

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-127092

(P2016-127092A)

(43) 公開日 平成28年7月11日(2016.7.11)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)			
<b>HO 1 F</b>	<b>41/02</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 F	41/02	B	5E062
<b>HO 2 K</b>	<b>15/02</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 2 K	15/02	E	5H615

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2014-265754 (P2014-265754)	(71) 出願人	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
(22) 出願日	平成26年12月26日 (2014.12.26)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
		(72) 発明者	上坂 正憲 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
		(72) 発明者	千田 邦浩 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
		(72) 発明者	尾田 善彦 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
		F ターム (参考)	5E062 AA06 AC01 AC06 AC11 最終頁に続く

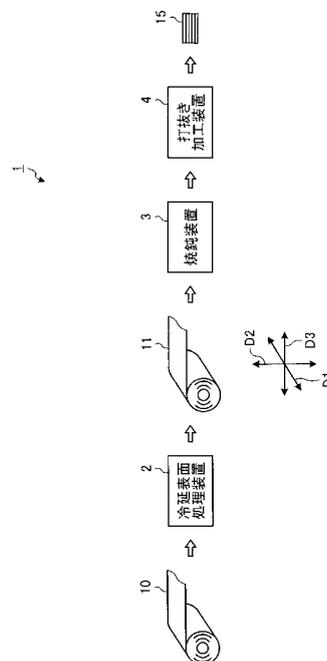
(54) 【発明の名称】 積層鉄心用材料および積層鉄心の製造方法

(57) 【要約】

【課題】良好な打抜き形状を確保するとともに高い占積率の積層鉄心を実現できること。

【解決手段】積層鉄心を製造する際に複数重ね合わせて打抜く積層鉄心用材料をなす鋼板の表面粗度は、算術平均粗さRaで0.40 [μm]以下である。且つ、この積層鉄心用材料をなす鋼板のうちの少なくとも積層鉄心として用いられる部分の板幅方向の板厚偏差は、500 [mm]あたり3 [μm]以下である。このような鋼板を積層鉄心用材料として複数重ね合わせ、これら重ね合わせた複数の鋼板を同時に打抜き、得られた打抜き体を積層し一体化して積層鉄心を形成する。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

積層鉄心を製造する際に複数重ね合わせて打抜く鋼板として用いられる積層鉄心用材料であって、

当該積層鉄心用材料をなす前記鋼板の表面粗度は、算術平均粗さ  $R_a$  で  $0.40 [\mu m]$  以下であり、

当該積層鉄心用材料をなす前記鋼板のうち少なくとも前記積層鉄心として用いられる部分の板幅方向の板厚偏差は、 $500 [mm]$  あたり  $3 [\mu m]$  以下であることを特徴とする積層鉄心用材料。

**【請求項 2】**

前記板厚偏差に  $0.05$  を乗じた値と前記表面粗度との加算値は、 $0.5$  未満であることを特徴とする請求項 1 に記載の積層鉄心用材料。

**【請求項 3】**

当該積層鉄心用材料をなす前記鋼板の板厚は、 $0.25 [mm]$  以下であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の積層鉄心用材料。

**【請求項 4】**

複数の鋼板を重ね合わせる重ね合わせステップと、

重ね合わせた前記複数の鋼板を同時に打抜いて、前記複数の鋼板の打抜き体を得る打抜きステップと、

前記打抜き体を積層一体化して積層鉄心を形成する積層一体化ステップと、  
を含み、

前記重ね合わせステップにおいて複数重ね合わせる前記鋼板の表面粗度は算術平均粗さ  $R_a$  で  $0.40 [\mu m]$  以下であり、前記鋼板のうち少なくとも前記積層鉄心として用いられる部分の板幅方向の板厚偏差は  $500 [mm]$  あたり  $3 [\mu m]$  以下であることを特徴とする積層鉄心の製造方法。

**【請求項 5】**

前記板厚偏差に  $0.05$  を乗じた値と前記表面粗度との加算値は、 $0.5$  未満であることを特徴とする請求項 4 に記載の積層鉄心の製造方法。

**【請求項 6】**

前記重ね合わせステップにおいて複数重ね合わせる前記鋼板の板厚は、 $0.25 [mm]$  以下であることを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の積層鉄心の製造方法。

**【請求項 7】**

重ね合わせた前記複数の鋼板をその板厚方向に押圧して、前記複数の鋼板同士の重ね合わせ面間に存在する空気を抜く押圧処理ステップをさらに含み、

前記打抜きステップは、前記重ね合わせ面間から空気が抜かれた後の前記複数の鋼板を同時に打抜くことを特徴とする請求項 4 ~ 6 のいずれか一つに記載の積層鉄心の製造方法。

**【請求項 8】**

重ね合わせた前記複数の鋼板に対して油性剤を塗布する塗布ステップをさらに含み、

前記押圧処理ステップは、前記油性剤を塗布後の前記複数の鋼板をその板厚方向に押圧することを特徴とする請求項 7 に記載の積層鉄心の製造方法。

**【請求項 9】**

重ね合わせ前の前記鋼板に対して冷間圧延および表面処理を行って、前記表面粗度を算術平均粗さ  $R_a$  で  $0.40 [\mu m]$  以下に調整し且つ前記板厚偏差を  $500 [mm]$  あたり  $3 [\mu m]$  以下に調整する冷延表面処理ステップをさらに含み、

前記重ね合わせステップは、前記冷延表面処理ステップによって調整された前記表面粗度および前記板厚偏差を有する前記鋼板を複数重ね合わせることを特徴とする請求項 4 ~ 8 のいずれか一つに記載の積層鉄心の製造方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】**

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 1 】

本発明は、積層鉄心の製造に用いられる積層鉄心用材料および積層鉄心の製造方法に関するものである。

## 【 背景技術 】

## 【 0 0 0 2 】

従来、積層鉄心を製造する際に用いられる材料、すなわち、積層鉄心用材料として、電磁鋼板のような高透磁率の鋼板が用いられている。一般に、積層鉄心の製造では、高い透磁率を有する薄い鋼板（例えば板厚を薄くした電磁鋼板）が、積層鉄心用材料としてプレス機内に送入され、プレス機によって鉄心形状に打抜かれる。このようにプレス機によって打抜かれた鉄心形状の鋼板構造体（以下、打抜き体という）は、その板厚方向に複数積層され、一体化される。この結果、電動機鉄心等の積層鉄心が製造される。

10

## 【 0 0 0 3 】

磁束密度の高い永久磁石または炭化珪素（SiC）を用いた電動機やパワーデバイスにおいては、近年、省エネルギー化の需要の増加に伴い、新たな積層鉄心用材料による高効率化の期待が高まっている。積層鉄心用材料である電磁鋼板では、電動機等の高速回転時に生じる積層鉄心の渦電流損を低減することを目的として、板厚の薄化が要求されている。これに伴い、板厚が0.35 [mm]以下となる電磁鋼板の需要が高まっている。

## 【 0 0 0 4 】

上述したように、積層鉄心を用いた電動機やパワーデバイスの更なる高効率化を目指して、電磁鋼板の板厚を更に薄化することが要求される傾向にある。しかし、電磁鋼板の板厚の更なる薄化は、積層鉄心の製造に必要な電磁鋼板の積層枚数の増加を招来する。これに起因して、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の打抜きに要する時間が長くなり、この結果、積層鉄心の生産効率が低下するという問題が生じる。また、電磁鋼板の板厚の薄化に伴い電磁鋼板の剛性が低くなるため、プレス機によって打抜かれた電磁鋼板の打抜き体に反りや曲げが発生するという問題が生じる。

20

## 【 0 0 0 5 】

これらの問題を解消するための従来技術として、例えば、特許文献1には、プレス機によって電磁鋼板を打抜く工程よりも前に、複数の電磁鋼板のうち電動機鉄心に使用されない部分同士を固着して、これら複数の電磁鋼板を密着させる工程を行う電動機鉄心の製造方法が開示されている。特許文献2には、複数の電磁鋼板の間に非接着領域を囲まないように接着層を形成し、形成した接着層によって複数の電磁鋼板間を部分的に接着する方法が開示されている。

30

## 【 0 0 0 6 】

また、特許文献3には、アルミナまたはシリカを主成分とする無機系接着剤を複数の電磁鋼板に塗布して、これら複数の電磁鋼板を接着する方法が開示されている。特許文献4には、ガラス転移温度または軟化温度が50 [ ]以上の有機系樹脂からなる接着層によって複数の電磁鋼板を接着する方法が開示されている。

## 【 0 0 0 7 】

さらに、特許文献5には、複数の電磁鋼板の間に介在させた接着剤フィルムにより、これら複数の電磁鋼板を張り合わせて多層積層の鋼板とし、この多層積層の鋼板をプレス機によって打抜いて積層鉄心を製造する方法が開示されている。特許文献6には、複数の電磁鋼板を50 [Kg f / cm<sup>2</sup>]以上の剪断接着強度で接着し、その後、これら複数の電磁鋼板を打抜き加工に供する方法が開示されている。

40

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 3 - 1 5 3 5 0 3 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 3 - 2 6 4 9 6 2 号 公 報

【 特許文献 3 】 特開 2 0 0 5 - 3 3 2 9 7 6 号 公 報

【 特許文献 4 】 特許 第 4 5 8 1 2 2 8 号 公 報

50

【特許文献5】特開2005-191033号公報

【特許文献6】特開2000-173815号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、特許文献1に記載の従来技術では、プレス機によって鉄心形状に打抜く鋼板部分の密着性が十分ではなく、これに起因して、積層鉄心用材料としての鋼板の打抜き体に形状のズレ（例えば真円度のズレ）が生じる虞がある。このような打抜き体の形状のズレは、積層鉄心の磁気特性を劣化させる原因となる。

