

(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
2024年3月14日(14.03.2024)



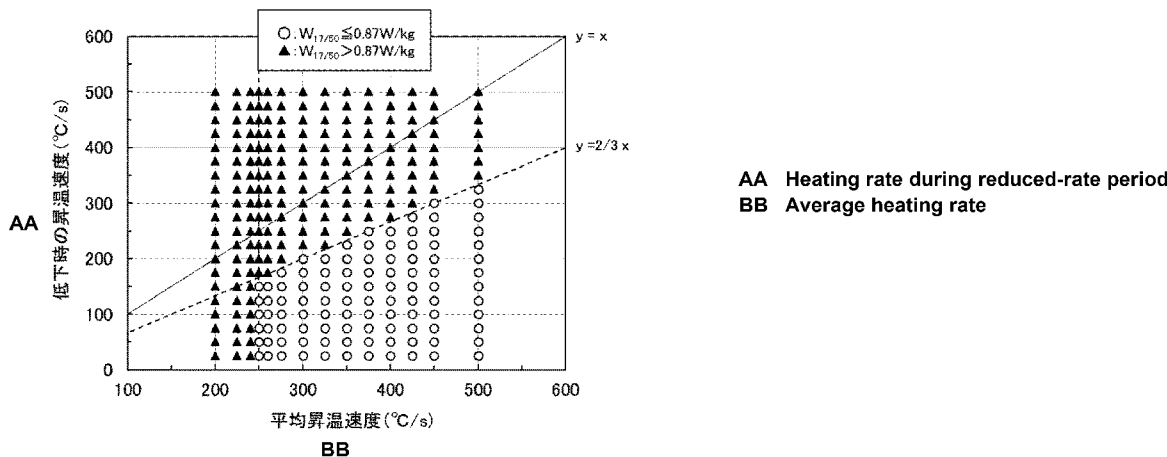
(10) 国際公開番号

WO 2024/053627 A1

- (51) 国際特許分類:
C21D 8/12 (2006.01) H01F 1/147 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01) H05B 6/10 (2006.01)
C22C 38/60 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/032312
- (22) 国際出願日: 2023年9月5日(05.09.2023)
- (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 2022-141254 2022年9月6日(06.09.2022) 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: 下山 祐介 (SHIMOYAMA Yusuke); 〒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). 新垣 之啓 (SHINGAKI Yukihiko); 〒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). 寺島 敬 (TERASHIMA Takashi); 〒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).
- (74) 代理人: 弁理士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,

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING GRAIN-ORIENTED ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET, AND INDUCTION HEATER

(54) 発明の名称: 方向性電磁鋼板の製造方法および誘導加熱装置



(57) Abstract: A method for producing a grain-oriented electromagnetic steel sheet, the method comprising hot-rolling a steel material having a given composition, cold-rolling the hot-rolled sheet to obtain a cold-rolled sheet having a final sheet thickness, and subjecting the cold-rolled sheet to decarburization annealing serving also as primary recrystallization annealing and then to finish annealing, wherein the cold-rolling includes final cold rolling conducted by at least one pass at a steel sheet temperature in the range of 150-350°C. The decarburization annealing is conducted such that in the course of temperature rising, the cold-rolled sheet is rapidly heated from 400 ° C to a temperature T (° C) between 700 ° C and 900 ° C at an average heating rate of 250 ° C/s or higher and that a time period of 0.10 s or longer but shorter than 1.00 s is set during which the heating rate for any temperatures between 500 ° C and 700 ° C is not higher than 2/3 the average heating rate. Thus, a grain-oriented electromagnetic steel sheet having excellent magnetic properties is produced. The rapid heating in the decarburization annealing is conducted using a transverse-type induction heater.

WO 2024/053627 A1

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, MU, 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, SC, 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:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 所定の成分組成を有する鋼素材を熱間圧延し、冷間圧延して最終板厚の冷延板とし、上記冷延板に一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施した後、仕上焼鈍を施す方向性電磁鋼板を製造する際、上記冷間圧延における最終冷間圧延は、鋼板温度が150℃以上350℃以下の温度域で少なくとも1パス以上圧延し、上記脱炭焼鈍は、昇温過程における400℃から700~900℃間の温度T(℃)までを平均昇温速度250℃/s以上で急速加熱するとともに、上記昇温過程の500℃~700℃間のいずれかの温度において、昇温速度が上記平均昇温速度の2/3以下となる時間を0.10s以上1.00s未満設けることで、磁気特性に優れた方向性電磁鋼板を得る。また、上記急速加熱にトランスバース方式の誘導加熱装置を用いる。

明 細 書

発明の名称： 方向性電磁鋼板の製造方法および誘導加熱装置

技術分野

[0001] 本発明は、方向性電磁鋼板の製造方法と、その製造方法に用いる脱炭焼鈍用の誘導加熱装置に関するものである。

背景技術

[0002] 方向性電磁鋼板は、変圧器や発電機の鉄心材料として広く用いられている軟磁性材料であり、鉄の磁化容易軸である $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位（ゴス方位）が鋼板の圧延方向に高度に揃った結晶組織を有する、磁気特性に優れた鋼板である。

[0003] 方向性電磁鋼板の低鉄損化を図る手段の一つとして、二次再結晶焼鈍後の結晶粒を高度にゴス方位に集積させることがある。二次再結晶粒のゴス方位への集積度を高めるには、一次再結晶後の時点で鋼板組織中にゴス方位粒を数多く形成しておくこと、および先鋭なゴス方位粒のみが優先的に粒成長するよう粒界易動度に差を持たせること、つまり、一次再結晶後の鋼板の集合組織を最適化しておくことが重要である。

[0004] 先鋭なゴス方位粒のみが優先的に成長することができる一次再結晶組織としては、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位粒や $\{411\} \langle 148 \rangle$ 方位粒があり、これらをバランスよくかつ高い頻度で存在させることで、二次再結晶焼鈍においてゴス方位粒を圧延方向に高度に集積させることができる。

[0005] また、一次再結晶後の鋼板組織中におけるゴス方位粒の存在比率を高める方法としては、例えば、特許文献1には、冷間圧延中の冷延板を低温で熱処理し、時効処理を施す方法が開示されている。また、特許文献2には、熱延板焼鈍または最終板厚とする冷間圧延（最終冷間圧延）前の中間焼鈍時の冷却速度を $30^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上とし、さらに最終冷間圧延中に鋼板を $150\sim 300^\circ\text{C}$ の温度に 2min 以上保持するパス間時効を2回以上施す方法が開示されている。また、特許文献3には、冷間圧延中の鋼板温度を高めて圧延する

温間圧延を施すことで、圧延時に導入された転位を直ちにCやNで固着する動的歪時効を活用する技術が開示されている。

[0006] 上記特許文献1～3の技術は、いずれも冷間圧延前や冷間圧延中または冷間圧延のパス間で鋼板温度を適正温度に高めて、固溶している炭素（C）や窒素（N）の拡散を促進して冷間圧延で導入された転位を固着し、転位の移動を抑制することによって、それ以降の圧延での剪断変形を促進して圧延集合組織を改善しようとするものである。これは、一次再結晶組織中のゴス方位粒の核は、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位を有する加工組織中に導入された剪断帯から出現するとの考えに基づくものである。これらの技術の適用によって、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 加工組織中に剪断帯を多数導入することが可能となり、一次再結晶組織中にゴス方位粒を数多く形成することができる。

[0007] また、脱炭焼鈍の昇温過程の昇温速度を高めることによっても、一次再結晶組織中のゴス方位粒の形成を促進することが可能である。例えば、特許文献4には、脱炭焼鈍の昇温過程で急速加熱する方法が開示されている。この技術は、室温から再結晶温度近傍までを通电加熱あるいは誘導加熱などを用いて短時間で昇温することによって、通常の加熱速度では優先的に形成される γ ファイバー組織（ $\{111\} // ND$ ）の発達を抑制し、二次再結晶粒の核となるゴス方位粒の発生を促進しようとするものである。

[0008] また、特許文献5には、脱炭焼鈍の昇温過程における550～700℃間を平均昇温速度50℃/s以上で急速加熱するとともに、250～550℃間のいずれかの温度域において、1～10s間、昇温速度を10℃/s以下に低下する保定処理を施す方法が開示されている。この技術は、回復温度域である250～550℃間に短時間保持することで、 $\{111\}$ 加工組織の回復を促進して再結晶を抑制し、ゴス方位粒の存在比率を相対的に高めようとするものである。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開昭50-016610号公報

特許文献2：特開平08-253816号公報

特許文献3：特開平01-215925号公報

特許文献4：特開平04-160114号公報

特許文献5：特開2014-152393号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] しかしながら、上記の特許文献1～3に開示された、冷間圧延の途中で{111}〈112〉加工組織中の転位をCやNで固定し、その後の冷間圧延で上記加工組織中に剪断帯を多数導入する技術は、剪断帯を過剰に導入すると、ゴス方位粒は増加するが、一次再結晶組織中の{111}〈112〉方位粒が減少し過ぎて、二次再結晶時に先鋭なゴス方位粒が成長し難くなるという問題がある。そのため、特許文献1～3の技術では、磁気特性の改善代には限界があり、近年の厳しさを増す一方の省エネルギーに対する要求には十分に対応することが難しくなっている。

[0011] また、特許文献4に開示された、脱炭焼鈍の加熱時に急速加熱を行う方法は、ゴス方位粒は増加するが、{111}〈112〉方位粒が減少するため、やはり磁気特性の改善効果は不十分であった。また、特許文献5に開示された技術は、保定条件によっては、却って{111}〈112〉加工組織内のゴス方位粒の再結晶が阻害されることがあり、所期した磁気特性の改善効果を安定的に得ることができないという問題があった。

[0012] 本発明は、従来技術が抱える上記の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、上記の諸問題を解決し、磁気特性に優れた方向性電磁鋼板を安定して製造することができる方向性電磁鋼板の製造方法を提案するとともに、その方法に用いる脱炭焼鈍用の誘導加熱装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0013] 発明者らは、上記課題を解決するべく、上記特許文献1～3に開示された冷間圧延工程における時効条件と、上記特許文献5に開示された脱炭焼鈍の急速加熱の途中で行う保定処理条件に着目し、一次再結晶組織中にゴス方位

粒と、マトリクスの {1 1 1} <1 1 2>方位粒とをバランスよくかつ高い頻度で形成させる方策について鋭意検討を重ねた。その結果、最終冷間圧延工程における時効条件を適正化するとともに、脱炭焼鈍の昇温過程での急速加熱の途中で行う保定処理条件を適正化することで、上記課題を解決できることを見出し、本発明を開発するに至った。

[0014] 上記知見に基づく本発明は、鋼素材を熱間圧延して熱延板とし、上記熱延板に1回の冷間圧延または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延をして最終板厚の冷延板とし、上記冷延板に一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施した後、仕上焼鈍を施す方向性電磁鋼板の製造方法において、上記冷間圧延における最終冷間圧延は、鋼板温度が150℃以上350℃以下の温度域で少なくとも1パス以上圧延し、上記脱炭焼鈍は、昇温過程における400℃から700～900℃間の温度T(℃)までを平均昇温速度250℃/s以上で急速加熱するとともに、上記昇温過程の500℃～700℃間のいずれかの温度において、昇温速度が上記平均昇温速度の2/3以下となる時間を0.10s以上1.00s未満設けることを特徴とする方向性電磁鋼板の製造方法を提案する。

[0015] 本発明の上記方向性電磁鋼板の製造方法における上記最終冷間圧延は、30℃以上130℃以下の温度域で少なくとも1パス以上圧延してから、150℃以上350℃以下の温度域で少なくとも1パス以上圧延することを特徴とする。

[0016] また、本発明の上記方向性電磁鋼板の製造方法に用いる上記鋼素材は、下記A群またはB群の成分を含有し、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ことを特徴とする。

記

・ A群 ; C : 0.01~0.10mass%、Si : 2.0~4.5mass%、Mn : 0.01~0.50mass%、Al : 0.0100~0.0400mass%、N : 0.0050~0.0120mass%を含有し、さらにSおよびSeのうちの少なくとも1種 : 合計で0.01~0.05

mass%

・ B群 ; C : 0.01~0.10mass%、Si : 2.0~4.5mass%、Mn : 0.01~0.50mass%、Al : 0.0100mass%未満、N : 0.0050mass%以下、S : 0.0070mass%以下およびSe : 0.0070mass%以下

[0017] また、本発明の上記方向性電磁鋼板の製造方法に用いる上記鋼素材は、上記成分組成に加えてさらに、Sb : 0.500mass%以下、Cu : 1.50mass%以下、P : 0.500mass%以下、Cr : 1.50mass%以下、Ni : 1.500mass%以下、Sn : 0.50mass%以下、Nb : 0.0100mass%以下、Mo : 0.50mass%以下、B : 0.0070mass%以下およびBi : 0.0500mass%以下のうちの少なくとも1種を含有することを特徴とする。

