

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5114671号
(P5114671)

(45) 発行日 平成25年1月9日 (2013.1.9)

(24) 登録日 平成24年10月26日 (2012.10.26)

(51) Int.Cl.

F I

H O 5 B 6/10 (2006.01)

C 2 1 D 1/42 (2006.01)

H O 5 B 6/44 (2006.01)

H O 5 B 6/36 (2006.01)

H O 5 B 6/04 (2006.01)

H O 5 B 6/10 3 8 1

C 2 1 D 1/42 J

H O 5 B 6/44

H O 5 B 6/36 F

H O 5 B 6/04 3 0 1

請求項の数 7 (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2008-106073 (P2008-106073)	(73) 特許権者	000006655
(22) 出願日	平成20年4月15日 (2008.4.15)		新日鐵住金株式会社
(65) 公開番号	特開2008-288200 (P2008-288200A)		東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(43) 公開日	平成20年11月27日 (2008.11.27)	(74) 代理人	100099759
審査請求日	平成22年8月10日 (2010.8.10)		弁理士 青木 篤
(31) 優先権主張番号	特願2007-107497 (P2007-107497)	(74) 代理人	100077517
(32) 優先日	平成19年4月16日 (2007.4.16)		弁理士 石田 敬
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100087413
			弁理士 古賀 哲次
		(74) 代理人	100113918
			弁理士 亀松 宏
		(74) 代理人	100140121
			弁理士 中村 朝幸
		(74) 代理人	100111903
			弁理士 永坂 友康

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 金属板の誘導加熱装置および誘導加熱方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

金属板の表面との間に間隙を有して金属板の幅方向に周回するように、金属板の表面側の導体と裏面側の導体を接続して形成された誘導コイルを有し、この周回する誘導コイルの内側を通過する金属板を誘導加熱する装置であって、前記誘導コイルを前記金属板の長手方向に2組以上隣り合わせて配置し、前記金属板の表面側と裏面側の誘導コイルを構成する導体をそれぞれ前記金属板へ垂直投影した際の垂直投影像において、前記2組以上誘導コイルのそれぞれにおける前記金属板の中央部では、前記表面側の導体と裏面側の導体が、前記金属板の長手方向に対して互いに重ならないように間隔を有して配置され、前記2組以上の誘導コイルのそれぞれにおける前記表面側および裏面側の導体の少なくとも何れかは、前記金属板の少なくともいずれかの幅方向の端部に向かって幅方向に対して傾斜する部分を有し、さらに、前記隣り合う2組以上の誘導コイルにおいて、前記表面側の導体同士が、金属板の長手方向に近接すると共に、前記裏面側の導体同士が前記表面側の導体同士の近接する間隔よりも大きい金属板長手方向の間隔を有して配置され、または、前記裏面側の導体同士が、金属板の長手方向に近接すると共に、前記表面側の導体同士が前記裏面側の導体同士の近接する間隔よりも大きい金属板長手方向の間隔を有して配置され、且つ、前記誘導コイルに交流を通電した際に、前記近接する導体同士に同じ向き of 同相の電流が流れるように装置が構成されていることを特徴とする金属板の誘導加熱装置。

【請求項 2】

少なくとも前記金属板の長手方向における最も外側に配置された誘導コイルの前記表面

側および裏面側の導体の少なくとも何れかは、前記金属板の少なくともいずれかの幅方向の端部に向かって幅方向に対して傾斜する部分を有するように配置され、当該最も外側に配置された傾斜を有する導体の傾斜部分の外側に、前記金属板の少なくとも幅方向端部を覆うように、前記金属板の表面側から裏面側にわたる磁性体コアを備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の金属板の誘導加熱装置。

【請求項 3】

前記磁性体コアが、水平方向に移動する機構を有し、金属板の端部からの覆う量を変えることができることを特徴とする請求項 2 に記載の金属板の誘導加熱装置。

【請求項 4】

前記誘導コイルの表面側の導体および裏面側の導体の少なくとも一方が金属板の幅方向に移動可能とする機構を有し、幅方向に対して傾斜する部分を有するように配置された導体の傾斜部の前記金属板に対する幅方向の位置を変えることができることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の金属板の誘導加熱装置。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の金属板の誘導加熱装置を用いた誘導加熱方法であって、前記誘導加熱装置の誘導コイルの内側に金属板を通過させ、前記誘導コイルに交流を通电して、前記誘導コイルの近接する導体同士に同じ方向の同相の電流を流すことで、前記金属板の内部に、前記誘導加熱装置の前記 2 組以上の誘導コイルそれぞれにおける前記表面側と裏面側の導体の前記金属板への垂直投影像とほぼ同一形状で、かつ、前記通電により前記表面側と裏面側の導体に流れる交流の向きと逆向きである主たる誘導電流を発生させると共に、前記表面側と裏面側の導体の前記金属板への垂直投影像において、前記金属板の幅方向に対して傾斜を有するように配置された前記導体の傾斜部分の外側で、かつ、前記隣り合う誘導コイルで挟まれた領域で、前記隣り合う誘導コイルの一方により発生する従たる誘導電流のマイナーループと、他方より発生する従たる誘導電流のマイナーループの誘導電流の向きを逆向きに発生させることにより、互いのマイナーループを打ち消し、従たる誘導電流の発生を防止しつつ、金属板を加熱することを特徴とする金属板の誘導加熱方法。

【請求項 6】

請求項 3 または 4 に記載の金属板の誘導加熱装置を用いた誘導加熱方法であって、前記磁性体コアの金属板の端部からの覆う量を変えることにより、金属板端部の温度分布を変更することを特徴とする請求項 5 に記載の金属板の誘導加熱方法。

【請求項 7】

請求項 4 に記載の金属板の誘導加熱装置を用いた誘導加熱方法であって、前記誘導コイルの表面側の導体および裏面側の導体の少なくとも一方を金属板の幅方向に移動させ、前記導体の傾斜部の金属板に対する位置を調整して前記金属板の温度分布を調整することを特徴とする請求項 5 に記載の金属板の誘導加熱方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、鉄やアルミなどの鉄及び非鉄金属板の誘導加熱装置および誘導加熱方法に関する。特に、金属板が薄板、厚板にかかわらず、非磁性状態でも金属板を効率よく加熱する誘導加熱装置において、特に金属板の温度を精密に制御し加熱できる誘導加熱装置および誘導加熱方法に関する。

【背景技術】

【0002】

金属の高周波電流による誘導加熱は、焼き入れをはじめとして熱処理をするために広く使われている。鋼板やアルミ板などの鉄、非鉄の薄板も製造過程で材質を制御する目的で、また、加熱速度をあげて生産性の向上や生産量を自在に調整する目的などで、従来のガス加熱や電気加熱による間接加熱に代わる加熱方式として使用されてきている。

【0003】

金属板を誘導加熱する場合には、大きく2つの方式がある。1つは、金属板の周囲を囲んだ誘導コイルに高周波電流を流し、発生した磁束が金属板の長手方向を貫通し、金属板の断面内に誘導電流を発生させ加熱するいわゆるLF（縦断磁束加熱）方式と呼ばれる誘導加熱方式と、金属板を1次コイルの巻かれたインダクターと呼ばれる良磁性体の間に配置し、1次コイルに電流を通じて発生させた磁束をインダクターに通すことにより、インダクター間を流れる磁束を金属板が横切る様に通過することにより、金属板の平面に誘導電流が発生し誘導加熱するTF（横断加熱方式）方式である。

【0004】

LF方式の誘導加熱は、温度分布の均一性が良いものの、発生する誘導電流は板断面内を循環するが、電流浸透深さの関係から、板厚が薄い場合には電源の周波数を高くしなければ誘導電流が発生せず、更に、非磁性材、あるいは磁性材でもキュリー点温度を超えたものは、電流の浸透深さが深くなるため板厚の薄いものは加熱ができないという課題がある。

10

【0005】

一方、TF方式の誘導加熱は、磁束が金属板の平面を貫通するため、板厚や磁性、非磁性の区別無く加熱できるという特徴や、磁気抵抗の小さいインダクターを用いることにより漏れ磁束を少なくでき、金属板の表裏に対向するインダクター間に磁束を集中させることができるため加熱効率が高いという特徴がある。

【0006】

その反面、温度分布の不均一が生じやすいという問題や、金属板が対向するインダクターの中心に無い場合、磁性材ではどちらかのインダクターに吸引され、より温度偏差がつきやすくなるという課題がある。さらにTF方式の誘導加熱の場合、金属板の板幅変更や連続通板ラインでは蛇行した場合の対応が難しいという欠点がある。

20

【0007】

これらの課題を解決するため、特許文献1では、帯板の進行方向の表面、裏面のシングルターンのコイルを進行方向にずらして配置することが開示されている。また、特許文献2では、被加熱材に面する誘導加熱コイルの長軸が被加熱材の幅方向に湾曲するような菱形形状の誘導コイルが提案されている。また、特許文献3は、本発明者による金属帯板を幅方向に周回する誘導コイルを金属板の表面側と裏面側で進行方向にシフトさせる誘導コイルを提案している。

30

【0008】

【特許文献1】特開2002-43042号公報

【特許文献2】特開2002-151245号公報

【特許文献3】特開2005-209608号公報

【特許文献4】WO2006/088067号公報

【特許文献5】WO2006/088068号公報

【特許文献6】特開2007-95651号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

40

図1は、従来のLF方式の誘導加熱を示す模式図である。被加熱材である金属板1の幅方向の周囲を高周波電源11に接続された誘導コイル2で囲み、1次電流5を通じることにより、金属板1の内部を磁束4が貫通し磁束4の周りに誘導電流が発生し、発生した誘導電流により金属板1を加熱する。図2は、誘導電流が金属板1の断面内に発生する様子を示す断面模式図である。

