

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第6320134号  
(P6320134)

(45) 発行日 平成30年5月9日 (2018.5.9)

(24) 登録日 平成30年4月13日 (2018.4.13)

(51) Int. Cl.	F I	
FO1D 5/28 (2006.01)	FO1D 5/28	
FO1D 25/00 (2006.01)	FO1D 25/00	X
FO2C 7/00 (2006.01)	FO1D 25/00	Q
B23K 26/342 (2014.01)	FO2C 7/00	D
	B23K 26/342	

請求項の数 11 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2014-78907 (P2014-78907)	(73) 特許権者	514030104
(22) 出願日	平成26年4月7日 (2014.4.7)		三菱日立パワーシステムズ株式会社
(65) 公開番号	特開2015-200218 (P2015-200218A)		神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号
(43) 公開日	平成27年11月12日 (2015.11.12)	(74) 代理人	100089118
審査請求日	平成29年3月31日 (2017.3.31)		弁理士 酒井 宏明
		(74) 代理人	100118762
			弁理士 高村 順
		(72) 発明者	奥田 剛久
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	町田 元成
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 動翼、エロージョンシールドの形成方法及び動翼製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

タービンに設置される動翼であって、  
回転方向の上流側の端部となる先端と、前記先端と接しており、作動流体の流れ方向の上流側の面である翼面とを有する翼本体と、

前記翼本体の前記先端及び前記翼面の少なくとも一部に、レーザ溶接を用いて前記翼面側から前記翼面とは反対側に向かう一方向に順次肉盛りされた1層の肉盛で形成されたエロージョンシールドと、を備え、

前記翼本体は、延在方向に直交する断面において、前記エロージョンシールドとの境界が、前記翼面側の端部から前記先端に向かうに従って、前記翼面の反対側の面に近づく形状であり、前記翼面側の端部を含む第1円弧と、前記第1円弧よりも前記先端側に配置された第2円弧と、前記第2円弧よりも前記先端側に配置された第3円弧と、を含み、

前記第1円弧は、前記翼本体の内側に凸であり、  
前記第2円弧は、前記翼本体の外側に凸であり、  
前記第3円弧は、前記翼本体の外側に凸であり、  
前記翼本体と前記エロージョンシールドは、表面が仕上げ加工された面であることを特徴とする動翼。

【請求項 2】

前記境界は、前記第1円弧と前記第2円弧が滑らかに接続されていることを特徴とする請求項1に記載の動翼。

## 【請求項 3】

前記境界は、前記第 2 円弧が前記第 1 円弧よりも曲率半径が大きいことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の動翼。

## 【請求項 4】

前記エロージョンシールドは、前記先端の厚みが、前記第 1 円弧と前記第 2 円弧との間の厚みよりも厚いことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の動翼。

## 【請求項 5】

動翼本体の先端及び翼面の少なくとも一部にエロージョンシールドを形成するエロージョンシールドの形成方法であって、

動翼となる基体の先端及び端面の少なくとも一部を除去し、境界を形成する工程と、

前記境界にレーザー溶接で 1 層の肉盛部を前記翼面側から前記翼面とは反対側に向かう一方向に順次形成する工程と、

前記基体の余肉及び前記肉盛部の一部を除去する仕上げ加工を行う工程と、を有し、

前記境界は、前記翼面側の端部から前記先端に向かうに従って、前記翼面の反対側の面に近づく形状であり、前記翼面側の端部を含む第 1 円弧と、前記第 1 円弧よりも前記先端側に配置された第 2 円弧と、前記第 2 円弧よりも前記先端側に配置された第 3 円弧と、を含み、

前記第 1 円弧は、前記翼本体の内側に凸であり、

前記第 2 円弧は、前記翼本体の外側に凸であり、

前記第 3 円弧は、前記翼本体の外側に凸であり、

前記仕上げ加工を行う工程で除去する前記基体の前記翼面の反対側の余肉の厚みは、前記仕上げ加工を行う工程で除去する前記基体の前記翼面側の余肉の厚み以上となることを特徴とするエロージョンシールドの形成方法。

## 【請求項 6】

前記基体は、前記翼面の余肉部の厚みが 0 . 5 mm 以上である請求項 5 に記載のことを特徴とするエロージョンシールドの形成方法。

## 【請求項 7】

前記基体は、前記翼面と反対側の面の余肉部の厚みが前記翼面側の余肉部の厚み以上となることを特徴とする請求項 5 または請求項 6 に記載のエロージョンシールドの形成方法。

## 【請求項 8】

前記境界は、前記第 1 円弧と前記第 2 円弧が滑らかに接続されていることを特徴とする請求項 5 から 7 のいずれか一項に記載のエロージョンシールドの形成方法。

## 【請求項 9】

前記境界は、前記第 2 円弧が前記第 1 円弧よりも曲率半径が大きいことを特徴とする請求項 5 から 8 のいずれか一項に記載のエロージョンシールドの形成方法。

## 【請求項 10】

前記エロージョンシールドは、前記先端の厚みが、前記第 1 円弧と前記第 2 円弧との間の厚みよりも厚いことを特徴とする請求項 5 から 9 のいずれか一項に記載のエロージョンシールドの形成方法。

## 【請求項 11】

前記動翼に余肉部を有する基体を成型する基体製造工程と、

請求項 5 から 10 のいずれか一項に記載のエロージョンシールドの形成方法で、前記翼本体にエロージョンシールドを形成する工程と、を有することを特徴とする動翼製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、エロージョンシールドを備える動翼、エロージョンシールドの形成方法及び動翼製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

