

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4918806号
(P4918806)

(45) 発行日 平成24年4月18日(2012.4.18)

(24) 登録日 平成24年2月10日(2012.2.10)

(51) Int.Cl.

F O I D 5/30 (2006.01)

F 1

F O I D 5/30

請求項の数 13 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2006-104816 (P2006-104816)
 (22) 出願日 平成18年4月6日 (2006.4.6)
 (65) 公開番号 特開2007-278153 (P2007-278153A)
 (43) 公開日 平成19年10月25日 (2007.10.25)
 審査請求日 平成20年6月3日 (2008.6.3)

(73) 特許権者 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 100100310
 弁理士 井上 学
 (72) 発明者 鈴木 文之
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
 株式会社 日立製作
 所 日立研究所内
 (72) 発明者 浅井 邦夫
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
 株式会社 日立製作
 所 日立研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】タービンロータ及びタービン動翼

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

フック数 n が $n \geq 3$ である翼フック及び翼ネックを有する逆クリスマスツリー型タービン翼植込み部に対して嵌め合い構造のロータフック及びロータネックを有するタービンロータにおいて、

ロータ最外周フックから $n - 1$ 番目フックのフック凸部と $n - 2$ 番目フックのフック凸部とを結ぶ接線に対して、

ロータ最内周フックのフック凸部が、前記接線よりも周方向に対して凹に形成されており、

ロータフックにおける翼とロータとが接触する接触面と、前記接触面の外周側に位置する非接触面とが、直線部とその両端の円弧部により連結された構造であることを特徴とするタービンロータ。

【請求項 2】

ロータ最外周フックから $n - 1$ 番目フックのフック凸部と $n - 2$ 番目フックのフック凸部とを結ぶ接線と、半径方向中心線と、のなす角度 r 、

ロータ最外周フックから n 番目フックのフック凸部と $n - 1$ 番目フックのフック凸部との間の半径方向距離 $H r_n$ 、

ロータ最内周フックの周方向フック幅 $W r_n$ 、

ロータ最外周フックから $n - 1$ 番目フックの周方向フック幅 $W r_{n-1}$ 、
 の関係が、 $W r_n > W r_{n-1} - 2 H r_n \times \tan r$ であることを特徴とする請求項 1 に記載の

10

20

タービンロータ。

【請求項 3】

ロータ最外周フックから n 番目フックと $n - 1$ 番目フックとのフック接触面法線方向距離 $D r_n$ が、

ロータ最外周フックから i 番目 ($i = 2 \sim n - 1$) フックと $i - 1$ 番目フックとのフック接触面法線方向距離 $D r_i$ に対して、

$D r_n < D r_i$ の関係に形成されていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のタービンロータ。

【請求項 4】

ロータ最外周ネックから $n - 1$ 番目ネックのネック凹部と $n - 2$ 番目ネックのネック凹部とを結ぶ接線に対して、10

ロータ最内周ネックのネック凹部が、前記接線よりも周方向に対して凹に形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れかに記載のタービンロータ。

【請求項 5】

ロータ最内周フックにおける動翼とロータとが接触するフック接触面距離 $L r_n$ が、

ロータ最外周フックから i 番目 ($i = 2 \sim n - 1$) フックにおける動翼とロータとが接觸するフック接触面距離 $L r_i$ に対して、

$L r_n > L r_i$ の関係に形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 4 の何れかに記載のタービンロータ。20

【請求項 6】

翼との嵌め合い挿入角度が、ロータの軸方向に対して傾斜していることを特徴とする請求項 1 ~ 5 の何れかに記載のタービンロータ。

【請求項 7】

翼とロータとが接觸する接觸面と、前記接觸面の外周側に位置する非接觸面とが、直線部とその両端の円弧部により連結された構造であるロータフックと、ロータネックとを有するタービンロータに対して、嵌め合い構造を有するフック数 n が $n - 3$ である翼フック及び翼ネックを有する逆クリスマスツリー型のタービン動翼において、

翼最外周ネックから $n - 1$ 番目ネックのネック凹部と $n - 2$ 番目ネックのネック凹部とを結ぶ接線に対して、

翼最内周ネックのネック凹部が、前記接線よりも周方向に対して凸に形成されていることを特徴とするタービン動翼。30

【請求項 8】

翼最外周ネックから $n - 1$ 番目ネックのネック凹部と $n - 2$ 番目ネックのネック凹部とを結ぶ接線と、半径方向中心線と、のなす角度 b 、

翼最外周ネックから n 番目ネックのネック凹部と $n - 1$ 番目ネックのネック凹部との間の半径方向距離 $H b_n$ 、

翼最内周ネックの周方向ネック幅 $W b_n$ 、

翼最外周ネックから $n - 1$ 番目ネックの周方向ネック幅 $W b_{n-1}$ 、

の関係が、 $W b_n > W b_{n-1} - 2 H b_n \times \tan b$ であることを特徴とする請求項 7 に記載のタービン動翼。40

【請求項 9】

翼最外周フックから n 番目フックと $n - 1$ 番目フックとのフック接触面法線方向距離 $D b_n$ が、

翼最外周フックから i 番目 ($i = 2 \sim n - 1$) フックと $i - 1$ 番目フックとのフック接觸面法線方向距離 $D b_i$ に対して、

$D b_n < D b_i$ の関係に形成されていることを特徴とする請求項 7 または 8 に記載のタービン動翼。

【請求項 10】

翼最外周フックから $n - 1$ 番目フックのフック凸部と $n - 2$ 番目フックのフック凸部とを結ぶ接線に対して、50

翼最内周フックのフック凸部が、前記接線よりも周方向に対して凸に形成されていることとを特徴とする請求項7～9の何れかに記載のタービン動翼。

【請求項11】

翼最内周フックにおける動翼とロータとが接触するフック接触面距離L_{b_n}が、翼最外周フックからi番目(i=2～n-1)フックにおける動翼とロータとが接触するフック接触面距離L_{b_i}に対して、