【0010】

金属板1を貫通する磁束4により、金属板1の断面には誘導コイル2に流れる1次電流5と逆向きの方向に誘導電流6a, 6bが流れる。この誘導電流6a, 6bは、金属板1の表面から1で示される電流浸透深さδの範囲に集中して流れる。

$$\delta [\text{mm}] = 5.03 \times 105 (\rho / \mu r f)^{0.5}$$

・・・ 1

50

ここで、 ρ ：比抵抗 $[\Omega m]$ 、 μ_r ：比透磁率 $[-]$ 、 f ：加熱周波数 $[Hz]$

【0011】

発生した誘導電流 $6a$ 、 $6b$ は、図2に示す様に板断面の表裏で逆向きに流れるため、電流浸透深さ δ が深くなると、板表裏の誘導電流が互いに打ち消し合う結果、板断面内を電流が流れなくなってしまう。

【0012】

金属は、温度の上昇に伴い ρ が上昇するため、 δ は温度上昇とともに深くなる。また、強磁性や常磁性の磁性材は、温度が上昇しキュリー点に近づくにつれ μ_r が減少し、キュリー点を超えると μ_r は1になる。また、非磁性材も μ_r は1である。 μ_r が小さくなると、1より非磁性材、あるいは磁性材の場合はキュリー点直前からキュリー点を超える温度域では、電流浸透深さ δ が深くなり、薄い板厚の被加熱材では加熱ができなくなってしまう。

【0013】

例えば、加熱周波数が $10 [kHz]$ の場合、常温で各種金属の電流浸透深さ δ は、非磁性のアルミで約 $1 [mm]$ 、SUS304で約 $4.4 [mm]$ 、磁性材の鋼では約 $0.2 [mm]$ であるのに対し、磁性材である鋼がキュリー点を越えた 750 では電流浸透深さ δ は約 $5 [mm]$ となる。

【0014】

板内に発生する表裏電流が打ち消し合わないためには、板厚は最低でも、 $10 [mm]$ 以上必要であり、効率よくパワーを入れるためには、 $15 [mm]$ 程度の厚みが必要になる。一般に、熱処理は、 10 数 μm の箔のような薄板から $100 mm$ を超えるような厚板まで様々な厚みのものを対象としている。

【0015】

例えば、使用量の多い金属板の代表的な素材である自動車や家電品に使用される鋼板は、通常冷間圧延の済んだ $3 [mm]$ 前後より薄い板厚が多く、特に $2 [mm]$ 以下の場合が多い。これらの材料をLF式で加熱するためには、加熱周波数を、数 $100 [kHz]$ 以上に上げる必要があるが、大容量で高い周波数の電源製作などにハード上の限界があり、工業規模で実現することは困難な場合が多い。

【0016】

特許文献1の方法は、板の上下に誘導コイルを配置した1種のTF方式と考えられ、金属板の進行方向で発生する磁束は交互に逆向きに発生するが、上下コイルがずれているため、上下コイルで発生する磁束が打ち消し合う領域と磁束が帯板を斜めに横切る領域が交互にでき、磁束が集中するのを防ぐことが可能になっていると考えられる。そのため、従来のTF方式ではエッジ部に磁束が集中し、エッジ部が過加熱するという問題を緩和する効果が発現すると考えられるが、磁束が打ち消し合う領域ができること、シングルターンであるため、帯板にパワーを入れ電界強度を上げるためにはコイルへ流す電流値を大きくしなければならず、コイルの銅損が増えることなどのため効率が低下しやすいという問題がある。

【0017】

また、効率を上げるためには、同公報の実施例で開示されているように上下のシングルターンコイルを帯板に近接させる必要があるが、通板している帯板は形状が変形していたり振動したりするため、広幅で長い区間を通板しながら加熱するには困難がある。

【0018】

また、特許文献2の方法は、金属基材の面と対向するように金属基材の搬送方向において、幅方向中央で最も広がった誘導加熱コイルを備え、金属基材の搬送方向に沿った誘導コイル幅の合計を、実質的に均一とする方法であるが、この方法は、金属基材に向かい合わせた誘導コイルからの漏れ磁束により加熱を行う方法となるため、誘導コイルとの距離が離れると磁束が金属基材を貫通する保証はなく、金属基材と近接させないと加熱が起きにくく、また、金属基材の形状が悪く誘導コイルとの距離が変化する場合には大きな温度偏差が生じる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 9 】

また、誘導コイルの幅を進行方向で金属基材と実質同じ幅になるように菱形形状の誘導コイルとしているが、この形状では金属基材の板幅が変化したときには対応がつかない。誘導コイルに回転機構を設けるようにしているが、回転させた場合には進行方向で加熱時間が同じにはならないため、均一温度にはなりにくいし、工業規模で大電流を流す加熱装置の回転機構を実現するのは、極めて大きな困難が伴う。

【 0 0 2 0 】

上記の両特許文献とも、誘導コイルが金属材料を囲んだ閉ループ内の加熱ではないため、磁束が確実に金属材料を貫通する保証は無く、誘導コイルとの距離の影響を受けやすいとともに、誘導コイルのターン数を変えられないため磁束密度を制御することが難しい。

10

【 0 0 2 1 】

それに対し、特許文献 3 は、上記加熱装置の欠点を解消するため、金属板を幅方向に囲む誘導コイルを金属板の進行方向でずらすことにより、金属板表裏に面した誘導コイルの直下の金属板内に表裏の誘導コイルで発生する誘導電流がお互いに干渉しないように独立した電流を発生させることで、電流の浸透深さ以下の板厚の金属板でも非磁性の金属板でも加熱することができることを示している。また、誘導コイルが金属板を閉じて周回することから、磁束は必ず金属板と鎖交するため誘導コイルと金属板が比較的離れていても容易に加熱することができるという実用上の大きな利点もある。

【 0 0 2 2 】

ところが、金属板の中央部で発生した誘導電流は金属板の端部を流れる時に電流が集中し高電流密度になりやすいこと、表裏の誘導コイルを進行方向に離れたことにより、端部を流れる誘導電流の流れる時間が長くなることから、金属板端部が過加熱になりやすく、温度偏差の小さな分布を得るための条件（表裏誘導コイルのズレ量、誘導コイルの幅等）が極めて狭いという問題があった。

20

【 0 0 2 3 】

上記 3 方式とも、非磁性加熱を行うことはできるものの、加熱温度分布を精密に制御することは難しく、金属板の変形や、既存炉の途中に設置する場合などでは断熱材の厚みや、通板性を考慮した場合、金属板と誘導コイルとの間隔を狭くすることは難しい。また、金属板の板幅の変更や蛇行などへの対応も難しい。

そこで、本発明者は特許文献 4 および特許文献 5、並びに特許文献 6 において、金属板端部を流れる電流を制御するため、金属板端部において誘導コイルを傾斜させる等の方法により、金属板端部を流れる電流密度、加熱時間を制御する方法を提案するとともに、蛇行や板幅変更へ対応する方法について提案した。特許文献 4 および 5、並びに特許文献 6 の方法では、上述の 3 方式に比べて、大幅に温度分布制御が可能であるものの、条件によっては金属板端部と中央部の温度偏差を十分には解消できないケースもあった。

30

【 0 0 2 4 】

本発明は、これら従来の L F 方式や T F 方式が抱える金属板の誘導加熱の課題を解決するもので、誘導コイルを用いて、磁性材に限らず非磁性材や非磁性域においても、金属板と誘導コイルとのギャップを十分に保ちながら、上記特許文献 4 及び特許文献 5 に記載している誘導加熱装置以上に温度制御性に優れるとともに、幅変更や蛇行などにも効果的に対応する事が可能で、効率よく加熱できる誘導加熱装置および誘導加熱方法を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 5 】

(1) 金属板の表面との間に間隙を有して金属板の幅方向に周回するように、金属板の表面側の導体と裏面側の導体を接続して形成された誘導コイルを有し、この周回する誘導コイルの内側を通過する金属板を誘導加熱する装置であって、前記誘導コイルを前記金属板の長手方向に 2 組以上隣り合わせて配置し、前記金属板の表面側と裏面側の誘導コイルを構成する導体をそれぞれ前記金属板へ垂直投影した際の垂直投影像において、前記 2 組以上誘導コイルのそれぞれにおける前記金属板の中央部では、前記表面側の導体と裏面側の

50

導体が、前記金属板の長手方向に対して互いに重ならないように間隔を有して配置され、前記2組以上の誘導コイルのそれぞれにおける前記表面側および裏面側の導体の少なくとも何れかは、前記金属板の少なくともいずれかの幅方向の端部に向かって幅方向に対して傾斜する部分を有し、さらに、前記隣り合う2組以上の誘導コイルにおいて、前記表面側の導体同士が、金属板の長手方向に近接すると共に、前記裏面側の導体同士が前記表面側の導体同士の近接する間隔よりも大きい金属板長手方向の間隔を有して配置され、または、前記裏面側の導体同士が、金属板の長手方向に近接すると共に、前記表面側の導体同士が前記裏面側の導体同士の近接する間隔よりも大きい金属板長手方向の間隔を有して配置され、且つ、前記誘導コイルに交流を通電した際に、前記近接する導体同士に同じ向きの同相の電流が流れるように装置が構成されていることを特徴とする金属板の誘導加熱装置

10

。
(2) 少なくとも前記金属板の長手方向における最も外側に配置された誘導コイルの前記表面側および裏面側の導体の少なくとも何れかは、前記金属板の少なくともいずれかの幅方向の端部に向かって幅方向に対して傾斜する部分を有するように配置され、当該最も外側に配置された傾斜を有する導体の傾斜部分の外側に、前記金属板の少なくとも幅方向端部を覆うように、前記金属板の表面側から裏面側にわたる磁性体コアを備えていることを特徴とする(1)に記載の金属板の誘導加熱方法。

(3) 前記磁性体コアが、水平方向に移動する機構を有し、金属板の端部からの覆う量を変えることができることを特徴とする(2)に記載の金属板の誘導加熱装置。

(4) 前記誘導コイルの表面側の導体および裏面側の導体の少なくとも一方が金属板の幅方向に移動可能とする機構を有し、幅方向に対して傾斜する部分を有するように配置された導体の傾斜部の前記金属板に対する幅方向の位置を変えることができることを特徴とする(1)～(3)のいずれか1項に記載の金属板の誘導加熱装置。