一般的なタービン（例えば、蒸気タービン）は、ケーシングに回転軸であるロータが回転自在に支持され、このロータの外周部に動翼が設置されると共に、ケーシングの内壁に静翼が設置され、蒸気通路にこの動翼と静翼が交互に複数配設されている。そして、蒸気が蒸気通路を流れる過程で、動翼及びロータが回転駆動する。

## 【0003】

動翼は、ロータのロータディスクに固定される翼根部と、翼根部に一体に形成されるプラットホームと、基端部がこのプラットホームに接合されて先端部側に延出する翼部と、を有している。そして、動翼は、基端部がロータディスクの外周部にその周方向に沿って複数並設するように固定されている。

10

## 【0004】

例えば、蒸気タービンの動翼は、蒸気が流れる経路内で回転する。このとき、低圧蒸気タービンの最終段付近の蒸気は、微小水滴を多量に含有している。このため、動翼は、水滴の高速衝突により、翼先端前縁部がエロージョンにより減肉してしまう。

## 【0005】

このような、エロージョンに対する対策としては、例えば、特許文献1、特許文献2に記載されているように動翼の先端前縁部にエロージョンシールドを形成する方法がある。特許文献1では、プラズマトランスファーク溶接により肉盛溶接してエロージョンシールドを形成している。また、特許文献1には、硬質材料の粉末を高密度エネルギー照射（レーザや電子ビーム）で溶融させ肉盛溶接して硬質層を形成し、部材の一部を局部的に硬質層に置き換えて浸食防止部（エロージョンシールド）を設けることが記載されている。

20

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0006】

【特許文献1】特開平10-280907号公報

【特許文献2】特開2012-86241号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0007】

30

特許文献1に記載されたようにアーク溶接でエロージョンシールドを形成すると、欠陥が生じる場合や、硬さが十分ではない場合がある。また、特許文献2に記載されているようにレーザ溶接による肉盛加工で、エロージョンシールドを作成することで、エロージョンシールド性を高くすることができる。しかしながら、特許文献2に記載の加工では、エロージョンシールドが翼本体から外れたり、欠損したりする場合がある。

## 【0008】

本発明は、上述した課題を解決するものであり、エロージョンに対する耐性が高いエロージョンシールドを有する動翼、エロージョンシールドの形成方法及び動翼製造方法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】

40

## 【0009】

上記の課題を解決するための本発明は、タービンに設置される動翼であって、回転方向の上流側の端部となる先端と、前記先端と接しており、作動流体の流れ方向の上流側の面である翼面とを有する翼本体と、前記翼本体の前記先端及び前記翼面の少なくとも一部にレーザ溶接を用いた肉盛で形成されたエロージョンシールドと、を備え、前記翼本体は、延在方向に直交する断面において、前記エロージョンシールドとの境界が、前記翼面側の端部から前記先端に向かうに従って、前記翼面の反対側の面に近づく形状であり、前記翼面側の端部を含む第1円弧と、前記第1円弧よりも前記先端側に配置された第2円弧と、を含み、前記第1円弧は、前記翼本体の内側に凸であり、前記第2円弧は、前記翼本体の外側に凸であることを特徴とする。

50

## 【 0 0 1 0 】

また、前記境界は、前記第 1 円弧と前記第 2 円弧が滑らかに接続されていることが好ましい。

## 【 0 0 1 1 】

また、前記境界は、前記第 2 円弧が前記第 1 円弧よりも曲率が大きいことが好ましい。

## 【 0 0 1 2 】

また、前記境界は、前記第 2 円弧よりも前記先端側に少なくとも 1 つ以上の円弧が配置されていることが好ましい。

## 【 0 0 1 3 】

また、前記エロージョンシールドは、前記先端の厚みが、前記第 1 円弧と前記第 2 円弧との間の厚みよりも厚いことが好ましい。

10

## 【 0 0 1 4 】

上記の課題を解決するための本発明は、動翼本体の先端及び翼面の少なくとも一部にエロージョンシールドを形成するエロージョンシールドの形成方法であって、動翼となる基体の先端及び端面の少なくとも一部を除去し、境界を形成する工程と、前記境界にレーザ溶接で肉盛部を形成する工程と、前記基体の余肉及び前記肉盛部の一部を除去する仕上げ加工を行う工程と、を有し、前記境界は、前記翼面側の端部から前記先端に向かうに従って、前記翼面の反対側の面に近づく形状であり、前記翼面側の端部を含む第 1 円弧と、前記第 1 円弧よりも前記先端側に配置された第 2 円弧と、を含み、前記第 1 円弧は、前記翼本体の内側に凸であり、前記第 2 円弧は、前記翼本体の外側に凸であることを特徴とする。

20

## 【 0 0 1 5 】

また、前記基体は、前記翼面の余肉部の厚みが 0 . 5 m m 以上であることが好ましい。

## 【 0 0 1 6 】

また、前記基体は、前記基体は、前記翼面と反対側の面の余肉部の厚みが前記翼面側の余肉部の厚み以上となることが好ましい。

## 【 0 0 1 7 】

また、前記境界は、前記第 1 円弧と前記第 2 円弧が滑らかに接続されていることが好ましい。

## 【 0 0 1 8 】

30

また、前記境界は、前記第 2 円弧が前記第 1 円弧よりも曲率が大きいことが好ましい。

## 【 0 0 1 9 】

また、前記境界は、前記第 2 円弧よりも前記先端側に少なくとも 1 つ以上の円弧が配置されていることが好ましい。

## 【 0 0 2 0 】

また、前記エロージョンシールドは、前記先端の厚みが、前記第 1 円弧と前記第 2 円弧との間の厚みよりも厚いことが好ましい。

## 【 0 0 2 1 】

上記の課題を解決するための本発明に係る動翼製造方法は、前記動翼に余肉部を有する基体を成型する基体製造工程と、上記のいずれかに記載のエロージョンシールドの形成方法で、前記翼本体にエロージョンシールドを形成する工程と、を有することを特徴とする。

