

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年5月12日(12.05.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/072473 A1

(51) 国際特許分類:

F01D 5/16 (2006.01) F01D 5/26 (2006.01)
C23C 4/06 (2016.01) F01D 5/28 (2006.01)
C23C 4/12 (2016.01) F01D 25/00 (2006.01)
F01D 5/22 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/081223

(22) 国際出願日: 2015年11月5日(05.11.2015)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2014-226118 2014年11月6日(06.11.2014) JP

(71) 出願人: 三菱日立パワーシステムズ株式会社
(MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.)
[JP/JP]; 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 Kanagawa (JP).

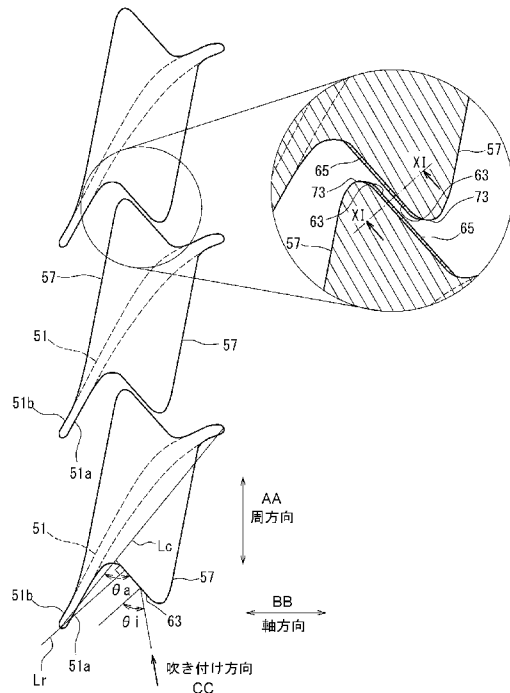
(72) 発明者: 田畑 創一郎(TABATA, Soichiro); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 榎本 裕基(ENOMOTO, Yuki);

〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 杼谷 直人(TOCHITANI, Naoto); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 今井 俊爾(IMAI, Shunji); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 栗村 隆之(KURIMURA, Takayuki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工株式会社内 Tokyo (JP). 岡矢 尚俊(OKAYA, Naotoshi); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 沖森 友太(OKIMORI, Yuta); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 浅香 晴彦(ASAKA, Haruhiko); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP).

[続葉有]

(54) Title: STEAM TURBINE ROTOR BLADE, METHOD FOR MANUFACTURING STEAM TURBINE ROTOR BLADE, AND STEAM TURBINE

(54) 発明の名称: 蒸気タービン動翼、蒸気タービン動翼の製造方法及び蒸気タービン



AA Circumferential direction
BB Axial direction
CC Blowing direction

(57) Abstract: One steam turbine rotor blade for forming a rotor blade row in a steam turbine is equipped with a rotor blade main body having: a blade part; a blade root part provided at one end of the blade part; a first connecting part provided at the other end of the blade part and having a first opposing surface; and a second connecting part provided in the middle of the blade part and having a second opposing surface. The first opposing surface and the second opposing surface are formed so as to be arranged opposing the respective first opposing surface and second opposing surface of the other rotor blade main bodies adjacently arranged in the rotor blade row. Furthermore, the surface of at least one of the opposing surfaces of the steam turbine rotor blade, that is, the first opposing surface or the second opposing surface, is provided with a cover layer comprising a Co-based alloy of a single-composition formed by high-speed flame spraying, wherein the cover layer is formed on that surface while a diffusion layer having a thickness of 10 μm or less exists between the cover layer and the surface.

(57) 要約: 蒸気タービンの動翼列を構成するための1つの蒸気タービン動翼は、翼部、翼部の一端側に設けられた翼根部、翼部の他端側に設けられ且つ第1対向面を有する第1連結部、及び、翼部の中間に設けられ且つ第2対向面を有する第2連結部を有する動翼本体を備える。第1対向面及び第2対向面は、動翼列において隣に配置される他の動翼本体の第1対向面及び第2対向面とそれぞれ対向配置されるように構成されている。また、蒸気タービン動翼は、第1対向面及び第2対向面のうち少なくとも一方の表面上に高速フレイム溶射により形成された単一組成のCo基合金からなる被覆層であって、該被覆層と表面の間の拡散層の厚さが10 μm以下の状態で表面上に形成された被覆層を備える。

WO 2016/072473 A1



(74) 代理人: 誠真 I P 特許業務法人(SEISHIN IP PAT-
ENT FIRM, P.C.); 〒1080073 東京都港区三田三丁
目 1 3 番 1 6 号 三田 4 3 M T ビル 1 3 階
Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG,
ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL,
IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,
MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG,
PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

蒸気タービン動翼、蒸気タービン動翼の製造方法及び蒸気タービン 技術分野

[0001] 本開示は蒸気タービン動翼、蒸気タービン動翼の製造方法及び蒸気タービンに関する。

背景技術

[0002] 例えば発電等に利用される軸流式の蒸気タービンは、複数の静翼列及び動翼列を有し、静翼列及び動翼列は、それぞれ複数のタービン静翼及びタービン動翼からなる。

タービン動翼として、特開平４－５４０２号公報が開示するインテグラルシュラウド翼は、翼の先端にインテグラルシュラウドを有する。翼は、タービンの運転時、遠心力により振り戻り変形し、これにより、隣り合うインテグラルシュラウドが相互に接触するように構成されている。

[0003] この種のタービン動翼では、特に、蒸気タービン長翼の長大化による応力増加の対策として、構造減衰を高めるため、特開平４－５４０２号公報のように、翼の中間部にインテグラルスタブが設けられることがある。特開平４－５４０２号公報が開示するインテグラルシュラウド翼では、翼先端部のインテグラルシュラウドのほかに、翼中間部の翼両面側に、三角形状に突出したインテグラルスタブが設けられている。翼が遠心力により振り戻り変形すると、隣り合うインテグラルスタブ同士が互いに接触し、それによって、構造減衰を高めている。

[0004] 翼先端部にインテグラルシュラウドを設け、さらに翼の中間部にインテグラルスタブを設けたタービン動翼は、特許第４０５８９０６号公報、特開２０１１－１３７４２４号公報にも開示されている。

特許第４０５８９０６号公報が開示する蒸気タービンの動翼では、インテグラルシュラウド（第一の連結部材）の互いに対向する端面間の間隔が、イ

ンテグラルスタブ（第二の連結部材）の互いに対向する端面間の間隔よりも小さくなるように設定されている。これにより、ロータの回転数上昇に伴い、まず、インテグラルシュ라우드同士が接触し、その後にインテグラルスタブ同士が接触することになるため、連結部材と翼部との結合部に過大応力が発生するのが抑制され、タービンの起動から定格運転に至るまでの運転範囲において強度振動的に信頼性を向上した動翼を備えた蒸気タービンが提供されることが考えられている。

[0005] 特開 2011-137424 号公報では、長翼となる動翼の振動特性を改善するために設けた中間連結部材は、それが、動翼間を流れる蒸気の流路抵抗となり、空力性能の低下をもたらすことになる。そこで、特開 2011-137424 号公報が開示するタービン動翼列では、中間連結部材の動翼間における配置位置や、中間連結部材の断面形状を適正化することで、動翼間における空気力学的な損失を低減することができるものと考えられている。

[0006] 一方、蒸気タービンでは、蒸気は、各タービン段落で膨張仕事をし、蒸気の持つエネルギーが低くなり、後段落になるほど蒸気温度は低下し、蒸気通路部は湿り域になる。この湿り域で回転するタービン動翼には、特に周速の大きい翼先端の前縁部が、蒸気中の液滴の衝突により浸食（エロージョン）を受けることがある。そこで、特開 2004-270023 号公報は、液体による浸食を受ける機器を処理する方法及び浸食防止被覆膜合金を開示している。

特開 2004-270023 号公報が開示する液体による浸食を受ける機器を処理する方法では、所定の組成を有するコバルト系合金が、液体による浸食を受ける機器としての蒸気タービンのブレードに、レーザーめっきにより塗布される。

[0007] 特開 2014-163371 号公報には、チタン合金からなるタービン動翼の、その連結部材（カバーとタイボス）接触面に、バインダには NiCr を用いて、クロムカーバイド（CrC）を、高速フレイム溶射（HVOF 溶射）により被膜施工することが開示されている。つまり、特開 2014-1

6 3 3 7 1 号公報には、混合物を高速フレイム溶射することが開示されている。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 近年、蒸気タービンには高出力化が求められており、タービンの運転条件は、タービン動翼、特に最終段のタービン動翼にとって極めて過酷になってきている。本発明者らは、このような過酷な条件下では、翼前縁のエロージョン（液滴の衝突による浸食）の他にも、蒸気タービンの耐久性向上のために、個々のタービン動翼において改善することが望ましい事項が存在するとの知見を得た。

[0009] 具体的には、タービン動翼のシュラウドやインテグラルスタブ等、タービン動翼が相互に接触する部位において、翼振動の発生に伴い、接触面に微小な繰り返し往復滑りおよび繰り返し荷重が作用することで、フレットング摩耗および疲労が発生する可能性があり、フレットングに起因する損傷を防止するのが望ましいとの知見を得た。

特に、チタン系合金に比べて摩擦係数が小さく、フレットングに起因する損傷の虞が殆どなかったステンレス鋼からなるタービン動翼にあっても、高出力化したときの接触部位におけるピーク応力の上昇に伴い、フレットングに起因する損傷を防止するのが望ましいとの知見を得た。

[0010] 上述の事情に鑑みて、本発明の少なくとも一実施形態は、隣り合うタービン動翼が相互に接触する部位における、フレットング摩耗および疲労に起因する損傷が防止された蒸気タービン動翼、蒸気タービン動翼の製造方法及び蒸気タービンを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] （１）本発明の少なくとも一実施形態に係る、蒸気タービンの動翼列を構成するための１つの蒸気タービン動翼は、

翼部、前記翼部の一端側に設けられた翼根部、前記翼部の他端側に設けられ且つ第１対向面を有する第１連結部、及び、前記翼部の中間に設けられ且

つ第2対向面を有する第2連結部を有する動翼本体であって、前記第1対向面及び前記第2対向面は、前記動翼列において隣に配置される他の動翼本体の第1対向面及び第2対向面とそれぞれ対向配置されるように構成された動翼本体と、

前記第1対向面及び前記第2対向面のうち少なくとも一方の表面上に高速フレーム溶射により形成された単一組成のC_o基合金からなる被覆層であって、該被覆層と前記表面の間の拡散層の厚さが10 μ m以下の状態で前記表面上に形成された被覆層とを備える。

[0012] 第1対向面及び第2対向面のうち少なくとも一方の表面上には単一組成のC_o基合金からなる被覆層が形成されており、隣り合うタービン動翼では、単一組成のC_o基合金からなる被覆層が相互に接触する。単一組成のC_o基合金からなる被覆層は耐フレッティング性に優れており、上記(1)の構成によれば、第1連結部及び第2連結部のうち被覆層が設けられた少なくとも一方におけるフレッティング摩耗および疲労による損傷が防止される。

一方、被覆層は高速フレーム溶射により第1対向面及び／又は第2対向面の表面上に形成されており、拡散層の厚さが10 μ m以下である。このため、たとえ被覆層にフレッティングにより亀裂が生じたとしても、亀裂が下地(母材)にまで進行することがない。したがって、もし、フレッティングにより損傷を受けたとしても、その損傷は、再度、高速フレーム溶射によりC_o基合金をコーティングして修復すれば足り、翼自体を換装する必要がない。

[0013] (2) 幾つかの実施形態では、上記(1)の構成において、前記被覆層は、少なくとも前記第2対向面の表面上に形成されている。

従来、第2連結部は、構造減衰を高めるためのものであり、第2連結部の第2対向面に作用するピーク応力はそれほど大きくはなかった。しかしながら、近年の蒸気タービンにおける高出力化や蒸気タービン動翼の長翼化に伴い、第2連結部の第2対向面に作用するピーク応力も増大しており、第2連

