

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4869616号
(P4869616)

(45) 発行日 平成24年2月8日 (2012.2.8)

(24) 登録日 平成23年11月25日 (2011.11.25)

(51) Int.Cl.

F I

FO I D 5/30 (2006.01)

FO I D 5/06 (2006.01)

FO I D 5/30

FO I D 5/06

請求項の数 9 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2005-105607 (P2005-105607)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成17年4月1日 (2005.4.1)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2006-283681 (P2006-283681A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成18年10月19日 (2006.10.19)	(74) 代理人	100074631
審査請求日	平成19年5月16日 (2007.5.16)		弁理士 高田 幸彦
前置審査		(72) 発明者	野上 修平
			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	依田 秀夫
			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
		審査官	出口 昌哉
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 蒸気タービン動翼と蒸気タービンロータ及びそれを用いた蒸気タービン並びにその発電プラント

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

翼部と、該翼部の先端に形成されたシュラウドと、タービンロータシャフトへ植え込まれ該タービンロータシャフト径方向に複数段のフックを有する逆クリスマスツリー型である翼根元部と、前記翼部と翼根元部との間に設けられたプラットフォームとを備え、前記翼根元部はタービンロータシャフト軸方向に対して5～12.8度の角度で傾斜して真直ぐに挿入される形状を有し、前記タービンロータシャフト軸方向から見て前記フックの前記タービンロータシャフトの径方向外周側の荷重を受ける面と前記タービンロータシャフトの円周面とのなす角度が39～65度であり、前記角度と前記角度との値は、下記数1により規定される範囲となるように構成されると共に、

$$\frac{500}{195} \times \dots \dots \text{〔数 1〕}$$

前記シュラウドの各々は、隣接する前記シュラウドに対して面圧が発生するように相互に接触させて連結する構造を有することを特徴とする蒸気タービン動翼。

【請求項 2】

請求項 1 において、前記翼部の前記タービンロータシャフト軸方向における断面形状としてリーディングエッジ部先端とトレーリングエッジ部先端とを結ぶ直線が前記タービンロータシャフト軸方向に対して傾斜していることを特徴とする蒸気タービン動翼。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 において、前記翼部の先端にシュラウドを有し、該シュラウドは、前記翼部に一体に形成又はテノンによって一体に結合されていることを特徴とした蒸気タービン動翼。

【請求項 4】

請求項 1 ～ 3 のいずれかにおいて、前記フックは、3 段又は 4 段有することを特徴とした蒸気タービン動翼。

【請求項 5】

軸部と、該軸部に連なる胴部とを有し、該胴部に蒸気タービン動翼を植え込むディスク状でクリスマスツリー型である植え込み部として前記胴部の径方向に複数段のフックを有する蒸気タービンロータシャフトにおいて、

前記植え込み部は、前記蒸気タービン動翼の翼根元部の形状に類似した凹部を有し、前記翼根元部をタービンロータ軸方向に対して 5 ～ 12.8 度の角度 で傾斜して真直ぐに挿入される形状を有し、

前記タービンロータシャフト軸方向から見て前記フックの前記タービンロータシャフトの径方向内周側の荷重を受ける面と前記タービンロータシャフトの円周面とのなす角度が 39 ～ 65 度であり、前記角度と前記角度との値は、下記数 1 により規定される範囲となるように構成されると共に、

$$\frac{500}{x} \times 195 \dots\dots \text{〔数 1〕}$$

前記蒸気タービン動翼は、翼部の先端に設けられたシュラウドの各々が隣接する前記シュラウドに対して面圧が発生するように相互に接触させて連結する構造を有することを特徴とする蒸気タービンロータシャフト。

【請求項 6】

軸部に連なる胴部にディスク状の植え込み部として前記胴部の径方向に複数段のフックを有する蒸気タービンロータシャフトと、前記植え込み部に植え込まれた蒸気タービン動翼とを有する蒸気タービンにおいて、前記蒸気タービンロータシャフトが請求項 5 に記載の蒸気タービンロータシャフトよりなり、前記蒸気タービン動翼の少なくとも 1 段の全部が請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の蒸気タービン動翼よりなることを特徴とする蒸気タービン。

【請求項 7】

請求項 6 において、前記蒸気タービン動翼の全段が請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の蒸気タービン動翼よりなることを特徴とする蒸気タービン。

【請求項 8】

請求項 5 において、前記シュラウドは、前記翼部に一体に形成又はテノンによって一体に結合されていることを特徴とする蒸気タービン。

【請求項 9】

高圧タービン-中圧タービン-低圧タービン、高中圧一体型タービン-低圧タービン、及び高低圧一体型タービンのいずれかを有し、前記高圧タービン、中圧タービン、高中圧一体型タービン、低圧タービン及び高低圧一体型タービンの少なくとも一つが請求項 6 ～ 8 のいずれかに記載の蒸気タービンによって構成されることを特徴とする蒸気タービン発電プラント。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、新規な蒸気タービン動翼と蒸気タービンロータ及びそれを用いた蒸気タービン並びにその発電プラントに関する。

