

(43) 国際公開日
2007 年 11 月 29 日 (29.11.2007)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2007/135877 A1

- (51) 国際特許分類:
 C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/60 (2006.01)
 C22C 38/02 (2006.01) H01F 1/16 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/059812
- (22) 国際出願日: 2007 年 5 月 7 日 (07.05.2007)
- (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 2006-144058 2006 年 5 月 24 日 (24.05.2006) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 新日本製鐵株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION)
 [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 牛神義行

(USHIGAMI, Yoshiyuki) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP). 藤井宣憲 (FUJII, Norikazu) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP). 村上健一 (MURAKAMI, Kenichi) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP). 森重宣郷 (MORISHIGE, Nobusato) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP).

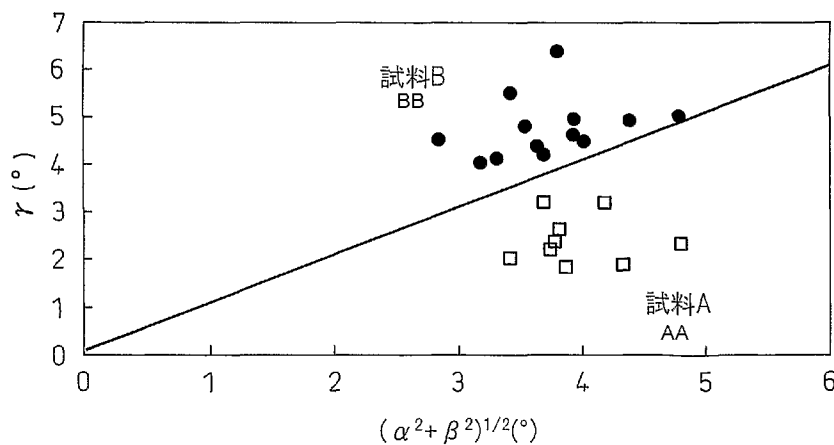
(74) 代理人: 青木篤, 外(AOKI, Atsushi et al.); 〒1058423 東京都港区虎ノ門三丁目 5 番 1 号 虎ノ門 3 7 森ビル青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

[続葉有]

(54) Title: UNIDIRECTIONALLY GRAIN ORIENTED ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET HAVING EXCELLENT IRON LOSS PROPERTIES

(54) 発明の名称: 鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板



AA SAMPLE A
BB SAMPLE B

(57) Abstract: This invention provides a unidirectionally grain oriented electromagnetic steel sheet comprising 0.8 to 7% by mass of Si and having a secondary recrystallized texture of which the main orientation is {110} orientation. The steel sheet has excellent iron loss properties and is characterized in that the average deviation angles α , β , and γ from {110} ideal orientation in the secondary recrystallized texture satisfy $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma$ wherein α : the average deviation angle from the {110} ideal orientation around a rolled face normal direction (ND) in the secondary recrystallized texture; β : the average deviation angle from the {110} ideal orientation around a rolling normal direction (TD) in the secondary recrystallized texture; and γ : the average deviation angle from the {110} ideal orientation around a rolling direction (RD) in the secondary recrystallized texture.

(57) 要約: Si を 0.8 ~ 7 質量% 含有し、{110} <001> 方位が主方位の二次再結晶集合組織を有する一方向性電磁鋼板において、二次再結晶集合組織の {110} <001> 理想方位からの平均ずれ角 α 、

[続葉有]



WO 2007/135877 A1



HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

β 、及び、 γ が、 $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma$ を満たすことを特徴とする鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板。但し、 α : 二次再結晶集合組織の、圧延面法線方向 (ND) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角、 β : 二次再結晶集合組織の、圧延直角方向 (TD) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角、 γ : 二次再結晶集合組織の、圧延方向 (RD) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角。

明 細 書

鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板

技術分野

本発明は、軟磁性材料として、変圧器、電気機器等の鉄芯として用いる、鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板に関するものである。

背景技術

一方向性電磁鋼板は、通常、S i を 7 % 以下含有し、二次再結晶粒が $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位 (Goss 方位) に集積した二次再結晶集合組織を有する鋼板である。一方向性電磁鋼板の磁気特性は、基本的には、二次再結晶粒の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 集積度に大きく影響される。それ故、これまで、二次再結晶粒の集積度の向上を図る製造方法の研究開発が、数多くなされてきた (例えば、米国特許第 3 2 8 7 1 8 3 号明細書及び特公昭 6 2 - 4 5 2 8 5 号公報、参照)。

しかしながら、「IEEE Transactions on Magnetism」MAG-14(1978)、pp350-352に述べられているように、方位集積度があまりにも高くなると、逆に、鉄損特性が劣化することが判明した。そこで、例えば、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの圧延面法線方向 (ND) 周りにおけるずれ角 (α)、圧延直角方向 (TD) 周りにおけるずれ角 (β)、及び、圧延方向 (RD) 周りにおけるずれ角 (γ) を指標として用い、方位集積度をさらに詳細に分類し、鉄損特性との関係を検討するようになった。

ここで、図 1 に、上記ずれ角の定義を $\{100\}$ 極点図上に示す (「IEEE Transactions on Magnetism」MAG-14(1978)、pp252-257

、参照)。また、図2に、理想的な $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位粒を模式的に示す。さらに、図3(a)に、二次再結晶方位とずれ角(α 及び β)を模式的に示し、図3(b)に、二次再結晶方位とずれ角(γ)を模式的に示す。

そして、上記検討のなかから、鉄損特性を高める方策として、上記ずれ角指標を基に、二次再結晶粒の集積度を規定した方向性電磁鋼板が、幾つか提案されている。

例えば、特公昭和57-9418号公報には、個々の結晶粒の $\langle 001 \rangle$ 軸が鋼板の圧延方向に一致し、かつ、鋼板面に平行な結晶面の指数が圧延方向を軸として回転分散している $\{h, k, 0\}$ 面からなる結晶組織を有する磁気特性の優れた一方向性電磁鋼板が開示されている。

しかしながら、実際の製品の結晶粒の $\langle 001 \rangle$ 軸は、図3(a)に示すように、ND及び／又はTD周りにも分散するので、個々の結晶粒の $\langle 001 \rangle$ 軸を鋼板の圧延方向に一致させるのは困難である。

また、特開昭59-177349号公報、及び、「IEEE Transactions on Magnetics」MAG-14(1978)、pp252-257には、二次再結晶粒の $[001]$ 軸が圧延面に対して 4° 以下、好ましくは 2° 程度に傾いた結晶組織からなる低鉄損の一方向性電磁鋼板が開示されている。

しかしながら、この一方向性電磁鋼板は、個々の結晶粒の $\langle 001 \rangle$ 軸が、圧延直角方向(TD)周りに傾いたものであるが、圧延面法線方向(ND)周りのずれ角(α)、及び、圧延方向(RD)周りのずれ角(γ)に関しては規定されていない。

このように、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からのずれ角と鉄損特性との関係について、特公昭和57-9418号公報や特開昭5