[0018] また、本発明の上記方向性電磁鋼板の製造方法は、上記脱炭焼鈍における急速加熱をトランスバース方式の誘導加熱装置を用いて行うことを特徴とする。

[0019] また、本発明は、上記に記載の方向性電磁鋼板の製造方法に用いるトランスバース方式の誘導加熱装置であって、加熱コイルが、板幅方向に沿った二つの等しい長さの平行線と二つの半円形からなる角丸長方形の形状を有し、加熱コイルの板幅方向の最大内径を R_1 (m)、加熱コイルの通板方向の最大内径を R_2 (m)、鋼板の幅を w (m) および鋼板の通板速度を v (m/s) としたとき、 $R_1 \geq w$ および $R_2 < v$ の関係を満たすことを特徴とする誘導加熱装置である。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、磁気特性に優れた方向性電磁鋼板を安定的に製造することが可能となるので、電気機器の省エネルギー化に大いに寄与する。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]脱炭焼鈍における平均昇温速度と一時的に低下する昇温速度が鉄損に及ぼす影響を示すグラフである。

[図2]脱炭焼鈍の急速加熱時に一時的に昇温速度を低下する時間が鉄損に及ぼす影響を示すグラフである。

[図3]脱炭焼鈍における急速加熱に用いるトランスバース式の誘導加熱装置の一例を示す図であり、(a)は平面図、(b)は幅方向断面図である。

[図4]脱炭焼鈍における平均昇温速度と一時的に低下する昇温速度が鉄損に及ぼす影響を示す他のグラフである。

[図5]脱炭焼鈍の急速加熱時に一時的に昇温速度を低下する時間が鉄損に及ぼす影響を示す他のグラフである。

[図6]急速加熱終了温度Tが鉄損に及ぼす影響を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0022] まず、本発明を開発する契機となった実験について説明する。

発明者らは、従来技術が有する上記した問題点を解決するため、一次再結晶後の鋼板組織中にゴス方位粒と、マトリクス of $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位粒とをバランスよくかつ高い頻度で形成するための脱炭焼鈍の昇温条件について調査する以下の実験を行った。

[0023] <実験1>

C : 0.035 mass%、Si : 3.4 mass%、Mn : 0.05 mass%、Al : 0.0086 mass%、N : 0.0050 mass%、S : 0.0031 mass%およびSe : 0.0031 mass%を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなるインヒビター形成成分を含有していない成分組成を有する鋼スラブを1210℃に加熱した後、熱間圧延して板厚2.0mmの熱延板とした。次いで、上記熱延板から採取した試験片に、1000℃×60sの熱延板焼鈍を施した後、5スタンドのタンデム圧延機を用いて1回の冷間圧延で最終板厚(製品板厚)0.20mmの冷延板とした。この際、3パス目は、入側の鋼板温度を200℃に高めて圧延する温間圧延とした。

[0024] 次いで、上記冷延板に均熱温度を840℃、均熱時間を100sとする一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施した。その際、表1に示したように、脱

炭焼鈍の昇温過程において、400℃から750℃までの間の平均昇温速度を種々に変化させるとともに、一部については、600℃到達時に、表1に示した条件で昇温速度を一時的に低下させた。次いで、上記脱炭焼鈍後の鋼板表面にMgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布した後、仕上焼鈍を施して二次再結晶させた。次いで、上記仕上焼鈍後の鋼板表面から未反応の焼鈍分離剤を除去した後、リン酸塩－クロム酸塩－コロイダルシリカを質量比3：1：2で含有する絶縁被膜液を塗布し、被膜の焼き付けと形状矯正を兼ねて800℃×30sの平坦化焼鈍を施して製品板とした。

[0025] 斯くして得た製品板からエプスタイン試験片を採取し、JIS C 2550に準じて鉄損 $W_{1.7/50}$ （周波数50Hz、最大磁束密度1.7Tにおける単位質量あたりの鉄損）を測定し、その結果を表1中に示した。

[0026]

[表1]

No.	脱炭焼鈍の昇温条件			鉄損 $W_{17/50}$ (W/kg)	備 考
	400°C-750°C間の 平均昇温速度 (°C/s)	600°C到達時			
		昇温速度 (°C/s)	低下時間 (s)		
1	200	-	-	1.05	比較例
2	225	-	-	1.03	比較例
3	250	-	-	0.99	比較例
4	275	-	-	0.98	比較例
5	300	-	-	0.95	比較例
6	325	-	-	0.98	比較例
7	350	-	-	0.99	比較例
8	375	-	-	0.96	比較例
9	400	-	-	0.98	比較例
10	425	-	-	0.97	比較例
11	450	-	-	0.96	比較例
12	500	-	-	0.95	比較例
13	200	100	0.5	0.92	比較例
14	225	100	0.5	0.91	比較例
15	250	100	0.5	0.86	発明例
16	275	100	0.5	0.85	発明例
17	300	100	0.5	0.85	発明例
18	325	200	0.5	0.84	発明例
19	350	200	0.5	0.84	発明例
20	375	200	0.3	0.83	発明例
21	400	200	0.3	0.84	発明例
22	425	250	0.3	0.82	発明例
23	450	250	0.2	0.81	発明例
24	500	250	0.2	0.79	発明例

[0027] 表1から、脱炭焼鈍の昇温過程で400°Cから750°Cまでの間の平均昇温速度を250°C/s以上の急速加熱とし、かつ、上記急速加熱の途中で昇温速度を一時的に低下した条件においては鉄損 $W_{17/50}$ が0.87W/kg以下に低減していることがわかる。ここで、上記鉄損値0.87W/kgは、板厚が0.20mmの方向性電磁鋼板の鉄損特性の良否を判断する本発明の基準値である。上記基準値は、板厚に依存し、板厚が厚いほど大きくなる。

[0028] 上記のように、脱炭焼鈍の昇温過程で平均昇温速度を250°C/s以上とし、かつ、上記急速加熱の途中で昇温速度を一時的に低下させることで鉄損が低減する理由は、現時点では十分に明らかとなっていないが、急速加熱の

途中で短時間、昇温速度を低下したことで、急速加熱によるゴス方位粒の再結晶の促進と、再結晶した {111} <112>方位粒の発達バランスよく両立したためであると考えている。

[0029] 次いで、発明者らは、脱炭焼鈍の昇温過程における急速加熱の平均昇温速度と上記急速加熱の途中で低下させる昇温速度が、鉄損特性に及ぼす影響を調査する以下の実験を行った。

[0030] <実験2>

上記<実験1>で作製した冷延板に、均熱温度を840℃、均熱時間を100sとする一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施した。この際、脱炭焼鈍の昇温過程における400℃から750℃までの間の平均昇温速度を200~500℃/sの間で種々に変化させるとともに、鋼板温度が600℃到達時に0.50s間だけ、昇温速度を25~500℃/sの範囲で種々に変化させた。次いで、上記脱炭焼鈍後の鋼板に、上記<実験1>と同様、焼鈍分離剤を塗布した後、仕上焼鈍し、平坦化焼鈍して製品板とし、該製品板からエプスタイン試験片を採取し、鉄損 $W_{17/50}$ を測定した。

[0031] 上記測定の結果を、400℃から750℃までの間の平均昇温速度および0.50s間だけ低下させた昇温速度と、鉄損 $W_{17/50}$ との関係として図1に示した。図中、「○」で表記したものは鉄損 $W_{17/50}$ が基準値0.87W/kg以下（鉄損が良好）、「▲」で表記したものは鉄損 $W_{17/50}$ が基準値0.87W/kgより高い（鉄損が劣る）ことを示している。

[0032] 図1から、400℃から750℃までの間の平均昇温速度を250℃/s以上とするとともに、600℃の温度で鋼板の昇温速度を上記400~750℃間の平均昇温速度の2/3以下に低下したものは、いずれも鉄損 $W_{17/50}$ が基準値0.87W/kg以下に低減していることがわかる。

[0033] さらに、発明者らは、脱炭焼鈍の昇温過程において、鉄損低減に必要な昇温速度を低下する時間について調査する以下の実験を行った。

[0034] <実験3>

上記<実験1>で作製した冷延板に、均熱温度を840℃、均熱時間を1

00 sとする一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施す際、昇温過程において、400℃から750℃までの間の平均昇温速度を250℃/sおよび300℃/sの2水準に変化させるとともに、鋼板温度が600℃到達時に昇温速度を50℃/sまたは150℃/sに低下させた。この際、上記昇温速度を低下させる時間を0～1.2 sの間で種々に変化させた。次いで、上記脱炭焼鈍後の鋼板に、上記<実験1>と同様、焼鈍分離剤を塗布した後、仕上焼鈍し、平坦化焼鈍して製品板とし、該製品板からエプスタイン試験片を採取し、鉄損 $W_{17/50}$ を測定した。

[0035] 上記測定の結果を図2に示した。この図から、昇温速度を低下させる時間を0.10 s以上1.00 s未満とすることで鉄損 $W_{17/50}$ が基準値0.87 W/kg以下に低減していることがわかる。

[0036] 本発明は、上記の新規な知見に、さらに検討を加えて完成させたものである。

[0037] 次に、本発明の方向性電磁鋼板の製造に用いる鋼素材の成分組成について説明する。

本発明に用いる鋼素材は、方向性電磁鋼板用として公知の成分組成を有するものであればよく、特に制限はないが、優れた磁気特性を有する方向性電磁鋼板を安定して製造する観点から、C、SiおよびMnを以下の範囲で含有していることが好ましい。

[0038] C : 0.01～0.10 mass %

Cは、オーステナイト形成元素であり、 γ 相の最大分率を高めて、スラブ組織を微細化するのに有用な元素である。しかし、C含有量が0.01 mass %未満では、 γ 相分率が低下し、スラブ組織の微細化が不十分となる。一方、0.10 mass %を超えると、脱炭焼鈍で磁気時効を起こさない0.0050 mass %以下に低減することが困難となる。よって、C含有量は0.01～0.10 mass %の範囲とするのが好ましい。より好ましくは0.02～0.08 mass %の範囲である。

[0039] Si : 2.0～4.5 mass %

Siは、鋼の固有抵抗を高めて鉄損を低減するのに有効な元素である。しかし、Si含有量が2.0mass%未満では、上記鉄損低減効果が十分に得られない。一方、4.5mass%を超えると、加工性が著しく低下し、圧延して製造することが困難になる。よって、Si含有量は2.0~4.5mass%の範囲とするのが好ましい。より好ましくは2.5~4.0mass%の範囲である。

[0040] Mn : 0.01~0.50mass%

Mnは、熱間加工性を改善するのに必要な元素である。Mn含有量が0.01mass%未満では、上記熱間加工性の改善効果が十分に得られない。一方、0.50mass%を超えると、一次再結晶集合組織が劣化し、ゴス方位に高度に集積した二次再結晶組織を得ることが難しくなる虞がある。よって、Mn含有量は0.01~0.50mass%の範囲とするのが好ましい。より好ましくは0.03~0.30mass%の範囲である。

[0041] また、本発明に用いる鋼素材は、仕上焼鈍における二次再結晶の発現にインヒビターとしてAlNを利用する場合には、上記したC、SiおよびMnに加えてさらに、インヒビター形成元素としてAl : 0.0100~0.0400mass%およびN : 0.0050~0.0120mass%を含有するのが好ましい。Al含有量およびN含有量が上記の下限值に満たないと、所期したインヒビター効果を十分に得ることが難しくなる。一方、上記の上限値を超えると、析出したインヒビターの分散状態が不均一化し、やはり初期したインヒビター効果を得るのが難しくなる。

[0042] さらに、上記したインヒビターAlNに加えて、Mnの硫化物(MnS、Cu₂S等)やセレン化物(MnSe、Cu₂Se等)をインヒビターとして利用してもよく、また、上記硫化物とセレン化物は複合して用いてもよい。Mnの硫化物やセレン化物を追加のインヒビターとして用いる場合には、SおよびSeのうちの少なくとも1種を合計で0.01~0.05mass%の範囲で含有するのが好ましい。SおよびSeの合計含有量が上記の下限值に満たないと、インヒビターとしての効果を十分に得ることが難しくなる。

一方、上記の上限値を超えると、析出物の分散が不均一化し、やはりインヒビター効果を十分に得ることが難しくなる。

[0043] 一方、仕上焼鈍における二次再結晶の発現にインヒビターを利用しない場合は、インヒビターを形成する成分は極力低減するのが望ましい。具体的には、Al : 0.0100 mass%未満、N : 0.0050 mass%以下、S : 0.0070 mass%以下およびSe : 0.0070 mass%以下とするのが好ましい。

