

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7540971号
(P7540971)

(45)発行日 令和6年8月27日(2024.8.27)

(24)登録日 令和6年8月19日(2024.8.19)

(51)国際特許分類

F I

B 2 3 K 25/00 (2006.01)

B 2 3 K 25/00

Z

請求項の数 15 (全22頁)

(21)出願番号	特願2021-76268(P2021-76268)	(73)特許権者	000001199
(22)出願日	令和3年4月28日(2021.4.28)		株式会社神戸製鋼所
(65)公開番号	特開2022-13693(P2022-13693A)		兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目 2
(43)公開日	令和4年1月18日(2022.1.18)		番 4 号
審査請求日	令和5年9月1日(2023.9.1)	(74)代理人	100104880
(31)優先権主張番号	特願2020-111505(P2020-111505)		弁理士 古部 次郎
(32)優先日	令和2年6月29日(2020.6.29)	(74)代理人	100125346
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 尾形 文雄
		(72)発明者	尾崎 修
			兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目 2
			番 4 号 株式会社神戸製鋼所内
		(72)発明者	橋本 裕志
			兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目 2
			番 4 号 株式会社神戸製鋼所内
		(72)発明者	名古 秀徳
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 エレクトロスラグ溶接方法及びエレクトロスラグ溶接における磁場印加装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

母材の開先部の表側に配置された上下 2 個の磁場印加磁極である表上側磁極及び表下側磁極と、当該開先部の裏側に配置された上下 2 個の磁場印加磁極である裏上側磁極及び裏下側磁極とを用いて、溶接ワイヤの先端部における磁場が当該開先部内の熔融池における磁場よりも弱くなるように、当該開先部内に磁場を印加しながら当該母材のエレクトロスラグ溶接を行うことを特徴とするエレクトロスラグ溶接方法。

【請求項 2】

前記表上側磁極と前記裏上側磁極とが同じ高さに位置し、前記表下側磁極と前記裏下側磁極とが同じ高さに位置し、前記溶接ワイヤの先端部が当該表上側磁極の高さと当該表下側磁極の高さとの間の高さに位置するように配置することを特徴とする請求項 1 に記載のエレクトロスラグ溶接方法。

【請求項 3】

溶接トーチを、前記開先部の中の表側の位置と裏側の位置との間で往復動させつつ溶接し、

前記溶接トーチの往復動の中で、当該溶接トーチが、前記表上側磁極及び前記表下側磁極に接近したときに、当該表上側磁極及び当該表下側磁極の発生磁場を減少させ、前記裏上側磁極及び前記裏下側磁極の発生磁場を増大させ、

前記溶接トーチの往復動の中で、当該溶接トーチが、前記裏上側磁極及び前記裏下側磁極に接近したときに、当該裏上側磁極及び当該裏下側磁極の発生磁場を減少させ、前記表

上側磁極及び前記表下側磁極の発生磁場を増大させることを特徴とする請求項 1 に記載のエレクトロスラグ溶接方法。

【請求項 4】

前記溶接トーチの往復動の中で、当該溶接トーチが、前記表上側磁極及び前記表下側磁極に最も接近したときに、前記裏上側磁極及び前記裏下側磁極の発生磁場を最大とし、

前記溶接トーチの往復動の中で、当該溶接トーチが、前記裏上側磁極及び前記裏下側磁極に最も接近したときに、前記表上側磁極及び前記表下側磁極の発生磁場を最大とすることを特徴とする請求項 3 に記載のエレクトロスラグ溶接方法。

【請求項 5】

前記溶接トーチの往復動の中で、当該溶接トーチが、前記開先部の厚み方向の中央よりも表側に位置するときに、前記裏上側磁極及び前記裏下側磁極の発生磁場を最大とし、

前記溶接トーチの往復動の中で、当該溶接トーチが、前記開先部の厚み方向の中央よりも裏側に位置するときに、前記表上側磁極及び前記表下側磁極の発生磁場を最大とすることを特徴とする請求項 4 に記載のエレクトロスラグ溶接方法。

【請求項 6】

前記溶接ワイヤの先端部における磁場の強度が極小となるように、前記表上側磁極の発生磁場の強度と前記表下側磁極の発生磁場の強度とのバランス、及び前記裏上側磁極の発生磁場の強度と前記裏下側磁極の発生磁場の強度とのバランスの少なくとも何れか一方を調整することを特徴とする請求項 1 に記載のエレクトロスラグ溶接方法。

【請求項 7】

前記表上側磁極と前記表下側磁極との間に軟磁性材料からなる表側部材を配置し、前記裏上側磁極と前記裏下側磁極との間に軟磁性材料からなる裏側部材を配置することを特徴とする請求項 1 に記載のエレクトロスラグ溶接方法。

【請求項 8】

前記軟磁性材料は、鉄、ニッケル、磁性ステンレス、パーマロイ、パーメンジュール、ケイ素鋼の何れかであることを特徴とする請求項 7 に記載のエレクトロスラグ溶接方法。

【請求項 9】

前記表側部材の下端が前記溶融池の上端よりも高い位置になるように当該表側部材を配置し、前記裏側部材の下端が前記溶融池の上端よりも高い位置になるように当該裏側部材を配置することを特徴とする請求項 7 に記載のエレクトロスラグ溶接方法。

【請求項 10】

母材の開先部の表側に配置された上下 2 個の磁場印加磁極である表上側磁極及び表下側磁極と、

前記開先部の裏側に配置された上下 2 個の磁場印加磁極である裏上側磁極及び裏下側磁極とを備え、

前記表上側磁極と前記裏上側磁極とが同じ高さに位置し、前記表下側磁極と前記裏下側磁極とが同じ高さに位置し、溶接ワイヤの先端部が当該表上側磁極の高さと当該表下側磁極の高さとの間の高さに位置するように配置されていることを特徴とするエレクトロスラグ溶接における磁場印加装置。

【請求項 11】

前記溶接ワイヤの先端部における磁場が前記開先部内の溶融池における磁場よりも弱くなるように構成されていることを特徴とする請求項 10 に記載のエレクトロスラグ溶接における磁場印加装置。

【請求項 12】

前記表上側磁極、前記表下側磁極、前記裏上側磁極、及び前記裏下側磁極の少なくとも 1 つは、発生磁場の強度を調節可能に構成されていることを特徴とする請求項 10 に記載のエレクトロスラグ溶接における磁場印加装置。

【請求項 13】

前記表上側磁極及び前記表下側磁極はコイルを共有し、前記裏上側磁極及び前記裏下側

10

20

30

40

50

磁極はコイルを共有することを特徴とする請求項 10 に記載のエレクトロスラグ溶接における磁場印加装置。

【請求項 14】

前記表上側磁極と前記表下側磁極との間に軟磁性材料からなる表側部材が配置され、

前記裏上側磁極と前記裏下側磁極との間に軟磁性材料からなる裏側部材が配置されていることを特徴とする請求項 10 に記載のエレクトロスラグ溶接における磁場印加装置。

【請求項 15】

前記軟磁性材料は、鉄、ニッケル、磁性ステンレス、パーマロイ、パーメンジュール、ケイ素鋼の何れかであることを特徴とする請求項 14 に記載のエレクトロスラグ溶接における磁場印加装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、エレクトロスラグ溶接方法及びエレクトロスラグ溶接における磁場印加装置に関する。

【背景技術】

【0002】

アーク溶接において熔融池に磁界を作用させて、該磁界と溶接電流とによる回転方向の磁力で熔融金属を攪拌しながら溶接を行う磁気攪拌溶接法は、知られている（例えば、特許文献 1、2 参照）。特許文献 1、2 では、溶接トーチの回りを囲むように磁気コイルが配されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開平 4 - 190976 号公報

【文献】特開平 8 - 318370 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、エレクトロスラグ溶接は、アーク溶接と異なり、数百アンペアの電流を通電している溶接ワイヤを、熔融した電解質である熔融スラグに供給し、熔融スラグ内のジュール発熱によって、母材と溶接ワイヤを溶かしながら溶接する方法である。溶接方向は垂直であり、下から上に溶接が進む。また、熔融スラグや熔融金属がこぼれないように、母材の開先部は水冷銅板で覆われる。エレクトロスラグ溶接では、熔融池の前後左右は母材や水冷銅板に覆われ、熔融池の上下は既に溶接した溶接部分と熔融スラグとに覆われている。従って、アーク溶接のように溶接ワイヤを供給するトーチ部分にコイルを配置しても、熔融スラグが存在するので、熔融池に有効な磁場を印加できないばかりでなく、そもそも開先部の空間は狭く、コイルを配置することもできない。

【0005】

本発明の目的は、エレクトロスラグ溶接において熔融池に磁場を印加することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

かかる目的のもと、本発明は、母材の開先部の表側に配置された上下 2 個の磁場印加磁極である表上側磁極及び表下側磁極と、開先部の裏側に配置された上下 2 個の磁場印加磁極である裏上側磁極及び裏下側磁極とを用いて、溶接ワイヤの先端部における磁場が開先部内の熔融池における磁場よりも弱くなるように、開先部内に磁場を印加しながら母材のエレクトロスラグ溶接を行うエレクトロスラグ溶接方法を提供する。

【0007】

エレクトロスラグ溶接方法は、表上側磁極と裏上側磁極とが同じ高さに位置し、表下側磁極と裏下側磁極とが同じ高さに位置し、溶接ワイヤの先端部が表上側磁極の高さと表下

10

20

30

40

50

側磁極の高さとの間の高さに位置するように配置する、ものであってよい。

【0008】

エレクトロスラグ溶接方法は、溶接トーチを、開先部の中の表側の位置と裏側の位置との間で往復動させつつ溶接し、溶接トーチの往復動の中で、溶接トーチが、表上側磁極及び表下側磁極に接近したときに、表上側磁極及び表下側磁極の発生磁場を減少させ、裏上側磁極及び裏下側磁極の発生磁場を増大させ、溶接トーチの往復動の中で、溶接トーチが、裏上側磁極及び裏下側磁極に接近したときに、裏上側磁極及び裏下側磁極の発生磁場を減少させ、表上側磁極及び表下側磁極の発生磁場を増大させる、ものであってよい。その場合、エレクトロスラグ溶接方法は、溶接トーチの往復動の中で、溶接トーチが、表上側磁極及び表下側磁極に最も接近したときに、裏上側磁極及び裏下側磁極の発生磁場を最大とし、溶接トーチの往復動の中で、溶接トーチが、裏上側磁極及び裏下側磁極に最も接近したときに、表上側磁極及び表下側磁極の発生磁場を最大とする、ものであってよい。また、エレクトロスラグ溶接方法は、溶接トーチの往復動の中で、溶接トーチが、開先部の厚み方向の中央よりも表側に位置するときに、裏上側磁極及び裏下側磁極の発生磁場を最大とし、溶接トーチの往復動の中で、溶接トーチが、開先部の厚み方向の中央よりも裏側に位置するときに、表上側磁極及び表下側磁極の発生磁場を最大とする、ものであってよい。