20

(5) (1)～(4)のいずれか1項に記載の金属板の誘導加熱装置を用いた誘導加熱方法であって、前記誘導加熱装置の誘導コイルの内側に金属板を通過させ、前記誘導コイルに交流を通電して、前記誘導コイルの近接する導体同士に同じ方向の同相の電流を流すことで、前記金属板の内部に、前記誘導加熱装置の前記2組以上の誘導コイルそれぞれにおける前記表面側と裏面側の導体の前記金属板への垂直投影像とほぼ同一形状で、かつ、前記通電により前記表面側と裏面側の導体に流れる交流の向きと逆向きである主たる誘導電流を発生させると共に、前記表面側と裏面側の導体の前記金属板への垂直投影像において、前記金属板の幅方向に対して傾斜を有するように配置された前記導体の傾斜部分の外側で、かつ、前記隣り合う誘導コイルで挟まれた領域で、前記隣り合う誘導コイルの一方により発生する従たる誘導電流のマイナーループと、他方より発生する従たる誘導電流のマイナーループの誘導電流の向きを逆向きに発生させることにより、互いのマイナーループを打ち消し、従たる誘導電流の発生を防止しつつ、金属板を加熱することを特徴とする金属板の誘導加熱方法。

30

(6) (3)または(4)に記載の金属板の誘導加熱装置を用いた誘導加熱方法であって、前記磁性体コアの金属板の端部からの覆う量を変えることにより、金属板端部の温度分布を変更することを特徴とする(5)に記載の金属板の誘導加熱方法。

(7) (4)に記載の金属板の誘導加熱装置を用いた誘導加熱方法であって、前記誘導コイルの表面側の導体および裏面側の導体の少なくとも一方を金属板の幅方向に移動させ、前記導体の傾斜部の金属板に対する位置を調整して前記金属板の温度分布を調整することを特徴とする(5)に記載の金属板の誘導加熱方法。

40

【0026】

なお、本発明でいう「金属板の長手方向」とは、金属板の通過方向（搬送ラインと同一方向）のことである。また、本発明でいう「LF方式」とは、非加熱物の軸方向に交番磁界を与える従来のLongitudinal Flux（縦断磁束加熱）方式のことである。

【発明の効果】

【0027】

50

本発明による誘導加熱装置や誘導加熱方法を用いることで、板厚の厚い材料や磁性域の薄板の加熱を可能とするだけではなく、従来の誘導加熱方式では不可能であった、板厚が薄く比抵抗が小さく非磁性のアルミや銅などの非鉄金属板の加熱、及び、鉄などの磁性材におけるキュリー点以上の温度の非磁性域における加熱を可能とする。

【 0 0 2 8 】

更に、金属板中央部の温度を上昇させ、金属板端部の温度上昇を抑制することで、金属板全体の温度分布が制御でき、金属板端部の過加熱を抑制または防止ができる。

【 0 0 2 9 】

また、本誘導加熱装置の前工程から持ち込まれる金属板の温度偏差の解消や、後工程での金属板の温度特性を考慮し、所望の温度分布をつけて加熱することなど、要求される冶金特性に合わせた加熱速度、温度分布で加熱することにより、高品質の製品を安定して作りこめるとともに、操業変動による品質への影響を解消することが可能となる。

【 0 0 3 0 】

更に、ガス加熱の炉で問題となる熱慣性の影響が無いため、金属板の板厚や板幅、材料の種類の変更により、炉の温度変更をしなければならないときでも、加熱速度を自在に制御できることから、通板速度を変更する必要も無くなる。そのため、ガス加熱の炉では、通常、炉温変更時に炉が安定するまでの間必要とされる繋ぎ材が不要になるばかりではなく、通板速度を落とすことなく生産を続けられるため、生産性の低下を回避できるとともに操業計画の自由度が大幅に向上する。

【 0 0 3 1 】

また、本発明の誘導加熱装置は、金属板の板厚・板幅の変更に対応できるだけではなく、蛇行などの変動要因にも柔軟に対応し、所望の温度分布が得られるばかりではなく、板幅に応じた誘導コイルのセットを複数持たずに済むことから、設備費も安価にすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 3 2 】

以下、本発明の実施の形態について説明する。説明を簡単にするため、2組の誘導コイルとして、2T(ターン)の場合(1組1ターン)について図面を用いて説明するが、2Tに限定されるものではなく、複数Tでもあるいは1Tの並列接続でも可能である。

【 0 0 3 3 】

図9(a)は、本発明の誘導加熱装置の1例を示す平面模式図であり、図10は、図9(a)で金属板1に発生する誘導電流を示す模式図である。以下の本発明の説明で用いる誘導コイルとは、電気良導体で構成されるパイプや線材、板などで被加熱材である金属板の周囲をその表面とは間隙を有して金属板の幅方向に1周以上巻くようにした導体により形成されるコイルの総称として用い、被加熱材を囲む形状は矩形でも円形でも特に規定するものではない。2周以上巻く場合は、各ターン(T)の導体同士は隣接して設置される。なお、各ターンは、後述するように、表面側の導体と裏面側の導体とが、被加熱材(金属板)の幅方向端部の外側で接続導体或いは導電部材で接続され、周回するように形成されたものを含む。導体の材質は、銅やアルミ等の電気伝導良好な材質が好ましい。また、本発明でいう誘導コイル1組とは、表裏誘導コイルが金属板を1周して誘導コイルを構成する最小の単位のことであり、2組とは、この表裏誘導コイル対が2対あることを示す。なお、以下の図7、図9(a)、図9(b)、図11、図12、図16および図17においては、矢印は、コイル電流の方向を示し、太線は金属板表側の誘導コイル導体を、破線は金属板裏面の誘導コイル導体を示すものとする。また、以下の図8および図10においては、矢印は、金属板内部に発生する誘導電流の方向を示すものとする。

【 0 0 3 4 】

本発明に係る、金属板の誘導加熱の原理について、図を用いて以下に説明する。

本発明では、先ず、図3に示すように誘導コイル2の内側を通過する金属板1の表面側と裏面側の誘導コイルを構成する導体2aおよび2bを、それぞれ該金属板へ垂直投影した際に、表面側と裏面側の該導体の垂直投影像が、金属板の長手方向に対して互いに間隔

10

20

30

40

50

を有する（ずれる）ように該導体を配置する。すると、図4の側断面図に示すように（簡単にするため2a導体のみで説明）、金属板1には斜めに磁束4が貫通し、その磁束により誘導電流6aが発生する。したがって、斜めに電流パスが広がることで生じた誘導電流6aの浸透深さ δ が板厚 t より厚くても、誘導電流は流れるようになる。

【0035】

誘導コイル2の導体2aと2bとは金属板進行方向で間隔をあけて（ずれて）配置しているため、誘導コイル2の導体2aと2bとで発生した誘導電流6aと6bとは干渉することがなく、金属板1全体では、図5に示す様な環状電流が発生し、金属板1が非磁性材でも加熱することが可能になる。

【0036】

ところが、金属板端部（金属板の幅方向の端部、以下同様）を流れる電流は、表裏の誘導コイル2の導体2aと2bとを結ぶ接続導体8、あるいは表裏の誘導コイル2の導体2aと2bと電源とを結ぶ導電部材7を流れる一次電流との間のリアクタンスを小さくしようとするため、金属板の端部に寄せられてしまうため電流路が狭くなってしまうこと、導電部材7及び接続導体8を流れる一次電流により発生する磁束が、距離の最も短い金属板端部を集中的に貫通してしまうこと、金属板端部は、中央部に比べ加熱時間が $d3$ の距離分（図5参照）だけ多く加熱されてしまうため、金属板端部は過加熱になりやすい。また、誘導コイルが1組の場合には、金属板中央部でも磁束は誘導コイルから外に広がりやすくなるため、誘導電流の電流密度も低下するため、中央部の温度が上昇しにくく、金属板中央部と金属板端部との温度偏差は拡大しやすい。

【0037】

そこで、本発明では誘導コイルを2組以上用い、金属板の長手方向に隣り合わせて配置する。すなわち、図6のように誘導コイルの導体2bと3bを近接して配置し、同相の一次電流を流すことにより、中央部のコイル導体により磁束は2倍になり電流密度が上昇する。また、近接する2つの誘導コイルの導体2b、3bで発生した磁束は、間隔を開けて（ずらして）配置したコイルの導体2a、3aと逆向きのため、2a、3aで発生した磁束によって干渉されることなく且つ磁束が広がることなく、誘導コイル導体2b、3bの近傍に集中しやすくなり、金属板中央の温度が上昇しやすくなる。ただし、誘導コイルの導体2a、3aの外側（金属板の長手方向の端部側、すなわち図6では、2aの上側および3aの下側）は、対抗する磁束がなく誘導コイルの外側に広がろうとするため、磁束が集中しにくく金属板に発生する誘導電流の密度も高くなりにくく、昇温量も隣接する誘導コイル導体に比べれば少ない。そのため、図6のように幅方向にほぼ水平な、すなわち、幅方向に傾斜部を有しない導体で形成されている誘導コイルを金属板の長手方向に平行に配置する場合には、隣り合う誘導コイル数（導体の数）を増せば増すほど金属板中央部の温度が上昇しやすく、金属板端部との温度偏差は解消してゆく。

【0038】

しかし、図3～図5で説明したように、誘導コイルを長手方向に平行してずらして配置した場合には、金属板端部を流れる電流の影響による金属板端部の過加熱はなくなることから、加熱した金属板の温度偏差をさらに解消していくために、本発明では図7に示すように金属板の幅方向の少なくともどちらかの端部へ向かつては、誘導コイルの表裏（表面側および裏面側の導体の少なくとも1つが金属板の幅方向に対して傾斜して横切るような部分を有する形状とする。