結部においてフレットングに起因する損傷が発生する可能性が高くなってきていることがわかってきた。

この点、上記（２）の構成によれば、被覆層が第２連結部の第２対向面の表面上に形成されているので、フレットングに起因する第２連結部の損傷を防止することができる。

[0014] （３）幾つかの実施形態では、上記（１）又は（２）の構成において、前記第１連結部は、前記第１対向面の側縁に対し斜めに連なり、前記動翼列において隣り合う第１連結部の間隔を拡大するように構成された第１傾斜面を有し、

前記第２連結部は、前記第２対向面の側縁に対し斜めに連なり、前記動翼列において隣り合う第２連結部の間隔を拡大するように構成された第２傾斜面を有する。

上記（３）の構成によれば、第１連結部の第１対向面の側縁に連なる第１傾斜面を設けたことにより、第１対向面間での片当たりの発生を抑えることができる。このため、第１対向面に作用するピーク応力が低減され、フレットングによる第１連結部の損傷がより確実に防止される。

一方、第１傾斜面を設けた場合、第１対向面の面積が実質的に減少し、第１対向面の平均面圧が上昇することとなるが、この場合であっても、第１対向面の表面上に被覆層を形成しておけば、平均面圧上昇によるフレットング摩耗および疲労を防止することができる。

[0015] また、上記（３）の構成によれば、第２連結部の第２対向面の側縁に連なる第２傾斜面を設けたことにより、第２対向面間での片当たりの発生を抑えることができる。このため、第２対向面に作用するピーク応力が低減され、フレットングによる第２連結部の損傷がより確実に防止される。

一方、第２傾斜面を設けた場合、第２対向面の面積が実質的に減少し、第２対向面の平均面圧が上昇することとなるが、この場合であっても、第２対向面の表面上に被覆層を形成しておけば、平均面圧上昇によるフレットング摩耗および疲労を防止することができる。

[0016] (4) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(3)の何れか1つの構成において、前記第1連結部は、前記第1対向面の先端縁に連なり、前記動翼列において隣り合う第1連結部の間隔を拡大するように構成された第1湾曲面を有し、

前記第2連結部は、前記第2対向面の先端縁に連なり、前記動翼列において隣り合う第2連結部の間隔を拡大するように構成された第2湾曲面を有する。

上記(4)の構成によれば、第1連結部の第1対向面の先端縁に連なる第1湾曲面を設けたことにより、第1対向面間での片当たりの発生をより確実に抑えることができる。このため、第1対向面に作用するピーク応力が低減され、フレットングによる第1連結部の損傷がより確実に防止される。

[0017] 一方、第1湾曲面を設けた場合、第1対向面の面積が実質的に減少し、第1対向面の平均面圧が上昇することになるが、この場合であっても、第1対向面の表面上に被覆層を形成しておけば、平均面圧上昇によるフレットング摩耗やフレットング疲労を防止することができる。

また、上記(4)の構成によれば、第2連結部の第2対向面の先端縁に連なる第2湾曲面を設けたことにより、第2対向面間での片当たりの発生をより確実に抑えることができる。このため、第2対向面に作用するピーク応力が低減され、フレットングによる第2連結部の損傷がより確実に防止される。

[0018] 一方、第2湾曲面を設けた場合、第2対向面の面積が実質的に減少し、第2対向面の平均面圧が上昇することになるが、この場合であっても、第12対向面の表面上に被覆層を形成しておけば、平均面圧上昇によるフレットング摩耗やフレットング疲労を防止することができる。

(5) 幾つかの実施態様では、上記(1)乃至(3)の何れか1つの構成において、

前記第1連結部は、前記第1対向面の先端縁に連なり、前記動翼列において隣り合う第1連結部の間隔を拡大するように構成された第3傾斜面を有し

、
前記第2連結部は、前記第2対向面の先端縁に連なり、前記動翼列において隣り合う第2連結部の間隔を拡大するように構成された第4傾斜面を有する。

[0019] 上記構成(5)によっても、上記構成(4)の場合と同様、第3傾斜面及び第4傾斜面を設けたことにより、フレットングによる第1連結部及び第2連結部の損傷がより確実に防止される。

ただし、第1対向面や第2対向面において、先端縁に発生する局所応力は、側縁のそれに比べて高くなることに着目し、上記構成(4)では、側縁には傾斜面を連ねる一方、先端縁には湾曲面を連ねている。局所応力が高くなる先端縁に湾曲面を連ねることで、片当たりを確実に抑えて、フレットング摩耗やフレットング疲労をより確実に防止することができる。

[0020] (6) 幾つかの実施形態では、上記(2)の構成において、

前記第2連結部は、前記第2対向面の側縁に対し斜めに連なり、前記動翼列において隣り合う第2連結部の間隔を拡大するように構成された第2傾斜面を有するとともに、前記第2対向面の先端縁に連なり、前記動翼列において隣り合う第2連結部の間隔を拡大するように構成された第2湾曲面を有する。

[0021] 上記構成(6)によれば、第2対向面の側縁に連なる第2傾斜面を設け、第2対向面の先端縁に連なる第2湾曲面を設けたことにより、フレットングによる第2連結部の損傷をより確実に防止することができる。

[0022] (7) 本発明の少なくとも一実施形態に係る、蒸気タービンの動翼列を構成するための1つの蒸気タービン動翼は、

翼部、前記翼部の一端側に設けられた翼根部、前記翼部の他端側に設けられ且つ第1対向面を有する第1連結部、及び、前記翼部の中間に設けられ且つ第2対向面を有する第2連結部を有する動翼本体であって、前記第1対向面及び前記第2対向面は、前記動翼列において隣に配置される他の動翼本体の第1対向面及び第2対向面とそれぞれ対向配置されるように構成された動翼

本体と、

前記第2対向面の表面上に形成された耐フレッシング摩耗材からなる被覆層と、を備え、

前記第2連結部を有する位置における前記動翼本体の横断面において、前記翼部の前縁と後縁とを結んだ結線と、前記第2対向面とのなす角が鋭角であり、かつ、前記第2対向面の垂線が前記翼部と交差し、

前記第2連結部は、前記第2対向面の側縁に対し斜めに連なり、前記動翼列において隣り合う第2連結部の間隔を拡大するように構成された第2傾斜面を有する。

[0023] 第2連結部が翼部に設けられ、第2連結部を有する位置における動翼本体の横断面において、翼部の前縁と後縁とを結んだ結線と、第2対向面とのなす角が鋭角であり、かつ、第2対向面の垂線が翼部と交差している場合、第2対向面の側縁に連なる面を加工するとき、工作機械が第2連結部根本の翼部と干渉するため、手作業となるが、前記側縁に連なる面を単純な傾斜面とすることで、作業を簡単かつ安定したものにできる。

[0024] (8) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(7)の何れか1つの構成において、前記動翼本体は析出硬化型のステンレス鋼からなる。

動翼本体が析出硬化型のステンレス鋼からなる場合、成形された動翼本体には熱処理、例えば溶体化処理及び時効硬化処理が順次施され、ステンレス鋼の硬度が適当な値に調整される。熱処理後に動翼本体が加熱された場合、硬度を調整するために再度熱処理が必要になる。或いは、熱処理後に動翼本体に対して何らかの処理を行おうとする場合、動翼本体の温度が熱処理温度を超えないように温度管理を行う必要がある。

この点、上記(8)の構成によれば、高速フレーム溶射の際、動翼本体は殆ど加熱されない。このため、高速フレーム溶射により動翼本体の硬度が変化することはなく、動翼本体のための特別な温度管理を必要とすることなく、被覆層を容易に形成することができる。

[0025] なお、析出硬化型ステンレス鋼の摩擦係数は、チタン合金に比べて低く、

従来、析出硬化型ステンレス鋼からなる動翼ではフレット摩耗および疲労の虞は殆どなかった。しかしながら、近年の蒸気タービンにおける高出力化や動翼の長翼化に伴い、第1対向面や第2対向面に作用するピーク応力も増大しており、第1連結部や第2連結部においてフレットに起因する損傷が発生する可能性が高くなっていることがわかってきた。

そこで、上記（8）の構成では、動翼本体が析出硬化型のステンレス鋼からなる場合であっても、第1対向面及び第2対向面のうち少なくとも一方の表面上に被覆層を設けることにより、フレットによる損傷が防止される。

[0026] ここで、蒸気タービンでは、最終段動翼の長大化により、環状面積を増大して排気損失の低減が図られている。この点、上記（1）から（8）の構成のタービン動翼は、長大化しても、隣り合うタービン動翼の接触部位におけるフレットによる損傷が防止されるので、蒸気タービンの最終段動翼として有用である。

[0027] （9）本発明の少なくとも一実施形態によれば、上記（1）乃至（8）の何れか1つの蒸気タービン動翼を備える蒸気タービンが提供される。

（10）本発明の少なくとも一実施形態に係る、蒸気タービンの動翼列を構成するための1つの蒸気タービン動翼の製造方法は、

翼部、前記翼部の一端側に設けられた翼根部、前記翼部の他端側に設けられ且つ第1対向面を有する第1連結部、及び、前記翼部の中間に設けられ且つ第2対向面を有する第2連結部を有する動翼本体であって、前記第1対向面及び前記第2対向面は、前記動翼列において隣に配置される他の動翼本体の第1対向面及び第2対向面とそれぞれ対向配置されるように構成された動翼本体を用意する工程と、

前記第1対向面及び前記第2対向面のうち少なくとも一方の表面上に、高速フラーム溶射により単一組成のC_o基合金からなる被覆層を形成する高速フラーム溶射工程とを備え、

前記高速フラーム溶射工程では、前記第1対向面及び前記第2対向面のう

ち被覆対象の対向面に対し、該対向面の法線に対し 0° 以上 60° 以下の角度でC o基合金からなる粉末が吹き付けられる。

[0028] 対向面の法線に対する吹き付け方向の角度が 0° 以上 60° 以下の範囲内にある場合、被覆層における気孔率を低くし、被覆層の耐フレットング性能を高くすることができる。

発明の効果

[0029] 本発明の少なくとも一実施形態によれば、タービン動翼が相互に接触する部位における、フレットングに起因する損傷が防止された蒸気タービン動翼、蒸気タービン動翼の製造方法及び蒸気タービンが提供される。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]本発明の一実施形態に係る発電システムの構成を概略的に示すブロック図である。

[図2]蒸気タービンの概略的な構成を示す縦断面図である。

[図3]最終段動翼列を概略的に示す平面図である。

[図4]最終段動翼列に属する1つの動翼を概略的に示す斜視図である。

[図5]第1連結部とともに翼部の一部を概略的に示す斜視図である。

[図6]複数の第1連結部を概略的に示す展開図であり、拡大された円内には、径方向直交断面が概略的に示されている。

[図7]第2連結部とともに翼部の一部を概略的に示す斜視図である。

[図8]複数の第2連結部を概略的に示す展開図であり、拡大された円内には、径方向直交断面が概略的に示されている。

[図9]最終段動翼の製造方法を概略的に示すフローチャートである。

[図10]フレットング疲労試験後における、第2連結部の第2対向面上に形成された被覆層の光学顕微鏡による断面観察結果である。

[図11]図8中のX I - X I 線に沿う概略的な断面図である。

[図12]他の実施形態に係る1つの第1連結部を概略的に示す展開図である。

[図13]他の実施形態に係る1つの第2連結部を概略的に示す展開図である。

[図14]ステライト（登録商標）#6を高速溶射フレームして得られた実施例

の被覆層の金属組織の断面を示す図である。

[図15] Cr_3C_2 と NiCr の混合粉末 ($\text{Cr}_3\text{C}_2 - 25\text{NiCr}$) を高速溶射フレームして得られた比較例の被覆層の金属組織の断面及び微小硬さ試験結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0031] 以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部等を含む形状も表すものとする。

一方、一の構成要素を「備える」、「具える」、「具備する」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