L_{b_n} > L_{b_i}の関係に形成されていることを特徴とする請求項7～10の何れかに記載のタービン動翼。

【請求項12】

翼フックにおける翼とロータとが接触する接触面と、前記接触面の内周側に位置する非接触面とが、直線部とその両端の円弧部により連結された構造であることを特徴とする請求項7～11の何れかに記載のタービン動翼。

10

【請求項13】

翼植え込み部のロータへの挿入角度が、ロータの軸方向に対して傾斜していることを特徴とする請求項7～12の何れかに記載のタービン動翼。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、軸方向に挿入する逆クリスマスツリー型タービン翼植込み部を有するターピンロータとタービン動翼に関する。

20

【背景技術】

【0002】

蒸気タービンの大容量化と高性能化とを図るため、蒸気タービンの低圧最終段の長翼化が進められている。長翼化に伴う遠心応力の増加に対して、翼溝の発生応力を低減するために、翼溝の拡大化が行われている。

【0003】

しかし、翼溝の拡大化に伴い、ロータ溝の半径方向深さが深くなるため、ロータの加工が困難になり、ロータ溝を切削するための機械加工治具に高い剛性が要求される。

【0004】

特に、ロータ最内周フックにおける周方向フック幅が、充分に大きくない場合には、溝カッタの最下部は軟弱で可撓性を有することになる。

30

【0005】

こうしたことにより、ロータ切削中に溝カッタが折損し、ロータが使用不能となる可能性があり、また、溝カッタの撓みにより、ロータフックの接触部を余分に切削し、ロータフックが所定の割合の荷重を分担することができない可能性があり、信頼性に悪影響を与える可能性がある。

【0006】

したがって、逆クリスマスツリー型タービン翼植込み部を有するターピンロータでは、ロータ最内周フックの周方向フック幅を拡大し、ロータ切削中の溝カッタの折損を防止する必要がある。

40

【0007】

溝カッタの折損を防止する技術としては、例えば、特許文献1に記載されるものがあり、特許文献1には、ロータ最内周フックの周方向フック幅を、翼最内周ネックの周方向ネック幅に対して、大きく形成し、翼ネックとロータフックとの最内周対向表面間にスペースを形成する構造が開示されている。この他、特許文献2や特許文献3が知られている。

【0008】

【特許文献1】特公平7-72485号公報

【特許文献2】特許第2877150号公報

【特許文献3】特開平5-86805号公報

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかし、ロータの切削を容易にするために、翼ネックとロータフックとの最内周対向表面間に広いスペースを形成すると、翼とロータとが接触するフック接触面距離が減少して、ロータ最内周フックの接触面圧が増加するという問題点があった。

【0010】

そこで、本発明は、逆クリスマスツリー型タービン翼植込み部を有する構造の蒸気タービンであって、ロータ最内周フックの周方向フック幅を拡大しても、ロータ切削中の溝力ツタの折損を防止すると共に、ロータ最内周フックの接触面圧を低減することが可能なタービンロータやタービン動翼を提供するものである。

10

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明のタービンロータは、フック数 n が $n \geq 3$ である翼フック及び翼ネックを有する逆クリスマスツリー型タービン翼植込み部に対して嵌め合い構造のロータフック及びロータネックを有するものであって、ロータ最外周フックから $n - 1$ 番目フックのフック凸部と $n - 2$ 番目フックのフック凸部とを結ぶ接線に対して、ロータ最内周フックのフック凸部が、前記接線よりも周方向に対して凹に形成されており、ロータフックにおける翼とロータとが接触する接触面と、前記接触面の外周側に位置する非接触面とが、直線部とその両端の円弧部により連結された構造を有する。

20

【0012】

そして、ロータ最外周フックから $n - 1$ 番目フックのフック凸部と $n - 2$ 番目フックのフック凸部とを結ぶ接線と、半径方向中心線と、のなす角度 α 、ロータ最外周フックから n 番目フックのフック凸部と $n - 1$ 番目フックのフック凸部との間の半径方向距離 $H r_n$ 、ロータ最内周フックの周方向フック幅 $W r_n$ 、ロータ最外周フックから $n - 1$ 番目フックの周方向フック幅 $W r_{n-1}$ の関係が、 $W r_n > W r_{n-1} - 2 H r_n \times \tan \alpha$ であることが好ましい。

【0013】

さらに、ロータ最外周フックから n 番目フックと $n - 1$ 番目フックとのフック接触面法線方向距離 $D r_n$ が、ロータ最外周フックから i 番目 ($i = 2 \sim n - 1$) フックと $i - 1$ 番目フックとのフック接触面法線方向距離 $D r_i$ に対して、 $D r_n < D r_i$ の関係に形成されていることが好ましい。

30

【0014】

また、ロータ最外周ネックから $n - 1$ 番目ネックのネック凹部と $n - 2$ 番目ネックのネック凹部とを結ぶ接線に対して、ロータ最内周ネックのネック凹部が、前記接線よりも周方向に対して凹に形成されていることが好ましい。

【0015】

また、ロータ最内周フックにおける動翼とロータとが接触するフック接触面距離 $L r_n$ が、ロータ最外周フックから i 番目 ($i = 2 \sim n - 1$) フックにおける動翼とロータとが接触するフック接触面距離 $L r_i$ に対して、 $L r_n > L r_i$ の関係に形成されていることが好ましい。

40

【0016】

また、ロータフックにおける翼とロータとが接触する接触面と、前記接触面の外周側に位置する非接触面とが、直線部とその両端の円弧部により連結された構造であることが好ましい。

【0017】

また、翼との嵌め合い挿入角度が、ロータの軸方向に対して傾斜していることが好ましい。

【0018】

本発明の逆クリスマスツリー型であるタービン動翼は、ロータフック及びロータネック

50

を有するタービンロータに対して、嵌め合い構造を有するフック数 n が $n = 3$ である翼フック及び翼ネックを有するものであって、翼最外周ネックから $n - 1$ 番目ネックのネック凹部と $n - 2$ 番目ネックのネック凹部とを結ぶ接線に対して、翼最内周ネックのネック凹部が、前記接線よりも周方向に対して凸に形成されている。

