

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7488824号
(P7488824)

(45)発行日 令和6年5月22日(2024.5.22)

(24)登録日 令和6年5月14日(2024.5.14)

(51) 國際特許分類

H 0 1 F 27/24 (2006.01)
H 0 1 F 27/245 (2006.01)

1

H 0 1 F 27/24

P

H 0 1 F 27/245 1 5 5

請求項の数 12 (全17頁)

(21)出願番号	特願2021-544037(P2021-544037)	(73)特許権者	000006655 日本製鉄株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(86)(22)出願日	令和2年9月3日(2020.9.3)		
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/033491	(74)代理人	110001519 弁理士法人太陽国際特許事務所
(87)国際公開番号	WO2021/045169		
(87)国際公開日	令和3年3月11日(2021.3.11)	(72)発明者	茂木 尚 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
審査請求日	令和4年3月3日(2022.3.3)		日本製鉄株式会社内
審判番号	不服2023-8861(P2023-8861/J1)	(72)発明者	水村 崇人 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
審判請求日	令和5年5月30日(2023.5.30)		日本製鉄株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2019-160544(P2019-160544)	(72)発明者	玉木 輝幸 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(32)優先日	令和1年9月3日(2019.9.3)		日本製鉄株式会社内
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72)発明者	藤村 浩志 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号

(54)【発明の名称】 卷鉄心

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の電磁鋼板が互いに重なり合うように側面視で環状に積層された積層体を備え、前記積層体は、4つの屈曲部と、隣り合う前記屈曲部の間に位置する4つの辺部と、を有し、側面から見たときの形状が八角形であり、

前記積層体における4つの前記辺部のうちの少なくとも1つの前記辺部は、積層された前記電磁鋼板間の少なくとも一部に、前記電磁鋼板に面する伝熱経路を有しており、

前記伝熱経路は、前記辺部のみにある、巻鉄心。

【請求項2】

前記伝熱経路を有する前記辺部における前記電磁鋼板の占積率は、86.0%以上91.0%未満である、請求項1に記載の巻鉄心。

【請求項 3】

前記電磁鋼板の積層方向における前記伝熱経路の長さは、1 mm以上2 mm以下である。
請求項1又は2に記載の巻鉄心。

【請求項 4】

前記伝熱経路は、4つの前記辺部のうちの少なくとも1つの前記辺部において、1つ以上3つ以下の前記電磁鋼板間にある、請求項1～3のいずれか1項に記載の巻鉄心。

【請求項 5】

4つの前記辺部のうちの少なくとも1つの前記辺部における積層された前記電磁鋼板間の少なくとも一部にスペーサを備え、

前記スペーサにより前記電磁鋼板間に生じた隙間部分が前記伝熱経路である、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の巻鉄心。

【請求項 6】

前記スペーサは、非磁性体である、請求項 5 に記載の巻鉄心。

【請求項 7】

前記伝熱経路は、非磁性かつ絶縁性の伝熱体で形成される、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の巻鉄心。

【請求項 8】

前記伝熱経路は、フェノール樹脂により形成される、請求項 7 に記載の巻鉄心。

【請求項 9】

すべての前記辺部に前記伝熱経路がある、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の巻鉄心。

【請求項 10】

前記辺部には、第 1 辺部と、該第 1 辺部よりも長い第 2 辺部とがあり、

前記伝熱経路は、前記第 2 辺部のみにある、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の巻鉄心。

【請求項 11】

前記電磁鋼板間に複数の前記スペーサがあり、互いに隣接する前記スペーサ間が前記隙間部分である、請求項 5 又は請求項 6 に記載の巻鉄心。

【請求項 12】

前記スペーサは、前記電磁鋼板の板幅方向の一端から他端まである、請求項 5 、請求項 6 又は請求項 11 に記載の巻鉄心。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、巻鉄心に関する。

【背景技術】

【0002】

巻鉄心は、変圧器、リアクトル又はノイズフィルタ等の磁心として用いられている。変圧器においては、従来、高効率化の観点から、低鉄損化が重要な課題の一つとなっており、様々な観点から低鉄損化の検討が行われている。

30

【0003】

例えば、特開 2017-84889 号公報には、コイル状に巻かれた鋼板からなる鉄心の外周に、鋼板の巻方向に周方向バンドが巻かれ、周方向バンドの表面側において、鉄心に巻回された巻き線と該鉄心との間に、振動損失係数 > 0.01 の積層方向バンドが配置された低騒音巻きトランスが開示されている。

【0004】

また、例えば、特開 2018-148036 号公報には、側面視において略矩形状の巻鉄心本体を備える巻鉄心が開示されている。この巻鉄心の巻鉄心本体は、長手方向に平面部とコーナー部とが交互に連続し、当該各コーナー部において隣接する 2 つの平面部のなす角が 90° である方向性電磁鋼板が、板厚方向に積み重ねられた部分を含み、側面視において略矩形状の積層構造を有している。そして、各コーナー部は、方向性電磁鋼板の側面視において、曲線状の形状を有する屈曲部を 2 つ以上有しており、且つ、一つのコーナー部に存在する屈曲部それぞれの曲げ角度の合計が 90° である。また、屈曲部の側面視における内面側曲率半径 r は 1 mm を超え、 3 mm 未満である。さらに、方向性電磁鋼板の内面側及び外側の鋼板面により構成され、長手方向に平行な 180° 磁壁を有する表面に、長手方向の寸法が $150 \mu\text{m}$ 以下、板厚方向の寸法が $30 \mu\text{m}$ 以上である還流磁区が、長手方向に 0.5 mm 以上 8 mm 以下の間隔で、幅方向に連続かつ直線的に存在する領域を有している。そして、この還流磁区が存在する領域が、内面側又は外側の鋼板面表面積の 25% 以上を占めている。

40

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】**【0005】**

ところで、巻鉄心が用いられた変圧器等は、電気機器や電子機器に広く適用されているが、鉄損により生じる熱により、巻鉄心と、巻鉄心に巻き回される巻線との間に配置される絶縁紙が加熱されて劣化する可能性がある。絶縁紙は劣化により破断する可能性があり、絶縁紙が破断した変圧器は、絶縁破壊する可能性がある。絶縁紙の劣化を防止するため、巻鉄心の温度はなるべく低温に維持される必要がある。一般的の変圧器は、巻鉄心の温度上昇を抑制するために、絶縁性の油（絶縁油）中に巻鉄心を収容し、この絶縁油が滞留することにより巻鉄心に生じる熱を放熱している。しかしながら、放熱に寄与する絶縁油と巻鉄心とは巻鉄心の表面でしか接触していない。そのため、巻鉄心の表面のみからしか絶縁油による放熱がされず、巻鉄心の発熱量が大きいと放熱効果が不十分である場合がある。