9-177349号公報に記載されているような単純系については、幾つかの知見が得られているが、現実の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 周りの方位分布と鉄損特性との関係については、総合的に把握しきれていない。

発明の開示

本発明は、一方向性電磁鋼板に対し、さらなる鉄損特性の向上が求められている現状を踏まえ、実際の二次再結晶集合組織の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位回りの分散状態と鉄損特性の関係の実態を解明し、鉄損特性が従来 of 限界を超えて向上した一方向性電磁鋼板を提供することを課題とする。

本発明者は、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 二次再結晶集合組織の方位を、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位に近づけるだけでは、鉄損特性の向上に限界がある（「IEEE Transactions on Magnetism」MAG-14(1978)、pp350-352、及び、特開昭59-177349号公報、参照）ことの原因を鋭意調査した。その結果、従来以上に鉄損特性を高めるためには、

(i) 二次再結晶集合組織の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からのずれ程度について、圧延面法線方向（ND）周りのずれ角 α 、及び、圧延直角方向（TD）周りのずれ角 β の他、圧延方向（RD）周りのずれ角 γ も含めて評価する必要があること、さらに、

(ii) 上記ずれ角 γ を、ずれ角 α 、 β で定まる所定の角度以上に調整する必要があること、
が判明した。

本発明は、上記知見に基づいてなされたもので、その要旨は以下のとおりである。

(1) Siを0.8～7質量%含有し、 $\{110\} \langle 001 \rangle$

方位が主方位の二次再結晶集合組織を有する一方向性電磁鋼板において、二次再結晶集合組織の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角 α 、 β 、及び、 γ が、下記式 (1) を満たすことを特徴とする鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板。

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \quad \dots\dots (1)$$

但し、 α : 二次再結晶集合組織の、圧延面法線方向 (ND) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

β : 二次再結晶集合組織の、圧延直角方向 (TD) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

γ : 二次再結晶集合組織の、圧延方向 (RD) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

(2) Si を 0.8 ~ 7 % 質量含有し、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位が主方位の二次再結晶集合組織を有する一方向性電磁鋼板において、二次再結晶集合組織の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角 α 、 β 、及び、 γ が、下記式 (1) 及び (2) を満たすことを特徴とする鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板。

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \quad \dots\dots (1)$$

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq 4.4^\circ \quad \dots\dots (2)$$

但し、 α : 二次再結晶集合組織の、圧延面法線方向 (ND) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

β : 二次再結晶集合組織の、圧延直角方向 (TD) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

γ : 二次再結晶集合組織の、圧延方向 (RD) 周りにおけ

る $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

(3) Si を 0.8 ~ 7 % 質量含有し、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位が主方位の二次再結晶集合組織を有する一方向性電磁鋼板において、二次再結晶集合組織の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角 α 、 β 、及び、 γ が、下記式 (1) 及び (3) を満たすことを特徴とする鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板。

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \quad \dots\dots (1)$$

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq 3.6^\circ \quad \dots\dots (3)$$

但し、 α : 二次再結晶集合組織の、圧延面法線方向 (ND) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

β : 二次再結晶集合組織の、圧延直角方向 (TD) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

γ : 二次再結晶集合組織の、圧延方向 (RD) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

(4) 前記式 (1) を満たす結晶粒の面積が、40 % 以上であることを特徴とする前記 (1) ~ (3) のいずれかに記載の鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板。

(5) 前記一方向性電磁鋼板が、質量 % で、Si : 0.8 ~ 7 % の他、Mn : 1 % 以下、Cr : 0.3 % 以下、Cu : 0.4 % 以下、P : 0.5 % 以下、Ni : 1 % 以下、Mo : 0.1 % 以下、Sn : 0.3 % 以下、Sb : 0.3 % 以下の少なくとも 1 種を含有することを特徴とする前記 (1) ~ (4) のいずれかに記載の鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板。

本発明によれば、従来の限界を超える優れた鉄損特性を有する方向性電磁鋼板を提供することができる。

図面の簡単な説明

図 1 は、二次再結晶集合組織の集積度を評価する手法において、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からのずれ角 α 、 β 、 γ の定義を示す図である。

図 2 は、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位を模式的に示す図である。

図 3 は、二次再結晶集合組織の集積度の評価手法（ $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位からのずれ角 α 、 β 、 γ ）を模式的に示す図である。

（a）は、ずれ角 α と β を示し、（b）は、ずれ角 γ を示す。

図 4 は、鉄損： $W17/50$ （W/k g）と $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ （°）の関係を示す図である。

図 5 は、磁束密度： B_8 （T）と $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ （°）の関係を示す図である。

図 6 は、二次再結晶集合組織の、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からのずれ角 α 、 β 、及び、 γ に対する二次再結晶粒の存在率を示す図である。（a）、（c）及び（e）は、米国特許第 3 2 8 7 1 8 3 号明細書に基づく製造方法で作製した一方向電磁鋼板における、ずれ角 α 、 β 、及び、 γ の分布を示す。（b）、（d）及び（f）は、特開 2 0 0 2 - 6 0 8 4 2 号公報に基づく製造方法で作製した一方向性電磁鋼板におけるずれ角 α 、 β 、及び、 γ の分布を示す。

図 7 は、一方向性電磁鋼板における三つの磁化容易軸を模式的に示す図である。

図 8 は、米国特許第 3 2 8 7 1 8 3 号明細書に基づく製造方法で作製した一方向性電磁鋼板、及び、特開 2 0 0 2 - 6 0 8 4 2 号公報に基づく製造方法で作製した一方向性電磁鋼板における γ （°）と $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ （°）の関係を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明を、図面に基づいて詳細に説明する。図3（a）に示すように、従来は、主として、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 二次再結晶集合組織の集積度を、磁化容易軸である結晶の $\langle 001 \rangle$ 軸と鋼板の圧延方向とのずれ角（ずれ角 α とずれ角 β ）で評価していた。しかしながら、前述したように、この従来の評価手法のみでは、厳密には、実際の製品の鉄損特性を評価することができない。

$\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位は、実際には、図3（b）に示すように、圧延方向（RD）周りにも回転し、ずれ角 α 、 β に加え、 $\{110\}$ 面が、理想の $\{110\}$ 面から、ずれ角 γ で傾いている。

本発明者は、前述のように、より一層の鉄損低減のため、前提となる二次再結晶集合組織の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位への集積度については、磁化容易軸である結晶の $\langle 001 \rangle$ 軸と鋼板の圧延方向とのずれ角（ずれ角 α とずれ角 β ）と併せて、“ずれ角 γ ”も含めて評価すべきであるとの発想に至り、磁気特性と、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位への集積度（ずれ角 α 、ずれ角 β 、ずれ角 γ ）との関係を鋭意調査した。

本調査を行うためには、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位の集積度（ずれ角 α 、ずれ角 β 、ずれ角 γ ）を種々変更したものを製造して評価する必要がある。