導体の傾斜する部分の幅方向の範囲は特に限定するものではないが、導体は幅方向の少なくとも一方の金属板の幅方向端部の近傍に傾斜部を有するようにする。

【0039】

図7では、誘導コイルの表裏の導体が共に金属板両端部近傍で幅方向に傾斜する部分を有する例を示している（誘導コイル1組の例）。このような誘導コイルの形状にすると、金属板1には図8の太実線に示すような環状の誘導電流路6が形成され、矢印の方向の誘導電流が発生する。これは、先に説明した図5の場合に比べ金属板端部で電流路が狭くなり、電流密度が高くなり、また、誘導コイルの表裏の導体が金属板端部近

10

20

30

40

50

傍で交差するため、金属板端部を流れる誘導電流による加熱時間を短かくできるため、図3のように誘導コイルの表裏の導体を長手方向に平行にずらしたただけの場合よりも、金属板端部の過加熱を避けることができる。

【0040】

ところが、主たる誘導電流は、図8に示すように、表面側と裏面側の導体の垂直投影像と略同一形状で、且つ、表面側と裏面側の導体に流れる誘導電流の向きと逆向きに、図の太い実線で囲んだ部分を流れるものの、一部の従たる誘導電流は金属板端部で反転して、図8の9に示すような金属板の幅方向に対して傾斜を有するように配置された前記導体の外側領域において、誘導電流のマイナーループが生じることが、実験と解析から明らかになった。そのため、温度偏差を厳格に管理しなければならない加熱が要求される場合には、このマイナーループの電流が無視できなくなることがあり、金属板端部を電流がまわることによる、金属板端部の温度上昇による過加熱問題になる場合がある。

10

【0041】

そこで、本発明では、図11や図9(a)のように上述した幅方向に傾斜した部分を有する導体を備えた誘導コイルを2組以上隣り合わせて用いる。図9(a)は、2組の誘導コイルそれぞれにおいて表面側の導体と裏面側の導体を金属板1の長手方向でずらして(間隔を開けて)配置した、導体2aと2bを有する1組の誘導コイルと、導体3aと3bを有するもう1組の誘導コイルの計2組を、金属板1の長手方向に直列に隣り合わせて配置した例である。

更に、本発明では、隣り合わせた誘導コイルの表面側の導体同士が金属板の長手方向に近接するように配置すると共に裏面側の導体同士がそれよりも離れて、すなわち、表面側の導体同士の近接した間隔よりも大きい金属板長手方向の間隔を有するように配置されるようにする、あるいは、裏面側の導体同士が金属板の長手方向に近接するように配置するとともに、表面側の導体同士がそれよりも離れて、すなわち、裏面側の導体同士の近接した間隔よりも大きい金属板長手方向の間隔を有するように配置されるようにする。そして、誘導コイルに交流を通電した際に、近接する導体同士に一次電流が同方向で同相になるように流すことを特徴とする。

20

【0042】

図9(a)、図9(b)は、誘導コイルの導体が表面側および裏面側で、互いに金属板の異なる端部側に傾斜を有している(傾斜部分を有している)例を示すものである。

30

図9(a)は、裏面側の導体同士が近接している例で、一次電流が誘導コイルを流れるルートとしては、高周波電源11から接続導体7aを通り、導体3a→接続導体7b→導体2b→端部接続導体8→導体2a→接続導体7c→導体3b→接続導体7d→高周波電源11の経路で流れ、隣接する裏面側の導体2bと3bには同じ方向に同相の一次電流が流れるようになる。

【0043】

この2組の傾斜部分を有する導体を備えた誘導コイルを隣り合わせて、近接する裏面側の導体同士(又は表面側の導体同士)に同相の一次電流を流す理由は以下の通りである。

第一の理由は、前述のとおり誘導コイルで発生した磁束を集中させることができるため加熱効率が上げられることにある。

40

第2の理由は、先に説明したように、傾斜部分を有する導体の場合には、図8に示すようなマイナーループ9が生じることにより、金属板端部の温度が上がりやすくなるのに対し、2組の誘導コイルを隣り合わせて配置し、裏面側の導体同士(又は表面側の導体同士)を近接して並べ同相の一次電流を流す図11や図9(a)の場合には、図10に示すように、金属板の幅方向に対して傾斜を有するように配置された導体の外側領域(傾斜部分の外側の領域)で、且つ、前記隣り合う誘導コイルに挟まれた領域で、前記隣り合う誘導コイルの一方(図9(a)では3b側)により発生する従たる誘導電流のマイナーループ10aと、他方(図9(b)では2b側)により発生する従たる誘導電流のマイナーループ10bとの誘導電流の向きを逆向きに発生させることができ、互いのマイナーループを打ち消しあって、マイナーループ10を流れる従たる誘導電流を減少させることができ、

50

金属板端部の温度上昇を抑制し、加熱温度分布の均一化を図ることができるためである。

【0044】

図9(b)は、図9(a)が導体2aと2bからなる1組の誘導コイルと、導体3aと3bからなるもう1組の誘導コイルの計2組を直列に接続しているのに対し、並列に接続した例であり、並列接続でも上記で説明したと同様の効果が得られる。

【0045】

図11は、誘導コイルを構成する導体各々が金属板1の両端部近傍で表裏共に傾斜する部分を有する導体を備えた誘導コイル2組を隣り合わせて配置し、裏面側の導体2bと3bを近接して配置し、電源11に並列接続することにより、導体2b、3bに同相の一次電流を流すようにした例である。導体2bと3bで囲まれる金属板1の端部は、導体2bと3bとで発生する誘導電流が逆向きでほぼ同じ大きさとなるため、金属板の幅方向に対して傾斜を有するように配置された導体2b、3bの外側領域で、且つ、前記隣り合う誘導コイルに挟まれた領域には誘導電流が殆ど流れなくなり、マイナーループの発生を抑制することができる。

【0046】

上記原理から明らかなように、隣り合わせる誘導コイルの組は、2組に限らず、数が増えるほど金属板端部を流れる従たる誘導電流(マイナーループ)の影響を小さくすることが可能となる。この隣り合わせる誘導コイルの接続は、図9(a)のように直列接続でも、また図9(b)、図11のように並列接続でも、また、図12のように直列接続と並列接続を組み合わせても構わない。なお、図12は、4組の誘導コイルを配置した例であり、導体2b、3bで挟まれた金属板の両端部、導体3a、2a'で挟まれた金属板の両端部、導体2b'、3b'で挟まれた金属板の両端部、の領域には誘導電流が殆ど流れなくなり、マイナーループの発生を抑制することができる。

【0047】

隣り合わせる誘導コイルにおいて、近接させる裏面側の導体同士(又は表面側の導体同士)金属板の長手方向の間隔は、特に規定するものではないが、間隔が開きすぎると磁束集中の効果が薄れてくるので、あまり離さない方がよく、導体の金属板長手方向における1幅分以下にするのが望ましい。また、傾斜する導体の角度は加熱する金属板の幅および誘導コイルの幅により適正な角度 α を電磁場解析や実験で求め決めればよい。また、組み合わせる誘導コイルの幅、形状は、できれば同じ方が対称となり、温度分布を制御しやすいが、特に同じ形状でなくても、上記原理に従えば異形状であっても問題ない。

【0048】

しかし、図9(a)、図9(b)、図11、及び、図12においても、同相の電流が流れない、金属板1における最も外側(金属板の長手方向の前方側または後方側、図の最上部又は最下部)に配置された傾斜を有する導体の傾斜部分の外側に発生するマイナーな誘導電流(長手方向の最端(図の最上および最下)にある導体の傾斜部の外側に発生するマイナーループ)は残ったままになる。

そこで、本発明では、この傾斜部のマイナーな誘導電流を減少させるため、図13に示すように金属板1における最も外側に配置された傾斜を有する導体の傾斜部分の外側(隣接する導体が存在しない導体2a及び3aの外側)に、金属板1の端部に、金属板の端部を覆うように前記金属板の表面側から裏面側に渡る磁性体コア12a、12bを設置する。金属板の端部を覆うような形状としては、例えば、断面がコの字状の磁性体コアとすれば良い。

【0049】

図14、図15は、図13のA-A断面で、この磁性体コア12aの働きを説明する断面模式図である。図14では、コイル導体2aを流れる一次電流(図では、紙面の奥から手前に流れている場合)によりコイル導体2aの周りには、右ねじの法則により磁束13が発生するが、磁束の一部は、金属板1の表側にある周囲に比べて透磁率が高く磁気抵抗の小さい磁性体コア12aに入り、上部から内部を通過して下部へ至った後、金属板1の裏面から金属板1の端部に向かい、金属板1を貫通して磁束13bとして磁性体コア12

10

20

30

40

50

aの上部に戻す。

【0050】

一方、磁束13の残りの大部分は、金属板1の端部に磁束13aを貫通させるが、逆相の磁束13bに阻害されて金属板1の中央側にずれて入る。そのため磁束13aで金属板1の端部を回ろうとするマイナーな誘導電流は、逆相の磁束13bにより発生する誘導電流と打消しあうことにより、金属板端部を流れるマイナーな誘導電流は減少することになり、金属板端部の過加熱を抑制することができる。図15は、図14と逆相の電流が導体2aに流れた場合の説明で、この場合も金属板1の端部には逆相の誘導電流13aと13bが発生し、両者が打ち消しあうことにより、マイナーループは減少して、過加熱を抑制する。

10

【0051】

図16は、図11に示した誘導コイルの配置において、最も外側に配置された誘導コイルの導体の傾斜部分の外側にそれぞれ磁性体コアを付加した例で、4箇所ある最も外側に配置された傾斜を有する導体の傾斜部分の外側におけるマイナーな誘導電流による金属板端部の過加熱を抑制する。また、図17は、図12に示した誘導コイルの配置において4組の誘導コイルを同相電流が流れるように隣接配置し、マイナーループが相殺できない、金属板1における最も外側に配置された傾斜を有する導体の傾斜部分の外側に磁性体コアを設置した例で、極めて効果的に端部の温度制御が可能となる。磁性体コアは、積層した電磁鋼板やフェライト、アモルファスなどの比透磁率が高く、発熱し難い材質のものを適宜選択して用いれば良い。また、説明では、磁性体コアを、金属板端部側から導体の傾斜部に垂直に向かうように配置して金属板を覆った例で説明しているが、金属板端部側から金属板端面に垂直に向かうように配置して金属板を覆うようにしても良く、特に角度が厳密である必要はない。

