

明 細 書

発明の名称： 管肉厚測定装置及び管肉厚測定システム

技術分野

[0001] 本発明は、ボイラの伝熱管の肉厚測定を行う管肉厚測定装置、及び、当該装置を用いた管肉厚測定システムに関する。

本願は、2019年9月26日に日本に出願された特願2019-175605号について優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 火力発電所の石炭炊きボイラ、ごみ焼却炉に備えられた発電用の廃熱ボイラなど、ボイラを備えたプラントでは、超音波を用いて、定期的にボイラの伝熱管（ボイラチューブ）の肉厚測定が行われる。すなわち、非破壊検査の一種である超音波検査（UT：Ultrasonic Testing）が行われる。特に、水を充満した伝熱管の内部に、超音波プローブを挿入する場合は、「水浸UT」と言われる。

[0003] 水浸UTで使用される超音波プローブは、伝熱管の管壁に向かって超音波を発振する。そして、超音波プローブは、当該管壁で反射した超音波を受信する。従って、水浸UTでは、伝熱管の中心軸上に超音波プローブが配置されることで、伝熱管の管壁の肉厚を適切に測定することができる。

[0004] そこで、特許文献1及び特許文献2に開示があるように、超音波プローブを伝熱管の中心軸上に配置する伸縮機構を備えた管肉厚測定装置、及び、当該装置を用いた管肉厚測定システムが多数開発されてきた。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特許第6306904号公報

特許文献2：特許第4768052号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献1の管肉厚測定装置は、各伸縮機構がそれぞれ完全に独立して動作し、他の伸縮機構の動作と関連を持たない。このため、ある伸縮機構の拡がりや他の伸縮機構の拡がりにズレが生じた場合、超音波プローブが伝熱管の中心軸上に配置されない。その結果として、水浸UTを適切に実施できない可能性がある。

[0007] 一方、特許文献2の管肉厚測定装置は、各伸縮機構が互いに接続されている。この装置は、互いに同一の動作をするので、超音波プローブは伝熱管の中心軸上に適切に配置される。

しかしながら、管肉厚測定装置の寸法を鑑みたとき、各伸縮機構の構成上、伝熱管の中心軸の軸線の長さ方向に小型化するのは困難であった。

これは、各伸縮機構が、バネが伸びることで拡大し、当該バネが縮むことで縮小する構成であるからである。このため、伝熱管に「曲げ半径」の小さな屈曲箇所がある場合、特許文献2の管肉厚測定装置は当該屈曲箇所を通過することができない。その結果として、水浸UTを実施可能な伝熱管の数が制限される可能性がある。

[0008] 本発明は、超音波プローブを伝熱管の中心軸上に適切に配置して正確に水浸UTを実施することができ、且つ、伝熱管の中心軸の軸線の長さ方向に小型化を図り、水浸UTを実施可能な伝熱管の数を増加することが可能な管肉厚測定装置及び当該装置を用いた管肉厚測定システムを提供する。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の管肉厚測定装置は、伝熱管の肉厚を測定する管肉厚測定装置であって、前記伝熱管の管壁に超音波を発振し且つ前記管壁で反射する超音波を受信するセンサ部と、前記センサ部を固定する円筒部とを備えた超音波プローブと、前記円筒部が挿通され、前記円筒部を固定する固定部と、前記円筒部が挿通され、前記固定部に対して移動可能な移動部と、前記円筒部の周方向に等間隔に配置され、前記固定部と前記移動部に接続された少なくとも3つの伸縮機構と、前記周方向で隣り合う2つの前記伸縮機構の間に配置され、前記固定部と前記移動部を接続する付勢部材とを有し、前記伸縮機構は、

両端に車輪が配置された棒状の平行脚部と、前記平行脚部と前記固定部とをそれぞれ異なる箇所て接続する棒状かつ回動可能な第一リンク及び第二リンクと、前記第二リンクと前記移動部とを接続する棒状かつ回動可能な第三リンクとを備え、前記付勢部材が伸びて前記移動部が前記固定部から離れることで、全ての前記平行脚部は、前記円筒部の径方向に同じ距離且つ互いに平行に移動して前記円筒部に近づき、前記付勢部材が縮んで前記移動部が前記固定部に近づくことで、全ての前記平行脚部は、前記径方向に同じ距離且つ互いに平行に移動して前記円筒部から離れることを特徴とする。

