

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6192982号
(P6192982)

(45) 発行日 平成29年9月6日 (2017.9.6)

(24) 登録日 平成29年8月18日 (2017.8.18)

| | |
|----------------------|-----------------|
| (51) Int.Cl. | F I |
| FO1D 5/18 (2006.01) | FO1D 5/18 |
| FO2C 7/18 (2006.01) | FO2C 7/18 A |
| FO1D 9/02 (2006.01) | FO1D 9/02 1 O 2 |
| FO1D 25/12 (2006.01) | FO1D 25/12 E |

請求項の数 13 外国語出願 (全 19 頁)

| | | | |
|--------------|-------------------------------|-----------|-----------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2013-105698 (P2013-105698) | (73) 特許権者 | 390041542 |
| (22) 出願日 | 平成25年5月20日 (2013.5.20) | | ゼネラル・エレクトリック・カンパニー |
| (65) 公開番号 | 特開2013-245673 (P2013-245673A) | | アメリカ合衆国、ニューヨーク州 1 2 3 |
| (43) 公開日 | 平成25年12月9日 (2013.12.9) | | 4 5、スケネクタデイ、リバーロード、1 |
| 審査請求日 | 平成28年5月18日 (2016.5.18) | | 番 |
| (31) 優先権主張番号 | 13/478, 517 | (74) 代理人 | 100137545 |
| (32) 優先日 | 平成24年5月23日 (2012.5.23) | | 弁理士 荒川 聡志 |
| (33) 優先権主張国 | 米国 (US) | (74) 代理人 | 100105588 |
| | | | 弁理士 小倉 博 |
| | | (74) 代理人 | 100129779 |
| | | | 弁理士 黒川 俊久 |
| | | (74) 代理人 | 100113974 |
| | | | 弁理士 田中 拓人 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロチャネル冷却式プラットフォーム及びフィレットを有する部品並びにその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

外面と内面とを含む基材であって、内面が 1 以上の中空内部空間を画成しており、基材の外面が正圧側壁と負圧側壁とを画成して正圧側壁と負圧側壁が部品の前縁及び後縁で一体となって部品の翼形部を形成しており、基材の外面がさらに、1 以上のプラットフォームと、プラットフォームから半径方向外側に延びる翼形部と各プラットフォームとの間に一体に延在してそれらを接続する 1 以上のフィレットとを画成しており、外面が、1 以上のフィレットに渡って延在する 1 以上の溝を画成して、1 以上の溝の各々が基材の表面に沿って少なくとも部分的に延在する長さと底面とを有しており、各々の溝が各中空内部空間と流体連通している、基材と、

10

基材の外面の少なくとも一部の上に設けられた皮膜であって、皮膜が少なくとも構造皮膜を含んでいて、構造皮膜が 1 以上の溝の上に延在して、1 以上の溝と構造皮膜とと一緒に各フィレット又は各プラットフォームを冷却するための 1 以上のチャネルを画成している、皮膜とを備える部品。

【請求項 2】

当該部品がタービン動翼を含んでいて、前記基材がさらに、各中空内部空間と 1 以上の冷却流路との間に延在してそれらを流体連通せしめる 1 以上のアクセスチャネルを画成している、請求項 1 記載の部品。

【請求項 3】

20

各々の溝が開口を有しており、各々の溝がその開口で狭まってリエントラント形の溝をなしており、各々の冷却流路がリエントラント形冷却流路を含んでいる、請求項 1 または 2 に記載の部品。

【請求項 4】

構造皮膜が 1 以上の透過性スロットを画成していて、構造皮膜が各々の溝を完全には橋架けしていない、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の部品。

【請求項 5】

構造皮膜が各々の溝をシールする、請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の部品。

【請求項 6】

当該部品がタービン動翼を含んでいて、前記基材がさらに、
プラットフォームと一体につながるシャンクと、
シャンクを貫通して各中空内部空間とシャンクの外部領域とを流体連通せしめる 1 以上の通路と、

少なくとも部分的にプラットフォーム内に延在して冷却流路とシャンクの外部領域とを流体連通せしめる 1 以上のアクセス穴であって、各冷却流路の底面に通じる 1 以上のアクセス穴と

を画成している、請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の部品。

【請求項 7】

各々の冷却流路が各フィレットに沿って半径方向に延在する、請求項 6 記載の部品。

【請求項 8】

前記基材が、セラミックマトリックス複合材料で形成される、請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の部品。

【請求項 9】

冷却流路の少なくとも 1 つが、各プラットフォームに沿って正圧側壁から負圧側壁に向かう方向、前縁から後縁に向かう方向又は正圧側壁から負圧側壁に向かう方向と前縁から後縁に向かう方向の両方向に延在する、請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の部品。

【請求項 10】

前記冷却流路が、各フィレットの上端部または各プラットフォームの一端に出口を有する、請求項 9 記載の部品。

【請求項 11】

冷却流路の少なくとも 1 つが、各フィレットに沿って半径方向に延在し、次いで各プラットフォームに沿って正圧側壁から負圧側壁に向かう方向、前縁から後縁に向かう方向又は正圧側壁から負圧側壁に向かう方向と前縁から後縁に向かう方向の両方向に延在する、請求項 9 記載の部品。

【請求項 12】

各々の冷却流路が各プラットフォームに沿って正圧側壁から負圧側壁に向かう方向、前縁から後縁に向かう方向又は正圧側壁から負圧側壁に向かう方向と前縁から後縁に向かう方向の両方向に延在する、請求項 6 記載の部品。

【請求項 13】

当該部品がタービン動翼を含んでいて、前記基材がさらに、
プラットフォームと一体につながるシャンクと、
少なくとも部分的にプラットフォーム内に延在して各中空内部空間と各冷却流路とを流体連通せしめる 1 以上のアクセス穴と
を画成しており、冷却流路が、各プラットフォームに沿って正圧側壁から負圧側壁に向かう方向、前縁から後縁に向かう方向又は正圧側壁から負圧側壁に向かう方向と前縁から後縁に向かう方向の両方向に延在する、請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載の部品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は広義にはガスタービンエンジンに関し、特にマイクロチャネル冷却に関する。

【背景技術】

【0002】

ガスタービンエンジンでは、空気を圧縮機で圧縮し、燃焼器で燃料と混合して、高温燃焼ガスを生成する。高圧タービン（HPT）でガスからエネルギーを抽出して、圧縮機を駆動し、低圧タービン（LPT）で、ターボファン航空機エンジン用途の場合にはファンを駆動し、船舶又は工業用途の場合は外部シャフトを駆動する。

【0003】

エンジン効率は、燃焼ガスの温度と共に上昇する。しかし、燃焼ガスは、その流れ経路に沿って様々な部品を加熱するため、これらの部品自体を冷却してエンジン寿命を伸ばす必要がある。典型的には、高温ガス経路部品は、圧縮機から空気を抽気することによって冷却される。抽気した空気は燃焼プロセスには利用されないで、冷却プロセスはエンジン効率を低下させる。

10

【0004】

ガスタービンエンジンの冷却技術は成熟技術であり、様々な高温ガス経路部品における様々な態様の冷却回路及び構造に関する数多くの特許がある。例えば、燃焼器は半径方向外側及び内側ライナーを含んでいるが、これらは作動中に冷却する必要がある。タービンノズルは、外側バンドと内側バンドの間に支持される中空静翼を含んでおり、これらも冷却する必要がある。タービンロータ動翼は中空であり、典型的には内部に冷却回路を含んでおり、動翼はタービンシュラウドで囲まれていて、これも冷却する必要がある。高温燃焼ガスは排気管から吐出されるが、排気管も裏打ちされており、好適には冷却される。