40

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 2 2 】

本発明は、翼本体とエロージョンシールドとの境界を上記した形状とすることで、欠陥の発生を抑制しつつ、硬さを維持したエロージョンシールドとすることができる。これにより、エロージョンに対する耐性を高くすることができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 2 3 】

【 図 1 】 図 1 は、動翼が備えられた蒸気タービンの概略構成図である。

50

【図 2】図 2 は、動翼の一実施形態の概略構成を示す斜視図である。

【図 3】図 3 は、図 2 の A - A 面断面図である。

【図 4】図 4 は、エロージョンシールドの形状及び形成方法を説明するための説明図である。

【図 5】図 5 は、動翼製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図 6】図 6 は、動翼製造方法のエロージョンシールドの形成方法の一例を示す模式図である。

【図 7 A】図 7 A は、肉盛溶接装置の概略構成を示す模式図である。

【図 7 B】図 7 B は、肉盛溶接装置の概略構成を示す部分拡大図である。

【図 8】図 8 は、肉盛溶接の処理動作の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下に添付図面を参照して、本発明の好適な実施形態を詳細に説明する。なお、この実施形態により本発明が限定されるものではない。また、実施形態が複数ある場合には、各実施形態を組み合わせるものも含むものである。

【0025】

図 1 は、実施形態 1 に係る動翼が備えられた蒸気タービンの概略構成図である。以下、図 1 を参照しながら、実施形態 1 に係る蒸気タービン 1 の構造の概略について説明する。

【0026】

図 1 に示すように、蒸気タービン 1 において、ケーシング 11 は、中空形状を呈し、回転軸としてのロータ 12 が複数の軸受 13 によって回転自在に支持されている。ケーシング 11 内には、動翼 15 及び静翼 16 が配設されている。動翼 15 は、ロータ 12 に形成された円盤状のロータディスク 14 の外周にその周方向に沿って、複数並設され固定されている。静翼 16 は、ケーシング 11 の内壁にその周方向に沿って、複数並設され固定されている。これらの動翼 15 及び静翼 16 は、ロータ 12 の軸方向に沿って交互に配設されている。

【0027】

また、ケーシング 11 内には、上記の動翼 15 及び静翼 16 が配設され、蒸気が通過する蒸気通路 17 が形成されている。この蒸気通路 17 には、蒸気が供給される入口として蒸気供給口 18 が形成され、蒸気が外部に排出される出口として蒸気排出口 19 が形成されている。

【0028】

次に、図 1 を参照しながら、蒸気タービン 1 の動作の概略を説明する。蒸気タービン 1 の蒸気供給口 18 から蒸気通路 17 に供給された蒸気は、静翼 16 を通過する過程で膨張して高速の蒸気流となる。静翼 16 を通過した高速の蒸気流は、動翼 15 に吹き付けられて、複数の動翼 15 及びこれらを取り付けられたロータ 12 を回転させる。ロータ 12 には、例えば、発電機等が連結されており、ロータ 12 が回転することにより発電機が駆動されて電力が発生する。蒸気通路 17 の静翼 16 及び動翼 15 が配設された部分を通過した蒸気は、蒸気排出口 19 から外部に排出される。

【0029】

図 2 は、実施形態 1 の動翼を示す概略図である。図 3 は、図 2 の A - A 面断面図である。図 2 及び図 3 を参照しながら、実施形態 1 の動翼 15 の構造について説明する。図 2 に示すように、動翼 15 は、翼根部 21 と、プラットホーム 22 と、翼部 23 と、を含む。翼根部 21 は、ロータディスク 14 に埋設され、動翼 15 をロータディスク 14 に固定する。プラットホーム 22 は、翼根部 21 と一体となる湾曲したプレート形状物である。翼部 23 は、基端部がプラットホーム 22 に固定され、先端部がケーシング 11 の内壁面側に延出している。翼部 23 は、翼長方向に向かうに従って掠じられている場合もある。また、動翼 15 は、翼部 23 の先端部に固定されたシュラウドを備えていてもよい。シュラウドは、隣接する動翼 15 のシュラウドと接触して、動翼 15 を固定し、あるいは、動翼 15 の振動を抑制する部材である。

## 【 0 0 3 0 】

ここで、動翼 1 5 は、図 2 及び図 3 に示すように、翼本体 2 4 の表面の一部にエロージョンシールド 2 5 が形成されている。エロージョンシールド 2 5 は、動翼 1 5 が回転して蒸気流が流れる際、動翼 1 5 のうち、蒸気流の上流側である前縁部、つまり先端 2 6 及び翼面 2 7 の先端 2 6 側の一部に形成される。翼本体 2 4 とエロージョンシールド 2 5 との境目が境界 2 8 となる。エロージョンシールド 2 5 は、動翼 1 5 の延在方向、つまり翼部 2 3 のプラットホーム 2 2 から離れる方向において、プラットホーム 2 2 から遠い側の一定範囲に設けるようにしてもよい。つまり、回転時に径方向外側となる側の一部のみに形成してもよい。エロージョンシールド 2 5 は、例えば、コバルトを主成分とするステライト（登録商標）等の耐摩耗性の高いコバルト基合金を用いることができる。エロージョンシールド 2 5 は、翼本体 2 4 の表面に、対象の材料（例えば、ステライト（登録商標））をレーザ溶接の肉盛加工（肉盛溶接）で形成することができる。なお、翼本体 2 4 は、クロム基合金等で形成される。

