

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5997432号  
(P5997432)

(45) 発行日 平成28年9月28日 (2016. 9. 28)

(24) 登録日 平成28年9月2日 (2016. 9. 2)

(51) Int. Cl.

F I

**F O 2 C 7/18 (2006. 01)**

F O 2 C 7/18 A

**F 2 3 R 3/42 (2006. 01)**

F O 2 C 7/18 C

**F O 1 D 5/18 (2006. 01)**

F 2 3 R 3/42 C

**F O 1 D 5/28 (2006. 01)**

F O 1 D 5/18

**F O 1 D 9/02 (2006. 01)**

F O 1 D 5/28

請求項の数 11 (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2011-245350 (P2011-245350)  
 (22) 出願日 平成23年11月9日 (2011. 11. 9)  
 (65) 公開番号 特開2012-102736 (P2012-102736A)  
 (43) 公開日 平成24年5月31日 (2012. 5. 31)  
 審査請求日 平成26年11月4日 (2014. 11. 4)  
 (31) 優先権主張番号 12/943, 646  
 (32) 優先日 平成22年11月10日 (2010. 11. 10)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 390041542  
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー  
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123  
 45、スケネクタデイ、リバーロード、1  
 番  
 (74) 代理人 100137545  
 弁理士 荒川 聡志  
 (74) 代理人 100105588  
 弁理士 小倉 博  
 (74) 代理人 100129779  
 弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 構成部品、ならびに、構成部品の製造および被覆方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基材 ( 1 1 0 ) を含む構成部品 ( 1 0 0 ) をコーティングする方法であって、  
頂部 ( 1 3 6 ) と該頂部の幅の 2 倍 ~ 4 倍の幅を有する底面 ( 1 3 4 ) を備える 1 つま  
たは複数の溝 ( 1 3 2 ) が形成された基材であって、該溝が該基材の表面に沿って少なく  
とも部分的に延在する基材を用意するステップと、  
 前記基材 ( 1 1 0 ) の前記表面 ( 1 1 2 ) の少なくとも一部分の上にコーティング ( 1  
 5 0 ) を堆積させるステップとを含み、  
 前記溝のそれぞれは、前記基材の外側表面に画成された開口を有し、  
 前記コーティングは、1 つ以上の層を有し、  
 前記層のうちの少なくとも 1 つは、不均一なマイクロ構造を有し、かつ 1 つ以上の透過  
 性のスロットを備え、  
 前記構造上のコーティングが前記 1 つまたは複数の溝のそれぞれを完全には架橋せず、  
 角度 を含む 1 つ以上の角度に堆積され、  
 前記角度 が、前記基材の表面法線に対して約 1 0 ~ 約 8 5 度の範囲であり、  
 前記コーティング ( 1 5 0 ) を堆積させるステップによって、前記基材の外側表面の各  
 溝の前記開口が実質的に密閉され、  
 前記 1 つまたは複数の溝 ( 1 3 2 ) と前記構造上のコーティングとがともに前記基材内  
 に前記構成部品を冷却するための 1 つ以上のチャネルを画成する、  
 方法。

## 【請求項 2】

前記コーティングは、2つ以上の層を有し、

前記層のうちの第1の層は、前記構造上のコーティングであり、かつ1つ以上の透過性のスロットを備え、

前記第1の層は、前記1つまたは複数の溝のそれぞれを完全には架橋しない、  
請求項1に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記構造上のコーティングは、前記1つまたは複数の溝を完全に架橋して、前記構造上のコーティングが、前記1つ以上のチャンネルのそれぞれを密閉する、請求項1に記載の方法。

10

## 【請求項 4】

前記透過性のスロットが、1つ以上のチャンネルのそれぞれから前記構成部品の外部表面まで冷却材流体を運ぶように構成された、請求項1乃至3のいずれか1項に記載の方法。

## 【請求項 5】

前記構造上のコーティング(150)が前記1つまたは複数の溝(132)の上に堆積されるときに、前記1つまたは複数の溝(132)が充填されない、請求項1又は2に記載の方法。