20

【0005】

こうしたガスタービンエンジン部品のいずれにおいても、部品の軽量化と冷却の必要性を最低限にすべく、薄壁の高強度超合金が常用されている。このような個々の部品については、それらのエンジン内での環境に応じて様々な冷却回路及び構造が調整されている。例えば、直列の内部冷却通路つまりサーペントイン通路が、高温ガス経路部品内部に形成されることがある。冷却流体はプレナムからサーペントイン通路に供給され、冷却流体が通路を流れると、高温ガス経路部品基材とそれに付随する皮膜も冷却される。しかし、この冷却方式は一般に伝熱率が比較的低く、不均一な部品温度プロファイルを生じる。

【0006】

30

例えば、タービン翼形部及び端壁/プラットフォームの従来の冷却設計では、翼形部及びプラットフォーム内のインベストメント鑄造冷却路を利用する。冷却媒体は、熱源（高温ガス）からみて鑄造壁の反対側にあるので、フィレットを通してかなりの熱抵抗、大きな熱勾配及び応力が存在する。そのため、従来の慣行では熱の問題を低減するためフィレットをできるだけ小さく作るが、同時に負荷要件も満足する必要がある。（回転する動翼の荷重に耐えるにはフィレットの壁を厚くする必要がある。）。このように、従来の冷却式高温ガス経路部品では、熱要件はフィレットに対する負荷要件と対立する。

【0007】

そこで、高温ガス経路部品用のフィレットの冷却の改良が望まれている。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】米国特許第8147196号

【発明の概要】

【0009】

本発明の一態様は、外面と内面とを有する基材を含む部品であって、内面が1以上の中空内部空間を画成しており、基材の外面が正圧側壁と負圧側壁を画成していて正圧側壁と負圧側壁が部品の前縁及び後縁で一体となって部品の翼形部を形成している、部品に関する。基材の外面は、さらに、1以上のプラットフォームと、翼形部と各プラットフォームとの間に延在してそれらを一体につなぐ1以上のフィレットとを画成している。外面は、

50

少なくとも部分的に各フィレットに沿って延在する１以上の溝を画成しており、各々の溝は、各中空内部空間と流体連通している。部品は、さらに、基材の外面の少なくとも一部の上に設けられた皮膜を含んでおり、皮膜は、１以上の溝の上に延在する構造皮膜を含んでいて、１以上の溝と構造皮膜とが一緒に各フィレットを冷却するための１以上のチャンネルを画成する。

【００１０】

本発明の別の態様は、外面と内面を有する基材を含む部品であって、内面が１以上の中空内部空間を画成しており、基材の外面が正圧側壁と負圧側壁とを画成して正圧側壁と負圧側壁が部品の前縁及び後縁で一体となって部品の翼形部を形成している、部品に関する。基材の外面は、さらに、１以上のプラットフォームと、翼形部と各プラットフォームとの間に延在してそれらを一体につなぐ１以上のフィレットとを画成しており、外面は、少なくとも部分的に各プラットフォームに沿って延在する１以上の溝を画成する。各々の溝は、各中空内部空間と流体連通している。部品は、さらに、基材の外面の少なくとも一部の上に設けられた皮膜を含んでおり、皮膜は、１以上の溝の上に延在する構造皮膜を含んでいて、１以上の溝と構造皮膜とが一緒に各プラットフォームを冷却するための１以上のチャンネルを画成する。

10

【００１１】

本発明のさらに別の態様は、外面と内面を有する基材を備える部品に冷却流路を形成する方法であって、内面が１以上の中空内部空間を画成しており、基材の外面が正圧側壁と負圧側壁を画成して正圧側壁と負圧側壁が部品の前縁及び後縁で一体となっている、方法に関する。基材の外面は、さらに、１以上のプラットフォームと、翼形部と各プラットフォームとの間に延在してそれらを一体につなぐ１以上のフィレットとを画成している。本方法は、基材の外面に１以上の溝を形成するステップであって、少なくとも部分的に各フィレットに沿って或いは少なくとも部分的に各プラットフォームに沿って延在する溝を形成するステップを含む。本方法は、さらに、基板の外面の少なくとも一部の上に皮膜を設けるステップを含む。皮膜は、１以上の溝の上に延在する構造皮膜を含んでいて、１以上の溝と構造皮膜とが一緒に部品の各フィレット及びプラットフォームの少なくとも一方を冷却するための１以上のチャンネルを画成する。

20

【００１２】

本発明の上記その他の特徴、態様及び利点については、図面と併せて以下の詳細な説明を参照することによって理解を深めることができるであろう。図面を通して、同様の部材には同様の符号を付した。

30

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】ガスタービンシステムの概略図。

【図２】翼形部構成を例示する概略断面図。

【図３】翼形部とプラットフォームとがフィレットを介して接続した部品を例示する図。

【図４】冷却式部品を例示した概略断面図であり、部品の中空内部空間に冷却剤が流入するところを示す。

【図５】図４に示す部品の円で囲まれた部分の概略断面図であり、中空内部空間からプラットフォームまで冷却剤を運ぶため、フィレットに沿って半径方向に延在する冷却流路を示す図。

40

【図６】フィレットで切り取った図４に示す部品の概略断面図であり、中空内部空間からプラットフォームまで冷却剤を運ぶため、フィレットに沿って軸方向に延在する冷却流路を示す図。

【図７】図３に示す部品において、中空内部空間からプラットフォームまで冷却剤を運ぶため、フィレットに沿って軸方向 - 半径方向に延在する２つの冷却流路を破線で示す図。

【図８】図４に示す部品の円で囲まれた部分の概略断面図であり、中空内部空間からプラットフォームまで冷却剤を運ぶため、プラットフォームに沿って軸方向及び／又は長手方向に延在する冷却流路を示す図。

50

【図 9】図 4 に示す部品の円で囲まれた部分の概略断面図であり、中空内部空間からプラットフォームまで冷却剤を運ぶため、フィレットに沿って半径方向に延在した後プラットフォームに沿って軸方向及び／又は長手方向に延在する冷却流路を示す図。

【図 10】図 4 に示す部品の円で囲まれた部分の概略断面図であり、中空内部空間からプラットフォームまで冷却剤を運ぶため、プラットフォームに沿って軸方向及び／又は長手方向に延在する冷却流路を示しており、冷却剤は、シャंकを貫通する通路及びプラットフォーム内に部分的に延在するアクセスホールを通して流れる。

【図 11】図 4 に示す部品の円で囲まれた部分の概略断面図であり、中空内部空間からプラットフォームまで冷却剤を運ぶため、プラットフォームに沿って軸方向及び／又は長手方向に延在する冷却流路を示しており、冷却剤は、シャंक内に部分的に延在するアクセスホールを通して流れる。

10

【図 12】図 4 に示す部品の円で囲まれた部分の概略断面図であり、半径方向にフィレットに沿って延在する冷却流路を示しており、冷却剤は、中空内部空間からシャंकを貫通する通路を通してシャंकの外部領域まで流れ、次いでプラットフォーム内に少なくとも部分的に延在するアクセスホールを通して流れる。

【図 13】基材の表面に沿って部分的に延在し、翼形部の後縁に冷却剤を流す 3 つのマイクロチャンネルを例示する概略斜視図。

【図 14】3 つのリエントラント形チャンネルを例示する断面図であり、多孔スロットが構造皮膜を貫通している。

【図 15】リエントラント溝を形成するための角度 θ での研磨液ジェットの第 1 のパスを示す図。

20

【図 16】リエントラント溝を形成するための対角 $180^\circ - \theta$ での研磨液ジェットの第 2 のパスを示す図。

【図 17】リエントラント溝を形成するための任意工程としての溝に直角な方向での研磨液ジェットの第 3 のパスを示す図。

【発明を実施するための形態】

【0014】

本明細書において「第 1」、「第 2」などの用語は、いかなる順序、量又は重要性をも意味するものではなく、ある構成要素を他の構成要素から区別するために用いる。単数形で記載したものであっても、数を限定するものではなく、そのものが少なくとも 1 つ存在することを意味する。数量に用いられる「約」という修飾語は、標記の数値を含み、文脈毎に決まる意味をもつ（例えば、特定の数量の測定に付随する誤差範囲を含む）。また、「組合せ」という用語には、ブレンド、混合物、合金、反応生成物などが包含される。