10

【0006】

本開示は、低い鉄損を維持し、かつ、温度上昇を抑制可能な巻鉄心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】**【0007】**

本開示者らは、巻鉄心の温度上昇の抑制を鋭意検討する中で、巻鉄心に生じる熱の放熱量を増大させるためには、巻鉄心において放熱面積を大きくすることが重要であることを知見した。そして、積層された電磁鋼板の間から放熱することに想到した。一方で、積層された電磁鋼板の間隔を過剰に拡大すると、鉄損が増大する傾向がある。本開示者らは、低い鉄損を維持しつつ、巻鉄心の温度上昇を抑制する可能な巻鉄心について、さらに検討した結果、本開示に至った。

20

【0008】

上記知見に基づいてなされた本開示の一態様の要旨は以下の通りである。

本開示の一態様の巻鉄心は、複数の電磁鋼板が側面視で環状に積層された積層体を備え、前記積層体は、複数の屈曲部と、隣り合う前記屈曲部の間に位置する複数の辺部と、を有し、複数の前記辺部のうちの少なくとも1つの前記辺部は、積層された前記電磁鋼板間の少なくとも一部に、前記電磁鋼板に面する伝熱経路を有しており、前記伝熱経路は、前記辺部のみにある。

30

【発明の効果】**【0009】**

本開示によれば、低い鉄損を維持し、かつ、温度上昇を抑制可能な巻鉄心を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】**【0010】**

【図1】本開示の第1の実施形態に係る巻鉄心の一例を示す側面図である。

【図2】第1の実施形態に係る巻鉄心の一例を示す図であって、図1のX部の拡大図である。

【図3】本開示の第2の実施形態に係る巻鉄心の一例を示す図であって、図1のX部に対応する部分の拡大図である。

40

【図4】試験例での辺部における電磁鋼板の占積率と巻鉄心温度との関係を示すグラフである。

【図5】試験例での辺部における電磁鋼板の占積率と巻鉄心温度との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】**【0011】**

本開示の実施形態について、添付図面を参照しながら詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付すことにより重複説明を省略する。また、図中の各構成要素の比率、寸法は、実際の各構成要素の比率、寸法を表すものではない。

50

【0012】

<第1の実施形態>

まず、図1及び図2を参照して、第1の実施形態に係る巻鉄心について説明する。図1は、本実施形態に係る巻鉄心の一例を示す側面図である。図2は、巻鉄心の一例を示す図であって、図1のX部の拡大図である。なお、以下では、電磁鋼板Sを側面側から見た場合を側面視という。電磁鋼板Sの積層方向を適宜「積層方向」という。また、電磁鋼板Sの板幅方向を適宜「板幅方向」という。さらに、電磁鋼板Sの巻回方向を適宜「巻回方向」という。

【0013】

本実施形態に係る巻鉄心1は、図1に示すように、複数枚の電磁鋼板Sが側面視（言い換えると、巻鉄心1を側面から見て）で環状に積層された積層体2を備えている。言い換えると、環状に形成された複数枚の電磁鋼板Sが板厚方向に積層されて積層体2が形成されている。この積層体2は、複数の屈曲部21と、互いに隣り合う屈曲部21の間に位置する複数の辺部22と、を有する。なお、ここでいう巻鉄心の側面とは、積層された電磁鋼板Sの側面によって形成された面をいう。

10

【0014】

積層体2は、図1に示すように、電磁鋼板Sが積層されて側面視で八角形に成形されており、複数の屈曲部21と複数の辺部22とを有する。具体的には、積層体2は、最内周の電磁鋼板Sが4つの隅部21Aを形成するように折り曲げられて長方形状をなし、最内周の電磁鋼板Sの外周に位置する電磁鋼板Sが最内周の電磁鋼板Sの隅部21Aにおいて折り曲げられ、2つの角部21Bが形成されるように積層されている。ここで、積層体2の屈曲部21は、一つの隅部21Aと、この隅部21Aにおいて電磁鋼板Sが折り曲げられて形成された2つの角部21Bとを直線で結んだ略三角形の領域の部分である。なお、本開示は、この構成に限定されない。例えば、隅部21Aが隣接して2つある場合には、積層体2の屈曲部21は、2つの隅部21Aと、2つの角部21Bとをそれぞれ直線で結んだ略台形の領域の部分としてもよい。また、積層体2の辺部22は、隣り合う屈曲部21の間に位置する略直線状の部分である。このように、本実施形態の積層体2は、4つの屈曲部21と4つの辺部22を有している。そして、積層体2は、電磁鋼板Sの側面側から見たときに、外周に8つの角部21Bを有する八角形をなしている。一方で、積層体2は、内周に4つの隅部21Aを有する長方形をなしている。

20

【0015】

積層体2には、例えば、既存の方向性電磁鋼板又は既存の無方向性電磁鋼板を使用することができるが、方向性電磁鋼板を使用することが好ましい。方向性電磁鋼板を積層体2に使用することで、鉄損のうちのヒステリシス損を低減することが可能となり、巻鉄心1の鉄損をより低減することが可能となる。

30

【0016】

電磁鋼板Sの厚みは、特段制限されず、例えば、0.20mm以上としてもよいし、0.40mm以下としてもよい。厚みが小さい（薄い）電磁鋼板Sを用いることで、電磁鋼板Sの板厚面内において渦電流が生じ難くなり、鉄損のうちの渦電流損をより低減することが可能となる。その結果、巻鉄心1の鉄損を低減することが可能となる。電磁鋼板Sの厚みは、好ましくは、0.18mm以上である。また、電磁鋼板Sの厚みは、好ましくは、0.35mm以下であり、より好ましくは、0.27mm以下である。

40

【0017】

積層された電磁鋼板Sは、互いに絶縁している。好ましくは、電磁鋼板Sの表面に絶縁処理が施されて互いに絶縁されていることが好ましい。電磁鋼板Sの層間が絶縁していることで、電磁鋼板Sの板厚面内において渦電流が生じ難くなり、渦電流損を低減することが可能となる。その結果、巻鉄心1の鉄損をより低減することが可能となる。例えば、電磁鋼板Sの表面には、コロイダルシリカ及びリン酸塩を含有する絶縁コーティング液を用いて絶縁処理が施されていることが好ましい。