## 【請求項 6】

基材(110)と、コーティング(150)とを備える構成部品(100)であって、  
前記基材(110)が、外側表面(112)および内側表面(116)を含み、前記内側表面(116)が少なくとも1つの中空の内部空間(114)を画定し、前記外側表面(112)が1つまたは複数の溝(132)を画定し、前記1つまたは複数の溝(132)の各々が前記基材(110)の前記表面(112)に少なくとも部分的に沿って延在し、また、頂部(136)及び該頂部の幅の2倍～4倍の幅を有する底面(134)を有し、1つまたは複数のアクセス孔(140)が、前記溝(132)を前記少なくとも1つの中空の内部空間(114)のそれぞれの1つに流体連通させるために、それぞれ1つの前記1つまたは複数の溝(132)の前記底面(134)を通して延在し、

20

前記コーティング(150)が、前記基材(110)の前記表面(112)の少なくとも一部分の上に堆積され、前記コーティング(150)が1つまたは複数の層(50)を有し、前記層(50)のうちの少なくとも1つが1つまたは複数の透過性のスロット(144)を画定し、それにより前記それぞれの層(50)が前記1つまたは複数の溝(132)の各々を完全には架橋せず、前記溝(132)および前記コーティング(150)が一体に、構成部品(100)を冷却するための1つまたは複数のチャンネル(130)を画定する、構成部品(100)。

30

## 【請求項 7】

前記透過性のスロット(144)の各々が前記基材(110)の表面法線(52)に対して角度で傾斜しており、前記角度が前記基材(110)の前記表面法線(52)に対して約25度～70度の範囲内にある、請求項6に記載の構成部品(100)。

## 【請求項 8】

前記透過性のスロット(144)が前記基材(110)に対してほぼ垂直に方向付けられる、請求項6に記載の構成部品(100)。

40

## 【請求項 9】

前記コーティング(150)が2つ以上の層(50)を有し、前記層のうちの後で堆積される層(56)が、先に堆積された層(54)内に形成された前記透過性のスロット(144)を完全には架橋せず、したがって、前記透過性のスロット(144)が前記後で堆積される層(56)を通して延在する、請求項6乃至8のいずれか1項に記載の構成部品(100)。

## 【請求項 10】

前記コーティング(150)が2つ以上の層(50)を有し、前記層のうちの後で堆積される層(56)が、先に堆積された層(54)内に形成された前記透過性のスロット(

50

144)を架橋し、それにより前記透過性のスロット(144)を実質的に密閉する、請求項6乃至8のいずれか1項に記載の構成部品(100)。

【請求項11】

前記透過性のスロット(144)が、前記1つまたは複数のそれぞれのチャネル(130)から前記構成部品の外部表面まで冷却剤流体を運ぶように構成され、前記コーティング(150)には、構造上のコーティング、ボンドコーティング、耐酸化性のコーティング、および、遮熱コーティングのうちの少なくとも1つが含まれる、請求項6乃至10のいずれか1項に記載の構成部品(100)。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して、ガスタービンエンジンに関し、より詳細には、その中での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、高温の燃焼ガスを発生させるために、空気が圧縮機内で加圧され、燃焼器内で燃料と混合される。圧縮機に動力供給する高圧タービン(HPT)内のガスから、またターボファン航空機エンジンの用途におけるファンに動力供給する、または船舶用および産業用では外部シャフトに動力供給する低圧タービン(LPT)内のガスから、エネルギーが抽出される。

20

【0003】

エンジン効率は燃焼ガスの温度が高くなるにつれて高まる。しかし、燃焼ガスはそれらの流路に沿った様々な構成部品を加熱するので、エンジンの寿命を長くするためにはそれらを冷却することが必要となる。通常、熱ガス経路構成部品は、圧縮機から抽気することによって冷却される。抽気は燃焼プロセスで使用されないので、この冷却プロセスによりエンジン効率は低下する。

【0004】

ガスタービンエンジン冷却の技術分野は成熟しており、様々な熱ガス経路構成部品内の冷却回路および特徴部の様々な態様のための多数の特許を含む。例えば、燃焼器は、運転中に冷却することを必要とする半径方向の外側ライナおよび内側ライナを含む。タービンノズルは、やはり冷却することを必要とする外側バンドと内側バンドとの間で支持される中空のベーンを含む。タービンブレードは中空であり、通常、その中に冷却回路を含み、タービンブレードはやはり冷却することを必要とするタービンシュラウドによって囲まれる。高温の燃焼ガスは、やはりライニングされ適切に冷却されることがある排気装置を通して排気される。