30

【0015】

さらに、本明細書では、「(s)」という接尾辞を付した用語は、単数形と複数形の両方を意味している（例えば、「通路穴」という表現は、別途明示しない限り、1 以上の通路穴を包含する）。本明細書を通して、「一実施形態」、「別の実施形態」、「実施形態」などという場合、その実施形態に関して記載された特定の構成要素（特徴、構造及び／又は特性など）が、本明細書に記載された少なくとも 1 つの実施形態に含まれていることを意味し、他の実施形態には存在していても、存在していなくてもよい。さらに、本発明の複数の特徴的構成要素は、様々な実施形態及び構成において適宜組み合わせることができる。

40

【0016】

図 1 は、ガスタービンシステム 10 の概略図である。システム 10 は、1 以上の圧縮機 12 と燃焼器 14 とタービン 16 と燃料ノズル 20 を含む。圧縮機 12 とタービン 16 は 1 以上のシャフト 18 で連結し得る。シャフト 18 は、単一シャフトであっても、複数のシャフトセグメントを連結してシャフト 18 としたものでよい。

【0017】

ガスタービンシステム 10 には、多数の高温ガス経路部品 100 が含まれる。高温ガス経路部品は、システム 10 を通る高温ガス流に少なくとも部分的に暴露される任意の部品

50

である。例えば、バケット組立体（動翼又は動翼組立体としても知られる）、ノズル組立体（静翼又は静翼組立体としても知られる）、シュラウド組立体、トランジションピース、保持リング及び圧縮機排気部品はいずれも高温ガス経路部品である。ただし、本発明の高温ガス経路部品 10 は、これらに限定されるものではなく、高温ガス流に少なくとも部分的に暴露される部品であればよい。さらに本発明の高温ガス経路部品 100 は、ガスタービンシステム 10 の部品に限定されるものではなく、高温ガス流に暴露される任意の機械の一部又はその部品であってもよい。

【0018】

高温ガス経路部品 100 が高温ガス流に暴露されると、高温ガス経路部品 100 は高温ガス流によって加熱され、高温ガス経路部品 100 の実質的な劣化又は故障が起こる温度に達しかねない。そこで、システム 10 を高温ガス流と共に高温で作動するとともにシステム 10 の効率、性能及び / 又は寿命を向上させるため、高温ガス経路部品 100 用の冷却システムが必要とされる。

10

【0019】

マイクロチャネル冷却には、加熱領域に冷却をできるだけ近づけることによって、所与の伝熱率について主要耐荷重基材材料の高温側と低温側の温度差を低減して、冷却条件を大幅に低減できる可能性がある。

【0020】

一般に、本発明の冷却システムは、高温ガス経路部品 100 の表面に形成された一連の微小流路つまりマイクロチャネルを含んでいる。産業用発電タービン部品については、「微小」又は「マイクロ」チャネルの寸法には約 0.25 mm ~ 1.5 mm の範囲の深さ及び幅が包含され、航空機用タービン部品のチャネルの寸法には約 0.1 mm ~ 0.5 mm の深さ及び幅が包含される。高温ガス経路部品には保護皮膜を設けてもよい。冷却流体はプレナムからチャネルに供給でき、冷却流体がチャネルを流れると、高温ガス経路部品が冷却される。

20

【0021】

図 2 ~ 図 7、図 9 及び図 11 ~ 図 17 を参照して、部品 100 について説明する。例えば図 2 及び図 4 に示すように、部品 100 は、外面 112 と内面 116 とを有する基材 110 を含む。例えば図 2 及び図 4 に示すように、内面 116 は 1 以上の中空内部空間 114 を画成する。例えば図 2 及び図 3 に示すように、基材 110 の外面 112 は、正圧側壁 24 と負圧側壁 26 とを画成しており、正圧側壁 24 と負圧側壁 26 は、部品 100 の前縁 28 及び後縁 30 で一体となって部品の翼形部 90 を形成している。図 2 及び図 3 に示すように、負圧側 26 は凸面であり、正圧側 24 は凹面である。例えば図 3 及び図 4 に示すように、基材 110 の外面 112 は、1 以上のプラットフォーム 92 と、翼形部 90 と各プラットフォーム 92 との間に延在してそれらを一体につなぐ 1 以上のフィレット 94 とをさらに画成する。例示した構成のものは、1 つのプラットフォームと 1 つのフィレットしか含んでいないが、部品がノズル又は静翼をなすときは、2 つの端壁（これはプラットフォームとみなすことができる）とそれぞれのフィレットを有する。さらに、部品は、チップシュラウド又は部分スパンシュラウドが取り付けられた動翼をなしていてもよく、部品は 2 以上の「プラットフォーム」とそれぞれのフィレットとを有する。なお、フィレットは、鋳造部材全体の一部として一体に形成され、半径方向に配向した翼形部から軸方向 - 長手方向に配向したプラットフォーム又は端壁への移行部をなす完全なバルク材料を含む。

30

40

【0022】

例えば図 5、図 7 及び図 9 に示すように、外面 112 は、少なくとも部分的に各フィレット 94 に沿って延在する 1 以上の溝 132 を画成している。例えば図 5 に示すように、各々の溝 132 は中空内部空間 114 と流体連通している。

【0023】

典型的には、基材 110 を鋳造してから、溝 132 を形成する。Melvin R. Jackson 他の特許第 5626462 号（「Double-wall airfo

50

i l」)に記載されている通り(その開示内容は援用によって本明細書の内容の一部をなす。)、基材110は任意の適当な材料から形成し得る。部品100の用途に応じて、Ni基、Co基及びFe基超合金が挙げられる。Ni基超合金には、 γ 相及び γ' 相を含むもの、特に γ 相と γ' 相とを共に含んでいて γ' 相が超合金の40体積%をなすNi基超合金が挙げられる。かかる合金は、高温強度及び高温クリープ耐性を始めとする望ましい特性を併せもつので好適であることが知られている。基材材料はNiAl金属間合金を含むものであってもよく、かかる合金も、高温強度及び高温クリープ耐性を始めとする優れた特性の組合せを有することが知られており、航空機用タービンエンジンでの使用に好適である。Nb基合金の場合、優れた耐酸化性を有する被覆Nb基合金が好ましく、特にNb-(27-40)Ti-(4.5-10.5)Al-(4.5-7.9)Cr-(1.5-5.5)Hf-(0-6)Vの合金(ただし、上記の組成範囲は原子%である。)が挙げられる。基材材料は、1以上の二次相(例えば、ケイ化物、炭化物又はホウ化物を含むNb含有金属間化合物)を含むNb基合金であってもよい。かかる合金は、延性相(すなわちNb基合金)と強化相(すなわちNb含有金属間化合物)の複合材である。別の構成では、基材材料は、モリブデン基合金、例えば Mo_5SiB_2 及び Mo_3Si 二次相を有するモリブデン基合金(固溶体)である。別の構成では、基材材料は、セラミックマトリックス複合材料であり、例えばSiC繊維で補強した炭化ケイ素(SiC)マトリックスである。別の構成では、基材材料はTiAl基金属間化合物である。

【0024】

溝132は、様々な技術を用いて形成し得る。溝132を形成するための技術の例としては、研磨液ジェット、プランジ電解加工(ECM)、回転電極による放電加工(EDM)(ミリングEDM)及びレーザー加工が挙げられる。レーザー加工技術の例は、本願出願人に譲渡された「Process and system for forming shaped air holes」と題する2010年1月29日出願の米国特許出願第12/697005号に記載されており、その開示内容は援用によって本明細書の内容の一部をなす。EDM技術の例は、本願出願人に譲渡された「Articles which include chevron film cooling holes, and related processes」と題する2010年5月28日出願の米国特許出願第12/790675号に記載されており、その開示内容は援用によって本明細書の内容の一部をなす。