[0044] また、本発明に用いる鋼素材は、上記成分に加えてさらに、Sb : 0.500 mass%以下、Cu : 1.50 mass%以下、P : 0.500 mass%以下、Cr : 1.50 mass%以下、Ni : 1.500 mass%以下、Sn : 0.50 mass%以下、Nb : 0.0100 mass%以下、Mo : 0.50 mass%以下、B : 0.0070 mass%以下およびBi : 0.0500 mass%以下のうちから選ばれる少なくとも1種を含有してもよい。上記Sb、Cu、P、Cr、Ni、Sn、Nb、Mo、BおよびBiは、いずれも磁気特性の向上に有用な元素であり、上記範囲内であれば、二次再結晶粒の発達を阻害することなく磁気特性の向上効果を得ることができる。なお、上記添加効果を確実に得るためには、それぞれSb : 0.005 mass%以上、Cu : 0.01 mass%以上、P : 0.005 mass%以上、Cr : 0.01 mass%以上、Ni : 0.005 mass%以上、Sn : 0.01 mass%以上、Nb : 0.0005 mass%以上、Mo : 0.01 mass%以上、B : 0.0010 mass%以上およびBi : 0.0005 mass%以上を添加するのが好ましい。

[0045] なお、本発明に用いる鋼素材は、上記した成分以外の残部はFeおよび不可避的不純物である。

[0046] 次に、本発明の方向性電磁鋼板の製造方法について説明する。

本発明の方向性電磁鋼板に用いる鋼素材（スラブ）は、転炉や電気炉等で得た溶鋼に真空脱ガス等の二次精錬を施す通常公知の精錬プロセスで、上記に説明した成分組成に調整した鋼を溶製した後、通常公知の連続鑄造法や造塊

一分塊圧延法等で製造するのが好ましい。

[0047] 次いで、上記鋼素材（スラブ）は、所定の温度に加熱した後、熱間圧延して熱延板とする。上記スラブの加熱温度は、インヒビター形成成分を含有していない場合は、熱間圧延性を確保する観点から1050℃程度以上とするのが好ましい。また、インヒビター形成成分を含有する場合は、インヒビター形成成分を鋼中に固溶させる観点から1200℃程度以上とするのが好ましい。なお、加熱温度の上限は特に限定しないが、1450℃を超えると、鋼の融点に近づき過ぎて、スラブの形状を維持するのが困難となったり、スケールロスが増大したりするので、1450℃以下とするのが好ましい。それ以外の熱間圧延条件は、通常公知の条件とすればよく、特に制限しない。

[0048] 次いで、熱間圧延した鋼板（熱延板）は、必要に応じて熱延板焼鈍を施してもよい。この熱延板焼鈍は、公知の条件で行えばよく、特に限定しない。

[0049] 次いで、上記熱延板または熱延板焼鈍後の鋼板は、酸洗等で脱スケールした後、冷間圧延して最終板厚（製品板厚）の冷延板とする。この冷間圧延は、1回の冷間圧延で最終板厚の冷延板としてもよく、中間焼鈍を挟んだ2回以上の冷間圧延をして最終板厚の冷延板としてもよい。

[0050] なお、本発明では上記最終板厚とする冷間圧延、具体的には、1回の冷間圧延で最終板厚とする場合はその冷間圧延を、また、中間焼鈍を挟んで2回以上の冷間圧延で最終板厚とする場合は最後の冷間圧延を、「最終冷間圧延」と称することとする。また、冷間圧延に用いる圧延機は、特に限定されるものではなく、タンデム圧延機や、単スタンドのリバース圧延機、ゼンジミア圧延機、プラネタリー圧延機など、公知のものを用いることができる。

[0051] 上記最終冷間圧延の圧下率は、特に限定しないが、一次再結晶集合組織を改善する観点から、60%以上95%以下とするのが好ましい。60%未満では、一次再結晶集合組織中の{111} <112>方位粒等の発達が不十分となり、二次再結晶する際、ゴス方位粒が成長し難くなる。一方、95%を超えると、加工硬化により冷間圧延することが難しくなる。また、上記最終板厚（製品板厚）は、0.1～1.0mmの範囲とするのが好ましい。0

． 1 mm未満では、生産性が低下することに加えて、製品板にしたときに剛性がなく、変圧器の鉄心に加工する際の取り扱いが難しくなる。一方、1.0 mmを超えると、渦電流損が大きくなり、鉄損が増大するため、好ましくない。

[0052] ここで、本発明において重要なことは、上記最終冷間圧延では、鋼板温度が150℃以上350℃以下の温度域で少なくとも1パス以上の温間圧延を行う必要があるということである。上記した温度で最終冷間圧延を施すことで、固溶したCやNの拡散および転位への固着を促進し、一次再結晶組織中にゴス方位粒の核形成サイトとなる剪断帯を効率よく導入することができる。本発明は、後述するように、脱炭焼鈍の昇温過程の昇温条件を適正化することによって、一次再結晶組織中のゴス方位粒と{111}〈112〉方位粒の発達を両立させる技術であるため、最終冷間圧延をゴス方位粒の核形成サイトを増加させるのに有効な温間圧延とすることは極めて重要である。上記温間圧延の鋼板温度が150℃未満では、固溶したCやNによる転位の固着が不十分となり、一次再結晶組織中のゴス方位粒の増加は望めない。一方、350℃を超えると、{111}〈112〉加工組織中に過剰の剪断帯が導入されるため、一次再結晶後の{111}〈112〉方位粒が減少することを免れず、製品板の磁気特性が却って劣化してしまう。なお、好ましい温間圧延温度（鋼板温度）は、180℃以上300℃以下の範囲である。

[0053] また、上記最終冷間圧延では、30℃以上130℃以下の温度域で少なくとも1パス以上の圧延をしてから、150℃以上350℃以下の温度域で少なくとも1パス以上の圧延を行うことで、一次再結晶組織中のゴス方位粒をより増加することができる。ここで、最終冷間圧延における30℃以上130℃以下の温度域を「低温域」、150℃以上350℃以下の温度域を「高温域」と定義する。{111}〈112〉方位は圧延によって結晶方位が変化し難い圧延安定方位であるため、低温域で圧延して{111}〈112〉組織を発達させてから高温域で圧延することで、{111}〈112〉加工組織中に、一次再結晶でゴス方位粒の核形成サイトとなる剪断帯をより効率

的に導入することができる。しかし、低温域での圧延温度が30℃未満では、圧延時に鋼板に割れが発生し易くなり、生産性が低下する。一方、130℃を超えると、{111} <112>組織を発達させる効果が得られない。好ましい低温域の温度は、40℃以上100℃以下の範囲である。

[0054] なお、上記した低温域で圧延後、高温域で圧延を行う組み合わせは、最終冷間圧延において少なくとも1以上存在すればよく、低温域での圧延と高温域での圧延のパス位置は特に限定しない。例えば、3パスで最終冷間圧延する場合、低温域－高温域－高温域の順、あるいは、高温域－低温域－高温域の順での圧延は適合するが、高温域－低温域－低温域や、高温域－高温域－低温域、高温域－高温域－高温域の順序での圧延は、ゴス方位粒のさらなる増加効果は期待できない。

[0055] ここで、上記150℃以上350℃以下の高温域に鋼板を加熱する手段としては、特に限定しないが、圧延による加工発熱を利用したり、誘導加熱や通電加熱を用いたり、輻射加熱炉内を通板したり、加熱ロールと接触させたりする等の方法が挙げられる。また、逆に鋼板を30℃以上130℃以下の低温域に冷却する手段についても特に限定しないが、圧延時の冷却水やクーラントの温度を調整したり、圧延パス間の時間を延長したり、パススケジュールを調整して加工発熱量を低減する方法等が挙げられる。

[0056] 次に、最終板厚とした冷延板は、一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施し、C含有量を磁気時効が起こり難い0.0050mass%以下に低減する。この脱炭焼鈍における脱炭条件（均熱条件）については、公知の条件を適用すればよく、特に限定しないが、例えば、湿水素雰囲気中で、750～950℃×30～180sの焼鈍を施すのが好ましい。

[0057] ここで、本発明において重要なことは、この脱炭焼鈍においては、上記均熱温度に至るまでの昇温過程の400℃から700～900℃間の温度T（℃）までの平均昇温速度を250℃/s以上で急速加熱する必要があるということである。上記平均昇温速度が250℃/s未満では、ゴス方位粒の一次再結晶が不十分となり、良好な鉄損が得られない。好ましい平均昇温速度

は300°C/s以上である。なお、本発明における上記平均昇温速度は、後述する一時的に昇温速度を低下させる時間を含めての昇温速度である。

[0058] また、上記急速加熱を終了する温度T(°C)を700~900°C間としたのは、急速加熱区間の上限が700°C未満では、ゴス方位粒の一次再結晶が不十分となり、急速加熱の効果が得られない。一方、900°Cを超えると、高温で生じるインヒビター(AIN)の分解により二次再結晶が阻害されるため、良好な鉄損特性が得られなくなる。好ましい温度Tは700~850°Cの範囲である。

[0059] また、上記脱炭焼鈍の昇温過程においては、上記急速加熱途中の500°C~700°C間のいずれかの温度において、昇温速度を、上記した400°CからT(°C)までの平均昇温速度以下に低下する時間を0.10s以上1.00s未満設けることが必要である。

[0060] 上記昇温速度を低下する温度が500°C未満では、回復によりゴス方位核の再結晶駆動力が減少するため、ゴス方位粒の再結晶が不十分となり、良好な鉄損特性が得られない。一方、700°Cを超える温度では、再結晶率が既に高い状態にあるため、昇温速度を低下させても、{111}<112>方位粒の発達を促進する効果が十分に得られない。

[0061] また、昇温速度を低下する時間は、図2からわかるように、0.10s以上1.00s未満とすることが必要である。0.10s未満では、低下する時間が短すぎて、昇温速度低下の効果が得られない。一方、1.00s以上では、{111}<112>方位粒の発達が過剰となり、その後のゴス方位粒の再結晶を阻害するため、やはり良好な鉄損が得られなくなる。好ましくは、0.20s以上0.70s以下の範囲である。

[0062] また、上記した一時的に低下させる昇温速度は、500°CからT(°C)間の平均昇温速度の2/3以下であることが必要である。これより高い昇温速度では、昇温速度低下による{111}<112>方位粒の発達促進効果を高めることができない。好ましくは1/2以下である。なお、低下する昇温速度の下限は特に限定しないが、400°CからT(°C)間における平均昇温

速度を $250^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上とする必要があるため、昇温速度を低下させる時間を含めて、適切に決定する必要がある。好ましい昇温速度の下限は $0^{\circ}\text{C}/\text{s}$ である。なお、上記一時的に低下させる昇温速度は、高速応答が可能な熱電対や放射温度計等で昇温過程での鋼板温度を測定し、該測定した温度を時間微分することで求めることができる。

[0063] ここで、上記脱炭焼鈍の昇温過程における急速加熱とその途中における昇温速度の一時的な低下は、通電加熱装置やソレノイド方式の誘導加熱装置等の急速加熱装置をライン上に直列に2台以上配設し、上記2台以上の装置間のいずれかを昇温速度の低下区間とし、上記急速加熱装置の出力と、鋼板の通板速度（ライン速度）を適切に調整することで実施可能である。

[0064] しかし、上記のように急速加熱装置を2台以上配設するには多くのスペースが必要となる。そこで、急速加熱装置として、鉄心に巻き回した加熱コイルを鋼板の上下に配置し、上記鉄心内に発生させた交番磁束を鋼板の厚さ方向に貫通させ、その磁界の作用で鋼板を加熱するトランスバース方式の誘導加熱装置を用いることが好ましい。この誘導加熱装置では、誘導電流が板面内を加熱コイルの形状に沿って流れ、鉄心に対向した鋼板部分には誘導電流が流れないため、鋼板が鉄心部分を通過する際、昇温速度が一時的に低下する現象が起こる。しかも、上記昇温速度の低下は、1台の誘導加熱装置内で起こるため設置スペースの問題も発生しない。したがって、トランスバース方式の誘導加熱装置は、本発明に好ましく適合する。

[0065] 上記トランスバース方式の誘導加熱装置の加熱コイルの形状は、丸形、角型、楕円型等いずれでもよく、特に制限はない。図3には、二つの等しい長さの平行線と二つの半円形からなる角丸長方形の形状を有する加熱コイルを一例として示した。このような形状の加熱コイルを有するトランスバース方式の誘導加熱装置を用いるときは、加熱コイルの板幅方向の最大内径を R_1 (m)、加熱コイルの通板方向の最大内径（図3では鋼板幅中央部位置における内径）を R_2 (m)、鋼板の幅を w (m) および鋼板の通板速度を v (m/s) としたとき、 $R_1 \geq w$ および $R_2 < v$ の関係を満たすことが好ましい。 R_1