発明の効果

[0010] 本発明の管肉厚測定装置によれば、少なくとも3つの伸縮機構が、移動部の移動に伴って、径方向に同じ距離で拡がる。従って、超音波プローブを伝熱管の中心軸上に適切に配置して正確に水浸UTを実施することができる。

また、各伸縮機構は、固定部と移動部を接続する付勢部材が伸びることで縮み、付勢部材が縮むことで拡がる構成である。そのため、管肉厚測定装置を伝熱管の中心軸の軸線の長さ方向に小型化することができる。このため、水浸UTを実施可能な伝熱管の数を増加することが可能となる。

従って、超音波プローブを伝熱管の中心軸上に適切に配置して正確に水浸UTを実施することができ、且つ、伝熱管の中心軸の軸線の長さ方向に小型化を図り、水浸UTを実施可能な伝熱管の数を増加することが可能な管肉厚測定装置及び当該装置を用いた管肉厚測定システムを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の実施形態の管肉厚測定装置1を用いた管肉厚測定システム100を示す図である。

[図2]管肉厚測定装置1の伸縮機構17が拡がった状態を示す図である。

[図3]円筒部14の中心軸に沿う断面図であり、管肉厚測定装置1の伸縮機構17が拡がる際、拡がる範囲が螺子31で制限されることを示す図である。

[図4]管肉厚測定装置1を円筒部14の中心軸の軸線方向かつケーブル3側か

ら見た図であり、伸縮機構 17 が広がった状態を示す図である。

[図5]管肉厚測定装置 1 を図 4 の軸線方向かつセンサ部 13 側から見た図であり、伸縮機構 17 が縮んだ状態を示す図である。

[図6]管肉厚測定装置 1 を図 4 の軸線方向と直交する方向から見た図であり、伸縮機構 17 が縮んだ状態を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の管肉厚測定装置及び当該装置を用いた管肉厚測定システムの実施形態について、図面を参照して説明する。ここでは、まず、図 1 を用いて管肉厚測定システム 100 につき説明した後、図 2 ～図 6 を用いて、管肉厚測定装置 1 につき詳細に説明する。

[0013] まず、図 1 を用いて、管肉厚測定システム 100 につき説明する。

管肉厚測定システム 100 は、伝熱管 2 の肉厚を測定するシステムであって、後に詳しく説明する管肉厚測定装置 1 と、管肉厚測定装置 1 の円筒部（後述）に一端が接続されたケーブル 3 と、ケーブル 3 の他端に接続された分析装置 4 と、分析装置 4 が演算した結果を表示する表示装置 5 とを、少なくとも有する。

分析装置 4 は、管肉厚測定装置 1 のセンサ部（後述）が受信した超音波に基づいて伝熱管 2 の肉厚に関する演算を行う。分析装置 4 は、当該演算の結果（伝熱管 2 の肉厚に関する情報）を表示装置 5 に表示させる。

なお、分析装置 4 は、コンピュータ等の演算装置である。ここでは、分析装置 4 とモニタ等の表示装置 5 を分離して説明するが、例えば、分析装置 4 と表示装置 5 が一体化したノート型のパソコン（Personal Computer）でもよい。

また、ケーブル 3 は、屈曲可能であり、且つ、管肉厚測定装置 1 のセンサ部（後述）から分析装置 4 へ電気信号（具体的には、センサ部が受信した超音波に対応する情報）を伝達するケーブルである。

水浸 UT の場合、ケーブル 3 は、管肉厚測定装置 1 のセンサ部（後述）に水を供給するための水管を内包する。また、伝熱管 2 の内部は、水で満たさ

れている。

[0014] では、管肉厚測定システム 100 が少なくとも有する構成に加え、図 1 に示すその他の構成について説明する。

火力発電所の石炭炊きボイラ、ごみ焼却炉に備えられた発電用の廃熱ボイラなど、ボイラを備えたプラントにおいては、ボイラは複数の伝熱管 2 を備える。ボイラが備える複数の伝熱管 2 は、水平方向に延びる管寄せ 6 に直交且つ連通して接続される。