【0018】

50

図2に示すように、積層体2は、複数の辺部22の少なくとも1つの辺部22における積層された電磁鋼板S間の少なくとも一部にスペーサ3を備えている。スペーサ3が介在する辺部22において、スペーサ3が介在した電磁鋼板S間には隙間部分22Aが形成される。

【0019】

図2に示す積層体2では、1つの辺部22における3つの電磁鋼板S間に、電磁鋼板Sの一定積層枚数毎にスペーサ3が介在している。これにより、スペーサ3が介在した電磁鋼板S間には、隙間部分22Aが形成されている。巻鉄心1が絶縁油に浸漬されて使用される場合、絶縁油は、隙間部分22Aを流れることが可能となる。これにより、隙間部分22Aは、電磁鋼板Sに生じた熱の伝熱経路となる。そして、隙間部分22Aの両側の電磁鋼板Sから隙間部分22Aを流れる絶縁油に熱が伝達され、電磁鋼板Sに生じた熱が放熱される。なお、隙間部分22Aは、スペーサ3が電磁鋼板S間に介在することにより生じた空隙部分をいうが、隙間部分22Aの大きさについては、当該空隙部分とスペーサ3とを含む領域をいうものとする。

【0020】

隙間部分22Aの積層方向長さは、1mm以上2mm以下であることが好ましい。隙間部分22Aの積層方向長さが1mm以上であれば、電磁鋼板Sの熱を放熱するのに十分な流量の絶縁油が隙間部分22Aを流れる。これにより、巻鉄心1の温度上昇をより一層抑制することが可能となる。隙間部分22Aの積層方向長さは、より好ましくは1.5mm以上である。また、隙間部分22Aの積層方向長さが2mm以下であれば、電磁鋼板Sから隙間部分22Aに漏れ出す磁束(漏れ磁束)の増大が抑制され、鉄損の増大を抑制することが可能となる。隙間部分22Aの積層方向長さは、より好ましくは、1.9mm以下である。なお、隙間部分22Aの積層方向長さは、スペーサ3の積層方向長さを変更することで調整可能である。また、ここでいう隙間部分22Aの積層方向長さとは、隙間部分22Aの電磁鋼板Sの積層方向に沿った最大長さを指している。そして、伝熱経路である隙間部分22Aの積層方向長さは、1枚の電磁鋼板Sの厚み以上である。言い換えると、1枚の電磁鋼板Sの厚み以上の隙間を伝熱経路とする。

【0021】

また、隙間部分22Aの積層方向長さは、板幅方向に略一定であることが好ましい。なお、ここでいう略一定には、隙間部分22Aの積層方向長さの±10%を含む。隙間部分22Aの積層方向長さが略一定であることで、隙間部分22Aにおける絶縁油の滞留が抑制される。これにより、絶縁油は電磁鋼板Sの熱をより一層効率良く放熱することが可能となり、巻鉄心1の温度上昇がより一層抑制される。隙間部分22Aの積層方向長さを板幅方向に略一定にするには、スペーサ3の板幅方向長さ又は電磁鋼板Sの積層面におけるスペーサ3の位置等を変更すればよい。なお、スペーサ3の板幅方向長さは、電磁鋼板Sの板幅方向長さと同じであることが好ましい。言い換えると、スペーサ3は、板幅方向に沿って電磁鋼板Sの板幅方向一端から他端まで延びていることが好ましい。

【0022】

なお、隙間部分22Aは、少なくとも1つの辺部22に設けられれば巻鉄心1の温度上昇を抑制可能であるが、複数の辺部22に設けられることが好ましい。隙間部分22Aがより多くの辺部22に設けられることで、巻鉄心1を構成する電磁鋼板Sと絶縁油との接触面積が増大し、電磁鋼板Sの熱をより効率的に放熱することが可能となる。さらに、隙間部分22Aが複数の辺部22に設けられることで、巻鉄心1の温度上昇が均一に抑制される。したがって、隙間部分22Aは、4つの辺部22すべてに設けられることがより好ましい。なお、積層体2の4つの辺部22に長さの違いがある場合には、長い辺部に伝熱経路を設けることで、効率よく放熱性を向上させることができる。具体的には、本実施形態の積層体2は、図1に示すように、対向する一対の長辺部と、対向する一対の短辺部とを有しており、少なくとも長辺部にスペーサが介在している。

【0023】

隙間部分22Aを有する辺部22における電磁鋼板Sの占積率は、86.0%以上91

10

20

30

40

50

・ 0 %未満であることが好ましい。隙間部分 22A を有する辺部 22 における電磁鋼板 S の占積率が 86.0 %以上であることで、低い鉄損を維持することが可能である。隙間部分 22A を有する辺部 22 における電磁鋼板 S の占積率は、より好ましくは、89.5 %以上である。また、隙間部分 22A を有する辺部 22 における電磁鋼板 S の占積率が 91.0 %未満であることで、巻鉄心 1 の温度上昇をより一層抑制することが可能となる。なお、積層体 2 の辺部 22 における占積率は、JIS C 2550-5:2011に基づいて算出可能である。なお、JIS C 2550-5:2011は、IEC 60404-13:1995, 「Magnetic materials - Part 13: Methods of measurement of density, resistivity and stacking factor of electrical steel sheet and strip」に対応している。

【0024】

また、隙間部分 22A は、積層方向において、辺部 22 の内周面と隙間部分 22A との距離、辺部 22 の外周面と隙間部分 22A との距離、及び隣り合う隙間部分 22A の距離が等しくなるように設けることが好ましい。これにより、絶縁油によって巻鉄心 1 がより均一に冷却され、巻鉄心 1 の温度上昇が抑制される。隙間部分 22A が辺部 22 における 1 つの電磁鋼板 S 間に設けられる場合、隙間部分 22A は、辺部 22 の内周面と隙間部分 22A との距離及び辺部 22 の外周面と隙間部分 22A との距離が略同一となる位置に設けられることが好ましい。

