

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-19130

(P2010-19130A)

(43) 公開日 平成22年1月28日(2010.1.28)

(51) Int.Cl.
F01D 5/30 (2006.01)F I
F01D 5/30テーマコード (参考)
3G002

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2008-178797 (P2008-178797)
(22) 出願日 平成20年7月9日(2008.7.9)(71) 出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(74) 代理人 100077816
弁理士 春日 譲
(72) 発明者 鈴木 豊
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号
株式会社日立製作所
(72) 発明者 安達 裕二
茨城県日立市幸町三丁目1番1号
株式会社日立製作所
日立事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 タービン動翼

(57) 【要約】

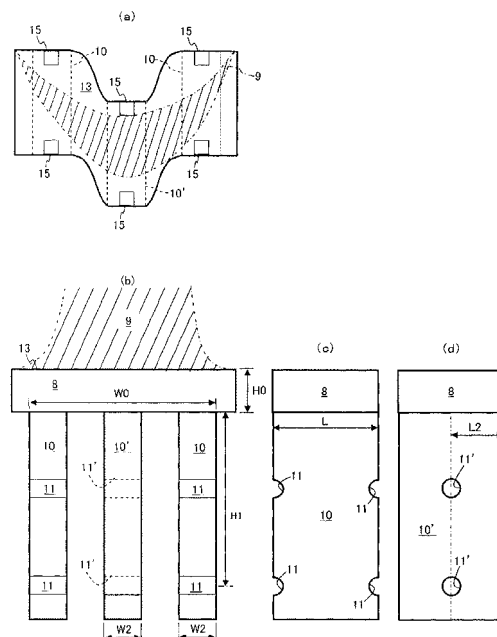
【課題】フォーク形状を予め超音波探傷に好適化したフォーク型のタービン動翼を提供する。

【解決手段】外フォーク10のロータ軸方向の厚みをW2、ロータ軸方向にとった超音波センサの中心と外フォーク10の端部との距離をW3、ロータ径方向にとった超音波センサからピン穴11の中心までの距離をH、ロータ回転方向にとった外フォーク10の幅をL、超音波センサが発振する超音波の波長をλ、ロータ径方向にとった超音波センサの中心と外フォーク10の端部との距離をSとしたとき、

$$\left[\left(H^2 + (L - S)^2 + (W2 + W3)^2 \right) \right]^{1/2} - \left[\left(H^2 + (L - S)^2 + (W3)^2 \right) \right]^{1/2} > \lambda$$

で表される関係が成立するように外フォーク10を形成する。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の翼フォークを有するフォーク型の翼植込部を備えたタービン動翼において、
前記複数のフォークのうちロータ軸方向の端部に位置しロータ回転方向の端部にピン穴
を有する外フォークと、

前記翼植込部のロータ径方向の外側に一体形成された翼取り付け部と、

前記翼取り付け部に取り付けられた翼部と、

前記翼取り付け部の前記翼部が取り付けられた翼取り付け面に設けられ、超音波センサ
が載置される平滑面とを備え、

前記外フォークのロータ軸方向の厚みを $W2$ 、ロータ軸方向にとった超音波センサの中
心と前記外フォークの端部との距離を $W3$ 、ロータ径方向にとった前記超音波センサから
前記ピン穴の中心までの距離を H 、ロータ回転方向にとった前記外フォークの幅を L 、前
記超音波センサが発振する超音波の波長を λ 、ロータ径方向にとった前記超音波センサの
中心と前記外フォークの端部との距離を S としたとき、

$$[(H^2 + (L - S)^2 + (W2 + W3)^2)]^{1/2} - [(H^2 + (L - S)^2 + (W3)^2)]^{1/2} > \lambda$$

で表される関係が成立するように前記外フォークを形成したことを特徴とするタービン動
翼。

【請求項 2】

複数の翼フォークを有するフォーク型の翼植込部を備えたタービン動翼において、

前記複数のフォークのうちロータ軸方向の端部に位置する外フォークの間に位置しロー
タ回転方向の中央にピン穴を有する中フォークと、

前記翼植込部のロータ径方向の外側に一体形成された翼取り付け部と、

前記翼取り付け部に取り付けられた翼部と、

前記翼取り付け部の前記翼部が取り付けられた翼取り付け面に設けられ、超音波センサ
が載置される平滑面とを備え、

前記中フォークのロータ軸方向の厚みを $W2$ 、ロータ軸方向にとった超音波センサの中
心と前記中フォークの端部との距離を $W3$ 、ロータ径方向にとった前記超音波センサから
前記ピン穴の中心までの距離を H 、ロータ回転方向にとった前記中フォークの端部から前
記ピン穴の中心までの距離を $L2$ 、前記超音波センサが発振する超音波の波長を λ 、ロー
タ径方向にとった前記超音波センサの中心と前記外フォークの端部との距離を S としたと
き、

$$[(H^2 + (L2 - S)^2 + (W2 + W3)^2)]^{1/2} - [(H^2 + (L2 - S)^2 + (W3)^2)]^{1/2} > \lambda$$

で表される関係が成立するように前記中フォークを形成したことを特徴とするタービン動
翼。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 のタービン動翼において、

前記翼取り付け部の複数の翼フォークを取り付ける領域のロータ軸方向の長さを $W0$ 、
各翼フォークのロータ軸方向の厚みを $W2$ 、翼フォークの数を $N1$ としたとき、

$$N1 < (W0 / W2 + 1) / 2$$

で表される関係が成立するように形成したことを特徴とするタービン動翼。

【請求項 4】

複数の翼フォークを有するフォーク型の翼植込部を備えたタービン動翼において、

前記複数のフォークのうちロータ軸方向の端部に位置しロータ回転方向の端部にピン穴
を有する外フォークと、

前記翼植込部のロータ径方向の外側に一体形成された翼取り付け部と、

前記翼取り付け部に取り付けられた翼部と、

前記翼取り付け部の前記翼部が取り付けられた翼取り付け面に設けられ、超音波センサ
が載置される平滑面とを備え、

前記外フォークのロータ軸方向の厚みを $W2$ 、ロータ軸方向にとった超音波センサの中心と前記外フォークの端部との距離を $W3$ 、ロータ径方向にとった前記超音波センサから前記ピン穴の中心までの距離を H 、ロータ回転方向にとった前記外フォークの幅を L 、前記超音波センサが発振する超音波の波長を λ 、ロータ径方向にとった前記超音波センサの中心と前記外フォークの端部との距離を S 、前記ピン穴に到達するまでに前記外フォークの内面で超音波が反射する回数を n としたとき、

$$[(H^2 + ((n+1) \cdot L - S)^2 + (W2 + W3)^2)]^{1/2} - [(H^2 + ((n+1) \cdot L - S)^2 + (W3)^2)]^{1/2} > \lambda$$

で表される関係が成立するように前記外フォークを形成したことを特徴とするタービン動翼。

10

【請求項 5】

複数の翼フォークを有するフォーク型の翼植込部を備えたタービン動翼において、

前記複数のフォークのうちロータ軸方向の端部に位置する外フォークの間に位置しロータ回転方向の中央にピン穴を有する中フォークと、

前記翼植込部のロータ径方向の外側に一体形成された翼取り付け部と、

前記翼取り付け部に取り付けられた翼部と、

前記翼取り付け部の前記翼部が取り付けられた翼取り付け面に設けられ、超音波センサが載置される平滑面とを備え、

前記中フォークのロータ軸方向の厚みを $W2$ 、ロータ軸方向にとった超音波センサの中心と前記中フォークの端部との距離を $W3$ 、ロータ径方向にとった前記超音波センサから前記ピン穴の中心までの距離を H 、ロータ回転方向にとった前記中フォークの幅を L 、ロータ回転方向にとった前記中フォークの端部から前記ピン穴の中心までの距離を $L2$ 、前記超音波センサが発振する超音波の波長を λ 、ロータ径方向にとった前記超音波センサの中心と前記外フォークの端部との距離を S 、前記ピン穴に到達するまでに前記外フォークの内面で超音波が反射する回数を n としたとき、

20

$$[(H^2 + (n \cdot L + L2 - S)^2 + (W2 + W3)^2)]^{1/2} - [(H^2 + ((n \cdot L + L2 - S)^2 + (W3)^2)]^{1/2} > \lambda$$