10

## 【 0 0 3 1 】

次に、図 4 から図 8 を用いて、エロージョンシールドのより詳細な形状、エロージョンシールドの形成方法及びこれを含む動翼製造方法について説明する。図 4 は、エロージョンシールドの形状及び形成方法を説明するための説明図である。図 5 は、動翼製造方法の一例を示すフローチャートである。図 6 は、動翼製造方法のエロージョンシールドの形成方法の一例を示す模式図である。図 7 A は、肉盛溶接装置の概略構成を示す模式図である。図 7 B は、肉盛溶接装置の概略構成を示す部分拡大図である。図 8 は、肉盛溶接の処理動作の一例を示すフローチャートである。

20

## 【 0 0 3 2 】

図 4 に示すように、動翼 1 5 は、翼本体 2 4 となる基体 4 0 からエロージョンシールド 2 5 を形成するための開先を形成することで、境界 2 8 が形成される。その後、境界 2 8 にエロージョンシールド 2 5 となる材料を肉盛加工で形成し、その後、肉盛加工した部分の余肉と、基体 4 0 の余肉を除去することで、先端 2 6 と、翼面 2 7 と、翼面 2 7 とは反対側の面が形成される。

## 【 0 0 3 3 】

ここで、境界 2 8 は、翼面 2 7 側の端部から先端 2 6 の端部に向かうにしたがって、翼面 2 7 とは反対側の面に近づく形状となっている。また、境界 2 8 は、翼面 2 7 側の端部が、翼本体 2 4 の内側に凸の曲面（第 1 曲面）R 1 と、第 1 曲面 R 1 よりも先端 2 6 側に配置された翼本体 2 4 の外側に凸の曲面（第 2 曲面）R 2 と、第 2 曲面 R 2 よりも先端 2 6 側に配置された翼本体 2 4 の外側に凸の曲面（第 3 曲面）R 3 と、第 3 曲面 R 3 と翼面 2 7 とは反対側の面との間に配置された直線と、で形成されている。本実施形態の境界 2 8 は、第 1 曲面 R 1 と第 2 曲面 R 2 と第 3 曲面 R 3 とが滑らかに接続されている。また本実施形態の境界 2 8 は、第 1 曲面 R 1 の曲率半径が第 2 曲面 R 2 の曲率半径よりも小さくなる。また、境界 2 8 は、第 3 曲面 R 3 の曲率半径が第 1 曲面 R 1 の曲率半径よりも小さくなる。

30

## 【 0 0 3 4 】

本実施形態の動翼 1 5 の各形状の一例としては、第 1 曲面 R 1 の曲率が 6 . 5 mm、第 2 曲面 R 2 の曲率半径が 1 0 . 0 mm、第 3 曲面 R 3 の曲率半径が 2 . 5 mm となる。

40

## 【 0 0 3 5 】

境界 2 8 は、第 2 曲面 R 2 と第 3 曲面 R 3 との接点と、翼面 2 7 とは反対側の面と、の距離 d 1 が 2 . 3 mm、第 3 曲面 R 3 と翼面 2 7 とは反対側の面との間に配置された直線の距離 d 2 が 0 . 7 mm となる。動翼 1 5 は、翼面 2 7 と、第 1 曲面 R 1 と第 2 曲面 R 2 との接点と、の距離 d 3 が 0 . 8 mm となる。基体 4 0 は、翼面 2 7 側の面と翼面 2 7 との距離 d 4、d 5 が 1 . 0 mm となる。基体 4 0 は、翼面 2 7 側とは反対側の面側の面と、動翼 1 5 の翼面 2 7 側とは反対側の面との距離 d 6 が 2 . 0 mm となる。

## 【 0 0 3 6 】

また、基体 4 0 は、先端 2 6 側の端部から、境界 2 8 の翼面 2 7 側の端部までの距離 L

50

1 が 12.5 mm となり、先端 26 側の端部から、第 1 曲面 R 1 と第 2 曲面 R 2 との接点までの距離 L 2 が 9.0 mm となる。基体 40 は、先端 26 側の端部から、エロージョンシールド 25 の先端 26 側の端部までの距離 L 3 が 1.0 mm となる。基体 40 は、先端 26 側の端部から、第 3 曲面 R 3 の先端 26 側の端部までの距離 L 4 が 2.7 mm となる。基体 40 は、先端 26 側の端部から、第 2 曲面 R 2 と第 3 曲面 R 3 との接点までの距離 L 5 が 3.2 mm となる。

【0037】

動翼 15 は、翼本体 24 とエロージョンシールド 25 との境界 28 の形状を、翼面 27 側の端部から先端 26 の端部に向かうにしたがって、翼面 27 とは反対側の面に近づく形状とし、かつ、第 1 曲面 R 1 と第 2 曲面 R 2 とを含む形状とすることで、エロージョンシールド 25 のエロージョンシールド性能を高くすることができる。また、翼本体 24 にエロージョンシールド 25 の欠陥の発生を抑制することができ、エロージョンシールド 25 の硬さを高く（硬く）することができる。つまり、レーザ溶接の肉盛加工で形成するエロージョンシールド 25 と翼本体 24 との上記関係とすることで、母材成分（翼本体 24 の成分）により溶接金属（エロージョンシールド 25 の金属）が希釈されるため、エロージョンシールド 25 の硬さが高く（硬く）ならず、性能の劣化が生じることを抑制することができる。また、母材成分により溶接金属が希釈されたことにより、エロージョンシールド 25 の金属に割れが発生することを抑制することができる。また、エロージョンシールド 25 と翼本体 24 との融合不良やブローホールといった溶接欠陥の発生を抑制することができる。