$\geq w$ は、鋼板全面に誘導電流を発生させるための必要条件であり、また、 $R_2 < v$ は、昇温速度の低下時間を1.00s未満に抑えるための必要条件である。

[0066] 次いで、上記脱炭焼鈍を施した冷延板は、鋼板表面に焼鈍分離剤を塗布した後、二次再結晶させる仕上焼鈍を施す。焼鈍分離剤としては、公知のものを用いることができ、特に限定しないが、例えば、MgOを主成分とし、必要に応じてTiO₂などの助剤を添加したものや、SiO₂やAl₂O₃を主成分としたもの等を挙げることができる。

[0067] 上記仕上焼鈍を施した鋼板は、鋼板表面に残留した未反応の焼鈍分離剤を除去した後、鋼板表面に絶縁被膜液を塗布し、上記被膜の焼き付けと、仕上焼鈍で悪化した鋼板形状の矯正を兼ねて行う平坦化焼鈍を施し、製品板とすることが好ましい。なお、絶縁被膜の被成は、別ラインで行ってもよい。上記絶縁被膜の種類は、特に限定しないが、鋼板表面に引張張力を付与する張力付与型の絶縁被膜を形成する場合には、特開昭50-79442号公報、特開昭48-39338号公報および特開昭56-75579号公報等に開示されたリン酸塩-コロイダルシリカを含有するスラリーを塗付して800℃程度の温度で焼き付けるのが好ましい。

[0068] なお、さらに低い鉄損を望む場合には、上記冷間圧延以降のいずれかの工程で鋼板表面に溝を形成したり、仕上焼鈍後の鋼板表面に機械的に歪領域を形成したり、レーザービームや電子ビーム等を照射して熱歪領域を形成したりする等の公知の方法で磁区細分化処理を施してもよい。

実施例 1

[0069] C:0.06mass%、Si:3.4mass%、Mn:0.06mass%、Al:0.0250mass%、N:0.0090mass%、S:0.01mass%およびSe:0.01mass%を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる、インヒビター形成成分を含有する成分組成を有する鋼スラブを1400℃に加熱後、熱間圧延して板厚2.0mmの熱延板とした。次いで、上記熱延板に、タンデム圧延機で1回目の冷間圧延

をして板厚1.2mmの中間板厚とし、 $N_2 : 75 \text{ vol} \% + H_2 : 25 \text{ vol} \%$ 、露点46℃の雰囲気中で1100℃×80sの中間焼鈍を施した。次いで、ゼンジミア圧延機を用いて、2回目の冷間圧延（最終冷間圧延）をして最終板厚0.20mmの冷延板とした。この際、上記最終冷間圧延は6パスで行い、4パス目は入側鋼板温度を250℃とする温間圧延とした。

[0070] 次いで、上記冷延板に均熱温度を840℃、均熱時間を100sとする一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施した。その際、脱炭焼鈍の昇温過程において、表2に示したように、400℃から770℃までの間の平均昇温速度を種々に変化させた。また、一部の冷延板については、鋼板温度が550℃到達時に、鋼板の昇温速度を、表2に示したように一時的に低下させた。次いで、上記脱炭焼鈍を施した冷延板は、鋼板表面にMgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布した後、二次再結晶させる仕上焼鈍を施した。次いで、上記仕上焼鈍後の鋼板表面から未反応の焼鈍分離剤を除去した後、リン酸塩－クロム酸塩－コロイダルシリカを質量比3：1：2で含有する絶縁被膜液を塗布し、被膜の焼き付けと形状矯正を兼ねて800℃×30sの平坦化焼鈍を施して製品板とした。

[0071] 斯くして得た製品板からエプスタイン試験片を採取し、JIS C 2550に準拠して鉄損 $W_{17/50}$ を測定し、その結果を表2中に示した。

[0072] 表2から、インヒビター形成成分を含有する鋼スラブを用いて方向性電磁鋼板を製造する場合においても、また、冷間圧延工程で中間焼鈍を施す場合においても、脱炭焼鈍昇温過程の400℃から770℃までの平均昇温速度を250℃/s以上とし、かつ、上記昇温途中で0.10s以上1.00s未満の短時間、昇温速度を低下することで鉄損 $W_{17/50}$ を基準値0.87W/kg以下に低減できることが確認された。

[0073]

[表2]

No.	脱炭焼鈍の昇温条件			鉄損 $W_{17/50}$ (W/kg)	備 考
	400°C-770°C間 の平均昇温速度 (°C/s)	550°C到達時			
		低下昇温速度 (°C/s)	低下時間 (s)		
1	200	-	-	1.02	比較例
2	225	-	-	1.00	比較例
3	250	-	-	0.99	比較例
4	275	-	-	0.98	比較例
5	300	-	-	0.96	比較例
6	325	-	-	0.94	比較例
7	350	-	-	0.95	比較例
8	375	-	-	0.96	比較例
9	400	-	-	0.95	比較例
10	425	-	-	0.94	比較例
11	450	-	-	0.93	比較例
12	500	-	-	0.95	比較例
13	200	100	0.5	0.91	比較例
14	225	100	0.5	0.92	比較例
15	250	100	0.5	0.85	発明例
16	275	100	0.5	0.83	発明例
17	300	100	0.5	0.81	発明例
18	325	200	0.5	0.82	発明例
19	350	200	0.5	0.81	発明例
20	375	200	0.3	0.80	発明例
21	400	200	0.3	0.80	発明例
22	425	250	0.3	0.81	発明例
23	450	250	0.2	0.81	発明例
24	500	250	0.2	0.80	発明例

実施例 2

[0074] 上記実施例1で作製した最終板厚の冷延板に、均熱温度を840°C、均熱時間を100sとする一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施した。その際、脱炭焼鈍の昇温過程において、400°Cから800°Cまでの間の平均昇温速度を200~500°C/sの範囲で種々に変化させるとともに、鋼板温度が650°C到達時に、0.30s間だけ昇温速度を25~500°C/s間の種々の速度に低下させた。次いで、上記脱炭焼鈍した冷延板の表面にMgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布し、二次再結晶させる仕上焼鈍を施した。次

いで、上記仕上焼鈍後の鋼板表面から未反応の焼鈍分離剤を除去した後、リン酸塩－クロム酸塩－コロイダルシリカを質量比3：1：2で含有する絶縁被膜液を塗布し、800℃×30sの平坦化焼鈍を施して製品板とした。

[0075] 斯くして得た製品板からエプスタイン試験片を採取し、JIS C 2550に準拠して鉄損 $W_{17/50}$ を測定した。その結果を、脱炭焼鈍の400℃から800℃までの間の平均昇温速度および0.30s間だけ低下させた昇温速度と、鉄損との関係として図4に示した。なお、図中、「○」で表記したものは鉄損 $W_{17/50}$ が基準値0.87W/kg以下、「▲」で表記したものは鉄損 $W_{17/50}$ が基準値0.87W/kgより高いことを示している。

[0076] 図4から、インヒビター形成成分を含有する鋼スラブを用いる場合でも、また、冷間圧延工程で中間焼鈍を施す場合でも、脱炭焼鈍の400℃から800℃までの平均昇温速度を250℃/s以上とし、かつ、上記昇温途中で昇温速度を上記した平均昇温速度の2/3以下に低下したものはいずれも鉄損 $W_{17/50}$ を基準値0.87W/kg以下に低減できていることがわかる。

実施例 3

[0077] 上記実施例1で作製した最終板厚の冷延板に、均熱温度を840℃、均熱時間を100sとする一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施した。その際、脱炭焼鈍の昇温過程における400℃から750℃までの間の平均昇温速度は250℃/sおよび300℃/sの2条件とした。さらに、上記昇温過程で鋼板温度が500℃到達時に、昇温速度を50℃/sまたは100℃/sに低下させるとともに、上記昇温速度を低下させる時間を0～1.2sの範囲で種々に変化させた。次いで、上記脱炭焼鈍した冷延板の鋼板表面にMgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布し、二次再結晶させる仕上焼鈍を施した。次いで、上記仕上焼鈍後の鋼板表面から未反応の焼鈍分離剤を除去した後、リン酸塩－クロム酸塩－コロイダルシリカを質量比3：1：2で含有する絶縁被膜液を塗布し、800℃×30sの平坦化焼鈍を施して製品板とした。

[0078] 斯くして得た製品板からエプスタイン試験片を採取し、JIS C 25

50に準拠して鉄損 $W_{17/50}$ を測定し、その結果を図5に示した。この図から、脱炭焼鈍の急速加熱の途中で昇温速度を低下させる時間を0.10s以上1.00s未満とした鋼板は、いずれも鉄損 $W_{17/50}$ が基準値0.87W/kg以下に低減していることがわかる。

実施例 4

[0079] 以下のA, B2種類の鋼スラブをそれぞれ1300℃に加熱した後、熱間圧延して板厚2.0mmの熱延板とした。

・鋼スラブA; C: 0.035mass%, Si: 3.3mass%, Mn: 0.05mass%, Al: 0.0084mass%, N: 0.0051mass%, S: 0.0031mass%およびSe: 0.0031mass%を含有し、残部がFeおよび不可避的不純物からなる成分組成を有する、インヒビター形成成分を含有しない鋼スラブ

・鋼スラブB; C: 0.06mass%, Si: 3.4mass%, Mn: 0.06mass%, Al: 0.0250mass%, N: 0.0095mass%, S: 0.01mass%およびSe: 0.01mass%を含有し、残部がFeおよび不可避的不純物からなる成分組成を有する、インヒビター形成成分を含有する鋼スラブ

[0080] 次いで、上記鋼スラブAから作製した熱延板から試験片を採取し、1000℃×60sの熱延板焼鈍を施した後、ゼンジミア圧延機を用いて1回の冷間圧延（最終冷間圧延）で最終板厚0.20mmの冷延板とした。一方、上記鋼スラブBから作製した熱延板からも試験片を採取し、タンデム圧延機を用いて1回目の冷間圧延をして中間板厚1.2mmとし、 N_2 : 75vol% + H_2 : 25vol%、露点46℃の雰囲気中で1100℃×80sの中間焼鈍を施した。その後、タンデム圧延機を用いて2回目の冷間圧延（最終冷間圧延）をして最終板厚0.20mmの冷延板とした。この際、それぞれの最終冷間圧延は4パスで行い、各パス入側の鋼板温度を表3に示したように種々に変化させた。

[0081] 次いで、上記冷延板に、均熱温度を840℃、均熱時間を100sとする

一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施した。その際、脱炭焼鈍の昇温過程では、図3に示したトランスバース方式の誘導加熱装置を用いて、400℃から710℃までを平均昇温速度260℃/sで急速加熱した。また、板温が550℃に到達した時点で、昇温速度が100℃/sとなる時間を0.2s間設けるよう、誘導加熱装置の出力を調節した。

[0082] 次いで、上記脱炭焼鈍後の冷延板は、実施例1と同様、焼鈍分離剤を鋼板表面に塗布した後、仕上焼鈍を施して二次再結晶させた。その後、上記仕上焼鈍後の鋼板表面から未反応の焼鈍分離剤を除去した後、リン酸塩－クロム酸塩－コロイダルシリカを質量比3：1：2で含有する絶縁被膜液を塗布し、800℃×30sの平坦化焼鈍を施して製品板とした。

[0083] 斯くして得た製品板から、エプスタイン試験片を採取し、JIS C 2550に準拠して鉄損 $W_{17/50}$ を測定し、その結果を表3に示した。この表から、最終冷間圧延において150℃以上350℃以下の温度域で少なくとも1パス以上圧延したものは、いずれも鉄損 $W_{17/50}$ が基準値0.87W/kg以下に低減している。さらに、最終冷間圧延において30℃以上130℃以下の温度域で少なくとも1パス以上圧延してから、150℃以上350℃以下の温度域で少なくとも1パス以上圧延したものは、いずれも鉄損 $W_{17/50}$ が0.82W/kg以下とさらに低減していることがわかる。

[0084]

[表3-1]