で表される関係が成立するように前記中フォークを形成したことを特徴とするタービン動翼。

30

【請求項 6】

請求項 4 又は 5 のタービン動翼において、

前記翼取り付け部の複数の翼フォークを取り付ける領域のロータ軸方向の長さを $W0$ 、各翼フォークのロータ軸方向の厚みを $W2$ 、翼フォーク枚数を $N2$ としたとき、

$$W0 > (2 / N2 - 1) \cdot W2$$

で表される関係が成立するように形成したことを特徴とするタービン動翼。

【請求項 7】

請求項 1 ～ 6 のいずれかのタービン動翼において、前記平滑面の面積が 9 m^2 以上であることを特徴とするタービン動翼。

【請求項 8】

請求項 1 ～ 7 のいずれかのタービン動翼において、前記平滑面の面積が 100 m^2 以下であることを特徴とするタービン動翼。

40

【請求項 9】

請求項 1 ～ 8 のいずれかのタービン動翼において、前記平滑面が、前記翼取り付け面の前記翼フォークの延長上に位置していることを特徴とするタービン動翼。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フォーク型の翼植込部を有するタービン動翼に関する。

【背景技術】

【0002】

50

フォーク型の翼植込部を有するタービン動翼（以下、フォーク型のタービン動翼と適宜記載する）は、そのフォークをディスクのフォークに対してピンで固定する構成が一般的である。この構成の場合、タービンの回転に伴ってピン穴に応力がかかるため、ピン穴部に亀裂（欠陥）が生じることがある。このため、供用中の動翼の信頼性を確認するために、タービン動翼のフォークの欠陥検査が重要視されている。

【０００３】

フォークの欠陥検査には、従来から磁粉探傷試験（ＭＴ：Magnetic particle Testing）が利用されていた。ＭＴとは、検査対象に磁場をかけた際に欠陥から漏洩する磁束を検出する手法であって、欠陥の漏洩磁束に集積される蛍光物質を塗布した磁性金属粉に紫外線を照射し、磁性金属粉の集積の有無を蛍光物質の発光により観察することで欠陥を検出する。しかし、ＭＴによる欠陥検査はピンを抜いてディスクとタービン動翼を分解しなければならないため、検査に時間がかかるという問題があった。

10

【０００４】

そこで、非分解検査を実現する技術として、超音波探傷試験（ＵＴ：Ultrasonic Testing）の適用が検討された。ＵＴとは、検査対象４０内に送信した超音波の反射波を超音波センサで受信する検査方法であって、欠陥からの反射があるか否かで欠陥の有無を評価する。特許文献１には、図２４のようにディスクに対して周方向から組み入れるダブテイル型の動翼にＵＴ手法を利用した欠陥検査を適用する例が開示されている。

【０００５】

【特許文献１】特開平７－２４８３１６号公報

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

タービン動翼の翼植込部の上面（翼プロフィルの根元部の取り付け面）に超音波センサを設置してフォークのピン穴に対して超音波を走査した場合、欠陥に直接当たって戻ってくる反射波と、欠陥で反射する前後にフォーク内面で反射した反射波が混在する。両者のパスはフォークの厚み（ロータ軸方向の厚み）が狭まると近付き、例えば両者のパスの差が探傷用の超音波の波長より短くなるとノイズが発生する。

【０００７】

本発明は上記に鑑みてなされたもので、フォーク形状を予め超音波探傷に好適化したフォーク型のタービン動翼を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【０００８】

（１）上記目的を達成するために、本発明は、複数の翼フォークを有するフォーク型の翼植込部を備えたタービン動翼において、前記複数のフォークのうちロータ軸方向の端部に位置しロータ回転方向の端部にピン穴を有する外フォークと、前記翼植込部のロータ径方向の外側に一体形成された翼取り付け部と、前記翼取り付け部に取り付けられた翼部と、前記翼取り付け部の前記翼部が取り付けられた翼取り付け面に設けられ、超音波センサが載置される平滑面とを備え、

40

前記外フォークのロータ軸方向の厚みを $W2$ 、ロータ軸方向にとった超音波センサの中心と前記外フォークの端部との距離を $W3$ 、ロータ径方向にとった前記超音波センサから前記ピン穴の中心までの距離を H 、ロータ回転方向にとった前記外フォークの幅を L 、前記超音波センサが発振する超音波の波長を λ 、ロータ径方向にとった前記超音波センサの中心と前記外フォークの端部との距離を S としたとき、

$$[(H^2 + (L - S)^2 + (W2 + W3)^2)]^{1/2} - [(H^2 + (L - S)^2 + (W3)^2)]^{1/2} > \lambda$$

で表される関係が成立するように前記外フォークを形成したことを特徴とする。

【０００９】

（２）上記目的を達成するために、本発明は、複数の翼フォークを有するフォーク型の翼植込部を備えたタービン動翼において、前記複数のフォークのうちロータ軸方向の端部

50

に位置する外フォークの間に位置しロータ回転方向の中央にピン穴を有する中フォークと、前記翼植込部のロータ径方向の外側に一体形成された翼取り付け部と、前記翼取り付け部に取り付けられた翼部と、前記翼取り付け部の前記翼部が取り付けられた翼取り付け面に設けられ、超音波センサが載置される平滑面とを備え、

前記中フォークのロータ軸方向の厚みを W_2 、ロータ軸方向にとった超音波センサの中心と前記中フォークの端部との距離を W_3 、ロータ径方向にとった前記超音波センサから前記ピン穴の中心までの距離を H 、ロータ回転方向にとった前記中フォークの端部から前記ピン穴の中心までの距離を L_2 、前記超音波センサが発振する超音波の波長を λ 、ロータ径方向にとった前記超音波センサの中心と前記外フォークの端部との距離を S としたとき、

$$[(H^2 + (L_2 - S)^2 + (W_2 + W_3)^2)]^{1/2} - [(H^2 + (L_2 - S)^2 + (W_3)^2)]^{1/2} > \lambda$$

で表される関係が成立するように前記中フォークを形成したことを特徴とする。

【0010】

(3) 上記(1)又は(2)において、好ましくは、前記翼取り付け部の複数の翼フォークを取り付ける領域のロータ軸方向の長さを W_0 、各翼フォークのロータ軸方向の厚みを W_2 、翼フォークの数を N_1 としたとき、

$$N_1 < (W_0 / W_2 + 1) / 2$$

で表される関係が成立するように形成したことを特徴とする。

【0011】

(4) 上記目的を達成するために、本発明は、複数の翼フォークを有するフォーク型の翼植込部を備えたタービン動翼において、前記複数のフォークのうちロータ軸方向の端部に位置しロータ回転方向の端部にピン穴を有する外フォークと、前記翼植込部のロータ径方向の外側に一体形成された翼取り付け部と、前記翼取り付け部に取り付けられた翼部と、前記翼取り付け部の前記翼部が取り付けられた翼取り付け面に設けられ、超音波センサが載置される平滑面とを備え、

前記外フォークのロータ軸方向の厚みを W_2 、ロータ軸方向にとった超音波センサの中心と前記外フォークの端部との距離を W_3 、ロータ径方向にとった前記超音波センサから前記ピン穴の中心までの距離を H 、ロータ回転方向にとった前記外フォークの幅を L 、前記超音波センサが発振する超音波の波長を λ 、ロータ径方向にとった前記超音波センサの中心と前記外フォークの端部との距離を S 、前記ピン穴に到達するまでに前記外フォークの内面で超音波が反射する回数を n としたとき、

$$[(H^2 + ((n+1) \cdot L - S)^2 + (W_2 + W_3)^2)]^{1/2} - [(H^2 + ((n+1) \cdot L - S)^2 + (W_3)^2)]^{1/2} > \lambda$$

で表される関係が成立するように前記外フォークを形成したことを特徴とする。

【0012】

(5) 上記目的を達成するために、本発明は、複数の翼フォークを有するフォーク型の翼植込部を備えたタービン動翼において、前記複数のフォークのうちロータ軸方向の端部に位置する外フォークの間に位置しロータ回転方向の中央にピン穴を有する中フォークと、前記翼植込部のロータ径方向の外側に一体形成された翼取り付け部と、前記翼取り付け部に取り付けられた翼部と、前記翼取り付け部の前記翼部が取り付けられた翼取り付け面に設けられ、超音波センサが載置される平滑面とを備え、