【0038】

なお、本実施形態は、第 1 曲面 R 1 と第 2 曲面 R 2 とを接触させたが、第 1 曲面 R 1 と第 2 曲面 R 2 との間に直線部を設けてもよい。また、本実施形態は、第 3 曲面 R 3 と翼面 27 とは反対側の面との間に曲面を設けてもよい。ここで、境界 28 は、第 1 曲面 R 1 と第 2 曲面 R 2 と第 3 曲面 R 3 とが、滑らかに接続され、かつ曲率半径が大きくなるようにすることが好ましい。このように、境界 28 のそれぞれの曲面の曲率半径を大きくすることで、境界 28 に沿った方向におけるエロージョンシールド 25 の厚みの変動を緩やかにすることができ、エロージョンシールド 25 の性能を高くすることができる。

【0039】

動翼 15 は、距離 L 4 - 距離 L 3 の距離よりも距離 d 3 の方が短くなる。つまり、エロージョンシールド 25 は、先端 26 側の方が翼面 27 よりも厚くなる。これにより、エロージョンがより発生しやすく、減肉量が多い先端 26 側の厚みを厚くしつつ、減肉量が少ない翼面 27 側の厚みを薄くすることができる。

【0040】

基体 40 は、翼面 27 側の面と翼面 27 との距離 d 4、d 5、つまり、翼面 27 側の余肉部の距離を 0.5 mm 以上とする。翼面 27 側の余肉部の距離を 0.5 mm 以上とすることで、加工時に表面からの割れが生じることを抑制することができる。基体 40 は、翼面 27 側の余肉部の距離を 1 mm とすることが好ましい。翼面 27 側の余肉部の距離は、1 mm とすることで、効率よく加工を行うことができるが、1 mm 以上であればよく、厚くてもよい。

【0041】

基体 40 は、翼面 27 側とは反対側の面側の面と、動翼 15 の翼面 27 側とは反対側の面との距離 d 6、つまり、翼面 27 側とは反対側の面側の余肉部の厚みが、翼面 27 側の余肉部の厚み以上となることが好ましい。このように、翼面 27 側とは反対側の面側の余肉部の厚みを翼面 27 側の余肉部の厚み以上とすることで、効率よく加工を行うことができる。また、基体 40 は、翼面 27 側とは反対側の面側の余肉部の距離を 2 mm とすることが好ましい。なお、翼面 27 側とは反対側の面側の余肉部の距離は、2 mm とすることで、効率よく加工を行うことができるが、2 mm 以上であればよく、厚くてもよい。

【0042】

次に、図 5 及び図 6 を用いて動翼の製造方法について説明する。動翼製造方法は、製造

10

20

30

40

50

するタービン翼（動翼）の形状に基づいて、タービン翼の基体 4 0 の形状と加工量を決定する（ステップ S 2 0）。つまり、上述した図 4 に示すように設定した基体 4 0 の形状及び各位置の距離等を決定し、また、形状に基づいて、加工量や加工手順を決定する。

#### 【 0 0 4 3 】

動翼製造方法は、加工条件を決定したら、決定した条件に基づいて、タービン翼の基体 4 0 を製造する（ステップ S 2 2）。つまり、動翼製造方法は、図 6 に示す加工対象物 8 2 である基体 4 0 を製造する。基体 4 0 は、境界 2 8 が形成される前の形状であり、余肉部や、境界 2 8 よりも先端側の領域が残った形状である。基体 4 0 は、鍛造で製造される。例えば、基体 4 0 の形に加工された上下一組の金型内に、再結晶温度以上の高温に加熱した鍛造素材（例えば、ステンレス等）を設置し、熱間型鍛造を行う。熱間型鍛造が終了すると、基体 4 0 の形状の鍛造物が成型される。製造された基体 4 0 は、成型された高温状態の鍛造物を冷却した後、不要な部分（バリ）を除去し、鍛造物に対して熱処理を施すことにより、前工程（鍛造工程）で鍛造物に発生した残留応力及び冷却過程で鍛造物に発生した熱応力を解放する。これにより、基体 4 0 を製造する。

10

#### 【 0 0 4 4 】

動翼製造方法は、基体 4 0 を製造したら、肉盛溶接開先加工を行う（ステップ S 2 4）。つまり、図 6 の加工対象物 8 2 に対して開先加工を行い、加工対象物 8 4 のように、基体 4 2 の一部 4 4 を除去する。これにより、基体 4 2 の先端側の部分は、境界 2 8 に沿った曲面となる。

#### 【 0 0 4 5 】

20

動翼製造方法は、肉盛溶接開先加工を行ったら、レーザ溶接で肉盛加工を行う（ステップ S 2 6）。つまり、図 6 の加工対象物 8 4 に対して肉盛溶接を行い、加工対象物 8 6 のように、基体 4 2 に肉盛部 4 6 を形成する。肉盛部 4 6 は、エロージョンシールド 2 5 となる金属（溶着金属）で形成され、エロージョンシールド 2 5 が形成される領域 5 0 を含む範囲に形成する。また、肉盛加工は、動翼 1 5 の延在方向、つまり図 6 の紙面に垂直な方向を 1 パスとして行われる。また、1 パスの肉盛加工が行われ、次のパスの肉盛加工が行われる場合、加工位置は矢印 5 2 の方向に移動される。つまり、肉盛加工は、領域 5 0 の翼面 2 7 側の端部側から行い、先端 2 6 側に徐々に移動し、翼面 2 7 とは反対側の面まで行われる。