管寄せ 6 は、作業者が作業可能な通路である歩廊 7 に面した端部に、水平方向に突出した管台 8 を備える。管台 8 は、管寄せ 6 の外径より小さな外径の筒形状をしており、管寄せ 6 と同軸に配置される。管台 8 の一端は、管寄せ 6 に連通して接続されている。管台 8 の他端は、開口のないように、金属板が溶接されて（またはフランジ構造により）塞がれる。当該他端は、管肉厚測定装置 1 を管寄せ 6 の内部に挿入する際に、開口される。

ケーブル巻取装置 9 は、ケーブル 3 の自動（または手動）巻取り、また、自動（または手動）引出しが可能である。

ガイド管 10 は、管寄せ 6 に接続された所定の伝熱管 2 まで、管肉厚測定装置 1 を誘導する装置である。歩廊 7 に配置されたワイヤ操作装置 11 とガイド管 10 の先端はワイヤで接続されている。そして、作業員がワイヤ操作装置 11 を操作することで、当該先端を管寄せ 6 の中心軸に対しておよそ 90° の向きに曲げることができる。管寄せ 6 の中心軸と伝熱管 2 の中心軸は直交しているので、管肉厚測定装置 1 を所定の伝熱管 2 に容易に挿入することができる。

なお、ワイヤ操作装置 11 は、適切な高さの作業台 12 に配置するとよい。

[0015] 次に、図 2 ～図 6 を用いて、管肉厚測定装置 1 につき詳細に説明する。

まず、管肉厚測定装置 1 は、次の構成を少なくとも有する。

すなわち、管肉厚測定装置 1 は、超音波プローブを有している。超音波プローブは、伝熱管 2 の管壁に超音波を発振し且つ当該管壁で反射する超音波

を受信するセンサ部 13 と、センサ部 13 を固定する円筒部 14 とを備えている。

また、管肉厚測定装置 1 は、固定部 15 と、移動部 16 と、少なくとも 3 つの伸縮機構 17 と、付勢部材 18 とを有している。固定部 15 は、円筒部 14 が挿通されて円筒部 14 を固定する。移動部 16 は、円筒部 14 が挿通されて固定部 15 に対して移動可能とされている。伸縮機構 17 は、円筒部 14 の周方向に等間隔に配置されて固定部 15 と移動部 16 に接続されている。付勢部材 18 は、当該周方向で隣り合う 2 つの伸縮機構 17 の間に配置されて固定部 15 と移動部 16 を接続している。

さらに、管肉厚測定装置 1 において、伸縮機構 17 は、両端に車輪 19 が配置された棒状の平行脚部 20 と、平行脚部 20 と固定部 15 とをそれぞれ異なる箇所接続する棒状かつ回動可能な第一リンク 21 及び第二リンク 22 と、第二リンク 22 と移動部 16 とを接続する棒状かつ回動可能な第三リンク 23 とを備えている。

そして、管肉厚測定装置 1 においては、付勢部材 18 が伸びて移動部 16 が固定部 15 から離れることで、全ての平行脚部 20 が、円筒部 14 の径方向に同じ距離且つ互いに平行に移動して円筒部 14 に近づく。また、付勢部材 18 が縮んで移動部 16 が固定部 15 に近づくことで、全ての平行脚部 20 が、円筒部 14 の径方向に同じ距離且つ互いに平行に移動して円筒部 14 から離れる。

[0016] では、管肉厚測定装置 1 が少なくとも有する構成に加え、図 2 ～図 6 に示すその他の構成について説明する。基本的に、超音波プローブ、固定部 15 、移動部 16 の順に説明し、最後に、伸縮機構 17 について説明する。

まず、超音波プローブが備える円筒部 14 とセンサ部 13 を、順に説明する。

円筒部 14 は、金属または樹脂等で成形された円筒形をしている。円筒部 14 の一端にはセンサ部 13 が固定されている。円筒部 14 の他端にはケーブル 3 が固定される。円筒部 14 の中心軸は、ケーブル 3 の中心軸と同軸で

ある。なお、円筒部 14 は、ケーブル 3 をその周囲から挟み込んで固定する。従って、円筒部 14 の当該他端の内径は、ケーブル 3 の外径と実質的に同一または当該外径よりやや大きく設計される。このため、円筒部 14 の外径は、ケーブル 3 の外径より大きい。