20

【0052】

次に、本発明の誘導加熱方法による金属板の加熱温度分布を制御する方法について説明する。

図18(a)は、誘導コイルの傾斜する部分を構成する導体と金属板端部部分を取り出し、金属板端部と導体との位置関係を示す模式図で、図中のAのラインは、金属板端部が傾斜する導体の途中を通過する場合を、Bのラインは、金属板端部が傾斜する導体が裏面の導体と重なり再び金属板に垂直に金属板の端部外側に伸び始める近傍を通過する場合を示し、Cのラインは、傾斜する表側の導体が金属板端部の内側で裏面の導体と重なり、表裏導体が完全に重なって金属板に垂直に金属板の端部外側に伸びている途中を金属板端部が通過する場合を示す。

30

【0053】

図18(b)は、Aのラインを金属板端部が通過するときの金属板に発生する誘導電流を示す模式図である。図中の斜線部分が誘導コイルにより発生する主電流の流れる範囲を示し、矢印線がマイナーループを形成する従の誘導電流である。金属板端部が誘導コイルの傾斜する導体の傾斜途中を通過する場合には、金属板端部はおおよそLaの距離を誘導電流が流れ、かつ本来なら傾斜する誘導コイルに沿って誘導電流が流れるが、金属板端部から先は電流路がなくなるため、金属板端部に沿って誘導電流が流れるため金属板端部を流れる誘導電流密度は高くなり金属板端部の温度が高くなりやすい。

40

【0054】

次に、図18(c)のように金属板端部が、傾斜する導体の傾斜の終端近くで表裏導体が重なる近傍のBラインを通過する場合、上記Laよりも短いLbの距離を誘導電流が流れるが、金属板端部においては表裏導体が一部重なることから、金属板端部では誘導電流の発生が抑制されるため、端部温度が上昇しにくくなる。すなわち、本発明では、誘導コイルの傾斜した導体を金属板の端部に向かわせ、金属板端部の外側で誘導コイルの表裏の導体が重なるように配置しているが、これは、誘導コイルの表裏の導体が重なるように配置すると、この部分は、いわゆるLF加熱と同様の磁束分布となり、金属板には前述したように誘導電流は発生せず、主電流は金属板端部より内側を流れようとすることから、金

50

属板端部の昇温量は少なくなる。

【 0 0 5 5 】

さらに、図 1 8 (d) のように金属板端部が C のラインを通過する場合には、完全に誘導コイルの表裏の導体が重なる位置を通過するため、金属板端部では誘導電流が発生せず、金属板端部から内側へ入った場所を誘導電流の主電流が流れる。そのため、金属板端部の温度は中央部よりも低くなる。図 1 8 (a) では、誘導コイルの表裏の導体がほぼ重なった状態を示しているが、金属板端部近傍の誘導コイルの表裏の導体は完全に重ならなくても、誘導コイル 1 幅分以上ずれなければ、ほぼ金属板端部に発生する誘導電流を抑制することができる。

上述したように、本発明の加熱方法を用いると、傾斜する導体の金属板との相対的位置を調整することにより、金属板の加熱温度分布を制御することが可能になる。

【 0 0 5 6 】

さらに、図 1 9 のように、複数組の誘導コイル (図では 4 組) を用い、各誘導コイルの導体の傾斜部と金属板端部との位置関係を個別に調整することにより、細かく加熱温度分布を制御することが可能になる。図 1 9 は、誘導コイル導体 2 a , 2 b , 3 a , 3 b を直列接続して 2 T (ターン) としたセットと、誘導コイル導体 2 a ' , 2 b ' , 3 a ' , 3 b ' を直列に接続して 2 T としたセットとを並列に接続したものであるが、誘導コイル導体 2 a , 2 b の対、 3 a , 3 b の対、 2 a ' , 2 b ' の対、 3 a ' , 3 b ' の対の金属板端部との位置関係を、各誘導コイル導体毎に変えた例で、誘導コイル導体の傾斜部の完了する位置 (傾斜から水平となる位置) が、図中の上側の誘導コイルから下側の誘導コイルになるにつれて、金属板内部から徐々に金属板端部へ向かって外側へ移動するように配置した例を示す。この場合、下側の誘導コイルの配置ほど、金属板端部の加熱を促進する機能を持つ。このように個別に誘導コイルの位置制御を組み合わせると、加熱温度分布は金属板中央部よりも金属板端部の温度を高くもまた、低くも、あるいは均等にと自在に制御することが可能になる。また、特定の場所の温度分布を制御することも可能になる。

さらに、各誘導コイルセットを板幅方向で自在に移動可能とすると、金属板の蛇行や金属板の幅が変更になった場合でも自由に追従可能となり、操業変動への対応が容易になる。

【 0 0 5 7 】

上述の誘導コイルのセットを金属板の幅方向に移動できる台車に載置し、台車を幅方向に移動させることにより、誘導コイルの導体の傾斜部の位置と金属板端部の位置との関係を調整することができる。なお、必要によりこの台車に複数の誘導コイルのセットを載置して、幅方向に移動させることにより、誘導コイルの導体の傾斜部の位置と金属板端部の位置との関係を広範囲に調整することもできる。

また、各誘導コイルのセットにおいて、表面側の導体と裏面側の導体とを傾斜部の外側 (非傾斜部) において相互に、或いは一方が他方に対して幅方向に移動可能に接続することにより、各セットにおいても誘導コイルの導体の傾斜部の位置と金属板端部の位置との関係を調整することができる。

【 0 0 5 8 】

また、本発明による誘導加熱装置は、磁性体コアによっても加熱温度分布を制御することが可能である。すなわち、金属板 1 の入り側及び出側の誘導コイルの傾斜部によるマイナーな誘導電流の影響が大きい場合には、図 20 に示すように、金属板端部を流れる電流を抑制するため、磁性体コア 12 b でコイル導体 3 h で発生する磁束の補足量を変えるか、あるいは補足した磁束を戻す場所、密度を変えればよい。図 2 0 は、傾斜する部分を有する誘導コイル 3 h が金属板 1 の上に配置され、磁性体コア 1 2 b をどのように配置するかを説明するための部分平面模式図である。磁性体コア 12 b で補足する磁束量を変えるためには、磁性体コア 12 b の磁束が入る断面の面積 (磁性体コアの幅と厚み) を変える方法や、磁性体コア 12 b と誘導コイルのコイル導体 3 h との距離を変えること (図 2 0 における L) 、コイル導体 3 h の外側の金属板 1 を磁性体コア 12 b が覆う面積を変えること (図 2 0 における d と w の積に比例) 等により、磁性体コア 12 b 内に入る磁束の量を変えることができる

。

【 0 0 5 9 】

また、磁性体コア12b内に入った磁束の金属板への戻し方による加熱温度分布の制御の方法としては、誘導コイルと反対側の磁性体コア12bの面積の増減（図20におけるdとwの積に比例：必ずしも表面と裏面のdとwは一緒である必要はない）、磁性体コア12bの金属板端部からの位置を変えること（図20のL）、磁性体コア12bと金属板1との距離等を変えることにより、磁性体コア12bで戻す磁束により生じる逆向きの誘導電流の大きさを制御すると、金属板端部での発熱分布を変えることができる。

【 0 0 6 0 】

また、図21には磁性体コア12bが金属板端部との水平距離（図20のL）を連続的に制御する例を示しており、レール15の上に設置した台座14の上に磁性体コア12bを載せ、台座14をエアシリンダや電動シリンダなどの駆動装置16で動かせば、磁性体コア12bが自在に可動でき、磁性体コア12bが金属板1を覆う面積を自在に制御できる。したがって、本誘導加熱装置の後段に温度計測装置を設け誘導加熱を行えば、所望の温度分布に制御することが可能となる。すなわち、加熱後の金属板端部の温度分布が高ければ、磁性体コアで金属板端部を覆う面積を増やすように磁性体コア12bを金属板内側の方へ押し込めばよいし、逆に金属板端部の温度が低ければ磁性体コア12bを金属板端部から離れる方向に引き出せばよい。

【 0 0 6 1 】

また、図21の機構は、例えば金属板1が蛇行した際に、適正な位置に磁性体コア12bを配置するための方法にもなるし、移動距離が長くできるならば、板幅が変更されるときにも適正な位置にセットすることもできる。

これら磁性体コア12bを動かすための部材は、強磁場に置かれることから、できるだけ強度のある樹脂やセラミックスなどの非導電体で構成するのが望ましく、やむを得ず金属を使う場合にはSUS304などの非磁性材の金属を用い、発熱が懸念される場合には冷却構造が必要となる。

【 0 0 6 2 】

また、金属板が蛇行した場合にはあらかじめセットした誘導コイルからの位置がズレることにより金属板両端部の温度の過不足が生じるが、このような場合にも磁性体コア12bを金属板1の蛇行に合わせて移動させることにより、所望の加熱温度分布にすることができる。

【 0 0 6 3 】

この温度調整のためには、本誘導装置の前後のどちらかに蛇行検知装置あるいはモニター装置を設置し、正確な金属板の走行位置を把握するとともに、加熱温度分布を把握し所望の温度分布を得るために、少なくとも本装置の出側、できれば更に本装置の入側にも温度分布を計測する装置を設け、適切な加熱ができるように磁性体コアの位置制御をすれば効果的である。

