

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3585719号
(P3585719)

(45) 発行日 平成16年11月4日(2004.11.4)

(24) 登録日 平成16年8月13日(2004.8.13)

(51) Int. Cl.⁷

F I

H O 1 B 12/12

H O 1 B 12/12 Z A A

H O 1 B 12/16

H O 1 B 12/16 Z A A

請求項の数 3 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願平10-8066	(73) 特許権者	000005186 株式会社フジクラ
(22) 出願日	平成10年1月19日(1998.1.19)		東京都江東区木場1丁目5番1号
(65) 公開番号	特開平11-203961	(73) 特許権者	000213297
(43) 公開日	平成11年7月30日(1999.7.30)		中部電力株式会社
審査請求日	平成13年11月15日(2001.11.15)		愛知県名古屋市東区東新町1番地
		(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100108578 弁理士 高橋 詔男
		(74) 代理人	100089037 弁理士 渡邊 隆
		(74) 代理人	100101465 弁理士 青山 正和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 酸化物超電導ケーブルユニットおよびそれを備えた酸化物超電導ケーブル

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

酸化物超電導コアを金属シースの内部に複数配して形成したテープ状の超電導導体の外周に絶縁被覆層を設けてなる複合超電導導体を複数本、転位撚りして転位超電導テープユニットが構成され、前記転位超電導テープユニットが複数本、パイプ状のフォーマの周囲に巻回されてなり、

前記転位超電導テープユニットが、複数の前記複合超電導導体を2列に横並びに、かつ、それらの厚さ方向に複数積層してそれらの長さ方向において前記複数の複合超電導導体を転位超電導テープユニットの表面側に位置する場合と底面側に位置する場合を繰り返すように、しかも、2列に横並びとした前記複数の複合超電導導体をそれらの厚さ方向に積層する場合に前記複数の複合超電導導体をそれらの長さ方向の途中において2列横並びの左右の列と上下の層間で2列横並びの複合超電導導体の幅内で入れ替えることで転位超電導テープユニットの幅方向両端部に位置する前記複数の複合超電導導体の端部どうしを上下の層間で揃えるように配列構成され、

前記各転位超電導テープユニットが、複数、前記フォーマの外周部に、前記転位超電導テープユニットの幅方向端部どうしを接触させた状態で巻回されてなることを特徴とする酸化物超電導ケーブルユニット。

【請求項2】

前記絶縁被覆層がポリエステル、ポリエステルイミド、ポリエステルイミドヒダントイン、エナメルいずれかからなることを特徴とする請求項1記載の酸化物超電導ケーブルユ

10

20

ニット。

【請求項3】

酸化物超電導コアを金属シースの内部に複数配して形成したテープ状の超電導導体の外周に絶縁被覆層を設けてなる複合超電導導体を複数本、転位撚りして転位超電導テープユニットが構成され、前記転位超電導テープユニットが複数本、パイプ状のフォーマの周囲に巻回されてなり、

前記転位超電導テープユニットが、複数の前記複合超電導導体を2列に横並びに、かつ、それらの厚さ方向に複数積層してそれらの長さ方向において前記複数の複合超電導導体を転位超電導テープユニットの表面側に位置する場合と底面側に位置する場合を繰り返すように、しかも、2列に横並びとした前記複数の複合超電導導体をそれらの厚さ方向に積層する場合に前記複数の複合超電導導体をそれらの長さ方向の途中において2列横並びの左右の列と上下の層間で2列横並びの複合超電導導体の幅内で入れ替えることで転位超電導テープユニットの幅方向両端部に位置する前記複数の複合超電導導体の端部どうしを上下の層間で揃えるように配列構成され、

前記各転位超電導テープユニットが、複数、前記フォーマの外周部に、前記転位超電導テープユニットの幅方向端部どうしを接触させた状態で巻回されて酸化物超電導ケーブルユニットが構成され、該酸化物超電導ケーブルユニットがスペーサとともに外被管の内部に収納され、外皮管の内部に外被管内面と酸化物超電導ケーブルユニットとスペーサとによって区画された外部冷媒流路が形成されてなることを特徴とする酸化物超電導ケーブル。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、素線絶縁を施し転位撚り構造を採用した酸化物超電導ケーブルユニットおよびそれを備えた酸化物超電導ケーブルに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、酸化物超電導ケーブルの一例として、図8(a)に示すように、超電導導体3を銅などからなるパイプ状のフォーマ2の周囲にスパイラル状に巻回してなる酸化物超電導ケーブル1が知られている。

この超電導導体3は、図9(a)に示すように、複数の超電導コア4が銀などからなるシース5により覆われて形成され、該超電導導体3をパイプ状のフォーマ2に対して複数層巻回することにより図8(a)に示す超電導積層体8が形成されている。