センサ部 13 は、伝熱管 2 の管壁に向かって、すなわち、伝熱管 2 の中心軸の軸線方向 D_a と直交する径方向 D_r に超音波を発振する。そして、当該管壁で反射した超音波（反射波）を受信する。センサ部 13 の中心軸は、円筒部 14 の中心軸と同軸であり、また、伝熱管 2 の中心軸と同軸である。

なお、センサ部 13 は、超音波を反射する鏡を備えている。当該鏡は、センサ部 13 の中心軸から 45° 傾いて配置される。そして、ケーブル 3 が内包する水管から水を噴射し、その水圧で当該鏡に連結した水車を回転させることで、当該鏡がセンサ部 13 の中心軸を回転軸として回転する。このため、センサ部 13 が当該中心軸上に発信した超音波は、伝熱管 2 の中心軸周りの全方向の管壁に向かって発振される。また、センサ部 13 は当該管壁で反射した超音波を当該鏡で受けて受信する。

[0017] 次に、固定部 15 と移動部 16 を、順に説明する。

固定部 15 は、円筒部 14 の中心軸と同軸の中心軸をもつ円柱状の貫通孔 24（24a）を備える（図 3 参照）。貫通孔 24a の直径は、円筒部 14 の外径と実質的に同一であるため、円筒部 14 を貫通孔 24a に挿入することができる。

ただし、円筒部 14 は、容易に固定部 15 から抜けない状態に固定される。図示しないが、例えば、固定部 15 の径方向から、貫通孔 24 に挿入された円筒部 14 に向けて螺子をねじ込み、当該螺子の先端で円筒部 14 を押さえて、円筒部 14 が固定部 15 から抜けないように固定してもよい。もちろん、固定部 15 に挿入するだけで円筒部 14 が固定部 15 から容易に抜けないように設計してもよい。

[0018] 固定部 15 は、軸線方向（長さ方向） D_a に、2 つの異なる形状を備えている。板状の第一固定部 15a と、角柱状の第二固定部 15b の 2 つである

。第一固定部15aは、軸線方向Daかつケーブル3側から見て、あるいは軸線方向Daに垂直な径方向（幅方向）Drで見て、略円形（図4参照）に形成されている。第二固定部15bは、軸線方向Daかつセンサ部13側から見て、あるいは径方向Drで見て伸縮機構17の総数に対応した略正多角形に形成されている。第一固定部15aと第二固定部15bは、別々に形成した後接続してもよいし、「型」で成型し一度に一体形成してもよい。

第一固定部15aの軸線方向Daの寸法、言い換えれば、上記「板状」部分の厚みは、第二固定部15bの約1/3程度である。

また、ここでは、伸縮機構17の総数は、一例として、3つとして説明するので、第二固定部15bは略正三角柱の形状（図5参照）となる。3つの伸縮機構17は、当該略正三角柱の3つの側面にそれぞれ1つずつ配置される。

ただし、当該略正多角形の各々の角には、バネ（例えば、コイルバネ）またはゴムなどの付勢部材18を配置するための面取りがなされる。従って、伸縮機構17の総数が3つの場合、第二固定部15bはおよそ正三角柱の形状であるものの、面取りまで考慮すれば六角柱の形状であるともいえる（図5参照）。なお、面取りされたそれぞれの箇所に付勢部材18が配置されるので、伸縮機構17の総数に相当する数の付勢部材18が配置される。ここでは、伸縮機構17の総数が3つの例を示すので、付勢部材18の総数も3つとなる。

第一固定部15aには、上記面取りがなされた箇所に対応して、付勢部材18の一端が固定される係止部27（27a）が配置される（図6参照）。

[0019] 軸線方向Daかつセンサ部13側から見て、あるいは径方向Drで見て、第二固定部15bは、第一固定部15aの内側に収まる大きさに形成される（図5参照）。

後述する伸縮機構17が最も縮んだ場合、すなわち、平行脚部20に配置された車輪19が後述する収容溝25に収容された場合、軸線方向Daかつセンサ部13側から見て、あるいは径方向Drで見て、伸縮機構17の全て