[0032] 図1は、本発明の一実施形態に係る発電システムの構成を概略的に示すブロック図である。発電システムは、複合発電システムであり、ガスタービン1と、蒸気タービン3と、排熱回収ボイラ5と、発電機7, 9とを備える。

幾つかの実施形態では、発電システムは、排熱回収ボイラ5に代えて、燃料を内部で燃焼させて蒸気を発生させるボイラと、蒸気タービン3とを備え

る従来型の発電システムである。幾つかの実施形態では、発電システムは自家用であり、幾つかの実施形態では、発電システムは事業用である。

[0033] ガスタービン 1 は、圧縮機 1 1 と、燃焼器 1 3 と、タービン 1 5 とを備える。圧縮機 1 1 は、タービン 1 5 の出力の一部を利用して空気を圧縮し、圧縮された空気が燃焼器 1 3 に供給される。燃焼器 1 3 には圧縮空気と燃料が供給され、燃料が燃焼させられる。燃料の燃焼により発生した燃焼ガスは、タービン 1 5 に供給され、燃焼ガスを利用してタービン 1 5 が出力としてのトルクを発生させる。

タービン 1 5 は、発電機 7 に接続され、タービン 1 5 の出力の一部を利用して発電機 7 が発電する。

[0034] タービン 1 5 で仕事をした燃焼ガス（以下、排ガスともいう）は、排熱回収ボイラ 5 に供給される。排熱回収ボイラ 5 は、燃焼ガスの熱（排熱）を利用して、蒸気を発生させる。

例えば、排熱回収ボイラ 5 は、エコノマイザ 1 7、ヘッダ 1 9、蒸発器 2 1、過熱器 2 3、再熱器 2 5 及び脱硝器 2 7 を有する。水は、エコノマイザ 1 7、蒸発器 2 1 及び過熱器 2 3 により加熱され、これにより過熱蒸気が得られる。過熱蒸気は、蒸気タービン 3 に供給される。蒸気タービン 3 に供給された蒸気は、排熱回収ボイラ 5 に一度戻されて再熱器 2 5 に供給される。再熱器 2 5 は、蒸気を加熱し、加熱された蒸気が蒸気タービン 3 に供給される。

脱硝器 2 7 は、排ガスに含まれる NO_x を除去する機能を有する。排熱回収ボイラ 5 から排出された排ガスは、例えば、煙突 2 9 を通じて放出される。

[0035] 蒸気タービン 3 は、発電機 9 に接続されている。蒸気タービン 3 は、蒸気を利用してトルクを発生させ、発電機 9 はトルクを利用して発電する。例えば、蒸気タービン 3 は、高圧タービン 3 1、中圧タービン 3 3 及び低圧タービン 3 5 を有し、高圧タービン 3 1、中圧タービン 3 3 及び低圧タービン 3 5 の各々が蒸気を利用してトルクを発生させる。

[0036] 蒸気タービン 3 には、復水器 37 が接続され、蒸気タービン 3 の低压タービン 35 から放出された蒸気は、復水器 37 によって凝縮させられて水になる。復水器 37 は、復水ポンプ 39 を介して排熱回収ボイラ 5 に接続され、復水ポンプ 39 によって、復水器 37 で得られた水が、排熱回収ボイラ 5 に供給される。

[0037] 図 2 は、蒸気タービン 3 の概略的な構成を示す縦断面図である。

図 2 の蒸気タービン 3 は、高压タービン 31、中圧タービン 33 及び低压タービン 35 が一体に形成された単車室形の蒸気タービンである。幾つかの実施形態では、蒸気タービンは、高压タービン、中圧タービン及び低压タービンが別体に形成された複車室形である。複車室形の蒸気タービンは、タンデム形であってもクロス形であってもよい。

[0038] 図 2 の蒸気タービン 3 は、車室を形成するハウジング 41 と、ロータ 43 と、ハウジング 41 に固定された静翼列と、ロータ 43 に固定された複数の動翼列とを有する。ロータ 43 は、ラジアル軸受 44、45 によって回転可能に支持され、ロータ 43 の少なくとも一部は、ハウジング 41 内を延びている。ロータ 43 の一端側に、発電機 9 が接続されている。

[0039] ハウジング 41 とロータ 43 との間には筒状の内部流路 46 が形成され、内部流路 46 に静翼列及び動翼列が配置される。静翼列及び動翼列には、高压タービン 31 に属するもの、中圧タービン 33 に属するもの、及び、低压タービン 35 に属するものがある。各静翼列は、ロータ 43 の周方向に配列された複数の静翼からなり、各静翼はハウジング 41 に対して固定されている。各動翼列は、ロータ 43 の周方向に配列された複数の動翼からなり、各動翼は、ロータ 43 に対して固定されている。各静翼列では、蒸気の流れが加速され、各動翼列では、蒸気のエネルギがロータ 43 の回転エネルギに変換される。

[0040] 蒸気の流動方向にて最下流に位置する低压タービン 35 の動翼列（以下、最終段動翼列とも称する）47 は、蒸気タービン 3 に占める出力の分担が大きい。排気損失の低減により蒸気タービン 3 の効率を改善することを目的と

して、最終段動翼列 4 7 の長大化が図られている。

[0041] 図 3 は、最終段動翼列 4 7 を概略的に示す平面図であり、図 4 は、最終段動翼列 4 7 に属する 1 つの動翼（以下、最終段動翼とも称する）4 9 を概略的に示す斜視図である。

動翼 4 9 は、動翼本体 5 0 を有し、動翼本体 5 0 は、翼部 5 1、翼根部 5 3、第 1 連結部 5 5 及び第 2 連結部 5 7 を有する。

翼部 5 1 は、互いに反対向きの高圧面（腹面）5 1 a 及び低圧面（背面）5 1 b を有する。隣り合う翼部 5 1 の高圧面 5 1 a と低圧面 5 1 b との間に蒸気の流路が形成され、流路を流れる蒸気から翼部 5 1 がエネルギーを受け取る。翼部 5 1 の高圧面 5 1 a 及び低圧面 5 1 b は、所定の幅をもって、ロータ 4 3 の径方向にそれぞれ延び、径方向と直交する翼部 5 1 の断面形状は所定の断面形状に形成されている。なお、翼部 5 1 の周速は、径方向内側と外側で異なっていることを考慮して、翼部 5 1 の高圧面 5 1 a 及び低圧面 5 1 b は、ロータ 4 3 の径方向にて内側から外側に向かって徐々に振られた形状を有する。

[0042] 翼根部 5 3 は、ロータ 4 3 の径方向にて翼部 5 1 の一端側（根元側）に一体に設けられ、ロータ 4 3 には、翼根部 5 3 と係合可能な係合部が設けられる。従って、翼根部 5 3 を介して、最終段動翼 4 9 がロータ 4 3 に固定される。

幾つかの実施形態では、翼根部 5 3 は、ロータ 4 3 の軸方向と直交する断面にて、クリスマスツリー形の形状を有する。この場合、ロータ 4 3 には係合部として軸方向に延びる溝が形成され、翼根部 5 3 は、ロータ 4 3 の溝に対し軸方向に挿入される。

[0043] 第 1 連結部 5 5 は、ロータ 4 3 の径方向にて翼部 5 1 の他端側（先端側）に一体に設けられている。図 5 は、第 1 連結部 5 5 とともに翼部 5 1 の一部を概略的に示している。図 6 は、複数の第 1 連結部 5 5 を概略的に示す展開図である。

第 1 連結部 5 5 は、インテグラルシュラウドとも称され、長大化された最

終段動翼列 4 7 の振動の振幅やモード数を減少させるために設けられている。すなわち、隣り合う最終段動翼 4 9 を、ロータ 4 3 の径方向外側で第 1 連結部 5 5 を介して連結することにより一体化し、これにより最終段動翼列 4 7 の振動の振幅やモード数を減少させている。

[0044] 具体的には、第 1 連結部 5 5 は、ロータ 4 3 の周方向にて両側に第 1 対向面 5 9 を有する。隣り合う最終段動翼 4 9 の第 1 対向面 5 9 は相互に対向するよう配置される。なお、相互に対向する第 1 対向面 5 9 は、蒸気タービン 3 の運転時、遠心力の作用により翼部 5 1 が振り戻り変形したときに、互いに平行になるように成形されている。

例えば、第 1 連結部 5 5 は、ロータ 4 3 の周方向にて両側に三角柱形状の突起 6 1 を有し、突起 6 1 の一側面が第 1 対向面 5 9 を構成している。

[0045] 第 2 連結部 5 7 は、翼部 5 1 の高圧面 5 1 a 及び低圧面 5 1 b の各々に、ロータ 4 3 の径方向にて中間に一体に設けられている。図 7 は、第 2 連結部 5 7 とともに翼部 5 1 の一部を概略的に示している。図 8 は、複数の第 2 連結部 5 7 を概略的に示す展開図である。

第 2 連結部 5 7 は、インテグラルスタブとも称され、主として、長大化された最終段動翼列 4 7 の構造減衰を高めるために設けられている。すなわち、隣り合う最終段動翼 4 9 を、ロータ 4 3 の径方向中間で第 2 連結部 5 7 を介して連結することにより一体化し、これにより最終段動翼列 4 7 の構造減衰を高めている。

[0046] 具体的には、第 2 連結部 5 7 は、第 2 対向面 6 3 を有する。隣り合う最終段動翼 4 9 の第 2 対向面 6 3 は相互に対向するよう配置される。なお、相互に対向する第 2 対向面 6 3 は、蒸気タービン 3 の運転時、遠心力の作用により翼部 5 1 が振り戻り変形したときに、互いに平行になるように成形されている。

例えば、第 2 連結部 5 7 は三角柱形状を有し、第 2 連結部 5 7 の一側面が第 2 対向面 6 3 を構成している。

また例えば、図 8 に示したように、第 2 連結部 5 7 を有する位置における

動翼本体 50 の横断面において、翼部 51 の前縁と後縁とを結んだ結線 L_c と、第 2 対向面 63 とのなす角 θ_a が鋭角であり、かつ、第 2 対向面 63 の垂線 L_r が翼部 51 と交差している。

[0047] 上述した第 1 対向面 59 及び第 2 対向面 63 のうち少なくとも一方の表面上には、高速フレーム溶射により形成された単一組成の Co 基合金からなる被覆層 65 が形成されている。そして、被覆層 65 とその下地の表面との間の拡散層の厚さは $10\ \mu\text{m}$ 以下である。

Co 基合金は、耐フレッティング摩耗性に優れた耐フレッティング摩耗材である。Co 基合金としては、例えばステライト合金、トリハロイ合金などを挙げることができる。耐フレッティング摩耗材としては、Co 基合金の他、Cu ベースの合金として CuNiIn、CuAl、CuTi などを用いることができる。

本実施形態では、図 6 及び図 8 の円内に拡大して概略的に示したように、第 1 対向面 59 及び第 2 対向面 63 の両方に被覆層 65 が形成されている。この場合、隣り合う最終段動翼 49 間では、対向する第 1 対向面 59 上の被覆層 65 が相互に接触し、対向する第 2 対向面 63 上の被覆層 65 が相互に接触する。

例えば、被覆層 65 は、対向する第 1 対向面 59 の相互に接触する範囲の全域、及び、対向する第 2 対向面 63 の相互に接触する範囲の全域に形成されている。

[0048] 以下、上述した最終段動翼 49 の製造方法を説明する。

図 9 は、最終段動翼 49 の製造方法を概略的に示すフローチャートである。図 9 に示したように、まず、動翼本体 50 が、例えば鍛造により成形される (S10)。成形された動翼本体 50 は熱処理され、動翼本体 50 の強度や硬度が調整される (S12)。例えば熱処理は、焼き入れ工程 (溶体化処理工程) と焼き戻し工程 (時効硬化処理工程) とを含む。

[0049] 例えば、溶体化処理工程の温度は、 1020°C 以上 1060°C 以下の範囲内にあり、時効硬化処理工程の温度は、 470°C 以上 660°C 以下の範囲内