【0003】

超電導コア4に利用される酸化物超電導物質としては、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_x$ (Bi系2212相)、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (Bi系2223相)、 $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ 、 $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 等の組成を持つものが利用されている。そのうち、Bi系、特に、Bi系2223相の酸化物超電導物質が、高い臨界温度を有し安定な物質として超電導コア4に広く適用されている。次に、酸化物超電導ケーブルの他の構造例として、図8(b)に示すように、超電導線材を塑性加工してセグメント化し、このセグメント化した構成の超電導導体6をパイプ状のフォーマ2に対して巻き付けて構成した超電導ケーブル7が知られている。

【0004】

図8(a)と(b)に示す従来のいずれの構造の超電導ケーブル1、7にあっても、交流通電時の損失を低減するために絶縁構造をとることが好ましいと思われるので、これらの超電導ケーブル1、7にあっては、スパイラル状の超電導導体3に層間絶縁を施すか、セグメント状の超電導導体6に層間絶縁を施し、超電導ケーブルとしての交流損失を低減させることがなされている。そして、従来、この層間絶縁を施すためには、絶縁紙やポリイミドテープを超電導導体3、6の外面に巻き付けてからフォーマ2に巻回することで行っていた。

【0005】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】

前述のような超電導導体 3、6 をフォーマ 2 に多層巻きした構造の超電導ケーブル 1、7 にあっては、内層側の超電導導体 3、6 と外層側の超電導導体 3、6 に層間インダクタンスの違いが生じ、内層側と外層側とで流れる電流値に違いを生じる偏流の問題があり、交流損失も大きいという問題があった。

また、前記のような酸化物超電導ケーブル 1 において、超電導導体 3 に交流電流を通電した場合に、各々の超電導導体 3 において図 9 (b) における紙面に垂直方向に流れる交流電流による自己磁場の影響によって渦電流 F が発生する。このとき、シース 5 が電気抵抗率の低い Ag (Ag は 20 において $1.63 \mu \text{ cm}$ の電気抵抗率) 等からなるために、図 9 (c) に示すように、渦電流 F 1 が隣接する超電導導体 3 のシース 5 に導通してしまふ問題がある。その結果、図 10 に示すように、超電導積層体 8 の全体を渦電流 F 2 が横断して導通するために、酸化物超電導ケーブル 1 の全体として渦電流 F 2 が支配的となり、交流損失が大きくなるという問題があった。

【0006】

本発明は、前記の事情に鑑みてなされたもので、偏流の問題を無くして超電導特性の劣化を生じないようにできるとともに、交流通電時の渦電流損失を少なくして交流損失を少なくすることができる酸化物超電導ケーブルユニットと超電導ケーブルの提供を目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る酸化物超電導ケーブルユニットにあっては、酸化物超電導コアを金属シースの内部に複数配して形成したテープ状の超電導導体の外周に絶縁被覆層を設けてなる複合超電導導体を複数本、転位撚りして転位超電導テープユニットが構成され、前記転位超電導テープユニットが複数本、パイプ状のフォーマの周囲に巻回されてなり、前記転位超電導テープユニットが、複数の前記複合超電導導体を 2 列に横並びに、かつ、それらの厚さ方向に複数積層してそれらの長さ方向において前記複数の複合超電導導体を転位超電導テープユニットの表面側に位置する場合と底面側に位置する場合を繰り返すように、しかも、2 列に横並びとした前記複数の複合超電導導体をそれらの厚さ方向に積層する場合に前記複数の複合超電導導体をそれらの長さ方向の途中において 2 列横並びの左右の列と上下の層間で 2 列横並びの複合超電導導体の幅内で入れ替えることで転位超電導テープユニットの幅方向両端部に位置する前記複数の複合超電導導体の端部どうしを上下の層間で揃えるように配列構成され、前記各転位超電導テープユニットが、複数、前記フォーマの外周部に、前記転位超電導テープユニットの幅方向端部どうしを接触させた状態で巻回されてなることを特徴とする。

前記酸化物超電導導体の超電導コアは、 $\text{Bi}_{2.2} \text{Sr}_{2.1} \text{Ca}_{1.2} \text{Cu}_{2.0} \text{O}_x$ (Bi 2 2 1 2 相) , $\text{Bi}_{2.2} \text{Sr}_{2.2} \text{Ca}_{2.3} \text{Cu}_{3.0} \text{O}_y$ (Bi 2 2 2 3 相) , $\text{Bi}_{1.6} \text{Pb}_{0.4} \text{Sr}_{2.2} \text{Ca}_{2.2} \text{Cu}_{3.0} \text{O}_x$, $\text{Tl}_{2.2} \text{Ba}_{2.2} \text{Ca}_{2.2} \text{Cu}_{3.0} \text{O}_y$, などで示される組成を持つものとされ、特に、Bi 系 2 2 2 3 相または Bi 系 2 2 1 2 相の Bi 系酸化物超電導材料が選択されることが好ましい。

前記金属シースは、Ag , Pt , Au 等の貴金属とされることが好ましい。

【0008】

次に本発明の超電導ケーブルユニットにおいて、前記絶縁被覆層がポリエステル、ポリエステルイミド、ポリエステルイミドヒダントイン、エナメルのいずれかからなることを特徴とする。