10

【0009】

エレクトロスラグ溶接方法は、溶接ワイヤの先端部における磁場の強度が極小となるように、表上側磁極の発生磁場の強度と表下側磁極の発生磁場の強度とのバランス、及び裏上側磁極の発生磁場の強度と裏下側磁極の発生磁場の強度とのバランスの少なくとも何れか一方を調整する、ものであってよい。

20

【0010】

エレクトロスラグ溶接方法は、表上側磁極と表下側磁極との間に軟磁性材料からなる表側部材を配置し、裏上側磁極と裏下側磁極との間に軟磁性材料からなる裏側部材を配置する、ものであってよい。その場合、軟磁性材料は、鉄、ニッケル、磁性ステンレス、パーマロイ、パーメンジュール、ケイ素鋼の何れかであってよい。或いは、エレクトロスラグ溶接方法は、表側部材の下端が溶融池の上端よりも高い位置になるように表側部材を配置し、裏側部材の下端が溶融池の上端よりも高い位置になるように裏側部材を配置する、ものであってよい。

30

【0011】

また、本発明は、母材の開先部の表側に配置された上下2個の磁場印加磁極である表上側磁極及び表下側磁極と、開先部の裏側に配置された上下2個の磁場印加磁極である裏上側磁極及び裏下側磁極とを備え、表上側磁極と裏上側磁極とが同じ高さに位置し、表下側磁極と裏下側磁極とが同じ高さに位置し、溶接ワイヤの先端部が表上側磁極の高さと表下側磁極の高さとの間の高さに位置するように配置されているエレクトロスラグ溶接における磁場印加装置も提供する。

【0012】

エレクトロスラグ溶接における磁場印加装置は、溶接ワイヤの先端部における磁場が開先部内の溶融池における磁場よりも弱くなるように構成されている、ものであってよい。

40

【0013】

表上側磁極、表下側磁極、裏上側磁極、及び裏下側磁極の少なくとも1つは、発生磁場の強度を調節可能に構成されている、ものであってよい。

【0014】

表上側磁極及び表下側磁極はコイルを共有し、裏上側磁極及び裏下側磁極はコイルを共有する、ものであってよい。

【0015】

エレクトロスラグ溶接における磁場印加装置は、表上側磁極と表下側磁極との間に軟磁性材料からなる表側部材が配置され、裏上側磁極と裏下側磁極との間に軟磁性体材料からなる裏側部材が配置されている、ものであってよい。その場合、軟磁性材料は、鉄、ニッ

50

ケル、磁性ステンレス、パーマロイ、パーメンジュール、ケイ素鋼の何れかであってよい。或いは、エレクトロスラグ溶接における磁場印加装置は、表側部材の下端が熔融池の上端よりも高い位置になるように表側部材が配置され、裏側部材の下端が熔融池の上端よりも高い位置になるように裏側部材が配置されている、ものであってよい。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、エレクトロスラグ溶接において熔融池に磁場を印加することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】(a), (b)は、従来の実施の形態における磁場印加装置を前側から見たときの斜視図である。

【図2】(a), (b)は、従来の実施の形態における磁場印加装置を後側から見たときの斜視図である。

【図3】従来の実施の形態の磁場印加装置における前側コイル及び後側コイルの位置を示した図である。

【図4】(a), (b)は、本発明の第1の実施の形態における磁場印加装置を前側から見たときの斜視図である。

【図5】(a), (b)は、本発明の第1の実施の形態における磁場印加装置を後側から見たときの斜視図である。

【図6】本発明の第1の実施の形態の磁場印加装置における前側上コイル、前側下コイル、後側上コイル、及び後側下コイルの位置を示した図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態の磁場印加装置における熔融スラグ、熔融池、及び溶接部における磁場強度分布を示すコンター図である。

【図8】従来の実施の形態の磁場印加装置における熔融スラグ、熔融池、及び溶接部における磁場強度分布を示すコンター図である。

【図9】母材の厚み方向の中央部の鉛直方向における磁場強度分布を本実施の形態と従来の実施の形態とで比較して示したグラフである。

【図10】(a), (b)は、磁場印加による熔融スラグの流れの変化を示した図である。

【図11】(a), (b)は、本発明の第2の実施の形態の磁場印加装置における前側コイル及び後側コイルの電流の変化を説明するためのグラフである。

【図12】(a), (b)は、本発明の第3の実施の形態の磁場印加装置における前側コイル及び後側コイルの電流の変化を説明するためのグラフである。

【図13】本発明の第3の実施の形態において溶接トーチが位置Bにある場合の磁場強度分布を示すコンター図である。

【図14】本発明の第3の実施の形態において溶接トーチが位置Cにある場合の磁場強度分布を示すコンター図である。

【図15】本発明の第3の実施の形態において溶接トーチが位置Fにある場合の磁場強度分布を示すコンター図である。

【図16】本発明の第3の実施の形態において溶接トーチが位置Bにある場合の開先部の前後方向の磁場分布を示したグラフである。

【図17】本発明の第3の実施の形態において溶接トーチが位置Cにある場合の開先部の前後方向の磁場分布を示したグラフである。

【図18】本発明の第3の実施の形態において溶接トーチが位置Fにある場合の開先部の前後方向の磁場分布を示したグラフである。

【図19】本発明の第5の実施の形態における磁場印加装置のコイルの位置を示した図である。

【図20】本発明の第6の実施の形態における磁場印加装置の構成例を示した図である。

【図21】本発明の第6の実施の形態において前側磁性体片及び後側磁性体片を配置した場合の磁束密度分布を示したグラフである。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、添付図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0019】

【発明の背景】

エレクトロスラグ溶接では、溶融池が厚さ10～30mmの溶融スラグの下に位置しているため、アーク溶接のように溶融池近傍に電磁攪拌用磁界を発生させるコイルを設置することが困難である。この課題を解決するために、本発明者らは、溶接箇所前後に設置する水冷銅板夫々に、貫通しない深さの穴又は溝を設け、その穴又は溝にコイルの鉄心を嵌める実施の形態（以下、「従来の実施の形態」という）を考えた。

10

【0020】

図1(a)、(b)は、従来の実施の形態における磁場印加装置100を前側（表側ともいう）から見たときの斜視図であり、図2(a)、(b)は、従来の実施の形態における磁場印加装置100を後側（裏側ともいう）から見たときの斜視図である。

【0021】

従来の実施の形態における磁場印加装置100は、図1(a)、(b)及び図2(a)、(b)に示すように、溶接ワイヤ5と、前側水冷銅板10と、後側水冷銅板20と、前側コイル30と、後側コイル40とを含む。

【0022】

溶接ワイヤ5は、母材2、3の突き合わせ部に形成された開先部4に挿入される。そして、溶接電源（図示せず）により通電された状態で開先部4内の溶融スラグ6（図3参照）に供給され、溶融スラグ6内のジュール発熱によって溶融され、溶融金属を溶融池7（図3参照）に落とし込むことで下から上に向かって順次溶接して行くためのものである。

20

【0023】

前側水冷銅板10は、母材2、3の開先部4の前側を覆う水冷のための銅板である。前側水冷銅板10には、水冷のための冷却水を流入させる流入口（図示せず）と、水冷のための冷却水を流出させる流出口（図示せず）とが設けられる。また、後側水冷銅板20は、母材2、3の開先部4の後側を覆う水冷のための銅板である。後側水冷銅板20にも、水冷のための冷却水を流入させる流入口（図示せず）と、水冷のための冷却水を流出させる流出口（図示せず）とが設けられる。

30

【0024】

前側コイル30は、前側水冷銅板10に配置される磁気コイルである。前側コイル30は、コイル用電源（図示せず）により通電されることにより、磁場を発生させて、その磁場を溶融池7（図3参照）に印加する。また、後側コイル40は、後側水冷銅板20に配置される磁気コイルである。後側コイル40も、コイル用電源（図示せず）により通電されることにより、磁場を発生させて、その磁場を溶融池7（図3参照）に印加する。

【0025】

ここで、図1(a)は、前側コイル30を嵌める前の磁場印加装置100の斜視図であり、図1(b)は、前側コイル30を嵌めた後の磁場印加装置100の斜視図である。前側水冷銅板10が溶接の進行に応じて上側に移動した場合、前側コイル30も同じく上側に移動する必要があるため、図示するように、前側水冷銅板10には穴11が設けられ、その穴11に前側コイル30の鉄芯31が嵌っている。

40

【0026】

また、図2(a)は、後側コイル40を嵌める前の磁場印加装置100の斜視図であり、図2(b)は、後側コイル40を嵌めた後の磁場印加装置100の斜視図である。後側水冷銅板20は母材2、3に固定されているため、図示するように、後側水冷銅板20には鉛直方向に溝21が設けられ、後側コイル40の鉄芯41はその溝21に嵌ったまま、溶接の進行に応じて上側に移動するようになっている。

【0027】

次に、従来の実施の形態の磁場印加装置100における前側コイル30及び後側コイル

50

４０の配置について説明する。図３は、磁場印加装置１００における前側コイル３０及び後側コイル４０の位置を示した図である。本実施の形態では、前側コイル３０及び後側コイル４０の諸元を下記表１のように設定した。

【００２８】

【表１】

	前側コイル	後側コイル
アンペアターン	3000AT	3000AT
鉄芯サイズ	φ20 mm長さ 60 mm	φ20 mm長さ 60 mm
鉄芯中心軸位置	熔融池、熔融スラグ界面より 20 mm下	熔融池、熔融スラグ界面より 20 mm下