【0010】

また、特許文献2～5に記載の従来技術では、積層鉄心用材料としての鋼板同士の接着強度が不十分な虞がある。この場合、鋼板同士の接着部分に剥離が生じることから、鋼板同士の密着性が不十分になって、プレス機による鋼板の打抜き体に形状のズレが生じてしまう。これに加え、剥離した鋼板同士を再度接着しなければならず、この作業に手間がかかるという問題がある。

【0011】

一方、特許文献6に記載の従来技術では、積層鉄心用材料としての鋼板同士の十分な接着強度を得るために、接着層の厚さを所定値以上にしなければならない。この結果、鋼板間の接着層を薄くすることが困難となることから、積層鉄心の占積率（積層鉄心の層断面に占める鋼板の割合）が低くなるという問題がある。なお、積層鉄心の占積率が低いことは、積層鉄心のエネルギー損失が増大する原因となる。

【0012】

本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであって、良好な打抜き形状を確保するとともに高い占積率の積層鉄心を実現することができる積層鉄心用材料および積層鉄心の製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明者らは、上述した課題を解決するために鋭意検討を重ねた。その結果、本発明者らは、積層鉄心用材料としての鋼板の表面粗度および板幅方向の板厚偏差を低減することにより、複数の鋼板を重ね合わせて打抜いた時の打抜き体の形状が改善することを見出し、本発明を開発するに至った。すなわち、上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明にかかる積層鉄心用材料は、積層鉄心を製造する際に複数重ね合わせて打抜く鋼板として用いられる積層鉄心用材料であって、当該積層鉄心用材料をなす前記鋼板の表面粗度は、算術平均粗さ $R_a$ で $0.40[\mu\text{m}]$ 以下であり、当該積層鉄心用材料をなす前記鋼板のうちの少なくとも前記積層鉄心として用いられる部分の板幅方向の板厚偏差は、 $500[\text{mm}]$ あたり $3[\mu\text{m}]$ 以下であることを特徴とする。

【0014】

また、本発明にかかる積層鉄心用材料は、上記の発明において、前記板厚偏差に $0.05$ を乗じた値と前記表面粗度との加算値は、 $0.5$ 未満であることを特徴とする。

【0015】

また、本発明にかかる積層鉄心用材料は、上記の発明において、当該積層鉄心用材料をなす前記鋼板の板厚は、 $0.25[\text{mm}]$ 以下であることを特徴とする。

【0016】

また、本発明にかかる積層鉄心の製造方法は、複数の鋼板を重ね合わせる重ね合わせステップと、重ね合わせた前記複数の鋼板を同時に打抜いて、前記複数の鋼板の打抜き体を得る打抜きステップと、前記打抜き体を積層して一体化して積層鉄心を形成する積層一体化ステップと、を含み、前記重ね合わせステップにおいて複数重ね合わせる前記鋼板の表面粗度は算術平均粗さ $R_a$ で $0.40[\mu\text{m}]$ 以下であり、前記鋼板のうちの少なくとも前記積層鉄心として用いられる部分の板幅方向の板厚偏差は $500[\text{mm}]$ あたり $3[\mu\text{m}]$ 以下であることを特徴とする。

10

20

30

40

50

## 【0017】

また、本発明にかかる積層鉄心の製造方法は、上記の発明において、前記板厚偏差に0.05を乗じた値と前記表面粗度との加算値は、0.5未満であることを特徴とする。

## 【0018】

また、本発明にかかる積層鉄心の製造方法は、上記の発明において、前記重ね合わせステップにおいて複数重ね合わせる前記鋼板の板厚は、0.25 [mm]以下であることを特徴とする。

## 【0019】

また、本発明にかかる積層鉄心の製造方法は、上記の発明において、重ね合わせた前記複数の鋼板をその板厚方向に押圧して、前記複数の鋼板同士の重ね合わせ面間に存在する空気を抜く押圧処理ステップをさらに含み、前記打抜きステップは、前記重ね合わせ面間から空気が抜かれた後の前記複数の鋼板を同時に打抜くことを特徴とする。

10

## 【0020】

また、本発明にかかる積層鉄心の製造方法は、上記の発明において、重ね合わせた前記複数の鋼板に対して油性剤を塗布する塗布ステップをさらに含み、前記押圧処理ステップは、前記油性剤を塗布後の前記複数の鋼板をその板厚方向に押圧することを特徴とする。

## 【0021】

また、本発明にかかる積層鉄心の製造方法は、上記の発明において、重ね合わせ前の前記鋼板に対して冷間圧延および表面処理を行って、前記表面粗度を算術平均粗さ  $R_a$  で0.40 [ $\mu\text{m}$ ]以下に調整し且つ前記板厚偏差を500 [mm]あたり3 [ $\mu\text{m}$ ]以下に調整する冷延表面処理ステップをさらに含み、前記重ね合わせステップは、前記冷延表面処理ステップによって調整された前記表面粗度および前記板厚偏差を有する前記鋼板を複数重ね合わせることを特徴とする。

20

## 【発明の効果】

## 【0022】

本発明によれば、良好な打抜き形状を確保するとともに高い占積率の積層鉄心を実現することができるという効果を奏する。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0023】

【図1】図1は、本発明の実施の形態における積層鉄心製造装置の一構成例を示す図である。

30

【図2】図2は、本発明の実施の形態にかかる積層鉄心用材料を用いて製造される積層鉄心の一例を示す図である。

【図3】図3は、本発明の実施の形態における冷延表面処理装置の要部構成の一例を示す図である。

【図4】図4は、本発明の実施の形態における打抜き加工装置の要部構成の一例を示す図である。

【図5】図5は、本発明の実施の形態にかかる積層鉄心の製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図6】図6は、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の表面粗度が打抜き後の鉄心形状としての真円度に及ぼす影響を示す図である。

40

【図7】図7は、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の板厚偏差が打抜き後の鉄心形状としての真円度に及ぼす影響を示す図である。

【図8】図8は、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の製造工程および同時打抜き枚数が打抜き後の鉄心形状としての真円度に及ぼす影響を示す図である。

【図9】図9は、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の圧延油塗布面積率が打抜き後の鉄心形状としての真円度に及ぼす影響を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0024】

以下に、添付図面を参照して、本発明にかかる積層鉄心用材料および積層鉄心の製造方

50

法の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本実施の形態により、本発明が限定されるものではない。また、図面は模式的なものであり、各要素の寸法の関係、各要素の比率等は、現実のものとは異なる場合があることに留意する必要がある。図面の相互間においても、互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている場合がある。また、各図面において、同一構成部分には同一符号が付されている。

#### 【0025】

(積層鉄心製造装置の構成)

まず、本発明の実施の形態にかかる積層鉄心用材料を用いて積層鉄心を製造する積層鉄心製造装置の構成について説明する。図1は、本発明の実施の形態における積層鉄心製造装置の一構成例を示す図である。本実施の形態において、積層鉄心製造装置1は、積層鉄心用材料としての鋼板11を用いて積層鉄心15を製造するものであり、積層鉄心製造ラインの一部をなす。このような積層鉄心製造装置1は、図1に示すように、冷延表面処理装置2と、焼鈍装置3と、打抜き加工装置4とを備える。なお、図1において、太線矢印は、鋼板10、11または積層鉄心15の搬送の流れを示す。

10

#### 【0026】

冷延表面処理装置2は、冷間圧延および表面処理によって積層鉄心用材料を形成するものである。図1に示すように、冷延表面処理装置2は、コイル状に巻かれた状態の鋼板10を順次受け入れ、受け入れた鋼板10に対して冷間圧延および表面処理を行って、この鋼板10の板厚、表面粗度、および板幅方向D1の板厚偏差を調整する。この際、冷延表面処理装置2は、例えば、鋼板10の板厚を0.25 [mm]以下に低減し、鋼板10の表面粗度を算術平均粗さRaで0.40 [μm]以下に低減し、鋼板10の板幅方向D1の板厚偏差を500 [mm]あたり3 [μm]以下に低減する。このようにして、冷延表面処理装置2は、素材としての鋼板10を、積層鉄心用材料としての鋼板11に加工する。その後、冷延表面処理装置2は、積層鉄心用材料として得られた鋼板11をコイル状に巻き取る。鋼板11は、図1に示すように、コイル状に巻かれた状態で冷延表面処理装置2から焼鈍装置3へ順次搬送される。

20

#### 【0027】

ここで、鋼板10は、積層鉄心用材料としての鋼板11を製造するために用いる素材である。このような鋼板10は、所定の金属組成を有するスラブを加熱後に熱間圧延し、得られた熱延鋼板に対して焼鈍処理および酸洗処理等の必要な処理を行うことにより、製造される。

30

#### 【0028】

焼鈍装置3は、冷延表面処理装置2によって製造された積層鉄心用材料、すなわち、鋼板11に対して、仕上げ焼鈍処理を行うものである。図1に示すように、焼鈍装置3は、上述した冷延表面処理装置2の後段に設置される。焼鈍装置3は、冷延表面処理装置2からの鋼板11を連続的に仕上げ焼鈍し、仕上げ焼鈍後の鋼板11をコイル状に巻き取る。仕上げ焼鈍後の鋼板11は、コイル状に巻かれた状態で焼鈍装置3から打抜き加工装置4へ順次搬送される。本実施の形態において、仕上げ焼鈍後の鋼板11は、高い透磁率を有する電磁鋼板(無方向性電磁鋼板等)である。