更に、本発明の酸化物超電導ケーブルにおいては、酸化物超電導コアを金属シースの内部に複数配して形成したテープ状の超電導導体の外周に絶縁被覆層を設けてなる複合超電導導体を複数本、転位撚りして転位超電導テープユニットが構成され、前記転位超電導テープユニットが複数本、パイプ状のフォーマの周囲に巻回されてなり、前記転位超電導テープユニットが、複数の前記複合超電導導体を 2 列に横並びに、かつ、それらの厚さ方向に複数積層してそれらの長さ方向において前記複数の複合超電導導体を転位超電導テープユ

10

20

30

40

50

ニットの表面側に位置する場合と底面側に位置する場合を繰り返すように、しかも、2列に横並びとした前記複数の複合超電導導体をそれらの厚さ方向に積層する場合に前記複数の複合超電導導体をそれらの長さ方向の途中において2列横並びの左右の列と上下の層間で2列横並びの複合超電導導体の幅内で入れ替えることで転位超電導テープユニットの幅方向両端部に位置する前記複数の複合超電導導体の端部どうしを上下の層間で揃えるように配列構成され、前記各転位超電導テープユニットが、複数、前記フォーマの外周部に、前記転位超電導テープユニットの幅方向端部どうしを接触させた状態で巻回されて酸化物超電導ケーブルユニットが構成され、該超電導ケーブルユニットがスペーサとともに外被管の内部に収納され、外皮管の内部に外被管内面と酸化物超電導ケーブルユニットとスペーサとによって区画された外部冷媒流路が形成されてなることを特徴とする。

10

【0009】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る超電導ケーブルユニットおよび酸化物超電導ケーブルとそれらの製造方法の一実施形態について図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の超電導ケーブルユニットの一実施形態を示す斜視図である。この形態の超電導ケーブルユニット10は、複数の転位超電導テープユニット15がパイプ状のフォーマ(管体)17の周囲に螺旋状に巻回されてなるものである。

【0010】

前記転位超電導テープユニット15は、図2に示すようにテープ状の複合超電導導体(複合超電導テープ)18を複数本(図面では5本)転位撚り合わせしてなる長尺の帯状のものである。この形態の転位超電導テープユニット15は、テープ状の超電導導体19に絶縁被覆層20を設けてなる複合超電導導体18の複数本を集合して撚り合わせる際に、各テープ状の複合超電導導体18をその長尺方向において図2(a)に示すように順次その位置を代えて変位するように撚り合わされたものである。即ち複合超電導導体18は、その長さ方向において転位超電導テープユニット15の表面側(外層側)に位置する場合と底面側(内層側)に位置する場合が交互に繰り返されるように配置されている。

20

また、転位超電導テープユニット15は、図2、図3に示すように、2列に横並びとした前記複数の複合超電導導体18をそれらの厚さ方向に積層する場合に前記複数の複合超電導導体18をそれらの長さ方向の途中において2列横並びの左右の列と上下の層間で2列横並びの複合超電導導体の幅内で入れ替えることで転位超電導テープユニット15の幅方向両端部に位置する前記複数の複合超電導導体18の端部どうしを上下の層間で揃えるように配列構成され、前記各転位超電導テープユニット15が、図1に示すように複数、前記フォーマ17の外周部に、前記転位超電導テープユニット15の幅方向端部どうしを接触させた状態で巻回されてなる。

30

このような転位超電導テープユニット15の巻回方向は、S巻(右巻)の方向またはZ巻(左巻)の方向となっている。

前記フォーマ17は、ステンレス鋼、銅パイプなどの金属材料からなるものである。このようなフォーマ17の表面は、該フォーマ17と転位超電導テープユニット15間の通電を抑制するために絶縁処理が施されている。また、このフォーマ17の内部空間は内部冷媒流路17aとされている。

40

【0011】

前記テープ状の複合超電導導体18は、図4に示す構造の超電導多心素線(超電導素線)25を矩形状に塑性加工してテープ状に平坦化されて構成されたものである。なお、超電導多心素線25を捻って得られるツイスト超電導素線を平坦化してなるものでも良い。この複合超電導導体18は、幅1.0mm~5.0mm程度、厚さ0.1mm~1.0mm程度の範囲のものとする。なお、図4中、矢印の方向は、超電導多心素線25を捻る際の捻り方向の一例を示すものである。前記超電導多心素線25は、超電導フィラメントなどの超電導体からなるコア部28または熱処理により超電導体となる材料を有するコア部28がシース材からなる基地29の内部に備えられてなるものである。

【0012】

50

コア部 2 8 の超電導体 2 7 あるいは熱処理により超電導体となる材料 2 7 としては、 $Bi_2Sr_2Ca_1Cu_2O_x$ (Bi 2 2 1 2 相) ,
 $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_y$ (Bi 2 2 2 3 相) ,
 $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_3O_x$, $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_y$ などで示される組成を持つものが用いられ、例えば、Bi 系 2 2 2 3 相の Bi 系酸化物超電導材料が用いられる。