30

【0005】

これらの例示のすべてのガスタービンエンジンの構成部品において、それらを冷却する必要性を最小にしながら耐久性を向上させるために、通常、高強度超合金金属の薄い金属壁が使用される。様々な冷却回路および特徴部は、エンジン内の対応する環境においてこれらの個々の構成部品に適合するように作られる。例えば、一連の内部冷却通路または蛇行流路(サーペントライン)が熱ガス経路構成部品内に形成されてもよい。冷却流体がプレナムからサーペントラインに供給されてもよく、この冷却流体はこれらの通路を通して流れて、熱ガス経路構成部品の基材およびコーティングを冷却することができる。しかし、通常はこの冷却手法により熱伝達率が相対的に低くなり、また、構成部品の温度プロフィールが一様ではなくなる。

40

【0006】

マイクロチャネル冷却には、冷却を加熱ゾーンに可能な限り近づけ、所与の熱伝達率に対する高温側と低温側との温度差を縮小させることにより、冷却要件を大幅に軽減する潜在力がある。しかし、マイクロチャネルを形成するための現在の技術では、通常、コーテ

50

イングがマイクロチャンネル内に堆積しないようにするための犠牲充填材 (sacrificial filler) を使用すること、堆積する際にコーティングを支持すること、さらに、コーティングシステムを堆積した後に犠牲充填材を除去することが必要となる。しかし、一時的な材料でチャンネルを充填することおよびその材料を後で除去することには、現在のマイクロチャンネル処理技術にとっての潜在的な問題がある。例えば、充填材は基材およびコーティングに適合していなければならず、さらに収縮度が最小でなければならず、さらにそれでもやはり十分な強度を有さなければならない。犠牲充填材を除去することには、浸出、エッチングまたは気化などの潜在的に損傷を引き起こすようなプロセスが含まれ、通常長い時間がかかる。充填材材料が残留することもやはり問題である。

【先行技術文献】

10

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】米国特許第7302990号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

したがって、冷却チャンネルを形成するために溝を備える熱ガス経路構成部品上にコーティングを堆積させる、充填プロセスおよび除去プロセスの必要性をなくする方法が提供されることが望ましい。さらに、堆積を行う際に犠牲充填材を使用することなく、チャンネルの内側の壁表面および露出した壁表面上に堆積されるコーティングの量を軽減させる、熱ガス経路構成部品上にコーティングを堆積させる方法が提供されることが望ましい。

20

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の一態様は、基材を含む構成部品を被覆する方法に属し、1つまたは複数の溝が、基材の表面内に形成されて基材の表面の少なくとも一部分に沿って延在する。この方法は、基材の表面の少なくとも一部分の上にコーティングを堆積させることを含み、コーティングは1つまたは複数の層を有する。これらの層のうちの少なくとも1つは、角度を含む1つまたは複数の角度で堆積され、は、基材の表面法線に対して約10度~85度の範囲内にある。1つまたは複数の溝およびコーティングは一体に、構成部品を冷却するための1つまたは複数のチャンネルを画定する。

30

【0010】

本発明の別の態様は、外側表面および内側表面を含む基材を有する構成部品に属し、内側表面は少なくとも1つの中空の内部空間を画定し、さらに、外側表面は1つまたは複数の溝を画定し、さらに、1つまたは複数の溝は、各々、基材の表面に少なくとも部分的に沿って延在し、また、底面を有する。1つまたは複数のアクセス孔が、溝を少なくとも1つの中空の内部空間のそれぞれの1つに流体連通させるために、それぞれ1つの、1つまたは複数の溝の底面を通して延在する。この構成部品は、基材の表面の少なくとも一部分の上に堆積されるコーティングをさらに含む。このコーティングは1つまたは複数の層を有し、これらの層のうちの少なくとも1つは1つまたは複数の透過性のスロットを画定し、したがって、それぞれの層は1つまたは複数の溝の各々を完全には架橋しない。これらの溝およびコーティングは一体に、構成部品を冷却するための1つまたは複数のチャンネルを画定する。