鋼板 No.	鋼 符号	最終冷間圧延の鋼板温度 (°C)				鉄損 $W_{17/50}$ (W/kg)	備 考
		1パス目	2パス目	3パス目	4パス目		
1	A	100	100	100	100	0.96	比較例
2	A	110	100	100	100	0.96	比較例
3	A	120	100	100	100	1.01	比較例
4	A	130	100	100	100	0.93	比較例
5	A	140	100	100	100	0.92	比較例
6	A	150	100	100	100	0.86	発明例
7	A	160	100	100	100	0.85	発明例
8	A	170	100	100	100	0.84	発明例
9	A	180	100	100	100	0.86	発明例
10	A	190	100	100	100	0.85	発明例
11	A	200	100	100	100	0.84	発明例
12	A	250	100	100	100	0.83	発明例
13	A	260	100	100	100	0.84	発明例
14	A	270	100	100	100	0.85	発明例
15	A	280	100	100	100	0.85	発明例
16	A	290	100	100	100	0.87	発明例
17	A	300	100	100	100	0.85	発明例
18	A	310	100	100	100	0.83	発明例
19	A	320	100	100	100	0.87	発明例
20	A	330	100	100	100	0.84	発明例
21	A	340	100	100	100	0.86	発明例
22	A	350	100	100	100	0.84	発明例
23	A	360	100	100	100	0.95	比較例
24	A	370	100	100	100	0.89	比較例
25	A	380	100	100	100	0.96	比較例
26	A	390	100	100	100	0.90	比較例
27	A	400	100	100	100	1.00	比較例
28	A	100	110	100	100	0.95	比較例
29	A	100	120	100	100	0.93	比較例
30	A	100	130	100	100	0.93	比較例
31	A	100	140	100	100	0.97	比較例
32	A	100	150	100	100	0.81	発明例
33	A	100	160	100	100	0.80	発明例
34	A	100	170	100	100	0.80	発明例
35	A	100	180	100	100	0.80	発明例
36	A	100	190	100	100	0.80	発明例
37	A	100	200	100	100	0.80	発明例
38	A	100	250	100	100	0.80	発明例
39	A	100	260	100	100	0.81	発明例
40	A	100	270	100	100	0.80	発明例
41	A	100	280	100	100	0.80	発明例
42	A	100	290	100	100	0.81	発明例
43	A	100	300	100	100	0.81	発明例
44	A	100	310	100	100	0.80	発明例
45	A	100	320	100	100	0.81	発明例
46	A	100	330	100	100	0.81	発明例
47	A	100	340	100	100	0.81	発明例
48	A	100	350	100	100	0.80	発明例
49	A	100	360	100	100	0.93	比較例
50	A	100	370	100	100	0.89	比較例
51	A	100	380	100	100	0.97	比較例
52	A	100	390	100	100	0.91	比較例
53	A	100	400	100	100	0.97	比較例

[0085]

[表3-2]

鋼板 No.	鋼 符号	最終冷間圧延の鋼板温度 (°C)				鉄損 $W_{17/50}$ (W/kg)	備 考
		1パス目	2パス目	3パス目	4パス目		
54	A	100	100	110	100	0.99	比較例
55	A	100	100	120	100	0.90	比較例
56	A	100	100	130	100	0.93	比較例
57	A	100	100	140	100	0.95	比較例
58	A	100	100	150	100	0.80	発明例
59	A	100	100	160	100	0.80	発明例
60	A	100	100	170	100	0.81	発明例
61	A	100	100	180	100	0.81	発明例
62	A	100	100	190	100	0.81	発明例
63	A	100	100	200	100	0.81	発明例
64	A	100	100	250	100	0.81	発明例
65	A	100	100	260	100	0.80	発明例
66	A	100	100	270	100	0.80	発明例
67	A	100	100	280	100	0.80	発明例
68	A	100	100	290	100	0.80	発明例
69	A	100	100	300	100	0.81	発明例
70	A	100	100	310	100	0.81	発明例
71	A	100	100	320	100	0.80	発明例
72	A	100	100	330	100	0.81	発明例
73	A	100	100	340	100	0.80	発明例
74	A	100	100	350	100	0.80	発明例
75	A	100	100	360	100	0.89	比較例
76	A	100	100	370	100	0.89	比較例
77	A	100	100	380	100	0.91	比較例
78	A	100	100	390	100	0.89	比較例
79	A	100	100	400	100	0.99	比較例
80	A	100	100	100	110	0.94	比較例
81	A	100	100	100	120	0.91	比較例
82	A	100	100	100	130	0.98	比較例
83	A	100	100	100	140	0.98	比較例
84	A	100	100	100	150	0.80	発明例
85	A	100	100	100	160	0.81	発明例
86	A	100	100	100	170	0.80	発明例
87	A	100	100	100	180	0.81	発明例
88	A	100	100	100	190	0.81	発明例
89	A	100	100	100	200	0.81	発明例
90	A	100	100	100	250	0.80	発明例
91	A	100	100	100	260	0.80	発明例
92	A	100	100	100	270	0.80	発明例
93	A	100	100	100	280	0.81	発明例
94	A	100	100	100	290	0.80	発明例
95	A	100	100	100	300	0.81	発明例
96	A	100	100	100	310	0.80	発明例
97	A	100	100	100	320	0.80	発明例
98	A	100	100	100	330	0.81	発明例
99	A	100	100	100	340	0.81	発明例
100	A	100	100	100	350	0.81	発明例
101	A	100	100	100	360	0.95	比較例
102	A	100	100	100	370	0.91	比較例
103	A	100	100	100	380	0.99	比較例
104	A	100	100	100	390	0.95	比較例
105	A	100	100	100	400	0.92	比較例

[0086]

[表3-3]

鋼板 No.	鋼 符号	最終冷間圧延の鋼板温度 (°C)				鉄損 $W_{17/50}$ (W/kg)	備 考
		1パス目	2パス目	3パス目	4パス目		
106	A	150	150	50	50	0.83	発明例
107	A	200	200	50	50	0.85	発明例
108	A	300	300	50	50	0.85	発明例
109	A	350	350	50	50	0.85	発明例
110	A	150	50	350	50	0.81	発明例
111	A	200	50	300	50	0.80	発明例
112	A	300	50	200	50	0.80	発明例
113	A	350	50	150	50	0.81	発明例
114	A	150	50	50	150	0.81	発明例
115	A	200	50	50	200	0.80	発明例
116	A	300	50	50	300	0.80	発明例
117	A	350	50	50	350	0.80	発明例
118	A	50	150	150	50	0.81	発明例
119	A	50	200	200	50	0.80	発明例
120	A	50	300	300	50	0.81	発明例
121	A	50	350	350	50	0.81	発明例
122	A	50	150	50	150	0.80	発明例
123	A	50	200	50	200	0.81	発明例
124	A	50	300	50	300	0.80	発明例
125	A	50	350	50	350	0.80	発明例
126	A	50	50	150	150	0.80	発明例
127	A	50	50	200	200	0.80	発明例
128	A	50	50	300	300	0.80	発明例
129	A	50	50	350	350	0.80	発明例
130	A	150	350	150	50	0.85	発明例
131	A	200	300	200	50	0.83	発明例
132	A	300	200	300	50	0.86	発明例
133	A	350	150	350	50	0.85	発明例
134	A	150	350	50	150	0.80	発明例
135	A	200	300	50	200	0.80	発明例
136	A	300	200	50	300	0.81	発明例
137	A	350	150	50	350	0.81	発明例
138	A	150	50	150	150	0.80	発明例
139	A	200	50	200	200	0.80	発明例
140	A	300	50	300	300	0.80	発明例
141	A	350	50	350	350	0.81	発明例
142	A	50	150	150	150	0.80	発明例
143	A	50	200	200	200	0.81	発明例
144	A	50	300	300	300	0.81	発明例
145	A	50	350	350	350	0.80	発明例
146	A	150	150	150	150	0.86	発明例
147	A	200	200	200	200	0.87	発明例
148	A	300	300	300	300	0.84	発明例
149	A	350	350	350	350	0.87	発明例

[0087]

[表3-4]

鋼板 No.	鋼 符号	最終冷間圧延の鋼板温度 (°C)				鉄損 $W_{17/50}$ (W/kg)	備 考
		1パス目	2パス目	3パス目	4パス目		
150	A	0	200	200	200	0.87 (冷延時割れ多発)	発明例
151	A	10	200	200	200	0.84 (冷延時割れ多発)	発明例
152	A	20	200	200	200	0.87 (冷延時割れ多発)	発明例
153	A	30	200	200	200	0.80	発明例
154	A	40	200	200	200	0.80	発明例
155	A	50	200	200	200	0.81	発明例
156	A	100	200	200	200	0.81	発明例
157	A	110	200	200	200	0.80	発明例
158	A	120	200	200	200	0.81	発明例
159	A	130	200	200	200	0.80	発明例
160	A	140	200	200	200	0.85	発明例
161	A	150	200	200	200	0.85	発明例

[0088]

[表3-5]

鋼板 No.	鋼 符号	最終冷間圧延の鋼板温度 (°C)				鉄損 $W_{17/50}$ (W/kg)	備 考
		1パス目	2パス目	3パス目	4パス目		
162	B	100	100	100	100	0.94	比較例
163	B	110	100	100	100	0.91	比較例
164	B	120	100	100	100	0.92	比較例
165	B	130	100	100	100	0.98	比較例
166	B	140	100	100	100	0.88	比較例
167	B	150	100	100	100	0.86	発明例
168	B	160	100	100	100	0.87	発明例
169	B	170	100	100	100	0.85	発明例
170	B	180	100	100	100	0.85	発明例
171	B	190	100	100	100	0.86	発明例
172	B	200	100	100	100	0.84	発明例
173	B	250	100	100	100	0.84	発明例
174	B	260	100	100	100	0.86	発明例
175	B	270	100	100	100	0.86	発明例
176	B	280	100	100	100	0.84	発明例
177	B	290	100	100	100	0.86	発明例
178	B	300	100	100	100	0.86	発明例
179	B	310	100	100	100	0.85	発明例
180	B	320	100	100	100	0.85	発明例
181	B	330	100	100	100	0.86	発明例
182	B	340	100	100	100	0.86	発明例
183	B	350	100	100	100	0.83	発明例
184	B	360	100	100	100	0.90	比較例
185	B	370	100	100	100	0.96	比較例
186	B	380	100	100	100	0.93	比較例
187	B	390	100	100	100	0.91	比較例
188	B	400	100	100	100	0.99	比較例
189	B	100	110	100	100	0.96	比較例
190	B	100	120	100	100	1.00	比較例
191	B	100	130	100	100	0.93	比較例
192	B	100	140	100	100	0.95	比較例
193	B	100	150	100	100	0.80	発明例
194	B	100	160	100	100	0.81	発明例
195	B	100	170	100	100	0.81	発明例
196	B	100	180	100	100	0.81	発明例
197	B	100	190	100	100	0.80	発明例
198	B	100	200	100	100	0.80	発明例
199	B	100	250	100	100	0.81	発明例
200	B	100	260	100	100	0.80	発明例
201	B	100	270	100	100	0.80	発明例
202	B	100	280	100	100	0.80	発明例
203	B	100	290	100	100	0.81	発明例
204	B	100	300	100	100	0.80	発明例
205	B	100	310	100	100	0.81	発明例
206	B	100	320	100	100	0.81	発明例
207	B	100	330	100	100	0.81	発明例
208	B	100	340	100	100	0.80	発明例
209	B	100	350	100	100	0.81	発明例
210	B	100	360	100	100	0.91	比較例
211	B	100	370	100	100	0.91	比較例
212	B	100	380	100	100	0.90	比較例
213	B	100	390	100	100	0.99	比較例
214	B	100	400	100	100	1.00	比較例

[0089]

[表3-6]

鋼板 No.	鋼 符号	最終冷間圧延の鋼板温度 (°C)				鉄損 $W_{17/50}$ (W/kg)	備 考
		1 パス目	2 パス目	3 パス目	4 パス目		
215	B	100	100	110	100	0.97	比較例
216	B	100	100	120	100	0.93	比較例
217	B	100	100	130	100	0.95	比較例
218	B	100	100	140	100	0.89	比較例
219	B	100	100	150	100	0.81	発明例
220	B	100	100	160	100	0.81	発明例
221	B	100	100	170	100	0.80	発明例
222	B	100	100	180	100	0.80	発明例
223	B	100	100	190	100	0.80	発明例
224	B	100	100	200	100	0.80	発明例
225	B	100	100	250	100	0.80	発明例
226	B	100	100	260	100	0.80	発明例
227	B	100	100	270	100	0.81	発明例
228	B	100	100	280	100	0.80	発明例
229	B	100	100	290	100	0.81	発明例
230	B	100	100	300	100	0.81	発明例
231	B	100	100	310	100	0.80	発明例
232	B	100	100	320	100	0.80	発明例
233	B	100	100	330	100	0.81	発明例
234	B	100	100	340	100	0.81	発明例
235	B	100	100	350	100	0.80	発明例
236	B	100	100	360	100	0.90	比較例
237	B	100	100	370	100	1.00	比較例
238	B	100	100	380	100	0.93	比較例
239	B	100	100	390	100	1.00	比較例
240	B	100	100	400	100	0.90	比較例
241	B	100	100	100	110	0.93	比較例
242	B	100	100	100	120	0.97	比較例
243	B	100	100	100	130	0.93	比較例
244	B	100	100	100	140	0.94	比較例
245	B	100	100	100	150	0.80	発明例
246	B	100	100	100	160	0.80	発明例
247	B	100	100	100	170	0.80	発明例
248	B	100	100	100	180	0.80	発明例
249	B	100	100	100	190	0.81	発明例
250	B	100	100	100	200	0.80	発明例
251	B	100	100	100	250	0.81	発明例
252	B	100	100	100	260	0.81	発明例
253	B	100	100	100	270	0.81	発明例
254	B	100	100	100	280	0.81	発明例
255	B	100	100	100	290	0.80	発明例
256	B	100	100	100	300	0.81	発明例
257	B	100	100	100	310	0.81	発明例
258	B	100	100	100	320	0.81	発明例
259	B	100	100	100	330	0.80	発明例
260	B	100	100	100	340	0.81	発明例
261	B	100	100	100	350	0.80	発明例
262	B	100	100	100	360	0.93	比較例
263	B	100	100	100	370	0.95	比較例
264	B	100	100	100	380	0.95	比較例
265	B	100	100	100	390	0.93	比較例
266	B	100	100	100	400	0.95	比較例