シース材 1 2 としては、Ag , Pt , Au 等の貴金属あるいはそれらの合金からなるものが用いられる。

従ってこのような超電導多心素線 2 5 から形成された超電導導体 1 9 は、Ag , Pt , Au 等の貴金属あるいはそれらの合金からなる金属シース 1 9 a の内部に複数のフィラメント状の超電導コア 2 1 が分散された構造とされている。 10

【 0 0 1 3 】

前記絶縁被覆層 2 0 を構成する絶縁材料としては、ポリエステル、ポリエステルイミド、ポリエステルイミドヒダントイン、エナメルなどが用いられる。このような絶縁被覆層 2 0 の厚さとしては、1 ~ 5 0 μ m 程度の範囲のものが用いられる。

【 0 0 1 4 】

次に、図 1 に示した実施形態の超電導ケーブルユニット 1 0 の製造方法の一例を工程順に説明する。

〔原料粉末処理工程〕

酸化物超電導物質の原料粉末、例えば Bi_2O_3 , PbO , $SrCO_3$, $CaCO_3$, CuO 、からなるものを、Bi : Pb : Sr : Ca : Cu の混合比が 1 . 8 : 0 . 4 : 2 . 2 : 3 . 0 となるように混合し、7 8 0 ~ 8 2 0 の範囲の温度条件においておこなう熱処理（仮焼き）と該仮焼きした後における粉碎とを複数回繰り返す。 20

ここで、混合する原料粉末は、前記の他に Bi , Pb , Sr , Ca , Cu の各元素の酸化物、炭酸塩のいずれでもよい。

〔充填工程〕

前記粉碎した原料粉末を C I P (冷間静水圧プレス) 成形等により例えば円柱体とし、ついでこの円柱体を Ag 等のシース材からなる第一のパイプ内部に充填して封入し、シース材複合体 (Ag シース複合体) を形成する。

【 0 0 1 5 】

〔単心線の伸線（引き抜き）加工工程〕

前記シース材複合体 (Ag シース複合体) を、ダイス等によって所定の線径にまで伸線加工し、超電導単心素線 (単心線) を形成する。

〔多心化工程〕

Ag 等のシース材からなる第二のパイプの内部に Ag 等からなるロッドを配設するとともにこのロッドの周囲に前記単心線を所定数 (例えば 6 本) 配置し、封入を行った後、ダイス等により所定の線径にまで伸線加工して、図 4 に示すような超電導多心素線 (超電導素線) 2 5 を形成する。

【 0 0 1 6 】

〔圧延熱処理反復工程〕

前記超電導素線 2 5 をロール圧延等の圧延加工により、所定の厚さまで圧延して平坦化する。ここでの圧延加工に用いる装置としては、例えば、上下一対のロールを備えた 2 重圧延機と、このロール間に超電導素線 2 5 を送り出す送出ドラムと前記ロール間で圧延された超電導素線 2 5 を巻き取る巻取ドラムとからなる搬送機からなる圧延装置 (図示略) が好適に用いられる。このような圧延装置を用いて超電導素線 2 5 を圧延するには、前記送出ドラムから超電導素線 2 5 を前記ロール間に送り出して圧延するとともに圧延された超電導素線 2 5 を巻取ドラムで巻き取るにより行われる。

ついで、この平坦化した超電導素線 2 5 を、例えば熱処理ドラムに巻回状態として電気炉等の内部に収容し、温度条件を 8 2 0 ~ 8 5 0 の範囲とし、処理時間を 1 0 時間 ~ 2 0 0 時間の範囲に設定して熱処理を行う。 40

更に、前記圧延加工（またはプレス処理）および熱処理を複数回繰り返して、所定の厚みのテープ状の超電導導体 18 を形成する。

【0017】

〔絶縁化工程〕

前記テープ状の超電導導体 19 の表面に上述の絶縁材料を塗布、焼き付けて、超電導導体 19 の外周に所定の厚さの絶縁層 20 を設けることにより図 2 に示すようなテープ状の超電導導体 18 を形成する。

〔転位撚り合せ工程〕

次に前述の超電導導体 18 を複数本転位撚り合せ機に供給する。

転位撚り合せ機を用いて前記テープ状の複合超電導導体 18 の複数本（図面では 5 本）を所定の転位ピッチで転位撚り合わせて図 2（a）に示すような転位超電導テープユニット 15 を形成する。ここでの転位ピッチとしては、20mm～500mm 程度の範囲とされる。

〔巻回工程〕

前記転位超電導テープユニット 15 の複数組（例えば、24組）を表面に絶縁処理が施されたフォーマ 17 の周囲に所定のスパイラルピッチで Z 巻あるいは S 巻で巻回することにより、図 1 に示すような超電導ケーブルユニット 10 が得られる。ここでのスパイラルピッチとしては、100～2000mm 程度の範囲内とされる。