【背景技術】

【0002】

図 9 は、従来の蒸気タービン動翼のタービンロータへの植え込み状況を示す斜視図である。蒸気タービンに用いられるタービン動翼は、その翼根元部 4 に様々な形状を形成し、翼根元部 4 と同形状の翼溝 5 に翼根元部 4 を係合し取り付けられる。翼根元部 4 の 1 つの

10

20

30

40

50

構造としては、縦の木状の軸方向挿入型の翼根元部がある。タービン動翼の翼頂部には、蒸気の漏洩損失量の低減の目的でシュラウド 1 が設けられている。シュラウド 1 は、従来、動翼プロファイル部を示す翼部 2 とは別部材であり、翌頂部に形成されたテノン 6 と呼ばれる部位をかしめることによってシュラウド 1 と翼部 2 とが結合される。

【 0 0 0 3 】

タービン動翼全体に作用する遠心力は、殆どの場合、翼根元部 4 と翼溝 5 との嵌め合い部にて支持されている。従って、縦の木状の軸方向挿入型の翼根元部 4 を有するタービン動翼の場合、翼根元部 4 と翼溝 5 に形成された切り欠き部には、遠心力に起因する高い局所応力が発生する。このため、タービンの損傷モードの一つである疲労に対しては、切り欠き部が最も危険な部位となり、タービン全体の寿命を決定する場合がある。

10

【 0 0 0 4 】

このような問題を解決するために、縦の木状の軸方向挿入型の翼根元部 4 を有するタービン動翼の翼根元部 4 と翼溝 5 に形成された切り欠き部に発生する局所応力を低減し、疲労寿命を改善する方法として、特許文献 1 に、切り欠き底部の曲率を大きくし局所応力を低減させる構造が記載されている。

【 0 0 0 5 】

図 10 は従来の蒸気タービン動翼構造をタービンロータ径方向側から見た翼部とその付根であるプラットフォームの平面図である。即ち、特許文献 2 においては、図 10 に示すように、タービンロータ径方向から見た翼部 2 の付根であるプラットフォーム 9 の平面形状がタービンロータ軸方向に対して傾斜した構造が示されている。

20

【 0 0 0 6 】

【特許文献 1】特開昭 54-96618 号公報

【特許文献 2】特開平 8-260902 号公報

【非特許文献 1】日本材料学会編 疲労設計便覧、p 117、養賢堂

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

図 9 に示すように、タービンロータ径方向から見た動翼プロファイル部の付根であるプラットフォーム 9 の平面形状が四角形の場合、タービンロータ外周部の限られた領域に多くのタービン動翼を設けることができないが、図 10 に示すように軸方向挿入型のプラットフォーム 9 の形状をタービンロータ径方向から見た平面形状を平行四辺形とし、プラットフォーム 9 をタービンロータ軸方向に対して 0 度より大きい一定の角度をなす方向に設定することによりタービンロータ外周部の限られた領域に多くのタービン動翼を設けることができる。しかし、従来の翼根元部 4 の挿入部の形状と挿入方向については不明である。

30

【 0 0 0 8 】

従来、翼部 2 とシュラウド 1 が一体成型され、全周の動翼を相互に接触させて連結する構造（以後、インテグラルカバー構造と呼ぶ）を有するタービン動翼には、タービンロータ径方向を中心軸としてタービン動翼に弾性変形内でねじり変形を与えてタービン動翼をタービンロータに組み込み、組み込み後は、ねじり戻り力により隣接する動翼のシュラウドの相対する面との間に面圧を発生させることにより、インテグラルカバー構造としているものがある。このねじり戻り力は、殆どの場合、翼根元部 4 と翼溝 5 との接触部において固定されるため、ねじり戻り力が翼根元部 4 と翼溝 5 とにそれぞれ形成されたフック同士の接触面に発生する摩擦力を上回る場合、接触面間で相対すべりが生じ、図 11 の蒸気タービン動翼において翼根元部と翼溝の切り欠き底部の局所応力発生部位と相対する部位とが接触した場合を示すタービンロータ軸方向から見た断面図に示すように、翼根元部 4 と翼溝 5 の切り欠き底部の局所応力発生部位と相対する部位とが接触する場合がある。例えば、非特許文献 1 によれば、当該部に物体がある面圧のもと接触した場合にはフレット疲労が生じ、単純な疲労と比較して破損繰返し数が 10 分の 1 以下になる可能性がある。

40

50

【 0 0 0 9 】

又、本発明において、軸方向挿入型の樫の木状の翼根元部をタービンロータ軸方向に対して0度より大きい一定の角度をなす方向に挿入する場合には、タービンロータ軸方向に平行に翼根元部を挿入する場合と比較して、翼根元部と翼溝とに形成された切り欠き底部に発生する局所応力が増大するため、疲労寿命が低下する可能性があった。

【 0 0 1 0 】

更に、インテグラルカバー構造を有するタービン動翼においては、翼根元部4と翼溝5の切り欠き底部の局所応力発生部位と相対する部位とが接触し、運転中にフレット疲労を生じ、タービン動翼の寿命がいわゆる疲労寿命に比べて低下する可能性があるため、運転中における当該部の接触の抑制が必要であった。