前記中フォークのロータ軸方向の厚みを W_2 、ロータ軸方向にとった超音波センサの中心と前記中フォークの端部との距離を W_3 、ロータ径方向にとった前記超音波センサから前記ピン穴の中心までの距離を H 、ロータ回転方向にとった前記中フォークの幅を L 、ロータ回転方向にとった前記中フォークの端部から前記ピン穴の中心までの距離を L_2 、前記超音波センサが発振する超音波の波長を λ 、ロータ径方向にとった前記超音波センサの中心と前記外フォークの端部との距離を S 、前記ピン穴に到達するまでに前記外フォークの内面で超音波が反射する回数を n としたとき、

$$[(H^2 + (n \cdot L + L_2 - S)^2 + (W_2 + W_3)^2)]^{1/2} - [(H^2 + ((n$$

10

20

30

40

50

$$\cdot L + L^2 - S)^2 + (W^3)^2)^{1/2} > \lambda$$

で表される関係が成立するように前記中フォークを形成したことを特徴とする。

【0013】

(6) 上記(4)又は(5)において、好ましくは、前記翼取り付け部の複数の翼フォークを取り付ける領域のロータ軸方向の長さを W_0 、各翼フォークのロータ軸方向の厚みを W_2 、翼フォーク枚数を N_2 としたとき、

$$W_0 > (2/N_2 - 1) \cdot W_2$$

で表される関係が成立するように形成したことを特徴とする。

【0014】

(7) 上記(1)～(6)のいずれかにおいて、好ましくは、前記平滑面の面積が 9 m^2 以上であることを特徴とする。

10

【0015】

(8) 上記(1)～(7)のいずれかにおいて、好ましくは、前記平滑面の面積が 100 mm^2 以下であることを特徴とする。

【0016】

(9) 上記(1)～(8)のいずれかにおいて、好ましくは、前記平滑面が、前記翼取り付け面の前記翼フォークの延長上に位置していることを特徴とする。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、フォーク型のタービン動翼の超音波探傷の確度が向上するので、供用中のタービン動翼の信頼性を向上することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下に図面を用いて本発明の実施の形態を説明する。

【0019】

まずタービン動翼の探傷試験の背景技術について説明する。

【0020】

図1は本発明の適用対象となるフォーク型のタービン動翼を用いたタービンロータの構成を表す斜視図である。

図1に示したタービンロータは、ディスク1と、タービン動翼2と、ピン3とを備えている。なお、図1では、ディスク1の一部のみを一部断面で示している。

30

【0021】

ディスク1は、回転軸の外周側に取り付けられた円盤状の部材であり、外周部にロータの回転軸方向(以下、ロータ軸方向と記載する)に列設されたディスクフォーク4を有しており、ディスクフォーク4には複数のピン穴5が軸方向に貫通して設けられている。

【0022】

タービン動翼2は、翼植込部7と、翼取り付け部8と、翼部(プロファイル部)9とを備えている。翼植込部7は、タービン動翼2をディスク1に取り付けた姿勢(翼取り付け姿勢)においてディスク1側に位置する部分であり、複数の翼フォーク10を有している。翼フォーク10には、複数のピン穴11が軸方向に貫通して設けられている。フォーク10は、タービン動翼2をディスク1に取り付けた姿勢において、ロータ径方向の内側に突出した部材であり、軸方向に複数配列されている。これらフォーク10は、ディスク1の外周部に係合するように、ディスクフォーク4の間隔に対応する間隔で列設されている。翼取り付け部8は、ロータ径方向に所定の厚みを有する部分であって翼植込部7のロータ径方向外側に翼植込部7と一体に形成されている。翼取り付け部8のロータ径方向外側の翼取り付け面13にはタービン動翼2の翼部9が取り付けられている。また、翼取り付け部8は軸方向の両端に張出部12を有している。張出部12は、タービン動翼2をディスク1に取り付けた姿勢において、翼植込部7の軸方向の両端面よりも軸方向に突出している。

40

【0023】

50

ディスクフォーク４のピン穴５と翼フォーク１０のピン穴１１は、タービン動翼２をディスク１に取り付けた姿勢において互いの位置が対応しており、ピン穴５，１１にピン３を軸方向に挿通することでタービン動翼２がディスク１に対して固定される。ピン穴５，１１は、タービン動翼２がディスク１に取り付けられた姿勢において互いの中心と直径が一致するように設計されている。また、タービンの回転に伴ってピン穴５，１１にかかる応力を分散して耐久性を向上させるため、ピン穴５，１１は翼フォーク一枚の面積当たりに複数設けられている。

【００２４】

しかしながら、このようなフォーク型のタービンロータでは、翼フォーク１０にピン穴１１を複数設けても、タービンの回転に伴ってかかる応力によりピン穴５，１１の周囲に亀裂（以下、欠陥と記載する）が生じることがある。したがって、供用中のタービン動翼２の信頼性を確認するためにも、翼フォーク１０の欠陥検査技術が重要である。

【００２５】

フォークの欠陥検査には、従来、図２に示した磁粉探傷試験（ＭＴ：Magnetic particle Testing）が利用されていた。ＭＴとは、検査対象４０にＮ磁極４１とＳ磁極４２で磁場をかけた際に欠陥４４から漏洩する磁束を検出する手法である。ＭＴでは、欠陥からの漏洩磁束に集積される蛍光物質を塗布した磁性金属粉４３に紫外線を照射し、蛍光物質の発光を基に磁性金属粉４３の集積の有無を観察することで欠陥を検出する。しかし、ＭＴによる欠陥検査ではピンを抜いてディスクとタービン動翼を分解する必要があるため、検査に時間がかかるのが問題であった。

【００２６】

そこで、非分解検査を実現する技術として、超音波探傷試験（ＵＴ：Ultrasonic Testing）の適用が検討された。ＵＴとは、図３に示すように、超音波センサ４５を用いて検査対象４０内に超音波Ｕを送信し反射波を受信する検査方法であって、欠陥４３からの反射があるか否かで欠陥の有無を評価する。

【００２７】

図４は翼フォークの軸方向の厚みと２次元超音波探傷の検査結果の関係を説明する図で、図４（ａ）にはフォーク型のタービン動翼に対するＵＴの施工方法、図４（ｂ）にはフォークの軸方向の厚みを１７ｍｍとした場合の翼フォークのピン穴近傍の２次元超音波探傷像、図４（ｃ）にはフォークの軸方向の厚みを６．６ｍｍとした場合の翼フォークのピン穴近傍の２次元超音波探傷像をそれぞれ表している。図４（ａ）における符号は既出図面に合わせてある。図４（ｂ）及び図４（ｃ）に示した結果から判るように、翼フォークの厚みが６．６ｍｍの場合の方が１７ｍｍの場合よりもノイズが多く、翼フォークの厚みが小さくことによってノイズが増加したことが判る。

【００２８】

図５はＵＴにおけるノイズの発生原理の説明図である。

フォーク厚みが小さくなることにより、入射後ダイレクトに反射点で反射して戻ってくるパス１と、往路でフォークの内面で反射されて反射点に当たって復路でもフォーク内面で反射して入射点に戻ってくるパス２の距離の差が、翼フォークが薄くなることにより小さくなる。これがノイズの発生要因となる。

【００２９】

図６は図５の機構におけるノイズ発生領域の超音波伝播距離とフォーク厚みとの相関関係を表す図である。

この図６から、パス１とパス２の超音波伝播距離の差が、超音波探傷における超音波の波長 λ よりも短くなるとノイズが発生することが判る。

【００３０】

以上を踏まえ、このようなフォーク厚みが狭くなることによる形状信号が発生し難く超音波探傷に好適なフォーク型翼植込部を有するタービン動翼の実施の形態を説明する。

【００３１】

< 第１の実施の形態 >

10

20

30

40

50

図 7 は本発明の第 1 の実施の形態に係るタービン動翼の構成図で、図 7 (a) はロータ径方向外側から見た翼植込部の平面図、図 7 (b) はロータ回転方向から見た翼植込部の側面図、図 7 (c) はロータ軸方向から見た翼植込部 (後述の外フォーク) の正面図、図 7 (d) はロータ軸方向から見た翼植込部 (後述の中フォーク) の正面図である。これらの図中の符号は既出図面と対応している。

【 0 0 3 2 】

図 7 (a) - 図 7 (d) に示したように、本実施の形態では、翼取り付け面 1 3 上に複数の平滑面 1 5 が設けられている。平滑面 1 5 は、翼取り付け面 1 3 上における U T センサ 4 5 の載置面であり、U T センサ 4 5 を載置した際に翼取り付け面 1 3 との間に隙間が生じないように平滑に形勢されており、また翼取り付け面 1 3 の翼フォーク 1 0 の延長上 (翼フォーク 1 0 をロータ回転中心から翼取り付け面 1 3 に投影した面上) に位置している。これら平滑面 1 5 の面積は、現状で最も小さい U T が可能な U T センサの大きさを考慮して 9 mm^2 以上とする。一方、タービン動翼を回転させる作動流体の乱れの発生を抑制することを考慮して、平滑面 1 5 の面積は 100 mm^2 以下であることが好ましい。また、本実施の形態では、U T センサ 4 5 の位置合わせが容易なように平滑面 1 5 の大きさを U T センサ 4 5 の底面積と等しくしてあるが、 100 mm^2 の範囲で U T センサ 4 5 の底面積より大きくすることもできる。