【0025】

あるプロセスでは、研磨液ジェット(図示せず)を用いて溝を形成する。ウォータジェット穿孔プロセス及びシステムの例は、本願出願人に譲渡された「Articles which include chevron film cooling holes and related processes」と題する2010年5月28日出願の米国特許出願第12/790675号に開示されており、その開示内容は援用によって本明細書の内容の一部をなす。米国特許出願第12/790675号に記載されている通り、ウォータジェットプロセスでは、高圧水流に懸濁させた研磨剤粒子(例えば、研磨剤「グリット」)の高速流が常用される。水圧は大きく変えることができるが、多くの場合約35~620MPaの範囲内である。ガーネット、酸化アルミニウム、炭化ケイ素及びガラスビーズのような数多くの研磨剤材料を使用することができる。好適には、研磨液ジェット加工技術の能力によって、賦形プロセスを制御しながら、様々な深さで段階的に材料を除去するのが容易になる。例えば、上記チャネルに通じる内部アクセス穴140(以下で図5、図6、図11及び図13を参照して説明する。)を、一定断面積の直線的穴、賦形穴(楕円形など)又は収束もしくは発散穴のいずれかとして穿孔することができる。

【0026】

さらに、米国特許出願第12/790675号に記載されている通り、ウォータジェットシステムは、多軸式コンピュータ数値制御(CNC)ユニット(図示せず)を含んでいてもよい。CNCシステム自体は当技術分野で公知であり、例えば米国特許公開第2005/0013926号(S. Rutkowski他)に記載されており、その開示内容は

10

20

30

40

50

援用によって本明細書の内容の一部をなす。CNCシステムは、切削工具を多数のX、Y及びZ軸並びに回転軸に沿って移動させることができる。

【0027】

特に、図15～図17に示すように、各々の溝132は、研磨液ジェット160の第1のパスで研磨液ジェット160を基材110の表面112に対して側角(lateral angle)で噴射し(図15)、次いで、次のパスを上記側角に対向する角度で行う(図16)ことによって形成することができ、各々の溝はその開口136で狭まってリエントラント形の溝(図16を参照して以下で説明する。)を生じる。通例、溝の所望の深さ及び幅が達成されるように複数のパスを実施する。この技術は、本願出願人に譲渡された「Components with re-entrant shaped cooling channels and methods of manufacture」と題するBunker他の米国特許出願第12/943624号に記載されており、その開示内容は援用によって本明細書の内容の一部をなす。さらに、リエントラント形の溝132を形成するステップは、追加のパスを実施することをさらに含んでいてもよく、側角とその対向角度との間の1以上の角度で研磨液ジェットを溝132の底134に噴射して溝132の底134から材料を除去する。

10

【0028】

次に例えば図2、図5、図6及び図13を参照して、部品100は、基材100の外表面112の少なくとも一部の上に設けられた皮膜150をさらに含む。例えば図13及び図14に示すように、皮膜150は少なくとも構造皮膜54を含む。皮膜150は適当な材料を含んでいて、部品に結合している。図5～図7に例示する構成では、構造皮膜54は、1以上の溝132の上に延在して、1以上の溝132と構造皮膜54とが一緒に各フィレット94を冷却するための1以上のチャンネル130を画成する。

20

【0029】

ある具体的な構成では、皮膜150の厚さは0.1～2.0mm、特に0.2～1mmの範囲内であり、特に産業用部品では0.2～0.5mmの範囲内である。航空機用の部品では、この範囲は通例0.1～0.25mmである。ただし、個々の部品100に対する要件に応じて、その他の厚さを用いてもよい。

【0030】

皮膜150は構造皮膜層を含んでおり、任意には追加の皮膜層をさらに含んでいてもよい。皮膜層は、様々な技術を用いて成膜できる。ある具体的なプロセスでは、構造皮膜層は、イオンプラズマ堆積(カソードアーク)法を実施することによって成膜される。イオンプラズマ堆積装置及び方法の例は、本願出願人に譲渡された「Method and apparatus for cathodic arc ion plasma deposition」と題するWeaver他の米国公開特許出願第20080138529号に記載されており、その開示内容は援用によって本明細書の内容の一部をなす。簡潔に説明すると、イオンプラズマ堆積は、皮膜材料で形成された消耗カソードを真空チャンバ内の真空環境に配置し、真空環境内に基材110を設け、カソードに電流を供給してカソード面にカソードアークを形成してカソード面からの皮膜材料のアーク誘導エロージョンを生じせしめ、カソードからの皮膜材料を基材表面112に堆積させることを含む。

30

40

【0031】

イオンプラズマ堆積を用いて成膜した皮膜の非限定的な例は、「Double-wall air foil」と題するJackson他の米国特許第5626462号を参照して以下で詳細に説明する通り、構造皮膜、ボンドコート及び耐酸化性皮膜が挙げられる。ある種の高温ガス経路部品100では、構造皮膜はニッケル基又はコバルト基合金を含んでおり、特に超合金又は(Ni, Co)CrAlY合金を含む。例えば、基材材料が又は'相を含むNi基超合金である場合、構造皮膜は同様の組成の材料を含むものでよく、これについては、米国特許第5626462号を参照して以下で詳細に説明する。

【0032】

別のプロセスでは、構造皮膜は、溶射法及びコールドスプレー法の少なくとも一方を実

50

施することによって成膜される。例えば、溶射法には、燃焼式溶射又はプラズマ溶射があり、燃焼式溶射には、HVOF溶射 (high velocity oxygen fuel spraying) 又はHVAF溶射 (high velocity air fuel spraying) があり、プラズマ溶射には、大気 (例えば、空気又は不活性ガス) プラズマ溶射、或いは減圧プラズマ溶射 (LPFS、真空プラズマ溶射 (VPS)) としても知られる) がある。ある非限定的な例では、(Ni, Co) CrAlY皮膜は、HVOF又はHVAFで成膜される。構造皮膜のその他の堆積技術の例としては、特に限定されないが、スパッタリング、電子ビーム物理堆積法、化学めっき法及び電気めっき法が挙げられる。

【0033】

ある具体的な構成では、構造皮膜層及び適宜追加の皮膜相の堆積には、複数の堆積技術を使用するのが望ましい。例えば、最初の構造皮膜層をイオンプラズマ堆積法を用いて堆積し、次に堆積される層及び適宜追加の層 (図示せず) を、燃焼式溶射法又はプラズマ溶射法のような別の技術を用いて堆積してもよい。使用する材料に応じて、皮膜層に異なる堆積技術を用いると、例えば、特に限定されないが、歪み耐性、強度、密着性及び/又は延性などの特性に利点が得られることがある。

【0034】

図3に示す構成では、部品100はタービン動翼100を含んでおり、図5に示す構成では、基材110は、中空内部空間114と1以上の冷却流路130との間に延在してそれらを流体連通せしめる1以上のアクセスチャネル140をさらに画成する。各冷却流路に通じる内部アクセス穴140は、一定断面積の直線的穴、賦形穴 (楕円形など) 又は収束もしくは発散穴のいずれかとして穿孔することができる。アクセス穴の形成法は、本願出願人に譲渡された「Components with cooling channels and methods of manufacture」と題するRonald S. Bunker他の米国特許出願第13/210697号に記載されており、その開示内容は援用によって本明細書の内容の一部をなす。