本発明者は、「Proceedings of 12th International Conference on Textures of Materials」（1998）、pp981-990に示すように、一次再結晶後の集合組織を制御することにより、単に、磁化容易軸 $\langle 001 \rangle$ の圧延方向への集積度だけではなく、圧延面法線方向（ND）周りにおけるずれ角（ α ）、圧延直角方向（TD）周りにおけるずれ角（ β ）、及び、圧延方向（RD）周りにおけるずれ角（ γ ）を制御できることを見いだした。

そこで、この手法を応用して、一次再結晶集合組織を制御することにより、種々の二次再結晶方位分布（ずれ角 α 、ずれ角 β 、ずれ角 γ ）を有する製品を製造し、結晶方位と鉄損特性との関係を調査した。

米国特許第 3 2 8 7 1 8 3 号明細書に記載の製造方法で作製した板厚 0. 2 3 mm の一方向性電磁鋼板（試料 A）から、6 0 × 3 0 0 mm の測定試料を採取し、鉄損と磁束密度を測定した。また、この測定試料につき、5 mm 間隔で結晶粒の方位を 1 7 1 点測定し、平均のずれ角 α 、 β 、及び、 γ を計算した。

さらに、特開 2 0 0 2 - 6 0 8 4 2 公報に記載の製造方法で作製した板厚 0. 2 3 mm の一方向性電磁鋼板（試料 B）についても、同様の測定試料を採取し、同様の測定を行った。

図 4 に、鉄損：W17/50（W/k g）と $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ （°）の関係を示し、また、図 5 に、磁束密度： B_8 （T）と $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ （°）の関係を示す。磁束密度： B_8 （T）に関しては、鋼板の二次再結晶集合組織との関係を明確にするため、製品表面の非磁性体（ガラス被膜とコーティング）を除去した後に測定した。なお、図中、□は、試料 A の磁気特性を示し、●は、試料 B の磁気特性を示す。

本発明においては、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 二次再結晶集合組織の集積度を評価する一つの指標として、軸ずれ指標： $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ （°）を採用した。この指標は、磁化容易軸である結晶の $\langle 001 \rangle$ 軸と鋼板の圧延方向とのずれ角を表わすものである。本発明においては、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 二次再結晶集合組織の集積度を評価する指標として、単に、ずれ角 α 、ずれ角 β ではなく、上記の軸ずれ指標を採用することが特徴である。

図 4 に示すように、鉄損：W17/50は、 $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ （°）の

減少に伴い、直線的に向上している。また、図 5 に示すように、磁束密度： B_g は、 $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°) の減少に伴い、やはり、直線的に向上している。

一般に、ずれ角 α 、 β が小さくなり、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 二次再結晶集合組織の集積度が向上すれば、鉄損が低減したり、磁束密度が増加したりするが、図 4 及び図 5 において注目すべき点は、 $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°) と、鉄損特性及び磁束密度が、直線的な相関関係を示すことである。

このことは、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 二次再結晶集合組織の集積度を、ずれ角 α 、 β を用いて評価する場合、単に、ずれ角 α 、 β を用いるのではなく、本発明者が考案した軸ずれ指標： $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°) を用いることの適確性及び有意性を示している。

この点が、本発明者が見いだした知見の一つ（知見 Y）であり、本発明の基礎をなす知見である。

本発明者は、知見 Y を踏まえ、さらに、ずれ角 γ (°) を含む $\{110\} \langle 001 \rangle$ 二次再結晶集合組織の集積度と磁気特性との関係について鋭意調査した。

ここで、図 6 (a)、(c) 及び (e) に、試料 A (図 4 及び 5 中「□」) のずれ角 α 、 β 、及び、 γ の分布を示し、図 6 (b)、(d) 及び (f) に、試料 B (図 4 及び 5 中「●」) のずれ角 α 、 β 、及び、 γ の分布を示す。

図 6 から、鉄損特性が優れている試料 B においては、ずれ角 γ が広がっていることが解る。このことは、良好な鉄損特性の確保において、

(i) ずれ角 α 、 β は、できるだけ小さい方が好ましく、一方、

(ii) ずれ角 γ は、ある程度広がっている方が好ましい

ことを意味している。

良好な鉄損特性を確保するために、ずれ角 γ が、ある程度広がっている方が好ましい理由は、次のように推察される。

図 7 に示すように、一方向性電磁鋼板には三つの磁化容易軸 $\langle 001 \rangle$ が存在し、一つの磁化容易軸： $[001]$ は、圧延方向と平行にあり、他の二つの磁化容易軸の $[100]$ と $[010]$ は、鋼板の圧延直角方向に、内部表面と 45° の角度をなす方向にある。

一般に、全体のエネルギーを最小にする観点から、この三つの磁化容易軸の中で、圧延方向に平行な磁化容易軸： $[001]$ に励磁され易く、その結果、短冊状の 180° 軸が形成される。

鉄損を低下させるためには、 180° 磁区の幅を狭くする必要がある。 180° 磁区幅を狭くするためには、前述の三つの磁化容易軸の中で、後述の鋼板の圧延直角方向に、内部表面と 45° の角度をなす方向にある磁化容易軸に励磁させて、 180° 磁区内に還流磁区を形成させることが有効である。この還流磁区は、鋼板表面に存在するガラス被膜やコーティングからの張力効果によって、 180° 磁区に再構成されて、最終的には 180° 磁区の細分化に寄与すると考えられる。

ずれ角 γ が、ある程度広がっている場合に鉄損が低減するのは、ずれ角 γ が大きい場合には、前述の三つの磁化容易軸のエネルギー・バランスが変化して、圧延軸に平行な $\langle 001 \rangle$ 軸よりも、圧延直角方向に内部表面と 45° の角度をなす方向に存在する二つの $\langle 001 \rangle$ 軸の何れかに励磁する場合が増え、その結果、 180° 磁区が細分化されるものと推定される。

また、軸ずれ指標： $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ は、圧延軸に平行な磁化容易軸の励磁特性を規定する指標であり、ずれ角 γ は、圧延直角方向に内部表面と 45° の角度をなす方向に存在する二つの $\langle 001 \rangle$ 軸の励磁特性を規定する指標である。したがって、三つの磁化容易

軸の中のどの軸が励磁されるかは、上記二つの指標の相対関係に基づくものであり、還流磁区を形成するために必要なずれ角 γ の臨界値は絶対的な値ではなく、 $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ との相対関係で決まると考えられる。

本発明者は、この考察を確認し、ずれ角： γ の臨界値を評価するため、さらに、 γ (°) と軸ずれ指標： $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°) との関係について調査した。

図8に、ずれ角： γ (°) と、軸ずれ指標： $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°) の関係を示す。図8において、□群（試料A）と●群（試料B）が、 $\gamma = (\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ で分離されていることが解る。

即ち、試料B（●群）は、鉄損特性が、試料A（□群）より優れている（図4、参照）ことから、鉄損特性の優れた方向性電磁鋼板の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 二次再結晶集合組織の集積度は、