【0025】

スペーサ 3 は、辺部 22 における電磁鋼板 S 間に介在して隙間部分 22A を形成する。スペーサ 3 の素材は、非磁性体であることが好ましい。スペーサ 3 が非磁性体であれば、スペーサ 3 における渦電流の発生を防止でき、その結果、鉄損の増大を抑制することが可能となる。スペーサ 3 の素材は、具体的には、樹脂、銅又は真鍮等が好ましい。これの中でも、スペーサ 3 の素材は、銅であることが好ましい。銅は、熱伝導率が高い材料であるため、スペーサ 3 に銅を用いることで、隙間部分 22A だけではなくスペーサ 3 そのものによっても電磁鋼板 S の熱を放熱することが可能となる。

【0026】

また、スペーサ 3 は、積層体 2 の辺部 22 のみに介在させることが好ましい。言い換えると、隙間部分 22A は、積層体 2 の辺部 22 のみに設けられることが好ましい。これは、屈曲部 21 に隙間部分を設けた場合、放熱面積の増大よりも、隙間部分からの磁束の漏れ出しによる鉄損の増大が懸念されるため、屈曲部 21 よりも放熱面積を大きく確保できる辺部 22 に隙間部分 22A を設けることが好ましい。

【0027】

スペーサ 3 の大きさは、隙間部分 22A を形成できれば特段制限されない。しかしながら、上記のとおり、隙間部分 22A の積層方向長さを 1mm 以上 2mm 以下とするために、スペーサ 3 の積層方向長さは 1mm 以上 2mm 以下であることが好ましい。また、巻鉄心 1 の温度上昇を抑制可能な隙間部分 22A が形成されれば、1 つの電磁鋼板 S 間に介在するスペーサ 3 の数量も特段制限されない。

【0028】

また、図 2 では、1 つの辺部 22 において、3 つの電磁鋼板 S 間にスペーサ 3 が介在しているが、スペーサ 3 が介在する電磁鋼板 S 間の数は、図 2 に示した態様に限られず、巻鉄心 1 の大きさに応じて決定してもよい。しかしながら、スペーサ 3 が、複数の辺部 22 のうちの少なくとも 1 つの辺部 22 において、1 つ以上 3 つ以下の電磁鋼板 S 間にあることで、巻鉄心 1 の温度上昇を抑制しつつ、鉄損の増大をより一層抑制することが可能となる。よって、スペーサ 3 は、複数の辺部 22 のうちの少なくとも 1 つの辺部 22 において、1 つ以上 3 つ以下の電磁鋼板 S 間にあることが好ましい。

【0029】

< 第 2 の実施形態 >

続いて、図 1 及び図 3 を参照して、第 2 の実施形態に係る巻鉄心について説明する。図

10

20

30

40

50

3 は、本開示の第 2 の実施形態に係る巻鉄心の一例を示す図であって、図 1 の X 部に対応する部分の拡大図である。

【 0 0 3 0 】

本実施形態に係る巻鉄心 1 は、図 1 に示すように、複数の電磁鋼板 S が側面視で環状に積層され、複数の屈曲部 2 1 と、互いに隣り合う屈曲部 2 1 の間に位置する辺部 2 2 と、を有する積層体 2 を備えている。図 3 に示すように、積層体 2 は、複数の辺部 2 2 のうちの少なくとも 1 つの辺部 2 2 における積層された電磁鋼板 S 間の少なくとも一部に伝熱体 4 を備えている。本実施形態に係る巻鉄心 1 は、複数の辺部 2 2 のうちの少なくとも 1 つの辺部 2 2 における積層された電磁鋼板 S 間の少なくとも一部に伝熱体 4 を備える点で、第 1 の実施形態に係る巻鉄心 1 と異なる。本実施形態に係る積層体 2 の基本構成は、第 1 の実施形態に係る積層体 2 と同様であるため、ここでは積層体 2 の説明は省略する。以下では、伝熱体 4 について詳細に説明する。

【 0 0 3 1 】

上記のとおり、伝熱体 4 は、複数の辺部 2 2 のうちの少なくとも 1 つの辺部 2 2 における積層された電磁鋼板 S 間の少なくとも一部に備えられる。伝熱体 4 は、図 3 では、1 つの辺部 2 2 において 3 つの電磁鋼板 S 間にある。伝熱体 4 が複数の辺部 2 2 のうちの少なくとも 1 つの辺部 2 2 における積層された電磁鋼板 S 間の少なくとも一部に備えられることで、電磁鋼板 S に生じた熱は、伝熱体 4 を流れ、巻鉄心 1 の外部に放熱される。よって、伝熱体 4 は、電磁鋼板 S に生じた熱の伝熱経路である。

【 0 0 3 2 】

伝熱体 4 の素材は、高熱伝導率であることが好ましい。伝熱体 4 の素材が高熱伝導率の材料であることで、電磁鋼板 S に生じた熱をより一層効率よく放熱することができる。これにより、巻鉄心 1 の温度上昇を抑制することが可能となる。また、伝熱体 4 の素材は、非磁性体かつ絶縁体の材料であることが好ましい。伝熱体 4 の素材が非磁性体かつ絶縁性の材料であれば、伝熱体 4 における渦電流の発生を防止できる。その結果、鉄損の増大を抑制することが可能となる。具体的には、伝熱体 4 の素材は、フェノール樹脂（ベークライト）であることがより好ましい。フェノール樹脂は、高い熱伝導率を有し、非磁性体かつ絶縁体であるため、電磁鋼板 S に生じた熱を効率よく放熱することで巻鉄心 1 の温度上昇を抑制することができ、かつ、伝熱体 4 における渦電流の発生を防止することで鉄損の増大を抑制することができる。伝熱体 4 には、より詳細には、紙基材フェノール樹脂積層板、布基材フェノール樹脂積層板、ガラス布基材フェノール樹脂積層板であることが好ましい。

【 0 0 3 3 】

なお、伝熱体 4 の形状は、特段制限されないが、辺部 2 2 の電磁鋼板 S 間に広く介在することが好ましい。伝熱体 4 が辺部 2 2 の電磁鋼板 S 間に広く介在すれば、電磁鋼板 S と伝熱体 4 との接触面積が増大し、電磁鋼板 S の熱をより効率的に放熱することができる、巻鉄心 1 の温度上昇を抑制することが可能となる。