【0035】

冷却流路130については数多くの構成が可能である。例えば図5に示す構成では、冷却流路130の少なくとも1つはフィレット94に沿って半径方向に延在している。なお、図5の断面図には、フィレットに沿って半径方向に延在する1つの冷却流路しか示していないが、複数の冷却流路が、部品の異なる断面におけるフィレットに沿って半径方向に延在していてもよい。好適には、この半径方向の構成は、皮膜の下でフィレットを冷却し、従来の冷却部品に比べて、フィレットにおける熱勾配及び熱応力を大幅に低減する。その結果、フィレットを大きくすることができ、回転部品に対する負荷要件を満足するのに役立つだけでなく、鋳造コストも下げる (フィレットが大きいと、鋳造収率又は皮膜の密着性に対する制約が減るため)。

【0036】

同様に、図6に例示する構成では、冷却流路130の少なくとも1つはフィレット94に沿って軸方向に延在している。なお、図6の断面図には、フィレットに沿って軸方向に延在する1つの冷却流路しか示していないが、複数の冷却流路がフィレットに沿って軸方向に延在していてもよい。好適には、この軸方向の構成は冷却をフィレット内部に集中させる。

【0037】

図7に例示する構成では、冷却流路130の少なくとも1つはフィレット94に沿って軸方向 - 半径方向に延在している。図7に示す数 (2つ) の冷却流路は、例示にすぎず、1つ又は数多くの冷却流路がフィレットに沿って軸方向 - 半径方向に延在していてもよい。

【0038】

図面から明らかな通り、冷却流路は幾通りかに構成できる。ある部分で特定の構成を選択し、製造の際に利点を得ることができるが、これはすべての場所で機械加工装置に均等にアクセスできるわけではないからである。1つの面を空間に固定して保持するため、装

10

20

30

40

50

置を複雑な表面半径で横断させる必要のある軸方向 - 半径方向タイプの機械加工よりも、軸方向チャンネル又は半径方向チャンネルのいずれかの機械加工が簡単なこともある。冷却用には、翼形部は、例えば空気力学的応答のためのリブのような内部構造を有していなければならないので、冷却剤供給穴には配置に制限があり、ある部品では軸方向 - 半径方向のチャンネルを用いる必要がある。別の例では、フィレットは寿命制限領域となることがあり、単に軸方向チャンネルを設けることによって最大の利益を得ることができる。またこの点で考慮されるのはチャンネルからの応力集中因子であり、チャンネルを特定の配向にすることによって最小限にすることができる。

【 0 0 3 9 】

上述の通り、溝 1 3 2 は多種多様な幾何形状を取り得る。図 1 3 及び図 1 4 に示す構成では、各々の溝 1 3 2 は開口 1 3 6 を有しており、各々の溝 1 3 2 はその開口 1 3 6 で狭まっていてリエントラント形 1 3 2 をなし、各冷却流路 1 3 0 はリエントラント形の冷却流路 1 3 0 をなす。リエントラント形の溝は米国特許出願第 1 2 / 9 4 3 6 2 4 号に記載されている。ある具体的な構成では、リエントラント形溝 1 3 2 の底面 1 3 4 は、その溝 1 3 2 の上面 1 3 6 よりも 2 倍以上幅が広い。例えば、この構成では、溝 1 3 2 の底面 1 3 4 が 0 . 7 5 mm のとき、上面 1 3 6 の幅は 0 . 3 7 5 mm 未満である。さらに具体的な構成では、リエントラント形溝 1 3 2 の底面 1 3 4 はその溝 1 3 2 の上面 1 3 6 よりも 3 倍以上幅が広く、特にリエントラント形溝 1 3 2 の底面 1 3 4 はその溝 1 3 2 の上面 1 3 6 よりも 3 ~ 4 倍幅が広い。好適には、底面と上面との比が大きいほど、マイクロチャンネル 1 3 0 の全体的な冷却体積が増大する一方で、溝 1 3 2 を皮膜 1 5 0 で埋めずに（犠牲充填材を用いずに）溝 1 3 2 の上で皮膜 1 5 0 を成膜するのが容易になる。

【 0 0 4 0 】

ある具体的な構成では、構造皮膜 5 4 は各々の溝 1 3 2 を完全に橋架けしており、皮膜 1 5 0 は各マイクロチャンネル 1 3 0 を封止する。ただし、別の構成では、構造皮膜 5 4 は 1 以上の透過性スロット 1 4 4（例えば、皮膜内の多孔又は皮膜内の隙間）を画成し、図 1 4 に示すように、構造皮膜は 1 以上の溝 1 3 2 の各々を完全には橋架けしていない。図 1 4 では、スロット 1 4 4 を一様な直線的幾何形状をもつものとして図解したが、典型的には、各スロット 1 4 4 は不規則な幾何形状を有しており、皮膜 1 5 0 が施工されて厚さを増すので、スロット 1 4 4 の幅は変化する。最初に、皮膜 1 5 0 の第 1 の部分を基材 1 1 0 に施工する際、スロット 1 4 4 の幅はマイクロチャンネル 1 3 0 の上面 1 3 6 の幅の 5 0 % 程度である。皮膜 1 5 0 を堆積させるにつれて、スロット 1 4 4 は上面 1 3 6 の幅の 5 % 以下まで狭まる。ある具体例では、スロット 1 4 4 の幅はその最も狭い点でそのマイクロチャンネルの上面 1 3 6 の幅の 5 % ~ 2 0 % である。さらに、スロット 1 4 4 は多孔質であってよく、その場合「多孔質」スロット 1 4 4 は接続部つまり無間隙のスポット又は位置を有する。好適には、スロット 1 4 4 は、皮膜 1 5 0 に応力緩和をもたらす。

【 0 0 4 1 】

上述の通り、部品はタービン動翼を含んでいてもよい。図 1 2 に例示する構成では、基材 1 1 0 は、プラットフォーム 9 2 と一体につながるシャンク 9 6 をさらに画成する。図 1 2 に示す構成では、1 以上の通路 1 4 6 がシャンク 9 6 を貫通していて、中空内部空間 1 1 4 とシャンク 9 6 の外部領域とを流体連通せしめている。典型的には、通路 1 4 6 は放電加工又は電解加工によって形成され、十分な大きさのときは鋳造の一部として形成できる。さらに、図 1 2 に示す構成では、1 以上のアクセス穴 1 4 8 が少なくとも部分的にプラットフォーム 9 2 内に延在して、冷却流路 1 3 0 とシャンク 9 6 の外部領域とを流体連通せしめる。図 1 2 に示す構成では、アクセスチャンネル 1 4 8 は冷却流路 1 3 0 の底面 1 3 4 に通じている。図 1 2 に示す構成では、冷却流路 1 3 0 はフィレット 9 4 に沿って半径方向に延在しており、フィレット 9 4 の上端部 9 5 に出口を有する。

【 0 0 4 2 】

図 1 2 に示す構成の利点は、以下のように理解することができる。シャンクポケット（シャンクとプラットフォーム下面とで画成される空間の領域）が通路 1 4 6 からの冷却剤で加圧され、マイクロチャンネルによってもたらされる冷却に加えて、プラットフォームの

下面での全般的レベルの冷却がなされる。この加圧によって高温ガスがこの領域に入り込まないようにする。これは、フィレットを貫通して翼形部に至る通路 1 4 6 を機械加工しない場合に、マイクロチャネルへの好適な冷却源となる。

【 0 0 4 3 】

次に、上述の冷却構成の全般について述べると、表面曲率に適合したフィレットの外面に冷却流路を配置することによって、上述の冷却構成で、耐荷重能力を高めるため金属温度を低く維持しながら、フィレットの半径を増大させることができる。さらに、本発明で新たに可能となったフィレットサイズの増大によって、皮膜のミクロ組織が改善され、これらの領域での T B C 剥離のおそれを低減することができる。さらに、上述のフィレット冷却は設計面で柔軟性に富み、フィレットに冷却を事実上あらゆる配向で組み込むことができる。