【0019】

そして、翼最外周ネックから $n - 1$ 番目ネックのネック凹部と $n - 2$ 番目ネックのネック凹部とを結ぶ接線と、半径方向中心線と、のなす角度 b ，翼最外周ネックから n 番目ネックのネック凹部と $n - 1$ 番目ネックのネック凹部との間の半径方向距離 $H b_n$ ，翼最内周ネックの周方向ネック幅 $W b_n$ ，翼最外周ネックから $n - 1$ 番目ネックの周方向ネック幅 $W b_{n-1}$ の関係が、 $W b_n > W b_{n-1} - 2 H b_n \times \tan b$ であることが好ましい。 10

【0020】

さらに、翼最外周フックから n 番目フックと $n - 1$ 番目フックとのフック接触面法線方向距離 $D b_n$ が、翼最外周フックから i 番目 ($i = 2 \sim n - 1$) フックと $i - 1$ 番目フックとのフック接触面法線方向距離 $D b_i$ に対して、 $D b_n < D b_i$ の関係に形成されていることが好ましい。

【0021】

また、翼最外周フックから $n - 1$ 番目フックのフック凸部と $n - 2$ 番目フックのフック凸部とを結ぶ接線に対して、翼最内周フックのフック凸部が、前記接線よりも周方向に対して凸に形成されていることが好ましい。

【0022】

また、翼最内周フックにおける動翼とロータとが接触するフック接触面距離 $L b_n$ が、翼最外周フックから i 番目 ($i = 2 \sim n - 1$) フックにおける動翼とロータとが接触するフック接触面距離 $L b_i$ に対して、 $L b_n > L b_i$ の関係に形成されていることが好ましい。

【0023】

また、翼フックにおける翼とロータとが接触する接触面と、前記接触面の内周側に位置する非接触面とが、直線部とその両端の円弧部により連結された構造であることが好ましい。

【0024】

また、翼植え込み部のロータへの挿入角度が、ロータの軸方向に対して傾斜していることが好ましい。 30

【発明の効果】

【0025】

本発明により、逆クリスマスツリー型タービン翼植込み部を有する構造の蒸気タービンにおいて、ロータ最内周フックの周方向フック幅を拡大しても、ロータ切削中の溝カッタの折損を防止すると共に、ロータ最内周フックの接触面圧を低減することが可能なタービンロータやタービン動翼を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、本発明の一形態を実施例として説明する。 40

【実施例1】

【0027】

図1を用いて、以下、本実施例で説明するタービン動翼1とタービンロータ3との関係を説明する。

【0028】

図1では、フック数 n として、 $n = 4$ の場合について説明する。

【0029】

タービンロータ3は、翼フック及び翼ネックを有する逆クリスマスツリー型タービン翼植込み部2に対して、嵌め合い構造のロータフック14及びロータネック16を有する。

【0030】

10

20

30

40

50

タービン動翼 1 は、ロータの中心方向に延びる逆クリスマスツリー型であり、ロータフック 1 4 及びロータネック 1 6 を有するタービンロータ 3 に対して、嵌め合い構造を形成する翼フック及び翼ネックを有する。

【 0 0 3 1 】

図 1 (a) に記載される C F は遠心力を示し、その矢印は遠心力の方向を示す。

【 0 0 3 2 】

また、図中の $W r_n$ はロータ最内周フックの周方向フック幅、 $W r_{n-1}$ はロータ最外周フックから $n - 1$ 番目（本実施例では 3 番目）フックの周方向フック幅、 $W b_n$ は翼最内周ネックの周方向ネック幅、 $W b_{n-1}$ は翼最外周ネックから $n - 1$ 番目（本実施例では 3 番目）ネックの周方向ネック幅をそれぞれ示す。

10

【 0 0 3 3 】

図 1 (a) の点線 b の拡大図を図 1 (b) に、図 1 (a) の点線 c の拡大図を図 1 (c) にそれぞれ示す。

【 0 0 3 4 】

そして、本実施例で説明するタービンロータ 3 は、ロータ最外周フックから、3 番目のフック凸部 1 5 b と、2 番目のフック凸部 1 5 c と、を結ぶ接線に対して、ロータ最内周フックのフック凸部 1 5 a が、この接線 1 3 よりも周方向に対して凹に形成されている。

【 0 0 3 5 】

そして、本実施例で説明するタービン動翼 1 は、翼最外周ネックから、3 番目のネック凹部と、2 番目のネック凹部と、を結ぶ接線に対して、翼最内周ネックのネック凹部が、この接線よりも周方向に対して凸に形成されている。

20

【 0 0 3 6 】

なお、逆クリスマスツリー型タービン翼植込み部 2 は、翼側とロータ側との溝に複数のフックが形成されており、翼側溝を翼の軸方向に挿入して、翼とロータとのフックを互いに噛み合わせ、翼の遠心力を支える構造とする。

【 0 0 3 7 】

なお、翼とロータとは、半径方向中心線 4 に対し対称構造である。

【 0 0 3 8 】

また、ロータ最外周フックから $n - 1$ 番目（本実施例では 3 番目）フックのフック凸部と $n - 2$ 番目（本実施例では 2 番目）フックのフック凸部とを結ぶ接線 1 3 と、半径方向中心線 4 と、のなす角度 r 、ロータ最外周フックから n 番目（本実施例では 4 番目）フックのフック凸部と $n - 1$ 番目（本実施例では 3 番目）フックのフック凸部との間の半径方向距離 $H r_n$ 、ロータ最内周フックの周方向フック幅 $W r_n$ 、ロータ最外周フックから $n - 1$ 番目（本実施例では 3 番目）フックの周方向フック幅 $W r_{n-1}$ の関係は、 $W r_n > W r_{n-1} - 2 H r_n \times \tan r$ である。