#### 【 0 0 4 6 】

30

動翼製造方法は、基体 4 2 の肉盛部 4 6 が形成される面を境界 2 8 に沿った曲面とすることで、領域 5 0 の厚みが厚くなることを抑制でき、各位置を 1 パス分の溶着金属（1 層）で形成することができる。つまり、多層盛の溶接で形成することを抑制することができる。硬さ低下領域が表面に出現することを抑制できる。ここで、動翼製造方法は、領域 5 0 の厚みを 2 mm 以下とすることで、肉盛部 4 6 の各位置を 1 層で形成することができる。硬さ低下領域とは、溶着金属に母材が混入する領域であり、溶着金属によって得られるエロージョンシールド 2 5 の性能（耐エロージョン性能）が低下した領域である。

#### 【 0 0 4 7 】

肉盛部 4 6 は、母材（基体 4 2 の材料）による希釈を 1 0 % 以下とすることが好ましい。動翼製造方法は、後述するがレーザを用いた肉盛加工で肉盛部 4 6 を形成することで、母材（基体 4 2 の材料）による希釈を 1 0 % 以下とすることができ、動翼製造方法は、基体 4 2 の肉盛部 4 6 が形成される面を境界 2 8 に沿った曲面とすることで、溶着金属（肉盛部 4 6 の金属、エロージョンシールド 2 5 となる金属）の溶け込みを抑制することができ、母材（基体 4 2 の材料）による希釈をより確実に 1 0 % 以下とすることができ、また、肉盛部 4 6 は、隣り合う溶接ビード、つまり隣接するパスで形成される部分が重なるように形成する。なお、溶接ビードは、基体 4 2 に接触する場合、基体 4 2 に接触する部分よりも他の溶接ビードに接触する部分が多くなるように、形成することが好ましい。レーザ溶接による肉盛加工（肉盛溶接）については、後述する。

40

#### 【 0 0 4 8 】

動翼製造方法は、肉盛加工を行ったら、余肉部を除去する仕上げ加工を行う（ステップ

50



S 2 8)。つまり、図 6 の加工対象物 8 6 に対して、仕上げ加工を行い、加工対象物 8 8 に示すように、翼面 2 7 側の余肉部 6 0 と、翼面 2 7 と反対側の面の余肉部 6 2 と、肉盛部 4 6 の余肉部 6 4 と、を切削する。これにより、翼本体 2 4 とエロージョンシールド 2 5 とを有する動翼 1 5 を形成する。その後、動翼 1 5 には必要な熱処理（例えば、溶体化処理及び時効処理）等が施されて、動翼 1 5 に必要な機械的特性が与えられる。

#### 【 0 0 4 9 】

次に、図 7 A , 7 B 及び図 8 を用いて、ステップ S 2 6 のレーザ溶接による肉盛加工について、より詳細に説明する。まず、図 7 A 及び図 7 B を用いて、レーザ溶接による肉盛加工を行う肉盛溶接装置 1 0 0 の概略構成について説明する。図 7 A に示すように肉盛溶接装置 1 0 0 は、レーザ照射装置 1 0 2 と、パウダ供給装置 1 0 4 と、を有する。なお、肉盛溶接装置 1 0 0 は、上記構成に加え、位置調整機構や基体 4 2 との相対位置を移動させる機構や、施工位置の微い処理を行う機構等を備えている。

10

#### 【 0 0 5 0 】

レーザ照射装置 1 0 2 は、光源 1 1 2 と、光ファイバ 1 1 4 と、レーザヘッド 1 1 6 と、を有する。光源 1 1 2 は、レーザを出力する発光源である。光ファイバ 1 1 4 は、光源 1 1 2 から出力されたレーザをレーザヘッド 1 1 6 に導く。レーザヘッド 1 1 6 は、光ファイバ 1 1 4 に案内されたレーザを出力する。レーザヘッド 1 1 6 は、図 7 B に示すように基体 4 2 の施工位置に対面しており、レーザ 2 0 2 を施工位置に照射する。

#### 【 0 0 5 1 】

パウダ供給装置 1 0 4 は、パウダ供給源 1 2 0 と、パウダ供給ライン 1 2 2 と、エアー供給源 1 2 4 と、エアー供給ライン 1 2 6 と、パウダ供給ヘッド 1 2 8 と、を有する。パウダ供給源 1 2 0 は、溶着金属を供給する供給源である。パウダ供給源 1 2 0 は、溶着金属を空気等で混合流として搬送することで、パウダ供給ライン 1 2 2 に供給する。パウダ供給ライン 1 2 2 は、パウダ供給源 1 2 0 から供給された溶着金属と空気との混合流をパウダ供給ヘッド 1 2 8 に供給する。エアー供給源 1 2 4 は、施工位置のシールドガスとなる不活性ガス（例えば、窒素、アルゴン）、本実施形態では 9 9 . 9 9 9 % の窒素ガスを供給する。エアー供給ライン 1 2 6 は、エアー供給源 1 2 4 から供給されたシールドガスをパウダ供給ヘッド 1 2 8 に供給する。パウダ供給ヘッド 1 2 8 は、二重管のノズルであり、内周側の管と、内周側の管の外周に配置された外周側の管とが同心円上に配置されている。パウダ供給ヘッド 1 2 8 は、内周側の管からパウダ供給ライン 1 2 2 を介して供給された溶着金属と空気との混合流（パウダ）2 0 4 を噴射し、外周側の管からエアー供給ライン 1 2 6 から供給されたシールドエアー 2 0 6 を噴射する。パウダ供給ヘッド 1 2 8 は、図 7 B に示すように基体 4 2 の施工位置に対面しており、施工位置にパウダ 2 0 4 とシールドエアー 2 0 6 と噴射する。