40

【0011】

本発明の別の態様は、構成部品を製造する方法に属する。この方法は、基材の表面内に1つまたは複数の溝を形成することを含み、基材は少なくとも1つの中空の内部空間を有する。1つまたは複数の溝の各々は基材の表面に少なくとも部分的に沿って延在し、また、底面を有する。この方法は、溝を少なくとも1つの中空の内部空間のそれぞれの1つに流体連通させて接続するために、それぞれ1つの、1つまたは複数の溝の底面を通る1つまたは複数のアクセス孔を形成することをさらに含む。この方法は、基材の表面の少なくとも一部分の上にコーティングを堆積させることをさらに含み、それにより、1つまたは

50

複数の溝およびコーティングが一体に、構成部品を冷却するための１つまたは複数のチャネルを画定する。１つまたは複数の溝は、コーティングが１つまたは複数の溝の上に堆積されるときに充填されない。

【００１２】

本発明のこれらのおよび別の特徴、態様および利点は、複数の図面を通して同じ記号は同じ部品を示している添付図面を参照して以下の詳細な説明を読むことにより、より良く理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】ガスタービンシステムを示す概略図である。

10

【図２】本発明の態様による、基材の表面法線に対して角度で方向付けられたマイクロ構造を備えるコーティング層を有する例のエーロフォイル構成を示す概略的な断面図である。

【図３】基材と、基材の表面法線に対して角度で方向付けられたマイクロ構造を備える、基材上に堆積されたコーティング層と、の中に形成された冷却チャネルを有する冷却回路の一部分を示す概略的な断面図である。

【図４】基材と、基材の表面法線に対して角度およびで方向付けられた個別のマイクロ構造を備える、基材上に積み重ねられた第１および第２のコーティング層と、の中に形成された冷却チャネルを有する冷却回路の一部分を示す概略的な断面図である。

【図５】基材の表面法線に対して約４５度の角度で堆積されたニッケル合金の第１のコーティング層を備えるニッケル合金基材内に形成された４つの例の冷却チャネルを示す図である。

20

【図６】基材の表面法線に対して約４５度の角度で堆積されたニッケル合金の追加の第２のコーティング層を備える、図５の４つ例の冷却チャネルを示す図である。

【図７】窪み形の冷却チャネルと、基材の表面法線に対して角度およびで方向付けられた個別のマイクロ構造を備える、基材上に積み重ねられた第１および第２のコーティング層とを有する冷却回路の一部分を示す概略的な断面図である。

【図８】基材の表面とチャネル冷却剤とに沿って個別のフィルム冷却孔まで部分的に延在する３つの例のマイクロチャネルを概略的に示す斜視図である。

【図９】アクセス孔からフィルム冷却孔まで冷却剤を運ぶマイクロチャネルを示している、図８の例のマイクロチャネルのうちの１つを示す断面図である。

30

【図１０】窪み形状のチャネルを形成するために溝の頂部の上を延在するコーティングを備える窪み形状の溝を概略的に示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【００１４】

「第１の」および「第２の」などの用語は本明細書では順番、量または重要性を一切示しておらず、１つの要素を別の要素と区別するのに使用される。本明細書で数詞がないときは量を限定することを示しておらず、参照する項目の少なくとも１つが存在することを示している。量に関連して使用される「約」という修飾語は、述べた値を含み、さらに、文脈によって決定される意味を有する（例えば、特定の量の測定値に伴われる誤差の程度を含む）。さらに、「組合せ」という用語は、ブレンド材、混合物、合金および反応生成物などを含む。

40

【００１５】

また、本明細書では、「（複数可）」という接尾辞は、通常、それが修飾する用語の単数および複数の両方を含むことを意図しており、したがって、その用語の１つまたは複数を含むことを意図する（例えば、「通路孔」は、特に指定しない限り、１つまたは複数の通路孔を含んでよい）。本明細書を通して、「一実施形態」、「別の実施形態」および「実施形態」などに言及することは、その実施形態に関連して説明される特定の要素（例えば、特徴、構造および／または特性）が、本明細書で説明される少なくとも１つの実施形態に含まれ、別の実施形態に存在していても存在していなくてもよいことを意味する。さ