10

【 0 0 4 4 】

ただし、フィレットの冷却改善によって、大きなフィレットを用いることができるようになるが、本発明は従来の大きさのフィレットにも適用できる。例えば、ある既存の部材では、フィレットのサイズを大きくする必要がなくても、マイクロ冷却流路によって残りの利点が得られる。例えば、チャネルに、翼形部の内部空洞に直接穿孔された冷却供給穴を設けて、低温の基材材料は表面にマイクロチャネルを貫入させることができる。

【 0 0 4 5 】

図 2 ~ 図 4、図 8 ~ 図 1 1、図 1 3、図 1 4 を参照して、部品 1 0 0 の別の構成について説明する。例えば図 2 及び図 4 に示すように、部品 1 0 0 は、外面 1 1 2 と内面 1 1 6 とを有する基材 1 1 0 を含む。例えば図 2 及び図 4 に示すように、内面 1 1 6 は 1 以上の中空内部空間 1 1 4 を画成する。例えば図 2 及び図 3 に示すように、基材 1 1 0 の外面 1 1 2 は、正圧側壁 2 4 と負圧側壁 2 6 とを画成しており、正圧側壁 2 4 と負圧側壁 2 6 は、部品 1 0 0 の前縁 2 8 及び後縁 3 0 で一体となって部品の翼形部 9 0 を形成している。図 2 及び図 3 に示すように、負圧側 2 6 は凸面であり、正圧側 2 4 は凹面である。例えば図 3 及び図 4 に示すように、基材 1 1 0 の外面 1 1 2 は、1 以上のプラットフォーム 9 2 と、翼形部 9 0 と各プラットフォーム 9 2 との間に延在してそれらを一体につなぐ 1 以上のフィレット 9 4 とをさらに画成する。

20

【 0 0 4 6 】

例えば図 8 及び図 9 に示すように、外面 1 1 2 は、少なくとも部分的に各プラットフォーム 9 2 に沿って延在する 1 以上の溝 1 3 2 を画成している。例えば図 8 及び図 9 に示すように、各々の溝 1 3 2 は中空内部空間 1 1 4 と流体連通している。

30

【 0 0 4 7 】

例えば図 2、図 8 及び図 1 3 に示すように、部品 1 0 0 は、基材 1 1 0 の外面 1 1 2 の少なくとも一部の上に設けられた皮膜 1 5 0 をさらに含む。皮膜 1 5 0 は少なくとも構造皮膜 5 4 を含んでおり、上述の通りである。例えば図 8 に示すように、構造皮膜 5 4 は、溝 1 3 2 の上に延在して、溝 1 3 2 と構造皮膜 5 4 とが一緒にプラットフォーム 9 4 を冷却するための 1 以上のチャネル 1 3 0 を画成する。好適には、上述の冷却構成によって、プラットフォームの冷却を促進することができ、これは、中子プラットフォームの必要性をなくするのに役立ち、部品の予想コストを下げる。

40

【 0 0 4 8 】

図 3 に示す構成では、部品 1 0 0 はタービン動翼 1 0 0 を含んでおり、図 9 に示す構成では、基材 1 1 0 は、中空内部空間 1 1 4 と 1 以上の冷却流路 1 3 0 との間に延在してそれらを流体連通せしめる 1 以上のアクセスチャネル 1 4 0 をさらに画成する。アクセスチャネル 1 4 0 については上述した。

【 0 0 4 9 】

冷却流路 1 3 0 については数多くの構成が可能である。例えば図 8 に示す構成では、冷却流路 1 3 0 の少なくとも 1 つはプラットフォーム 9 2 に沿って軸方向及び / 又は長手方向に延在している。すなわち、冷却流路 1 3 0 は、プラットフォームに沿って軸方向、長手方向又は軸方向と長手方向の両方に延在し得る。好適には、この構成はプラットフォー

50

ム 9 2 の冷却を促進する。図 8 に示す構成では、冷却流路 1 3 0 は、プラットフォーム端部 9 8 の近傍に出口を有する。ただし、別の構成では、冷却流路 1 3 0 は、プラットフォーム 9 2 の端部 9 8 に出口を有する。後者の構成は明示されていない。ただし、プラットフォーム端部 9 8 は図 8 に示してある。

【 0 0 5 0 】

図 9 に例示する構成では、冷却流路 1 3 0 の少なくとも 1 つはフィレット 9 4 に沿って半径方向に延在し、次いでプラットフォーム 9 2 に沿って軸方向及び / 又は長手方向に延在する。好適には、この構成はフィレット 9 4 及びプラットフォーム 9 2 の冷却を促進する。図 9 に示す構成では、冷却流路 1 3 0 は、プラットフォーム端部 9 8 の近傍に出口を有する。ただし、別の構成では、冷却流路 1 3 0 はプラットフォーム 9 2 の端部 9 8 に出口を有する。この後者の構成は明示されていない。ただし、プラットフォーム端部 9 8 は図 9 に示してある。

【 0 0 5 1 】

上述の通り、部品 1 0 0 はタービン動翼を含んでいてもよい。図 1 0 に例示する構成では、基材 1 1 0 は、プラットフォーム 9 2 と一体につながるシャンク 9 6 をさらに画成する。図 1 0 に示す構成では、1 以上の通路 1 4 6 がシャンク 9 6 を貫通していて、中空内部空間 1 1 4 とシャンク 9 6 の外部領域とを流体連通せしめている。上述の通り、典型的には、通路 1 4 6 は放電加工又は電解加工によって形成されるが、十分な大きさのときは鋳造の一部として形成できる。さらに、図 1 0 に示す構成では、1 以上のアクセス穴 1 4 8 が少なくとも部分的にプラットフォーム 9 2 内に延在して、冷却流路 1 3 0 とシャンク 9 6 の外部領域とを流体連通せしめる。図 1 0 に示す構成では、アクセスチャンネル 1 4 8 は冷却流路 1 3 0 の底面 1 3 4 に通じている。図 1 0 に示す構成では、冷却流路 1 3 0 はプラットフォーム 9 2 に沿って軸方向及び / 又は長手方向に延在しており、プラットフォーム端部 9 8 の近傍に出口を有する。ただし、冷却流路 1 3 0 がプラットフォーム端部 9 8 に出口を有していてもよい。この後者の構成は明示されていない。ただし、プラットフォーム端部 9 8 は図 1 0 に示してある。好適には、マイクロチャネルをプラットフォーム内に配置することによって、図 1 0 に示す構成では、冷却剤が高温ガス経路に近づいて改善された冷却が得られる。この構成は、プラットフォーム内部に冷却通路又は空洞を鋳造する必要性を低減又は完全になくすることができる。また、シャンク - プラットフォーム空洞内の冷却剤への熱流束の量が低減し、マイクロチャネルに供給される前の流体が単に加圧機能を果たせるようになる。

【 0 0 5 2 】

図 1 1 を参照して、別のタービン動翼 1 0 0 の構成について説明する。図 1 1 に示す構成では、基材 1 1 0 は、プラットフォーム 9 2 と一体につながるシャンク 9 6 と、少なくとも部分的にシャンク 9 6 内に延在して中空内部空間 1 1 4 と各冷却流路 1 3 0 とを流体連通せしめる 1 以上のアクセス穴 1 4 0 とをさらに画成しており、図 1 1 に示す構成では、冷却流路はプラットフォーム 9 2 に沿って軸方向及び / 又は長手方向に延在し、プラットフォーム端部 9 8 の近傍に出口を有する。ただし、冷却流路 1 3 0 はプラットフォーム端部 9 8 に出口を有していてもよい。この後者の構成は明示されていない。ただし、プラットフォーム端部 9 8 は図 1 0 に示してある。好適には、図 1 1 に示す冷却構成はプラットフォーム 9 2 の冷却を促進し、これは、中子プラットフォームの必要性をなくするのに役立つ、部品の予想コストを下げる。