【 0 0 3 4 】

なお、伝熱体 4 は、少なくとも 1 つの辺部 2 2 に設けられれば巻鉄心 1 の温度上昇を抑制可能であるが、複数の辺部 2 2 に設けられることが好ましい。伝熱体 4 がより多くの辺部 2 2 に設けられることで、巻鉄心 1 を構成する電磁鋼板 S と絶縁油との接触面積が増大し、電磁鋼板 S の熱が伝熱体 4 を介して絶縁油に効率的に流れる。すなわち、電磁鋼板 S の熱をより効率的に放熱することができる。さらに、伝熱体 4 が複数の辺部 2 2 に設けられることで、巻鉄心 1 の温度上昇が均一に抑制される。したがって、伝熱体 4 は、4 つの辺部 2 2 に設けられることがより好ましい。

【 0 0 3 5 】

伝熱体 4 を有する辺部 2 2 における電磁鋼板 S の占積率は、86.0% 以上 91.0% 未満であることが好ましい。伝熱体 4 を有する辺部 2 2 における電磁鋼板 S の占積率が 86.0% 以上であることで、低い鉄損を維持することが可能である。伝熱体 4 を有する辺部 2 2 における電磁鋼板 S の占積率は、より好ましくは、89.5% 以上である。また、

10

20

30

40

50

伝熱体 4 を有する辺部 2 2 における電磁鋼板 S の占積率が 91.0 % 未満であることで、巻鉄心 1 の温度上昇をより一層抑制することが可能となる。なお、占積率は、J I S C 2550 - 5 : 2011 に基づいて算出可能であるが、本実施形態においては、伝熱体 4 の質量は考慮せずに算出するものとする。

【 0 0 3 6 】

また、伝熱体 4 は、積層方向において、辺部 2 2 の内周面と伝熱体 4 との距離、辺部 2 2 の外周面と伝熱体 4 との距離、及び隣り合う伝熱体 4 の距離が等しくなるように設けることが好ましい。これにより、巻鉄心 1 は伝熱体 4 を介する絶縁油によってより均一に冷却され、巻鉄心 1 の温度上昇が抑制される。伝熱体 4 が辺部 2 2 における 1 つの電磁鋼板 S 間に設けられる場合、伝熱体 4 は、辺部 2 2 の内周面と伝熱体 4 との距離及び辺部 2 2 の外周面と伝熱体 4 との距離が略同一となる位置に設けられることが好ましい。

10

【 0 0 3 7 】

また、図 3 では、1 つの辺部 2 2 において、3 つの電磁鋼板 S 間に伝熱体 4 が介在しているが、伝熱体 4 が介在する電磁鋼板 S 間の数は、図 3 に示した様様に限られず、巻鉄心 1 の大きさに応じて決定してもよい。しかしながら、伝熱体 4 が、複数の辺部 2 2 のうちの少なくとも 1 つの辺部 2 2 において、1 つ以上 3 つ以下の電磁鋼板 S 間にあることで、巻鉄心 1 の温度上昇を抑制しつつ、鉄損の増大をより一層抑制することが可能となる。よって、伝熱体 4 は、複数の辺部 2 2 のうちの少なくとも 1 つの辺部 2 2 において、1 つ以上 3 つ以下の電磁鋼板 S 間にあることが好ましい。

【 0 0 3 8 】

20

< 変形例 >

以下では、本開示の上記実施形態の幾つかの変形例を説明する。なお、以下に説明する各変形例は、単独で本開示の上記実施形態に適用されてもよいし、組み合わせで本開示の上記実施形態に適用されてもよい。また、各変形例は、本開示の上記実施形態で説明した構成に代えて適用されてもよいし、本開示の上記実施形態で説明した構成に対して追加的に適用されてもよい。

【 0 0 3 9 】

また、上記の各実施形態では、積層体における外周が八角形の場合を説明したが、本開示は、これに限定されない。積層体における外周は、多角形、角丸方形、長円形、又は橢円形等であってもよい。例えば、長円形の積層体は、電磁鋼板を巻き回して製造される。一方、八角形の積層体は、環状に折り曲げた複数の電磁鋼板を板厚方向に積層して製造される。環状に折り曲げた複数の電磁鋼板を板厚方向に積層して製造した積層体は、電磁鋼板を巻き回して製造した積層体と比較して、屈曲部における占積率が小さくなり易い。そのため、積層体 2 の複数の屈曲部 2 1 のうちの少なくとも一つの屈曲部 2 1 の占積率を高くしてもよい。具体的には、圧縮手段を用いて屈曲部 2 1 を内周側及び外周側から圧縮することで、屈曲部 2 1 における電磁鋼板 S 間の隙間を小さくすることができる。これにより、屈曲部 2 1 の占積率が高くなり、積層体 2 の低騒音化を図ることができる。

30

【 0 0 4 0 】

上述した実施形態では、積層体における内周が四角形の場合を説明したが、本開示は、これに限定されず、積層体における内周は、多角形、角丸方形、長円形、又は橢円形等とすることができます。例えば、積層体における内周が八角形の場合、八角形の隣り合う 2 つの頂点を結ぶ部分が隅部となり、積層体における内周が長円形の場合は、弧状の部分が隅部となる。積層体における内周が、多角形、角丸方形、長円形、又は橢円形等の場合において、屈曲部は、隣り合う一の辺部と他の辺部との間に位置し、一の辺部における電磁鋼板 S 及び他の辺部における電磁鋼板 S の延在方向に対して、電磁鋼板 S が屈曲して積層された部分である。

40

【 0 0 4 1 】

また、積層体の内周は、外周の形状に応じた形状であってもよい。例えば、積層体の外周が八角形の場合は、内周は八角形であってもよいし、積層体の外周が角丸方形の場合は、内周は角丸方形であってもよい。

50

【0042】

図2及び図3に示した伝熱経路（隙間部分22A、伝熱体4）は、あくまでも一例であり、上記の態様に限られないことはいうまでもない。例えば、重なり合う電磁鋼板Sのうち、一方の電磁鋼板Sの辺部22を構成する部分に折り曲げ加工で凹状部分を形成し、この凹状部分の内側を隙間部分としてもよい。

【0043】

以上、本開示に係る実施形態を複数説明した。これらの実施形態に係る巻鉄心は、複数の電磁鋼板が側面視で環状に積層され、複数の屈曲部と、隣り合う屈曲部の間に位置する辺部と、を有する積層体を備え、複数の辺部のうちの少なくとも1つの辺部は、積層された電磁鋼板間の少なくとも一部に、電磁鋼板に面する伝熱経路を有する。この伝熱経路により、交流磁場をかけた際に電磁鋼板に生じる熱が効率よく放熱され、巻鉄心の温度上昇が抑制される。また、この伝熱経路は、辺部における積層された電磁鋼板間の少なくとも一部に設けられるため、電磁鋼板から伝熱経路への漏れ磁束は少なく、低い鉄損が維持される。