にある。

[0050] 例えば、熱処理された動翼本体50の表面硬さは、JIS Z2244 2008に規定されたビッカース硬さ試験において、500HV0.5以上である。

熱処理された動翼本体50には、例えば研磨による酸化膜除去処理が施され、表面の酸化膜が除去される(S14)。

[0051] 酸化膜が除去された動翼本体50には、第1対向面59及び第2対向面63に粗化処理が施される(S16)。粗化処理S16は、第1対向面59及び第2対向面63の表面粗さを粗くするものであり、例えばブラストにより行われる。幾つかの実施形態では、尖った粒子を用いたグリットブラストにより粗化処理S16が行われる。

例えば、粗化処理された第1対向面59及び第2対向面63の表面粗さは、JIS B0601 2013に規定された算術平均粗さRaにて、6.0 μ m以上7.0 μ m以下の範囲内にある。

なお、粗化処理S16の際、第1対向面59及び第2対向面63以外の領域についてはマスキングすることにより、表面が粗くなることを防止する。

[0052] 粗化処理された動翼本体50には、第1対向面59及び第2対向面63上に高速フレイム溶射により被覆層65が形成される(S18)。

高速フレイム溶射S18は、例えば、HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) 溶射又はHVAF (High Velocity Air Fuel) 溶射により行われる。高速フレイム溶射S18では、酸素又は空気と燃料の燃焼により発生させた高速の燃焼ガスによって、粉末材料を被覆対象に吹き付けることにより、被覆層65を形成することができる。

本実施形態では、HVOF溶射が採用される。

[0053] 被覆層65を形成するための粉末材料は、被覆層65と同じ組成のCo基合金からなる。

例えば、粉末材料の粒径は、JIS Z8819-2 2001に規定さ

れる算術平均粒子径にて、 $10\mu\text{m}$ 以上 $70\mu\text{m}$ 以下の範囲内にある。

[0054] また例えば、被覆対象である第1対向面59又は第2対向面63の法線に対する粉末材料の吹き付け方向の傾き、即ち入射角 θ_i は、図8を参照すると、 0° 以上 60° 以下の範囲内にある。吹き付け方向の傾きが 0° 以上 60° 以下の範囲内にある場合、被覆層65における気孔率を低くし、被覆層65の耐フレット性能を高くすることができる。例えば、被覆層65における気孔率は5%以下である。

[0055] 上述した本発明の少なくとも一実施形態に係る蒸気タービン3では、第1対向面59及び第2対向面63のうち少なくとも一方の表面上には単一組成のC_o基合金からなる被覆層65が形成されており、隣り合う最終段動翼49では、単一組成のC_o基合金からなる被覆層65が相互に接触する。単一組成のC_o基合金からなる被覆層65は耐フレット性に優れており、被覆層65が設けられた第1連結部55及び第2連結部57におけるフレットによる損傷が防止される。

[0056] 一方、被覆層65は高速フレイム溶射により第1対向面59又は第2対向面63の表面上に形成されており、高速フレイム溶射の後に熱拡散処理が行われていない。このため、被覆層65とその下地の表面との間に存在する拡散層の厚さが $10\mu\text{m}$ 以下である。このため、たとえ被覆層65にフレット疲労により亀裂が生じたとしても、亀裂が下地である第1連結部55や第2連結部57に進行することがない。したがって、もし、フレットにより損傷を受けたとしても、その損傷は、再度、高速フレイム溶射によりC_o基合金をコーティングして修復すれば足り、翼自体を換装する必要はない。そのため、修復のためのコストを低減できるとともに、復旧に要する工期をも短縮し得て、蒸気タービンの稼働率を高めることができる。

[0057] なお、蒸気タービン3の運転時、最終段動翼列47の外周部に位置する第1連結部55の周囲は湿り域にあるが、第1対向面59同士は相互に対向しており、第1対向面59にエロージョンが発生する可能性はほとんどない。また、最終段動翼列47の翼中間部に位置する第2連結部57の周囲は、湿

り域にはなく、さらに、第2対向面63同士は相互に対向しており、第1対向面59と同様に、第2対向面63においても、エロージョンが発生する可能性は殆どなく、エロージョンを防止するための保護膜を設ける必要性はない。

しかし、最近の、最終段動翼の長大化やタービンの高出力化により、従来、構造減衰を高めるために設けられ、対向面に作用するピーク応力はさほど大きくないと考えられていた第2連結部の第2対向面においてさえも、接触部位において、ピーク応力が上昇していることがわかってきて、フレットイングに起因する損傷を防止するため、対向面にフレットイング性の高い被覆層を形成するなど、処置を講ずるのが望ましいとの知見を得た。

[0058] 幾つかの実施形態では、被覆層65は、第1対向面59又は第2対向面63の表面上に直接積層される。

[0059] 図10は、フレットイング疲労試験後における、第2連結部57の第2対向面63上に形成された被覆層65の光学顕微鏡による断面観察結果である。図10からわかるように、高速フレーム溶射により被覆層65を形成した場合、拡散層の厚さは10 μ m以下であり、実質的に零である。そして、図10からわかるように、被覆層65に発生した割れ（亀裂）は、下地（母材）との界面に到達後、界面にそって横割れとなっており、亀裂が下地の内部まで進行していない。

[0060] 幾つかの実施形態では、被覆層65を構成するCo基合金は、表1に例示した組成（64Co－28Cr－4W－1C－3Fe）を有するステライト（登録商標）No. 6である。

[0061] [表1]

元素	濃度（質量％）
Co	Bal.
Cr	28
W	4
C	1
Fe	3

[0062] 被覆層65の厚さは、幾つかの実施形態では、0.1mm以上0.6mm

以下の範囲内にあり、幾つかの実施形態では0.3 mm以上0.5 mm以下の範囲内にある。

[0063] 幾つかの実施形態では、被覆層65は、少なくとも第2対向面63の表面上に形成されている。

[0064] この点、上記構成によれば、被覆層65が第2連結部57の第2対向面63の表面上に形成されているので、フレットングに起因する第2連結部57の損傷を防止することができる。

幾つかの実施形態では、最終段動翼49は、翼高さが40インチ級以上の動翼である。

[0065] 図11は、図8中のX1-X1線に沿う概略的な断面図である。幾つかの実施形態では、図7及び図11に示したように、第2連結部57は、第2対向面63の両側縁に対しそれぞれ斜めに連なり、最終段動翼列47において隣り合う第2連結部57の間隔を拡大するように構成された第2傾斜面69を有する。

なお、第2連結部57の両側縁は、ロータ43の径方向、換言すれば、最終段動翼49の高さ方向に相互に離間しており、第2傾斜面69は、最終段動翼49の高さ方向に対して傾斜している。

[0066] 上記構成によれば、第2連結部57の第2対向面63の両側縁にそれぞれ連なる第2傾斜面69を設けたことにより、第2対向面63間での片当たり、すなわち局所的な接触の発生が防止される。このため、第2対向面63に作用するピーク応力が低減され、フレットングによる第2連結部57の損傷がより確実に防止される。

[0067] 一方、第2傾斜面69を設けた場合、第2対向面63の面積が実質的に減少し、第2対向面63の平均面圧が上昇することとなるが、この場合であっても、第2対向面63の表面上に被覆層65を形成しておけば、平均面圧上昇によるフレットング摩耗および疲労を防止することができる。

幾つかの実施形態では、第2傾斜面69の表面上にも被覆層65が形成される。

[0068] 幾つかの実施形態では、図5の円内に拡大して概略的に示したように、第1連結部55は、第1対向面59の両側縁に対しそれぞれ斜めに連なり、最終段動翼列47において隣り合う第1連結部55の間隔を拡大するように構成された第1傾斜面67を有する。

なお、第1連結部55の両側縁は、ロータ43の径方向、即ち、最終段動翼49の高さ方向に相互に離間しており、第1傾斜面67は、最終段動翼49の高さ方向に対して傾斜している。

[0069] 上記構成によれば、第1連結部55の第1対向面59の両側縁に連なる第1傾斜面67をそれぞれ設けたことにより、第1対向面59間での片当たりの発生が防止される。このため、第1対向面59に作用するピーク応力が低減され、フレットングによる第1連結部55の損傷がより確実に防止される。

[0070] 一方、第1傾斜面67を設けた場合、第1対向面59の面積が実質的に減少し、第1対向面59の平均面圧が上昇することとなるが、この場合であっても、第1対向面59の表面上に被覆層65を形成しておけば、平均面圧上昇によるフレットング摩耗および疲労を防止することができる。

幾つかの実施形態では、第1傾斜面67の表面上にも被覆層65が形成される。

[0071] 幾つかの実施形態では、図5及び図6に示したように、第1連結部55は、第1対向面59の先端縁に連なり、最終段動翼列47において隣り合う第1連結部55の間隔を拡大するように構成された第1湾曲面71を有する。

上記構成によれば、第1連結部55の第1対向面59の先端縁に連なる第1湾曲面71を設けたことにより、第1対向面59間での片当たりの発生が防止される。このため、第1対向面59に作用するピーク応力が低減され、フレットング摩耗および疲労による第1連結部55の損傷がより確実に防止される。

[0072] 一方、第1湾曲面71を設けた場合、第1対向面59の面積が実質的に減少し、第1対向面59の平均面圧が上昇することとなるが、この場合であっ

ても、第1対向面59の表面上に被覆層65を形成しておけば、平均面圧上昇によるフレットング摩耗および疲労を防止することができる。

幾つかの実施形態では、第1湾曲面71の表面上にも被覆層65が形成される。

[0073] 幾つかの実施形態では、図7及び図8に示したように、第2連結部57は、第2対向面63の先端縁に連なり、最終段動翼列47において隣り合う第2連結部57の間隔を拡大するように構成された第2湾曲面73を有する。

上記構成によれば、第2連結部57の第2対向面63の先端縁に連なる第2湾曲面73を設けたことにより、第2対向面63間での片当たりの発生が防止される。このため、第2対向面63に作用するピーク応力が低減され、フレットング摩耗および疲労による第2連結部57の損傷がより確実に防止される。

[0074] 一方、第2湾曲面73を設けた場合、第2対向面63の面積が実質的に減少し、第2対向面63の平均面圧が上昇することとなるが、この場合であっても、第1対向面59の表面上に被覆層65を形成しておけば、平均面圧上昇によるフレットング摩耗および疲労を防止することができる。

幾つかの実施形態では、第2湾曲面73の表面上にも被覆層65が形成される。

[0075] 幾つかの実施形態では、図12及び図13にそれぞれ示したように、第1連結部55は、第1湾曲面71に代えて第3傾斜面75を有し、第2連結部57は、第2湾曲面73に代えて第4傾斜面77を有する。

第3傾斜面75は、第1対向面59の先端縁に連なり、動翼列において隣り合う第1連結部55の間隔を拡大するように構成されている。

第4傾斜面77は、第2対向面63の先端縁に連なり、動翼列において隣り合う第2連結部57の間隔を拡大するように構成されている。

この構成によっても、第1湾曲面71及び第2湾曲面73を設けた場合と同様、第3傾斜面75及び第4傾斜面77を設けたことにより、フレットングによる第1連結部55及び第2連結部57の損傷がより確実に防止され

る。

[0076] ただし、第1対向面59や第2対向面63において、先端縁に発生する局所応力は、側縁のそれに比べて高くなることに着目し、図5及び図7の構成では、側縁には第1傾斜面67又は第2傾斜面69を連ねる一方、先端縁には第1湾曲面71又は第2湾曲面73を連ねている。局所応力が高くなる先端縁に第1湾曲面71又は第2湾曲面73を連ねることで、片当たりを確実に抑えて、フレットング摩耗やフレットング疲労をより確実に防止することができる。