の構成（平行脚部 20、第一リンク 21、第二リンク 22、第三リンク 23、車輪 19）、付勢部材 18、並びにセンサ部 13を含む超音波プローブは、第一固定部 15a の内側に収まる大きさに設計される（図 5 参照）。

ケーブル 3 がケーブル巻取装置 9 で巻き取られて管肉厚測定装置 1 を伝熱管 2 から回収する際、管肉厚測定装置 1 の進行方向の最も先頭に第一固定部 15a が位置することになる。この時、第一固定部 15a が防壁となって、伝熱管 2 内の浮遊物や伝熱管 2 の内壁から突出した溶接箇所（例えば、裏波）などから、伸縮機構 17、付勢部材 18、及び超音波プローブを保護し、これらの損傷を防止することができる。すなわち、管肉厚測定システム 100 は、ケーブル巻取装置 9 によりケーブル 3 を巻き取って管肉厚測定装置 1 を損傷なく回収することができる。

[0020] 第一固定部 15a は、全ての伸縮機構 17 の各々の位置、具体的には全ての平行脚部 20 の各々の位置に対応して、径方向 D_r で見て中心軸に向かって凹み、且つ、軸線方向 D_a に第二固定部 15b の外面に滑らかに接続する複数の収容溝 25 を備えている（図 2、図 5 参照）。軸線方向 D_a において移動部 16 が移動可能な範囲のうち、移動部 16 が固定部 15 から最も離れた際、全ての平行脚部 20 の一方の車輪 19 が、それぞれ対応する収容溝 25 に収容される。

[0021] また、第一固定部 15a は、軸線方向 D_a において、第二固定部 15b と反対側の面の外周かつ角の部分に、面取りが施されて曲面に形成された面取部 26 を備えている（図 2、図 3、図 6 参照）。面取部 26 により、管肉厚測定装置 1 を伝熱管 2 から回収する際、管肉厚測定装置 1 が伝熱管 2 の内部に突出した裏波などに引っ掛かり、移動困難となることを防止することができる。従って、管肉厚測定システム 100 は、ケーブル巻取装置 9 によりケーブル 3 を巻き取って管肉厚測定装置 1 を高速に回収することができる。また回収時に、伝熱管内で管肉厚測定装置 1 が水から受ける抵抗も低減され安定した移動が可能になる。

[0022] さらに、第一固定部 15a は、軸線方向 D_a において、第二固定部 15b

と反対側の面に、第二固定部 15 b に向かう螺子孔 28（第二の螺子孔）を備えている。螺子孔 28 に頭部を持つ雄螺子の螺子 29（第二の螺子）が螺合且つ固定されることで、軸線方向 D a から見て、あるいは径方向 D r で見て、螺子 29 の頭部の一部が中心軸に向かって貫通孔 24 a にはみ出すよう設計される（図 3、図 4 参照）。

この構成により、管肉厚測定装置 1 を伝熱管 2 から回収する際、仮に固定部 15 の貫通孔 24 a から円筒部 14 が抜けそうになっても、螺子 29 の頭部が円筒部 14 の一部に確実に引っ掛かる。従って、固定部 15 の貫通孔 24 a から円筒部 14 が抜けるのを防止することができる。そのため、管肉厚測定システム 100 は、ケーブル巻取装置 9 によりケーブル 3 を巻き取って管肉厚測定装置 1 の全ての構成を確実に回収することができる。

[0023] では、移動部 16 について、説明する。

移動部 16 は、第二固定部 15 b と同様の形状である。移動部 16 の軸線方向 D a の寸法は、第二固定部 15 b の約 1/3 程度である。

移動部 16 は、円筒部 14 の中心軸と同軸の中心軸をもつ円柱状の貫通孔 24（24 b）を備える。貫通孔 24 b の直径は、円筒部 14 の外径と実質的に同一であるため、円筒部 14 を貫通孔 24 b に挿入することができる。

ただし、固定部 15 と異なり、移動部 16 は、円筒部 14 の外周面に接触しながら容易かつ滑らかに移動可能である。すなわち、貫通孔 24 の直径は、円筒部 14 の外径と実質的に同一であるが、固定部 15 の貫通孔 24（24 a）と移動部 16 の貫通孔 24（24 b）の直径は同一である必要はない。移動部 16 の貫通孔 24 b の直径は、固定部 15 の貫通孔 24 a の直径よりもやや大きく（例えば、数マイクロメートル（ μm ）程度大きく）設計してもよい。