10

【００２９】

即ち、図３に示すように、前側コイル３０の鉄芯３１及び後側コイル４０の鉄芯４１を、その軸心の位置が、熔融スラグ６と熔融池７との界面から２０mm下の位置になるように配置している。また、表１に示すように、前側コイル３０の鉄芯３１及び後側コイル４０の鉄芯４１のサイズは何れも、直径２０mm、長さ６０mmとしている。

【００３０】

その結果、熔融池７の近傍に前側コイル３０の鉄芯３１及び後側コイル４０の鉄芯４１を配置することができ、熔融池７に有効な強さの磁場を印加できるようになった。

20

【００３１】

ところで、この従来の実施の形態によれば、熔融池７を電磁攪拌することはできるが、熔融池７だけでなく熔融スラグ６も磁場の作用により大きく偏流して電磁攪拌される。これにより、熔融池７に熔融スラグ６が巻き込まれることで溶接部８の機械的強度が劣化するという問題が生じる。

【００３２】

また、エレクトラスラグ溶接では、溶接する厚板の厚さ方向にムラ無く溶接するために、溶接トーチ９を前後方向に摺動させる。そのため、溶接トーチ９が前側コイル３０の鉄芯３１又は後側コイル４０の鉄芯４１の近くに来たとき、熔融池７及び熔融スラグ６には大きなローレンツ力が働き、熔融スラグ６が強く偏流して電磁攪拌されることになる。その結果、熔融池７に熔融スラグ６が巻き込まれることで溶接部８の機械的強度が劣化するという問題に加え、熔融スラグ６が偏流することで母材２，３の溶け込みに偏りが生じるという問題も生じる。

30

【００３３】

以下、このような問題を解決する実施の形態について説明する。

【００３４】

〔第１の実施の形態〕

まず、本実施の形態における磁場印加装置２００の構成について説明する。図４（ａ），（ｂ）は、本実施の形態における磁場印加装置２００を前側（表側ともいう）から見たときの斜視図であり、図５（ａ），（ｂ）は、本実施の形態における磁場印加装置２００を後側（裏側ともいう）から見たときの斜視図である。

40

【００３５】

本実施の形態における磁場印加装置２００は、図４（ａ），（ｂ）及び図５（ａ），（ｂ）に示すように、溶接ワイヤ５と、前側水冷銅板１０と、後側水冷銅板２０と、前側上コイル３０aと、前側下コイル３０bと、後側上コイル４０aと、後側下コイル４０bとを含む。このように、本実施の形態では、従来の実施の形態と異なり、コイルが、前側水冷銅板１０に上下に２つ配置され、後側水冷銅板２０に上下に２つ配置される。

【００３６】

溶接ワイヤ５は、母材２，３の突き合わせ部に形成された開先部４に挿入される。そして、溶接電源（図示せず）により通電された状態で開先部４内の熔融スラグ６（図６参照

50

）に供給され、溶融スラグ 6 内のジュール発熱によって溶融され、溶融金属を溶融池 7（図 6 参照）に落とし込むことで下から上に向かって順次溶接して行くためのものである。

【0037】

前側水冷銅板 10 は、母材 2，3 の開先部 4 の前側を覆う水冷のための銅板である。前側水冷銅板 10 には、水冷のための冷却水を流入させる流入口（図示せず）と、水冷のための冷却水を流出させる流出口（図示せず）とが設けられる。また、後側水冷銅板 20 は、母材 2，3 の開先部 4 の後側を覆う水冷のための銅板である。後側水冷銅板 20 にも、水冷のための冷却水を流入させる流入口（図示せず）と、水冷のための冷却水を流出させる流出口（図示せず）とが設けられる。

【0038】

前側上コイル 30 a は、前側水冷銅板 10 に配置される 2 つの磁気コイルのうち上側の磁気コイルであり、前側下コイル 30 b は、前側水冷銅板 10 に配置される 2 つの磁気コイルのうち下側の磁気コイルである。また、後側上コイル 40 a は、後側水冷銅板 20 に配置される 2 つの磁気コイルのうち上側の磁気コイルであり、後側下コイル 40 b は、後側水冷銅板 20 に配置される 2 つの磁気コイルのうち下側の磁気コイルである。前側上コイル 30 a、前側下コイル 30 b、後側上コイル 40 a、及び後側下コイル 40 b は、それぞれ、コイル用電源（図示せず）により通電されることにより、磁場を発生させて、その磁場を溶融池 7（図 6 参照）に印加する。尚、以下では、前側上コイル 30 a 及び前側下コイル 30 b を「前側コイル」と総称したり、後側上コイル 40 a 及び後側下コイル 40 b を「後側コイル」と総称したりすることもある。また、前側上コイル 30 a 及び後側上コイル 40 a を「上コイル」と総称したり、前側下コイル 30 b 及び後側下コイル 40 b を「下コイル」と総称したりすることもある。更に、前側上コイル 30 a、前側下コイル 30 b、後側上コイル 40 a、及び後側下コイル 40 b を単に「コイル」と総称することもある。

【0039】

ここで、図 4（a）は、前側上コイル 30 a 及び前側下コイル 30 b を嵌める前の磁場印加装置 200 の斜視図であり、図 4（b）は、前側上コイル 30 a 及び前側下コイル 30 b を嵌めた後の磁場印加装置 200 の斜視図である。前側水冷銅板 10 が溶接の進行に応じて上側に移動した場合、前側上コイル 30 a 及び前側下コイル 30 b も同じく上側に移動する必要があるので、図示するように、前側水冷銅板 10 には穴 11 a，11 b が設けられ、その穴 11 a，11 b にそれぞれ前側上コイル 30 a の鉄芯 31 a、前側下コイル 30 b の鉄芯 31 b が嵌っている。

【0040】

また、図 5（a）は、後側上コイル 40 a 及び後側下コイル 40 b を嵌める前の磁場印加装置 200 の斜視図であり、図 5（b）は、後側上コイル 40 a 及び後側下コイル 40 b を嵌めた後の磁場印加装置 200 の斜視図である。後側水冷銅板 20 は母材 2，3 に固定されているので、図示するように、後側水冷銅板 20 には鉛直方向に溝 21 が設けられ、後側上コイル 40 a の鉄芯 41 a 及び後側下コイル 40 b の鉄芯 41 b はその溝 21 に嵌ったまま、溶接の進行に応じて上側に移動するようになっている。

【0041】

尚、本実施の形態では、図 4（a），（b）及び図 5（a），（b）に示すように、前側上コイル 30 a 及び前側下コイル 30 b が開先部 4 の表側に配置されており、後側上コイル 40 a 及び後側下コイル 40 b が開先部 4 の裏側に配置されている。また、前側水冷銅板 10 が、開先部 4 の表側の面、即ち、表面に配置されており、後側水冷銅板 20 が、開先部 4 の裏側の面、即ち、裏面に配置されている。この状態で、前側上コイル 30 a 及び前側下コイル 30 b の配置位置は、前側水冷銅板 10 の母材 2，3 とは反対側であり、後側上コイル 40 a 及び後側下コイル 40 b の配置位置は、後側水冷銅板 20 の母材 2，3 とは反対側であると言える。

【0042】

また、本実施の形態では、図 4（a），（b）及び図 5（a），（b）に示すように、

10

20

30

40

50

母材 2, 3 の厚み方向の中心の平面上で後側下コイル 40 b の高さであり開先部 4 の幅方向の中心にある点を原点とする。そして、母材 2, 3 の厚み方向の中心の平面上で原点から溶接の進行方向に垂直な方向で母材 2, 3 の前側から見て右側に向かう方向を X 軸の正の方向とする。また、母材 2, 3 の厚み方向の中心の平面に垂直な方向で原点から母材 2, 3 の後側に向かう方向を Y 軸の正の方向とする。更に、母材 2, 3 の厚み方向の中心の平面上で原点から溶接の進行方向に向かう方向を Z 軸の正の方向とする。

【0043】

次に、本実施の形態の磁場印加装置 200 における前側上コイル 30 a、前側下コイル 30 b、後側上コイル 40 a 及び後側下コイル 40 b の配置について説明する。図 6 は、磁場印加装置 200 におけるコイル 30 a, 30 b, 40 a, 40 b の位置を示した図である。本実施の形態では、図示するように、前側上コイル 30 a の鉄芯 31 b 及び後側上コイル 40 a の鉄芯 41 a の鉛直方向位置を同じに設定し、前側下コイル 30 b の鉄芯 31 b 及び後側下コイル 40 b の鉄芯 41 b の鉛直方向位置を同じに設定している。つまり、前側上コイル 30 a の磁極と後側上コイル 40 a の磁極とを同じ高さに設定し、前側下コイル 30 b の磁極と後側下コイル 40 b の磁極とを同じ高さに設定している。ここで、前側上コイル 30 a の磁極は表上側磁極の一例であり、後側上コイル 40 a の磁極は裏上側磁極の一例であり、前側下コイル 30 b の磁極は表下側磁極の一例であり、後側下コイル 40 b の磁極は裏下側磁極の一例である。

【0044】

その上で、前側下コイル 30 b の磁極から後側下コイル 40 b の磁極に向けて磁界が発生するように前側下コイル 30 b 及び後側下コイル 40 b に電流を流す。そして、後側上コイル 40 a の磁極から前側上コイル 30 a の磁極に向けて磁界が発生するように後側上コイル 40 a 及び前側上コイル 30 a に電流を流す。図中、白矢印は磁場の方向を示す。ここで、コイル 30 a, 30 b, 40 a, 40 b の磁極から発生する磁力の絶対値が同じになるようにコイル 30 a, 30 b, 40 a, 40 b の電流を設定したとする。すると、コイル 30 a, 30 b, 40 a, 40 b の磁極に囲まれた中央部の磁場は、コイル 30 a, 30 b, 40 a, 40 b の磁極が発生する磁場で打ち消され、ほぼゼロとなる。

【0045】

図 6 に示すコイル配置において、コイル 30 a, 30 b, 40 a, 40 b に囲まれた領域に熔融スラグ 6、熔融池 7 及び溶接部 8 があるとする。ここで、コイル 30 a, 30 b, 40 a, 40 b は下記表 2 に示す条件を満たすものとする。

【0046】

【表 2】

	前側コイル		後側コイル	
	下コイル	上コイル	下コイル	上コイル
水冷銅板に面した磁極の磁場向き	N 極	S 極	S 極	N 極
上下コイル間距離	60mm	60mm	60mm	60mm
起磁力	9000AT			
鉄芯サイズ	φ20 mm、長さ 60 mm			