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma$$

の関係を満たす必要があることが判明した。

この結果は、「圧延軸に平行な $\langle 001 \rangle$ 軸よりも、圧延直角方向に内部表面と45°の角度をなす方向に存在する二つの $\langle 001 \rangle$ 軸の何れかが励磁して還流磁区が形成されるのは、これらの磁区の相対関係に基づくものであるので、還流磁区を形成するために必要なずれ角 γ の臨界値は絶対的な値ではなく、 $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ との相対関係で決まる」という前述した推測を裏付けるものである。

以上の結果を総括すると、良好な鉄損特性を確保するためには、ずれ角 α 、 β は、できるだけ小さい方が好ましく、かつ、ずれ角 γ は、ずれ角 α 、 β で定まる $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°) 以上であればよい。

この点が、本発明者が、知見Yを前提に見いだした知見（知見Z）であり、知見Yとともに本発明の基礎をなす知見である。

したがって、本発明は、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位が主方位の二次再結晶集合組織を有する一方向性電磁鋼板において、二次再結晶集合組織の、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角 α 、 β 、及び、 γ が、下記式 (1) を満たすことを特徴とする。

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \quad \dots\dots (1)$$

良好な鉄損特性を確保するためには、平均ずれ角 γ が、 $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ を超えることが必要である。さらに、平均ずれ角： γ が $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ を超える結晶粒の面積率が、40%以上であることが好ましい。

また、鉄損特性は、ずれ角 α 、 β が小さいほうが好ましく、図4によれば、0.85 W/kg 以下の鉄損：W17/50を確保するためには、軸ずれ指標： $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ は、下記式 (2) を満たすことが好ましい。

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq 4.4^\circ \quad \dots\dots (2)$$

さらに、0.80 W/kg 以下の鉄損：W17/50を確保するためには、軸ずれ指標： $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ は、下記式 (3) を満たすことが好ましい。

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq 3.6^\circ \quad \dots\dots (3)$$

一方向性電磁鋼板は、通常、質量%で、Siを0.8～7%含有するので、本発明の一方向性電磁鋼板も、Siを0.8～7%含有するが、Siの他、Mn：1%以下、Cr：0.3%以下、Cu：0.4%以下、P：0.5%以下、N：1%以下、Mo：0.1%以下、Sn：0.3%以下、Sb：0.3%以下の少なくとも1種を含有していてもよい。なお、以下、%は、質量%を意味する。

Mnは、比抵抗を高めて鉄損を低減するのに有効な元素である。また、Mnは、製造工程において、熱間圧延における割れの発生を防止するためにも有効な元素であるが、添加量が1%を超えると、

製品の磁束密度が低下してしまうので、上限を 1 % とする。

C r も、比抵抗を高めて鉄損を低減するのに有効な元素である。さらに、C r は、脱炭焼鈍後の表面酸化層を改善し、ガラス被膜形成に有効な元素であり、0. 3 % 以下の範囲で添加する。

C u も、比抵抗を高めて鉄損を低減するのに有効な元素であるが、添加量が 0. 4 % を超えると、鉄損低減効果が飽和してしまうとともに、製造工程において、熱間圧延時に“カップーヘゲ”なる表面疵の原因になるので、上限を、0. 4 % とする。

P も、比抵抗を高めて鉄損を低減するのに有効な元素であるが、添加量が 0. 5 % を超えると、鋼板の圧延性に問題が生じるので、上限を 0. 5 % とする。

N i も、比抵抗を高めて鉄損を低減するのに有効な元素である。また、N i は、熱延板の金属組織を制御して、磁気特性を高めるうえで有効な元素であるが、添加量が 1 % を超えると、二次再結晶が不安定になるので、上限を 1 % とする。

M o も、比抵抗を高めて鉄損を低減するのに有効な元素であるが、添加量が 0. 1 % を超えると、鋼板の圧延性に問題が生じるので、上限を 0. 1 % とする。

S n と S b は、二次再結晶を安定化させ、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位を発達させるのに有効な元素であるが、0. 3 % を超えると、ガラス被膜の形成に悪影響を及ぼすので、上限を 0. 3 % とする。

C、N、S、T i、及び、A l に関しては、二次再結晶を安定的に発現させるための集合組織制御及びインヒビター制御のために、製鋼段階で添加する場合もあるが、最終製品の鉄損特性を劣化させる元素でもあるので、脱炭焼鈍後及び仕上げ焼鈍等において、低減する必要がある。それ故、これら元素の含有量は、0. 005 % 以下、好ましくは 0. 003 % 以下にする。

さらに、本発明の一方方向性電磁鋼板は、磁気特性を損なわない範囲で、上記以外の元素及び／又は他の不可避免的混入元素を含有していてもよい。

本発明の一方方向性電磁鋼板の製造方法は、基本的には、特開 2 0 0 2 - 6 0 8 4 2 号公報に基づく製造方法などを適用すればよい。ずれ角 α 、 β 、及び、 γ が、確実に、前記式 (1) を満たすためには、一次再結晶集合組織において、Goss 方位二次再結晶粒の成長を促進する、 $\{411\}$ 方位粒、及び、 $\{111\}$ 方位粒のなかで、 $\{411\}$ 方位粒の存在比率を高めておく必要がある。 $\{411\}$ 方位粒の存在比率を高める方法として、特開 2 0 0 2 - 6 0 8 4 2 公報に記載の脱炭焼鈍の加熱速度を制御する技術は有効である。

実施例

次に、本発明の実施例について説明するが、実施例の条件は、本発明の実施可能性及び効果を確認するために採用した一条件例であり、本発明は、この一条件例に限定されるものではない。本発明は、本発明の要旨を逸脱せず、本発明の目的を達成する限りにおいて、種々の条件を採用し得るものである。

(実施例 1)

試料 (A) として、質量 % で、Si : 3.2 %、C : 0.08 %、酸可溶性 Al : 0.024 %、N : 0.007 %、Mn : 0.08 %、S : 0.025 % を含有するスラブを、1350℃ の温度で加熱した後、2.3 mm 厚に熱間圧延し、次いで、1.8 mm 厚に冷間圧延し、その後、焼鈍を施して、さらに、0.23 mm 厚まで冷間圧延をした。

その後、850℃ の温度まで加熱して、脱炭焼鈍を行い、次いで、MgO を主成分とする焼鈍分離剤を塗布した後に、仕上げ焼鈍を

施した。

試料（Ｂ）として、質量％で、Ｓｉ：３．３％、Ｃ：０．０６％、酸可溶性Ａｌ：０．０２７％、Ｎ：０．００７％、Ｍｎ：０．１％、Ｓ：０．０７％を含有するスラブを、１１５０℃の温度で加熱した後、２．３ｍｍ厚に熱間圧延し、焼鈍を施した後、０．２３ｍｍ厚まで冷間圧延をした。

その後、８３０℃の温度まで加熱して脱炭焼鈍を行い、続いて、アンモニア含有雰囲気中で焼鈍を施して、鋼板中のＮを０．０２％に増加させ、次いで、ＭｇＯを主成分とする焼鈍分離剤を塗布した後に、仕上げ焼鈍を施した。