[0077] 幾つかの実施形態では、動翼本体50は析出硬化型のステンレス鋼からなる。

動翼本体50が析出硬化型のステンレス鋼からなる場合、成形された動翼本体50には熱処理、例えば溶体化処理及び時効硬化処理が順次施され、ステンレス鋼の硬度が適当な値に調整される。熱処理後に動翼本体50が加熱された場合、硬度を調整するために再度熱処理が必要になる。或いは、熱処理後に動翼本体50に対して何らかの処理を行おうとする場合、動翼本体50の温度が熱処理温度を超えないように温度管理を行う必要がある。

[0078] この点、高速フレーム溶射により被覆層65を形成した場合、動翼本体50は殆ど加熱されない。このため、動翼本体50が析出硬化型のステンレス鋼からなる場合であっても、高速フレーム溶射により動翼本体50の硬度が変化することはない。従って、動翼本体50のための特別な温度管理を必要とすることなく、被覆層65を容易に形成することができる。

[0079] なお、析出硬化型ステンレス鋼の摩擦係数は、チタン合金に比べて低く、従来、析出硬化型ステンレス鋼からなる動翼ではフレットング摩耗および疲労の虞は殆どなかった。しかしながら、近年の蒸気タービンにおける高出力化や動翼の長翼化に伴い、第1対向面59や第2対向面63に作用するピーク応力も増大しており、第1連結部55や第2連結部57においてフレットングに起因する損傷が発生する可能性が高くなっていることがわかってきた。

そこで、幾つかの実施形態では、動翼本体 50 が析出硬化型のステンレス鋼からなる場合であっても、第 1 対向面 59 及び第 2 対向面 63 のうち少なくとも一方の表面上に被覆層 65 を設けることにより、フレットング摩耗および疲労による損傷が防止される。

[0080] 幾つかの実施形態では、析出硬化型ステンレス鋼は、表 2 に例示した組成を有する 17-4PH (SUS630) である。

下地が析出硬化型ステンレス鋼であり、被覆層 65 が Co 基合金の場合、電磁膜圧計により被覆層 65 の厚さを容易に計測することができる。このため、被覆層 65 の剥離や摩耗を容易に把握することができ、必要に応じて速やかに、被覆層 65 を修復することができる。そして、高速フレイム溶射によれば、動翼本体 50 の温度管理が特に必要ないので、被覆層 65 を容易に修復することができる。

[0081] [表2]

元素	濃度 (質量%)
C	≤ 0.07
Si	≤ 1.00
Mn	≤ 1.00
P	≤ 0.040
S	≤ 0.030
Ni	3.00 ~ 5.00
Cr	15.50 ~ 17.50
Cu	3.00 ~ 5.00
Nb + Ta	0.15 ~ 0.45
Fe	Bal.

[0082] ここで、図 14 は、ステライト（登録商標）#6 を高速フレイム溶射して得られた実施例の被覆層の断面の金属組織を示している。図 14 から、実施例の被覆層の金属組織はまだらな組織にはなっておらず、略均一であることがわかる。実施例の被覆層の複数の箇所で微小硬さ試験 (Hv0.002) を行ったところ、微小硬さは、被覆層の全ての領域で、概ね 800 ~ 1200 であった。この点からも、実施例の被覆層の金属組織は略均一であることがわかる。

[0083] 一方、図15は、 Cr_3C_2 と NiCr の混合粉末（ $\text{Cr}_3\text{C}_2-25\text{NiCr}$ ）を高速溶射フレームして得られた比較例の被覆層の金属組織の断面及び微小硬さ試験結果を示している。

図15に示したように、比較例の被覆層にあつては、 Cr_3C_2 と NiCr の複合物であるが故に、金属組織の形態及びその微小硬さの測定結果から、均質組織ではなく、領域によって硬さに大きな違いがあることが分かる。具体的には、比較例の被覆層にあつては、図15に示したように、白色領域1、白色領域2及び灰色領域の存在が認められ、領域間で微小硬さに大きな違いがある。

ここで、広い面積で接触し、接触部に多少の面圧分布しか生じないような部位へ適用する場合には、バインダに NiCr を用い、クロムカーバイド（ Cr_3C_2 ）を高速フレーム溶射にて施工した被覆層（溶射被膜）を用いることも可能であると考えられる。つまり、特開2014-163371号公報に記載された発明では、Ti材の摺動性改善のために、バインダに NiCr を用い、クロムカーバイド（ Cr_3C_2 ）を高速フレーム溶射にて施工した被覆層が施工されているが、これは、特開2014-163371号公報に記載された発明では、翼において、シュラウド、スタブコンタクト面共に「べた当たり」を想定し、バインダに NiCr を用い、 CrC を高速フレーム溶射により被膜施工するのが良いとされたものと考えられる。

[0084] しかしながら、本発明者らの知見によれば、蒸気タービン翼のように局所面あたりが生じる場合には、本発明の実施形態のように、単一組成のCo基合金を高速フレーム溶射して得られる被覆層65の方が、複合物を高速フレーム溶射して得られる被覆層に比べ、組織的に硬さの不均一が無く、耐摩耗性等において優位である。そこで、本発明の実施形態では、局所面あたりを考慮して、均質な組織及び硬さ分布を有する被覆層65を形成できるように、単一組成のCo基合金、好ましくはステライト（登録商標）#6を高速フレーム溶射して被覆層65を形成しているのである。

[0085] 本発明は上述した実施形態に限定されることはなく、上述した実施形態に

変形を加えた形態や、これらの形態を適宜組み合わせた形態も含む。

また、最終段動翼 4 9 に用いられた動翼は、最終段以外の蒸気タービン動翼にも適用可能であるが、最も使用条件が厳しい低圧蒸気タービンの最終段に好適である。

これは、被覆層 6 5 の形成を高速フレイム溶射により行うため、被覆層 6 5 の形成の際、下地に与える熱影響が小さく、下地の物性が変化しないためである。これにより、例えば、被覆層 6 5 を形成したとしても、湿り蒸気下での動翼本体 5 0 における応力腐食割れの発生を防止することができる。

符号の説明

[0086]	1	ガスタービン
	3	蒸気タービン
	5	排熱回収ボイラ
	7, 9	発電機
	1 1	圧縮機
	1 3	燃焼器
	1 5	タービン
	1 7	エコノマイザ
	1 9	ヘッダ
	2 1	蒸発器
	2 3	過熱器
	2 5	再熱器
	2 7	脱硝器
	2 9	煙突
	3 1	高圧タービン
	3 3	中圧タービン
	3 5	低圧タービン
	3 7	復水器
	3 9	復水ポンプ

4 1	ハウジング（車室）
4 3	ロータ
4 4, 4 5	ラジアル軸受
4 6	内部流路
4 7	最終段動翼列
4 9	最終段動翼
5 0	動翼本体
5 1	翼部
5 1 a	高压面
5 1 b	低压面
5 3	翼根部
5 5	第 1 連結部
5 7	第 2 連結部
5 9	第 1 対向面
6 1	突起
6 3	第 2 対向面
6 5	被覆層
6 7	第 1 傾斜面
6 9	第 2 傾斜面
7 1	第 1 湾曲面
7 3	第 2 湾曲面
7 5	第 3 傾斜面
7 7	第 4 傾斜面

請求の範囲

[請求項1] 蒸気タービンの動翼列を構成するための1つの蒸気タービン動翼において、

翼部、前記翼部の一端側に設けられた翼根部、前記翼部の他端側に設けられ且つ第1対向面を有する第1連結部、及び、前記翼部の中間に設けられ且つ第2対向面を有する第2連結部を有する動翼本体であって、前記第1対向面及び前記第2対向面は、前記動翼列において隣に配置される他の動翼本体の第1対向面及び第2対向面とそれぞれ対向配置されるように構成された動翼本体と、

前記第1対向面及び前記第2対向面のうち少なくとも一方の表面上に高速フレイム溶射により形成された単一組成のC o基合金からなる被覆層であって、該被覆層と前記表面の間の拡散層の厚さが10 μ m以下の状態で前記表面上に形成された被覆層とを備えることを特徴とする蒸気タービン動翼。

[請求項2] 前記被覆層は、少なくとも前記第2対向面の表面上に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の蒸気タービン動翼。

[請求項3] 前記第1連結部は、前記第1対向面の側縁に対し斜めに連なり、前記動翼列において隣り合う第1連結部の間隔を拡大するように構成された第1傾斜面を有し、

前記第2連結部は、前記第2対向面の側縁に対し斜めに連なり、前記動翼列において隣り合う第2連結部の間隔を拡大するように構成された第2傾斜面を有することを特徴とする請求項1又は2に記載の蒸気タービン動翼。

[請求項4] 前記第1連結部は、前記第1対向面の先端縁に連なり、前記動翼列において隣り合う第1連結部の間隔を拡大するように構成された第1湾曲面を有し、

前記第2連結部は、前記第2対向面の先端縁に連なり、前記動翼列

において隣り合う第2連結部の間隔を拡大するように構成された第2湾曲面を有する

ことを特徴とする請求項1乃至3のうち何れか一項に記載の蒸気タービン動翼。

[請求項5] 前記第1連結部は、前記第1対向面の先端縁に連なり、前記動翼列において隣り合う第1連結部の間隔を拡大するように構成された第3傾斜面を有し、

前記第2連結部は、前記第2対向面の先端縁に連なり、前記動翼列において隣り合う第2連結部の間隔を拡大するように構成された第4傾斜面を有する

ことを特徴とする請求項1乃至3のうち何れか一項に記載の蒸気タービン動翼。

[請求項6] 前記第2連結部は、前記第2対向面の側縁に対し斜めに連なり、前記動翼列において隣り合う第2連結部の間隔を拡大するように構成された第2傾斜面を有するとともに、前記第2対向面の先端縁に連なり、前記動翼列において隣り合う第2連結部の間隔を拡大するように構成された第2湾曲面を有する

ことを特徴とする請求項2に記載の蒸気タービン動翼。

[請求項7] 蒸気タービンの動翼列を構成するための1つの蒸気タービン動翼において、

翼部、前記翼部の一端側に設けられた翼根部、前記翼部の他端側に設けられ且つ第1対向面を有する第1連結部、及び、前記翼部の中間に設けられ且つ第2対向面を有する第2連結部を有する動翼本体であって、前記第1対向面及び前記第2対向面は、前記動翼列において隣に配置される他の動翼本体の第1対向面及び第2対向面とそれぞれ対向配置されるように構成された動翼本体と、

前記第2対向面の表面上に形成された耐フレットング摩耗材からなる被覆層と、を備え、

前記第2連結部を有する位置における前記動翼本体の横断面において、前記翼部の前縁と後縁とを結んだ結線と、前記第2対向面とのなす角が鋭角であり、かつ、前記第2対向面の垂線が前記翼部と交差し、

前記第2連結部は、前記第2対向面の側縁に対し斜めに連なり、前記動翼列において隣り合う第2連結部の間隔を拡大するように構成された第2傾斜面を有する、
ことを特徴とする蒸気タービン動翼。