【0047】

図 7 は、この場合の熔融スラグ 6、熔融池 7、及び溶接部 8 における磁場強度分布を示すコンター図である。図中、白矢印は磁場の方向を示す。この図において、磁場強度は、白丸印で示すように、上コイル 30 a, 40 a と下コイル 30 b, 40 b との中央部において小さくなっている。

【0048】

一方で、従来の実施の形態では、開先部 4 の前側及び後側にそれぞれ前側コイル 3 0 及び後側コイル 4 0 を配置している。図 8 は、この場合の溶融スラグ 6、溶融池 7、及び溶接部 8 における磁場強度分布を示すコンター図である。図中、白矢印は磁場の方向を示す。この図において、磁場強度は、白丸印で示すように、前側コイル 3 0 及び後側コイル 4 0 の鉛直方向位置において小さくなっている。

【 0 0 4 9 】

図 9 は、母材 2、3 の厚み方向の中央部の鉛直方向における磁場強度分布を本実施の形態と従来の実施の形態とで比較して示したグラフである。ここで、母材 2、3 の厚み方向の中央部とは、本実施の形態では、前側上コイル 3 0 a と後側上コイル 4 0 a との中央部（前側下コイル 3 0 b と後側下コイル 4 0 b との中央部と同じ）と前後方向における位置が同じ部分である。一方、母材 2、3 の厚み方向の中央部とは、従来の実施の形態では、前側コイル 3 0 と後側コイル 4 0 との中央部と前後方向における位置が同じ部分である。また、図 9 において、鉛直方向位置 0 mm は、本実施の形態では、前側下コイル 3 0 b の鉄芯 3 1 b の中心の鉛直方向位置（後側下コイル 4 0 b の鉄芯 4 1 b の中心の鉛直方向位置と同じ）に設定されている。一方、図 9 において、鉛直方向位置 0 mm は、従来の実施の形態では、前側コイル 3 0 の鉄芯 3 1 の中心の鉛直方向位置（後側コイル 4 0 の鉄芯 4 1 の中心の鉛直方向位置と同じ）に設定されている。

【 0 0 5 0 】

図 9 のグラフから、本実施の形態において、磁場強度は、実線グラフ上に黒丸印で示すように、上コイル 3 0 a、4 0 a と下コイル 3 0 b、4 0 b との中央部（鉛直方向位置 3 0 mm）でほぼゼロとなることが分かる。また、鉛直方向位置 0 mm 及び 6 0 mm で最大値となることも分かる。

【 0 0 5 1 】

一方で、図 9 のグラフから、従来の実施の形態において、磁場強度は、鉛直方向位置 0 mm で最大となり、鉛直方向位置が高くなるに従い減少するが、破線グラフ上に黒丸印で示すように、鉛直方向位置 3 0 mm で 3 0 mT 程度あることが分かる。

【 0 0 5 2 】

即ち、本実施の形態では、鉛直方向位置 1 6 mm ～ 3 4 mm の範囲にて、従来の実施の形態の場合よりも磁場が弱くなることが分かる。

【 0 0 5 3 】

ここで図 6 に戻る。図 6 には、コイル 3 0 a、3 0 b、4 0 a、4 0 b の磁極、溶接ワイヤ 5、溶融スラグ 6、溶融池 7、溶接トーチ 9 の位置関係の例を示している。本実施の形態では、上コイル 3 0 a、4 0 a の磁極と下コイル 3 0 b、4 0 b の磁極との中間点が溶接ワイヤ 5 の先端部の高さと同じになるように、上コイル 3 0 a、4 0 a の磁極と下コイル 3 0 b、4 0 b の磁極とを配置する。このように配置することは、溶接ワイヤ 5 の先端部が上コイル 3 0 a、4 0 a の磁極の高さと下コイル 3 0 b、4 0 b の磁極の高さとの間の高さに位置するように配置することの一例である。尚、本実施の形態では、上コイル 3 0 a、4 0 a の磁極及び下コイル 3 0 b、4 0 b の磁極と溶接トーチ 9 とが一体的に上下動するように構成され、磁場強度が極小となる位置への溶接ワイヤ 5 の先端部の位置決めはある程度正確に行えることを想定している。上記のように上コイル 3 0 a、4 0 a の磁極と下コイル 3 0 b、4 0 b の磁極とを配置することにより、図 7 及び図 9 に示した磁場ゼロのポイントを溶接ワイヤ 5 の先端部に持ってくるができる。即ち、溶接ワイヤ 5 の先端部における磁場を溶融池 7 における磁場よりも弱くすることができる。

【 0 0 5 4 】

溶接ワイヤ 5 の先端部は溶融スラグ 6 中で最も高温の領域であり、電流密度も最も高いことが知られている。この領域に磁場がかかるとローレンツ力によって溶融スラグ 6 の流れが偏り易いが、本実施の形態では、溶接ワイヤ 5 の先端部の磁場がほぼゼロとなるので、溶融スラグ 6 の流れへのコイル磁場の影響は軽微となる。一方で、本来攪拌したい溶融池 7、特に溶融池 7 の底部付近には、従来の実施の形態の場合と同等の磁場がかかるので、攪拌効果は阻害されない。

【0055】

尚、図6において、前側上コイル30a及び後側上コイル40aの磁極の向きは同じであり、前側下コイル30b及び後側下コイル40bの磁極の向きは同じである。そして、前側上コイル30a及び前側下コイル30bの磁極の向きは反対であり、後側上コイル40a及び後側下コイル40bの磁極の向きは反対である。溶接ワイヤ5の先端部の位置の磁場強度を弱めるためには、このような磁極の向きとすることは必須である。

【0056】

図10(a)、(b)は、磁場印加による溶融スラグ6の流れの変化を示した図である。図10(a)に示すように、通常、溶融スラグ6には溶接電流によりピンチ力が働き、溶接ワイヤ5の周りに下向きの流れSが生じている。この流れSは、電磁攪拌のために印加した磁界が作用することにより、ローレンツ力の向きに応じて左右方向に曲げられることになる。図10(b)では、紙面奥行き方向の磁界Mがかけられているため、右方向にローレンツ力Lが働き、これにより、流れSが右方向にカーブしている。その結果、溶融スラグ6に左右方向の温度ムラが生じ、母材2,3の溶け込み量に差異が生じることになる。

10

【0057】

本実施の形態におけるコイル配置によれば、溶融スラグ6中の溶接ワイヤ5の直下の磁場は、上コイル30a,40aの磁極及び下コイル30b,40bの磁極が発生する磁場によって打ち消され、最小化される。これにより、溶融スラグ6の偏流や攪拌は減少し、母材2,3の溶け込み形状の偏りや溶融スラグ6の巻き込みが減少する。

20

【0058】

また、本実施の形態によれば、上コイル30a,40a又は下コイル30b,40bの磁極に近い溶融池7には強い磁場が作用して溶融金属が攪拌される。その結果、金属組織が微細化し、金属中の介在物が低減するため、溶接部8の機械特性が向上する。

【0059】

[第2の実施の形態]

第1の実施の形態は、開先部4の前後方向における中央部の磁場強度がほぼゼロになるため、溶接ワイヤ5の先端部が開先部4の前後方向における中央部に位置する場合の溶融スラグ6の偏流防止には効果的である。しかしながら、溶接トーチ9が中央部から磁場を発生するコイルの側に近付くと、溶接ワイヤ5の先端部が磁場強度ゼロの領域から外れ、溶融スラグ6の流れが磁場の影響を受け易くなる。

30

【0060】

そこで、本実施の形態は、溶接トーチ9が開先部4の中央部から前側に近付いたときには前側上コイル30a及び前側下コイル30bの電流を減少させる。つまり、溶接トーチ9が前側上コイル30aの磁極及び前側下コイル30bの磁極に接近したときに、前側上コイル30aの磁極及び前側下コイル30bの磁極の発生磁場を減少させる。このとき、後側上コイル40a及び後側下コイル40bの電流は維持し又は増加させる。つまり、後側上コイル40aの磁極及び後側下コイル40bの磁極の発生磁場は維持し又は増大させる。

【0061】

また、本実施の形態では、逆に、溶接トーチ9が開先部4の中央部から後側に近付いたときには後側上コイル40a及び後側下コイル40bの電流を減少させる。つまり、溶接トーチ9が後側上コイル40aの磁極及び後側下コイル40bの磁極に接近したときに、後側上コイル40aの磁極及び後側下コイル40bの磁極の発生磁場を減少させる。このとき、前側上コイル30a及び前側下コイル30bの電流は維持し又は増加させる。つまり、前側上コイル30aの磁極及び前側下コイル30bの磁極の発生磁場は維持し又は増大させる。

40

【0062】

このように、本実施の形態では、溶接トーチ9の位置に応じて、前側コイル30a,30b及び後側コイル40a,40bの電流値を変化させることとした。これにより、磁場

50

強度がゼロとなる領域を開先部 4 の前側や後側に移動することができ、溶接トーチ 9 が摺動する場合でも溶融スラグ 6 の流れへの磁場の影響を抑えることができる。

【0063】

図 11 (a), (b) は、この場合の前側コイル 30a, 30b 及び後側コイル 40a, 40b の電流の変化を説明するためのグラフである。

【0064】

溶接トーチ 9 は、図 11 (a) に示すように、位置 B (後側) と位置 F (前側) との間を周期的に移動し、位置 F 及び位置 B では一時的に停止している。

【0065】

後側コイル 40a, 40b に流れる電流は、図 11 (b) に細線で示すように、溶接トーチ 9 が位置 F にあるときに最大となり、溶接トーチ 9 が後側に移動するにつれて減少し、溶接トーチ 9 が位置 B にあるときに最小 (最大値の 4 分の 1) となっている。

10

【0066】

前側コイル 30a, 30b に流れる電流は、図 11 (b) に太線で示すように、溶接トーチ 9 が位置 B にあるときに最大となり、溶接トーチ 9 が前側に移動するにつれて減少し、溶接トーチ 9 が位置 F にあるときに最小 (最大値の 8 分の 1) となっている。

【0067】

ここで、後側コイル 40a, 40b に流れる電流の最小値が、前側コイル 30a, 30b に流れる電流の最小値よりも大きくなっているのは、開先部 4 の幅は後側の方が前側よりも狭く、母材 2, 3 の影響を受けて減衰し易いためである。