30

【 0 0 3 9 】

なお、図 1 (b) 中では、対象構造のため $W r_n$ 及び $W r_{n-1}$ は、2 分の 1 の値で示している。

【 0 0 4 0 】

また、翼最外周ネックから $n - 1$ 番目（本実施例では 3 番目）ネックのネック凹部と $n - 2$ 番目（本実施例では 2 番目）ネックのネック凹部とを結ぶ接線と、半径方向中心線 4 と、のなす角度 b 、翼最外周ネックから n 番目（本実施例では 4 番目）ネックのネック凹部と $n - 1$ 番目（本実施例では 3 番目）ネックのネック凹部との間の半径方向距離 $H b_n$ 、翼最内周ネックの周方向ネック幅 $W b_n$ 、翼最外周ネックから $n - 1$ 番目（本実施例では 3 番目）ネックの周方向ネック幅 $W b_{n-1}$ の関係は、 $W b_n > W b_{n-1} - 2 H b_n \times \tan b$ である。

40

【 0 0 4 1 】

また、ロータ最外周フックから n 番目（本実施例では 4 番目）フックと $n - 1$ 番目（本実施例では 3 番目）フックとのフック接触面法線方向距離 $D r_n$ が、ロータ最外周フックから i 番目（ $i = 2 \sim n - 1$ ）（本実施例では 2 番目又は 3 番目）フックと $i - 1$ 番目

50

(本実施例では 1 番目又は 2 番目) フックとのフック接触面法線方向距離 $D r_i (= D r_{n-1})$ に対して、 $D r_n < D r_i$ の関係に形成されている。

【 0 0 4 2 】

なお、 $D r_{n-1}$ は、ロータ最外周フックから $n - 1$ 番目フックと $n - 2$ 番目フックとのフック接触面法線方向距離である。

【 0 0 4 3 】

また、翼最外周フックから n 番目(本実施例では 4 番目) フックと $n - 1$ 番目(本実施例では 3 番目) フックとのフック接触面法線方向距離 $D b_n$ が、翼最外周フックから i 番目($i = 2 \sim n - 1$)(本実施例では 2 番目又は 3 番目) フックと $i - 1$ 番目(本実施例では 1 番目又は 2 番目) フックとのフック接触面法線方向距離 $D b_i (= D b_{n-1})$ に対して、 $D b_n < D b_i$ の関係に形成されている。10

【 0 0 4 4 】

なお、 $D b_{n-1}$ は、翼最外周フックから $n - 1$ 番目フックと $n - 2$ 番目フックとのフック接触面法線方向距離である。

【 0 0 4 5 】

また、ロータ最外周ネックから $n - 1$ 番目(本実施例では 3 番目) ネックのネック凹部と $n - 2$ 番目(本実施例では 2 番目) ネックのネック凹部とを結ぶ接線に対して、ロータ最内周ネックのネック凹部が、前記接線よりも周方向に対して凹に形成されている。

【 0 0 4 6 】

また、翼最外周フックから $n - 1$ 番目(本実施例では 3 番目) フックのフック凸部と $n - 2$ 番目(本実施例では 2 番目) フックのフック凸部とを結ぶ接線に対して、翼最内周フックのフック凸部が、前記接線よりも周方向に対して凸に形成されている。20

【 0 0 4 7 】

また、ロータ最内周フックにおける動翼とロータとが接触するフック接触面距離 $L r_n$ が、ロータ最外周フックから i 番目($i = 2 \sim n - 1$)(本実施例では 2 番目又は 3 番目) フックにおける動翼とロータとが接触するフック接触面距離 $L r_i (= L r_{n-1}$ 又は $L r_{n-2})$ に対して、 $L r_n > L r_i$ の関係に形成されている。

【 0 0 4 8 】

なお、 $L r_{n-1}$ はロータ最外周フックから $n - 1$ 番目フックにおける動翼とロータが接触するフック接触面距離である。30

【 0 0 4 9 】

また、翼最内周フックにおける動翼とロータとが接触するフック接触面距離 $L b_n$ が、翼最外周フックから i 番目($i = 2 \sim n - 1$)(本実施例では 2 番目又は 3 番目) フックにおける動翼とロータとが接触するフック接触面距離 $L b_i (= L b_{n-1}$ 又は $L b_{n-2})$ に対して、 $L b_n > L b_i$ の関係に形成されている。

【 0 0 5 0 】

なお、 $L b_{n-1}$ は、翼最外周フックから $n - 1$ 番目フックにおける動翼とロータが接触するフック接触面距離である。

【 0 0 5 1 】

タービンロータ 3 のフックでは、ロータフック接触面 5 と、このフックの外周側に位置するロータフック非接触面 6 とがロータフック円弧 7 により連結された構造を有している。40

【 0 0 5 2 】

また、タービン動翼 1 のフックでは、動翼フック接触面 9 と、このフックの内周側に位置する動翼フック非接触面 10 とが、動翼フック円弧 11 により連結された構造を有している。

【 0 0 5 3 】

タービン動翼 1 との嵌め合い挿入角度は、タービンロータ 3 の軸方向に対して傾斜し、また、逆クリスマスツリー型タービン翼植え込み部 2 のタービンロータ 3 への挿入角度が、タービンロータ 3 の軸方向に対して傾斜している。50

【 0 0 5 4 】

従来構造では、全てのフック凸部 15 が、半径方向中心線 4 から所定の角度 r を有した一本の接線に接する形状に形成されていたが、本実施例では、ロータ最内周フックの周方向フック幅 $W r_n$ を、従来構造より拡大している。

【 0 0 5 5 】

図 1 に示すように、ロータ最外周フックから $n - 1$ 番目（本図では 3 番目）フック 14b のフック凸部 15b と $n - 2$ 番目（本図では 2 番目）フック 14c のフック凸部 15c を結ぶ接線 13 と半径方向中心線 4 とのなす角度を r 、ロータ最外周フックから n 番目（本図では最内周）フック 14a のフック凸部 15a と $n - 1$ 番目（本図では 3 番目）フック 14b のフック凸部 15b との間の半径方向距離を $H r_n$ と定義すると、このとき、
ロータ最内周フックの周方向フック幅 $W r_n$ が、ロータ最外周フックから $n - 1$ 番目（本図では 3 番目）フックの周方向フック幅 $W r_{n-1}$ に対し、 $W r_n > W r_{n-1} + 2 H r_n \times \tan r$ の関係に形成されている。
10