[0090]

[表3-7]

鋼板 No.	鋼 符号	最終冷間圧延の鋼板温度 (°C)				鉄損 $W_{17/50}$ (W/kg)	備 考
		1パス目	2パス目	3パス目	4パス目		
267	B	150	150	50	50	0.87	発明例
268	B	200	200	50	50	0.85	発明例
269	B	300	300	50	50	0.85	発明例
270	B	350	350	50	50	0.86	発明例
271	B	150	50	350	50	0.80	発明例
272	B	200	50	300	50	0.80	発明例
273	B	300	50	200	50	0.80	発明例
274	B	350	50	150	50	0.80	発明例
275	B	150	50	50	150	0.81	発明例
276	B	200	50	50	200	0.80	発明例
277	B	300	50	50	300	0.80	発明例
278	B	350	50	50	350	0.80	発明例
279	B	50	150	150	50	0.81	発明例
280	B	50	200	200	50	0.81	発明例
281	B	50	300	300	50	0.81	発明例
282	B	50	350	350	50	0.80	発明例
283	B	50	150	50	150	0.80	発明例
284	B	50	200	50	200	0.81	発明例
285	B	50	300	50	300	0.81	発明例
286	B	50	350	50	350	0.81	発明例
287	B	50	50	150	150	0.80	発明例
288	B	50	50	200	200	0.80	発明例
289	B	50	50	300	300	0.80	発明例
290	B	50	50	350	350	0.81	発明例
291	B	150	350	150	50	0.87	発明例
292	B	200	300	200	50	0.84	発明例
293	B	300	200	300	50	0.84	発明例
294	B	350	150	350	50	0.85	発明例
295	B	150	350	50	150	0.81	発明例
296	B	200	300	50	200	0.81	発明例
297	B	300	200	50	300	0.80	発明例
298	B	350	150	50	350	0.80	発明例
299	B	150	50	150	150	0.81	発明例
300	B	200	50	200	200	0.81	発明例
301	B	300	50	300	300	0.80	発明例
302	B	350	50	350	350	0.81	発明例
303	B	50	150	150	150	0.80	発明例
304	B	50	200	200	200	0.80	発明例
305	B	50	300	300	300	0.81	発明例
306	B	50	350	350	350	0.81	発明例
307	B	150	150	150	150	0.84	発明例
308	B	200	200	200	200	0.84	発明例
309	B	300	300	300	300	0.85	発明例
310	B	350	350	350	350	0.85	発明例

[0091]

[表3-8]

鋼板 No.	鋼 符号	最終冷間圧延の鋼板温度 (°C)				鉄損 $W_{17/50}$ (W/kg)	備 考
		1パス目	2パス目	3パス目	4パス目		
311	B	0	200	200	200	0.86 (冷延時割れ多発)	発明例
312	B	10	200	200	200	0.86 (冷延時割れ多発)	発明例
313	B	20	200	200	200	0.85 (冷延時割れ多発)	発明例
314	B	30	200	200	200	0.80	発明例
315	B	40	200	200	200	0.81	発明例
316	B	50	200	200	200	0.80	発明例
317	B	100	200	200	200	0.80	発明例
318	B	110	200	200	200	0.80	発明例
319	B	120	200	200	200	0.80	発明例
320	B	130	200	200	200	0.81	発明例
321	B	140	200	200	200	0.87	発明例
322	B	150	200	200	200	0.84	発明例

実施例 5

[0092] 上記実施例4で用いた、スラブAおよびスラブBを素材とし、それぞれを表3に示したNo. 17 (スラブA使用) およびNo. 178 (スラブB使用) の条件 (1パス目の入側鋼板温度: 300°C、2-4パス目の入側鋼板温度: 100°C) で最終冷間圧延した板厚0.20mmの冷延板に、均熱温度を840°C、均熱時間を100sとする一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施した。その際、上記脱炭焼鈍の昇温過程では、400°Cから温度Tまでを平均昇温速度300°C/sで急速加熱し、さらに、上記温度Tを650°C~950°Cの範囲で種々に変化させた。また、上記急速加熱途中の板温が550°Cに到達した時点で、昇温速度が100°C/sとなる時間を0.2s間設けるよう、加熱装置の出力を調節した。なお、上記温度Tが860°C以上の条件では、温度Tまで急速加熱した後、窒素ガスで鋼板温度を840°Cまで冷却した後、840°Cで100s間均熱した。

[0093] 次いで、上記脱炭焼鈍後の冷延板は、実施例1と同様、焼鈍分離剤を鋼板表面に塗布した後、仕上焼鈍を施して二次再結晶させた。次いで、上記仕上焼鈍後の鋼板表面から未反応の焼鈍分離剤を除去した後、リン酸塩-クロム酸塩-コロイダルシリカを質量比3:1:2で含有する絶縁被膜液を塗布し、800°C×30sの平坦化焼鈍を施して製品板とした。

[0094] 斯くして得た製品板から、エプスタイン試験片を採取し、JIS C 2

550に準拠して鉄損 $W_{17/50}$ を測定し、その結果を図6に示した。この図から、上記急速加熱終了温度 T を700~900℃間に設定した条件で加熱した鋼板は、いずれも鉄損 $W_{17/50}$ が基準値0.87W/kg以下に低減していることがわかる。

実施例 6

[0095] C : 0.036 mass%、Si : 3.4 mass%、Mn : 0.06 mass%、Al : 0.0072 mass%、N : 0.0050 mass%、S : 0.0031 mass%およびSe : 0.0031 mass%を含有し、その他の成分として、Sb、Cu、P、Cr、Ni、Sn、Nb、Mo、BおよびBiを、表4に示した組成で含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる、インヒビター形成成分を含有していない成分組成を有する鋼を溶製し、鋼スラブとした。次いで、上記スラブを1210℃に加熱後、熱間圧延して板厚2.0mmの熱延板とした。次いで、上記熱延板に、1000℃×60sの熱延板焼鈍を施した後、タンデム圧延機を用いて1回の冷間圧延（最終冷間圧延）で最終板厚0.20mmの冷延板とした。この際、上記最終冷間圧延は、全パスの入側鋼板温度を170℃とする温間圧延とした。

[0096] 次いで、上記冷延板に、均熱温度を840℃、均熱時間を100sとする一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施した。この際、脱炭焼鈍の昇温過程において、図3に示したトランスバース方式の誘導加熱装置を用いて400℃から710℃までを平均昇温速度260℃/sで急速加熱するとともに、鋼板温度が550℃に到達した時点で、昇温速度を100℃/sに低下させる時間を0.2s間だけ設けるよう調整した。次いで、上記脱炭焼鈍した冷延板の鋼板表面にMgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布し、二次再結晶させる仕上焼鈍を施した。その後、仕上焼鈍後の鋼板表面から未反応の焼鈍分離剤を除去した後、リン酸塩-クロム酸塩-コロイダルシリカを質量比3:1:2で含有する絶縁被膜液を塗布し、800℃×30sの平坦化焼鈍を施して製品板とした。

[0097] 斯くして得た製品板からエプスタイン試験片を採取し、J I S C 2550に準拠して鉄損 $W_{17/50}$ を測定し、その結果を表4中に示した。この表から、S b、C u、P、C r、N i、S n、N b、M o、BおよびB iのうちから選ばれる少なくとも1種を添加した鋼スラブを素材とし、かつ、脱炭焼鈍の昇温過程でトランスバース方式の誘導加熱装置を用いて、本発明に準拠した条件で急速加熱した製品板は、いずれも鉄損 $W_{17/50}$ が基準値以下の0.80W/kg以下となっており、優れた磁気特性を有していることがわかる。

[0098]

[表4]

鋼 符号	その他の添加成分 (mass%)											鉄損W _{17/50} (W/kg)	備考	
	Sb	Cu	P	Cr	Ni	Sn	Nb	Mo	B	Bi				
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.85	発明例
D	0.01	0.05	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.79	発明例
E	0.01	-	-	-	0.050	-	0.005	-	-	-	-	-	0.77	発明例
F	0.14	-	-	-	-	-	-	0.22	0.004	-	-	-	0.77	発明例
G	0.35	0.22	0.12	-	-	0.12	-	-	-	-	-	-	0.78	発明例
H	-	0.05	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	0.77	発明例
I	-	0.78	-	-	-	0.43	-	0.37	-	-	-	-	0.79	発明例
J	-	1.31	-	0.27	0.420	-	-	-	-	-	-	-	0.76	発明例
K	-	-	0.30	-	-	-	0.002	-	0.005	0.0020	-	-	0.78	発明例
L	-	-	-	1.01	-	-	-	-	-	-	-	-	0.78	発明例
M	0.42	-	-	1.31	0.890	-	-	-	-	-	-	-	0.76	発明例
O	-	-	-	-	1.350	-	-	-	-	-	-	-	0.79	発明例
P	-	-	0.42	-	0.007	-	-	0.11	-	0.0010	-	-	0.78	発明例
Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0007	-	-	0.79	発明例
R	-	-	-	-	0.050	0.02	0.005	-	-	-	-	-	0.79	発明例
S	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.002	0.0100	-	-	0.78	発明例
T	-	0.05	0.05	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	0.77	発明例
U	-	-	-	-	-	0.02	0.005	-	-	0.0100	-	-	0.79	発明例
V	-	-	-	0.02	-	-	-	0.02	0.002	-	-	-	0.79	発明例
W	-	0.05	-	-	-	0.02	-	-	-	0.0100	-	-	0.78	発明例
X	-	-	-	0.02	-	0.02	-	0.02	-	-	-	-	0.77	発明例
Y	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.78	発明例
Z	-	-	-	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	0.79	発明例
AA	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	-	-	-	0.78	発明例