20

【0068】

図 11 (a), (b) のような通電パターンで前側コイル 30a, 30b 及び後側コイル 40a, 40b に電流を流すことにより、溶接トーチ 9 の位置が最も後側のときに後側コイル 40a, 40b の電流をゼロにする場合等よりも、溶融池 7 の溶接電流に作用する磁束密度を大きくすることができる。逆に溶接トーチ 9 の位置が最も前側のときも同じ効果がある。

【0069】

本実施の形態では、溶接トーチ 9 の摺動、即ち、溶接ワイヤ 5 の先端部が開先部 4 の前面と後面との間を往復運動する動きに応じて、各磁極の磁場を変化させるようにした。これにより、溶接トーチ 9 を摺動させるエレクトロスラグ溶接においても、常に溶接ワイヤ 5 の先端部の磁場を最小化することができるようになった。その結果、金属組織が微細化し、金属中の介在物が低減するため、溶接部 8 の機械特性が向上することとなった。

30

【0070】

〔第 3 の実施の形態〕

本実施の形態は、溶接トーチ 9 が開先部 4 の中央部に位置するときに前側コイル 30a, 30b 及び後側コイル 40a, 40b の電流を最大にするものである。

【0071】

図 12 (a), (b) は、この場合の前側コイル 30a, 30b 及び後側コイル 40a, 40b の電流の変化を説明するためのグラフである。

【0072】

溶接トーチ 9 は、図 12 (a) に示すように、位置 B (後側) と位置 F (前側) との間を周期的に移動し、位置 F 及び位置 B では一時的に停止している。

40

【0073】

後側コイル 40a, 40b に流れる電流は、図 12 (b) に細線で示すように、溶接トーチ 9 が位置 F から位置 C までの間にあるときに最大となり、溶接トーチ 9 が位置 C から後側に移動するにつれて減少し、溶接トーチ 9 が位置 B にあるときに最小 (最大値の 4 分の 1) となっている。

【0074】

前側コイル 30a, 30b に流れる電流は、図 12 (b) に太線で示すように、溶接トーチ 9 が位置 B から位置 C までの間にあるときに最大となり、溶接トーチ 9 が位置 C から

50

前側に移動するにつれて減少し、溶接トーチ 9 が位置 F にあるときに最小（最大値の 8 分の 1）となっている。

【0075】

図 13～図 15 は、それぞれ、本実施の形態において溶接トーチ 9 が位置 B、位置 C、位置 F にある場合の磁場強度分布を示すコンター図である。図 13 のように、溶接トーチ 9 が、破線の縦線で示す位置 B、つまり後側に近い位置にあるときには、磁場の弱い領域が後側に寄る。また、図 14 のように、溶接トーチ 9 が、破線の縦線で示す位置 C、つまり中央に近い位置にあるときには、磁場の弱い領域が中央に来る。更に、図 15 のように、溶接トーチ 9 が、破線の縦線で示す位置 F、つまり前側に近い位置にあるときには、磁場の弱い領域が前側に寄る。

10

【0076】

図 16～図 18 は、それぞれ、本実施の形態において溶接トーチ 9 が位置 B、位置 C、位置 F にある場合の開先部 4 の前後方向の磁場分布を示したグラフである。これらのグラフでは、左側が開先部 4 の後側に対応し、右側が開先部 4 の前側に対応している。また、鉛直方向位置が下コイル 30b、40b の中心の位置である場合の磁場強度を太線で示し、鉛直方向位置が上コイル 30a、40a と下コイル 30b、40b との中間点の位置である場合の磁場強度を細線で示している。尚、ここでは、磁場計算に母材 2、3 の磁性を考慮しているが、開先部 4 から 5 mm は非磁性と仮定している。これらのグラフから、溶接トーチ 9 が、各グラフにおいて破線の縦線で示す位置 B、位置 C、位置 F の何れにあっても、鉛直方向位置が上コイル 30a、40a と下コイル 30b、40b との中間点の位置である場合の磁場強度はほぼゼロとなる一方で、鉛直方向位置が上コイル 30a、40a の中心の位置である場合の磁場強度は一定レベルとなることが分かる。

20

【0077】

溶融金属の攪拌に寄与するローレンツ力は、磁力の大きさに比例する。一方で、磁力の大きさは磁極との距離が大きくなると小さくなる。本実施の形態では、溶接トーチ 9 の摺動の中間点で電流を最大化することにより、溶融金属にかかるローレンツ力を強くすることができるようになった。その結果、金属組織が微細化し、金属中の介在物が低減するため、溶接部 8 の機械特性が向上することとなった。

【0078】

〔第 4 の実施の形態〕

第 1 乃至第 3 の実施の形態では、前側上コイル 30a の電流及び起磁力と前側下コイル 30b の電流及び起磁力とを同じとし、後側上コイル 40a の電流及び起磁力と後側下コイル 40b の電流及び起磁力とを同じとした。その場合、磁場が打ち消されてゼロになる領域は、上コイル 30a、40a と下コイル 30b、40b との中間点の領域である。

30

【0079】

溶接ワイヤ 5 の先端部の鉛直方向位置が図 6 のように上コイル 30a、40a と下コイル 30b、40b との中間点の位置である場合は、このように上コイル 30a、40a と下コイル 30b、40b とで電流及び起磁力は同じとすることが望まれる。一方で、溶接条件が変化して溶接ワイヤ 5 の先端部の鉛直方向位置が上コイル 30a、40a と下コイル 30b、40b との中間点の位置と異なる場合は、溶接ワイヤ 5 の先端部の磁場強度がゼロとならず、溶融スラグ 6 の流れに偏りが生じる可能性がある。その場合は、前側上コイル 30a の電流と前側下コイル 30b の電流とに差をつけたり、後側上コイル 40a の電流と後側下コイル 40b の電流とに差をつけたりするとよい。こうすることで、磁場強度がゼロとなる領域が、上コイル 30a、40a と下コイル 30b、40b との中間点の位置よりも上下方向に調整される。

40

【0080】

本実施の形態では、前側上コイル 30a と前側下コイル 30b との電流バランス、及び、後側上コイル 40a と後側下コイル 40b との電流バランスの少なくとも何れか一方を調整するようにした。つまり、前側上コイル 30a の磁極、前側下コイル 30b の磁極、後側上コイル 40a の磁極、及び後側下コイル 40b の磁極の少なくとも 1 つは、発生磁

50

場の強度を調整可能に構成されるものとした。そして、前側上コイル 30 a の磁極と前側下コイル 30 b の磁極との発生磁場の強度のバランス、及び後側上コイル 40 a の磁極と後側下コイル 40 b の磁極との発生磁場の強度のバランスの少なくとも何れか一方を調整するようにした。これにより、溶接ワイヤ 5 の先端部と前側水冷銅板 10 及び後側水冷銅板 20 との位置関係がずれても、磁場がゼロとなる領域の鉛直方向位置を調整することができるようになった。

【0081】

〔第 5 の実施の形態〕

第 5 の実施の形態は、第 1 乃至第 3 の実施の形態の磁場印加装置 200 におけるコイルの形状の変形例である。図 19 は、第 5 の実施の形態における磁場印加装置 200 のコイルの位置を示した図である。

10

【0082】

第 1 乃至第 3 の実施の形態において、前側上コイル 30 a 及び前側下コイル 30 b は起磁力が等しく磁場の方向が逆向きであり、後側上コイル 40 a 及び後側下コイル 40 b も起磁力が等しく磁場の方向が逆向きである。そこで、第 5 の実施の形態では、前側上コイル 30 a の磁極と前側下コイル 30 b の磁極とを共通にし、後側上コイル 40 a の磁極と後側下コイル 40 b の磁極とを共通にする。即ち、前側上コイル 30 a の磁極であった前上側の磁極と、前側下コイル 30 b の磁極であった前下側の磁極とが、前側上コイル 30 a 及び前側下コイル 30 b をまとめた前側コイル 30 c と、鉄芯 31 a 及び鉄芯 31 b をまとめた鉄芯 31 c とを共有している。また、後側上コイル 40 a の磁極であった後上側の磁極と、後側下コイル 40 b の磁極であった後下側の磁極とが、後側上コイル 40 a 及び後側下コイル 40 b をまとめた後側コイル 40 c と、鉄芯 41 a 及び鉄芯 41 b をまとめた鉄芯 41 c とを共有している。

20

【0083】

〔第 6 の実施の形態〕

図 20 は、第 6 の実施の形態における磁場印加装置 200 の構成例を示した図である。本実施の形態における磁場印加装置 200 は、図示するように、前側水冷銅板 10 と、後側水冷銅板 20 と、前側上コイル 30 a 及びその鉄芯 31 a と、前側下コイル 30 b 及びその鉄芯 31 b と、後側上コイル 40 a 及びその鉄芯 41 a と、後側下コイル 40 b 及びその鉄芯 41 b とを含む。また、コイル 30 a, 30 b, 40 a, 40 b に囲まれた領域には、溶接ワイヤ 5、溶融スラグ 6、溶融池 7、溶接部 8、及び溶接トーチ 9 がある。これらの構成要素は、第 1 の実施の形態で述べたものと同様なので、説明を省略する。また、コイル 30 a, 30 b, 40 a, 40 b の条件も、第 1 の実施の形態で表 2 に示したものと同一とする。

30

【0084】

本実施の形態では、前側上コイル 30 a の鉄芯 31 a の溶融池 7 側（前側上コイル 30 a の溶融池 7 側磁極）と前側下コイル 30 b の鉄芯 31 b の溶融池 7 側（前側下コイル 30 b の溶融池 7 側磁極）との間に軟磁性材料からなる前側磁性体片 32 を配置している。また、後側上コイル 40 a の鉄芯 41 a の溶融池 7 側（後側上コイル 40 a の溶融池 7 側磁極）と後側下コイル 40 b の鉄芯 41 b の溶融池 7 側（後側下コイル 40 b の溶融池 7 側磁極）との間に軟磁性材料からなる後側磁性体片 42 を配置している。前側磁性体片 32 及び後側磁性体片 42 のサイズは、上下方向を 30 mm とし、左右方向を 20 mm とし、前後方向を 5 mm とする。ここで、軟磁性材料とは、例えば、軟鉄等の鉄、ニッケル、磁性ステンレス、パーマロイ、パーメンジュール、ケイ素鋼である。前側磁性体片 32 は、軟磁性材料からなる表側部材の一例であり、後側磁性体片 42 は、軟磁性材料からなる裏側部材の一例である。