【0018】

本発明の超電導ケーブルユニット 10 においては、超電導素線 25 を平坦化したテープ状の複合超電導導体 18 を複数本転位撚り合わせた転位超電導テープユニット 15 を用いたことにより、内層側と外層側での層間電流勾配を抑制することができる。即ち、超電導導体 19 をそのままフォーマ 17 の外周に多層巻回した場合に、自己磁場の影響から、ケーブル最外層の超電導導体 19 に多くの電流が流れ、ケーブル内層側に向かって実際に流れる電流が少なくなる層間電流勾配を生じる傾向があり、臨界電流密度が低下するので、転位撚り合せすることで 1 本の超電導導体 19 を内層側と外層側を行き来するようにすることで層間電流勾配の発生を抑制できる。これにより、交流通電時の偏流を防止して臨界電流密度の劣化を防止できる。

【0019】

図 5 は前述した転位撚線構造の酸化物超電導ケーブルユニット 10 を更に他の導体やスペーサと複合して外被管の内部に配した構造の酸化物超電導ケーブル 30 を示す。

この構造の酸化物超電導ケーブル 30 は、前記構造の酸化物超電導ケーブルユニット 10 を絶縁管 31 に収納するとともに、絶縁管 31 を更に前記の転位超電導テープユニット 15 と同等の構造の転位超電導テープユニット 32 で覆い、それを線状のスペーサ 33 と外被管 35 の内部に収納して構成されている。

この例の構造では、外被管 35 は、最外層の PVC（ポリ塩化ビニル）などからなる防食層 36 と、その内層側の Al コルゲート管などからなる外部断熱管 37 と、更にその内層側の断熱層 38 と、最内層の Al コルゲート管などからなる内部断熱管 39 からなる 4 重構造とされている。

【0020】

なお、前記の構造において、転位超電導テープユニット 32 は、先に説明した Bi 系の超電導体からなる転位超電導テープユニット 15 と同じもので差し支えないが、例えば、先の転位超電導テープユニット 15 よりも転位撚り数を少なくしたものなどでも良い。この例の転位超電導テープユニット 32 は磁気遮蔽用に設けられるもので、内部の転位超電導テープユニット 15 への通電により生じる磁力を遮蔽する磁場シールドのために設けられる。また、外被管 35 の内部にはスペーサ 33 と転位超電導テープユニット 32 の周囲部分に空間部分が設けられていて、この空間部分が外部冷媒流路 40 とされている。

【0021】

図 5 に示す構造の超電導ケーブル 30 においては、フォーマ 17 の内部の内部冷媒流路 17a に液体窒素などの冷媒を流し、外部冷媒流路 40 に液体窒素などの冷媒を流して転位

10

20

30

40

50

超電導テープユニット15の超電導コア21と転位超電導テープユニット32の超電導コアを臨界温度以下に冷却して使用する。

図5に示す構造であるならば、先の超電導ケーブルユニット10が有する特徴を有した上で転位超電導テープユニット32による磁場シールド効果を有することができる。

【0022】

図6は従来の超電導導体3と本発明で用いる複合超電導導体18の断面形状の比較を行ったもので、従来用いられていた超電導導体3の断面高さaと幅bに対して5本転位撚り構造のものを同一の高さと幅にする事が好ましい。

このようにするならば、従来と同じ巻き付け数でほぼ同じ大きさの超電導ケーブルユニット10を得ることができ、その場合に複合超電導導体18において個々の超電導導体19を素線絶縁していることになり、また、転位撚りしていることから偏流の問題を確実に解消でき、渦電流の問題も確実に解消でき、交流損失が少ないものが得られる。

【0023】

【実施例】

以下、本発明を、実施例および比較例により、具体的に説明するが、本発明はこの実施例のみに限定されるものではない。

Bi_2O_3 、 SrCO_3 、 CaCO_3 、 CuO 、を、 $\text{Bi}:\text{Sr}:\text{Ca}:\text{Cu}$ の混合比が2:2:2:3となるように混合し、800の温度条件においておこなう熱処理(仮焼き)と該仮焼きした後における粉碎とを複数回繰り返して、原料粉末を得た。

この原料粉末をCIP(冷間静水圧プレス)成形により円筒状として、外径40mm、内径20mmのAgパイプ(第一のパイプ)内部に充填して封入し、Agシース複合体を得た。このAgシース複合体をダイス等によって線径3.0mmにまで伸線加工して単心線を形成した。ついで、外径30mm、内径16mmのAgパイプ(第二のパイプ)の内部に前記単心線を19本配置し、封入を行った後、ダイス等により線径0.5mmにまで伸線加工して、超電導多心素線を形成した。