請求の範囲

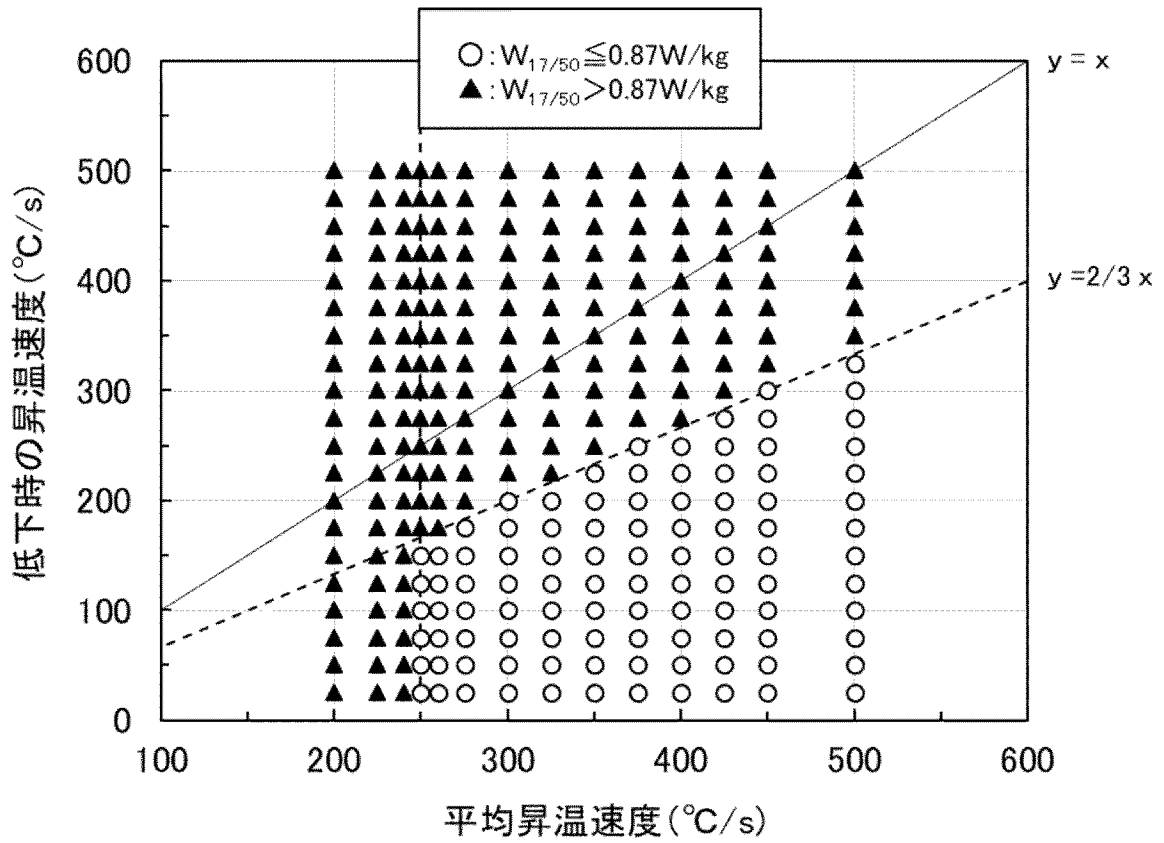
- [請求項1] 鋼素材を熱間圧延して熱延板とし、上記熱延板に1回の冷間圧延または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延をして最終板厚の冷延板とし、上記冷延板に一次再結晶焼鈍を兼ねた脱炭焼鈍を施した後、仕上焼鈍を施す方向性電磁鋼板の製造方法において、
上記冷間圧延における最終冷間圧延は、鋼板温度が150℃以上350℃以下の温度域で少なくとも1パス以上圧延し、
上記脱炭焼鈍は、昇温過程における400℃から700～900℃間の温度T（℃）までを平均昇温速度250℃/s以上で急速加熱するとともに、
上記昇温過程の500℃～700℃間のいずれかの温度において、昇温速度が上記平均昇温速度の2/3以下となる時間を0.10s以上1.00s未満設けることを特徴とする方向性電磁鋼板の製造方法。
- [請求項2] 上記最終冷間圧延は、30℃以上130℃以下の温度域で少なくとも1パス以上圧延してから、150℃以上350℃以下の温度域で少なくとも1パス以上圧延することを特徴とする請求項1に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。
- [請求項3] 上記鋼素材は、下記A群またはB群の成分を含有し、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ことを特徴とする請求項1または2に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

記

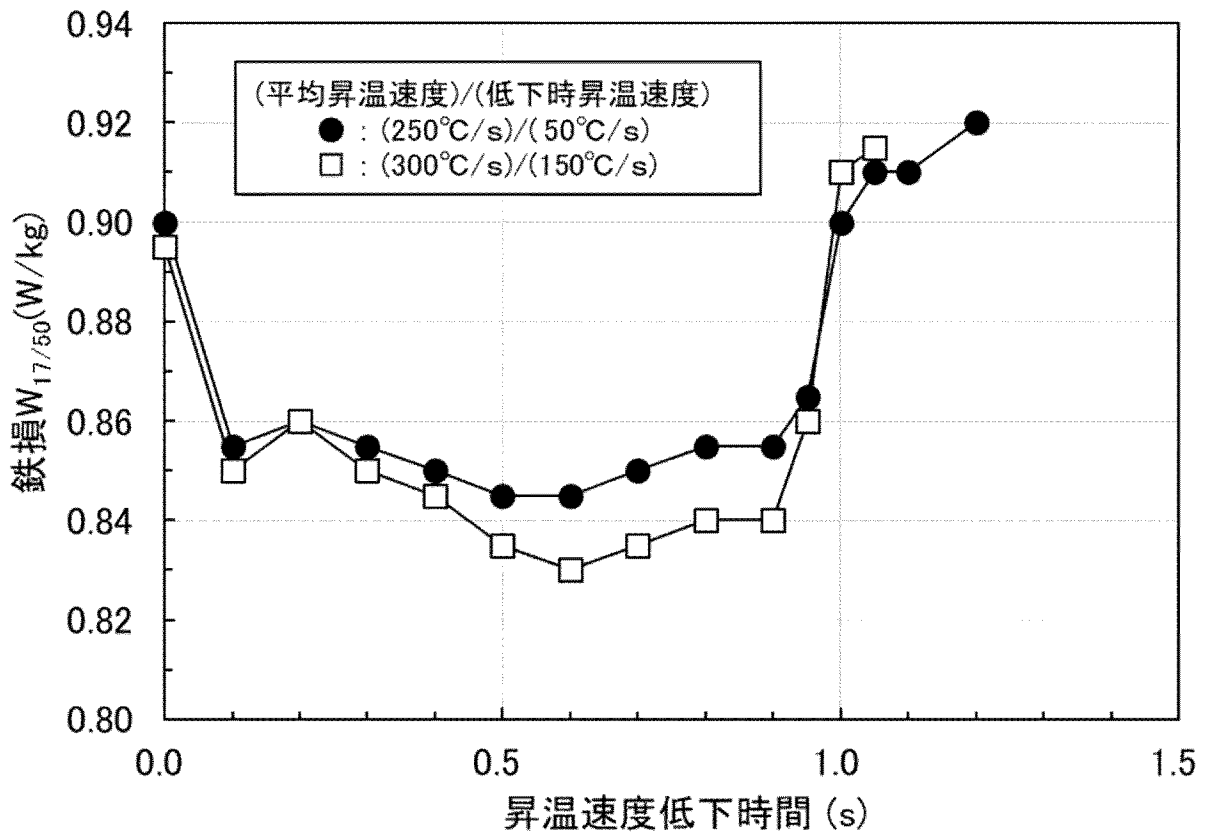
- ・ A群；C：0.01～0.10mass%、Si：2.0～4.5mass%、Mn：0.01～0.50mass%、Al：0.0100～0.0400mass%、N：0.0050～0.0120mass%を含有し、さらにSおよびSeのうちの少なくとも1種：合計で0.01～0.05mass%
- ・ B群；C：0.01～0.10mass%、Si：2.0～4.5mass%、Mn：0.01～0.50mass%、Al：0.0

- 100mass%未満、N：0.0050mass%以下、S：0.0070mass%以下およびSe：0.0070mass%以下
- [請求項4] 上記鋼素材は、上記成分組成に加えてさらに、Sb：0.500mass%以下、Cu：1.50mass%以下、P：0.500mass%以下、Cr：1.50mass%以下、Ni：1.500mass%以下、Sn：0.50mass%以下、Nb：0.0100mass%以下、Mo：0.50mass%以下、B：0.0070mass%以下およびBi：0.0500mass%以下のうちの少なくとも1種を含有することを特徴とする請求項3に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。
- [請求項5] 上記脱炭焼鈍における急速加熱をトランスバース方式の誘導加熱装置を用いて行うことを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。
- [請求項6] 請求項5に記載の方向性電磁鋼板の製造方法に用いるトランスバース方式の誘導加熱装置であって、加熱コイルが、板幅方向に沿った二つの等しい長さの平行線と二つの半円形からなる角丸長方形の形状を有し、加熱コイルの板幅方向の最大内径を R_1 (m)、加熱コイルの通板方向の最大内径を R_2 (m)、鋼板の幅を w (m) および鋼板の通板速度を v (m/s) としたとき、 $R_1 \geq w$ および $R_2 < v$ の関係を満たすことを特徴とする誘導加熱装置。

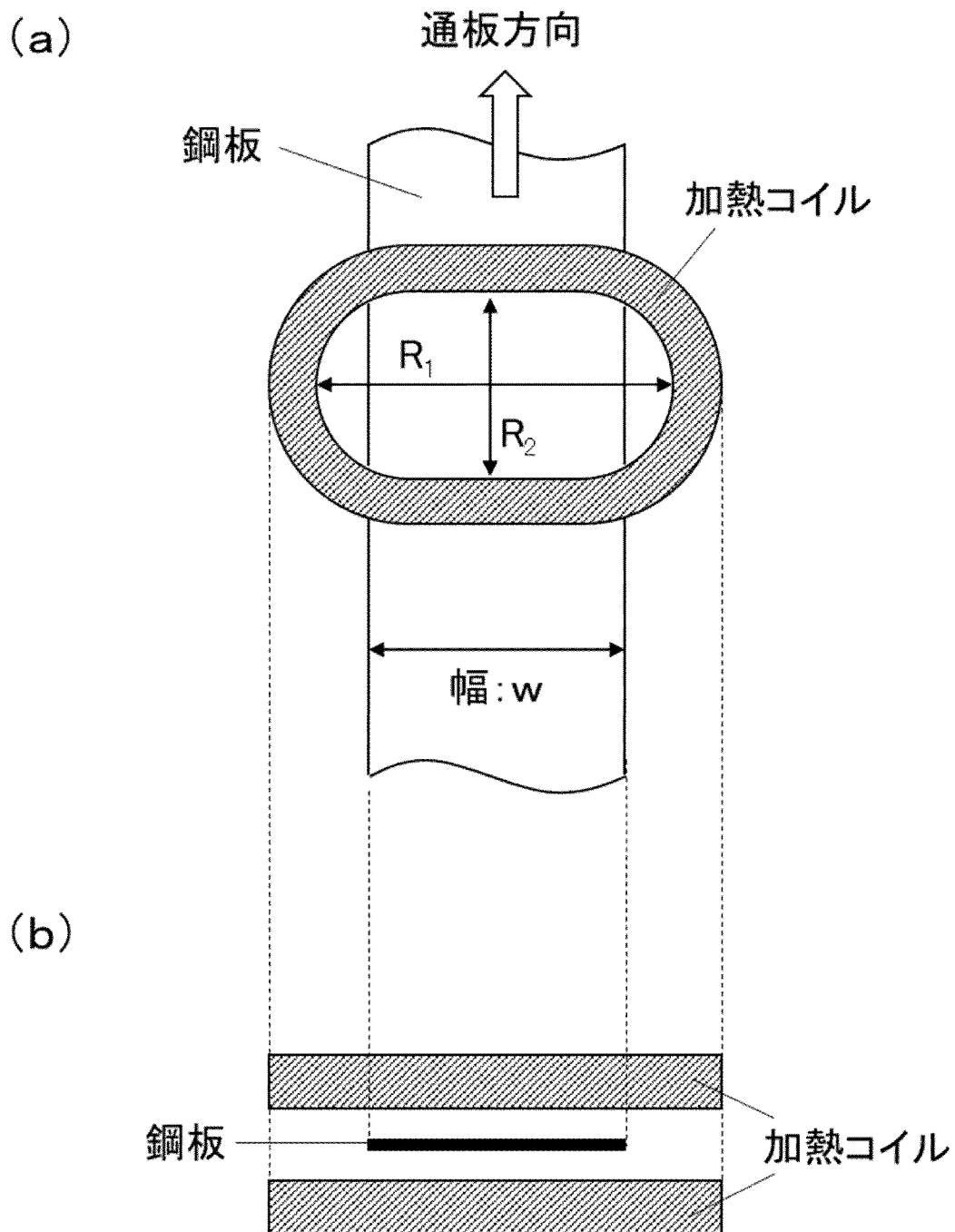
[図1]