【 0 0 3 3 】

また、本実施の形態の場合、複数の翼フォーク 1 0 のうちロータ軸方向の端部 (ロータ軸方向の最上流側と最下流側) に位置する外フォーク 1 0 に対し、それらの間に位置する中フォーク 1 0 ' (説明の便宜上、中フォークの符号を 1 0 ' と区別する) がロータ回転方向にピン穴 1 1 のロータ回転方向ピッチの半分だけ位置をずらした構成を例示している。図 7 に例示したタービン動翼において、外フォーク 1 0 ではロータ回転方向の両側端面に半割れのピン穴 1 1 が開口しているのに対し、中フォーク 1 0 ' ではロータ回転方向の中央部にピン穴 1 1 ' が 1 つ開口している。外フォーク 1 0 と中フォーク 1 0 ' のロータ回転方向の幅は等しい。但し、外フォーク 1 0 と中フォーク 1 0 ' のロータ回転方向への位置のずれや幅はこれに限定されるものではない。

【 0 0 3 4 】

まず、外フォーク 1 0 について超音波探傷に好適な形状を検討する。

【 0 0 3 5 】

図 8 (a) は外フォークにおいて直接的に探傷部位へ超音波が到達する場合の超音波伝播経路をロータ回転方向から見た側面図、図 8 (b) はロータ軸方向から見たその正面図である。

【 0 0 3 6 】

図 8 (a) 及び図 8 (b) に示したように U T センサ 4 5 からの超音波が検査箇所 (ピン穴) にダイレクトに到達しその反射波が直接 U T センサ 4 5 に戻ってくる場合、その超音波伝播経路長は、

$$[(H^2 + (L - S)^2 + (W 3)^2)]^{1/2} \cdots (1)$$

と表される。

【 0 0 3 7 】

ここで、

H = H 0 + H 1 : ロータ径方向にとった U T センサ 4 5 から検査箇所 (ピン穴) の中心までの距離

L : ロータ回転方向にとった翼フォークの幅

W 3 : ロータ軸方向にとった U T センサ 4 5 の中心と翼フォークの端部との距離

S : ロータ径方向にとった U T センサ 4 5 の中心と翼フォークの端部との距離

である。

【 0 0 3 8 】

図 8 (c) は外フォークにおいて翼フォークの内面反射を伴う場合の超音波伝播経路をロータ回転方向から見た側面図正面図、図 8 (d) はロータ軸方向から見たその正面図で

ある。この場合の超音波経路長は、

$$[(H^2 + (L - S)^2 + (W2 + W3)^2)]^{1/2} \cdots (2)$$

と表される。

【0039】

ここで、

W2：ロータ軸方向にとった翼フォークの厚み（例えばW3の2倍）

である。

【0040】

先に説明したノイズ発生原理から、式(2)と式(1)で表される超音波経路長の差を超音波探傷に用いる超音波(UTセンサ45が発振する超音波)の波長 λ よりも長くしておけば、超音波探傷におけるノイズを減少させることができる。

10

【0041】

この場合、外フォーク10のフォーク下部厚みを、

$$[(H^2 + (L - S)^2 + (W2 + W3)^2)]^{1/2} - [(H^2 + (L - S)^2 + (W3)^2)]^{1/2} > \lambda \cdots (3)$$

で表される関係式が成立するように形成する。

【0042】

次に、中フォーク10'について検討する。

【0043】

図9(a)は中フォークにおいて直接的に探傷部位へ超音波が到達する場合の超音波伝播経路をロータ回転方向から見た側面図、図9(b)はロータ軸方向から見たその正面図である。

20

【0044】

この場合の超音波伝播経路長は、

$$[(H^2 + (L2 - S)^2 + (W3)^2)]^{1/2} \cdots (11)$$

と表される。

【0045】

ここで、

L2：ロータ回転方向にとった翼フォーク10'の端部からピン穴11'の中心までの距離

30

である。

【0046】

図9(c)は中フォークにおいて翼フォークの内面反射を伴う場合の超音波伝播経路をロータ回転方向から見た側面図、図9(d)はロータ軸方向から見たその正面図である。

【0047】

この場合の超音波伝播経路長は、

$$[(H^2 + (L2 - S)^2 + (W2 + W3)^2)]^{1/2} \cdots (12)$$

と表される。

【0048】

先に説明したノイズ発生原理から、式(12)と式(11)で表される超音波経路長の差を超音波探傷に用いる超音波の波長 λ よりも長くしておけば、超音波探傷におけるノイズを減少させることができる。

40

【0049】

この場合、中フォーク10'のフォーク下部厚みを、

$$[(H^2 + (L2 - S)^2 + (W2 + W3)^2)]^{1/2} - [(H^2 + (L2 - S)^2 + (W3)^2)]^{1/2} > \lambda \cdots (13)$$

で表される関係式が成立するように形成する。

【0050】

なお、翼取り付け部8の軸方向の厚みW0(図7(b)参照)を変えずに式(3)及び式(13)の制約を満たすためには、1つのタービン動翼当たりの翼フォークの枚数N1

50

を、

$$N1 < (W0 / W2 + 1) / 2 \quad \cdots (4)$$

とする必要がある。

【0051】

図10は本実施の形態のタービン動翼の超音波探傷に用いる超音波探傷システムの概略構成図、図11はその機能ブロック図である。

図10及び図11に示した超音波探傷システムは、パーソナルコンピュータ（パソコン）60、UT装置61、UTセンサ45より構成されている。

【0052】

パソコン60は、各種演算処理を実行するCPU21、演算結果や演算途中の値を一時的に記憶するRAM23、プログラムや必要な定数を記憶したROM24、HDD22、I/Oポート25、キーボード26、DVDやブルーレイディスクのような記録メディア27、モニタ28等を備えている。

【0053】

UT装置61は、I/Oポート25、D/Aコンバータ30、A/Dコンバータ29を備えている。

【0054】

図12はUTセンサ45の一構成例を表す概略構成図である。

図12に示したUTセンサ45は、検査対象に面する複数の超音波素子31と、各超音波素子31の底面（検査対象との対向面）に設けられた電極32と、各超音波素子の上面に設けられた電極32Bと、電極32、32Bに電圧を印加する信号線33と、電極32B上に設けられ発振した超音波のエネルギーを吸収するダンパー34とを備えている。UTセンサ45は、例えば超音波素子31が軸方向に並ぶように翼取り付け面13の平滑面15に取り付けられる。超音波素子31、電極32、32B及びダンパー34は、保護ケース35内に格納されている。超音波素子31としてはPZT、 LiNbO_3 、PVDf等の圧電素子を、電極32や電極32BとしてはAu、Ag、Cu等の導電性の高い金属を、信号線33としては銅線を、ダンパー34としてはHf、W、Ta等の金属を樹脂に混合したものをそれぞれ用いることができる。また、保護ケース35は、樹脂、金属のうち1つ以上の材質からなるものを成型して用いることができる。また、ダンパー34は超音波発振時の残振を減らすので、これを設けることによってS/Nを向上させることができる。

【0055】

図13はUTセンサ45の超音波による発振方法の説明図である。

図13に示すように、UTを行う際には、UTセンサ45に並べられた各超音波素子31から発振した超音波が収束点36に同時に届くように、各超音波素子31の超音波発振開始時間を素子の位置に応じて調整する。ここで、超音波素子31と収束点36との最大距離を $\max(L)$ [m]、図中左からi番目の超音波素子31と収束点36との距離を L_i [m]、超音波の伝搬速度（音速）を V [m/s]、i番目の超音波素子31のX座標を x_i [m]、i番目の超音波素子31のY座標を y_i [m]、収束点36のX座標を x_f [m]、収束点36のY座標を y_f [m]とすると、i番目の超音波素子31と収束点36との距離 L_i [m]、及び各超音波素子31の超音波発振開始時間差 dt [s]は、それぞれ、

$$L_i = ((x_i - x_f)^2 + (y_i - y_f)^2)^{1/2} \text{ [m]} \quad \cdots (5)$$

$$dt = (\max(L) - L_i) / V \text{ [s]} \quad \cdots (6)$$

と表される。

【0056】

図14は超音波発振開始時間差 dt [s]の一例を示す図である。

図14では、超音波素子31の総数が20個、 $V = 5780$ [m/s]、 $x_i = (0.5i - 0.25) \times 10^{-3}$ [mm]、 $y_i = 0$ [m]、 $x_f = 0$ [m]、 $y_f = 3 \times 10^{-2}$ [m]のときの超音波発振開始時間差 dt [s]を例示している。この図に示すよ

うに、収束点 3 6 から遠い超音波素子 3 1 を早く発振させると、各超音波素子 3 1 から収束点 3 6 への超音波到達時間が揃うので信号強度を強くすることができる。

【 0 0 5 7 】

図 1 5 は上記の超音波探傷システムを用いた超音波探傷手順の一例を表すフローチャートである。

【 0 0 5 8 】

(ステップ 1 0 1 : タービン形状入力)

このステップでは、記録メディア 2 7 に予め記憶させてある探傷検査対象のタービン動翼の翼フォークの形状をパソコン 6 0 に取り込む。

【 0 0 5 9 】

(ステップ 1 0 2 : 超音波伝播経路解析)