【 0 0 6 4 】

以上説明したように、本加熱装置および加熱方法は、板厚・板幅によらず、また磁性・非磁性を問わず効果的に加熱することが可能となる。すなわち、電気を使用することで、従来のガス加熱を用いた方法に比べると熱慣性がほとんど無いことから、自在に操業条件を変更することが可能になり、所望の温度に自由に加熱することができ、輻射加熱では熱が入りにくい高温部においても自在な加熱速度で加熱できるとともに、休止や立ち上げに要する時間もほとんどかからないため操業の自由度が大幅に増大する。また、板幅変更や板厚変更へも容易に対応ができることから、生産計画も生産自体も制約少なくフレキシブルな操業を可能にする。

【 0 0 6 5 】

さらに、設置スペースも輻射加熱に比べると大幅に縮小でき、建設コストも下げることができる。また、使用する加熱電源周波数も、扱いやすく電源の安価な比較的低い周波数を使うことができるとともに、高周波加熱で問題となるコイル電圧の高電圧化なども避け

10

20

30

40

50

ることが容易であり、ハード上の制約が大幅に緩和される。

【 0 0 6 6 】

また、本発明による誘導加熱装置および誘導加熱方法は、サイズ、品種を選ばず 1 台の装置で広範囲に対応が可能で、かつ、加熱温度分布も、これまでの誘導加熱装置で問題となっていた金属板端部の過加熱を防止する制御が可能で、温度分布を精密に狙った温度分布に制御できる従来には無い特徴を持つ優れた金属板の加熱装置および加熱方法である。

【実施例】

【 0 0 6 7 】

(実施例その 1)

本発明の効果を確認するため、0.5 mm 厚 × 600 mm 幅の非磁性鋼である SUS 304 を通板しながら加熱する実験を行った。

使用した電源は、10 kHz、max 100 kW の高周波電源で、共振周波数を調整するための整合用コンデンサを誘導コイルのインダクタンスに合わせて容量を増減し、整合をとるようにした。使用した誘導コイルは、幅 150 mm、板厚 10 mm の銅板に、外形 10 mm、内径 8 mm の水冷銅パイプを銅板と反対側（外側）に口ウ付けした水冷銅板製である。本実施例において導体は、銅板と銅パイプの両方を指す。

被加熱材と誘導コイルとのギャップは 100 mm とし、図 6 に示すように 2 組の誘導コイルを隣り合わせて平行に金属板の長手方向に 150 mm ずらして配置し同相の一次電流を流した本発明による実施例 1、誘導コイルの数を 4 組（各誘導コイルの金属板長手方向のずれは 150 mm とした）を、隣り合わせの配置となるように直列接続して 2 T としたもの 2 組を並列に接続した本発明による実施例 2（図示せず）と、比較例 1 として図 3 のように 1 組の誘導コイルを単独に用いた場合とで、加熱後の温度偏差を比較した。なお、実施例 1、2 において裏面側または表面側で近接する導体同士の金属板長手方向の間隔は 20 mm とした。加熱は、K 熱電対を溶着した被加熱材を 5 m/min で走行させながら行った。熱電対は、被加熱材の中央部と端部に取付けた。

結果を表 1 に示す。表中の温度偏差比は、昇温温度が各実施例で異なることから、板内の温度分布における最高昇温量（[加熱後温度 - 加熱前温度] の最大値）と最低昇温量（[加熱後温度 - 加熱前温度] の最小値）より、温度偏差比 = 最高昇温量 ÷ 最低昇温量で定義し、昇温温度分布のばらつき具合を同じ尺度で比較できるようにしたものである。

【 0 0 6 8 】

【表 1】

		温度偏差比
本発明	実施例 1	4.6
	実施例 2	2.1
比較例	比較例 1	12.2

【 0 0 6 9 】

実施例 1、2 及び比較例 1 共に、金属板の中央部の温度が低く、端部の温度が高かった。誘導コイル単独で加熱した比較例 1 に比べ、2 組の誘導コイル隣り合わせて配置し、同相の一次電流を流した本発明による実施例 1 は、温度偏差が約 1/3 に縮小し、4 組の誘導コイルを隣接して配置した実施例 2 ではさらに温度偏差が解消し、約 1/6 まで改善した。

【 0 0 7 0 】

(実施例その 2)

幅 150 mm の水冷銅板製の傾斜部を有する誘導コイル 2 組を図 9 (a) の配置とし、銅板の表裏面で銅板進行方向に中央で 200 mm ずらすとともに、傾斜部を有する誘導コイルは傾斜部の傾斜が金属板の端部となす角度 α を 20° とした本発明による実施例 3、誘導コイル 4 組（各誘導コイルの金属板の表裏面での銅板進行方向の中央でのずれは 20

0 mm、傾斜部の傾斜が金属板端部となす角度は20°とした。)を図12のように配置して図12の導体の傾斜が終了する位置Pが金属板端部となるようにして加熱した実施例4と、比較例として同誘導コイルを1組(図示せず)で加熱した比較例2とで実験を行った。なお、実施例3、4において、表面側または裏面側で近接する導体同士の金属板長手方向の間隔は15 mmとした。金属板端部と誘導コイルを構成する導体との位置関係は、図12に示すように傾斜部の終端部を金属板端部が通過するように配置した。評価は、K熱電対を溶着した被加熱材を通板しながら加熱し、昇温温度で行った。通板速度は、5 m/minである。

結果を表2に示す。温度測定位置は実施例その1と同じ位置であり、表中の温度偏差比は、実施例その1と同様の定義である。

【0071】

【表2】

		温度偏差比	コメント
本発明	実施例3	1.3	板中央部温度<板端部温度
	実施例4	1.1	板中央部温度>板端部温度
比較例	比較例2	1.9	板中央部温度<板端部温度

【0072】

傾斜部を有するようにして加熱した場合には、単独でも温度偏差は小さくでき、比較例2の場合で1.9であったが、2組の誘導コイルを用いることにより、さらに温度偏差は解消し1.3まで減少した。さらに4組の誘導コイルを用いた場合には、温度偏差は1.1まで解消するとともに、金属板中央部の温度より端部側の温度の方が低い加熱となった。

【0073】

(実施例その3)

実施例その2で行った4組の誘導コイル(図12の配置)を用い、誘導コイルの傾斜部の位置と金属板端部との位置を変えて実験を行った。図12の傾斜が終了する位置Pを金属板端部から50 mm内側にして加熱した実施例5、金属板端部から外側へ50 mmの位置にして加熱した実施例6について、実施例2同様に加熱を行った。なお、4組の誘導コイルとも金属板との位置関係は同じとした。

表3に結果を示す。実施例5の場合には、金属板端部の温度上昇が小さく金属板中央部の温度が高くなり、温度偏差比は大きくなった。反対に実施例6の場合には、金属板の端部側の温度が高く、上記実施例その2の実施例4では、やや金属板端部が金属板中央部よりも温度が低くなるもののほぼ均一な温度となり、誘導コイルの傾斜部を金属板端部が横切る位置により加熱温度分布が変えられることを確認した。

【0074】

【表3】

		温度偏差比	コメント
本発明	実施例5	1.4	板中央部温度>板端部温度
	実施例6	1.3	板中央部温度<板端部温度

【0075】

(実施例その4)

実施例その2で行った2組の誘導コイルを用いた実施例3に、図13、図14のようにコ字型のフェライトコア(断面25mm×15mm 開口部間口170mm、高さ220mm、奥行き120mm)を鋼板端部にかかる位置を変えて配置し、実施例2と同様の加熱実験を行った。実施例7は

、金属板端部と磁性体コアの端部（金属板の中央部へ向う端部）を揃えた場合で、温度偏差比は磁性体コア無しの場合の実施例3よりわずかに低下する。さらに磁性体コアの端部の位置を金属板端部から20mm入れた実施例8では更に低下し、温度偏差比は1.23となり磁性体コアの端部の位置を金属板端部から50mm入れた実施例9では更に低下し、温度偏差比は1.18となり、磁性体コアが金属板端部を覆う位置により温度分布が制御できることを確認した。

【0076】

【表4】

		磁性体コアの端部が 金属板端部から 中央側へかかる位置mm	温度偏差比	コメント
本発明	実施例7	0	1.28	板中央部温度<板端部温度
	実施例8	20	1.23	板中央部温度<板端部温度
	実施例9	50	1.18	板中央部温度<板端部温度

