圧延方向を引張方向とするJIS 5号引張試験片を採取し、JIS Z 2241:2011に準拠した引張試験を行い、引張強さ(TS)を測定した。

【0077】

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。歪取り焼鈍後にB50 1.57(T)かつ、B50/Bs 0.80である場合に磁束密度が良いと評価し、歪取り焼鈍後にW10/800 40(W/kg)である場合に高周波鉄損特性が良いと評価した。歪取り焼鈍後にB50 = B50 - B50_45° 0.120(T)である場合に磁気特性の異方性が小さいと評価した。

【0078】

40

【表 3 - 1】

(表3-1)

No.	鋼板組織							特性						備考
	平均 結晶粒徑 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 Δ B50(T)	
1	103	19	6	6	25	13	5	1.97	1.72	0.87	30.2	1.67	0.048	参考例
2	124	13	6	6	25	7	5	1.98	1.71	0.86	29.7	1.66	0.047	参考例
3	69	17	4	7	27	13	8	1.95	1.73	0.89	28.0	1.69	0.042	参考例
4	104	19	6	3	11	13	4	2.00	1.76	0.88	31.5	1.71	0.053	参考例
5	106	20	6	4	11	14	9	1.97	1.74	0.88	29.1	1.71	0.034	参考例
6	126	17	8	7	27	9	8	1.96	1.71	0.87	27.5	1.67	0.042	参考例
7	124	16	5	4	13	11	7	1.92	1.69	0.88	25.1	1.65	0.038	参考例
8	86	16	5	6	26	11	4	1.97	1.71	0.87	29.0	1.66	0.047	参考例
9	90	19	6	7	28	13	7	1.96	1.70	0.87	28.3	1.66	0.044	参考例
10	100	13	6	5	16	7	9	1.91	1.65	0.86	25.0	1.62	0.032	参考例
11	84	15	5	5	21	10	4	1.98	1.70	0.86	29.6	1.65	0.053	参考例
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	参考例
14	99	12	5	5	17	7	8	2.01	1.75	0.87	36.3	1.71	0.041	参考例
15	96	13	6	5	16	7	9	1.87	1.62	0.87	22.7	1.59	0.032	参考例
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	参考例
19	120	21	7	3	11	14	4	1.96	1.68	0.86	35.4	1.64	0.043	参考例
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	参考例
23	136	19	6	7	28	13	7	1.92	1.67	0.87	37.6	1.63	0.042	参考例
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	参考例
26	106	21	4	3	11	17	4	1.96	1.78	0.91	27.0	1.74	0.043	参考例
27	108	18	4	5	13	14	12	1.96	1.68	0.86	29.4	1.65	0.026	参考例
28	67	17	4	6	16	13	14	1.95	1.73	0.89	28.1	1.71	0.025	参考例
29	94	19	7	5	20	12	5	1.98	1.70	0.86	30.7	1.66	0.045	参考例
30	110	18	6	6	25	12	5	1.98	1.71	0.87	30.1	1.67	0.045	参考例
31	91	20	7	5	20	13	5	1.97	1.69	0.86	30.2	1.65	0.044	参考例
32	123	19	6	7	30	13	5	1.98	1.75	0.89	29.6	1.71	0.040	参考例
33	97	20	7	6	25	13	5	1.97	1.70	0.86	30.2	1.65	0.047	参考例
34	137	17	5	6	25	12	5	1.97	1.77	0.90	28.7	1.72	0.049	参考例
35	109	17	5	6	25	12	5	1.98	1.78	0.90	29.3	1.73	0.050	参考例
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	参考例
40	117	9	5	3	11	4	4	2.00	1.69	0.84	35.9	1.64	0.051	参考例
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	参考例
45	129	15	11	8	33	4	7	2.01	1.71	0.85	37.2	1.67	0.042	参考例
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	参考例
48	193	18	4	3	11	14	4	1.96	1.72	0.88	36.8	1.68	0.043	参考例
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	参考例
51	106	25	6	5	24	19	1	1.97	1.76	0.89	29.3	1.69	0.070	参考例
52	122	25	7	4	17	18	3	1.97	1.75	0.89	29.5	1.70	0.055	参考例
53	116	24	6	5	27	18	-2	1.97	1.73	0.88	29.8	1.60	0.127	参考例
54	138	24	6	4	20	18	0	1.97	1.73	0.88	29.8	1.63	0.096	参考例
55	139	23	6	4	21	17	-1	1.97	1.75	0.89	29.5	1.62	0.131	参考例
56	99	25	6	5	24	19	1	1.97	1.75	0.89	29.5	1.68	0.067	参考例
57	94	19	6	6	25	13	5	1.97	1.73	0.88	30.0	1.69	0.045	参考例