このステップでは、記録メディア 2 7 からの入力データがパソコン 6 0 の I / O ポート 2 5 を介して CPU 2 1 に伝えられ、RAM 2 3、HDD 2 2 のうち少なくとも 1 つの記憶媒体に保存される。また、入力した翼フォークの形状データに基づき、CPU 2 1 により、ROM 2 4 に格納されたプログラムに従って図 2 3 に示すレイトレース法で超音波伝播経路を解析する。レイトレース法とは、入射した超音波が鏡面对象に反射されるとして、超音波伝播経路を解析する手法である。

【 0 0 6 0 】

(ステップ 1 0 3 : 遅延時間計算)

このステップでは、ステップ 1 0 2 における超音波伝播経路の解析結果に基づいて先に図 1 2 に示した UT センサ 4 5 の動作条件を解析し、タービン動翼 2 の翼取り付け面 1 3 の各平滑面 1 5 に UT センサ 4 5 を設置した場合に、各平滑面 4 5 の UT センサ 4 5 に対し、各超音波素子 3 1 からの超音波が検査対象箇所に同時に到達する条件をそれぞれ導き出す。

【 0 0 6 1 】

(ステップ 1 0 4 : センサ設置)

このステップでは、各平滑面 1 5 に UT センサ 4 5 を設置する。この場合、全ての平滑面 1 5 に UT センサ 4 5 を設置する必要は必ずしもなく、必要箇所に設置すれば良い。また、同時に複数の平滑面 1 5 に UT センサ 4 5 を設置することもできるし、同じ UT センサ 4 5 を複数の平滑面 1 5 に移設して順番に超音波探傷を実施していくこともできる。

【 0 0 6 2 】

(ステップ 1 0 5 : 超音波探傷)

このステップでは、パソコン 6 0 の CPU 2 1 で解析した超音波発信開始時間をパソコン 6 0 の I / O ポート 2 5 を介して UT 装置 6 1 に伝達し、UT 装置 6 1 の I / O ポート 2 5、D / A コンバータ 3 0 を介して超音波素子 3 1 に電圧を印加して超音波を発信する。また、送信した超音波の反射波が超音波素子 3 1 で受信された場合、反射波は電圧に変換されて A / D コンバータ 2 9、UT 装置 6 1 の I / O ポート 2 5、パソコン 6 0 の I / O ポート 2 5 を介して CPU 2 1 に伝達される。この探傷データは ROM 2 4、RAM 2 3、HDD 2 2、記憶メディア 2 7 の少なくとも 1 つの記録媒体に保存される。また、オペレータの操作に従って、探傷結果をモニタ 2 8 に表示して欠陥の有無を表示する。

【 0 0 6 3 】

本実施の形態によれば、予め式 (3) や式 (1 3) を満足するように翼フォーク 1 0 を形成しておくことにより、フォーク厚みの狭小化によるノイズ増加を抑制することが可能であり、超音波探傷の確度を向上させることができ、供用中のタービン動翼の信頼性向上を図ることができる。よって、フォーク形状を予め超音波探傷に好適化したフォーク型のタービン動翼を提供することができる。また、図 7 (a) - 図 7 (d) に示した外フォーク 1 0 のようにピン穴がフォークのロータ回転方向の端部にある翼フォークのみを有するタービン動翼にあっては、各翼フォークが式 (3) を満たす形状であれば良い。反対に、中フォーク 1 0 ' のようにピン穴がロータ回転方向の中央領域にある翼フォークのみを有するタービン動翼にあっては、各翼フォークが式 (1 3) を満たす形状であれば良い。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 4 】

< 第 2 の実施の形態 >

図 1 6 は本発明の第 1 の実施の形態に係るタービン動翼の構成図で、図 1 6 (a) はロータ径方向外側から見た翼植込部の平面図、図 1 6 (b) はロータ回転方向から見た翼植込部の側面図、図 1 6 (c) はロータ軸方向から見た翼植込部 (外フォーク) の正面図、図 1 6 (d) はロータ軸方向から見た翼植込部 (中フォーク) の正面図である。これらの図中の符号は既出図面と対応している。

【 0 0 6 5 】

第 1 の実施の形態では翼取り付け部 8 のロータ軸方向の長さを所望の長さ (例えば一般的なタービン動翼と同程度) にした場合に翼フォーク 1 0 の枚数が式 (4) の条件に制限される。それに対し、本実施の形態では、翼フォークの枚数を所望の枚数 (例えば一般的なタービン動翼と同程度) 確保した上で、U T のノイズ低減の条件を満たす各翼フォークの厚みを導き出し、導き出した形状にタービン動翼を形成する。

【 0 0 6 6 】

図 1 6 (a) - 図 1 6 (d) に示したように、本実施の形態では、翼取り付け面 1 3 上に複数の平滑面 1 5 が設けられている。平滑面 1 5 は、第 1 の実施の形態と同様、翼取り付け面 1 3 上における U T センサ 4 5 の載置面であり、U T センサ 4 5 を載置した際に翼取り付け面 1 3 との間に隙間が生じないように平滑に形勢されており、また翼取り付け面 1 3 の翼フォーク 1 0 の延長上 (翼フォーク 1 0 をロータ回転中心から翼取り付け面 1 3 に投影した面上) に位置している。これら平滑面 1 5 の面積は、現状で最も小さい U T が可能な U T センサの大きさを考慮して 9 mm^2 以上とする。一方、タービン動翼を回転させる作動流体の乱れの発生を抑制することを考慮して、平滑面 1 5 の面積は 100 mm^2 以下であることが好ましい。また、本実施の形態では、U T センサ 4 5 の位置合わせが容易なように平滑面 1 5 の大きさを U T センサ 4 5 の底面積と等しくしてあるが、 100 mm^2 の範囲で U T センサ 4 5 の底面積より大きくすることもできる。

【 0 0 6 7 】

また、軸方向の最上流側と最下流側に位置する翼フォーク 1 0 に対し、それらの間に位置する中フォーク 1 0 ' がロータ回転方向にピン穴 1 1 のロータ回転方向ピッチの半分だけ位置をずらした構成を例示している。図 1 6 に例示したタービン動翼において、外フォーク 1 0 ではロータ回転方向の両側端面に半割れのピン穴 1 1 が開口しているのに対し、中フォーク 1 0 ' ではロータ回転方向の中央部にピン穴 1 1 ' が 1 つ開口している。外フォーク 1 0 と中フォーク 1 0 ' のロータ回転方向の幅は等しい。但し、外フォーク 1 0 と中フォーク 1 0 ' のロータ回転方向への位置のずれや幅はこれに限定されるものではない。

【 0 0 6 8 】

図 1 7 (a) は外フォークにおいて超音波をフォーク内面で反射させながら探傷部位へ到達させる場合の超音波伝播経路をロータ回転方向から見た側面図、図 1 7 (b) はロータ軸方向から見たその正面図である。

【 0 0 6 9 】

この場合の超音波伝播経路長は、

$$[(H^2 + ((n + 1) \cdot L - S)^2 + (W 3)^2)]^{1/2} \cdot \dots (7)$$

と表される。

【 0 0 7 0 】

ここで、

n : ピン穴に到達するまでに翼フォークの内面で超音波が反射する回数

である。

【 0 0 7 1 】

図 1 7 (c) は図 1 7 (a) 及び図 1 7 (b) に示したモデルよりも反射回数が増えた場合の超音波伝播経路をロータ回転方向から見た側面図、図 1 7 (d) はロータ軸方向から見たその正面図である。

【 0 0 7 2 】

この場合の超音波経路長は、

$$[(H^2 + ((n+1) \cdot L - S)^2 + (W2 + W3)^2)^{1/2} \cdots (8)]$$

と表される。

【 0 0 7 3 】

これらの経路の差が超音波探傷に用いる超音波の波長 λ よりも長いと超音波探傷におけるノイズが減少するため、外フォーク10のフォーク下部厚みは

$$[(H^2 + ((n+1) \cdot L - S)^2 + (W3)^2)^{1/2} - [(H^2 + ((n+1) \cdot L - S)^2 + (W2 + W3)^2)^{1/2}] > \lambda \cdots (9)$$

で表される条件で制限される。

10

【 0 0 7 4 】

図18(a)は中フォークにおいて超音波をフォーク内面で反射させながら探傷部位へ到達させる場合の超音波伝播経路をロータ回転方向から見た側面図、図18(b)はロータ軸方向から見たその正面図である。

【 0 0 7 5 】

この場合の超音波伝播経路長は、

$$[(H^2 + (n \cdot L + L2 - S)^2 + (W2)^2)^{1/2} \cdots (14)]$$

と表される。

【 0 0 7 6 】

図18(c)は図18(a)及び図18(b)に示したモデルよりも反射回数が増えた場合の超音波伝播経路をロータ回転方向から見た側面図、図18(d)はロータ軸方向から見たその正面図である。