[請求項8] 前記動翼本体は析出硬化型のステンレス鋼からなる
ことを特徴とする請求項1乃至7の何れか一項に記載の蒸気タービン動翼。

[請求項9] 請求項1乃至8の何れか一項に記載のタービン動翼を備えることを
特徴とする蒸気タービン。

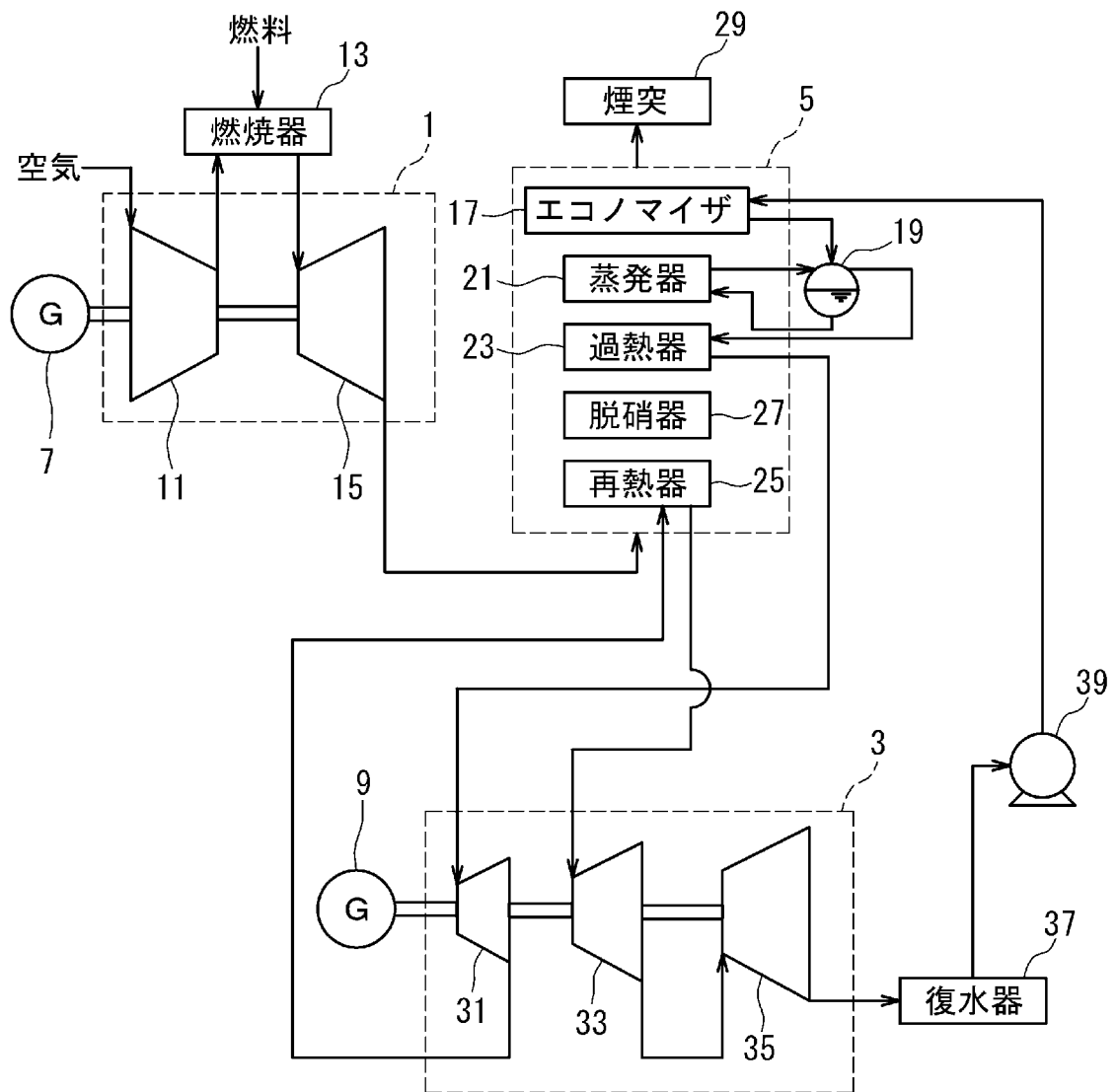
[請求項10] 蒸気タービンの動翼列を構成するための1つの蒸気タービン動翼の
製造方法において、

翼部、前記翼部の一端側に設けられた翼根部、前記翼部の他端側に設けられ且つ第1対向面を有する第1連結部、及び、前記翼部の中間に設けられ且つ第2対向面を有する第2連結部を有する動翼本体であって、前記第1対向面及び前記第2対向面は、前記動翼列において隣に配置される他の動翼本体の第1対向面及び第2対向面とそれぞれ対向配置されるように構成された動翼本体を用意する工程と、

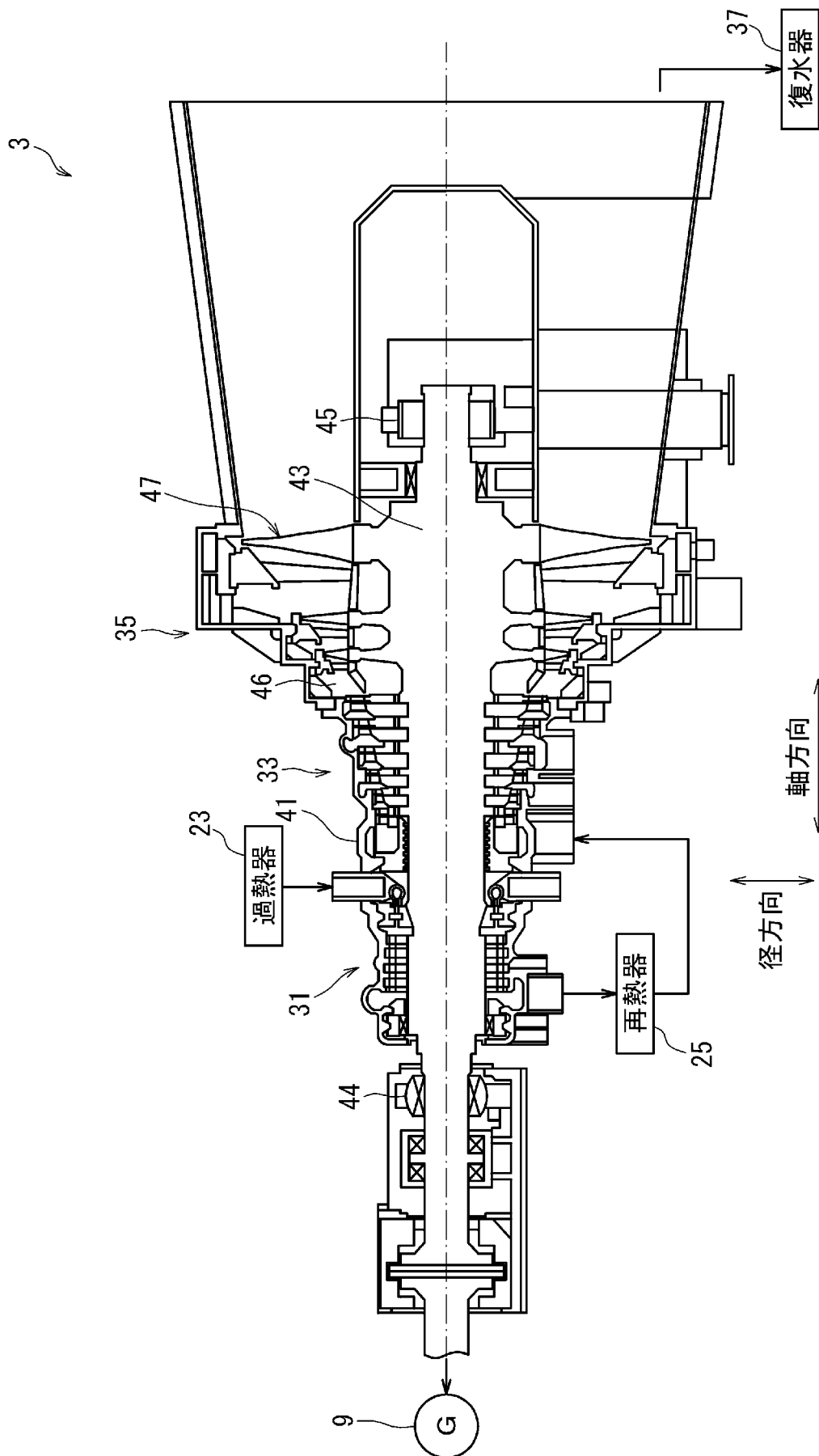
前記第1対向面及び前記第2対向面のうち少なくとも一方の表面上に、高速フレイム溶射により単一組成のC_o基合金からなる被覆層を形成する高速フレイム溶射工程とを備え、

前記高速フレイム溶射工程では、前記第1対向面及び前記第2対向面のうち被覆対象の対向面に対し、該対向面の法線に対し0°以上60°以下の角度でC_o基合金からなる粉末が吹き付けられる
ことを特徴とする蒸気タービン動翼の製造方法。

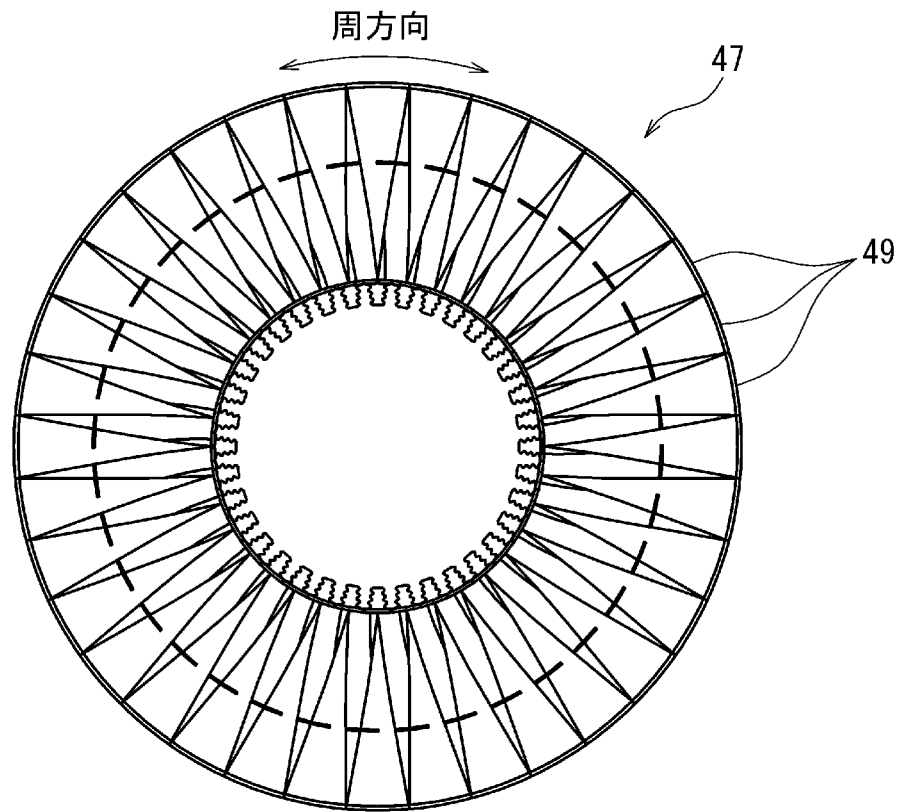
[図1]



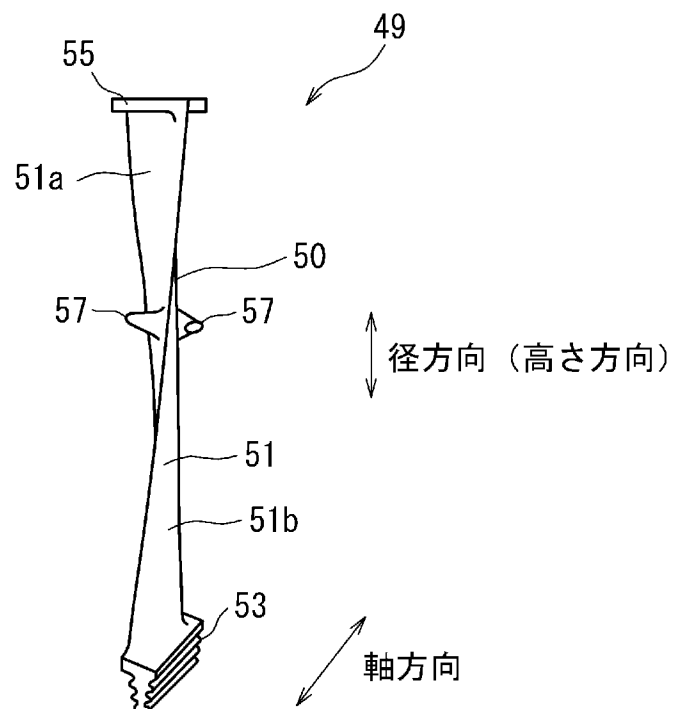
[図2]