【 0 0 5 6 】

つまり、フック凸部 15b と 15c を結ぶ接線 13 とロータ最内周フックのフック凸部 15a との間に、周方向に対して、 $W r_s$ （フック凸部を結ぶ接線とロータ最内周フックのフック凸部との間の周方向距離）のスペースを形成することで、ロータ最内周フックの周方向フック幅 $W r_n$ を従来構造に比べて、周方向に $2 W r_s$ 拡大していることになる。

【 0 0 5 7 】

なお、 $W b_s$ は、翼ネック凹部を結ぶ接線と翼最内周ネックのネック凹部との周方向距離である。
20

【 0 0 5 8 】

このような構造を採用することにより、溝カッタの最下部の剛性を高めることができ、ロータ切削中の溝カッタの折損防止を図り、撓みによる製作公差の拡大を防止し、機械加工精度の向上とロータ切削とを容易にできると考える。

【 0 0 5 9 】

図 1 (c) で用いた、符号 8 はロータネック円弧、9 は翼フック接触面、10 は翼フック非接触面、11 は翼フック円弧、12 は翼ネック円弧である。

【 0 0 6 0 】

また、 $L r_i$ はロータ最外周フックから i 番目フックのフック接触面距離、 $L b_i$ は翼最外周フックから i 番目フックのフック接触面距離、 $R r_i$ はロータ最外周フックから i 番目フックの半径方向フック長さ、 $R b_i$ は翼最外周フックから i 番目フックの半径方向フック長さである。
30

【 0 0 6 1 】

また、ロータ最外周フックから n 番目（本図では最内周）フックと $n - 1$ 番目（本図では 3 番目）フックとのフック接触面法線方向距離 $D r_n$ が、ロータ最外周フックから i 番目（ $i = 2 \sim n - 1$ ）フックと $i - 1$ 番目フックとのフック接触面法線方向距離 $D r_i$ に対し、 $D r_n < D r_i$ ($i = 2 \sim n - 1$) の関係に形成されている。

【 0 0 6 2 】

一般に、フックおよびネックを形成する接触角 1 及び非接触角 2 を固定した条件で、ロータ最内周フックの周方向フック幅 $W r_n$ を拡大する構造として、図 2 (a) および (b) に示す 2 つの構造が挙げられる。
40

【 0 0 6 3 】

なお、1 はフックおよびネックを形成する接触角であり、2 はフックおよびネックを形成する非接触角である。

【 0 0 6 4 】

以下に、両構造を比較検討した結果について述べる。

【 0 0 6 5 】

図 2 (a) は、ロータ最内周フックの非接触面 6 の距離を短縮し、 $D r_n < D r_i$ (= $D r_{n-1}$) の関係に形成したものである。
50

【0066】

一方、図2(b)は、ロータ最外周フックからn-1番目フックのフック接触面距離 Lr_{n-1} を増加した構造であり、 $D_{rn} = D_{ri}$ (= $D_{r_{n-1}}$)の関係にある。

【0067】

ロータ最外周フックからn番目フックのフック凸部とn-1番目フックのフック凸部との間の半径方向距離 Hr_n を、前記(a)と(b)との構造で比較した場合、(b)構造の Hr_{nb} は(a)構造の Hr_{na} に比べて長く形成される。したがって、ロータ溝半径方向深さが、(b)構造は(a)構造に比べて深く形成されることになる。

【0068】

なお、 Hr_{na} は、図2(a)構造のロータ最外周フックからn番目フックのフック凸部とn-1番目フックのフック凸部のフック凸部間半径方向距離であり、 Hr_{nb} は、図2(b)構造のロータ最外周フックからn番目フックのフック凸部とn-1番目フックのフック凸部のフック凸部間半径方向距離である。10

【0069】

ロータ溝半径方向深さが深いほど、ロータ切削時の溝カッタの可撓性は増し、製作公差が大きくなる可能性があるため、ロータ溝の切削難易度は上がる。また、ロータ溝半径方向深さが深いほど、ロータ溝全体の切削量が増加するため、切削時間が増加する。したがって、こうしたことから、本実施例で紹介した構造(a)が優れていることがわかる。

【0070】

さらに、ロータ溝半径方向深さが深いほど、ロータ最内周ネックの周方向幅が減少するため、ロータ最内周ネックの引張応力が増大する。20

【0071】

したがって、ロータ最外周フックからn番目フックとn-1番目フックとのフック接触面法線方向距離 D_{rn} を短く形成し、ロータ溝半径方向深さを浅く形成する図2(a)構造を採用することで、切削をより容易にする効果と応力低減効果とが期待される。

【0072】

他の特徴は、ロータ最内周フックのフック接触面距離 Lr_n が、ロータ最外周フックからi番目($i = 2 \sim n - 1$)フックのフック接触面距離 Lr_i に対して、 $Lr_n > Lr_i$ ($i = 2 \sim n - 1$)の関係に形成されている点である。

【0073】

ロータ最内周フックのフック接触面距離 Lr_n を長く形成すると、図1(c)に示す接点aは、ロータフック接触面5に沿って内周側へ移動するため、ロータ最内周フックの半径方向フック長さ Rr_n は長く形成される。30

【0074】

応力解析により、翼とロータとの適正化を図った形状では、ロータ最内周フックの荷重分担が、平均荷重分担よりも高くなることが分かっている。

【0075】

したがって、荷重分担の大きなロータ最内周フックの半径方向フック長さ Rr_n とロータ最内周フックのフック接触面距離 Lr_n とを長く形成することで、ロータ最内周フックに発生するせん断応力と接触面圧とを低減し、フック間の応力適正化を図る効果が期待できる。40

【0076】

なお、ロータ最内周フックの半径方向フック長さ Rr_n として、図1(c)に示すように、ロータ最外周フックからi番目($i = 2 \sim n$)のロータフック14において、ロータフック接触面5とロータネック16を構成するロータネック円弧8とが内接する接点をaとする。

【0077】

この接点aを起点に、逆クリスマスツリー型ターピン翼植込み部2の中心を通る半径方向中心線4と平行な線とロータフック非接触面6との交点をbとしたとき、接点aから接点bまでの距離を半径方向フック長さ Rr_i と定義した。50