40

#### 【0029】

打抜き加工装置4は、本発明の実施の形態にかかる積層鉄心用材料を用いて積層鉄心を形成するためのものである。図1に示すように、打抜き加工装置4は、焼鈍装置3の後段に設置される。打抜き加工装置4は、焼鈍装置3による仕上げ焼鈍後の鋼板11を積層鉄心用材料として複数受け入れ、受け入れた複数の鋼板11をその板厚方向D2に重ね合わせる。その後、打抜き加工装置4は、これらの重ね合わせた複数の鋼板11を、目標とする鉄心の形状に同時に打抜く。これにより、打抜き加工装置4は、これら複数の鋼板11から、目標の鉄心形状をなして重なり合う複数の打抜き体(図示せず)を得る。打抜き加工装置4は、このようにして得られた鉄心形状の打抜き体を、その板厚方向D2に複数積層して一体化する。このようにして、打抜き加工装置4は、目標とする積層鉄心15を形成(製造)する。

50

## 【0030】

図2は、本発明の実施の形態にかかる積層鉄心用材料を用いて製造される積層鉄心の一例を示す図である。図2に示す積層鉄心15の積層方向は、図2の紙面に垂直な方向であり、この積層鉄心15を構成する鋼板11の打抜き体の厚さ方向と同じである。本実施の形態において、打抜き加工装置4は、例えば図2に示すようなリング形状の積層鉄心15を製造すべく、この積層鉄心15に対応する鉄心形状（リング形状）に、複数の重なり合う鋼板11を同時に打抜く。これにより、打抜き加工装置4は、図2に示す積層鉄心15と同じリング形状をなす複数の打抜き体を得る。打抜き加工装置4は、これら複数の打抜き体をその板厚方向D2に複数積層して一体化することにより、図2に示すようなリング形状の積層鉄心15を製造することができる。

10

## 【0031】

なお、本実施の形態において、板幅方向D1は、積層鉄心用材料としての鋼板11の板幅の方向である。板厚方向D2は、この鋼板11の板厚の方向である。長手方向D3は、この鋼板11の長手の方向（圧延方向）である。これらの板幅方向D1、板厚方向D2、および長手方向D3は、図1に示すように、互いに垂直である。また、これらの板幅方向D1、板厚方向D2、および長手方向D3は、素材としての鋼板10についても同様である。

## 【0032】

（積層鉄心用材料）

つぎに、本発明の実施の形態にかかる積層鉄心用材料について説明する。本発明の実施の形態にかかる積層鉄心用材料は、積層鉄心を製造する際に複数重ね合わせて打抜く鋼板として用いられる電磁鋼板等の高透磁率材である。本実施の形態において、この積層鉄心用材料としての鋼板11は、上述したように素材としての鋼板10の板厚、表面粗度、および板幅方向D1の板厚偏差を冷間圧延および表面処理によって調整することにより、製造される。すなわち、鋼板11は、冷間圧延前の鋼板10と同じ組成（例えば電磁鋼板としての組成）を有し、表面粗度および板幅方向D1の板厚偏差を鋼板10に比べて低減した薄鋼板である。

20

## 【0033】

上述したような積層鉄心用材料をなす鋼板11の表面粗度は、算術平均粗さRaで0.40[μm]以下であり、この鋼板11の板厚は、0.25[mm]以下である。また、上述したような積層鉄心用材料をなす鋼板11のうちの少なくとも積層鉄心15として用いられる部分（すなわち鉄心形状に打抜かれる部分）の板幅方向D1の板厚偏差は、500[mm]あたり3[μm]以下である。

30

## 【0034】

ここで、鋼板11の表面粗度は、打抜き加工装置4によって複数の鋼板11を重ね合わせて同時に打抜く工程に影響を及ぼす。具体的には、鋼板11の表面粗度が過度に大きい場合、鉄心形状に打抜くべく重ね合わせた複数の鋼板11同士の重ね合わせ面間に、空気を容易に侵入させる程の間隙が生じる。このような重ね合わせ面間の間隙に空気が侵入することに起因して、これら複数の鋼板11に撓みが生じ、この結果、これら複数の鋼板11の打抜き体に形状のばらつきが生じてしまう。また、重ね合わせた複数の鋼板11同士を接着剤や溶接によって接着しても、これら複数の鋼板11同士の重ね合わせ面間の間隙に空気が入り込んでいる状態では、板厚方向D2の上下に重なり合う鋼板11同士の相対的な位置ズレが生じる。これに起因して、これら複数の鋼板11の打抜き体は、目標の鉄心形状から変形した状態あるいは応力を持った状態で積層されることになる。

40

## 【0035】

これに対し、鋼板11の表面粗度を算術平均粗さRaで0.40[μm]以下に低減することにより、上述した複数の鋼板11同士の重ね合わせ面間の間隙が縮小し、故に、この間隙に空気が侵入し難くなる。この結果、重ね合わせた複数の鋼板11の撓みや位置ズレが抑制されることから、これら複数の鋼板11を目標の鉄心形状に精度よく打抜くことができる。したがって、目標の鉄心形状の打抜き体を得るべく複数重ね合わせて打抜く鋼

50

板 1 1 の表面粗度は、算術平均粗さ  $R_a$  で  $0.40 [\mu\text{m}]$  以下とする必要がある。また、これら複数の鋼板 1 1 の打抜き形状（すなわち鋼板 1 1 の打抜き体の形状）を更に改善するためには、鋼板 1 1 の表面粗度を  $0.30 [\mu\text{m}]$  以下とすることが好ましい。

【0036】

上述した表面粗度と同様に複数の鋼板 1 1 を重ね合わせて同時に打抜く工程に影響を及ぼす因子として、鋼板 1 1 の板幅方向 D 1 の板厚偏差がある。具体的には、鋼板 1 1 の板幅方向 D 1 の板厚偏差が過度に大きい場合、鉄心形状に打抜くべく重ね合わせた複数の鋼板 1 1 同士の重ね合わせ面間の隙間に、空気が侵入し易くなる。これに起因して、これら複数の鋼板 1 1 に撓みが生じることから、これら複数の鋼板 1 1 の打抜き形状（すなわち複数の打抜き体の形状）が、ばらついてしまう。

10

【0037】

これに対し、鋼板 1 1 の板幅方向 D 1 の板厚偏差を  $500 [\text{mm}]$  あたり  $3 [\mu\text{m}]$  以下に低減することにより、上述した複数の鋼板 1 1 同士の重ね合わせ面間の隙間が縮小し、故に、この隙間への空気の侵入が抑制される。この結果、重ね合わせた複数の鋼板 1 1 の撓みや位置ズレが抑制されることから、これら複数の鋼板 1 1 の打抜き形状のばらつき（例えば目標の鉄心形状からのばらつき）を低減することができる。したがって、目標の鉄心形状の打抜き体を得るべく複数重ね合わせて打抜く鋼板 1 1 の板幅方向 D 1 の板厚偏差は、 $500 [\text{mm}]$  あたり  $3 [\mu\text{m}]$  以下とする必要がある。また、これら複数の鋼板 1 1 の打抜き形状を更に改善するためには、鋼板 1 1 の板幅方向 D 1 の板厚偏差を  $500 [\text{mm}]$  あたり  $1 [\mu\text{m}]$  以下とすることが好ましい。

20

【0038】

また、上述した鋼板 1 1 の板幅方向 D 1 の板厚偏差に  $0.05$  を乗じた値とこの鋼板 1 1 の表面粗度との加算値が  $0.5$  未満であるという条件を満足する場合、重ね合わせた複数の鋼板 1 1 の打抜き形状を更に改善する効果がある。これは、上述した鋼板 1 1 の表面粗度低減による効果と板幅方向 D 1 の板厚偏差低減による効果との相乗効果によって、複数の鋼板 1 1 同士の重ね合わせ面間の隙間が一層縮小する故に、この隙間への空気の侵入を一層抑制できるからである。

【0039】

本実施の形態において、鋼板 1 1 の表面粗度は、算術平均粗さ  $R_a$  で  $0.40 [\mu\text{m}]$  以下であり、鋼板 1 1 の板幅方向 D 1 の板厚偏差  $x$  は、 $500 [\text{mm}]$  あたり  $3 [\mu\text{m}]$  以下である。この場合、上述した鋼板 1 1 の打抜き形状の更なる改善効果を奏するためには、鋼板 1 1 の表面粗度  $R_a$ （すなわち算術平均粗さ  $R_a$  での表面粗度）および板厚偏差  $x$  が次式（1）を満足することが望ましい。

30

$$0.5 > R_a + 0.05 \times x \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

【0040】

一方、積層鉄心 1 5 を用いる電動機やパワーデバイスの高速回転域では、積層鉄心 1 5 に生じる渦電流損の増大が、積層鉄心 1 5 全体のエネルギー損失を支配している。このような電動機やパワーデバイスの効率を高めるためには、積層鉄心 1 5 における渦電流損の増大を抑制する必要がある。この積層鉄心 1 5 における渦電流損の増大によるエネルギー損失は、積層鉄心用材料をなす鋼板 1 1 の板厚を  $0.25 [\text{mm}]$  以下とすることにより、抑制することができる。これは、鋼板 1 1 の板厚を  $0.25 [\text{mm}]$  以下に薄くすることにより、積層鉄心 1 5 を構成する鋼板 1 1 の打抜き体内部の渦電流によるエネルギー損失を抑制できるからである。また、上述した積層鉄心 1 5 におけるエネルギー損失を一層抑制するためには、鋼板 1 1 の板厚を  $0.20 [\text{mm}]$  以下とすることが望ましい。