注) 下線部は発明範囲外であることを示す

【 0 0 7 9 】

10

20

30

40

50

【 表 3 - 2 】

(表3-2)

No.	鋼板組織						機械特性		歪取り焼鈍後磁気特性				備考		
	平均結晶粒径d (μm)	SA [%]	SB [%]	SC [%]	SD [%]	SA-SB [%]	5SC-SD [%]	引張強さ TS (MPa)	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 Δ B50 (T)
58	29	24	8	7	29	16	6	713	1.96	1.77	0.90	27.4	1.73	0.045	発明例
59	30	18	7	6	17	11	13	706	1.96	1.65	0.84	29.3	1.62	0.028	発明例
60	31	19	9	6	22	10	8	729	1.97	1.66	0.84	31.1	1.63	0.034	発明例
61	28	19	8	5	18	11	7	705	1.97	1.66	0.84	30.8	1.63	0.035	発明例
62	31	21	9	5	18	12	7	694	1.97	1.72	0.87	29.9	1.68	0.041	発明例
63	40	17	7	5	18	10	7	672	1.97	1.67	0.85	30.6	1.63	0.039	発明例
64	34	19	8	5	17	11	8	683	1.97	1.69	0.86	30.3	1.65	0.038	発明例
65	33	21	9	5	17	12	8	695	1.97	1.78	0.90	29.1	1.74	0.038	発明例
66	34	20	9	5	19	11	6	690	1.97	1.77	0.90	29.2	1.73	0.038	発明例
67	33	9	4	7	26	5	9	639	1.98	1.65	0.83	30.6	1.62	0.030	発明例
68	30	12	6	5	17	6	8	654	1.98	1.71	0.86	29.7	1.68	0.033	発明例
69	28	11	5	6	21	6	9	655	1.98	1.68	0.85	30.2	1.65	0.032	発明例
70	33	10	4	5	17	6	8	645	1.98	1.66	0.84	30.5	1.62	0.038	発明例
71	27	14	4	6	25	10	5	687	1.97	1.68	0.85	29.9	1.64	0.040	発明例
72	35	15	4	5	20	11	5	662	1.97	1.66	0.84	30.2	1.61	0.050	発明例
73	26	15	4	6	25	11	5	692	1.97	1.69	0.86	29.8	1.65	0.039	発明例
74	21	14	4	6	25	10	5	700	1.97	1.67	0.85	30.1	1.63	0.044	発明例
75	25	14	4	6	25	10	5	684	1.97	1.66	0.84	30.2	1.62	0.044	発明例
76	23	14	4	5	20	10	5	698	1.97	1.72	0.87	29.4	1.68	0.037	発明例
77	25	13	3	6	25	10	5	685	1.97	1.70	0.86	29.7	1.66	0.040	発明例
78	34	15	4	6	25	11	5	663	1.97	1.67	0.85	30.1	1.62	0.046	発明例
79	22	16	4	7	30	12	5	706	1.97	1.70	0.86	29.7	1.66	0.040	発明例
80	27	15	4	6	25	11	5	687	1.97	1.67	0.85	30.1	1.62	0.047	発明例
81	38	18	5	7	31	13	4	682	1.96	1.70	0.87	27.7	1.66	0.040	発明例
82	26	16	4	7	31	12	4	709	1.96	1.71	0.87	27.5	1.66	0.053	発明例
83	29	15	4	8	26	11	4	705	1.96	1.66	0.85	28.2	1.62	0.044	発明例
84	40	16	4	6	26	12	4	676	1.96	1.67	0.85	28.1	1.62	0.052	発明例
85	32	17	5	6	26	12	4	690	1.96	1.69	0.86	27.8	1.64	0.051	発明例
86	28	14	3	7	31	11	4	702	1.96	1.69	0.86	27.8	1.64	0.048	発明例
87	30	12	5	6	23	7	7	695	1.92	1.74	0.91	24.2	1.70	0.040	発明例
88	37	11	4	6	22	7	8	680	1.92	1.75	0.91	24.1	1.71	0.039	発明例
89	28	11	4	6	22	7	8	706	1.92	1.73	0.90	24.4	1.69	0.042	発明例
90	30	12	5	6	23	7	7	693	1.92	1.76	0.92	24.0	1.73	0.035	発明例

10

20

30

40

【 0 0 8 0 】

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、高い引張強さを有すると共に、歪取り焼鈍後において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。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 8 1 】

本発明によれば、高強度かつ歪取り焼鈍を施した場合においても高磁束密度 - 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。

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2002-146491(JP,A)
特開昭59-070722(JP,A)
国際公開第2011/105609(WO,A1)
韓国公開特許第10-2021-0080726(KR,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- C22C 38/00 - 38/60
C21D 8/12, 9/46
H01F 1/12 - 1/38, 1/44