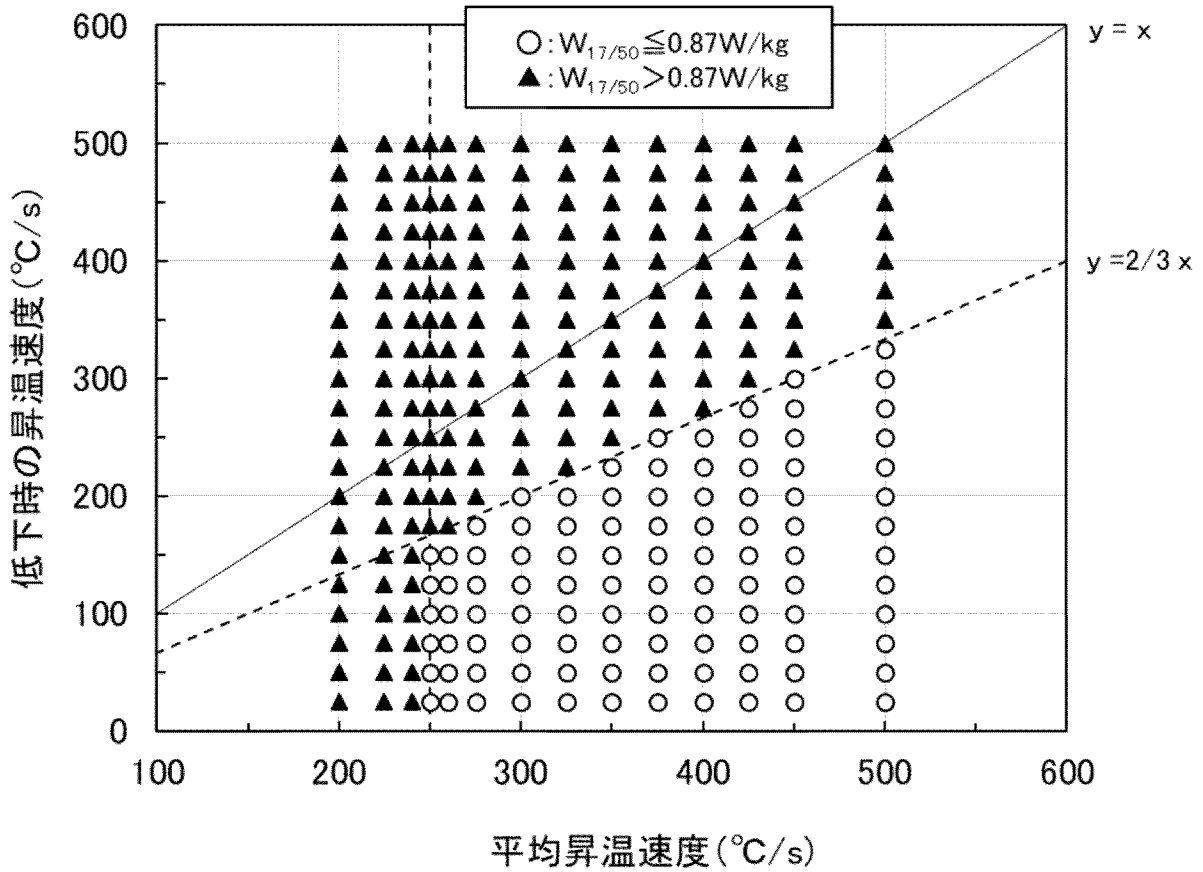
[図2]



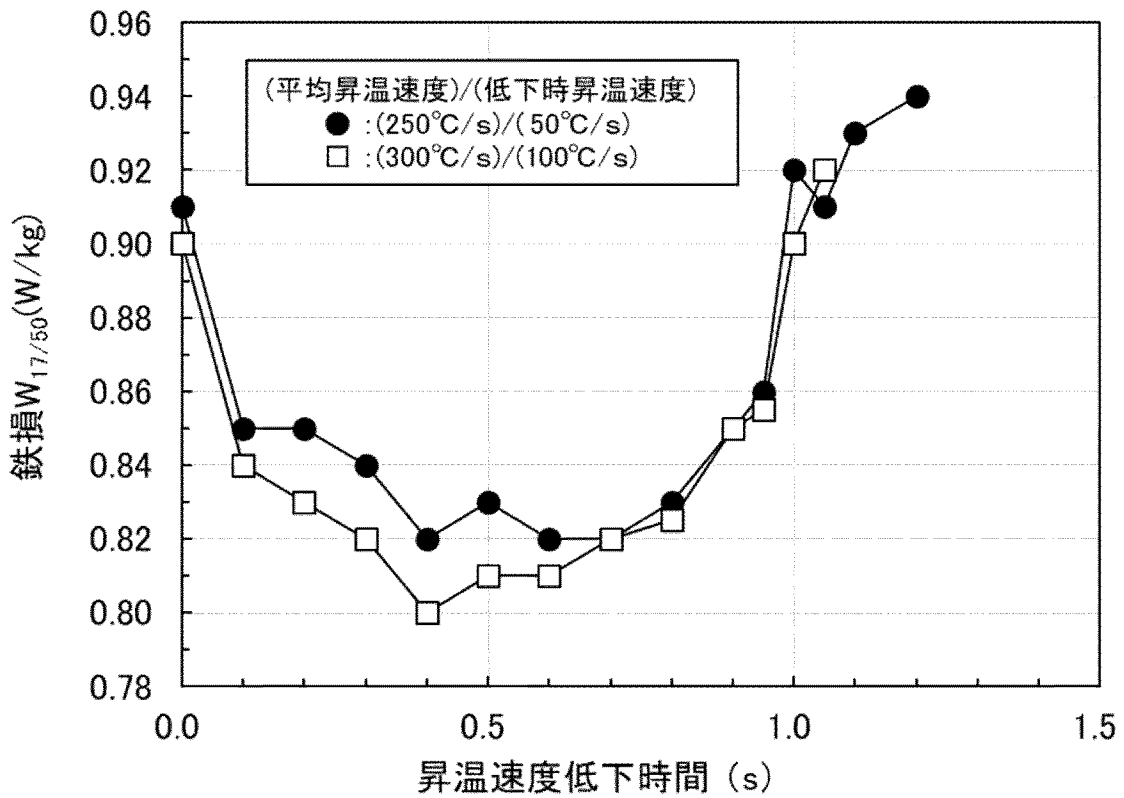
[図3]



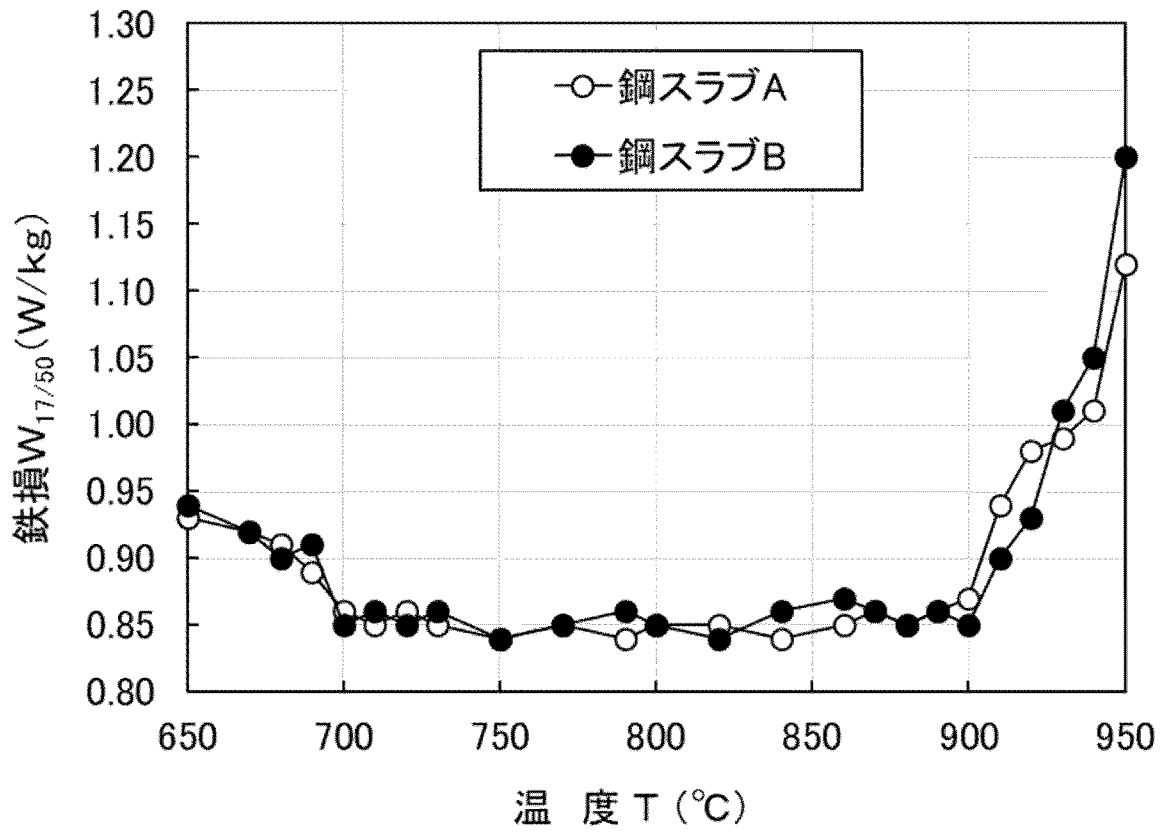
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/032312

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>C21D 8/12</i> (2006.01)i; <i>C22C 38/00</i> (2006.01)i; <i>C22C 38/60</i> (2006.01)i; <i>H01F 1/147</i> (2006.01)i; <i>H05B 6/10</i> (2006.01)i FI: C21D8/12 B; C22C38/00 303U; C22C38/60; H01F1/147 175; H05B6/10 381		
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) C21D8/12; C21D9/46; C22C38/00-C22C38/60; H01F1/147; H05B6/10		
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.
X Y A	WO 2020/145319 A1 (NIPPON STEEL CORP) 16 July 2020 (2020-07-16) claims, paragraphs [0041]-[0056], [0098]-[0099], [0130]-[0131], tables 1, 5	1, 4 5-6 2-3
X Y A	JP 2020-84303 A (JFE STEEL CORP) 04 June 2020 (2020-06-04) claims, paragraphs [0031]-[0032], [0036], [0048], table 1	1, 3-4 5-6 2
Y A	JP 2014-152393 A (JFE STEEL CORP) 25 August 2014 (2014-08-25) claims, paragraphs [0048]-[0051]	5-6 1-4
A	JP 2010-280970 A (NIPPON STEEL CORP) 16 December 2010 (2010-12-16) entire text	1-6
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 20 November 2023		Date of mailing of the international search report 05 December 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

International application No.

PCT/JP2023/032312

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 1-290716 A (AAMUKO ADVANCED MATERIALS CORP) 22 November 1989 (1989-11-22) entire text, all drawings	1-6
A	KR 10-2014-0131496 A (POSCO) 13 November 2014 (2014-11-13) entire text, all drawings	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/032312

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2020/145319	A1	16 July 2020	US 2022/0002831 A1 claims, paragraphs [0061]- [0079], [0132]-[0133], [0160]- [0161], tables 1, 5	
				EP 3913072 A1	
				CN 113195753 A	
				KR 10-2021-0096236 A	
				BR 112021012781 A2	
				RU 2771131 C1	
JP	2020-84303	A	04 June 2020	(Family: none)	
JP	2014-152393	A	25 August 2014	(Family: none)	
JP	2010-280970	A	16 December 2010	(Family: none)	
JP	1-290716	A	22 November 1989	US 4898626 A entire text, all drawings	
				EP 334223 A2	
				DE 68925743 T2	
				ES 2083959 T3	
				YU 60589 A	
				CA 1324562 C	
				BR 8901320 A	
				KR 10-1989-0014760 A	
				IN 171548 B	
KR	10-2014-0131496	A	13 November 2014	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C21D 8/12(2006.01)i; C22C 38/00(2006.01)i; C22C 38/60(2006.01)i; H01F 1/147(2006.01)i; H05B 6/10(2006.01)i FI: C21D8/12 B; C22C38/00 303U; C22C38/60; H01F1/147 175; H05B6/10 381		
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）） C21D8/12; C21D9/46; C22C38/00-C22C38/60; H01F1/147; H05B6/10 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
X Y A	WO 2020/145319 A1（日本製鉄株式会社）16.07.2020（2020-07-16） 請求の範囲,0041-0056,0098-0099,0130-0131,表1,表5	1,4 5-6 2-3
X Y A	JP 2020-84303 A（JFEスチール株式会社）04.06.2020（2020-06-04） 特許請求の範囲,0031-0032,0036,0048,表1	1,3-4 5-6 2
Y A	JP 2014-152393 A（JFEスチール株式会社）25.08.2014（2014-08-25） 特許請求の範囲,0048-0051	5-6 1-4
A	JP 2010-280970 A（新日本製鉄株式会社）16.12.2010（2010-12-16） 全文	1-6
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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、一般的な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	
20.11.2023	05.12.2023	
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	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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 1-290716 A (アームコ・アドバンスト・マテリアルズ・コーポレイション) 22.11.1989 (1989 - 11 - 22) 全文, 全図	1-6
A	KR 10-2014-0131496 A (POSCO) 13.11.2014 (2014 - 11 - 13) 全文, 全図	1-6

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/JP2023/032312

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2020/145319	A1	16.07.2020	US	2022/0002831	A1	
					請求の範 囲,0061-0079,0132-0133,0160-0161, 表1,表5		
				EP	3913072	A1	
				CN	113195753	A	
				KR	10-2021-0096236	A	
				BR	112021012781	A2	
				RU	2771131	C1	
JP	2020-84303	A	04.06.2020	(ファミリーなし)			
JP	2014-152393	A	25.08.2014	(ファミリーなし)			
JP	2010-280970	A	16.12.2010	(ファミリーなし)			
JP	1-290716	A	22.11.1989	US	4898626	A	
					全文,全図		
				EP	334223	A2	
				DE	68925743	T2	
				ES	2083959	T3	
				YU	60589	A	
				CA	1324562	C	
				BR	8901320	A	
				KR	10-1989-0014760	A	
				IN	171548	B	
KR	10-2014-0131496	A	13.11.2014	(ファミリーなし)			