40

【0041】

（冷延表面処理装置の構成）

つぎに、本発明の実施の形態における冷延表面処理装置 2 の構成について説明する。図 3 は、本発明の実施の形態における冷延表面処理装置の要部構成の一例を示す図である。

50

本発明の実施の形態における冷延表面処理装置 2 は、素材としての鋼板 10 の冷間圧延および表面処理によって積層鉄心用材料を形成するものであり、図 3 に示すように、タンデム冷間圧延機 21 と、表面処理部 25 とを備える。

#### 【0042】

タンデム冷間圧延機 21 は、順次通板される鋼板 10 を連続的に冷間圧延するものであり、鋼板 10 の通板方向（図 3 の太線矢印参照）に沿って並設される複数の圧延機によって構成される。タンデム冷間圧延機 21 を構成する複数の圧延機の各々は、鋼板 10 を挟み込む一对の圧延ロール等を備え、一对の圧延ロール等の作用によって鋼板 10 を順次冷間圧延する。このような構成を有するタンデム冷間圧延機 21 は、その入側端から出側端に向かって鋼板 10 を走行させつつ、この鋼板 10 を複数の圧延機によって順次冷間圧延する。これにより、タンデム冷間圧延機 21 は、鋼板 10 の板厚を 0.25 [mm] 以下にする。タンデム冷間圧延機 21 は、このように板厚を 0.25 [mm] 以下に冷間圧延した鋼板 10 を表面処理部 25 に向かって順次送出する。

10

#### 【0043】

表面処理部 25 は、冷間圧延後の鋼板 10 の表面粗度および板幅方向 D1（図 1 参照）の板厚偏差を調整する表面処理を行うものである。図 3 に示すように、表面処理部 25 は、タンデム冷間圧延機 21 の後段、すなわち、タンデム冷間圧延機 21 よりも鋼板 10 の通板方向の下流側に配置される。表面処理部 25 は、冷間圧延後の鋼板 10 に対して所定の表面処理を行うことにより、この鋼板 10 の表面粗度を算術平均粗さ Ra で 0.40 [μm] 以下に調整するとともに、この鋼板 10 の板幅方向 D1 の板厚偏差を 500 [mm] あたり 3 [μm] 以下に調整する。この結果、素材としての鋼板 10 は、表面粗度が算術平均粗さ Ra で 0.40 [μm] 以下であり且つ板幅方向 D1 の板厚偏差が 500 [mm] あたり 3 [μm] 以下である板厚 0.25 [mm] 以下の薄鋼板、すなわち、積層鉄心用材料としての鋼板 11 に加工される。上述したようにタンデム冷間圧延機 21 および表面処理部 25 の各作用によって形成された鋼板 11 は、図 3 に示すように、表面処理部 25 から送出された後、コイル状に巻き取られる。

20

#### 【0044】

ここで、表面処理部 25 による鋼板 10 の表面処理は、表面が平滑なロールによって鋼板 10 を軽圧下するものであってもよいし、鋼板 10 の表面を物理的に研削するものであってもよいし、酸性液を用いて鋼板 10 の表面を化学的に研磨するものであってもよい。

30

#### 【0045】

すなわち、表面処理部 25 は、ロール表面の粗度が算術平均粗さ Ra で 0.4 [μm] 以下となるよう予め研磨加工された圧下ロールを必要数備え、このような圧下ロールによって鋼板 10 の表面を軽圧下することにより、鋼板 10 の表面粗度および板幅方向 D1 の板厚偏差を上述した範囲の値に調整してもよい。また、表面処理部 25 は、目の細かい研削盤または研削ロール等の研削手段を備え、この研削手段によって鋼板 10 の表面を物理的に研削することにより、鋼板 10 の表面粗度および板幅方向 D1 の板厚偏差を上述の範囲の値に調整してもよい。あるいは、表面処理部 25 は、酸性液（例えば酸性の水溶液）を収容する容器と、この容器内の酸性液に鋼板 10 を出し入れする搬送ロールとを備え、搬送ロールによって鋼板 10 を容器内の酸性液中に潜らせ、この酸性液によって鋼板 10 の表面を化学的に研磨することにより、鋼板 10 の表面粗度および板幅方向 D1 の板厚偏差を上述の範囲の値に調整してもよい。

40

#### 【0046】

一方、図 3 に示すタンデム冷間圧延機 21 を構成する複数の圧延機のうち最後段に位置する最後段圧延機 22 は、ロール表面の粗度が算術平均粗さ Ra で 0.4 [μm] 以下となるよう予め研磨加工された一对の圧延ロール 22a, 22b を備えてもよい。すなわち、最後段圧延機 22 は、このような一对の圧延ロール 22a, 22b を用い、鋼板 10 を挟み込んで冷間圧延するとともに鋼板 10 の表面を平滑にする表面処理を行い、これにより、鋼板 10 の板厚、表面粗度、および板幅方向 D1 の板厚偏差を上述した範囲の値に調整してもよい。この場合、冷延表面処理装置 2 は、上述した表面処理部 25 を備えていな

50

くてもよい。

【0047】

(打抜き加工装置の構成)

つぎに、本発明の実施の形態における打抜き加工装置4の構成について説明する。図4は、本発明の実施の形態における打抜き加工装置の要部構成の一例を示す図である。本発明の実施の形態における打抜き加工装置4は、積層鉄心用材料としての鋼板11に対して打抜き加工等を行って積層鉄心(例えば図2に示すリング形状の積層鉄心15)を形成するものである。図4に示すように、打抜き加工装置4は、ピンチロール42と、油性剤塗布部43と、押圧部44と、プレス機45とを備える。

【0048】

ピンチロール42は、積層鉄心用材料としての鋼板11をその板厚方向D2に複数重ね合わせる重ね合わせ手段としての機能を有する。具体的には、図4に示すように、ピンチロール42は、一对の回転ロールを用いて構成され、積層鉄心用材料として打抜き加工装置4に供給された複数の鋼板11(例えば3つの鋼板11a, 11b, 11c)の払い出し位置の後段に配置される。本実施の形態において、ピンチロール42は、図4に示すように、積層鉄心用材料として各鋼板コイルから払い出された鋼板11a, 11b, 11cをその通板方向(図4の太線矢印参照)に走行させつつ、これらの鋼板11a, 11b, 11c同士を板厚方向D2に重ね合わせる。

【0049】

油性剤塗布部43は、互いに重なり合う複数の鋼板11に対して油性剤を塗布するものである。具体的には、図4に示すように、油性剤塗布部43は、ピンチロール42の後段に配置される。本実施の形態において、油性剤塗布部43は、ピンチロール42によって重ね合わせた鋼板11a, 11b, 11cに対し、圧延油等の油性剤を塗布する。油性剤塗布後の鋼板11a, 11b, 11cは、重なり合った状態を維持して、油性剤塗布部43から押圧部44へ通板される。

【0050】

押圧部44は、重ね合わせた複数の鋼板11をその板厚方向D2に押圧して、これら複数の鋼板11同士の重ね合わせ面間に存在する空気を抜く押圧処理を行うものである。具体的には、図4に示すように、押圧部44は、一对のゴム製ロールを用いて構成され、油性剤塗布部43の後段に配置される。本実施の形態において、押圧部44は、油性剤塗布部43による油性剤塗布後の鋼板11a, 11b, 11cを、その重ね合わせた状態を維持しつつ長手方向D3に走行させるとともに、板厚方向D2に挟み込んで押圧する。これにより、押圧部44は、これらの鋼板11a, 11b, 11c同士の重ね合わせ面間から空気を抜いて、板厚方向D2に鋼板11a, 11b, 11c同士を密着させる。押圧部44は、このように鋼板11a, 11b, 11c同士を密着させたものである密着体12を、プレス機45に向けて順次送出する。

【0051】

プレス機45は、積層鉄心用材料として重ね合わせた複数の鋼板11を同時に打抜く打抜き加工を行って積層鉄心15を形成するものである。具体的には、図4に示すように、プレス機45は、打抜き加工用の金型46を備え、押圧部44の後段に配置される。金型46は、パンチ46aとダイ46bとを備える。ダイ46bには、目標の鉄心形状に対応した形状の貫通孔であるダイホール47と、積層鉄心用材料としての複数の鋼板11(図4では鋼板11a, 11b, 11c同士の密着体12)に接するダイプレート48とが設けられている。パンチ46aは、プレス機45の制御装置(図示せず)により、ダイ46bに対して昇降可能に構成される。また、金型46は、板押さえ49を備える。板押さえ49は、上述した打抜き加工の際に積層鉄心用材料としての複数の鋼板11における端部付近をパンチ46a側から押さえ、これにより、これら複数の鋼板11をダイプレート48に押し付けて拘束する。