移動部 16 には、付勢部材 18 の他端が固定される係止部 27（27 b）が、第一固定部 15 a の係止部 27（27 a）に対応して複数配置される（図 6 参照）。

なお、付勢部材 18 は、その一端が第一固定部 15 a の係止部 27 a に接

続且つ固定され、その他端が移動部16の係止部27bに接続且つ固定されて、固定部15と移動部16を互いに近づける方向に付勢する。

[0024] 移動部16は、軸線方向Daに貫通する螺子孔30（第一の螺子孔）を備えている。軸線方向Daにおいて、第二固定部15bと反対側の面から、螺子孔30に雄螺子の螺子31（第一の螺子）が螺合される。螺子孔30に螺子31を螺合した際、螺子31の頭部が円筒部14に接触しないように、螺子31が適切に選定される（図3、図5参照）。また、螺子31は、軸線方向Daにおいて、移動部16の寸法よりも所定長だけ長いものが選定される（図3参照）。

この構成により、螺子孔30に螺子31を螺合した際、螺子31の先端を移動部16から第二固定部15bに向けて突出させることができる。

後述するように、軸線方向Daに移動部16が固定部15に近づくことで、全ての伸縮機構17が伸びて拡がる。管肉厚測定装置1では、移動部16が固定部15に接触する場合に、伸縮機構17が最も拡がる。

従って、上述のように、螺子31の先端を移動部16から突出させ、当該先端を含んで移動部16から出ている螺子31の部分（以下、「先端部」という）の長さを適宜調節することで、当該先端部が、移動部16と固定部15が互いに近づくのを防止する「つかえ棒」または「突っ張り棒」の機能を果たす。その結果として、伸縮機構17が拡がる範囲を狭めることができる。従って、伝熱管2の内壁直径や伝熱管2の内壁から突出した溶接個所（例えば、裏波）の内側に応じた寸法に、伸縮機構17の拡がる範囲を制限可能である。そのため、管肉厚測定装置1及びこれを用いた管肉厚測定システム100は、直径の異なる多数の伝熱管2の肉厚や伝熱管2の内壁から突出した溶接個所（例えば、裏波）を乗り越えた先のより長い距離の肉厚を適切に測定することができる。

[0025] では、最後に、伸縮機構17について、説明する。ここでは、管肉厚測定装置1が、周方向Dcに等間隔に配置された3つの伸縮機構17を備える例を示す。しかし、周方向Dcに等間隔に配置されるのであれば、仕様に応じ

て、管肉厚測定装置 1 が 3 つ以上（例えば、4 つ、5 つ、などの複数）の伸縮機構 17 を備えてもよい。

伸縮機構 17 は、両端に車輪 19 が配置された棒状の平行脚部 20 と、平行脚部 20 と固定部 15 とを接続する棒状かつ回動可能な第一リンク 21 と、第一リンク 21 と異なる箇所で平行脚部 20 と固定部 15 とを接続する棒状かつ回動可能な第二リンク 22 と、第二リンク 22 と移動部 16 とを接続する棒状かつ回動可能な第三リンク 23 を備えている。

平行脚部 20 の長さは、可能な範囲で移動部 16 を固定部 15 から最も離れた状態（伸縮機構 17 を最も縮めた状態）において、軸線方向 D a における固定部 15 からセンサ部 13 までの長さとはほぼ同一に設計される。平行脚部 20 の両端の形状は、車輪 19 を回転可能に挟み込む「コ」の字状の形状である。

第一リンク 21 と第二リンク 22 は、第二固定部 15 b の上記側面に回動可能に固定される。ただし、第一リンク 21 と第二リンク 22 の固定箇所は、軸線方向 D a においてそれぞれ異なる箇所である。これら 2 箇所を比べた場合、第一リンク 21 は移動部 16 に近く且つ第一固定部 15 a より遠く、第二リンク 22 は移動部 16 より遠く且つ第一固定部 15 a に近くなるよう配置される。