【 0 0 7 8 】

以下に、フック数 n として、 $n = 4$ の場合の有限要素法（FEM）解析による計算結果を用いて、加工性の向上と応力バランス適正化との両立を図った本実施例構造の効果について説明する。

【 0 0 7 9 】

翼溝の拡大パラメータ α を、翼最外周ネックの周方向ネック幅 W_{b1} と翼根元部の翼一本分周方向幅 W_p の比 (W_{b1} / W_p) と定義する。

【 0 0 8 0 】

図3は、翼溝の拡大パラメータ α と、 $\alpha = 0.37$ の遠心力によるピーク応力を基準としたピーク応力比との関係を示している。

10

【 0 0 8 1 】

ピーク応力比は、翼溝を拡大する（拡大）に従い、翼（図3中P2），ロータ（図3中P1）共に、減少する傾向にある。

【 0 0 8 2 】

特に、翼最外周に発生するピーク応力の減少傾向は顕著である。翼最外周は、翼振動により比較的高い応力が発生する位置であり、低サイクル疲労，高サイクル疲労の双方の観点から、翼溝を拡大する（拡大）ことは望ましいと考えられる。

【 0 0 8 3 】

しかし、 α を大きくしすぎた場合には、ロータ溝の周方向断面積が充分に確保できず、ロータネック16の引張応力およびタービンロータのピーク応力比（図3中P1）が過大になる問題が生じる。

20

【 0 0 8 4 】

一般に、翼材はロータ材に比べて引張強さが強いため、翼一本分周方向幅 W_p に対して、翼最外周ネックの周方向ネック幅 W_{b1} 、いわゆる翼溝の取り合い幅をロータ溝の取り合い幅以下 ($\alpha < 0.50$) に形成することが望ましい。

【 0 0 8 5 】

図3にて、タービンロータのピーク応力比が $\alpha = 0.50$ のピーク応力比以下となる領域は、 $0.42 \leq \alpha \leq 0.50$ に相当する。したがって、翼とロータとの取り合い及びタービンロータのピーク応力比のバランスを図った領域として、 $0.42 \leq \alpha \leq 0.50$ に設計することが望ましい。

30

【 0 0 8 6 】

なお、P1は、タービンロータの遠心力によるピーク応力比曲線であり、P2は、タービン動翼の遠心力によるピーク応力比曲線である。

【 0 0 8 7 】

図4は、翼溝の拡大パラメータ α とFEM解析によるフック荷重分担比率との関係を示している。

【 0 0 8 8 】

フック荷重分担比率は、翼溝を拡大する（拡大）に従い、ロータ最内周フックのフック荷重分担比率（図4中F4）が大きくなり、ロータ中間フックのフック荷重分担比率（図4中F2, F3）が小さくなる傾向にある。

40

【 0 0 8 9 】

この領域 ($0.42 \leq \alpha \leq 0.50$) は、図4にてロータ最内周フックのフック荷重分担比率が、ロータ中間フックのフック荷重分担比率に対して、大きくなる領域に相当する。

【 0 0 9 0 】

したがって、ロータ最内周フックのフック接触面距離 L_{r_n} を、ロータ最外周フックから i 番目 ($i = 2 \sim n - 1$) フックのフック接触面距離 L_{r_i} に対して、 $L_{r_n} > L_{r_i}$ ($i = 2 \sim n - 1$) の関係に形成し、荷重分担の大きなロータ最内周フックの半径方向フック長さ R_{r_n} とロータ最内周フックのフック接触面距離 L_{r_n} とを長く形成することで、せん断応力と接触面圧とを低減し、フック間の応力適正化を図ることができると考える。

【 0 0 9 1 】

50

なお、F1は、ロータ最外周フックのフック荷重分担割合曲線、F2及びF3は、ロータ中間フックのフック荷重分担割合曲線、F4は、ロータ最内周フックのフック荷重分担割合曲線である。

【0092】

次に本実施例の構造と従来構造との応力を具体的に比較した結果について述べる。

【0093】

パラメータとして、ロータ最内周フックのフック接触面距離 Lr_n とロータ最外周フックから $n - 1$ 番目フックのフック接触面距離 Lr_{n-1} とのフック接触面距離比を ($= Lr_n / Lr_{n-1}$) とする。

【0094】

検討した形状は、以下の4ケースである。

【0095】

図5(a)は、従来構造であり、フック接触面距離比 ($= Lr_n / Lr_{n-1}$) = 0.7、フック接触面法線方向距離 $Dr_n = Dr_{n-1}$ 、半径方向フック長さ $Rr_n = Rr_{n-1}$ の関係にある。

【0096】

なお、 Rr_{n-1} は、ロータ最外周フックと $n - 1$ 番目フックとの半径方向フック長さである。

【0097】

図5(b)は、ロータ最内周フックの周方向フック幅 Wr_n を拡大する本実施例の構造であり、フック接触面距離比 ($= Lr_n / Lr_{n-1}$) = 1.0、フック接触面法線方向距離 $Dr_n < Dr_{n-1}$ 、半径方向フック長さ $Rr_n = Rr_{n-1}$ の関係にある。

【0098】

図5(c)は、ロータ最内周フックの周方向フック幅 Wr_n を拡大する図2(b)で示した構造であり、フック接触面距離比 ($= Lr_n / Lr_{n-1}$) = 0.65、フック接触面法線方向距離 $Dr_n = Dr_{n-1}$ 、半径方向フック長さ $Rr_n = Rr_{n-1}$ の関係にある。

【0099】

図5(d)は、本実施例の構造の応力バランスをさらに適正化した構造であり、フック接触面距離比 ($= Lr_n / Lr_{n-1}$) = 1.3、フック接触面法線方向距離 $Dr_n < Dr_{n-1}$ 、半径方向フック長さ $Rr_n > Rr_{n-1}$ の関係にある。

【0100】

図6は、 $\gamma = 0.43$ における前記構造(a), (b), (c), (d)のせん断強度比、引張強度比および接触面圧比を、構造(b)を基準として比較した結果を示している。