40

【0085】

また、前側磁性体片 32 の溶融池 7 側の面の前後位置は、鉄芯 31 a, 31 b の溶融池 7 側の端部の前後位置と同じにしている。後側磁性体片 42 の溶融池 7 側の面の前後位置は、鉄芯 41 a, 41 b の溶融池 7 側の端部の前後位置と同じにしている。

50

【0086】

更に、本実施の形態では、前側磁性体片32を鉄芯31a, 31b間に固定するために、非磁性で熱耐性のあるアルミニウム製のスペーサ33を配置している。また、後側磁性体片42を鉄芯41a, 41b間に固定するために、非磁性で熱耐性のあるアルミ製のスペーサ43を配置している。

【0087】

前側磁性体片32及び後側磁性体片42が配置されていない場合の開先部4内の磁束密度分布は図17のようになる。図17は、一般化して、前側コイル30a, 30bに流れる電流と、後側コイル40a, 40bに流れる電流とが等しい場合の磁束密度分布を示したグラフと捉えることができる。図17では、磁束密度は、溶接ワイヤ5の先端付近では略ゼロまで小さくなっているが、少し前後にずれるとゼロから外れ、前側水冷銅板10及び後側水冷銅板20の近傍では約60mTまで大きくなっている。溶融スラグ6への電磁攪拌効果を更に抑制するためには、図20の破線で囲んだ領域R内の磁束密度を極力抑制することが望ましい。

【0088】

図21は、前側磁性体片32及び後側磁性体片42を配置した場合の磁束密度分布を示したグラフである。図中、実線は前側磁性体片32及び後側磁性体片42を配置しない状態での磁束密度分布を示し、破線は前側磁性体片32及び後側磁性体片42を配置した状態での磁束密度分布を示す。両者を比べると、開先部4内で下コイル30b, 40bの中心の高さ（凝固界面付近）の磁束密度分布は大きく変化していない。一方で、開先部4内で上コイル30a, 40aと下コイル30b, 40bとの中間の高さ（溶接ワイヤ5の先端付近）の磁束密度分布は抑制されている。特に、前側水冷銅板10及び後側水冷銅板20の近傍では約5分の1に抑制されている。よって、前側磁性体片32及び後側磁性体片42を配置することにより、溶融池7だけを選択的に電磁攪拌することができる。

【0089】

より具体的には、前側磁性体片32及び後側磁性体片42の近傍の磁束がそれぞれ前側磁性体片32及び後側磁性体片42に吸収され、溶融スラグ6内で比較的電流密度の高い溶接ワイヤ5の先端付近（図20の領域R）の磁場強度が更に抑制される。その結果、溶融スラグ6での電磁攪拌効果は更に抑制され、溶融池7への溶融スラグ6の巻き込みや母材2, 3の溶け込みの左右での偏りが更に抑制できる。

【0090】

このように、前側磁性体片32及び後側磁性体片42を配置する目的は、溶融スラグ6内の溶接ワイヤ5の先端付近だけ、磁束密度を抑制することである。従って、前側磁性体片32及び後側磁性体片42が溶融池7と同じ上下位置に配置されることは好ましくない。前側磁性体片32及び後側磁性体片42が溶融池7と同じ上下位置に配置されると、溶融池7の磁束密度も抑制されるからである。よって、前側磁性体片32及び後側磁性体片42は、上コイル30a, 40aと下コイル30b, 40bとの中間地点に配置し、前側磁性体片32及び後側磁性体片42の下端が溶融池7の上端よりも高い位置にあることが望ましい。

【符号の説明】

【0091】

2、3…母材、4…開先部、5…溶接ワイヤ、6…溶融スラグ、7…溶融池、8…溶接部、9…溶接トーチ、10…前側水冷銅板、11a, 11b…穴、20…後側水冷銅板、21…溝、30a…前側上コイル、30b…前側下コイル、30c…前側コイル、31a, 31b, 31c…鉄芯、32…前側磁性体片、33…スペーサ、40a…後側上コイル、40b…後側下コイル、40c…後側コイル、41a, 41b, 41c…鉄芯、42…後側磁性体片、43…スペーサ、100, 200…磁場印加装置

10

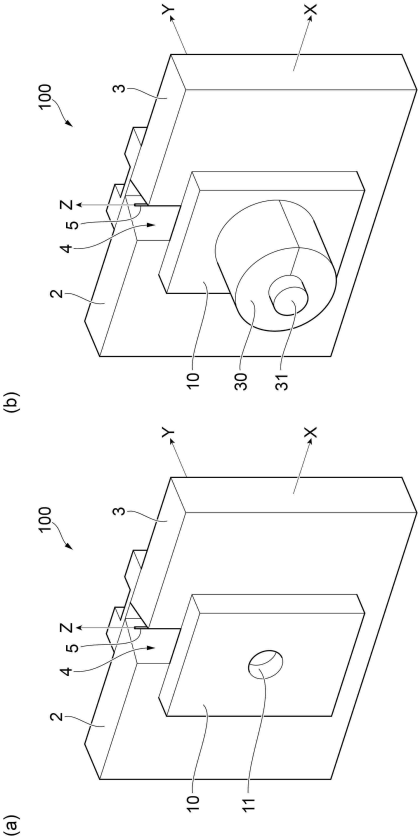
20

30

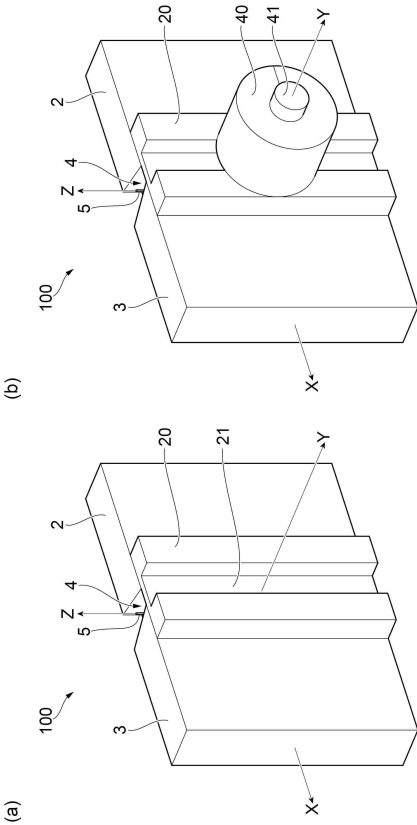
40

50

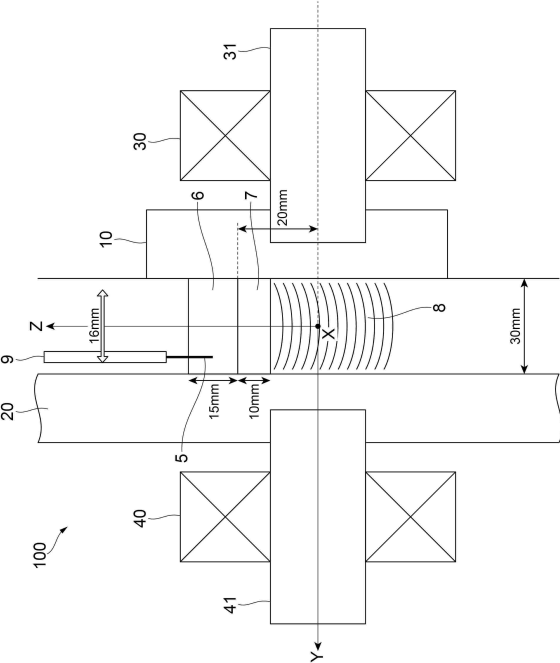
【図面】
【図 1】



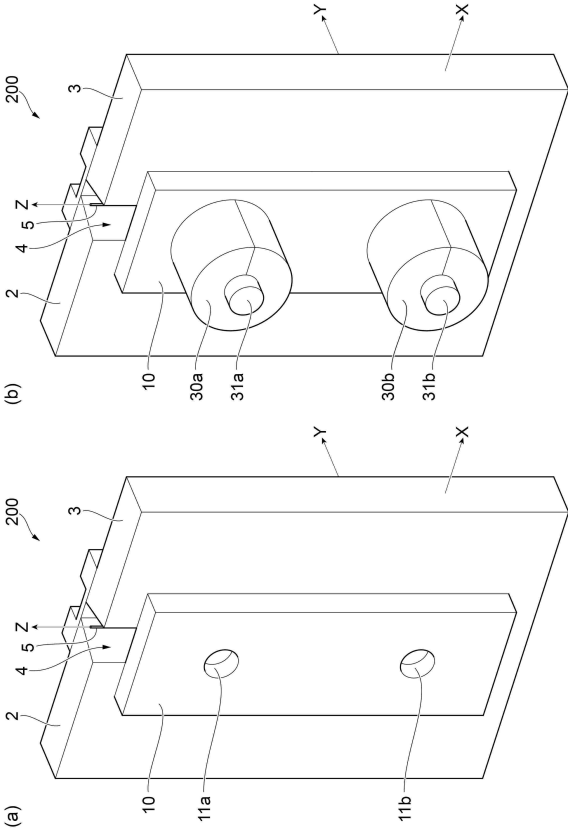
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