また、第一リンク 21 と第二リンク 22 は、互いに交差しないように、平行脚部 20 に回動可能に固定される。

第三リンク 23 は、一对の棒状の部材を備える。これらの一端が上記側面に対応する移動部 16 の側面に回動可能に固定される。また、これらの他端は、第二リンク 22 が第二固定部 15 b に固定された箇所から少し離れた箇所（第二リンク 22 の中間付近）で第二リンクを挟み、回動可能に第二リンクに固定される。なお、これら一对の棒状の部材は、第一リンク 21 の両脇に配置されるが、第一リンク 21 に接触しないよう設計される。

[0026] 以上のように各伸縮機構 17 が構成されており、また、第一固定部 15 a の係止部 27 a と移動部 16 の係止部 27 b に付勢部材 18 の両端がそれぞ

れ接続される。そのため、管肉厚測定装置 1 を軸線方向 D a（長さ方向）に小型化できた。

従って、伝熱管に小さい「曲げ半径」の屈曲箇所がある場合でも、管肉厚測定装置 1 は当該屈曲箇所を通過することができる。このため、管肉厚測定装置 1 及びこれを用いた管肉厚測定システム 100 は、従来の技術では肉厚計測が不可能であった小さな「曲げ半径」で屈曲した伝熱管であっても肉厚測定可能である。そのため、肉厚測定の対象となる伝熱管の数を増加させることができる。

また、この小型化により、ガイド管 10 の先端に管肉厚測定装置 1 を収納することができる。その結果、管寄せ 6 内で管肉厚測定装置 1 を不具合なく測定対象の伝熱管の位置まで移動させることができる。

[0027] また、伸縮機構 17 は、管肉厚測定装置 1 または管肉厚測定システム 100 が水浸 UT を行う際、次のように動作する。

まず、管肉厚測定システム 100 では、付勢部材 18 を伸ばし、可能な範囲で移動部 16 を固定部 15 から離れた状態（図 6 に示す伸縮機構 17 を最も縮めた状態）の管肉厚測定装置 1 が、ガイド管 10 の先端に収納される。

この時、付勢部材 18 が伸ばされると、全ての平行脚部 20 は、軸線方向 D a から見て同じ距離、且つ、互いに平行に同時に移動して円筒部 14 に近づき、車輪 19 が収容溝 25 に収容される。すなわち、ガイド管 10 の先端に管肉厚測定装置 1 が収納された状態が、径方向 D r で見て管肉厚測定装置 1 が最も小さくなる。言い換えれば、各々の伸縮機構 17 が最も縮んだ状態である（図 5、図 6 参照）。

次に、管肉厚測定システム 100 では、管肉厚測定装置 1 を収納したガイド管 10 を管寄せ 6 から挿入し、ガイド管 10 の先端を所定の伝熱管 2 の位置に合わせる。その後、ガイド管 10 の先端に収納した管肉厚測定装置 1 を放し、管肉厚測定装置 1 を所定の伝熱管 2 の内部に投下する。

この時、ガイド管 10 の先端から管肉厚測定装置 1 が離れると、付勢部材 18 は自らの力で縮み、移動部 16 が固定部 15 に近づく。従って、全ての

平行脚部 20 が、径方向 Dr で見て同じ距離、且つ、互いに平行に同時に移動して、円筒部 14 から離れる。付勢部材 18 の力で、移動部 16 が固定部 15 に接触（または、螺子 31 の先端部が移動部 16 から出ている場合は当該先端部が固定部 15 に接触）した状態が、軸線方向 Da から見て管肉厚測定装置 1 が最も大きくなる。すなわち、各々の伸縮機構 17 が互いに可能な限り最も伸びて広がった状態である（図 2、図 4 参照）。伸縮機構 17 が互いに可能な限り最も広がった状態で、全ての伸縮機構 17 の車輪 19 が伝熱管 2 の内壁に接触するように設計（または、螺子 31 の先端部の長さが調節）される。そのため、管肉厚測定装置 1 のセンサ部 13 は伝熱管 2 の中心軸上に確実に配置される。

[0028] その後、管肉厚測定システム 100 は、ケーブル巻取装置 9 からケーブルを引き出して、水で満たされた伝熱管 2 の奥深くの所定位置まで管肉厚測定装置 1 を沈降させる。