【0052】

本実施の形態では、ダイホール47に対応する位置に設けられたパンチ46aがダイホ

10

20

30

40

50

ール47に挿入されると、金型46に挟み込まれた積層鉄心用材料（具体的には鋼板11a, 11b, 11c同士の密着体12）がダイホール47の形状に従って剪断される。これにより、この密着体12をなす鋼板11a, 11b, 11cが、目標の鉄心形状に同時に打抜かれる。この結果、プレス機45は、これらの鋼板11a, 11b, 11cから打抜いた鉄心形状の打抜き体を複数得る。プレス機45は、このような打抜き加工によって得た複数の打抜き体を、金型46の内部で積層し一体化して積層鉄心15を形成する。

#### 【0053】

（積層鉄心の製造方法）

つぎに、本発明の実施の形態にかかる積層鉄心の製造方法について説明する。図5は、本発明の実施の形態にかかる積層鉄心の製造方法の一例を示すフローチャートである。本発明の実施の形態にかかる積層鉄心の製造方法は、図5に示すステップS101～S107の各処理を順次行い、上述したように熱間圧延等の処理によって準備した鋼板10を積層鉄心用材料としての鋼板11に加工し、得られた鋼板11の打抜き加工等を行って積層鉄心15を製造するものである。

10

#### 【0054】

すなわち、本発明の実施の形態にかかる積層鉄心の製造方法において、積層鉄心製造装置1は、図5に示すように、後述するステップS103による重ね合わせ前の鋼板、すなわち、上述したように素材として予め準備した鋼板10に対し、冷間圧延および表面処理を行って、積層鉄心用材料としての鋼板11を製造する（ステップS101）。

#### 【0055】

ステップS101において、積層鉄心製造装置1の冷延表面処理装置2におけるタンデム冷間圧延機21は、素材としての鋼板10を、その長手方向D3に走行させつつ連続的に冷間圧延する。これにより、タンデム冷間圧延機21は、この鋼板10の板厚を0.25[m]以下にする。このように板厚が0.25[m]以下となるように冷間圧延された鋼板10は、冷延表面処理装置2において、タンデム冷間圧延機21から表面処理部25に順次通板される。表面処理部25は、タンデム冷間圧延機21から送出された冷間圧延後の鋼板10に対し、鋼板10の表面調整のための表面処理を行う。これにより、表面処理部25は、この鋼板10の表面粗度を算術平均粗さRaで0.40[μm]以下に調整するとともに、この鋼板10の板幅方向D1の板厚偏差を500[m]あたり3[μm]以下に調整する。

20

30

#### 【0056】

このステップS101において表面処理部25が鋼板10の表面粗度および板幅方向D1の板厚偏差を調整するための表面処理は、ロール表面の粗度が算術平均粗さRaで0.4[μm]以下である圧下ロールによって鋼板10の表面を軽圧下するものでもよいし、目の細かい研削盤または研削ロール等の研削手段によって鋼板10の表面を物理的に研削するものでもよいし、酸性液中に鋼板10を潜らせて鋼板10の表面を化学的に研磨するものでもよい。

#### 【0057】

あるいは、上述したステップS101において、タンデム冷間圧延機21の最後段圧延機22（図3参照）が、ロール表面の粗度を算術平均粗さRaで0.4[μm]以下とした一対の圧延ロール22a, 22bによって、鋼板10を上述した範囲の板厚に冷間圧延するとともに、鋼板10の表面粗度および板幅方向D1の板厚偏差を上述した範囲の値に調整する表面処理を行ってもよい。この場合、ステップS101において、表面処理部25による鋼板10の表面処理は行わなくてもよい。

40

#### 【0058】

上述したステップS101の冷延表面処理により、素材としての鋼板10は、表面粗度が算術平均粗さRaで0.40[μm]以下であり、板幅方向D1の板厚偏差が500[m]あたり3[μm]以下であり、板厚が0.25[m]以下である薄鋼板に加工される。冷延表面処理装置2は、このような薄鋼板を、積層鉄心用材料である鋼板11として製造する。製造された鋼板11は、図3に示すように、コイル状に巻き取られ、その後

50

、次工程に送出される。

【0059】

ステップS101を実行後、積層鉄心製造装置1は、積層鉄心用材料としての鋼板11を仕上げ焼鈍する(ステップS102)。ステップS102において、積層鉄心製造装置1の焼鈍装置3は、コイル状に巻かれた状態の鋼板11を冷延表面処理装置2側から受け入れ、受け入れた鋼板11を、その長手方向D3に走行させつつ連続的に仕上げ焼鈍する。焼鈍装置3による仕上げ焼鈍後の鋼板11は、コイル状に巻き取られ、その後、次工程に送出される。

【0060】

ステップS102を実行後、積層鉄心製造装置1は、上述した仕上げ焼鈍後の鋼板11を、積層鉄心用材料として焼鈍装置3側から複数受け入れ、これら複数の鋼板11を用いてステップS103~S107の各処理を順次行う。これにより、積層鉄心製造装置1は、目標の積層鉄心15を製造する。以下、積層鉄心用材料である複数の鋼板11として、図4に示す3つの鋼板11a, 11b, 11cを適宜例示して、ステップS103~S107の各処理を説明する。

10

【0061】

上述したステップS102の次工程として、積層鉄心製造装置1の打抜き加工装置4は、積層鉄心用材料である複数の鋼板11を重ね合わせる(ステップS103)。ステップS103において、打抜き加工装置4のピンチロール42は、上述したステップS101によって調整された表面粗度および板厚偏差を有する鋼板11を複数重ね合わせる。具体的には、図4に示したように、ピンチロール42は、積層鉄心用材料として受け入れた3つの鋼板コイルから各々払い出された鋼板11a, 11b, 11cを、通板方向に走行させつつ板厚方向D2に重ね合わせる。

20

【0062】

このステップS103において複数重ね合わせる鋼板11(例えば鋼板11a, 11b, 11cの各々)は、上述したステップS101の冷延表面処理によって板厚、表面粗度、および板幅方向D1の板厚偏差を調整した鋼板である。すなわち、この鋼板11の板厚は0.25[mm]以下であり、この鋼板11の表面粗度は算術平均粗さRaで0.40[μm]以下である。また、この鋼板11のうち少なくとも積層鉄心15として用いられる部分(鉄心形状に打抜かれる部分)の板幅方向D1の板厚偏差は、500[mm]あたり3[μm]以下である。このような鋼板11の表面粗度および板幅方向D1の板厚偏差は、上述した式(1)によって表される条件を満足することが望ましい。すなわち、鋼板11の板幅方向D1の板厚偏差に0.05を乗じた値と同鋼板11の表面粗度との加算値は0.5未満であることが望ましい。

30

【0063】

ステップS103を実行後、積層鉄心製造装置1の打抜き加工装置4は、上述したステップS103によって重ね合わせた複数の鋼板11に対して油性剤を塗布する(ステップS104)。具体的には、ステップS104において、打抜き加工装置4の油性剤塗布部43は、ピンチロール42によって重ね合わせた鋼板11a, 11b, 11cに対し、圧延油等の油性剤を塗布する。ついで、油性剤塗布部43は、油性剤塗布後の鋼板11a, 11b, 11cを、重ね合わせた状態に維持して押圧部44に向け走行させる。

40

【0064】

ステップS104を実行後、積層鉄心製造装置1の打抜き加工装置4は、上述したステップS104による油性剤塗布後の複数の鋼板11に対し押圧処理を行って、これら複数の鋼板11同士を密着させる(ステップS105)。

【0065】

ステップS105において、打抜き加工装置4の押圧部44は、上述したように重ね合わせた状態で油性剤を塗布した後の複数の鋼板11をその板厚方向D2に押圧して、これら複数の鋼板11同士の重ね合わせ面間に存在する空気を抜く。具体的には、図4に示したように、押圧部44は、油性剤塗布部43による油性剤塗布後の鋼板11a, 11b,

50

11cを、重ね合わせた状態に維持しながら長手方向D3に走行させるとともに、板厚方向D2に挟み込んで押圧する。これにより、押圧部44は、これらの鋼板11a, 11b, 11c同士の重ね合わせ面間から空気を抜く。押圧部44は、このような押圧処理により、鋼板11a, 11b, 11c同士の板厚方向D2に密着させて密着体12を形成する。押圧部44は、この形成した鋼板11a, 11b, 11cの密着体12をプレス機45に向けて順次送出する。

【0066】

ステップS105を実行後、積層鉄心製造装置1の打抜き加工装置4は、上述したように重ね合わせた複数の鋼板11を同時に打抜いて、これら複数の鋼板11の打抜き体を得る(ステップS106)。

10

【0067】

ステップS106において、打抜き加工装置4のプレス機45は、上述したステップS105によって重ね合わせ面から空気が抜かれた後の複数の鋼板11を、金型46の駆動によって同時に打抜く。具体的には、図4に示したように、プレス機45は、金型46のパンチ46aとダイ46bとの間に密着体12を挟み込んで拘束する。ついで、プレス機45は、ダイ46bに対してパンチ46aを昇降させることにより、この密着体12をなす鋼板11a, 11b, 11cを、目標の鉄心形状に同時に打抜く。これにより、プレス機45は、これらの鋼板11a, 11b, 11cから打抜いた鉄心形状の打抜き体を複数得る。

【0068】

20

ステップS106を実行後、積層鉄心製造装置1の打抜き加工装置4は、上述したステップS106によって得られた複数の打抜き体を積層し一体化して積層鉄心15を形成し(ステップS107)、本処理を終了する。