10

【 0 0 1 1 】

本発明の目的は、軸方向挿入型の樫の木状の翼根元部を有し、翼根元部をタービンロータ軸方向に対して5～12.8度の所定の角度をなす方向とすることによりタービンロータシャフト外周部の限られた領域に多くのタービン動翼を設けることができることにより、翼根元部と翼溝とに形成される切り欠き底部に発生する局所応力を抑制すると共に、翼根元部及び翼溝の切り欠き底部の局所応力発生部位と相対する部位とが接触することによるフレット疲労の発生を抑制する蒸気タービン動翼と蒸気タービンロータシャフト及びそれを用いた蒸気タービン並びにその発電プラントを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

20

本発明は、翼部と、該翼部の先端に形成されたシュラウドと、タービンロータシャフトへ植え込まれ該タービンロータシャフト径方向に複数段のフックを有する逆クリスマスツリー型である翼根元部と、前記翼部と翼根元部との間に設けられたプラットフォームとを備え、

前記翼根元部はタービンロータシャフト軸方向に対して5～12.8度の角度で傾斜して真直ぐに挿入される形状を有し、

前記タービンロータシャフト軸方向から見て前記フックの前記タービンロータシャフトの径方向外周側の荷重を受ける面と前記タービンロータシャフトの円周面とのなす角度が39～65度であり、前記角度と前記角度との値は、下記数1により規定される範囲となるように構成されると共に、

30

$$\frac{500}{195} \times \dots \dots \text{〔数1〕}$$

前記シュラウドの各々は、隣接する前記シュラウドに対して面圧が発生するように相互に接触させて連結する構造を有することを特徴とする蒸気タービン動翼にある。

【 0 0 1 4 】

前記翼部の前記タービンロータ軸方向における断面形状としてリーディングエッジ部先端とトレーリングエッジ部先端とを結ぶ直線が前記タービンロータ軸方向に対して傾斜していることが好ましい。

【 0 0 1 5 】

前記翼根元部は、前記プラットフォーム側より逆クリスマスツリー型を有すること、更に、前記プラットフォームは、前記角度をなして挿入される形状を有することが好ましい。

40

【 0 0 1 8 】

前記翼部の先端にシュラウドを有し、シュラウドは前記翼部に一体に形成又はテノンによって一体に結合されていること、又、シュラウドの各々は隣接する前記シュラウドに対して面圧が発生するように相互に接触させて連結する構造を有することが好ましい。

【 0 0 1 9 】

前記が、タービンロータ径方向最内周側のフック係合部にのみ適用されることが好ましい。

【 0 0 2 0 】

本発明は、軸部と、該軸部に連なる胴部とを有し、該胴部に蒸気タービン動翼を植え込

50

むディスク状でクリスマスツリー型である植え込み部として前記胴部の径方向に複数段のフックを有する蒸気タービンロータシャフトにおいて、

前記植え込み部は、前記蒸気タービン動翼の翼根元部の形状に類似した凹部を有し、前記翼根元部をタービンロータ軸方向に対して $5 \sim 12.8$ 度の角度 で傾斜して真直ぐに挿入される形状を有し、

前記タービンロータシャフト軸方向から見て前記フックの前記タービンロータシャフトの径方向内周側の荷重を受ける面と前記タービンロータシャフトの円周面とのなす角度 が $39 \sim 65$ 度であり、前記角度 と前記角度 との値は、下記数 1 により規定される範囲となるように構成されると共に、

$$500 \times 195$$

$$\dots \dots \text{〔数 1〕}$$

10

前記蒸気タービン動翼は、翼部の先端に設けられたシュラウドの各々が隣接する前記シュラウドに対して面圧が発生するように相互に接触させて連結する構造を有することを特徴とする蒸気タービンロータシャフトにある。

【0021】

前記植え込み部は複数段のフックを有する前記翼根元部の形状に類似した形状を有すること、又、前記植え込み部はクリスマスツリー型を有することが好ましい。

【0022】

更に、本発明は、軸部に連なる胴部にディスク状の植え込み部を複数段有する蒸気タービンロータと、前記植え込み部に植え込まれた蒸気タービン動翼とを有する蒸気タービンにおいて、前記蒸気タービンロータ及び蒸気タービン動翼が前述に記載の蒸気タービンロータ及び蒸気タービン動翼よりなることを特徴とする。

20

【0023】

本発明は、高圧タービン、中圧タービン及び低圧タービン、又は高中圧一体型タービン及び低圧タービンを有し、前記高圧タービン、中圧タービン、高中圧一体型タービン及び低圧タービンの少なくとも一つが前述に記載の蒸気タービンによって形成されることを特徴とする蒸気タービン発電プラントにある。

【0024】

タービンロータシャフト径方向から見た翼部の付根の断面形状がタービンロータ軸方向に対して大きく傾斜している場合、タービンロータ外周部の限られた領域に多くのタービン動翼を設けることができ、同時に軸方向挿入型の翼根元部の形状をタービンロータシャフト径方向から見たときに平行四辺形とし、翼根元部をタービンロータ軸方向に対して $5 \sim 12.8$ 度の角度 をなす方向に挿入することによりタービンロータ軸方向に平行に翼根元部を挿入する場合と比較して、翼根元部と翼溝とに形成された切り欠き底部に発生する局所応力が増大し、疲労寿命が低下する可能性があるが、翼根元部の挿入角度 とフック接触面角度 の値とを所定の範囲とすることにより局所応力の増大を抑制することができる。