10

【0044】

本実施形態に係る巻鉄心は、変圧器（不図示）に適用可能である。本実施形態に係る変圧器は、本実施形態に係る巻鉄心と、1次巻線と、2次巻線とを備える。1次巻線に交流電圧が印加されることにより、巻鉄心に磁束が生じ、生じた磁束の変化により、2次巻線に電圧が生じる。当該巻鉄心は、複数の辺部のうちの少なくとも1つの辺部は、積層された電磁鋼板間の少なくとも一部に伝熱経路を有するため、巻鉄心に生じた熱はこの伝熱経路を通じて放熱される。その結果、低い鉄損が維持され、かつ、温度上昇が抑制される。

20

【0045】

次に、本開示の試験例について説明する。本試験例での条件は、本開示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、本開示は、この一条件例に限定されるものではない。本開示は、本開示の要旨を逸脱せず、本開示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。

【0046】

(試験例1)

厚みが0.23mmの方向性電磁鋼板を積層し、4つの屈曲部と4つの辺部とを有する略八角形の積層体を作製した。積層方向における積層体の長さは20mmとし、4つの辺部のそれぞれが表1に示す数の隙間部分を有する巻鉄心を以下の条件で製造した。積層体の4つの辺部のそれぞれについて、電磁鋼板間にフェノール樹脂（ベーカライト）製のスペーサを介在させ、隙間部分を設けた。隙間部分は、積層方向において、辺部の内周面と隙間部分との距離、辺部の外周面と隙間部分との距離、及び隣り合う隙間部分の距離が等しくなるように設けた。変圧器No.2では、隙間部分を、辺部の内周面と隙間部分との距離及び辺部の外周面と隙間部分との距離が略同一となる位置に設けた。隙間部分について、積層方向長さは1mm、板幅方向長さは300mm、巻回方向長さは100mmとした。この巻鉄心に巻線を巻き回し、タンク内に当該巻鉄心を設置してこのタンク内を絶縁油で満たし、容量が20kVAの変圧器を製造した。

30

【0047】

巻鉄心について、JIS C 2550-5:2011に基づいて辺部における電磁鋼板の占積率を算出した。また、製造した変圧器について、JEC-2200に基づいて鉄損（無負荷損）を測定した。製造した変圧器を12時間稼動させた後の巻鉄心の温度を測定した。表1に、1つの辺部あたりの隙間部分の数、占積率、温度、鉄損及び鉄損増加率を示す。また、図4に、辺部における電磁鋼板の占積率と巻鉄心温度との関係を示す。なお、表1中の占積率は、4つの辺部における電磁鋼板の占積率の平均値である。

40

【0048】

製造した変圧器は以下の基準で評価した。隙間部分を設けていない変圧器No.1の温度を基準として変圧器温度が低下しており、かつ、変圧器No.1の鉄損を基準とした鉄損増加率が10%未満である場合、評価結果を「A（優）」とし、変圧器No.1の温度

50

を基準として変圧器温度が低下していない場合、又は、変圧器No.1の鉄損を基準とした鉄損増加率が10%以上である場合、評価結果を「B(良好)」とした。なお、評価結果は、BよりもAが良好である。なお、表1中の発明例は本開示を適用した実施例を指し、比較例は本開示を適用していない例を指す。

【0049】

【表1】

変圧器	隙間部分 (か所)	占積率 (%)	温度 (°C)	鉄損 (W)	鉄損 増加率 (%)	評価結果	発明例／ 比較例
No. 1	0	96.7	123	69.01	—	—	比較例 (基準例)
No. 2	1	94.5	121	71.08	3.0	A	発明例
No. 3	2	92.6	117	73.15	6.0	A	発明例
No. 4	3	90.8	109	75.22	9.0	A	発明例
No. 5	4	89.1	108	77.29	12.0	B	発明例

【0050】

辺部に設けられる隙間部分の数が増加したことで、巻鉄心と絶縁油との接触面積が増大し、巻鉄心の温度が低下した。また、図4に示すように、占積率が低下するに伴い、巻鉄心温度が低下した。変圧器No.4では、温度上昇が顕著に抑制された。変圧器No.5は、温度上昇が抑制されているものの、鉄損の増加率が10%超となつた。

【0051】

(試験例2)

厚みが0.20mmの方向性電磁鋼板を用い、試験例1と同様の方法で巻鉄心を作製し、作製した巻鉄心を用いて容量が1kVAの変圧器を製造した。積層方向における積層体の長さは20mmとし、4つの辺部のそれぞれが表2に示す数の隙間部分を有する巻鉄心を以下の条件で製造した。隙間部分について、積層方向長さは1mm、板幅方向長さは200mm、巻回方向長さは70mmとした。製造した変圧器について、試験例1と同様に辺部における電磁鋼板の占積率、巻鉄心の温度及び鉄損(無負荷損)を測定した。表2に、1つの辺部あたりの隙間部分の数、占積率、温度、鉄損及び鉄損増加率を示す。また、図5に、辺部における電磁鋼板の占積率と巻鉄心温度との関係を示す。なお、表2中の占積率は、4つの辺部における電磁鋼板の占積率の平均値である。変圧器の評価は、試験例1と同様の基準で行った。なお、表2中の発明例は本開示を適用した実施例を指し、比較例は本開示を適用していない例を指す。

【0052】

10

20

30

40

50

【表 2】

変圧器	隙間部分 (か所)	占積率 (%)	温度 (°C)	鉄損 (W)	鉄損 増加率 (%)	評価結果	発明例／ 比較例
No. 1	0	96.1	118	2.09	—	—	比較例 (基準例)
No. 2	1	93.2	116	2.15	2.9	A	発明例
No. 3	2	92.2	112	2.20	5.3	A	発明例
No. 4	3	90.3	104	2.28	9.1	A	発明例
No. 5	4	88.6	103	2.36	12.9	B	発明例