【0069】

具体的には、ステップS107において、打抜き加工装置4のプレス機45は、鋼板11a, 11b, 11cの密着体12に対する打抜き加工によって得られた複数の打抜き体を、金型46の内部で積層して一体化する。この際、プレス機45は、例えば、密着体12から複数の打抜き体を得た後、パンチ46aの下降を利用し、金型46の内部で積層した状態の打抜き体同士をカシメによって一体化する。この結果、プレス機45は、目標形状(例えば図2に示したリング形状)の積層鉄心15を製造する。

30

【0070】

なお、このステップS107において、鉄心形状の打抜き体同士の一体化は、プレス機45が金型46によってカシメ用のダボを打抜き体に形成し、このダボを所定の装置によって押圧して打抜き体同士のカシメを行うことにより、実現してもよい。また、鉄心形状の打抜き体同士の一体化は、金型46の外部で打抜き体同士を溶接することにより、あるいは、ボルトや接着剤等の固定手段を用いて打抜き体同士を固定することにより、実現してもよい。

【0071】

本発明の実施の形態にかかる積層鉄心の製造方法において、上述したステップS101~S107の各処理は、積層鉄心用材料である鋼板11を製造する都度、あるいは、複数の鋼板11を用いて積層鉄心15を製造する都度、繰り返し実行される。

40

【0072】

(実施例1)

つぎに、本発明の実施例1について説明する。実施例1では、鋼中に0.002[mass%]の炭素(C)と3.6[mass%]の珪素(Si)と0.10[mass%]のアルミニウムと0.3[mass%]のマンガン(Mn)と0.0015[mass%]の硫黄(S)と0.002[mass%]の窒素(N)とを含有するスラブを、1100[ ]の温度で加熱した後、2.0[mm]の板厚まで熱間圧延し、得られた熱延鋼板を950[ ]の温度で焼鈍し、この焼鈍後の熱延鋼板を酸洗して、素材としての鋼板10を製造した。

50

## 【0073】

また、実施例1では、このような鋼板10を、板厚が0.20[m]となるようにタンデム冷間圧延機21(図3参照)によって冷間圧延し、これにより、素材としての鋼板11を製造した。この際、タンデム冷間圧延機21における最後段圧延機22の圧延ロール22a, 22bは、ロール表面の粗度が算術平均粗さRaで0.2[μm]以上、0.40[μm]以下のものとした。その後、この鋼板11に対し、750[ ]の温度で仕上げ焼鈍を行い、積層鉄心用材料としての鋼板11である電磁鋼板を製造した。

## 【0074】

上述したようにして得られた鋼板11について板幅方向D1に100[m]の間隔で5点の測定位置を決め、ACCURETECH製表面粗さ測定機SURFCOM130Aを用い、板厚方向D2に50[m]を測定範囲として0.001[μm]の分解能で鋼板11の表面粗度Raを測定した。また、レーザ距離計を用いて板幅方向D1に100[m]の間隔で鋼板11の板厚を5点測定し、この測定結果に基づいて、板幅方向D1の長さ500[m]あたりの鋼板11の板厚偏差xを求めた。

## 【0075】

また、実施例1では、表面粗度Raおよび板厚偏差xを測定後の鋼板11を打抜き加工装置4(図4参照)に2枚供給して互いに重ね合わせ、これら重ね合わせた2枚の鋼板11を、押圧部44によって板厚方向D2に押し付けた後、プレス機45によって、外径aが80[m]であり且つ内径bが60[m]であるリング形状に同時に打抜いた。以上のようにして、実施例1では、本発明の要件を満足するサンプル(以下、本発明例のサンプルという)を製造した。その後、実施例1では、得られた本発明例のサンプルについて、打抜き後の鉄心形状を評価するための値としての真円度aを求めた。実施例1において、真円度aは、上述した鋼板11の打抜き加工によって得られた10枚の打抜き体(試験片)の各真円度を計測し、得られた各真円度の計測値を平均したものである。

## 【0076】

一方、実施例1における本発明例のサンプルと比較する例として、比較例のサンプルを製造した。実施例1において、比較例のサンプルの製造方法は、圧延ロール22a, 22bのロール表面の粗度を算術平均粗さRaで0.40[μm]超過、0.60[μm]以下として冷間圧延を行い、これ以外を本発明例のサンプルと同じにした。また、実施例1では、このような比較例のサンプルの表面粗度Ra、板厚偏差x、および真円度aを、上述した本発明例のサンプルと同様の方法によって測定し、取得した。

## 【0077】

実施例1では、本発明例のサンプルと比較例のサンプルとについて、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の表面粗度Raおよび板厚偏差xが打抜き後の鉄心形状としての真円度aに及ぼす影響を評価した。その評価結果を表1に示す。表1において、サンプル#5~#10, #13~#20は、本発明例のサンプルである。サンプル#1~#4, #11, #12は、比較例のサンプルである。また、図6は、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の表面粗度が打抜き後の鉄心形状としての真円度に及ぼす影響を示す図である。図7は、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の板厚偏差が打抜き後の鉄心形状としての真円度に及ぼす影響を示す図である。

## 【0078】

10

20

30

40

【表 1】  
(表1)

サンプル番号	表面粗度Ra [ $\mu\text{m}$ ]	板厚偏差x [ $\mu\text{m}$ ]	真円度a [mm]	備考
サンプル#1	0.5	2.6	0.44	比較例
サンプル#2	0.47	2.4	0.40	比較例
サンプル#3	0.45	2.4	0.36	比較例
サンプル#4	0.42	2.6	0.31	比較例
サンプル#5	0.39	2.4	0.23	本発明例
サンプル#6	0.35	2.6	0.15	本発明例
サンプル#7	0.3	2.6	0.09	本発明例
サンプル#8	0.25	2.6	0.08	本発明例
サンプル#9	0.22	2.6	0.08	本発明例
サンプル#10	0.38	2.6	0.19	本発明例
サンプル#11	0.36	4.1	0.72	比較例
サンプル#12	0.36	3.2	0.38	比較例
サンプル#13	0.36	2.9	0.28	本発明例
サンプル#14	0.36	2.8	0.19	本発明例
サンプル#15	0.35	2.5	0.16	本発明例
サンプル#16	0.36	2.1	0.17	本発明例
サンプル#17	0.35	2	0.14	本発明例
サンプル#18	0.36	1.5	0.12	本発明例
サンプル#19	0.36	0.8	0.08	本発明例
サンプル#20	0.36	0.5	0.06	本発明例

10

20

30

40

50

## 【0079】

表1および図6, 7を参照して分かるように、表面粗度Raが0.40 [ $\mu\text{m}$ ]以下であり、且つ、板厚偏差xが板幅方向D1について500 [mm]あたり3 [ $\mu\text{m}$ ]以下である場合、真円度aは低減している。このことから、積層鉄心用材料としての鋼板11の表面粗度Raおよび板厚偏差xを、本発明の要件範囲内の値に適正に調整することにより、打抜き加工後の鉄心形状が改善していることが分かる。

## 【0080】

(実施例2)

つぎに、本発明の実施例2について説明する。実施例2では、鋼中に0.002 [mass %]の炭素(C)と2.5 [mass %]の珪素(Si)と0.70 [mass %]のアルミニウムと0.05 [mass %]のマンガン(Mn)と0.0020 [mass %]の硫黄(S)と0.002 [mass %]の窒素(N)とを含有するスラブを、1100 [ ]の温度で加熱した後、2.0 [mm]の板厚まで熱間圧延し、得られた熱延鋼板を950 [ ]の温度で焼鈍し、この焼鈍後の熱延鋼板を酸洗して、素材としての鋼板10を製造した。

## 【0081】

また、実施例2では、このような鋼板10を、板厚が0.20 [mm]となるようにタンドム冷間圧延機21 (図3参照)によって冷間圧延した。ついで、冷間圧延後の鋼板10を、硝酸濃度が10 [%]の硝酸水溶液に10秒間浸漬した後に洗浄する表面処理部25の工程 (以下、工程Aという)を行い、これにより、素材としての鋼板11を製造した。さらに、実施例2では、この工程Aを通した鋼板11とは別に、上述した冷間圧延後の鋼板10を、ロール表面の粗度が算術平均粗さRaで0.30 [ $\mu$ m]の圧下ロールによって軽圧下する表面処理部25の工程 (以下、工程Bという)を行い、これにより、素材としての鋼板11を製造した。その後、これらの鋼板11に対し、750 [ ]の温度で仕上げ焼鈍を行い、積層鉄心用材料としての鋼板11である電磁鋼板を製造した。以上のようにして得られた実施例2の鋼板11については、上述した実施例1と同様に、表面粗度Raおよび板厚偏差xを測定して得た。

10

## 【0082】

つぎに、実施例2では、表面粗度Raおよび板厚偏差xを測定後の鋼板11を打抜き加工装置4 (図4参照)に2枚または3枚供給して互いに重ね合わせ、これら重ね合わせた2枚または3枚の鋼板11を、押圧部44によって板厚方向D2に押し付けた。ついで、これら重ね合わせて押圧した後の2枚または3枚の鋼板11を、プレス機45によって、外径aが80 [mm]であり且つ内径bが60 [mm]であるリング形状に同時に打抜いた。以上のようにして、実施例2における本発明例のサンプルを製造した。その後、実施例2における本発明例のサンプルについて、上述した実施例1と同様に、真円度aを求めた。