【0024】

この超電導多心素線を上述の2重圧延機と搬送機からなる圧延装置を用いて厚さ0.30mmまで圧延加工を施し、平坦化した。

更に、前記圧延加工(またはプレス処理)および熱処理を複数回繰り返して、幅1.1mm、厚さ0.10mmの横断面形状が矩形状のテープ状の超電導素線を形成した。

形成したテープ状の超電導素線の表面にエナメル絶縁を施し、複合超電導導体とした上で転位撚り合せ機に送った。

【0025】

転位撚り合せ機を用いて前記テープ状の複合超電導導体の9本を転位の渡りピッチ150mmで転位撚り合わせて転位超電導テープユニットを得た。

このようにして得られた転位超電導テープユニットを、表面にポリイミドテープを巻き付けることにより絶縁を施した外径40mm、内径35mmのステンレス鋼製のコルゲート管(管体)に、1000mmのピッチでスパイラル状に巻回し、酸化物超電導ケーブルユニットを得た。

更にこの超電導ケーブルユニットの外部にポリイミドテープの絶縁層を介して前記と同等の構造の超電導導体の転位撚り合わせした転位超電導テープユニットの磁気遮蔽層を形成し、更にこれを断面丸型の長尺スペーサとともに、外径130mm、内径120mmのAlコルゲート管の内部に配し、Alコルゲート管の外部に断熱層を介して外径170mm、内径150mmのAlコルゲート管の外部断熱管を配して、その外部断熱管の外面にPVCの防食層を形成して超電導ケーブルを得た。

【0026】

(比較例)

前記実施例と同様にして酸化物超電導ケーブルを製造する際に、転位撚りを施すことなく単にフォーマに巻き付けることで超電導ケーブルユニットを製造して酸化物超電導ケーブルを得た。

10

20

30

40

50

【0027】

前記実施例で得られた酸化物超電導ケーブルにおいて、以下の条件で測定実験を行ない、臨界電流を求め、交流損失とピーク電流との関係を求め、図7に示した。また、転位撚りを施した試料に比べて転位撚りを施していない超電導ケーブルは交流損失が図7に示す結果の10倍にも増加してしまい、臨界電流密度も50%低下した。

外部磁場：0 T、温度：77 K、交流周期：60 Hz

超電導導体1本の臨界電流：10 A

超電導ケーブルの臨界電流：1.2 kA

【0028】

図7に示すように絶縁を施した超電導導体を転位撚りした構造を採用した超電導ケーブル 10
 にあっては、交流損失を十分に低く抑制できることが判明した。

この結果、酸化物超電導導体を転位撚りすることで転位撚りしないものに比べて交流損失を少なくでき、交流損失値を低くできる超電導ケーブルを提供できることが判明した。

【0029】

【発明の効果】

以上説明したように本発明の超電導ケーブルユニットにあっては、テープ状の超電導導体に絶縁被覆を設けてなる複合超電導導体を複数本、転位撚りしてなる転位超電導テープユニットをパイプ状のフォーマの周囲に巻回するとともに、前記転位超電導テープユニットとして、複数の前記複合超電導導体を2列に横並びに、かつ、それらの厚さ方向に複数積層してそれらの長さ方向において前記複数の複合超電導導体を転位超電導テープユニットの 20
 表面側に位置する場合と底面側に位置する場合を繰り返すように、しかも、2列に横並びとした前記複数の複合超電導導体をそれらの厚さ方向に積層する場合に前記複数の複合超電導導体をそれらの長さ方向の途中において2列横並びの左右の列と上下の層間で2列横並びの複合超電導導体の幅内で入れ替えることで転位超電導テープユニットの幅方向両端部に位置する前記複数の複合超電導導体の端部どうしを上下の層間で揃えるように配列構成し、前記各転位超電導テープユニットを、複数、前記フォーマの外周部に前記転位超電導テープユニットの幅方向端部どうしを接触させた状態で巻回したので、ケーブル内層側と外層側での超電導導体間の層間電流勾配を抑制できる。即ち、超電導導体をそのままフォーマの外周に多層巻回した場合に、自己磁場の影響から、ケーブル最外層の超電導導体に多くの電流が流れ、ケーブル内層側に向かって実際に流れる電流が少なくなる層間電流 30
 勾配を生じる傾向があり、臨界電流密度が低下するおそれがあるので、超電導導体を転位撚りして超電導導体を内層側と外層側を行き来するようにすることで層間電流勾配の発生を抑制できる。

これにより、交流通電時の偏流を防止して臨界電流密度の劣化を防止できる。また、絶縁した上で転位撚りしているので、交流通電時に渦電流が発生し難い特徴を有し、その上に前記のように層間電流勾配を抑制できて偏流しない特徴を有する。

【0030】

次に、前記超電導ケーブルユニットをスペーサとともに外被管の内部に収納して外被管の内部に外部冷媒流路を形成することで、フォーマ内部の内部冷媒流路を流れる冷媒と外部冷媒流路を流れる冷媒により、超電導導体を十分に冷却することができ、超電導特性の安定した超電導ケーブルを提供できる。 40

また、複数本の転位撚線化した複合超電導導体の大きさを従来の超電導導体1本と同じような断面形状と大きさにするならば、高電流化、低交流損失化が可能な超電導ケーブルユニットを提供することができる。