【0053】

辺部に設けられる隙間部分の数が増加したことで、巻鉄心と絶縁油との接触面積が増大し、巻鉄心の温度が低下した。また、図4に示すように、占積率が低下するに伴い、巻鉄心温度が低下した。変圧器No.4では、温度上昇が顕著に抑制された。変圧器No.5は、温度上昇が抑制されているものの、鉄損の増加率が10%超となつた。

【0054】

(試験例3)

厚みが0.23mmの方向性電磁鋼板を積層し、4つの屈曲部と4つの辺部とを有する略八角形の積層体を作製した。積層方向における積層体の長さは20mmとし、4つの辺部のうちの1つの辺部に表3に示す数の伝熱体を有する巻鉄心を以下の条件で製造した。積層体のうちの1つの辺部について、電磁鋼板間にベークライト製のスペーサを介在させ、隙間部分を設けた。隙間部分は、積層方向において、辺部の内周面と隙間部分との距離、辺部の外周面と隙間部分との距離、及び隣り合う隙間部分との距離が等しくなるように設けた。変圧器No.2では、隙間部分を、辺部の内周面と隙間部分との距離及び辺部の外周面と隙間部分との距離が略同一となる位置に設けた。隙間部分について、積層方向長さは1mm、板幅方向長さは150mm、巻回方向長さは100mmとした。この巻鉄心に巻線を巻き回し、タンク内に当該巻鉄心を設置してこのタンク内を絶縁油で満たし、容量が10kVAの変圧器を製造した。製造した変圧器について、試験例1と同様の方法で、隙間部分を有する辺部における電磁鋼板の占積率、巻鉄心の温度及び鉄損(無負荷損)を測定した。表3に、隙間部分を有する辺部における隙間部分の数、占積率、温度、鉄損及び鉄損増加率を示す。なお、表3中の占積率は、隙間部分を有する辺部における電磁鋼板の占積率である。変圧器の評価は、試験例1と同様の基準で行った。なお、表3中の発明例は本開示を適用した実施例を指し、比較例は本開示を適用していない例を指す。

【0055】

10

20

30

40

50

【表3】

変圧器	隙間部分 (か所)	占積率 (%)	温度 (°C)	鉄損 (W)	鉄損 増加率 (%)	評価結果	発明例／ 比較例
No. 1	0	96.1	131	34.51	—	—	比較例 (基準例)
No. 2	1	93.2	123	35.52	2.9	A	発明例
No. 3	2	92.2	119	36.58	6.0	A	発明例
No. 4	3	90.3	111	37.57	8.9	A	発明例
No. 5	4	88.6	109	38.65	12.6	B	発明例

【0056】

以上、本開示によれば、低い鉄損を維持し、かつ、温度上昇を抑制可能となる。

【0057】

以上、添付図面を参照しながら本開示の好適な実施形態及び実施例について詳細に説明したが、本開示はかかる例に限定されない。本開示の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例又は修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。

【0058】

以上の実施形態に関し、更に以下の付記を開示する。

【0059】

(付記1)

複数の電磁鋼板が側面視で環状に積層された積層体を備え、

前記積層体は、複数の屈曲部と、隣り合う前記屈曲部の間に位置する複数の辺部と、を有し、

複数の前記辺部のうちの少なくとも1つの前記辺部は、積層された前記電磁鋼板間の少なくとも一部に、前記電磁鋼板に面する伝熱経路を有しており、

前記伝熱経路は、前記辺部のみにある、巻鉄心。

【0060】

(付記2)

前記伝熱経路を有する前記辺部における前記電磁鋼板の占積率は、86.0%以上91.0%未満である、付記1に記載の巻鉄心。

【0061】

(付記3)

前記電磁鋼板の積層方向における前記伝熱経路の長さは、1mm以上2mm以下である、付記1又は付記2に記載の巻鉄心。

【0062】

(付記4)

前記伝熱経路は、複数の前記辺部のうちの少なくとも1つの前記辺部において、1つ以上3つ以下の前記電磁鋼板間に有する、付記1～付記3のいずれか1項に記載の巻鉄心。

【0063】

(付記5)

複数の前記辺部のうちの少なくとも1つの前記辺部における積層された前記電磁鋼板間の少なくとも一部にスペーサを備え、

前記スペーサにより前記電磁鋼板間に生じた隙間部分が前記伝熱経路である、付記1～付記4のいずれか1項に記載の巻鉄心。

【0064】

10

20

30

40

50

(付記 6)

前記スペーサは、非磁性体である、付記 5 に記載の巻鉄心。

【0065】

(付記 7)

前記伝熱経路は、非磁性かつ絶縁性の伝熱体で形成される、付記 1 ~ 付記 4 のいずれか 1 項に記載の巻鉄心。

【0066】

(付記 8)

前記伝熱経路は、フェノール樹脂により形成される、付記 7 に記載の巻鉄心。

【0067】

(付記 9)

すべての前記辺部に前記伝熱経路がある、付記 1 ~ 付記 8 のいずれか 1 項に記載の巻鉄心。

【0068】

(付記 10)

前記辺部には、第 1 辺部と、該第 1 辺部よりも長い第 2 辺部とがあり、

前記伝熱経路は、前記第 2 辺部のみにある、付記 1 ~ 付記 8 のいずれか 1 項に記載の巻鉄心。

【0069】

(付記 11)

側面から見たときの前記積層体の形状は、4 つの前記辺部と 4 つの前記屈曲部とを有する八角形である、付記 1 ~ 付記 10 のいずれか 1 項に記載の巻鉄心。

【0070】

(付記 12)

複数の電磁鋼板が側面視で環状に積層され、複数の屈曲部と、隣り合う前記屈曲部の間に位置する辺部と、を有する積層体を備え、

複数の前記辺部のうちの少なくとも 1 つの前記辺部は、積層された前記電磁鋼板間の少なくとも一部に、前記電磁鋼板に面する伝熱流路を有する、巻鉄心。

【0071】

(付記 13)

前記伝熱流路を有する前記辺部における前記電磁鋼板の占積率は、86.0% 以上 91.0% 未満である、付記 12 に記載の巻鉄心。

【0072】

(付記 14)

前記電磁鋼板の積層方向における前記伝熱流路の長さは、1 mm 以上 2 mm 以下である、付記 12 又は付記 13 に記載の巻鉄心。

【0073】

(付記 15)

前記伝熱流路は、複数の前記辺部のうちの少なくとも 1 つの前記辺部において、1 つ以上 3 つ以下の前記電磁鋼板間に備えられる、付記 12 ~ 付記 14 のいずれか 1 項に記載の巻鉄心。