20

## 【0083】

一方、実施例2における本発明例のサンプルと比較する例として、比較例のサンプルを製造した。実施例2において、比較例のサンプルの製造方法は、上述した工程Aまたは工程Bを、冷間圧延後の鋼板10に対して表面処理部25による表面処理を施さない工程 (以下、工程Cという)に置き換えて、冷間圧延ままの鋼板11を積層鉄心用材料とし、これ以外を本発明例のサンプルと同じにした。また、実施例2では、このような比較例のサンプルの表面粗度Ra、板厚偏差x、および真円度aを、上述した本発明例のサンプルと同様の方法によって測定し、取得した。

## 【0084】

実施例2では、本発明例のサンプルと比較例のサンプルとについて、上述した積層鉄心用材料の製造時の工程A, B, Cと、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の同時打抜き枚数と、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の表面粗度Raおよび板厚偏差xとが、打抜き後の鉄心形状としての真円度aに及ぼす影響を評価した。その評価結果を表2に示す。表2において、サンプル#21~#24は、本発明例のサンプルである。サンプル#25, #26は、比較例のサンプルである。また、図8は、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の製造工程および同時打抜き枚数が打抜き後の鉄心形状としての真円度に及ぼす影響を示す図である。

30

## 【0085】

【表 2】  
(表2)

サンプル番号	工程	同時打抜き枚数	表面粗度Ra [ $\mu\text{m}$ ]	板厚偏差x [ $\mu\text{m}$ ]	真円度a [mm]	備考
サンプル#21	A	2	0.22	2.1	0.08	本発明例
サンプル#22	A	3	0.22	2.1	0.10	本発明例
サンプル#23	B	2	0.32	2.6	0.14	本発明例
サンプル#24	B	3	0.32	2.6	0.17	本発明例
サンプル#25	C	2	0.5	2.4	0.41	比較例
サンプル#26	C	3	0.5	2.4	0.49	比較例

10

## 【0086】

表 2 および図 8 を参照して分かるように、工程 A または工程 B を行うことにより、鋼板 11 の表面粗度  $R_a$  を  $0.40$  [ $\mu\text{m}$ ] 以下に調整し、且つ、板厚偏差  $x$  を板幅方向 D1 について  $500$  [ $\mu\text{m}$ ] あたり  $3$  [ $\mu\text{m}$ ] 以下に調整することができる。このような鋼板 11 を積層鉄心用材料として用いることにより、同時打抜き枚数が 2 枚または 3 枚のいずれの場合であっても、工程 C を通した鋼板 11 の場合に比べ、真円度  $a$  は低減している。このことから、積層鉄心用材料としての鋼板 11 の表面粗度  $R_a$  および板厚偏差  $x$  を本発明の要件範囲内の値に適正に調整し得る工程（例えば工程 A または工程 B）を行うことにより、鋼板 11 の同時打抜き枚数によらず、打抜き加工後の鉄心形状が改善していることが分かる。

20

## 【0087】

(実施例 3)

つぎに、本発明の実施例 3 について説明する。実施例 3 では、鋼中に  $0.002$  [ $\text{mass}\%$ ] の炭素 (C) と  $2.5$  [ $\text{mass}\%$ ] の珪素 (Si) と  $0.70$  [ $\text{mass}\%$ ] のアルミニウムと  $0.05$  [ $\text{mass}\%$ ] のマンガン (Mn) と  $0.0020$  [ $\text{mass}\%$ ] の硫黄 (S) と  $0.002$  [ $\text{mass}\%$ ] の窒素 (N) とを含有するスラブを、 $1100$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] の温度で加熱した後、 $2.0$  [ $\text{mm}$ ] の板厚まで熱間圧延し、得られた熱延鋼板を  $950$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] の温度で焼鈍し、この焼鈍後の熱延鋼板を酸洗して、素材としての鋼板 10 を製造した。

30

## 【0088】

また、実施例 3 では、このような鋼板 10 を、板厚が  $0.20$  [ $\text{mm}$ ] となるようにタンデム冷間圧延機 21 (図 3 参照) によって冷間圧延し、これにより、素材としての鋼板 11 を製造した。この際、タンデム冷間圧延機 21 における最後段圧延機 22 の圧延ロール 22a, 22b は、ロール表面の粗度が算術平均粗さ  $R_a$  で  $0.3$  [ $\mu\text{m}$ ] のものとした。その後、この鋼板 11 に対し、 $750$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] の温度で仕上げ焼鈍を行い、積層鉄心用材料としての鋼板 11 である電磁鋼板を製造した。以上のようにして得られた実施例 3 の鋼板 11 については、上述した実施例 1 と同様に、表面粗度  $R_a$  および板厚偏差  $x$  を測定して得た。

40

## 【0089】

つぎに、実施例 3 では、表面粗度  $R_a$  および板厚偏差  $x$  を測定後の鋼板 11 を打抜き加工装置 4 (図 4 参照) に 2 枚供給して互いに重ね合わせ、これら重ね合わせた 2 枚の鋼板 11 の表面に圧延油を塗布した。この際、鋼板 11 の表面に対する圧延油の塗布面積の割合 (以下、圧延油塗布面積率という) は、鋼板 11 の全面の  $0 \sim 100$  [%] の範囲内で変化させた。続いて、上述したように圧延油塗布後の 2 枚の鋼板 11 を、押圧部 44 によって板厚方向 D2 に押し付けて密着させ、これら密着した 2 枚の鋼板 11 を、プレス機 4

50

5によって、外径  $a$  が 80 [mm] であり且つ内径  $b$  が 60 [mm] であるリング形状に同時に打抜いた。以上のようにして、実施例 3 における本発明例のサンプルを製造した。その後、実施例 3 における本発明例のサンプルについて、上述した実施例 1 と同様に、真円度  $a$  を求めた。

【0090】

実施例 3 では、本発明例のサンプルについて、圧延油塗布面積率 [%] と、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の表面粗度  $R_a$  および板厚偏差  $x$  とが、打抜き後の鉄心形状としての真円度  $a$  に及ぼす影響を評価した。その評価結果を表 3 に示す。表 3 において、サンプル # 31 ~ # 36 は、本発明例のサンプルである。また、図 9 は、積層鉄心用材料としての電磁鋼板の圧延油塗布面積率が打抜き後の鉄心形状としての真円度に及ぼす影響を示す図である。

10

【0091】

【表 3】

(表3)

サンプル番号	圧延油塗布面積率[%]	表面粗度 $R_a$ [ $\mu m$ ]	板厚偏差 $x$ [ $\mu m$ ]	真円度 $a$ [mm]	備考
サンプル#31	0	0.3	2.8	0.18	本発明例
サンプル#32	10	0.3	2.8	0.15	本発明例
サンプル#33	20	0.3	2.8	0.13	本発明例
サンプル#34	50	0.3	2.8	0.11	本発明例
サンプル#35	70	0.3	2.8	0.11	本発明例
サンプル#36	100	0.3	2.8	0.10	本発明例

20

【0092】

表 3 および図 9 を参照して分かるように、表面粗度  $R_a$  が 0.40 [ $\mu m$ ] 以下であり且つ板厚偏差  $x$  が板幅方向  $D_1$  について 500 [mm] あたり 3 [ $\mu m$ ] 以下である鋼板 11 を重ね合わせたものに圧延油を塗布することにより、真円度  $a$  は低減している。このことから、積層鉄心用材料としての鋼板 11 の表面粗度  $R_a$  および板厚偏差  $x$  を本発明の要件範囲内の値に適正に調整したうえで、板厚方向  $D_2$  に鋼板 11 同士を重ね合わせたものに圧延油を塗布することにより、打抜き加工後の鉄心形状が一層改善していることが分かる。

30

【0093】

以上、説明したように、本発明の実施の形態では、積層鉄心を製造する際に複数重ね合わせて打抜く積層鉄心用材料をなす鋼板の表面粗度を算術平均粗さ  $R_a$  で 0.40 [ $\mu m$ ] 以下とし、この積層鉄心用材料をなす鋼板のうち少なくとも積層鉄心として用いられる部分の板幅方向の板厚偏差を 500 [mm] あたり 3 [ $\mu m$ ] 以下としている。

40

【0094】

このため、積層鉄心用材料としての鋼板同士を板厚方向に複数重ね合わせた際、これら複数の鋼板同士の重ね合わせ面間に空気が侵入し難くなる。それ故、これら重ね合わせた複数の鋼板同士を打抜き加工前に密着させるとともに、これら重ね合わせた鋼板同士の密着面積を可能な限り大きくすることができる。これにより、積層鉄心用材料である複数の鋼板同士の重ね合わせ面間に接着剤を介在させなくとも、これら重ね合わせた複数の鋼板同士の十分な密着強度を確保することができる。この結果、積層鉄心用材料として重ね合わせた複数の鋼板を同時に打抜く際、鋼板の浮き上がりおよび位置ズレを抑制できることから、目標の鉄心形状に合った鋼板の良好な打抜き形状を確保することができる。さらには、これら複数の鋼板同士の密着に接着剤を必要としないことから、高い占積率の積層鉄

50

心を実現することができる。

【0095】

本発明によれば、目標の鉄心形状の打抜き加工に優れた鋼板を積層鉄心用材料として実現することができ、このような積層鉄心用材料としての鋼板を用いることにより、板厚方向に重ね合わせた複数の鋼板を同時に打抜いて得られる複数の打抜き体の、目標の鉄心形状からの形状ズレを抑制することができる。この結果、磁気特性の劣化を可能な限り抑制した積層鉄心を安定して製造することができる。さらには、積層鉄心の高い占積率を確保することができ、この結果、エネルギー損失の低い、優れた積層鉄心を製造することができる。