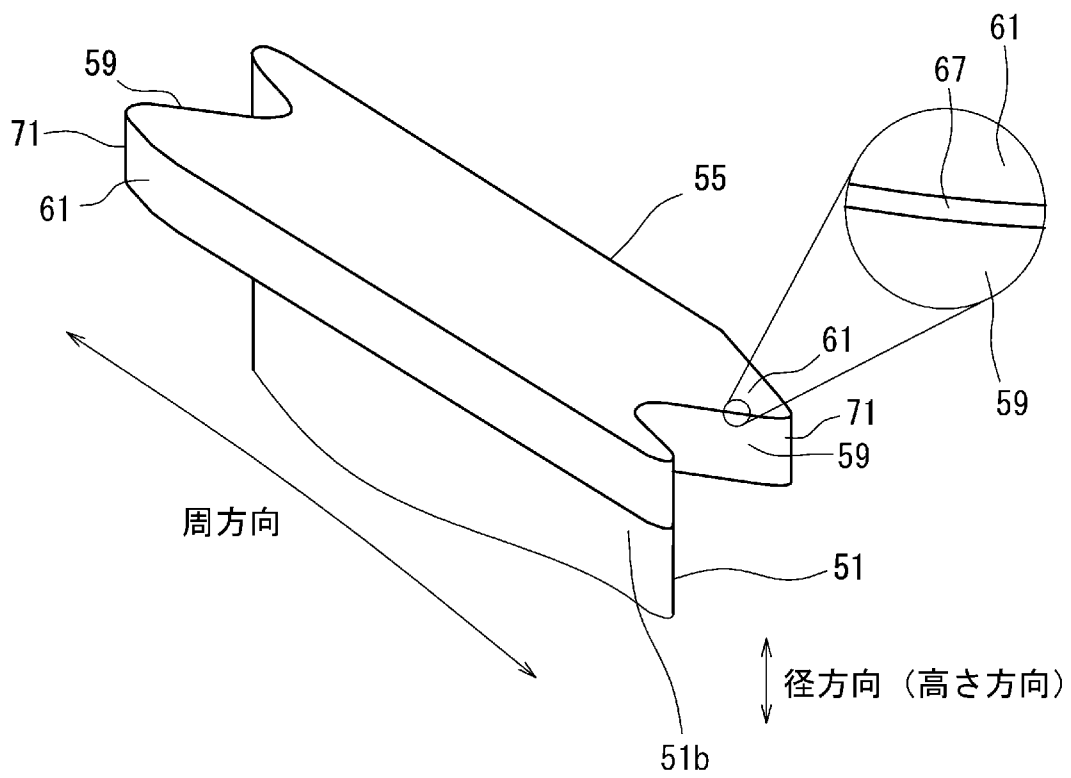
[図3]



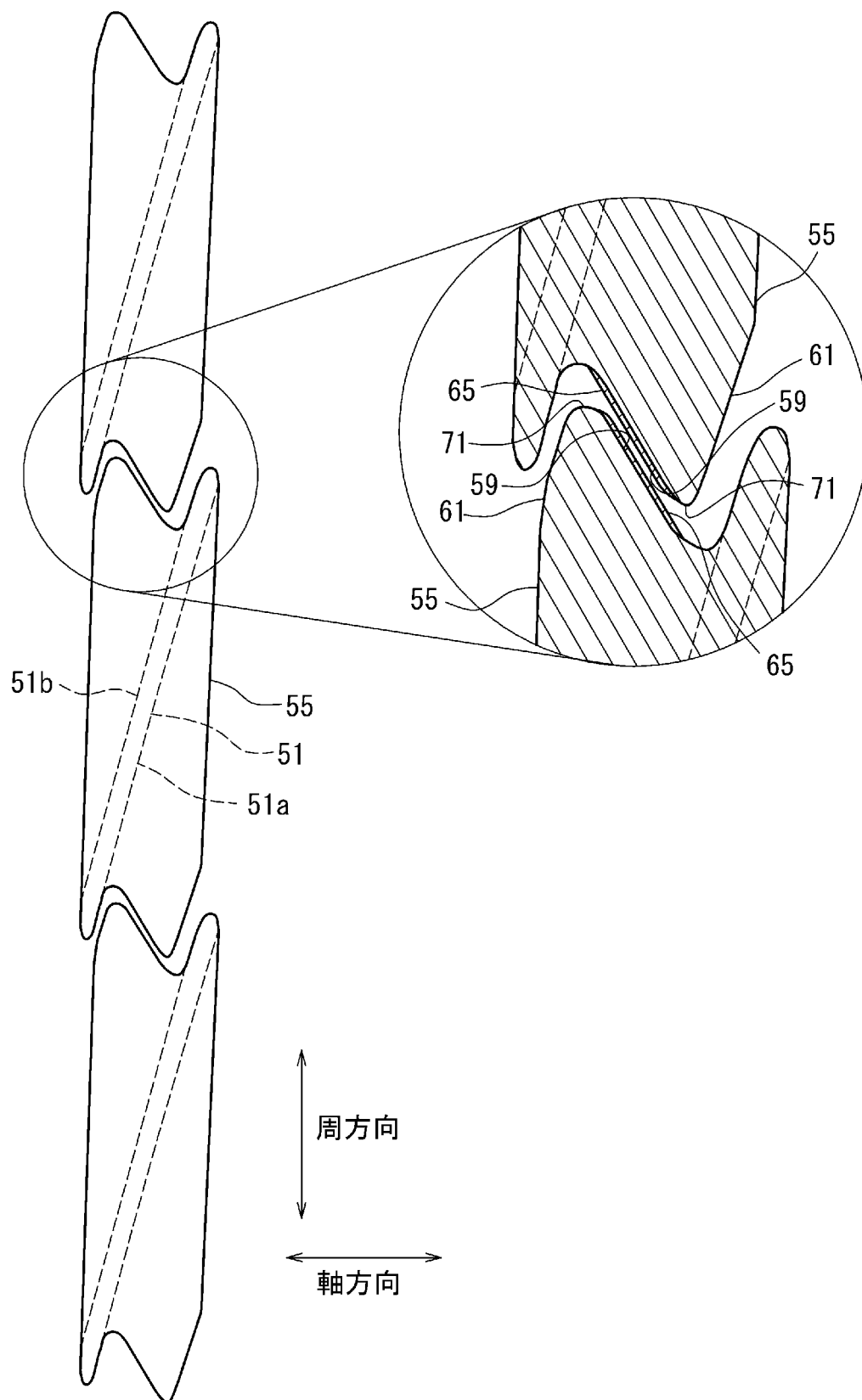
[図4]



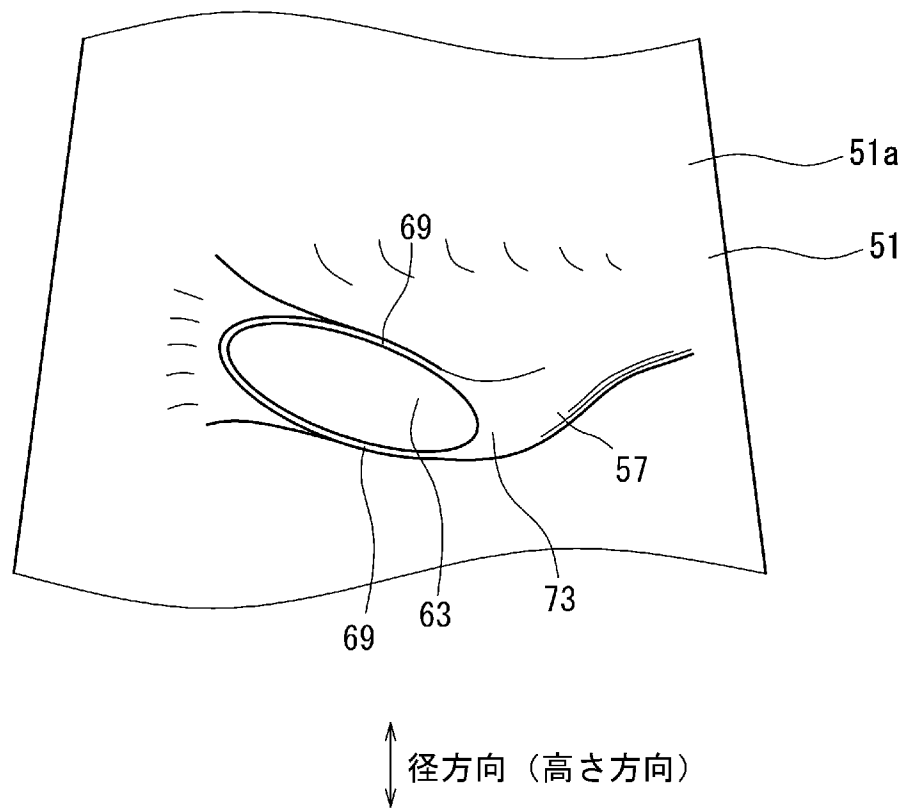
[図5]



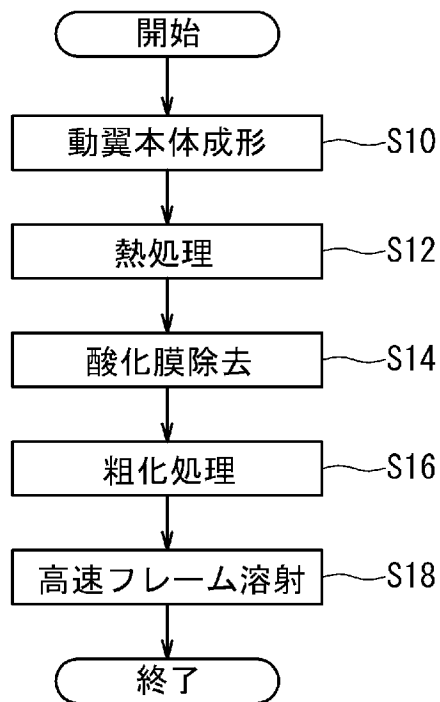
[図6]



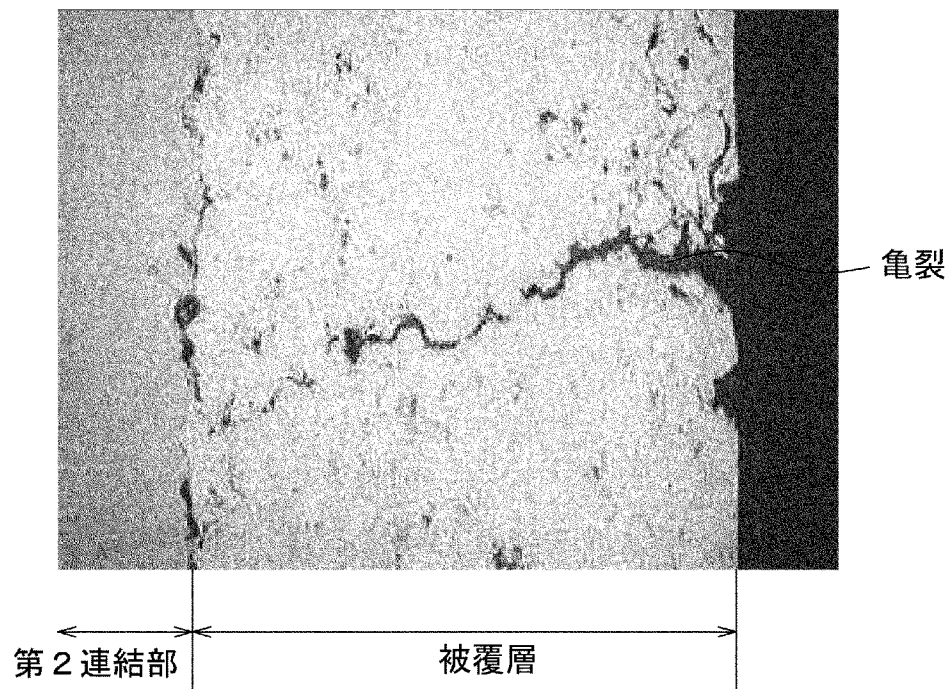
[図7]