【0101】

図6中、L1はターピンロータのせん断強度比曲線、L2はターピンロータの引張強度比曲線、L3はターピンロータの接触面圧比曲線を表す。

【0102】

構造(a)では、荷重分担の大きいロータ最内周フックの周方向フック幅 Wr_n のみを拡大して、翼ネックとロータフックとの最内周対向表面間にスペースを形成する構造であるため、翼とロータとのロータ最内周フックのフック接触面距離 Lr_n が短く、接触面圧比(図6中L3)が許容できないほど大きくなり、面圧の均等化が図られない。

【0103】

一方、本実施例の構造(b)では、翼とロータとのロータ最内周フックのフック接触距離 Lr_n を充分確保できる構造であり、接触面圧比(図6中L3)は低減される。

【0104】

ロータ溝半径方向深さが深い図2(b)で示した構造(c)では、ロータ最内周ネックの周方向フック幅 Wr_n が減少し、引張応力が増加する。したがって、この構造の場合、ロータ最内周フックの周方向フック幅 Wr_n を拡大する構造として、フック接触面法線方向距離が $Dr_n < Dr_i$ の関係に形成される必要がある。

【0105】

最後に、応力バランスの適正化を図った本実施例の構造（d）では、構造（b）からさらに約10%のせん断強度比（図6中L1）と約20%の接触面圧比（図6中L3）の低減効果が期待できる。

【0106】

ただし、 r_n を大きくしすぎた場合には、ロータ最内周ネックの周方向フック幅W_{r_n}が減少し、引張強度比（図6中L2）が過大になるため、 r_n は1.0～1.3が望ましい。

【0107】

以上のことから、ロータ溝の加工性を向上し、応力バランスの適正化を図ったタービンロータは、前記（b）または（d）の構造により達成されることがわかる。 10

【0108】

また、本実施例において、翼の挿入角度をロータの軸方向に対して傾斜させることにより、傾斜角度θの余弦の逆数倍軸方向距離を増加できるため、フックせん断面に発生する応力をより低減することができる。

【0109】

なお、本実施例は、フック数nとして、n=4における効果を説明しているが、n=4以外のフック数でも同様の効果が得られることを確認している。

【0110】

このように、翼溝の応力を低減するために、翼溝を拡大した場合、ロータ溝の半径方向深さが深くなり、ロータ最内周フックの切削が困難になるという問題であったが、本実施例による構造でこうした問題も解決することができる。 20

【0111】

さらに、余分な切削が原因でロータに破損が生じた場合、翼の破損に比べ影響が大きいため、ロータ加工には特に高い加工精度が要求されていたが、こうした問題も本実施例で解決することができる。

【0112】

また、翼溝には、強度設計上、せん断応力、引張応力、ピーク応力、接触面圧など留意すべき評価項目が多数存在しているが、やはり、本実施例により、こうした多数存在する評価項目をクリアすることができる。 30

【0113】

したがって、ロータ最内周フックの加工性の向上と発生応力および面圧の適正化の両立を図るという重要な課題を本実施例の構造は解決することができる。

【実施例2】**【0114】**

図7に本発明の第2実施例を示す。

【0115】

タービンロータ3のロータフックの形状は、ロータフック接触面5とロータフック非接触面6とが、ロータフック直線部17とその両端の円弧部18及び19により連結された構造であってもよい。 40

【0116】

なお、円弧部18は、タービンロータの非接触面側フック部円弧であり、円弧部19は、タービンロータの接触面側フック部円弧である。

【0117】

また、最外周からi番目における翼とロータとの各フック部、ネック部を形成する円弧は、同一円弧である必要はなく、二つの異なる円弧もしくは直線部とその両端との異なる二つの円弧の組合せによって形成されるものでもよい。また、最外周、中間、最内周のロータフックも上記組合せによって形成されるものでもよい。

【産業上の利用可能性】**【0118】**

10

20

30

40

50

本発明は、蒸気タービンに利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0119】

【図1】本実施形態のタービンロータとタービン動翼との関係を示す。

【図2】本実施形態のロータフックおよび翼フックの構造を示す図である。

【図3】溝倍率とピーク応力比との関係を説明する図である。

【図4】溝倍率とフック荷重分担比率との関係を説明する図である。

【図5】実施形態のロータフックおよび翼フックの寸法関係を比較する図である。

【図6】実施形態の効果を説明する図である。

【図7】他の実施形態を示す図である。

10

【符号の説明】

【0120】

1 ... タービン動翼、2 ... 逆クリスマスツリー型タービン翼植込み部、3 ... タービンロータ、4 ... 半径方向中心線、5 ... ロータフック接触面、6 ... ロータフック非接触面、7 ... ロータフック円弧、8 ... ロータネック円弧、9 ... 翼フック接触面、10 ... 翼フック非接触面、11 ... 翼フック円弧、12 ... 翼ネック円弧、13 ... ロータ最外周フックからn-1番目フックのフック凸部とn-2番目フックのフック凸部とを結ぶ接線、14 ... ロータフック、15 ... フック凸部、16 ... ロータネック。