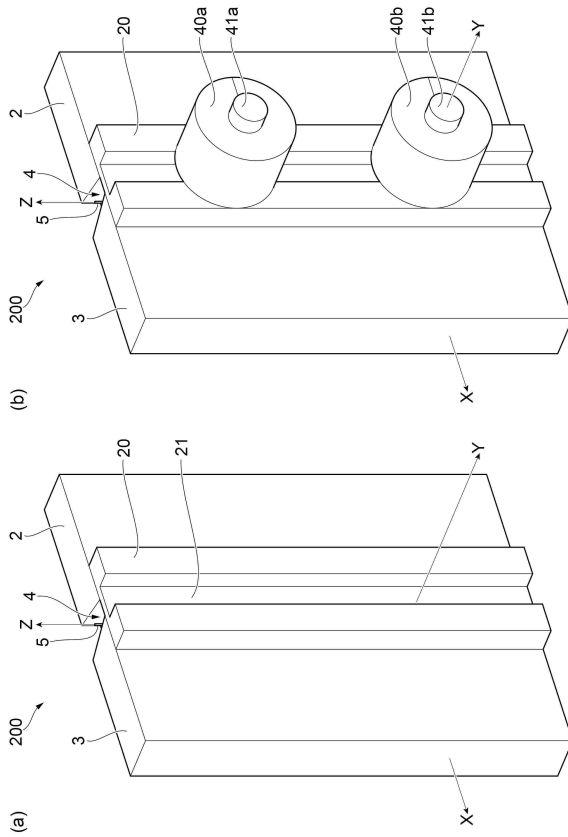
20

30

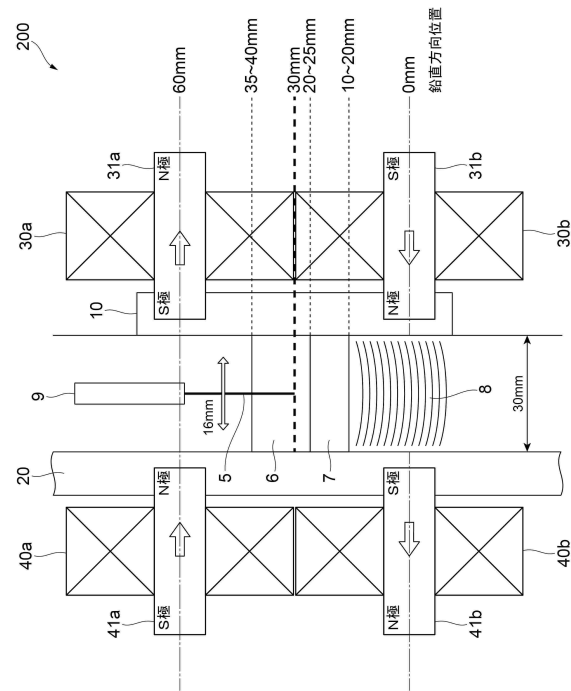
40

50

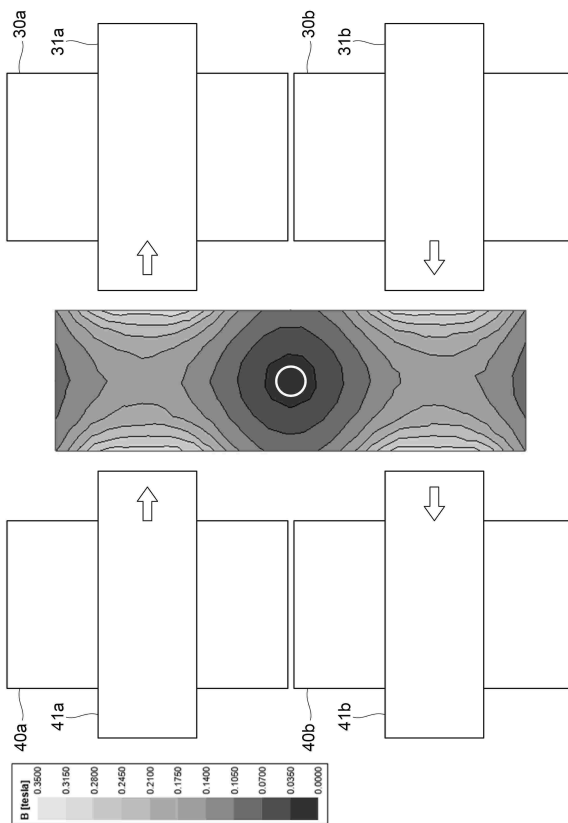
【圖 5】



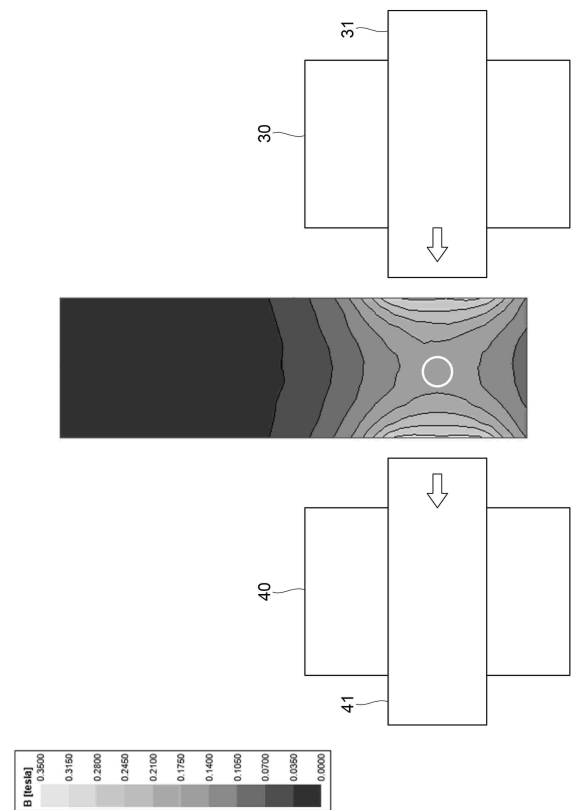
【図 6】



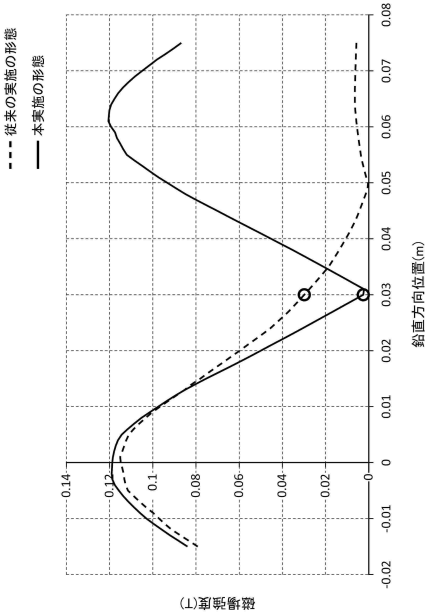
【図 7】



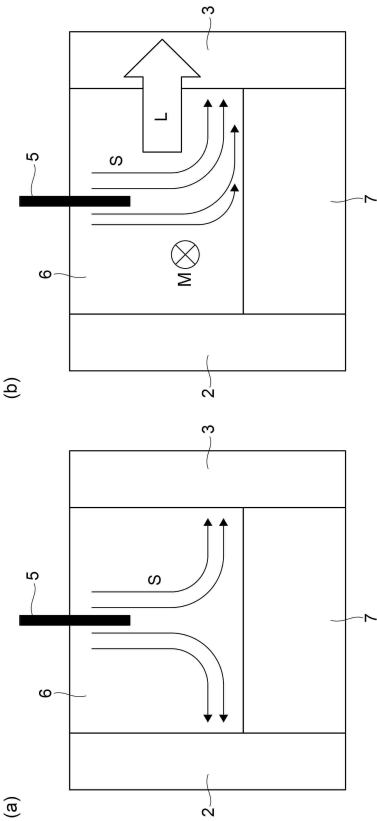
【図 8】



【図 9】



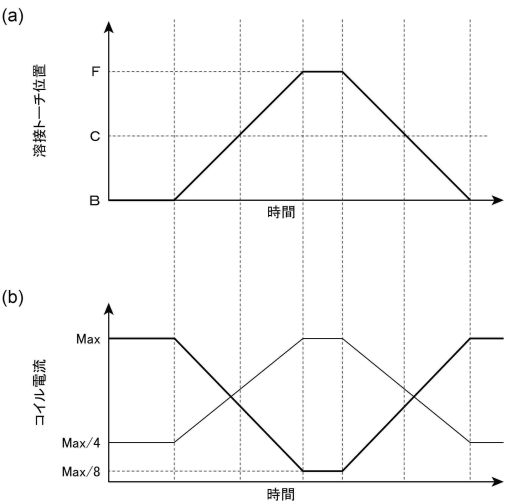
【図 10】



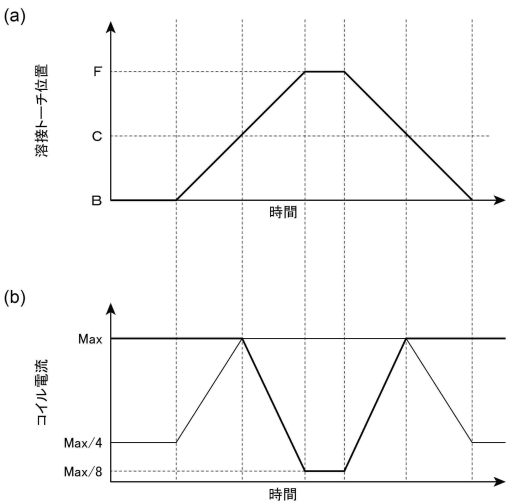
10

20

【図 11】



【図 12】

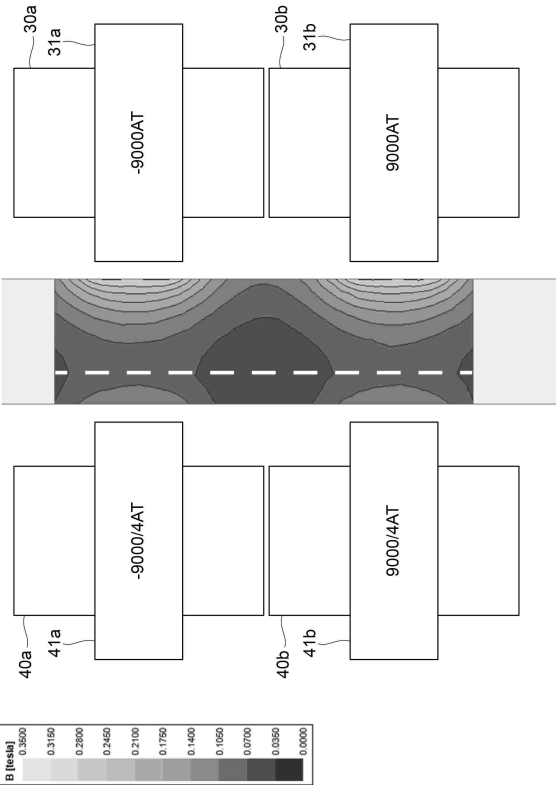


30

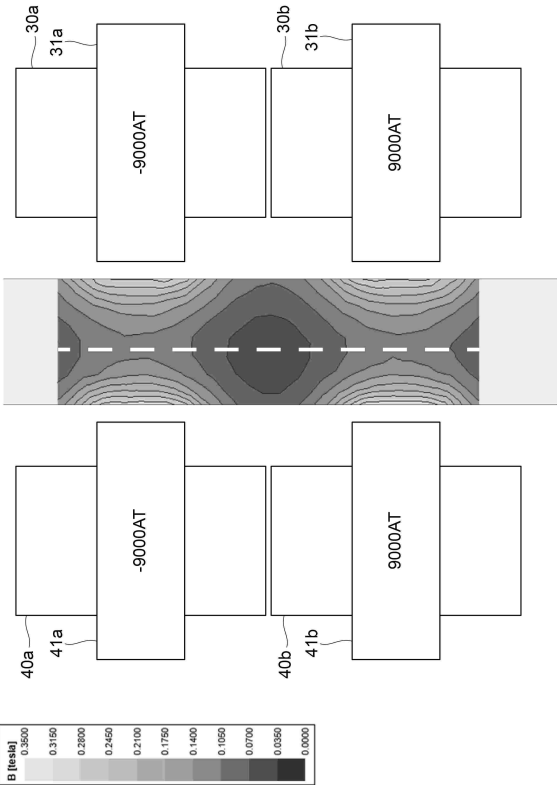
40

50

【図 1 3】



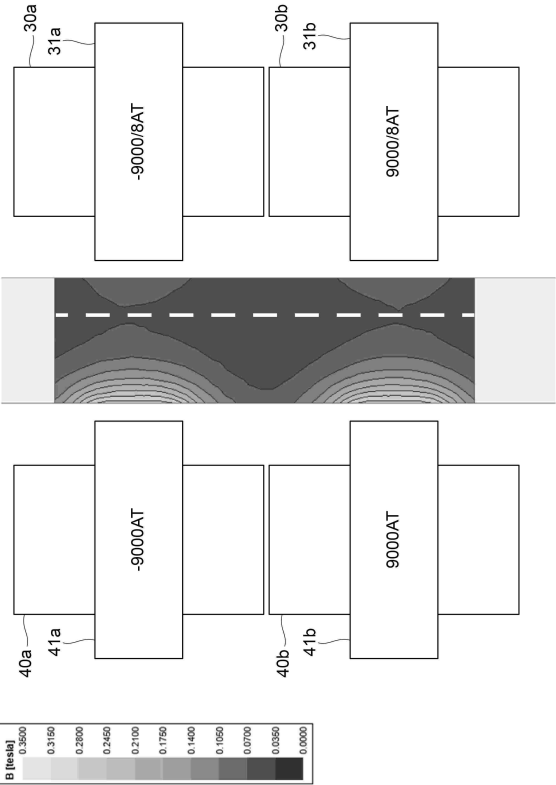
【図 1 4】



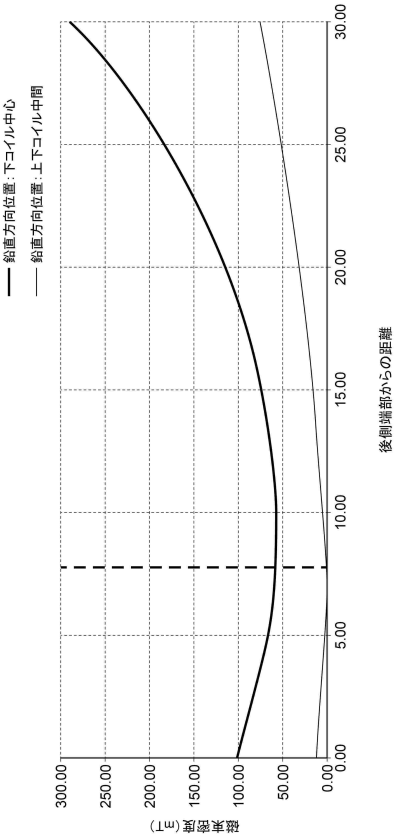
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

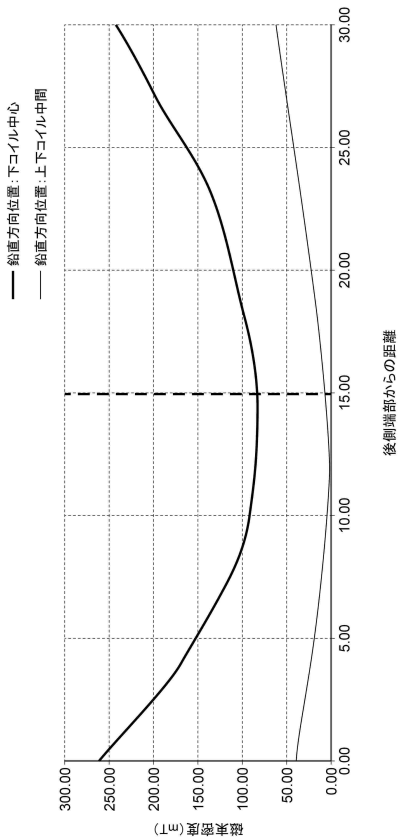