20

【 0 0 7 7 】

この場合の超音波伝播経路長は、

$$[(H^2 + (n \cdot L + L2 - S)^2 + (W2 + W3)^2)^{1/2} \cdots (15)]$$

と表される。

【 0 0 7 8 】

これらの経路の差が超音波探傷に用いる超音波の波長 λ よりも長いと超音波探傷におけるノイズが減少するため、中フォーク10'のフォーク下部厚みは

$$[(H^2 + (n \cdot L + L2 - S)^2 + (W2 + W3)^2)^{1/2} - [(H^2 + (n \cdot L + L2 - S)^2 + (W2)^2)^{1/2}] > \lambda \cdots (16)$$

30

と表される条件で制限される。

【 0 0 7 9 】

この条件を満たすため、翼取り付け部8の動翼設置面の軸方向の厚み(翼取り付け部の複数の翼フォークを取り付ける領域のロータ軸方向の長さ)W0は、

$$W0 > (2/N2 - 1) \cdot W2 \cdots (17)$$

と表される条件で制限する。ここで、N2: 必要なフォーク枚数である。

【 0 0 8 0 】

図18は本実施の形態のタービン動翼の超音波探傷に用いる超音波探傷システムの概略構成図、図20はその機能ブロック図である。これらの図面において図10及び図11と同様の部分には図10及び図11と同符号を付して説明を省略する。

40

【 0 0 8 1 】

本実施の形態で例示する超音波探傷システムは、UT装置50及びUTセンサ55で構成されている。この超音波探傷システムは第1の実施の形態でも使用可能であり、また本実施の形態に第1の実施の形態の超音波探傷システムを適用することもできる。

【 0 0 8 2 】

本実施の形態の超音波探傷システムで用いるUT装置50は、第1の実施の形態の超音波探傷システムのパソコン60とUT装置61を一体化した構成であり、CPU21、HDD22、RAM23、ROM24、I/Oポート25、キーボード26、例えばCDやMO等の記録メディア27、モニタ28、A/Dコンバータ29、D/Aコンバータ30

50

を備えている。

【 0 0 8 3 】

ＵＴセンサ５５は、図２１に示すように翼取り付け部８の平滑面１５に対しシュー１９を介して取り付けられ、翼取り付け部８の法線に対して入射角 θ_1 で超音波を発振する。この図２１に例示したＵＴセンサ５５は、単一の超音波素子を利用したシングルプローブ型のもので、シュー１９を超音波発信素子と試験体（タービン動翼）間に挿入することで超音波入射角 θ を調整する。シュー１９は、角度 θ_1 に傾いた斜面を有するクサビ型の部材であり、翼取り付け面１３における平滑面１５上に載置される。シューの素材としてはアクリル等を好ましく利用することができる。シュー１９の斜面上にはネジ等によってＵＴセンサ５５が固定される。シュー１９内での超音波速度を V_1 、検査対象（タービン動翼）内での超音波速度を V_2 、検査対象内での超音波入射角度を θ_2 とする。このとき、スネルの法則から、

$$\sin \theta_1 / V_1 = \sin \theta_2 / V_2 \quad \cdots (10)$$

で表される関係式が成り立つ。

【 0 0 8 4 】

したがって、平滑面１５に対する超音波入射角 θ_2 を所望の角度に調整する場合には、式（１０）が成立する角度 θ_1 を有するシュー１９を用いて超音波を発振する。

【 0 0 8 5 】

図２２は本実施の形態における超音波探傷手順を表すフローチャートである。図２２に示したステップで、図１９ - 図２１に示した超音波探傷システムを用い超音波探傷を実施する。

【 0 0 8 6 】

（ステップ２０１：超音波伝播経路解析）

このステップでは、まず記録メディア２７に予め記憶させてある探傷検査対象のタービン動翼の翼フォークの形状がＩ／Ｏポート２５を介してＣＰＵ２１に伝えられ、ＲＡＭ２３、ＨＤＤ２２のうち少なくとも１つの記憶媒体に保存される。そして、入力した翼フォークの形状データに基づき、ＣＰＵ２１により、ＲＯＭ２４に格納されたプログラムに従って図２３に示すレイトレース法で超音波伝播経路を解析する。レイトレース法とは、入射した超音波が鏡面对象に反射されるとして、超音波伝播経路を解析する手法である。

【 0 0 8 7 】

（ステップ２０２：シュー角度決定）

このステップでは、ＣＰＵ２１によりフォーク形状を基に先述した要領でＵＴセンサ５５の超音波入射角 θ_1 （すなわちシュー１９の角度）が決定される。

【 0 0 8 8 】

（ステップ２０３：センサ設置）

このステップでは、各平滑面１５にＵＴセンサ５５を設置する。この場合、全ての平滑面１５にＵＴセンサ５５を設置する必要は必ずしもなく、必要箇所に設置すれば良い。また、同時に複数の平滑面１５にＵＴセンサ５５を設置することもできるし、同じＵＴセンサ５５を複数の平滑面１５に移設して順番に超音波探傷を実施していくこともできる。

【 0 0 8 9 】

（ステップ２０４：超音波探傷）

このステップでは、キーボード２６からＵＴ開始信号が入力されたら、ＵＴ開始信号がＩ／Ｏポート２５を介してＣＰＵ２１に伝達される。ＣＰＵ２１ではＵＴ開始信号に基づきＩ／Ｏポート２５、Ｄ／Ａコンバータ３０を介してＵＴセンサ５５に電圧を印加して超音波を発信する。超音波センサ５５で受信された反射波は、Ａ／Ｄコンバータ２９、Ｉ／Ｏポート２５を介してＣＰＵ２１に伝達される。ＣＰＵ２１は、ＲＡＭ２３、ＨＤＤ２２、記録メディア２７の少なくとも１つの記録媒体に反射波信号を記録する。また、Ｉ／Ｏポート２５を介してモニタ２８に探傷結果を表示し、欠陥の有無を評価する。

【 0 0 9 0 】

本実施の形態によれば、予め式（９）や式（１６）を満足するように翼フォーク１０を

10

20

30

40

50

形成しておくことにより、フォーク厚みの狭小化によるノイズ増加を抑制することが可能であり、超音波探傷の確度を向上させることができ、供用中のタービン動翼の信頼性向上を図ることができる。よって、フォーク形状を予め超音波探傷に好適化したフォーク型のタービン動翼を提供することができる。また、図16(a) - 図16(d)に示した外フォーク10のようにピン穴がフォークのロータ回転方向の端部にある翼フォークのみを有するタービン動翼にあっては、各翼フォークが式(9)を満たす形状であれば良い。反対に、中フォーク10'のようにピン穴がロータ回転方向の中央領域にある翼フォークのみを有するタービン動翼にあっては、各翼フォークが式(16)を満たす形状であれば良い。

【0091】

更に、本実施の形態のタービン動翼によれば、第1の実施の形態に比べ、翼取り付け部8のロータ軸方向の長さが同じであれば翼フォーク10の枚数を多く確保する上で有利であるため、翼フォークが1本損傷した場合の残りのフォークの合計厚みを厚くすることができ、翼破断の抑制効果も高い。

【図面の簡単な説明】

【0092】

【図1】本発明の適用対象となるフォーク型のタービン動翼を用いたタービンロータの構成を表す斜視図である。

【図2】磁粉探傷法の原理説明図である。

【図3】超音波探傷法の原理説明図である。

【図4】翼フォークの軸方向の厚みと2次元超音波探傷の検査結果の関係を説明する図である。

【図5】超音波探傷試験におけるノイズの発生原理の説明図である。

【図6】図5の機構におけるノイズ発生領域の超音波伝播距離とフォーク厚みとの相関関係を表す図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態に係るタービン動翼の構成図である。