その後、管肉厚測定システム 100 は、管肉厚測定装置 1 のセンサ部 13 を起動し、ケーブル巻取装置 9 によりケーブル 3 を一定速度で巻き取りつつ、伝熱管 2 の肉厚を測定する。

管肉厚測定システム 100 が伝熱管 2 の肉厚を測定する際、設計の都合上、管肉厚測定装置 1 が、伝熱管 2 の直径が広い箇所からやや狭い箇所に移動する場合がある。この場合においても、管肉厚測定装置 1 の全ての伸縮機構 17 は、互いに連動かつ同期して同じように縮まりながら伝熱管 2 の内壁に接触する。そのため、センサ部 13 は、伝熱管 2 の中心軸上に正確に配置される。

以上のように、伝熱管 2 の肉厚を測定する際、管肉厚測定装置 1 は、センサ部 13 を伝熱管 2 の中心軸上から逸脱させず、当該中心軸上に適切に配置する。従って、管肉厚測定システム 100 は、管肉厚測定装置 1 によって正確に伝熱管 2 の肉厚を計測することができる。

[0029] また、上述した管肉厚測定装置 1 の構成によれば、管肉厚測定システム 100 がケーブル 3 を巻き取って管肉厚測定装置 1 を回収する際、伝熱管 2 の

裏波などに、一部の平行脚部 20 が引っ掛かった場合、ケーブル 3 が巻き取られて引っ張られる力は、当該平行脚部 20 が移動困難となったことで、固定部 15、第二リンク 22、第三リンク 23 を介して移動部 16 に伝達され、移動部 16 を固定部 15 から遠ざける方向に働く。このため、軸線方向 Da から見て、当該引っ掛かった平行脚部 20 は伝熱管 2 の中心軸に向かって移動するので、当該引っ掛かった平行脚部 20 は裏波などの障壁を乗り越えることができる。

従って、管肉厚測定システム 100 は、管肉厚測定装置 1 を確実に回収することができる。

[0030] 以上、本発明の実施形態について詳述したが、本発明の技術範囲は実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

産業上の利用可能性

[0031] 本発明の管肉厚測定装置によれば、少なくとも 3 つの伸縮機構が、移動部の移動に伴って、径方向に同じ距離で拡がる。従って、超音波プローブを伝熱管の中心軸上に適切に配置して正確に水浸 UT を実施することができる。

また、各伸縮機構は、固定部と移動部を接続する付勢部材が伸びることで縮み、付勢部材が縮むことで拡がる構成である。そのため、管肉厚測定装置を伝熱管の中心軸の軸線の長さ方向に小型化することができる。このため、水浸 UT を実施可能な伝熱管の数を増加することが可能となる。

従って、超音波プローブを伝熱管の中心軸上に適切に配置して正確に水浸 UT を実施することができ、且つ、伝熱管の中心軸の軸線の長さ方向に小型化を図り、水浸 UT を実施可能な伝熱管の数を増加することが可能な管肉厚測定装置及び当該装置を用いた管肉厚測定システムを提供することができる。

符号の説明

[0032] 1 …管肉厚測定装置
2 …伝熱管

- 3…ケーブル
- 4…分析装置
- 5…表示装置
- 6…管寄せ
- 7…歩廊
- 8…管台
- 9…ケーブル巻取装置
- 10…ガイド管
- 11…ワイヤ操作装置
- 12…作業台
- 13…センサ部
- 14…円筒部
- 15…固定部（15 a…第一固定部、15 b…第二固定部）
- 16…移動部
- 17…伸縮機構
- 18…付勢部材
- 19…車輪
- 20…平行脚部
- 21…第一リンク
- 22…第二リンク
- 23…第三リンク
- 24（24 a、24 b）…貫通孔
- 25…収容溝
- 26…面取部
- 27（27 a、27 b）…係止部
- 28…螺子孔（第二の螺子孔）
- 29…螺子（第二の螺子）
- 30…螺子孔（第一の螺子孔）

3 1 …螺子（第一の螺子）

1 0 0 …管肉厚測定システム

D a …軸線方向（伝熱管 2 の中心軸の方向）

D c …周方向（伝熱管 2 の中心軸に垂直な断面において、中心軸周りの方向）

D r …径方向（伝熱管 2 の中心軸に垂直な方向）