【0096】

また、本発明の実施の形態では、積層鉄心用材料としての鋼板の板厚偏差に0.05を乗じた値と同鋼板の表面粗度との加算値を、0.5未満にしている。このため、上述した鋼板の表面粗度低減による効果と板厚偏差低減による効果との相乗効果を得ることができる。この結果、複数の鋼板同士の重ね合わせ面間への空気の侵入を一層抑制できることから、積層鉄心用材料としての鋼板の打抜き形状を更に改善することができる。

【0097】

さらに、本発明の実施の形態では、積層鉄心用材料として板厚方向に重ね合わせた複数の鋼板に対し、圧延油等の油性剤を塗布している。このため、これら重ね合わせた複数の鋼板同士を、板厚方向の押圧によって一層強く密着させることができる。これにより、打抜き加工時の鋼板の浮き上がりおよび位置ズレを一層抑制することができる。この結果、積層鉄心用材料としての鋼板の打抜き形状をより一層改善することができる。

【0098】

なお、上述した実施の形態では、リング形状の積層鉄心を製造する場合の積層鉄心用材料および積層鉄心の製造方法を説明していたが、本発明は、これに限定されるものではない。本発明にかかる積層鉄心用材料および積層鉄心の製造方法は、矩形状等、リング形状以外の形状の積層鉄心を製造するためのものであってもよい。すなわち、本発明において、製造される積層鉄心の形状（目標の鉄心形状）は、特に問われない。また、製造される積層鉄心の用途も、電動機またはパワーデバイス用に限らず、特に問われない。

【0099】

また、上述した実施の形態では、積層鉄心用材料としての鋼板を2枚または3枚重ね合わせて打抜いていたが、本発明は、これに限定されるものではない。本発明では、積層鉄心用材料として板厚方向に重ね合わせる鋼板の数は、複数（2枚以上）であればよい。

【0100】

さらに、上述した実施の形態では、積層鉄心用材料として電磁鋼板を例示したが、本発明は、これに限定されるものではない。本発明にかかる積層鉄心用材料としての鋼板は、電磁鋼板に限らず、電磁鋼板以外の鋼板であってもよいし、鋼板以外の鉄合金板であってもよい。

【0101】

また、上述した実施の形態および実施例により本発明が限定されるものではなく、上述した各構成要素を適宜組み合わせる構成したものも本発明に含まれる。その他、上述した実施の形態および実施例に基づいて当業者等によりなされる他の実施の形態、実施例および運用技術等は全て本発明に含まれる。

【符号の説明】

【0102】

- 1 積層鉄心製造装置
- 2 冷延表面処理装置
- 3 焼鈍装置
- 4 打抜き加工装置
- 10, 11, 11a, 11b, 11c 鋼板
- 12 密着体

10

20

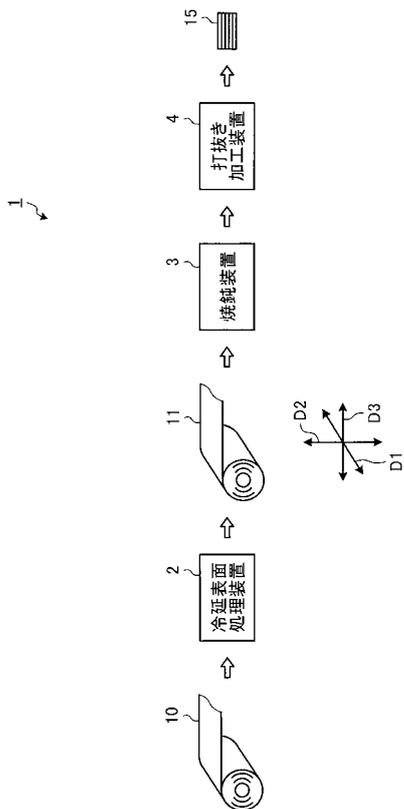
30

40

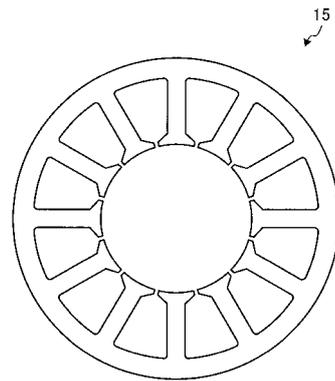
50

- 1 5 積層鉄心
- 2 1 タンデム冷間圧延機
- 2 2 最後段圧延機
- 2 2 a , 2 2 b 圧延ロール
- 2 5 表面処理部
- 4 2 ピンチロール
- 4 3 油性剤塗布部
- 4 4 押圧部
- 4 5 プレス機
- 4 6 金型
- 4 6 a パンチ
- 4 6 b ダイ
- 4 7 ダイホール
- 4 8 ダイプレート
- 4 9 板押さえ
- D 1 板幅方向
- D 2 板厚方向
- D 3 長手方向

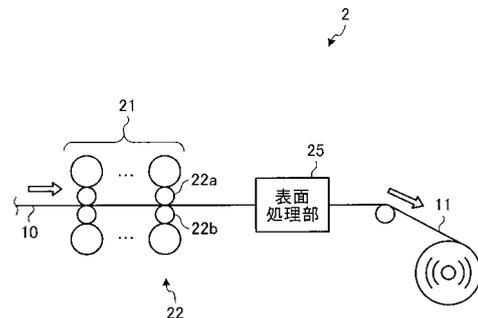
【 図 1 】



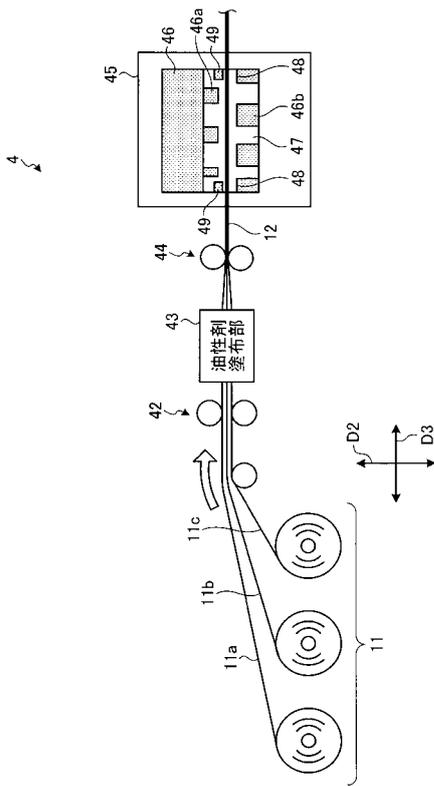
【 図 2 】



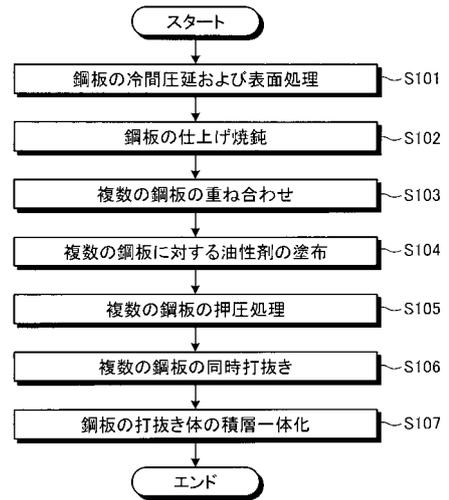
【 図 3 】



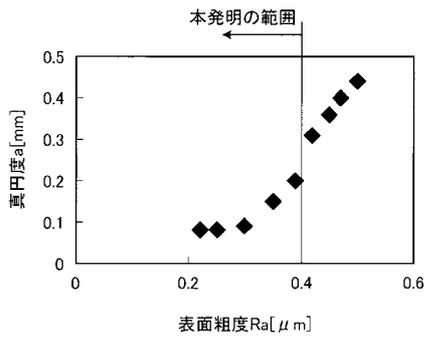
【 図 4 】



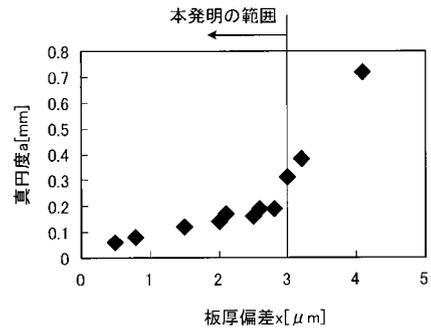
【 図 5 】



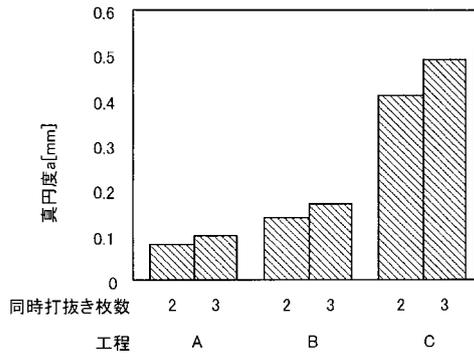
【 図 6 】



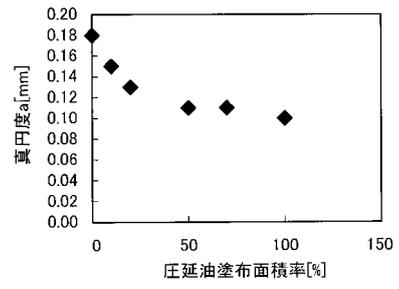
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5H615 AA01 BB01 BB05 PP06 SS02 SS03 SS07 SS24 SS33