【図8】本発明の第1の実施の形態に係るタービン動翼の外フォークの超音波伝播経路を表す図である。

【図9】本発明の第1の実施の形態に係るタービン動翼の中フォークの超音波伝播経路を表す図である。

【図10】本発明の第1の実施の形態に係るタービン動翼の超音波探傷に用いる超音波探傷システムの概略構成図である。

【図11】本発明の第1の実施の形態に係るタービン動翼の超音波探傷に用いる超音波探傷システムの機能ブロック図である。

【図12】本発明の第1の実施の形態に係るタービン動翼の超音波探傷に用いるUTセンサの一構成例を表す概略構成図である。

【図13】本発明の第1の実施の形態に係るタービン動翼の超音波探傷における超音波の発振方法の説明図である。

【図14】本発明の第1の実施の形態に係るタービン動翼の超音波探傷における超音波発信時間差の例を表す図である。

【図15】本発明の第1の実施の形態に係るタービン動翼の超音波探傷手順を表すフローチャートである。

【図16】本発明の第2の実施の形態に係るタービン動翼の構成図である。

【図17】本発明の第2の実施の形態に係るタービン動翼の外フォークの超音波伝播経路を表す図である。

【図18】本発明の第2の実施の形態に係るタービン動翼の中フォークの超音波伝播経路を表す図である。

【図19】本発明の第2の実施の形態に係るタービン動翼の超音波探傷に用いる超音波探傷システムの概略構成図である。

【図20】本発明の第2の実施の形態に係るタービン動翼の超音波探傷に用いる超音波探

10

20

30

40

50

傷システムの機能ブロック図である。

【図 2 1】本発明の第 2 の実施の形態に係るタービン動翼の超音波探傷に用いる U T センサの一構成例を表す概略構成図である。

【図 2 2】本発明の第 2 の実施の形態に係るタービン動翼の超音波探傷手順を表すフローチャートである。

【図 2 3】レイトレース法における超音波反射角の取り扱いの説明図である。

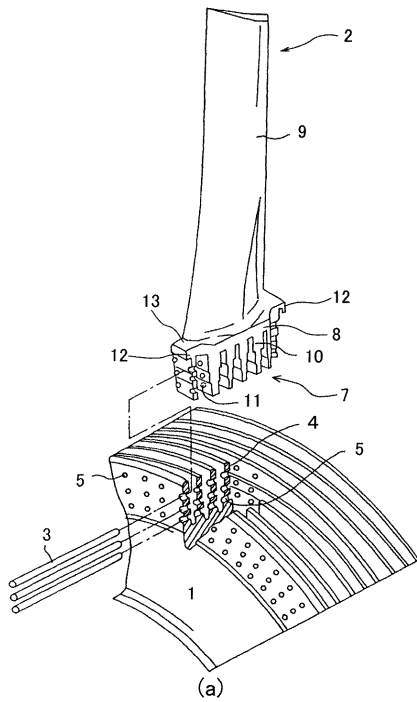
【図 2 4】ダブテイル型タービン動翼の斜視図である。

【符号の説明】

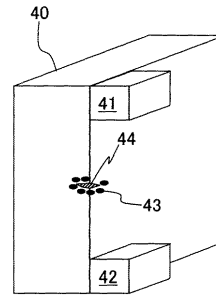
【 0 0 9 3 】

1	ディスク	10
2	タービン動翼	
3	ピン	
4	ディスクフォーク	
5	ピン穴	
7	翼植込部	
8	翼取り付け部	
9	翼部	
1 0	翼フォーク、外フォーク	
1 0 '	中フォーク	
1 1	ピン穴	20
1 3	翼取り付け面	
1 5	平滑面	
1 9	シュー	
4 5	U T センサ	
H	ロータ径方向にとった U T センサからピン穴の中心までの距離	
L	ロータ回転方向にとったフォークの幅	
L 2	ロータ回転方向にとったフォーク端部からピン穴の中心までの距離	
N 1	翼フォークの枚数	
N 2	翼フォークの枚数	
S	ロータ径方向にとった U T センサの中心とフォーク端部との距離	30
U	超音波	
W 2	フォークのロータ軸方向の厚み	
W 3	ロータ軸方向にとった超音波センサの中心とフォーク端部との距離	
λ	U T センサが発振する超音波の波長	