更に、前記構成の超電導ケーブルテープユニットを備えているので、ケーブル内層側と外層側での超電導導体間の層間電流勾配を抑制できる。即ち、超電導導体をそのままフォーマの外周に多層巻回した場合に、自己磁場の影響から、ケーブル最外層の超電導導体に多くの電流が流れ、ケーブル内層側に向かって実際に流れる電流が少なくなる層間電流勾配を生じる傾向があり、臨界電流密度が低下するおそれがあるので、超電導導体を転位撚りして超電導導体を内層側と外層側を行き来するようにすることで層間電流勾配の発生を抑 50

制できる。

これにより、交流通電時の偏流を防止して臨界電流密度の劣化を防止できる。また、絶縁した上で転位撚りしているので、交流通電時に渦電流が発生し難い特徴を有し、その上に前記のように層間電流勾配を抑制できて偏流しない特徴を有する超電導ケーブルテープユニットを備え、超電導状態とする場合の冷媒の流路を確保した超電導ケーブルを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】図 1 は本発明に係る超電導ケーブルの一実施形態を示す斜視図。

【図 2】図 2 は本発明に係る超電導ケーブルに用いられる転位超電導テープユニットを示す斜視図。

【図 3】図 3 は同ユニットの横断面図。

【図 4】図 4 は本発明に係る超電導ケーブルの一実施形態における捻り加工前の超電導素線を示す斜視図。

【図 5】超電導ケーブルユニットを組み込んだ超電導ケーブルの一例を示す図。

【図 6】本発明に係る超電導導体の断面の大きさと従来の超電導導体の断面の大きさを比較して示す図。

【図 7】実施例で得られた超電導ケーブルの交流損失試験結果を示す図。

【図 8】図 8 (a) は従来の超電導ケーブルの一例を示す斜視図、図 8 (b) は従来の超電導ケーブルの他の例を示す斜視図である。

【図 9】図 9 (a) は従来の超電導導体の模式断面図、図 9 (b) は従来の超電導導体における渦電流発生状態を示す模式断面図、図 9 (c) は従来の超電導導体の交流通電時等の渦電流が結合した状態を示す模式断面図。

【図 10】従来の超電導ケーブルの超電導導体層において発生した渦電流を示す断面図である。

【符号の説明】

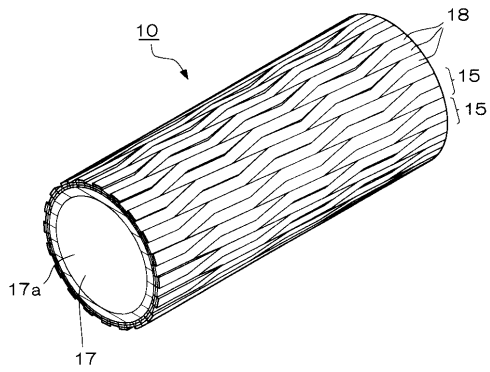
10・・・酸化物超電導ケーブルユニット、15・・・転位超電導テープユニット、17・・・フォーマ（管体）、17a・・・内部冷媒流路、18・・・複合超電導導体、19・・・超電導導体、19a・・・金属シース、20・・・絶縁被覆層、21・・・超電導コア、30・・・超電導ケーブル、32・・・転位超電導テープユニット、33・・・スペーサ、35・・・外被管、40・・・内部冷媒流路。