仕上げ焼鈍後のＣ、Ｎ、Ｓ、Ａｌは、全て０．００３％以下に低減されていた。その後、絶縁性と張力付与を目的に、コーティングを施した。

製品の二次再結晶方位集積度及び磁気特性を測定した結果を、表１に示す。磁束密度： B_8 に関しては、鋼板の二次再結晶方位との関係を明確にするために、製品表面の非磁性体（ガラス被膜とコーティング）を除去した後に測定した。

また、 $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma$ を満たす結晶粒の面積率は、試料（Ａ）及び試料（Ｂ）について、それぞれ、１８％及び４７％であった。

表 1

試料	$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°)	γ (°)	鉄損：W17／50 (W／kg)	磁束密度： B_8 (T)	備考
(A)	3.7	2.1	0.84	1.939	比較例
(B)	3.8	4.9	0.80	1.937	本発明例

（実施例２）

試料として、質量％で、Ｓｉ：３．３％、Ｃ：０．０６％、酸可

溶性 A l : 0 . 0 2 8 %、N : 0 . 0 0 8 % を含有するスラブを、
1 1 5 0 ℃ の温度で加熱した後、2 . 3 m m 厚に熱間圧延し、焼鈍
を施した後、0 . 2 3 m m 厚まで冷間圧延をした。

その後、(A) $5^{\circ} / s$ 、(B) $100^{\circ} / s$ 、及び、(C) $200^{\circ} / s$ の加熱速度で、830 ℃ の温度まで加熱して脱炭焼鈍を
行い、続いて、アンモニア含有雰囲気中で焼鈍して、鋼板中の N を
0 . 0 2 % に増加させ、次いで、M g O を主成分とする焼鈍分離剤
を塗布した後に、仕上げ焼鈍を施した。

仕上げ焼鈍後の C、N、A l は、全て 0 . 0 0 3 % 以下に低減さ
れていた。その後、絶縁性と張力付与を目的に、コーティングを施
した。

製品の二次再結晶方位集積度及び磁気特性を測定した結果を、表
2 に示す。磁束密度： B_g に関しては、鋼板の二次再結晶方位との
関係を明確にするために、製品表面の非磁性体（ガラス被膜とコー
ティング）を除去した後に測定した。

表 2

試料	$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ ($^{\circ}$)	γ ($^{\circ}$)	鉄損：W17/50 (W/kg)	磁束密度： B_g (T)	備考
(A)	4.9	2.5	0.93	1.901	比較例
(B)	3.2	5.3	0.78	1.947	本発明例
(C)	3.8	5.6	0.81	1.941	本発明例

(実施例 3)

試料として、質量%で、S i : 3 . 3 %、C : 0 . 0 5 5 %、酸
可溶性 A l : 0 . 0 2 7 %、N : 0 . 0 0 8 % を含有するスラブを
1 1 5 0 ℃ の温度で加熱した後、2 . 3 m m 厚に熱間圧延し、焼鈍
を施した後、0 . 2 3 m m 厚まで冷間圧延をした。

その後、 $40^{\circ} / s$ の加熱速度で、(A) 790 ℃、(B) 82

0℃、及び、(C) 850℃まで加熱して脱炭焼鈍を行い、続いて、アンモニア含有雰囲気中で焼鈍して、鋼板中のNを0.02%に増加させ、次いで、MgOを主成分とする焼鈍分離剤を塗布した後に、仕上げ焼鈍を施した。

仕上げ焼鈍後のC、N、Alは、全て0.003%以下に低減されていた。その後、絶縁性と張力付与を目的に、コーティングを施した。

製品の二次再結晶方位集積度及び磁気特性を測定した結果を、表3に示す。磁束密度： B_8 に関しては、鋼板の二次再結晶方位との関係を明確にするために、製品表面の非磁性体（ガラス被膜とコーティング）を除去した後に測定した。

また、 $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma$ を満たす結晶粒の面積率は、試料(A)、試料(B)、及び、試料(C)について、それぞれ、24%、38%、及び、49%であった。

表 3

試料	$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°)	γ (°)	鉄損：W17/50 (W/kg)	磁束密度： B_8 (T)	備考
(A)	5.3	3.5	0.95	1.903	比較例
(B)	4.6	5.0	0.84	1.918	本発明例
(C)	3.5	5.1	0.79	1.938	本発明例

産業上の利用可能性

前述したように、本発明によれば、二次再結晶方位分布を制御することによって、従来の限界を超える優れた鉄損特性を有する一方向性電磁鋼板を提供することができる。よって、本発明は、方向性電磁鋼板を素材とする電気機器製造産業において、利用可能性が高いものである。

請 求 の 範 囲

1. Si を 0.8 ～ 7 質量% 含有し、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位が主方位の二次再結晶集合組織を有する一方向性電磁鋼板において、二次再結晶集合組織の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角 α 、 β 、及び、 γ が、下記式 (1) を満たすことを特徴とする鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板。

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \quad \dots\dots (1)$$

但し、 α : 二次再結晶集合組織の、圧延面法線方向 (ND) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

β : 二次再結晶集合組織の、圧延直角方向 (TD) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

γ : 二次再結晶集合組織の、圧延方向 (RD) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

2. Si を 0.8 ～ 7 % 質量含有し、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位が主方位の二次再結晶集合組織を有する一方向性電磁鋼板において、二次再結晶集合組織の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角 α 、 β 、及び、 γ が、下記式 (1) 及び (2) を満たすことを特徴とする鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板。

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \quad \dots\dots (1)$$

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq 4.4^\circ \quad \dots\dots (2)$$

但し、 α : 二次再結晶集合組織の、圧延面法線方向 (ND) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

β : 二次再結晶集合組織の、圧延直角方向 (TD) 周りに

おける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

γ : 二次再結晶集合組織の、圧延方向 (RD) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

3. Si を 0.8 ~ 7% 質量含有し、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位が主方位の二次再結晶集合組織を有する一方向性電磁鋼板において、二次再結晶集合組織の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角 α 、 β 、及び、 γ が、下記式 (1) 及び (3) を満たすことを特徴とする鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板。

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \quad \dots\dots (1)$$

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq 3.6^\circ \quad \dots\dots (3)$$

但し、 α : 二次再結晶集合組織の、圧延面法線方向 (ND) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

β : 二次再結晶集合組織の、圧延直角方向 (TD) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

γ : 二次再結晶集合組織の、圧延方向 (RD) 周りにおける $\{110\} \langle 001 \rangle$ 理想方位からの平均ずれ角

4. 前記式 (1) を満たす結晶粒の面積が、40% 以上であることを特徴とする請求の範囲 1 ~ 3 のいずれかに記載の鉄損特性に優れた一方向性電磁鋼板。

5. 前記一方向性電磁鋼板が、質量%で、Si : 0.8 ~ 7% の他、Mn : 1% 以下、Cr : 0.3% 以下、Cu : 0.4% 以下、P : 0.5% 以下、Ni : 1% 以下、Mo : 0.1% 以下、Sn : 0.3% 以下、Sb : 0.3% 以下の少なくとも 1 種を含有することを特徴とする請求の範囲 1 ~ 4 のいずれかに記載の鉄損特性に優