30

【0025】

本発明による翼根元部の挿入角度 とフック接触面角度 の値の範囲について述べる。図 4 は、 が 0 度より大きい場合における局所応力の増加率 (x/o) と、フック接触面角度 及び翼根元部挿入角度 との関係を示す線図である。図 4 においては、タービンロータ径方向にフックが 3 段又は 4 段形成された縦の木状翼根部を有する蒸気タービン動翼の係合する翼溝におけるタービンロータ径方向最内周側の切り欠き底部について、翼根元部の挿入角度 が 0 度の場合における切り欠き底部に発生する局所応力を o 、翼根元部挿入角度 が 0 度より大きい場合における局所応力を x としたときの、(x/o) 比と 及び との関係を 3 次元モデルを用いて有限要素解析により求めた。

40

【0026】

図 5 は本発明に係る 3 次元有限要素解析に用いた解析モデルを示す図である。図 5 に示すように、解析モデルの翼根元部と翼溝とにそれぞれ形成されたフック同士の接触面には接触要素を導入し、接触面の摩擦を考慮した。解析の結果、(x/o) と とは概ね比例関係にあり、 の増加とともに (x/o) が増加すると共に、タービンロータ軸方向

50

から見て中心線と直角をなす面と翼根元部と翼溝とにそれぞれ形成されたフック同士の接触部平行面とのなす角度 θ が大きいほど σ の増加とともに (σ_x / σ_0) が増加する。

【 0 0 2 7 】

図 6 は、 θ が 0 度より大きい場合における局所応力の増加のメカニズムを説明する図であり、(a) が断面図、(b) 及び (c) が (a) の A - A 断面図である。図 6 (a) に示すとおり、翼溝の左右のフックには、運転時においてロータ周方向に圧縮荷重 P が作用する。翼根元部の挿入角度 θ が 0 度の場合には、圧縮荷重が左右で打ち消し合う (c)。一方、翼根元部の挿入角度 θ が 0 度より大きい場合、図中の斜線の領域に作用する圧縮荷重は左右で打ち消し合わないため、フック全体としてはロータ径方向を中心軸とした偶力が発生する (b)。これより、ロータ径方向を中心軸とした偶力により、翼根元部挿入角度 θ が 0 度より大きい場合には θ が 0 度の場合と比較して切り欠き底部に発生する局所応力が増大すると考えられる。 σ の増加と共に図中の斜線部の面積も増加し、それにより偶力も増加することから、翼根元部をタービンロータ軸方向に対して 0 度より大きい角度 θ をなす方向に挿入した場合における局所応力の増大の抑制には、 θ の値を小さくすることが有効である。

10

【 0 0 2 8 】

図 7 は、図 4 の結果をもとに見出した (σ_x / σ_0) が 1 . 1、1 . 3 及び 1 . 5 の場合における翼根元部の挿入角度 θ とフック接触面角度 ϕ との関係を示す線図である。いずれの場合にも θ と ϕ の関係は概ね反比例の関係にあり、下記の数式によって規定される。 (σ_x / σ_0) が 1 . 1、1 . 3 及び 1 . 5 の場合における定数は、それぞれ 1 7 0、5 0 0、8 3 0 である。この評価により、翼根元部をタービンロータ軸方向に対して 0 度より大きい角度 θ をなす方向に挿入した場合における局所応力の増大の抑制には、 θ と ϕ の値の積を小さくすることが有効である。

20

【 0 0 2 9 】

$\sigma_x =$ 定数

発電プラント用蒸気タービンに適用されるタービン動翼は、疲労寿命 2 0 年から 3 0 年を有することが望ましい。疲労寿命 3 0 年を想定して設計された、タービンロータ軸方向に対して平行 ($\theta = 0$) に挿入する蒸気タービン動翼に対して、タービンロータ軸方向に対して 5 ~ 1 2 . 8 度の角度 θ をなす方向に挿入する蒸気タービン動翼が 2 0 年以上の疲労寿命を得るには以下によって求められる。

30

【 0 0 3 0 】

図 8 は、疲労寿命と許容応力範囲との関係を示す線図である。図 8 に示すように、疲労寿命 2 0 年の場合における許容応力範囲が疲労寿命 3 0 年の場合における許容応力範囲の約 1 . 3 倍であることから、 $\theta > 0$ の場合における局所応力 σ_x が、 $\theta = 0$ の場合における局所応力 σ_0 の 1 . 3 倍以下であることが必要である。従って、タービンロータ軸方向に対して 0 度より大きい一定の角度 θ をなす方向に挿入する蒸気タービン動翼に対しては、 θ と ϕ の値の積を 5 0 0 以下にすることが望ましい。