10

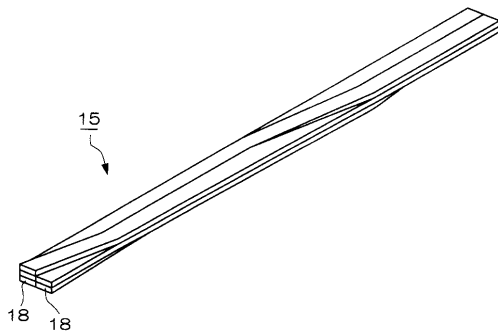
20

30

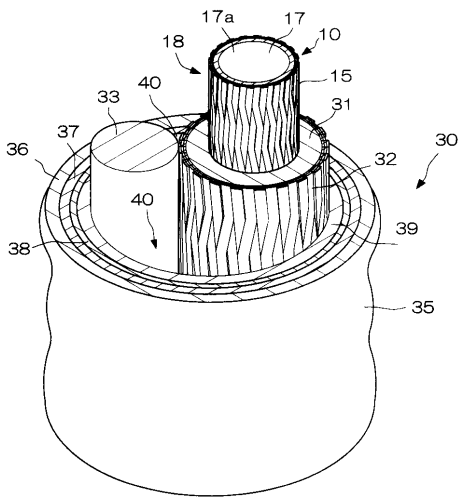
【図1】



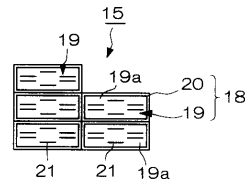
【図2】



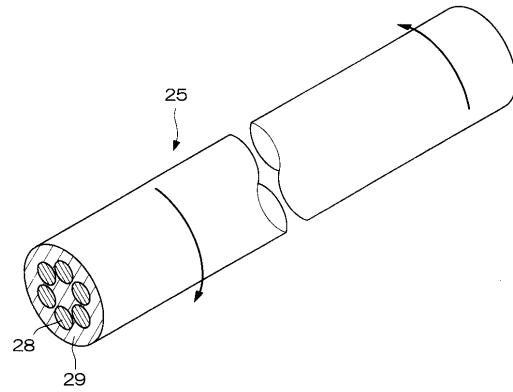
【図5】



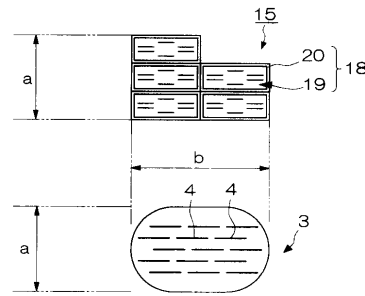
【図3】



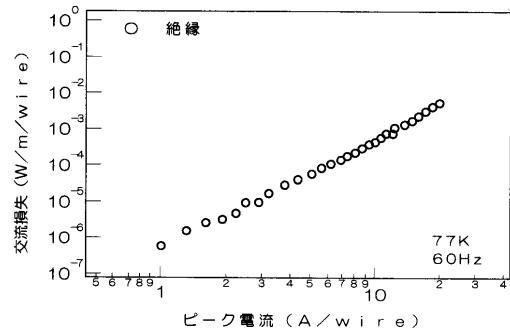
【図4】



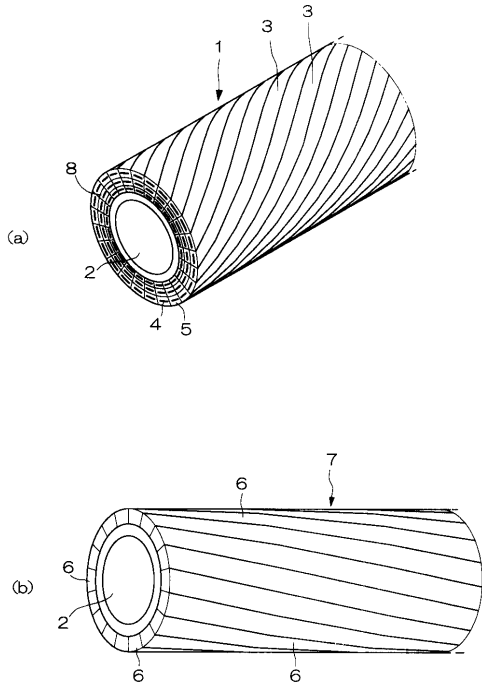
【図6】



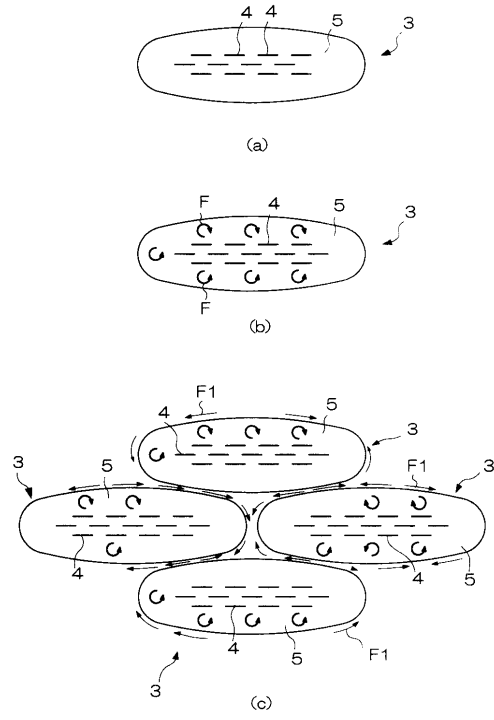
【図7】



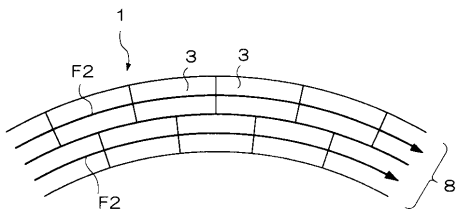
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

- (72)発明者 久米 篤
東京都江東区木場1丁目5番1号 株式会社フジクラ内
- (72)発明者 二木 直洋
東京都江東区木場1丁目5番1号 株式会社フジクラ内
- (72)発明者 定方 伸行
東京都江東区木場1丁目5番1号 株式会社フジクラ内
- (72)発明者 斉藤 隆
東京都江東区木場1丁目5番1号 株式会社フジクラ内
- (72)発明者 長屋 重夫
愛知県名古屋市緑区大高町字北関山20番地の1 中部電力株式会社 電力中央研究所内

審査官 青木 千歌子

- (56)参考文献 特開平08-335414(JP,A)
特開平09-180552(JP,A)
特開平03-071518(JP,A)
特開平03-156809(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
H01B 12/00-13/00