【 0 0 5 3 】

図 1 3 及び図 1 4 を参照して上記で説明した通り、ある具体的な構成では、溝 1 3 2 及び冷却流路 1 3 0 はリエントラント形とし得る。同様に、図 1 4 を参照して上記で説明した通り、ある具体的な構成では、構造皮膜 5 4 は 1 以上の透過性スロット 1 4 4 を画成し、構造皮膜は溝 1 3 2 を完全には橋架けしていない。ただし、他の構成では、構造皮膜 5 4 は溝 1 3 2 を封止している。

【 0 0 5 4 】

上述の通り、上述の冷却式プラットフォーム構成の利点として、中子プラットフォーム

10

20

30

40

50

の必要性をなくすのに役立ち、部品の予想コストを下げる事が挙げられる。

【 0 0 5 5 】

図 2 ~ 図 1 7 を参照して、部品 1 0 0 内に冷却流路 1 3 0 を形成する方法について説明する。図 2 ~ 図 4 を参照して上記で説明した通り、部品 1 0 0 は外面 1 1 2 と内面 1 1 6 とを有する基材 1 1 0 を含んでおり、内面 1 1 6 は 1 以上の中空内部空間 1 1 4 を画成し、基材 1 1 0 の外面 1 1 2 は正圧側壁 2 4 と負圧側壁 2 6 とを画成する。正圧側壁 2 4 と負圧側壁 2 6 は部品 1 0 0 の前縁 2 8 及び後縁 3 0 で一体につながっている。図 2 及び図 3 に示すように、負圧側 2 6 は凸面であり、正圧側 2 4 は凹面である。例えば図 3 及び図 4 に示すように、基材 1 1 0 の外面 1 1 2 は、1 以上のプラットフォーム 9 2 と、翼形部 9 0 と各プラットフォーム 9 2 との間に延在してそれらを一体につなぐ 1 以上のフィレット 9 4 とをさらに画成する。

10

【 0 0 5 6 】

図 5 及び図 8 ~ 図 1 2 に示すように、本方法は、基材 1 1 0 の外面 1 1 2 に 1 以上の溝を形成するステップであって、少なくとも部分的にフィレット 9 4 に沿って或いは少なくとも部分的にプラットフォーム 9 2 に沿って延在する溝を形成するステップを含む。典型的には、上述の通り、本方法は、基材 1 1 0 の外面 1 1 2 に溝 1 3 2 を形成する前に基材 1 1 0 を鋳造するステップをさらに含んでいる。

【 0 0 5 7 】

図 2、図 5、図 1 3 及び図 1 4 に示すように、本方法はさらに、基材 1 1 0 の外面 1 1 2 の少なくとも一部の上に皮膜 1 5 0 を成膜するステップを含む。皮膜 1 5 0 及びその成膜のための堆積技術の例については上述した。ある具体的プロセスでは、基材 1 1 0 の外面 1 1 2 の少なくとも一部の上に皮膜 1 5 0 を成膜するステップはイオンプラズマ堆積法を実施することを含む。ある具体的な構成では、皮膜 1 5 0 は超合金を含む。ある具体的プロセスでは、基材 1 1 0 の外面 1 1 2 の少なくとも一部の上に皮膜 1 5 0 を成膜するステップは溶射法を実施することを含む。溶射法の例としては、H V O F 溶射及び H V A F 溶射が挙げられる。ある具体的プロセスでは、基材 1 1 0 の外面 1 1 2 の少なくとも一部の上に皮膜 1 5 0 を成膜するステップは、減圧プラズマ溶射 (L P P S) 法を実施することを含む。上記で説明した通り、皮膜 1 5 0 は、溝 1 3 2 の上に延在する 1 以上の構造皮膜 5 4 を含んでいて、溝 1 3 2 と構造皮膜 5 4 とが一緒に部品 1 0 0 のフィレット 9 4 及びプラットフォーム 9 2 の少なくとも一方を冷却するための 1 以上のチャネル 1 3 0 を画成する。

20

30

【 0 0 5 8 】

図 5、図 6、図 1 1 及び図 1 3 に示すように、本方法は、適宜、基材 1 1 0 に 1 以上のアクセス穴 1 4 0 を形成するステップであって、溝 1 3 2 を中空内部空間 1 1 4 と流体連通させるアクセス穴 1 4 0 を形成するステップをさらに含んでいてもよい。上述の通り、アクセス穴を形成するための技術は、本願出願人に譲渡された Ronald S. Bunker 他の米国特許出願第 1 3 / 2 1 0 6 9 7 号に記載されている。例えば、アクセス穴は、研磨液ジェット加工によって形成できる。さらに、内部アクセス穴 1 4 0 は、一定断面積の直線的穴、賦形穴 (楕円形など) 又は収束もしくは発散穴のいずれかとして穿孔することができる。

40

【 0 0 5 9 】

上記で説明した通り、ある具体的な構成では、溝はリエントラント形である。ある具体的プロセスでは、リエントラント形溝 1 3 2 は、Bunker 他の米国特許出願第 1 2 / 9 4 3 6 2 4 号に記載のように、例えば図 1 5 ~ 図 1 7 に示すように、基材 1 1 0 の表面 1 1 2 に研磨液ジェット 1 6 0 を噴射することによって形成できる。例えば、リエントラント形の溝 1 3 2 は、研磨液ジェット 1 6 0 の第 1 のパスで、基材 1 1 0 の表面 1 1 2 に対して側角に研磨液ジェット 1 6 0 を噴射し (図 1 5)、側角と対向する角度で次のパスを行うこと (図 1 6) によって形成し得る。ある具体的なプロセスでは、リエントラント形溝 1 3 2 を形成するステップは、1 以上の追加のパスを実施するステップをさらに含んでおり (図 1 7)、側角とその対向角度との間の 1 以上の角度で研磨液ジェット 1 6 0 を

50

溝 1 3 2 の底面 1 3 4 に噴射して、溝 1 3 2 の底面 1 3 4 から材料を除去する。さらに一般的には、リエントラント形溝 1 3 2 は、研磨液ジェット、プランジ電解加工（ECM）、放電加工（EDM）、回転電極による放電加工（EDM）（ミリングEDM）及びレーザ機械加工の 1 以上を用いて形成することができる。

【0060】

上述の通り、フィレット及び／又はプラットフォームの冷却にマイクロチャネルを用いると、従来の鋳造冷却通路に比して顕著な利点が得られる。特に、表面曲率に適合したフィレットの外面に冷却流路を配置することによって、上述の冷却構成で、耐荷重能力を高めるため金属温度を低く維持しながら、フィレットの半径を増大させることができる。

さらに、フィレットが大きいと、鋳造収率に対する制約が減るので、鋳造コストが下がる。さらに、本発明で新たに可能となったフィレットサイズの増大によって、フィレット領域（一般に溶射プロセスの際のミクロ組織制御が難しい領域である。）でのセラミック皮膜のミクロ組織も改善される。さらに、上述のフィレット及び／又はプラットフォーム冷却は設計面で柔軟性に富み、フィレット／プラットフォームに冷却を事実上あらゆる配向で組み込むことができる。加えて、フィレット輪郭が大きくなることで、空力効率も向上すると予測される。

【0061】

本発明の幾つかの特徴だけについて例示・説明してきたが、数多くの修正及び変更が当業者には自明であろう。従って、特許請求の範囲は、このような本発明の技術的思想に属する修正及び変更を包含する。