50

らに、説明される本発明の特徴は、様々な実施形態において任意の好適な形で組み合わせることができることを理解されたい。

【 0 0 1 6 】

図 1 は、ガスタービンシステム 1 0 の概略図である。システム 1 0 は、1 つまたは複数の、圧縮機 1 2、燃焼器 1 4、タービン 1 6 および燃料ノズル 2 0 を有することができる。圧縮機 1 2 およびタービン 1 6 は 1 つまたは複数のシャフト 1 8 によって連結することができる。シャフト 1 8 は、1 つのシャフトであっても、シャフト 1 8 を形成するように一体に連結された複数のシャフトセグメントであってもよい。

【 0 0 1 7 】

ガスタービンシステム 1 0 は複数の熱ガス経路構成部品 1 0 0 を有することができる。熱ガス経路構成部品は、システム 1 0 を通るガスの高温流に少なくとも部分的にさらされる、システム 1 0 の任意の構成部品である。例えば、バケット組立体（ブレードまたはブレード組立体としても知られる）、ノズル組立体（ベーンまたはベーン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、および、圧縮機排気構成部品はすべて、熱ガス経路構成部品である。しかし、本発明の熱ガス経路構成部品 1 0 0 が、上記の例に限定されず、ガスの高温流に少なくとも部分的にさらされる任意の構成部品であってもよいことを理解されたい。さらに、本開示の熱ガス経路構成部品 1 0 0 が、ガスタービンシステム 1 0 内の構成部品に限定されず、高温流にさらされる可能性がある機械の任意の部品またはその構成部品であってもよいことを理解されたい。

【 0 0 1 8 】

熱ガス経路構成部品 1 0 0 が熱ガス流 8 0 にさらされると、熱ガス経路構成部品 1 0 0 は熱ガス流 8 0 によって加熱され、故障する温度に達する可能性がある。したがって、システム 1 0 の効率および性能を向上させて、システム 1 0 が高い温度において熱ガス流 8 0 と共に運転されるのを可能にするために、熱ガス経路構成部品 1 0 0 のための冷却システムが必要となる。

【 0 0 1 9 】

概して、本開示の冷却システムは、熱ガス経路構成部品 1 0 0 の表面内に形成される一連の小型チャンネルすなわちマイクロチャンネルを有する。熱ガス経路構成部品はコーティングを備えていてもよい。冷却流体がプレナムからこれらのチャンネルに供給されてもよく、この冷却流体はチャンネルを通して流れてコーティングを冷却することができる。

【 0 0 2 0 】

図 2 ~ 9 を参照して構成部品 1 0 0 を被覆する方法を説明する。図 3、4 および 7 の実施例で示されるように、この方法は、基材 1 0 0 内に 1 つまたは複数の溝 1 3 2 を形成することを含む。示される実施例では、複数の溝 1 3 2 が基材 1 1 0 内に形成されている。例えば図 8 および 9 に示されるように、溝 1 3 2 は、基材 1 1 0 の表面 1 1 2 に少なくとも部分的に沿って延在する。例えば図 3 および 4 に示されるように、この方法は、基材 1 1 0 の表面 1 1 2 の少なくとも一部分の上にコーティング 1 5 0 を堆積させることをさらに含む。より詳細には、コーティング 1 5 0 は、基材 1 1 0 の表面 1 1 2 の少なくとも一部分の上において、溝 1 3 2 のうちの空いているもの（充填されていないもの）の上に直接に堆積される。ここで使用する「空いている」は、溝 1 3 2 が空であること、すなわち、溝 1 3 2 が犠牲充填材で充填されていないことを意味する。しかし、後で説明する代替のプロセス構成では、犠牲充填材が使用される。

【 0 0 2 1 】

例のコーティング 1 5 0 は、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる、米国特許第 5,640,767 号および米国特許第 5,626,462 号に提示されている。米国特許第 5,626,462 号で考察されているように、コーティング 1 5 0 は基材 1 1 0 の表面 1 1 2 の一部に接着される。コーティング 1 5 0 は 1 つまたは複数の層 5 0 を有する。図 3 に示される例の配置構成では、層 5 0 のうちの少なくとも 1 つが、基材 1 1 0 の表面法線 5 2 に対して約 20 ~ 85 度の範囲内の角度で堆積されている。より詳細には、示される堆積角度は、基材 1 1 0 の表面法線 5 2 に対して約 45 度 ~ 80 度の範囲内