【図面の簡単な説明】

【0077】

【図1】従来のLF式誘導加熱を示す模式図である。

【図2】従来のLF式誘導加熱の金属薄板の断面に流れる誘導電流を説明する断面模式図である。

【図3】誘導コイルの表裏の導体をずらして配置する誘導加熱を説明する平面模式図である。

【図4】図3のA-A断面の電流の発生のかたを説明する断面模式図である。

【図5】図3の誘導加熱で金属板に発生する誘導電流を説明する平面模式図である。

【図6】平行する2組の誘導コイルを隣り合わせにし、誘導コイルの表裏の導体をずらして配置して誘導加熱をする本発明による誘導加熱装置例の平面模式図である。

【図7】誘導コイルの表裏の導体を中央でずらし、金属板端部側近傍で誘導コイルの導体を傾斜させる誘導加熱方式の例を説明する平面模式図である。

【図8】図7のコイル配置で金属板に発生する誘導電流の様子を示す平面模式図である。

【図9(a)】本発明による誘導加熱装置例を説明する平面模式図であり、2組の誘導コイルを直列に接続した場合を示す。

【図9(b)】本発明による誘導加熱装置を説明する平面模式図であり、2組の誘導コイルを並列に接続した場合を示す。

【図10】図9(a)の本発明による誘導加熱装置により金属板に発生する誘導電流分布を説明する平面模式図である。

【図11】本発明の誘導加熱装置で、図7の誘導コイルを2組隣り合わせて並列接続で配置した例を示す平面模式図である。

【図12】本発明の誘導加熱装置で、図9aの2Tの誘導コイル2組を隣り合せ、並列接続で配置した例を示す平面模式図である。

【図13】図9(a)の本発明による誘導加熱装置に磁性体コアを設置した例を説明する平面模式図である。

【図14】磁性体コアの働きを説明する断面模式図である。

【図15】図14と逆相の場合の磁性体コアの働きを説明する断面模式図である。

【図16】図11の誘導加熱装置に磁性体コアを設けた例を説明する平面模式図である。

【図17】図12の誘導加熱装置に磁性体コアを設けた例を説明する平面模式図である。

【図18(a)】傾斜する導体部分を有する誘導コイルと金属板端部が通過する位置との関係を示す平面模式図である。

【図18(b)】図18(a)のAラインを金属板端部が通るときの、金属板に発生する

誘導電流を示す模式図である。

【図 18 (c)】図 18 (a) の B ラインを金属板端部が通るときの、金属板に発生する誘導電流を示す模式図である。

【図 18 (d)】図 18 (a) の C ラインを金属板端部が通るときの、金属板に発生する誘導電流を示す模式図である。

【図 19】図 12 の各誘導コイルの傾斜部と金属板端部との位置関係が異なる場合の例を示す、平面模式図である。

【図 20】磁性体コアによる加熱温度制御の働きを説明する断面模式図である。

【図 21】磁性体コアによる加熱温度制御をさせる機構の例を説明する断面模式図である。

10

【符号の説明】

【 0 0 7 8 】

1 金属板

2 誘導コイル

2 a 表面側の導体

2 b 裏面側の導体

3 a 表面側の導体

3 b 裏面側の導体

2 a ' 表面側の導体

2 b ' 裏面側の導体

20

3 a ' 表面側の導体

3 b ' 裏面側の導体

3 h 表面側の導体

4 磁束

5 一次電流

6 誘導電流路

6 a 誘導電流

6 b 誘導電流

7 導電部材

7 a , 7 b , 7 c , 7 d , 7 e 導電部材

30

8、8 ' 接続導体

9 誘導電流のマイナーループ

10、10 a、10 b 誘導電流のマイナーループ

11 高周波電源

12 a、12 b、12 c、12 d 磁性体コア

13、13 a、13 b 磁束

14 台座

15 レール

16 駆動装置

t 金属板の厚み

40

δ 電流の浸透深さ

d1 表面側のコイル導体を流れる一次電流により金属体に発生する誘導電流の幅

d2 表面側のコイル導体と表面側のコイル導体を流れる一次電流により金属体に発生する誘導電流をつなぐ金属板端部を流れる誘導電流

d3 表面側のコイル導体と表面側のコイル導体を流れる一次電流により金属体に発生する誘導電流のずれ幅

A 金属板端部が誘導コイルの傾斜部の途中を通過するライン

B 金属板端部が誘導コイルの傾斜部の終端近傍を通過するライン

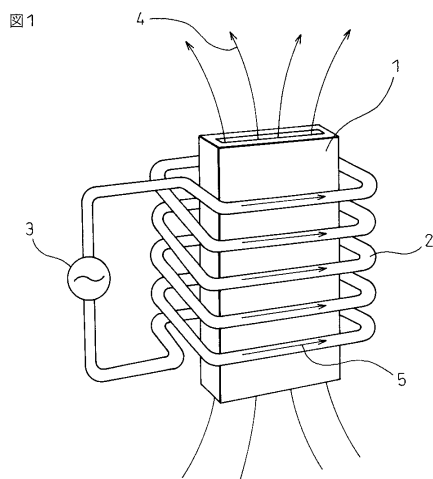
C 金属板端部が誘導コイルの傾斜部の外側の非傾斜部を通過するライン

P 誘導コイルの傾斜部の終端部

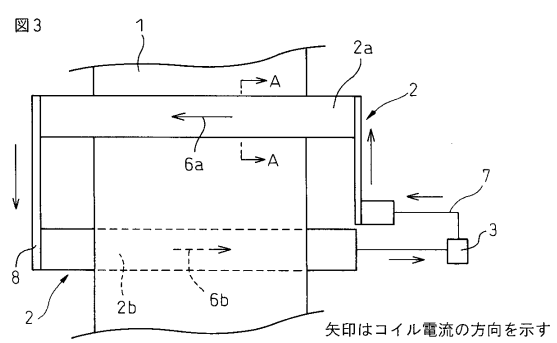
50

- d 磁性体コアの奥行き
w 磁性体コアの幅
L 誘導コイルの傾斜部と磁性体コアとの距離

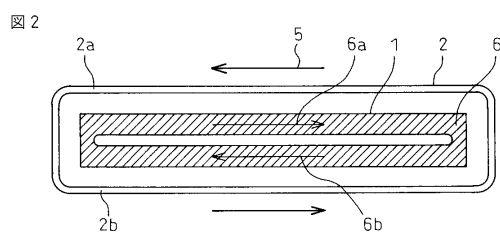
【図 1】



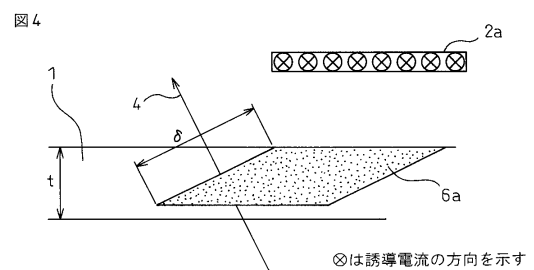
【図 3】



【図 2】

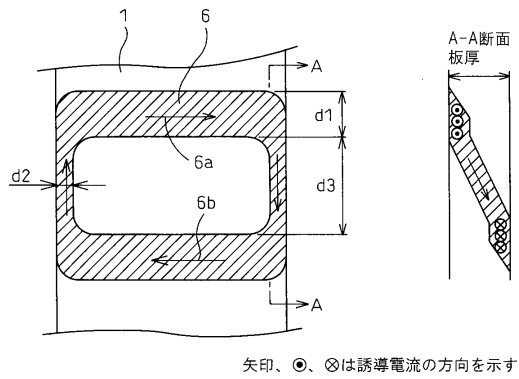


【図 4】



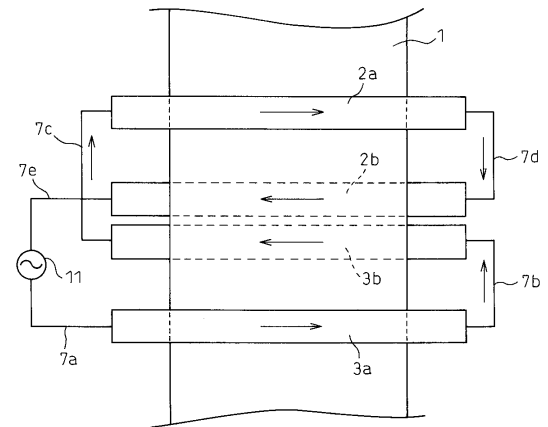
【図 5】

図 5



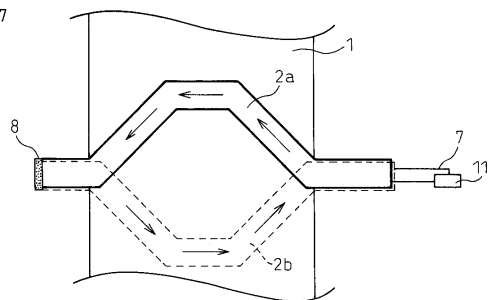
【図 6】

図 6



【図 7】

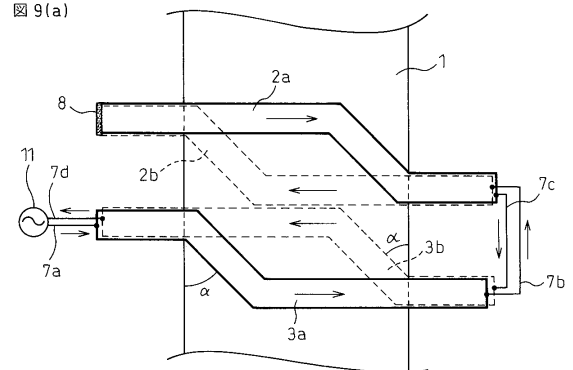
図 7



- *1 矢印はコイル電流の方向を示す
 *2 太線は金属板表側の誘導コイル導体を、
 破線は金属板裏側の誘導コイル導体を示す

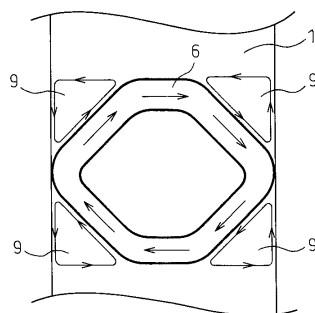
【図 9 (a)】

図 9(a)



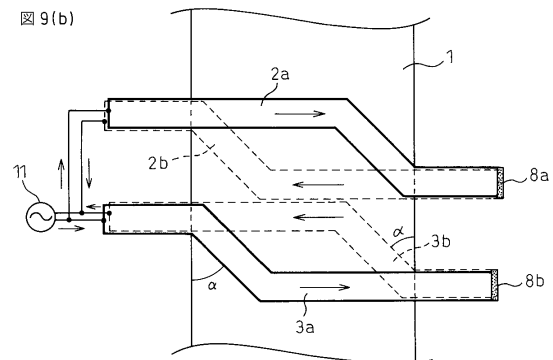
【図 8】

図 8



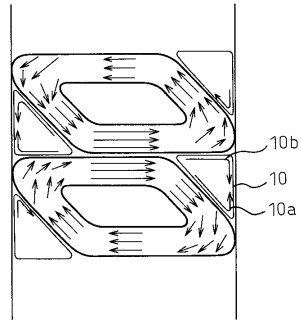
【図 9 (b)】

図 9(b)