れた一方向性電磁鋼板。

Fig.1

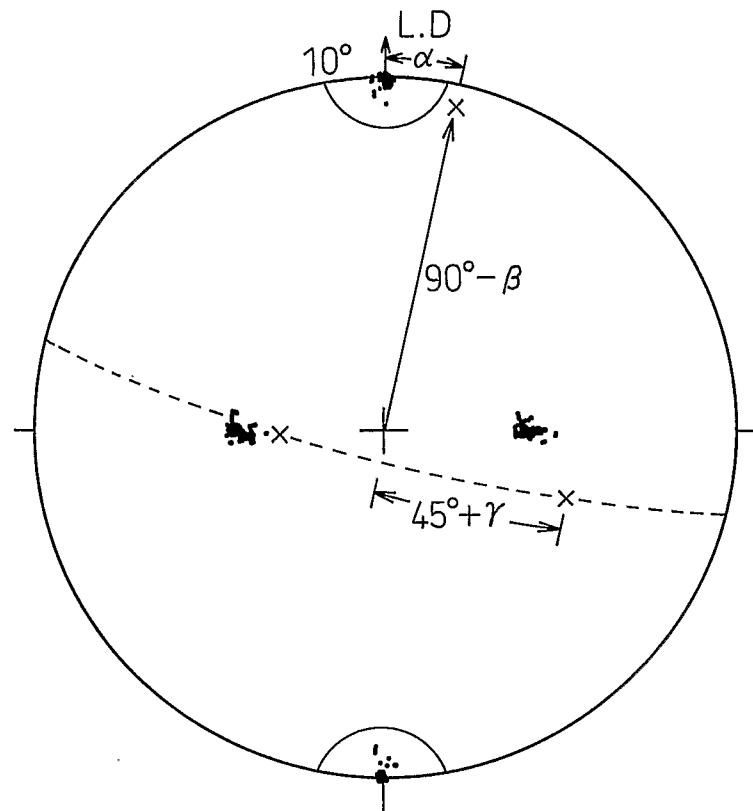


Fig. 2

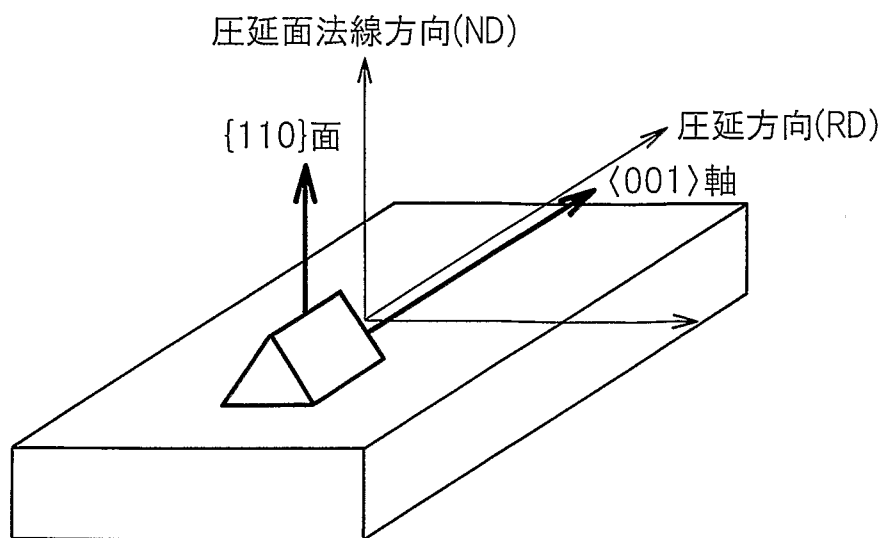
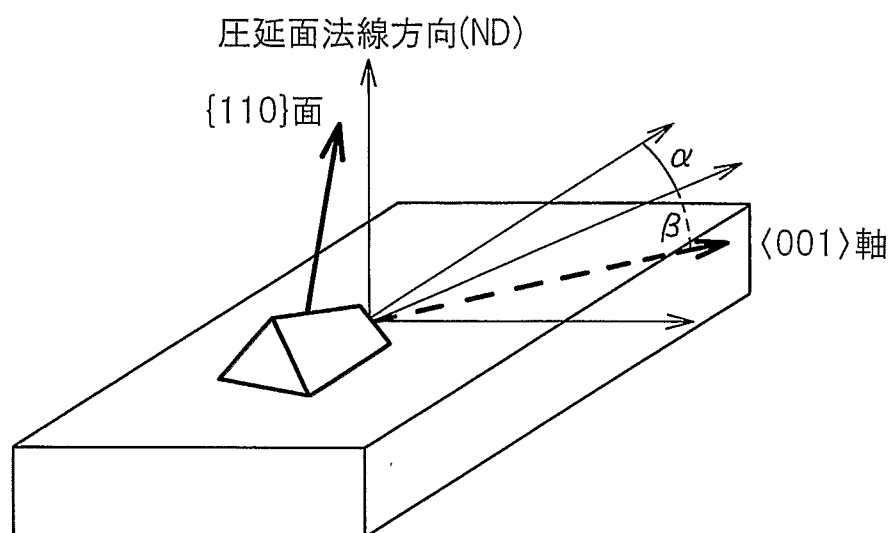


Fig.3

(a)



(b)