【 0 0 3 1 】

翼根元部と翼溝の切り欠き底部における局所応力発生部位と相対する部位とが接触し、局所応力発生部においてフレット疲労が発生することを抑制するためには、翼根元部と翼溝とに形成されたフック同士の接触面が遠心力作用時に相対滑りを生じ、タービン動翼の翼根元部のタービンロータ翼溝に対する相対的な位置が翼先端方向に移動し、翼根元部と翼溝の切り欠き底部における局所応力発生部位と相対する部位との間にギャップが生ずることが必要とされる。このためには、フック接触面角度 ϕ の正弦 $\tan \phi$ がフック同士の接触面の摩擦係数 μ よりも大きくなるように ϕ の値を規定し、如何なる大きさの遠心力が作用した場合においてもフック接触面間で相対すべりが生じるようにすることが有効である。一般的なタービン動翼根元部と翼溝のフック同士の接触の場合、静摩擦係数が 1 を超えることはない。鋼と鋼の静摩擦係数は 0 . 8 であり、 ϕ が 3 9 度の場合 $\tan \phi$ は 0 . 8 であることから、 ϕ は 3 9 度以上が好ましい。

40

【 発明の効果 】

50

【0032】

本発明によれば、軸方向挿入型の縦の木状の翼根元部を有し、翼根元部をタービンロータ軸方向に対して $5 \sim 12.8$ 度の角度 をなす方向とすることによりタービンロータ外周部の限られた領域に多くのタービン動翼を設けることができることにより、翼根元部と翼溝とに形成される切り欠き底部に発生する局所応力を抑制すると共に、翼根元部及び翼溝の切り欠き底部の局所応力発生部位と相対する部位とが接触することによるフレット疲労の発生を抑制することができる蒸気タービン動翼と蒸気タービンロータシャフト及びそれを用いた蒸気タービン並びにその発電プラント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】

【0034】

以下、発明を実施するための最良の形態を具体的な実施例によって説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【実施例1】

【0035】

図1は、本発明に関わる蒸気タービン動翼をタービンロータシャフトに植込んだ斜視図である。本実施例における蒸気タービン動翼は、翼部2と、タービンロータシャフト3の外周部に設けられた翼溝5に対し翼溝5と共通の中心線を有しかつタービンロータ軸方向側から挿入され係合する縦の木状の翼根元部4を有し、翼根元部4はタービンロータ軸方向に対して $5 \sim 12.8$ 度の角度 をなす方向に挿入される。縦の木状の翼根元部4及び翼溝5には、タービンロータシャフト径方向に複数段のフックが形成される。蒸気タービンロータシャフト3は、軸部と、軸部に連なる胴部とを有し、胴部に蒸気タービン動翼を植え込むディスク状の植え込み部を複数段有する。

【0036】

図1に示すように、本実施例における蒸気タービン動翼は、翼部2と、タービンロータシャフトへ植え込まれタービンロータシャフト径方向に左右対称に4段のフック10を有する翼根元部4と、翼部2と翼根元部4との間に設けられたプラットフォーム9とを有し、翼根元部4はタービンロータ軸方向に対して $5 \sim 12.8$ 度の角度 をなしてプラットフォーム9の平面形状と同様に平行四辺形の平面形状を有し、タービンロータ軸に形成されたディスク状の植え込み部にその軸方向に対して所定の角度 をなして真直ぐに挿入されるストレート形状を有するものである。

【0037】

翼根元部4を所定の角度 をなしてディスク状の植え込み部に挿入することにより蒸気タービン動翼の植え込み本数をより多く植設できるものである。又、翼根元部4の挿入方向における長さが角度 がゼロのものと比較して長いものとなり、タービンロータ3の軸方向幅においても狭くすることもできる。

【0038】

翼部2は、タービンロータ軸方向の断面形状がリーディングエッジ部先端に対してトレーリングエッジ部先端がタービンロータ軸方向より湾曲しながら傾斜しており、角度 はその傾斜と同方向に設けられ、タービンロータ軸方向に対して $5 \sim 12.8$ 度である。

【0039】

翼根元部4はフック10を有し、プラットフォーム9側より逆クリスマスツリー型を有する。更に、プラットフォーム9は翼根元部4と同じ角度 をなして真直ぐに挿入される平行四辺形の形状を有し、平坦ではなくフィレット上に形成されている。

【0040】

翼部2の先端にシュラウド1を有し、シュラウド1は、翼部2と同一組成を有する一体に形成されたもので、塑性加工によって形成又はテノン6によるかしめによって別の材質のものを一体に結合することができる。

【0041】

シュラウド1の各々は、隣接するシュラウド1に対して面圧が発生するように相互に接触させて連結する構造を有する。シュラウド1同士の面圧が発生させるには、翼根元部4

10

20

30

40

50

の挿入角度 に対して隣接するシュラウド 1 同士が接する挿入角度を異わせることによって得られる。

【 0 0 4 2 】

タービンロータ軸方向から見て中心線と直角をなす面と翼根元部 4 と翼溝 5 とにそれぞれ形成されたフック同士の接触部平行面とのなす角度を としたとき、本実施例では、翼根元部 4 の挿入角度 の $5 \sim 12.8$ 度とフック接触面角度 の $39 \sim 65$ 度とは数 1 により規定することにより、疲労寿命の低下を小さくすることができる。

【 0 0 4 3 】

図 2 は、翼根元部挿入角度 が $5 \sim 20$ 度の範囲とフック接触面角度 との関係を示す線図である。図 2 に示すように、数 2、3 により規定される範囲は斜線の範囲となる。

$$\begin{array}{rcl} 500 & \times & 0 \\ 90 & > & 0 \end{array} \quad \begin{array}{l} \dots\dots \text{〔 数 } 2 \text{ 〕} \\ \dots\dots \text{〔 数 } 3 \text{ 〕} \end{array}$$