30

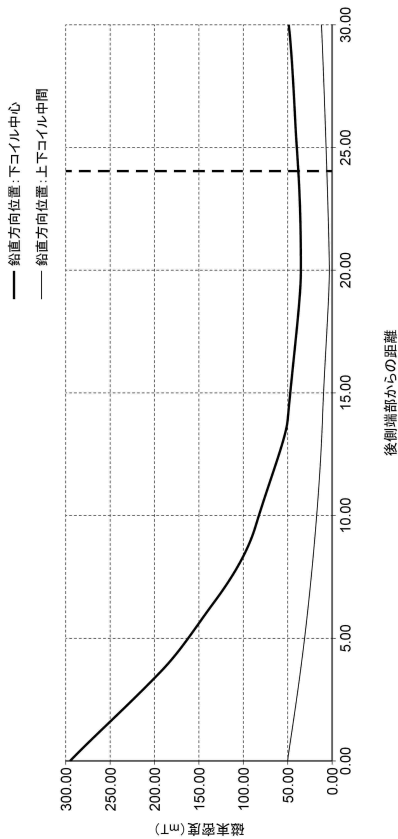
40

50

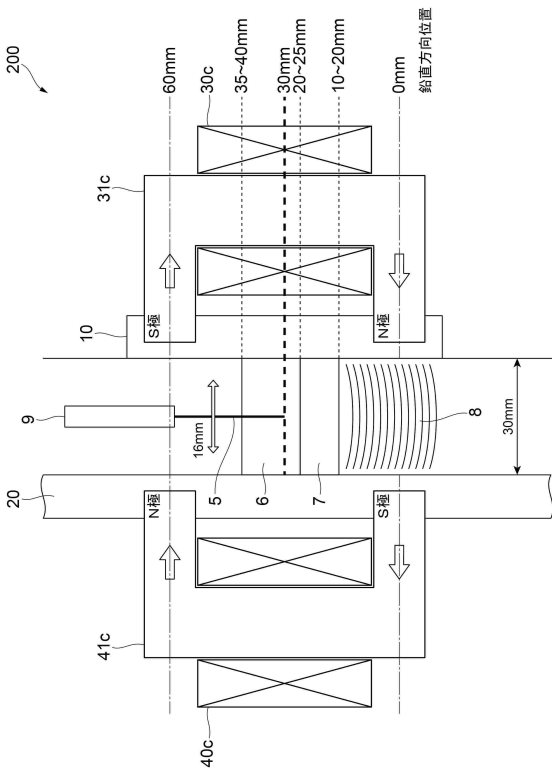
【図 17】



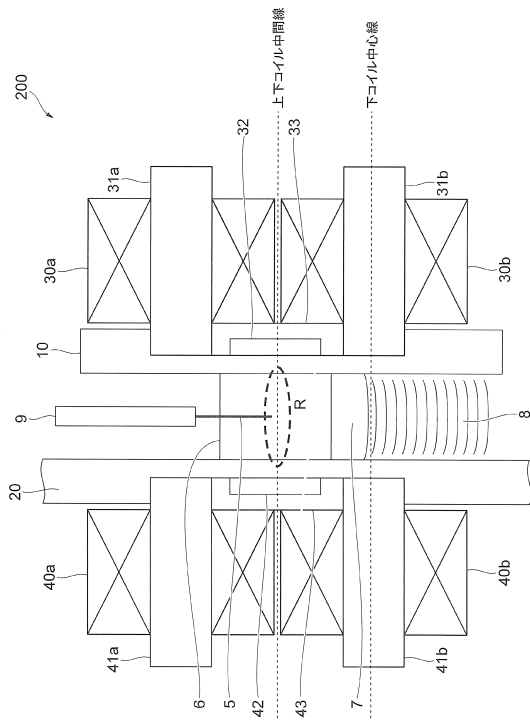
【図 18】



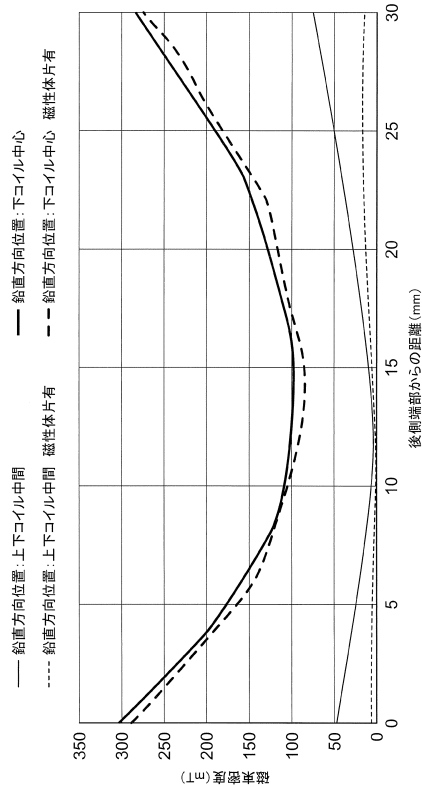
【図 19】



【図 20】



【図 21】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号 株式会社神戸製鋼所内
- (72)発明者 江上 真理子
- 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号 株式会社神戸製鋼所内
- (72)発明者 石崎 圭人
- 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号 株式会社神戸製鋼所内
- (72)発明者 辰巳 舞帆
- 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号 株式会社神戸製鋼所内
- 審査官 杉田 隼一
- (56)参考文献 特開昭51-025445 (JP, A)
- 特開昭54-120253 (JP, A)
- 特開2011-251316 (JP, A)
- 米国特許第06349107 (US, B1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- B23K 25/00