20

30

#### 【 0 0 5 2 】

肉盛溶接装置 1 0 0 は、基体 4 2 の施工位置にレーザ 2 0 2 を照射しつつ、パウダ 2 0 4 を供給することで、パウダ 2 0 4 に含まれる溶着金属を基体 4 2 に溶接することができる。また、肉盛溶接装置 1 0 0 は、シールドエアー 2 0 6 を施工位置に噴射することで、施工位置の雰囲気所定の雰囲気とすることができる。具体的には、施工位置の酸素濃度を制御することができる。

40

#### 【 0 0 5 3 】

次に図 8 を用いて、レーザ溶接による肉盛加工の処理動作の一例について、説明する。なお、図 8 に示す処理は、プログラム等を用いて自動制御で実行することができる。

#### 【 0 0 5 4 】

動翼製造方法は、グラインダ処理を行い（ステップ S 4 0 ）、開先加工を行った領域の表面を処理する。グラインダ処理を行うことで、肉盛溶接で溶着させる溶着金属が基体 4 2 の表面（境界）に溶着しやすい状態とすることができる。動翼製造方法は、グラインダ処理を行ったら、厚み計測（ステップ S 4 2 ）を行う。つまり、動翼製造方法は、エロージョンシールド 2 5 を形成する領域の形状を計測する。

#### 【 0 0 5 5 】

50

動翼製造方法は、厚み計測を行ったら、施工位置の倣い処理を行う（ステップS44）。レーザを照射しつつ溶着金属を噴射することで溶接ビードを設ける位置を特定する。これにより、各ヘッドと基体42とを相対移動させる経路を調整する。

【0056】

動翼製造方法は、倣い処理を行ったら、予熱及びパス間温度調整を行う（ステップS46）。本実施形態では、基体42を50以上100以下に含まれる所定の温度となるように主に加熱また必要に応じて冷却を行う。動翼製造方法は、予熱及び温度調整を行ったら、肉盛溶接を行う（ステップS48）。具体的には、肉盛溶接装置100を用いて、1パス分の肉盛溶接を行う。

【0057】

動翼製造方法は、肉盛溶接を行ったら、パス間・層間手入れを行う（ステップS50）。具体的には、肉盛部46の表面等に付着したフラックス、ごみ等を除去する。動翼製造方法は、手入れを行ったら、肉盛溶接を終了するかを判定する（ステップS52）。つまり、設定された全てのパスの肉盛溶接を行い、肉盛部46が形成できたかを判定する。動翼製造方法は、肉盛溶接が終了していない（ステップS52でNo）と判定した場合、ステップS44に戻り、倣い処理以降の処理を行い、次のパスの肉盛溶接を行う。

【0058】

動翼製造方法は、肉盛溶接が終了した（ステップS52でYes）と判定した場合、溶接ビード表面の手入れを行う（ステップS54）。具体的には、肉盛部46の表面等に付着したフラックス、ごみ等を除去する。動翼製造方法は、その後、厚み計測を行い（ステップS56）、肉盛部46の形状を計測したら、本処理を終了する。

【0059】

動翼製造方法は、以上のような処理でレーザ溶接による肉盛加工（肉盛溶接）を行うことで、高い精度で加工を行うことができ、欠陥等の発生も抑制することができる。動翼製造方法は、ステップS40、S46、S50、S54に示す処理を行うことで、加工精度を高くすることができ、欠陥を抑制することができるが必ずしも行わなくてもよい。

【0060】

なお、本実施形態では、パスごとに倣い処理を行ったが、倣い処理は1回目の肉盛溶接前のみに行うようにしてもよい。この場合、各パスで形成する溶接ビードの形状を計算により算出し、その形状に基づいて、倣い位置を決定する。また、このとき、計測器で施工位置を取得し、その結果に基づいてフィードバック制御を行うことが好ましい。これにより、施工位置の位置ずれの発生を抑制できる。計測する位置は、施工位置の上流側であればよい。

【0061】

また、肉盛溶接装置100は、レーザを基体の施工位置の平面、凸部と凸部を結ぶ接線に対して約90度とすることが好ましい。基体の施工位置の平面または施工位置に近い凸部と凸部（例えば溶接ビードの凸部と基体の凸部）を結ぶ接線に対して約90度とすることで、溶着不良を抑制でき、溶着金属への母材の混入を抑制することができる。

【0062】

また、肉盛溶接装置100は、施工位置にオシレーションをかけてもよい。例えばパウダを施工位置に帯状に供給しながら、レーザを幅方向（パスに直交する方向）に高速でウィーピングさせてもよい。ここで、高速とは、施工位置におけるレーザのエネルギー密度分布を山状ではなく矩形状にして、母材の混入する希釈部分を浅くする速度である。本実施形態のウィーピングは、数十Hzから数百Hzの周波数でウィーピングさせる。これによりエネルギー密度分布を平坦化することができ、レーザにより溶融する部分を浅くかつ幅広くすることができる。

【0063】

また、上記実施形態では、溶着金属をパウダとして供給したが溶射やコールドスプレー等によって供給してもよい。

【0064】

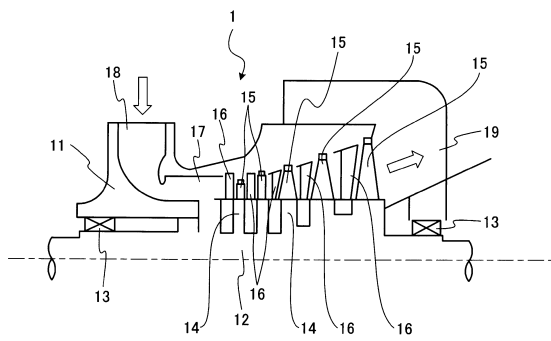
なお、本実施形態は、蒸気タービンにおける動翼を対象として説明したが、これに限定されるものではなく、例えば、ガスタービン等のその他の回転機械の動翼の製造方法にも適用できる。