【 0 0 4 4 】

本実施例では、フック接触面角度 の値は 90 度より小さければよいが、好ましくは、高中圧蒸気タービンに適用されるタービン動翼については 60 度以下である。このことにより、長時間の運転により翼根元部 4 及び翼溝 5 のフックがクリープ変形し、嵌め合い部のギャップが増加した場合においても、運転中に動翼が抜け落ちる危険性を抑制できる。

【 0 0 4 5 】

又、低圧蒸気タービンに適用されるタービン動翼については、好ましくは、フック接触面角度 の値は 65 度以下である。このことにより、長時間運転後において、長時間の運転により翼根元部 4 及び翼溝 5 のフックにおいてエロージョンが発生し、嵌め合い部のギャップが増加した場合においても、運転中に動翼が抜け落ちる危険性を抑制できる。

【 0 0 4 6 】

本実施例では、蒸気タービン動翼を隣り合う動翼と連結させない単独翼構造としても、複数枚の動翼を連結させる群翼構造としても、全ての動翼を連結させるインテグラルカバー構造としても良い。好ましくは、翼頂部における蒸気の漏れによるタービン性能低下の抑制及びタービン動翼の振動応力低減のため、群翼構造ないしインテグラルカバー構造とすることが望ましい。

【 0 0 4 7 】

本実施例における蒸気タービン動翼は、高圧蒸気タービン-中圧蒸気タービン-低圧蒸気タービン、高中圧一体型蒸気タービン-低圧蒸気タービン、及び高低圧一体型蒸気タービンのいずれに対しても適用できるものであるが、高圧、中圧、高中圧一体型蒸気タービンへの適用が好ましい。

【 0 0 4 8 】

以上のように、本実施例によれば、蒸気タービン動翼数をより多く植設することができる。又、翼根元部 4 の挿入角度 とフック接触面角度 の値の積を 500 以下とすることにより、翼根元部 4 及び翼溝 5 に発生する局所応力を実用上支障のない程度に抑えた蒸気タービン動翼を得ることができるので、翼根元部 4 及び翼溝 5 における疲労寿命の低減を抑制することから、蒸気タービンの設計において重要な部位となるタービン動翼及びタービンロータ 3 の信頼性が向上する。

【 0 0 4 9 】

又、本実施例によれば、軸方向挿入型の縦の木状の翼根元部を有し、翼根元部をタービンロータ軸方向に対して $5 \sim 12.8$ 度の角度 をなす方向に挿入する場合において、翼根元部と翼溝とに形成される切り欠き底部に発生する局所応力を抑制すると共に、翼根元部及び翼溝の切り欠き底部の局所応力発生部位と相対する部位とが接触することによるフレット疲労の発生を抑制する蒸気タービン動翼及びそれを用いた蒸気タービンを提供することができる。

【 実施例 2 】

【 0 0 5 0 】

本実施例では、実施例 1 において、フック接触面角度 の値の範囲の下限を 39 度とし

10

20

30

40

50

、翼根元部 4 の挿入角度 の $5 \sim 12.8$ 度とフック接触面角度 の $39 \sim 65$ 度とは数 1 により規定するものである。本実施例における蒸気タービン動翼の構造は実施例 1 と同様である。

【0051】

図 3 は、本発明の翼根元部の挿入角度 の $5 \sim 12.8$ 度とフック接触面角度 の $39 \sim 65$ 度との関係を示す線図である。図 3 に示すように、数 1 により規定される範囲が斜線の範囲である。

【0052】

本実施例では、フック接触面角度 の値を 39 度以上とすることにより、如何なる大きさの遠心力が作用した場合においても翼根元部 4 と翼溝 5 の形成されたフック同士の接触面とが相対滑りを生じ、タービン動翼がタービンロータ 3 径方向に摺動することにより、翼根元部 4 及び翼溝 5 の切り欠き底部における局所応力発生部位と相対する部位とが接触することによるフレット疲労の発生が抑制できる。

【0053】

以上のように、本実施例によれば、実施例 1 と同様に、いずれの蒸気タービンに対しても適用でき、蒸気タービン動翼数をより多く植設できると共に、翼根元部 4 及び翼溝 5 に発生する局所応力を実用上支障のない程度に抑えられることができる。そして、翼根元部 4 及び翼溝 5 の切り欠き底部における局所応力発生部位と相対する部位とが接触することによるフレット疲労の発生を抑制した蒸気タービン動翼を提供することができる。

【0054】

又、本実施例による蒸気タービン動翼では、翼根元部 4 及び翼溝 5 における疲労寿命の低減を抑制できることから、蒸気タービンの設計において重要な部位となるタービン動翼及びタービンロータの信頼性が向上する。