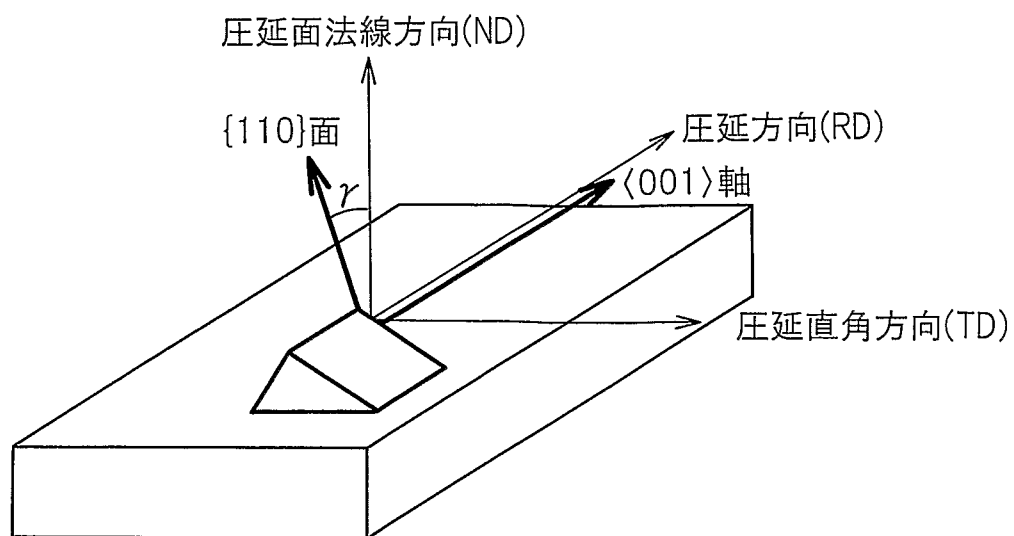


Fig.4

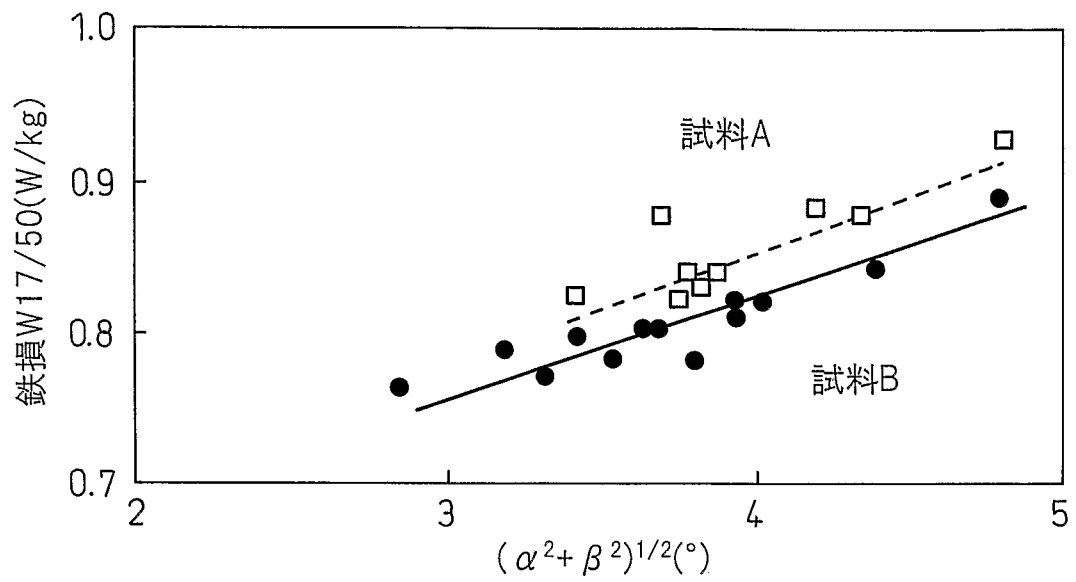


Fig.5

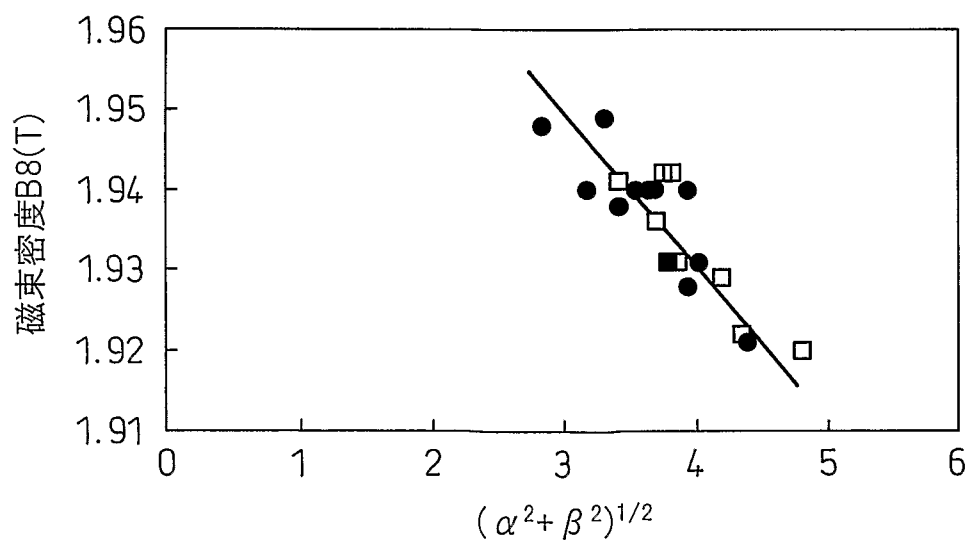


Fig.6

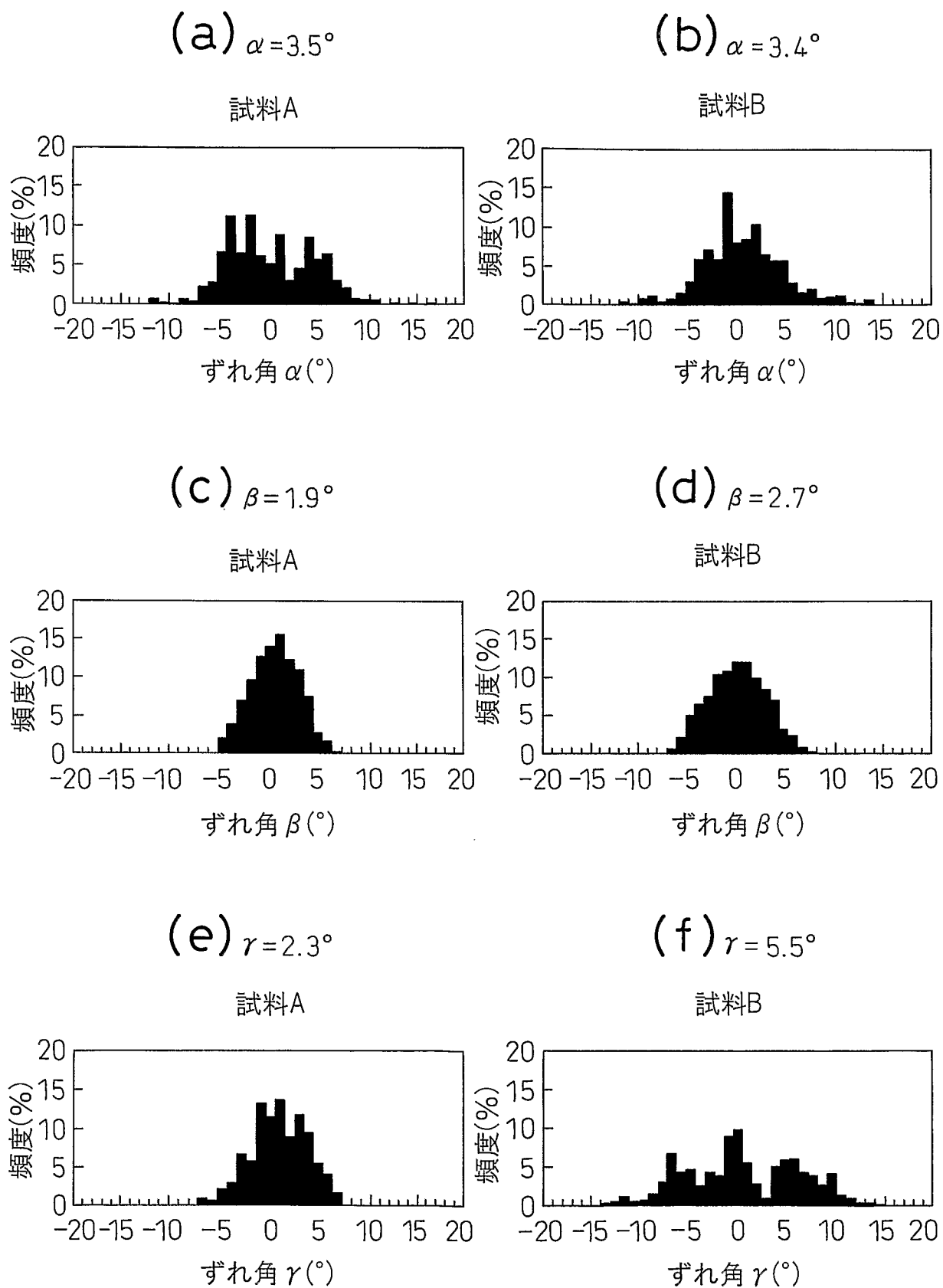


Fig.7

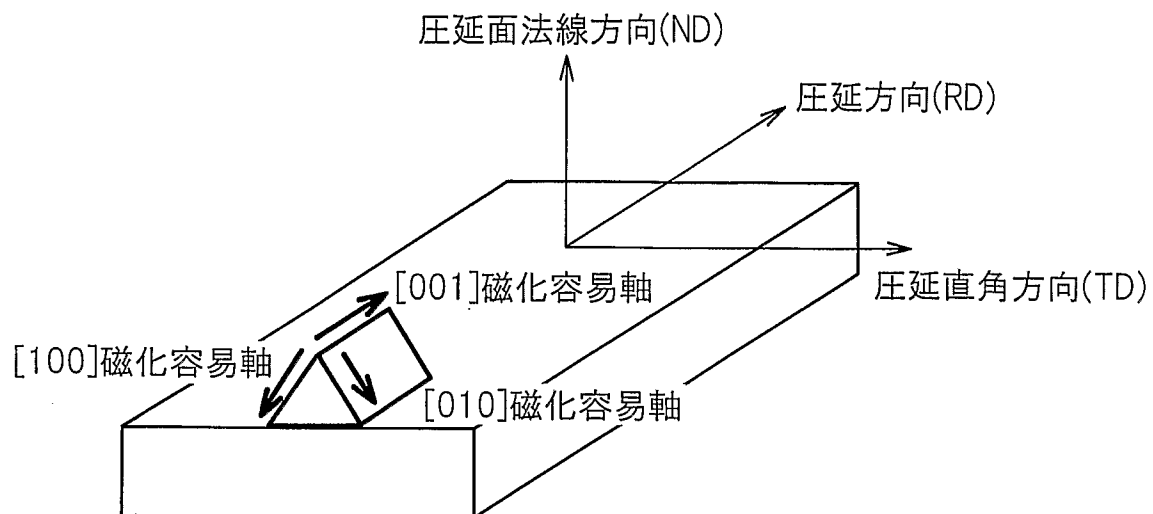
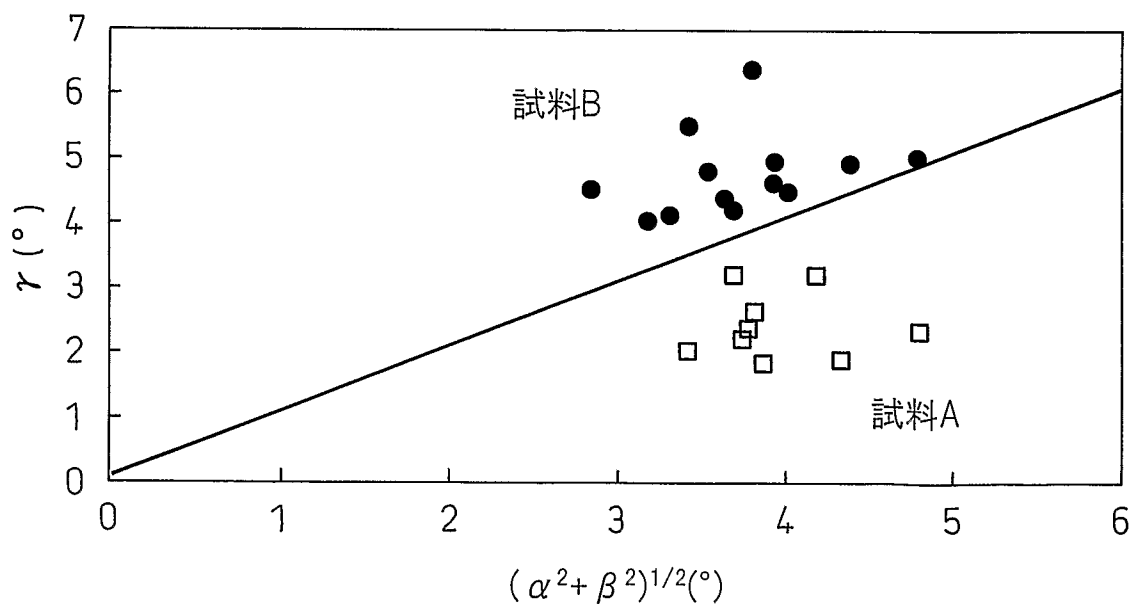


Fig.8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/059812

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C38/00(2006.01) i, C22C38/02(2006.01) i, C22C38/60(2006.01) i, H01F1/16(2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C22C38/00-38/60, H01F1/16-1/18

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2002-60842 A (Nippon Steel Corp.), 28 February, 2002 (28.02.02), Full text & EP 1179603 A2 & KR 2002013442 A & CN 1351186 A & US 2002/038678 A1	1-5

☐ 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
23 July, 2007 (23.07.07)

Date of mailing of the international search report
31 July, 2007 (31.07.07)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C22C38/00(2006.01)i, C22C38/02(2006.01)i, C22C38/60(2006.01)i, H01F1/16(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C22C38/00-38/60, H01F1/16-1/18

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	1971-2007年
日本国実用新案登録公報	1996-2007年
日本国登録実用新案公報	1994-2007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 請求の範囲の番号
X	J P 2 0 0 2 - 6 0 8 4 2 A (新日本製鐵株式会社) 2 0 0 2 . 0 2 . 2 8 , 全文 & E P 1 1 7 9 6 0 3 A 2 & K R 2 0 0 2 0 1 3 4 4 2 A & C N 1 3 5 1 1 8 6 A & U S 2 0 0 2 / 0 3 8 6 7 8 A 1	1 - 5

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

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

の日の後に公表された文献

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

国際調査を完了した日

23.07.2007

国際調査報告の発送日

31.07.2007

国際調査機関の名称及びあて先

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

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐藤 陽一

4 K

9731

電話番号 03-3581-1101 内線 3435