【0074】

(付記 16)

複数の前記辺部のうちの少なくとも 1 つの前記辺部における積層された前記電磁鋼板間の少なくとも一部にスペーサを備え、

前記スペーサにより前記電磁鋼板間に生じた隙間部分が前記伝熱流路である、付記 12 ~ 付記 15 のいずれか 1 項に記載の巻鉄心。

【0075】

(付記 17)

前記スペーサは、非磁性体である、付記 16 に記載の巻鉄心。

10

20

30

40

50

【0076】

(付記18)

前記伝熱流路は、非磁性かつ絶縁性の伝熱体で形成される、付記12～付記15のいずれか1項に記載の巻鉄心。

【0077】

(付記19)

前記伝熱流路は、フェノール樹脂により形成される、付記18に記載の巻鉄心。

【0078】

(付記20)

側面から見たときの前記積層体の形状は、八角形である、付記12～付記19のいずれか1項に記載の巻鉄心。

10

【0079】

なお、2019年9月3日に出願された日本国特許出願2019-160544号の開示は、その全体が参照により本明細書に取り込まれる。

本明細書に記載された全ての文献、特許出願、及び技術規格は、個々の文献、特許出願、及び技術規格が参照により取り込まれることが具体的かつ個々に記された場合と同程度に、本明細書中に参照により取り込まれる。

20

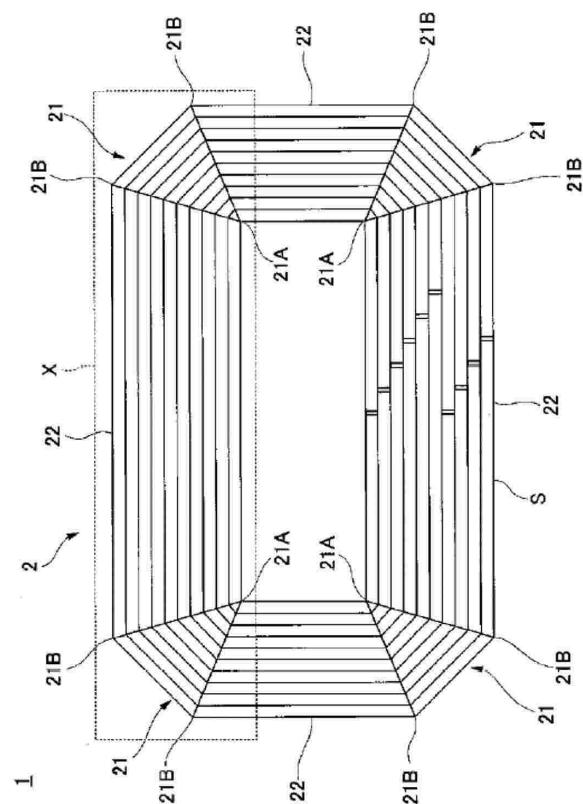
30

40

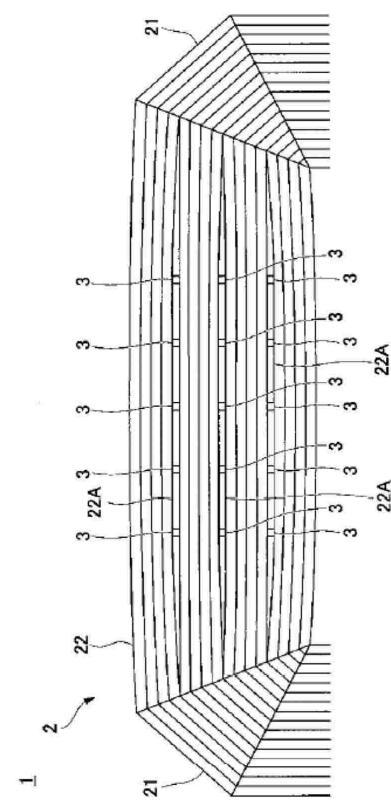
50

【図面】

【図 1】



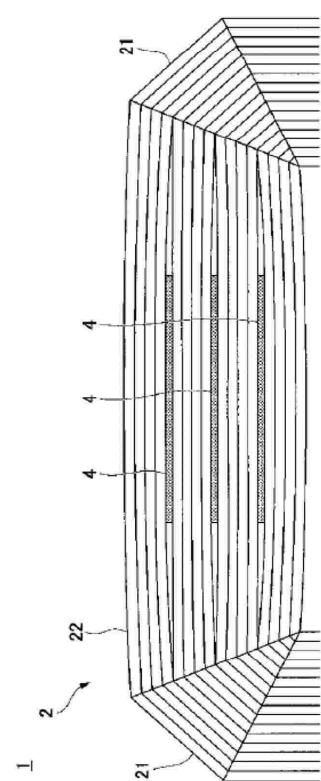
【図 2】



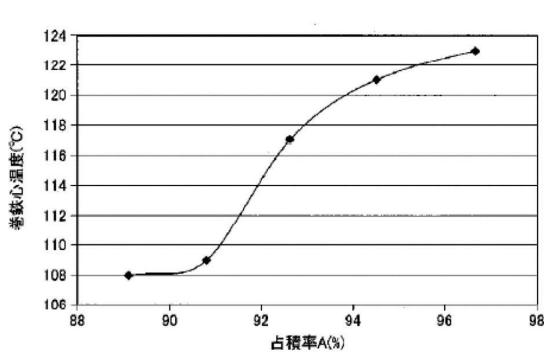
10

20

【図 3】



【図 4】

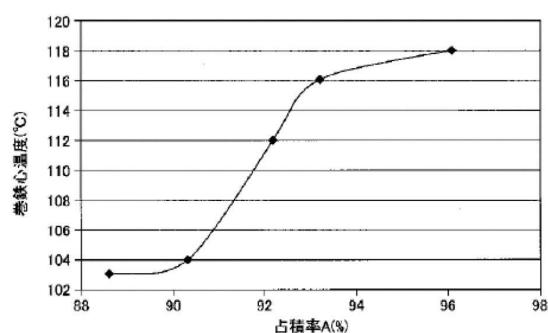


30

40

50

【図 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内

(72)発明者 平山 隆

東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内

合議体

審判長 岩間 直純

審判官 山本 章裕

審判官 畑中 博幸

(56)参考文献 実開平 2 - 95220 (JP, U)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01F 27/24