【実施例 3】

【0055】

本実施例では、実施例 1 及び実施例 2 において、フック接触面角度 の値の範囲が、複数段あるフック 10 の内、タービンロータ 3 の径方向最内周側のフック 10 に対してのみ適用するものである。軸方向挿入型の逆クリスマスツリー型の翼根元部 4 をタービンロータ 3 軸方向に対してある一定の角度 をなす方向に挿入する場合における最も大きな局所応力は、翼溝 5 におけるタービンロータ 3 の径方向最内周側のフック 10 下部の切り欠き底部において発生する場合が多い。従って、実用上は、フック接触面角度 の値の範囲は、複数段あるフック 10 の内、タービンロータ 3 径方向最内周側のフックに対してのみ適用するものである。本実施例における蒸気タービン動翼の構造は、実施例 1 と同様であり、又、フック 10 は 4 段に対しても同様に適用される。

【0056】

以上のように、本実施例によれば、実施例 1 及び実施例 2 と同様に、いずれの蒸気タービンに対しても適用でき、蒸気タービン動翼数をより多く植設できると共に、翼根元部 4 及び翼溝 5 に発生する局所応力を実用上支障のない程度に抑えられるとともに、翼根元部 4 及び翼溝 5 の切り欠き底部における局所応力発生部位と相対する部位とが接触することによるフレット疲労の発生を抑制した蒸気タービン動翼を提供することができる。

【0057】

又、本実施例による蒸気タービン動翼では、翼根元部 4 及び翼溝 5 における疲労寿命の低減を抑制できることから、蒸気タービンの設計において重要な部位となるタービン動翼及びタービンロータ 3 の信頼性が向上する。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図 1】本発明に係る蒸気タービン動翼を示す斜視図。

【図 2】翼根元部挿入角度 とフック接触面角度 との関係を示す線図。

【図 3】本発明における翼根元部挿入角度 とフック接触面角度 との関係を示す線図。

【図 4】 が 0 度より大きい場合における局所応力の増加率 (\times / \circ) と、フック接

10

20

30

40

50

触面角度 及び翼根元部挿入角度 の関係を示す線図。

【図 5】本発明に関わる 3 次元有限要素解析に用いた解析モデル。

【図 6】 が 0 度より大きい場合における局所応力の増加のメカニズムに関する説明図。

【図 7】図 4 の結果をもとに見出した (\times / \circ) が 1 . 1、1 . 3 及び 1 . 5 の場合における と の関係を示す線図。

【図 8】タービン動翼材料の疲労試験により求めた許容応力範囲 寿命線図。

【図 9】従来の蒸気タービン動翼を示す斜視図。

【図 10】従来の蒸気タービン動翼構造をタービンロータ径方向外周側から見た平面図。

【図 11】蒸気タービン動翼において翼根元部と翼溝の切り欠き底部の局所応力発生部位と相対する部位とが接触したタービンロータ軸方向から見た断面図。

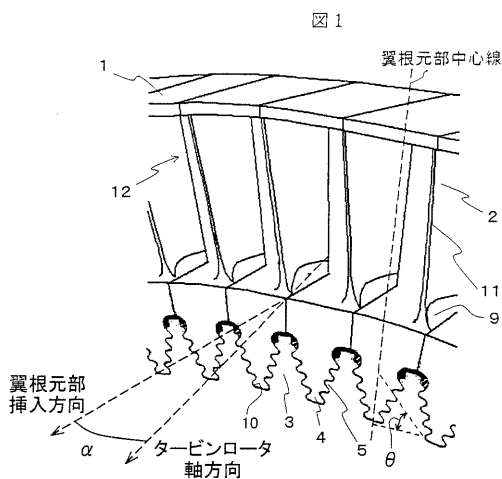
10

【符号の説明】

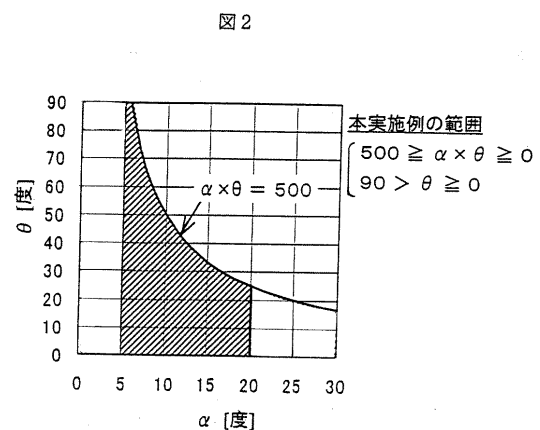
【 0 0 5 9 】

1 . . . シュラウド、2 . . . 翼部、3 . . . タービンロータシャフト、4 . . . 翼根元部、5 . . . 翼溝、6 . . . テノン、7 . . . 翼根元部側局所応力発生部位、8 . . . 翼溝側局所応力発生部位、9 . . . プラットフォーム、10 . . . フック、11 . . . リーディングエッジ、12 . . . トレーリングエッジ。