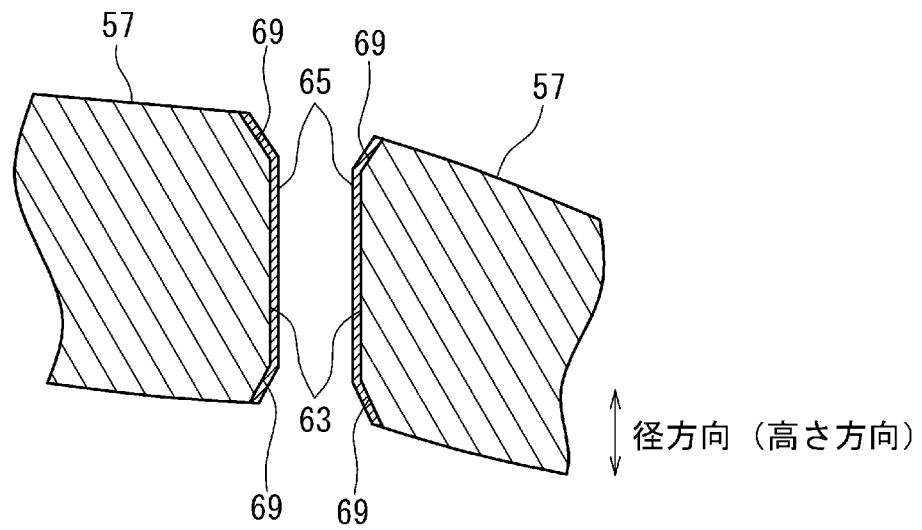
[図9]



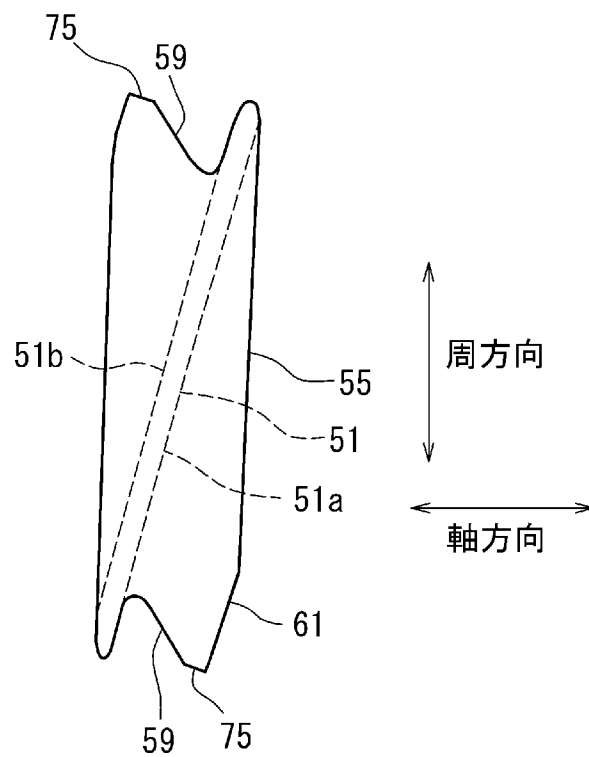
[図10]



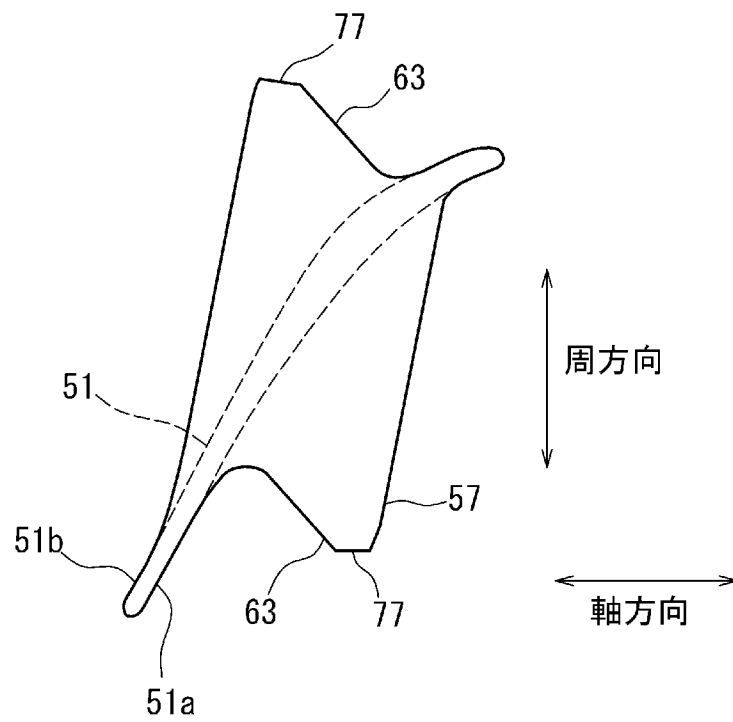
[図11]



[図12]

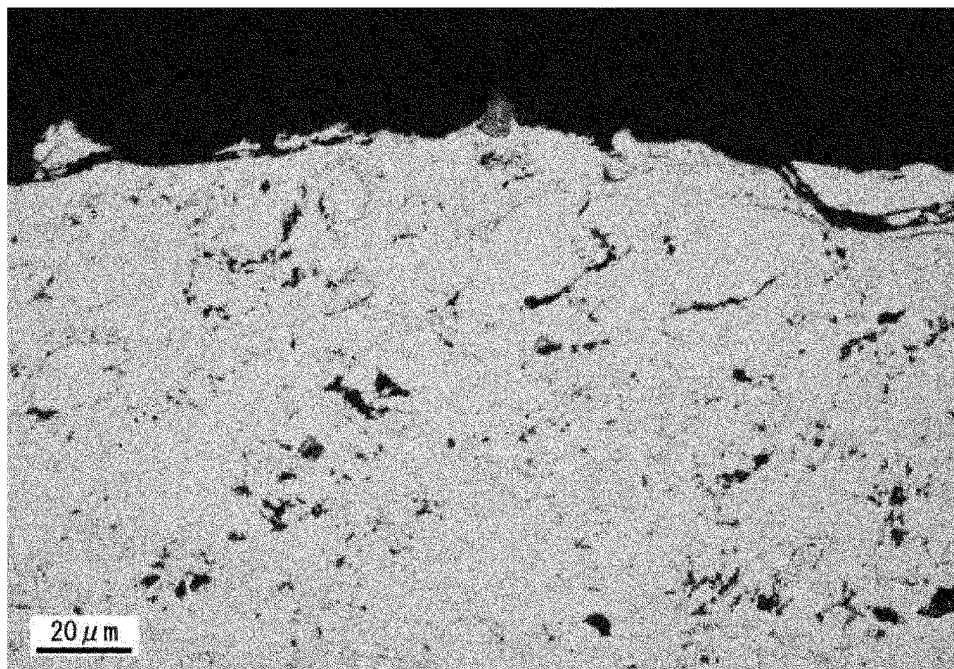


[図13]



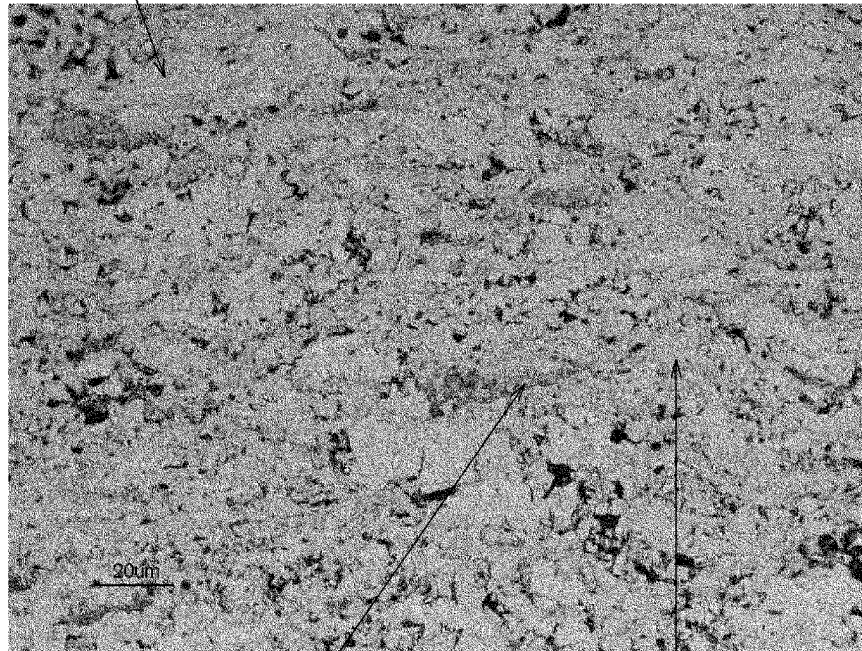
[図14]

実施例（ステライト（登録商標）#6）



[図15]

比較例 (Cr3C2-NiCr)

(HV0.002: 1500~1850)
白色領域 1灰色領域
(HV0.002: 1050~1200)白色領域 2
(HV0.002: 500~800)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/081223

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F01D5/16(2006.01)i, C23C4/06(2016.01)i, C23C4/12(2016.01)i, F01D5/22(2006.01)i, F01D5/26(2006.01)i, F01D5/28(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F01D5/16, C23C4/06, C23C4/12, F01D5/22, F01D5/26, F01D5/28, F01D25/00, F02C7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
DWPI (Thomson Innovation)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2014-163371 A (Hitachi, Ltd.), 08 September 2014 (08.09.2014), paragraphs [0002], [0003], [0013] to [0020]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-2, 8-10 3-7
Y A	JP 2001-152803 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 05 June 2001 (05.06.2001), paragraphs [0002] to [0004], [0012] to [0020]; fig. 1 (Family: none)	1-2, 8-10 3-7
Y	JP 2013-249532 A (Toshiba Corp.), 12 December 2013 (12.12.2013), claims 1 to 3; paragraphs [0012], [0034] (Family: none)	1-2, 8-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20 January 2016 (20.01.16)

Date of mailing of the international search report
02 February 2016 (02.02.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/081223

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2014-177709 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 25 September 2014 (25.09.2014), paragraph [0022]; fig. 2 (Family: none)	10
A	JP 2014-163381 A (General Electric Co.), 08 September 2014 (08.09.2014), entire text; all drawings & US 2014/0234110 A1 & DE 102014101850 A1 & CH 707664 A2	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. F01D5/16(2006.01)i, C23C4/06(2016.01)i, C23C4/12(2016.01)i, F01D5/22(2006.01)i, F01D5/26(2006.01)i, F01D5/28(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. F01D5/16, C23C4/06, C23C4/12, F01D5/22, F01D5/26, F01D5/28, F01D25/00, F02C7/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

DWPI (Thomson Innovation)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2014-163371 A（株式会社日立製作所）2014.09.08, 段落[0002],[0003],[0013]-[0020], 図1-3（ファミリーなし）	1-2, 8-10 3-7
Y A	JP 2001-152803 A（三菱重工業株式会社）2001.06.05, 段落[0002]-[0004],[0012]-[0020], 図1（ファミリーなし）	1-2, 8-10 3-7
Y	JP 2013-249532 A（株式会社東芝）2013.12.12, 請求項1-3, 段落[0012],[0034]（ファミリーなし）	1-2, 8-9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

20.01.2016

国際調査報告の発送日

02.02.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

齊藤 公志郎

3G

3321

電話番号 03-3581-1101 内線 3355

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2014-177709 A (三菱重工業株式会社) 2014. 09. 25, 段落[0022], 図 2 (ファミリーなし)	10
A	JP 2014-163381 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ) 2014. 09. 08, 全文, 全図 & US 2014/0234110 A1 & DE 102014101850 A1 & CH 707664 A2	1-10