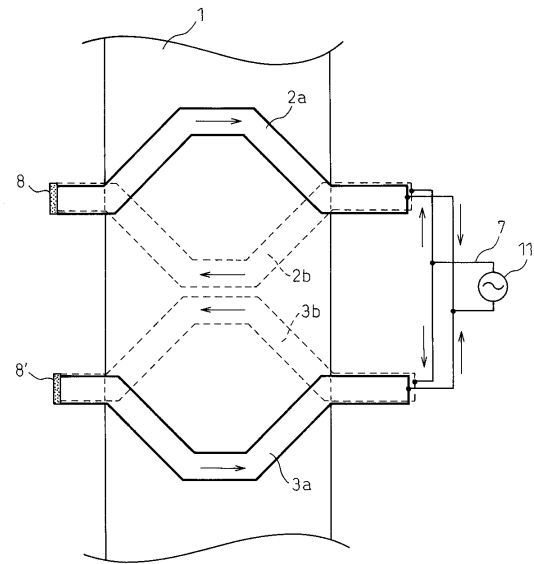
【図 10】

図 10



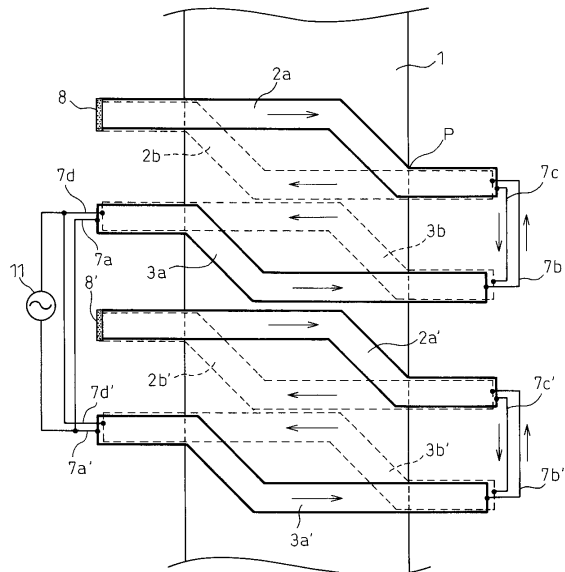
【図 11】

図 11



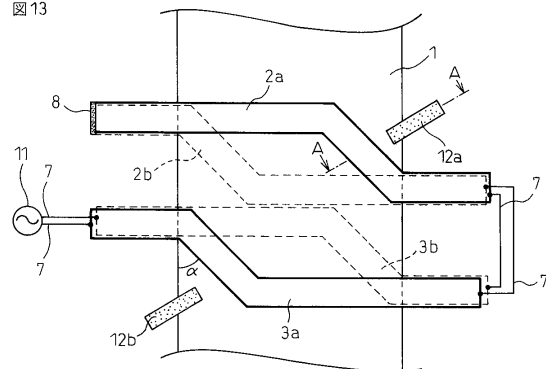
【図 12】

図 12



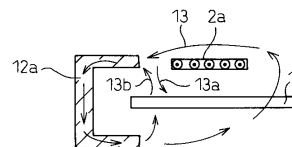
【図 13】

図 13



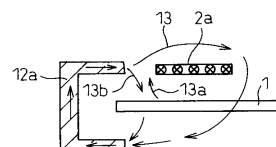
【図 14】

図 14



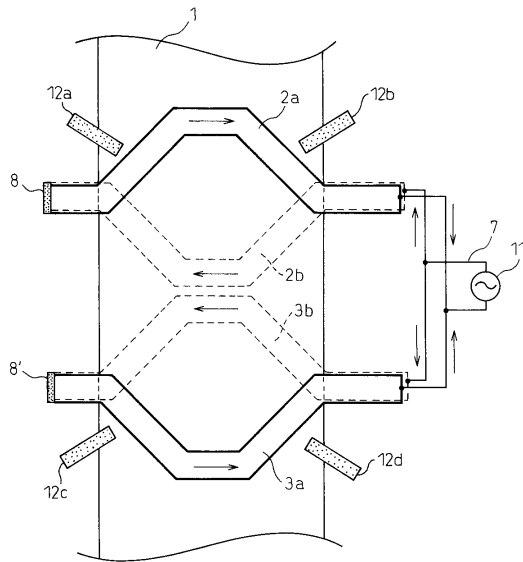
【図 15】

図 15



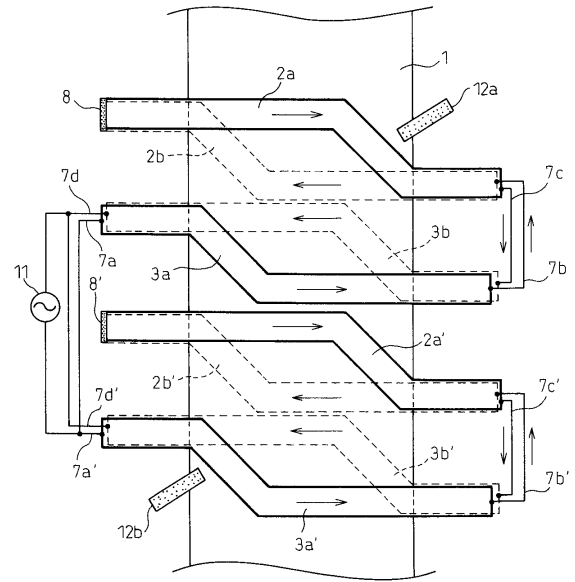
【図 16】

図16



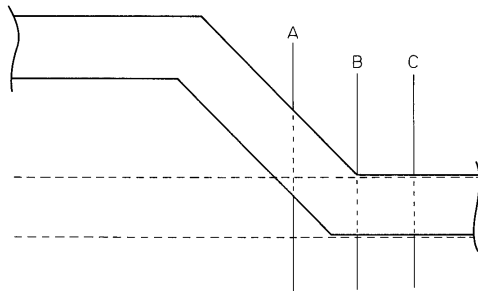
【図 17】

図17



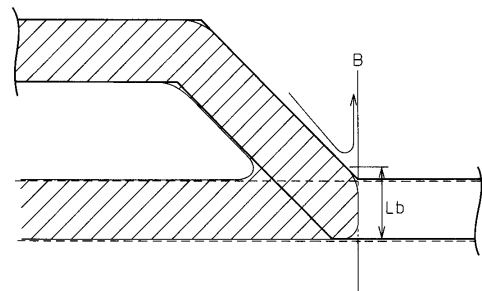
【図 18 (a)】

図18(a)



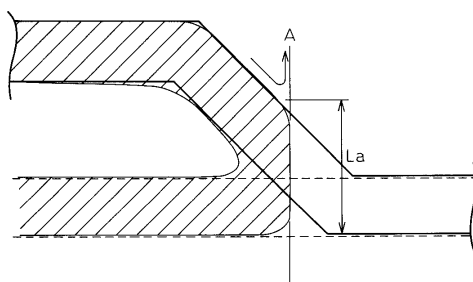
【図 18 (c)】

図18(c)



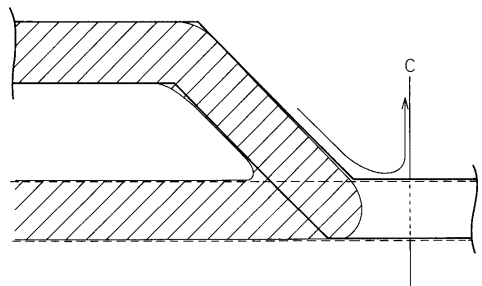
【図 18 (b)】

図18(b)



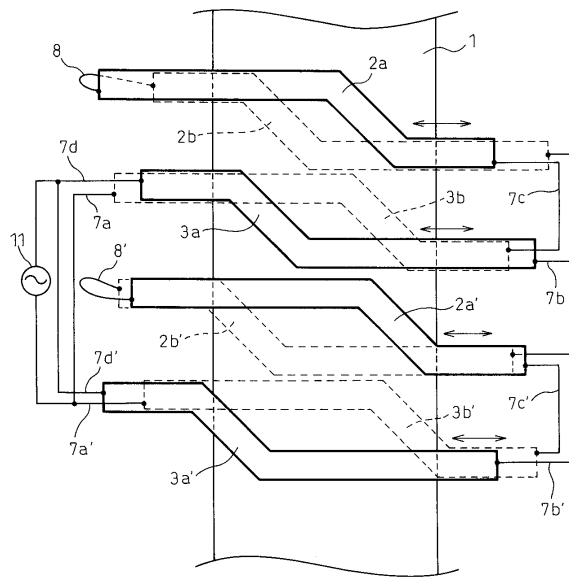
【図 18 (d)】

図18(d)



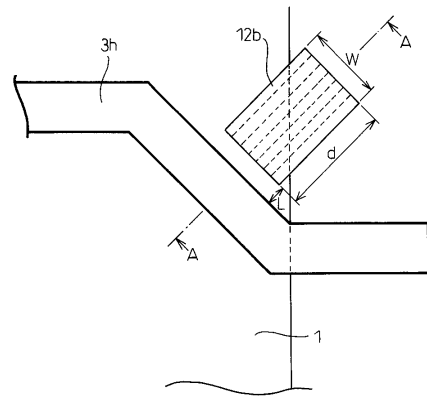
【図 19】

図 19



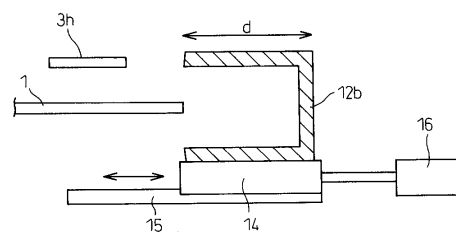
【図 20】

図 20



【図 21】

図 21



 フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I	
H 0 5 B	6/06	(2006.01)	H 0 5 B 6/06 3 0 1
C 2 1 D	1/10	(2006.01)	C 2 1 D 1/10 S

(72)発明者 廣田 芳明
 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

審査官 土屋 正志

(56)参考文献 特開昭 6 2 - 2 8 1 2 9 1 (J P , A)
 特開 2 0 0 7 - 0 9 5 6 5 1 (J P , A)
 米国特許第 0 3 0 3 1 5 5 5 (U S , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 5 B	6 / 1 0
C 2 1 D	1 / 1 0
C 2 1 D	1 / 4 2
H 0 5 B	6 / 0 4
H 0 5 B	6 / 0 6
H 0 5 B	6 / 3 6
H 0 5 B	6 / 4 4