【図 1】

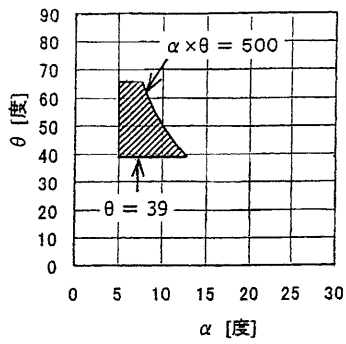


【図 2】



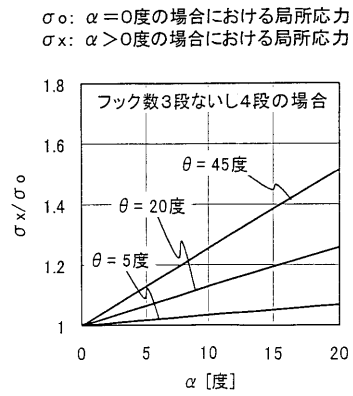
【図3】

図3



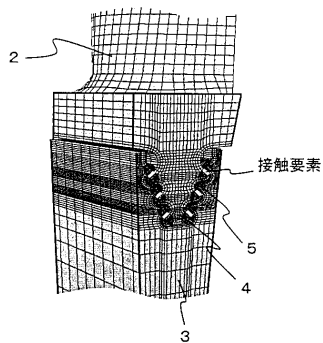
【図4】

図4



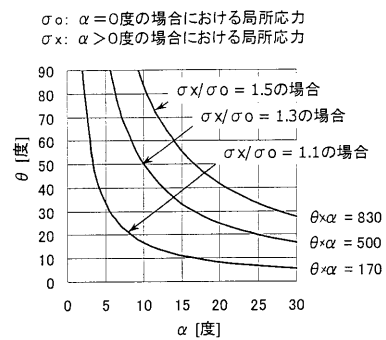
【図5】

図5



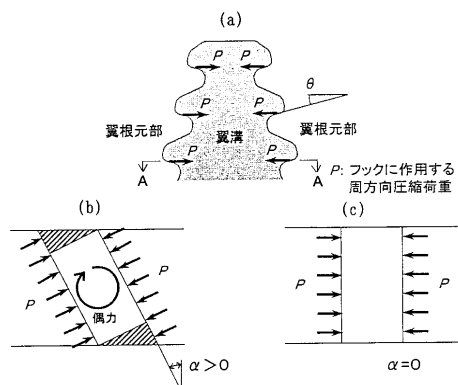
【図7】

図7



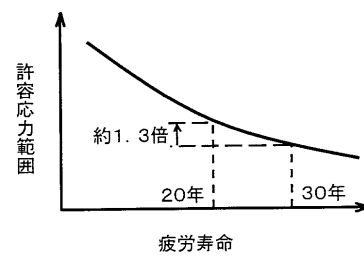
【図6】

図6

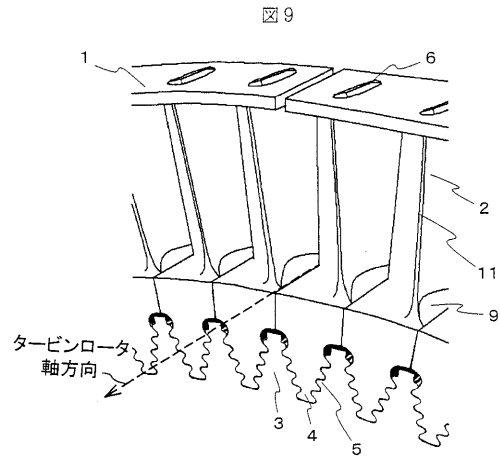


【図8】

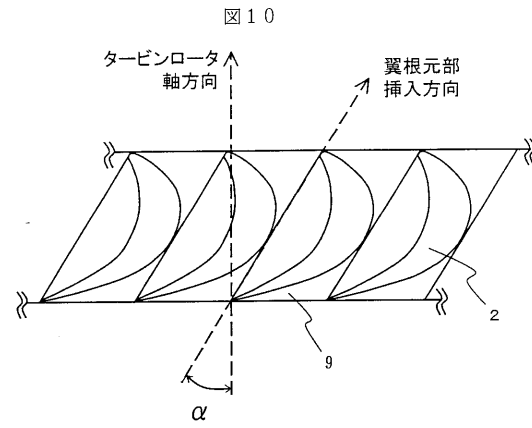
図8



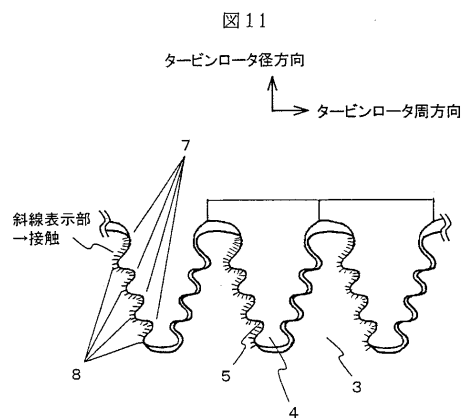
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平10-299405(JP,A)
特開2002-201910(JP,A)
特開2003-176703(JP,A)
特開平05-086805(JP,A)
特開平11-229818(JP,A)
特開平10-331659(JP,A)
特開平11-324605(JP,A)
特開昭61-023802(JP,A)
特開昭57-026209(JP,A)
特表2000-512707(JP,A)
米国特許第05395213(US,A)
実開平06-008702(JP,U)
実開昭58-144002(JP,U)
特開昭54-96618(JP,A)
特開平8-260902(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F01D 5/00 - 5/10, 5/30 - 5/32
F04D 1/00 - 13/16, 17/00 - 19/02,
21/00 - 25/16, 29/00 - 35/00