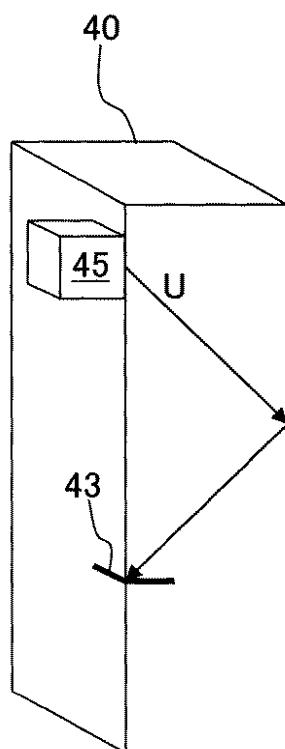
【図 1】



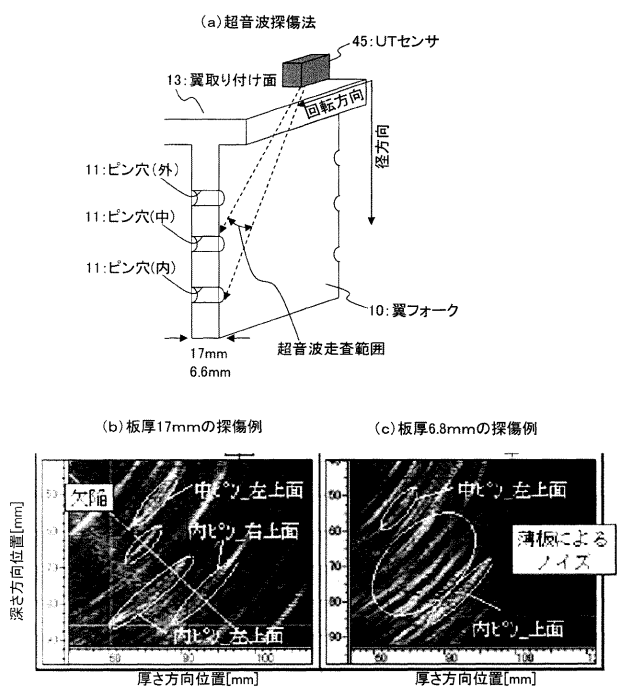
【図 2】



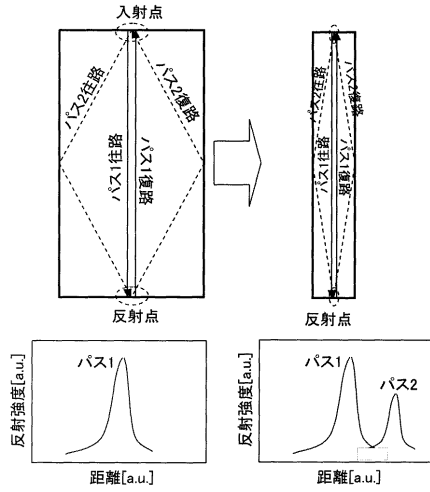
【図 3】



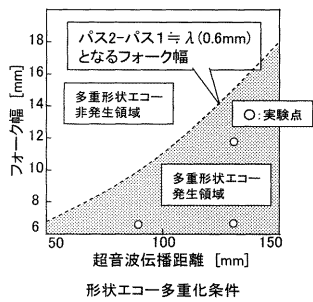
【図 4】



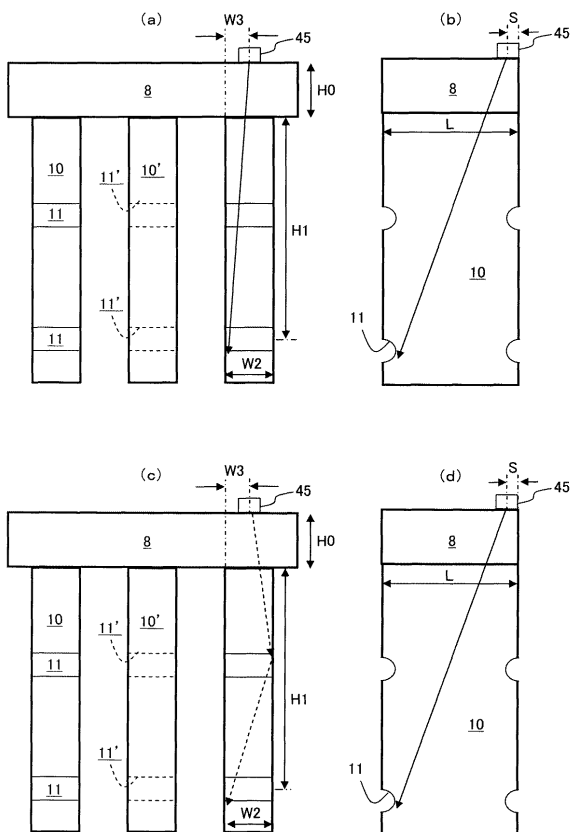
【図 5】



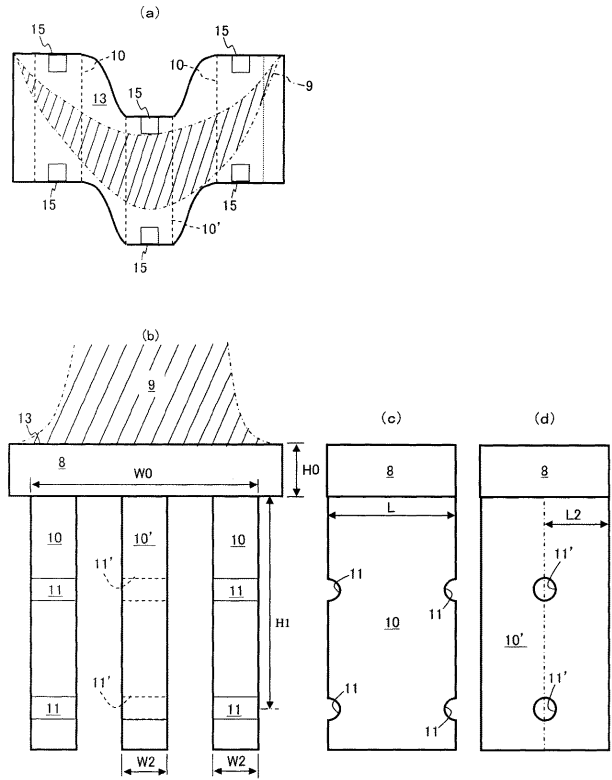
【図 6】



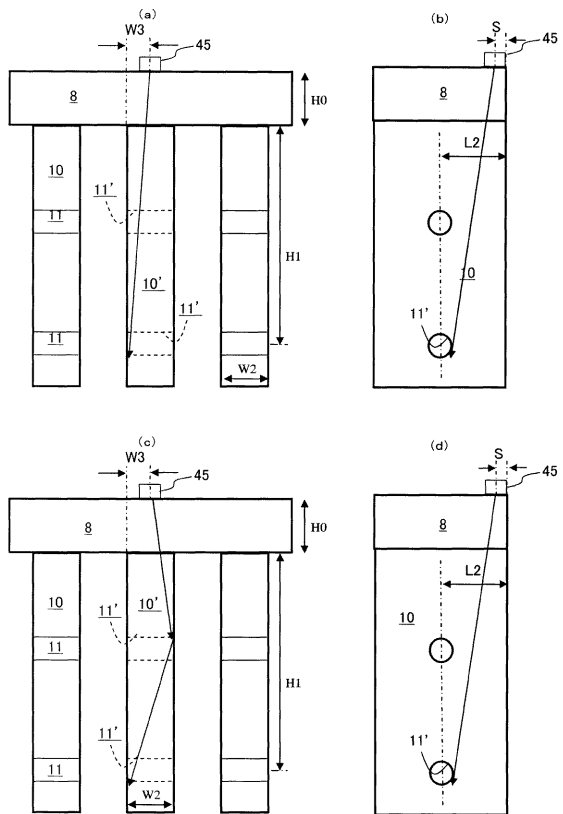
【図 8】



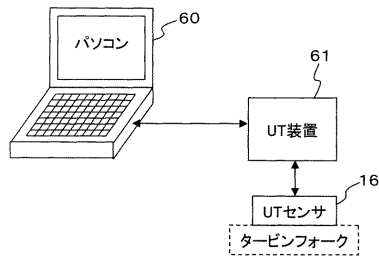
【図 7】



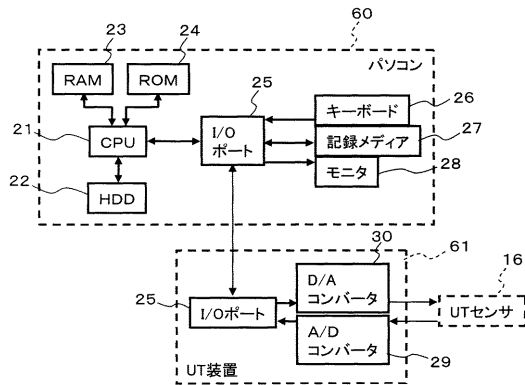
【図 9】



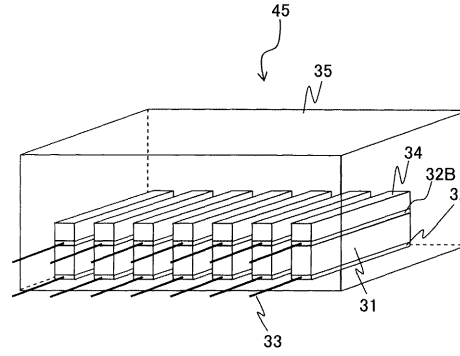
【図 10】



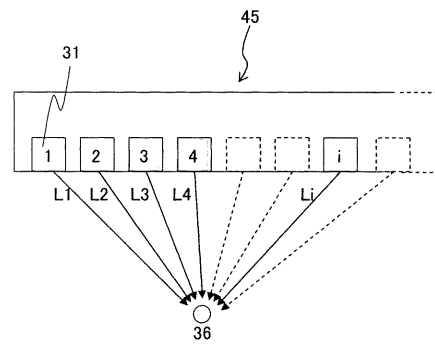
【図 11】



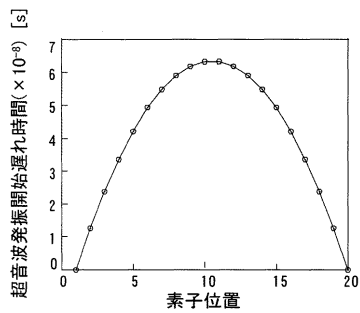
【図 12】



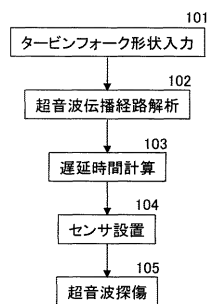
【図 13】



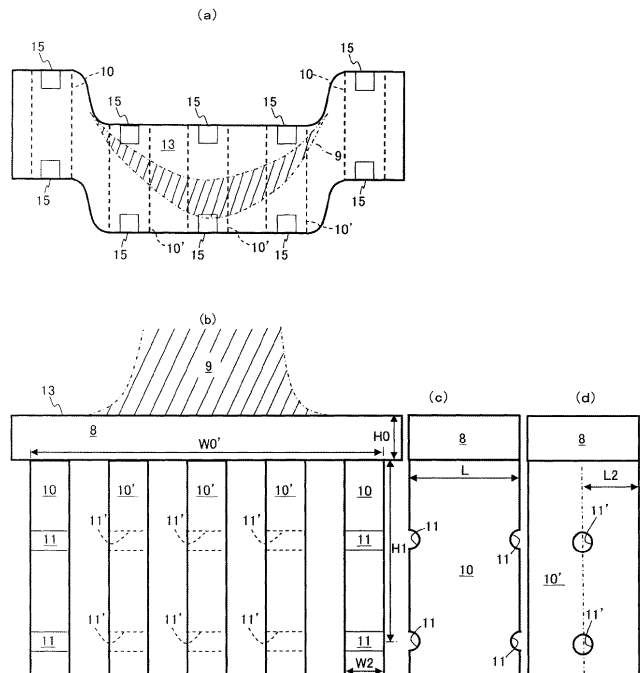
【図 14】



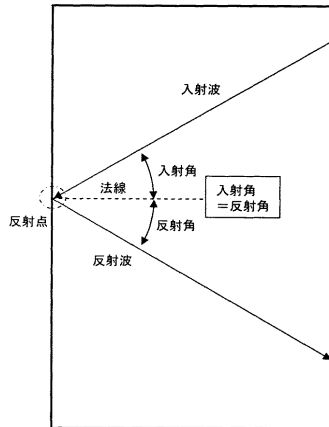
【図 15】



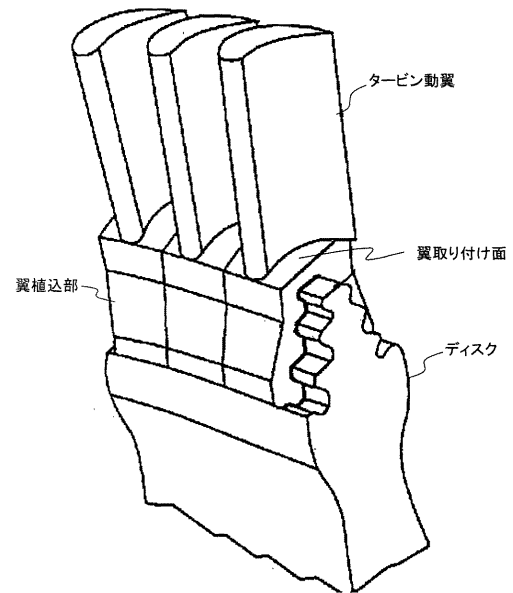
【図 16】



【図 2 3】



【図 2 4】



フロントページの続き

(72)発明者 河野 尚幸

茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号

発研究所内

株式会社日立製作所電力・電機開

(72)発明者 杉山 秀信

茨城県日立市幸町三丁目 1 番 1 号

株式会社日立製作所日立事業所内

F ターム(参考) 3G002 FA02 FA06 FA10 FB01 FB02 FB03