【符号の説明】

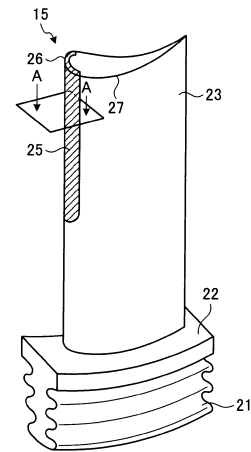
【 0 0 6 5 】

1	蒸気タービン	
1 1	ケーシング	
1 2	ロータ	
1 3	軸受	
1 4	ロータディスク	10
1 5	動翼	
1 6	静翼	
1 7	蒸気通路	
1 8	蒸気供給口	
1 9	蒸気排出口	
2 1	翼根部	
2 2	ブラットホーム	
2 3	翼部	
2 4	翼本体	
2 5	エロージョンシールド	20
2 6	先端	
2 7	翼面	
2 8	境界	
4 0、4 2	基体	
4 6	肉盛部	
6 0、6 2、6 4	余肉部	
8 2、8 4、8 6、8 8	加工対象物	
1 0 0	肉盛溶接装置	
1 0 2	レーザ照射装置	
1 0 4	パウダ供給装置	30

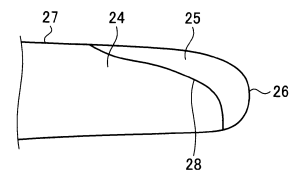
【図 1】



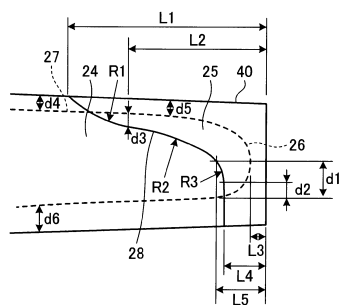
【図 2】



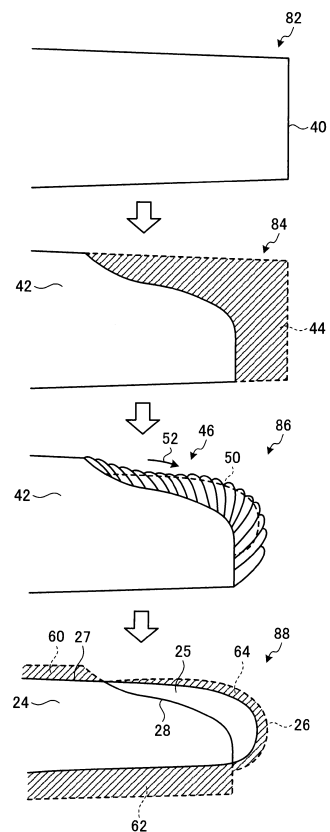
【図 3】



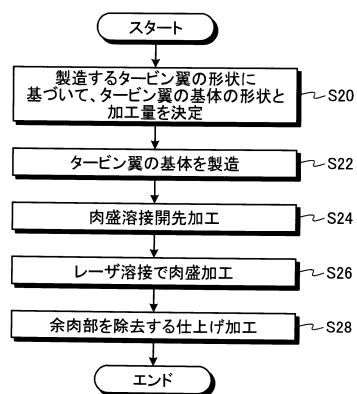
【図 4】



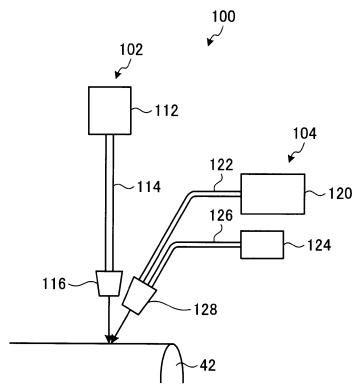
【図 6】



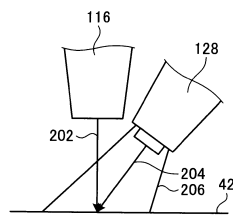
【図 5】



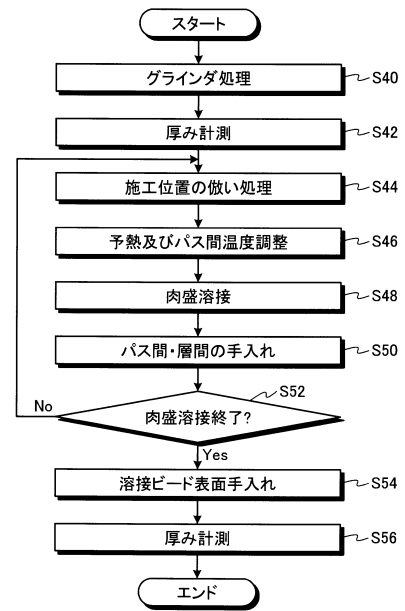
【図 7 A】



【図 7 B】



【図 8】



---

フロントページの続き

(72)発明者 松波 康朗  
東京都港区港南二丁目１６番５号 三菱重工業株式会社内

審査官 西中村 健一

(56)参考文献 特開２０１４－０２９１４５（ＪＰ，Ａ）  
特開２００８－０９３７２５（ＪＰ，Ａ）  
特開２０１４－１７３５８２（ＪＰ，Ａ）  
特開平０１－１８２５０４（ＪＰ，Ａ）  
米国特許第０５４４８８２８（ＵＳ，Ａ）  
特開２００８－１２８１４７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)  
F 0 1 D 5 / 2 8  
F 0 1 D 2 5 / 0 0  
F 0 2 C 7 / 0 0  
B 2 3 K 2 6 / 0 0 - 7 0  
DWPI (Derwent Innovation)