【図1】

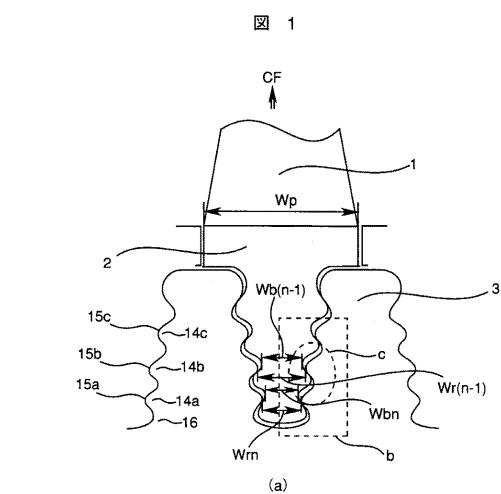


図 1

【図2】

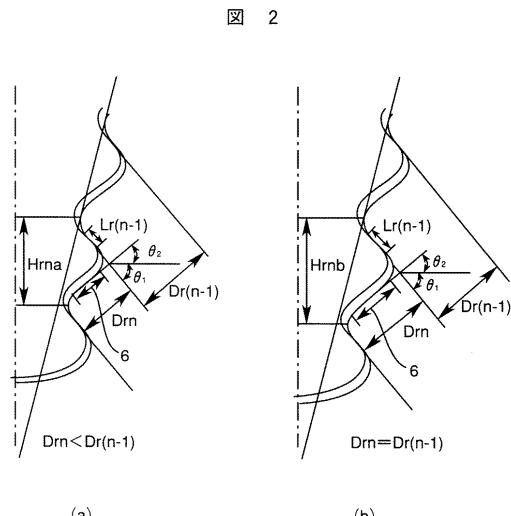
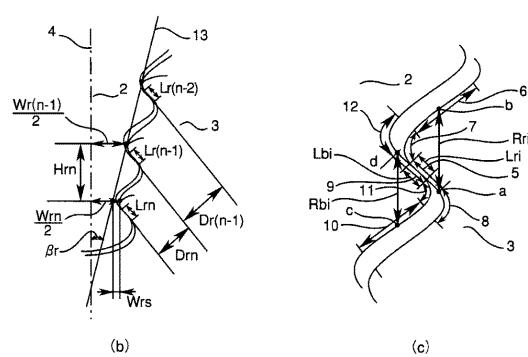
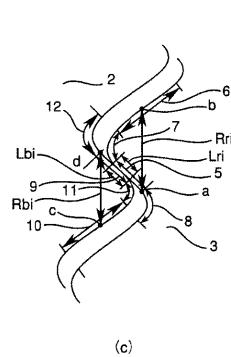


図 2



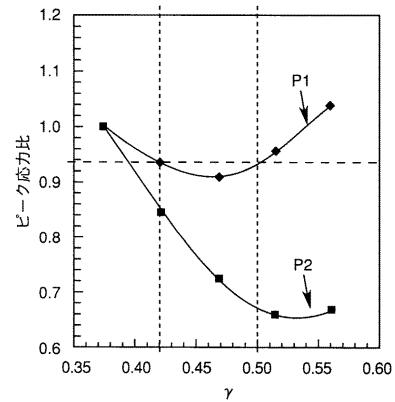
(b)



(c)

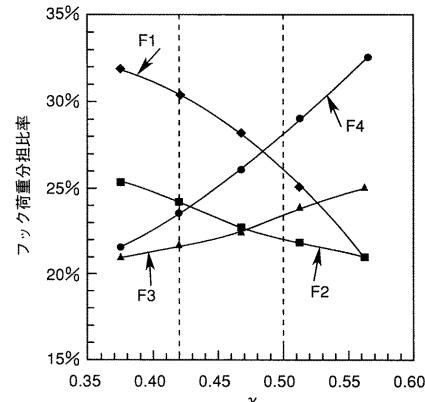
【図3】

図 3



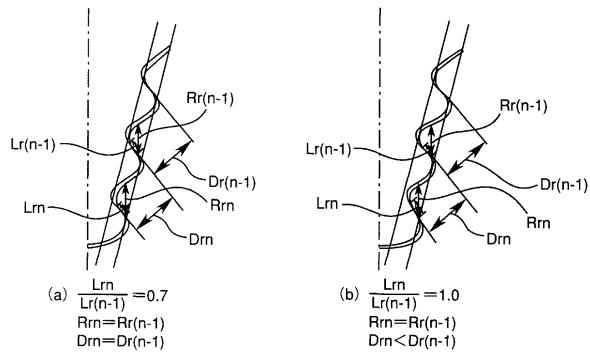
【図4】

図 4



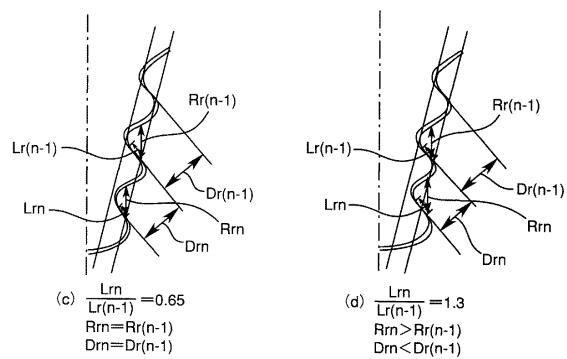
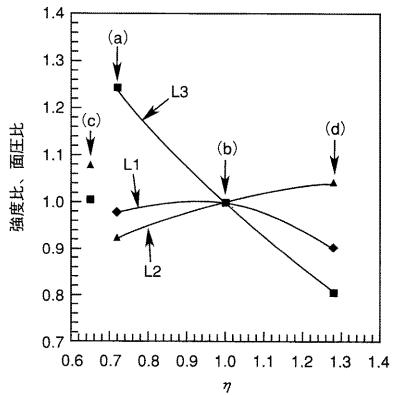
【図5】

図 5



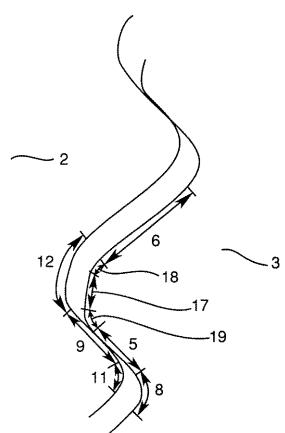
【図6】

図 6



【図7】

図 7



フロントページの続き

(72)発明者 工藤 健

茨城県日立市幸町三丁目1番1号
所内

株式会社 日立製作所 日立事業

(72)発明者 中村 建樹

茨城県日立市幸町三丁目1番1号
所内

株式会社 日立製作所 日立事業

審査官 藤原 弘

(56)参考文献 特開2003-176703(JP,A)

特開平07-077007(JP,A)

特開平05-086805(JP,A)

特公平07-072485(JP,B2)

特許第2877150(JP,B2)

特開昭59-093901(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F01D 5/30-32

F04D 1/00-13/16

F04D 17/00-19/02

F01D 29/00-35/00