【符号の説明】

【0062】

10 ガスタービンエンジン

12 圧縮機

14 燃焼器

16 タービン

18 シャフト

20 燃料ノズル

24 基材（部品）の正圧側壁

26 基材（部品）の負圧側壁

28 部品の前縁

30 部品の後縁

32 冷却流路の入口部

34 冷却流路の中間部

36 冷却流路の出口部

52 表面法線

54 構造皮膜

90 翼形部

92 プラットフォーム

94 フィレット

96 シャンク

98 プラットフォーム端部

100 高温ガス経路部品

110 基材

112 基材の外表面

114 中空内部空間

116 基材の内面

130 チャネル

132 溝

134 溝の底面

10

20

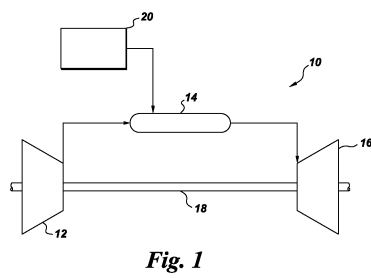
30

40

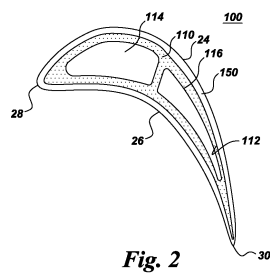
50

- 1 3 6 溝の開口（上面）
- 1 4 0 アクセス穴
- 1 4 4 透過性スロット
- 1 4 6 シャンクを貫通する通路
- 1 4 8 プラットフォームを貫通するアクセス穴
- 1 5 0 皮膜
- 1 6 0 研磨液ジェット

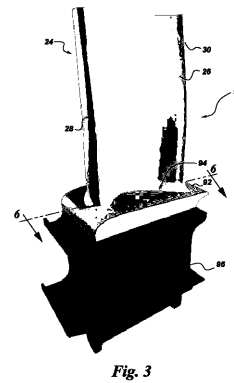
【図 1】



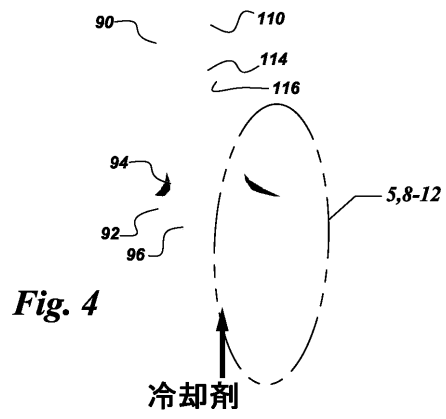
【図 2】



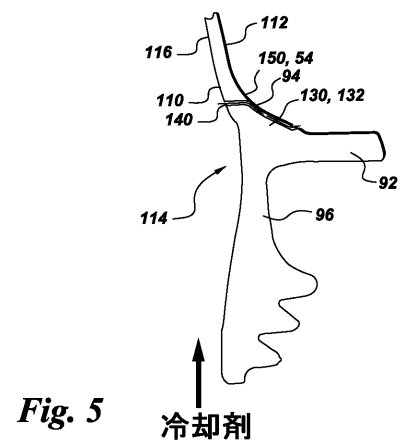
【図 3】



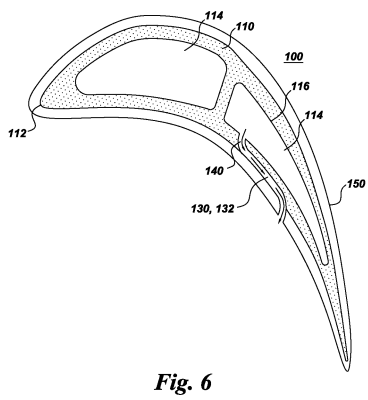
【 図 4 】



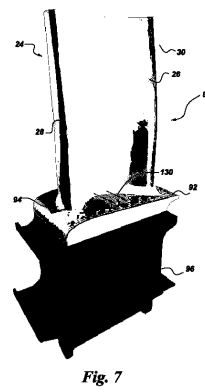
【 図 5 】



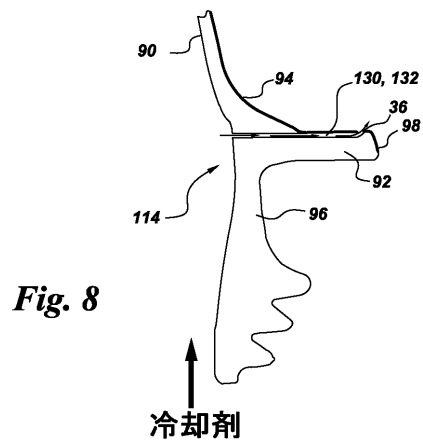
【 図 6 】



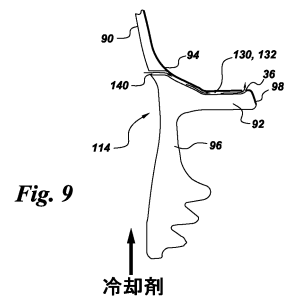
【 図 7 】



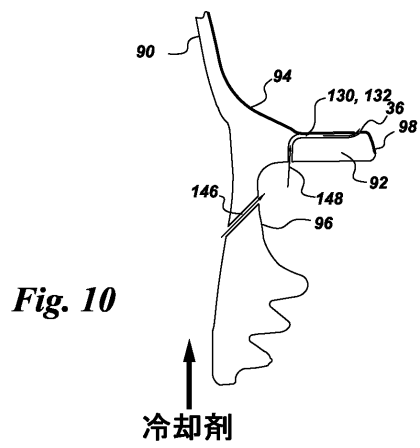
【図 8】



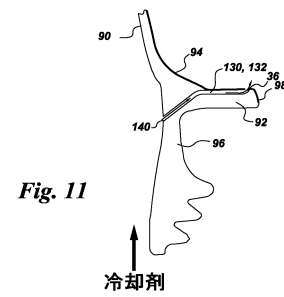
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 1 2】

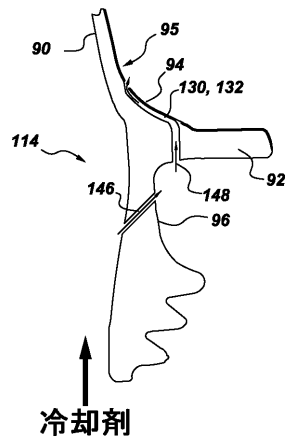


Fig. 12

【図 1 3】

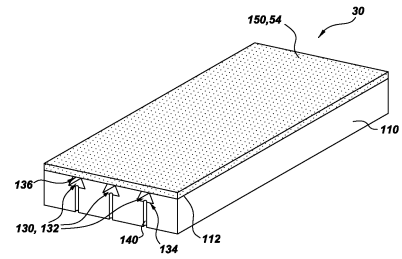


Fig. 13

【図 1 4】

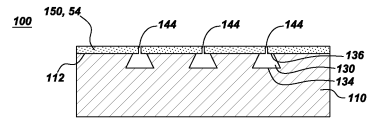


Fig. 14

【図 1 5】

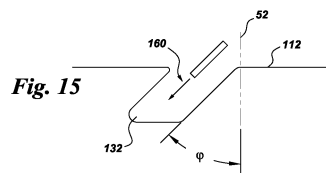


Fig. 15

【図 1 6】

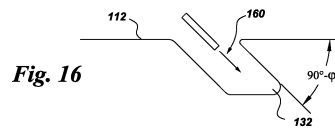


Fig. 16

【図 1 7】

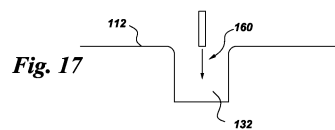


Fig. 17

フロントページの続き

(72)発明者 ロナルド・スコット・バンカー

アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-3エイ59
、ワン・リサーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニー・グローバル・リサーチ

審査官 稲葉 大紀

(56)参考文献 米国特許出願公開第2012/0111545(US,A1)

特表平08-505195(JP,A)

米国特許出願公開第2011/0223005(US,A1)

特開2002-129905(JP,A)

特開2006-046339(JP,A)

米国特許出願公開第2012/0107135(US,A1)

特開2012-072767(JP,A)

米国特許出願公開第2012/0082567(US,A1)

特開2010-059966(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

F01D 5/18

F01D 9/02

F01D 25/12

F02C 7/18