10

20

30

40

50

にあり、さらに詳細には、約50度～70度の範囲内にある。より概略的には、層(50)のうちの少なくとも1つが1つまたは複数の角度で堆積される。図3に描かれるように、角度は、図4の角度も同様に、基材110の表面法線52に対して画定される。図3および4は、溝132を、これらのページの平面に対して垂直に示しており、すなわち、溝の方向を横切る断面として示している。しかし、異なる向きの溝がさらに基材110内に形成されていてもよく、そのような溝に対してはマイクロコート(micro-coat)を行うことは不可能であり、したがって、コーティングの堆積角度は常に溝方向に対して横向きであるが、コーティング角度は、実際には、表面法線に対する所定の角度またはに加えて、局部的な溝方向に対する角度(図示せず)を有する複合角度である。

【0022】

10

図3、4、8および9に示されるように、例えば、溝132およびコーティング150は一体に、構成部品100を冷却するための複数のチャンネル130を画定する。溝132およびチャンネル130は図3、4、8および9では長方形で示されているが、これらは別の形状であってもよい。例えば、溝132(およびチャンネル130)は、図7および10を参照して後で説明するように、窪み形の溝132(窪み形のチャンネル130)であってもよい。さらに、溝132(チャンネル130)の側壁は直線である必要はない。様々な用途において、溝132(チャンネル130)の側壁は湾曲しても丸形であってもよい。

【0023】

基材110は、通常、基材110の表面112内に溝132が形成される前に注型される。参照によりその全体が本明細書に組み込まれる、本願の譲受人に譲渡された米国特許第5,626,462号で考察されているように、基材110は、本明細書では第1の材料として記載される任意の適当な材料から形成することができる。これには、構成部品100の意図される用途に応じて、Niベース、CoベースおよびFeベースの超合金が含まれてもよい。Niベースの超合金は、相および相の両方を含む超合金であってもよく、詳細には、これらのNiベースの超合金は、相が超合金の体積の少なくとも40%を占めるように、相および相の両方を含む。所望される特性の組合せは高温強度および高温耐クリープ性を含むので、このような合金が有利であることは知られている。第1の材料にはNiAlの金属間化合物合金が含まれてもよく、これらの合金もやはり、高温強度および高温耐クリープ性を含む優れた特性の組合せを有することが知られており、航空機で使用されるタービンエンジンの用途で使用されるのが有利である。Nbベースの合金の場合、優れた耐酸化性を有する、Nb/Ti合金などのNbベースの合金が被覆されることが好適であり、これらの合金には、詳細には、原子百分率で表して、Nb-(27~40)Ti-(4.5~10.5)Al-(4.5~7.9)Cr-(1.5~5.5)Hf-(0~6)Vが含まれる。第1の材料には、また、Nbを含有する金属間化合物、Nbを含有するカーバイド、またはNbを含有するホウ化物などの、少なくとも1つの二次相を含むNbベースの合金が含まれてもよい。このような合金は、これらが延性相(すなわち、Nbベースの合金)および強化相(すなわち、Nbを含有する金属間化合物、Nbを含有するカーバイド、またはNbを含有するホウ化物)を含むという点で、複合材料材料に類似している。

20

30

【0024】

40

図2、8および9に示される例の配置構成では、コーティング150は、基材110のエロフォイル形状の外側表面112に沿って長手方向に延在する。コーティング150はエロフォイル形状の外側表面112に一致しており、マイクロチャンネル130を形成する溝132を覆っている。図8および9に示されるように、例えば、基材110およびコーティング150は複数の出口フィルム孔142をさらに画定していてもよい。図9に示される例の構成では、マイクロチャンネル130が、アクセス孔140からフィルム冷却孔142まで冷却剤を運ぶ。描かれているように、コーティング150が、単に、チャンネルを覆う第1のコーティングすなわち構造上のコーティングであることに留意されたい。特定の用途では、1つのコーティングを使用するだけでよい。しかし、別の用途では、ボンドコートおよび遮熱コーティング(TBC)も使用される。図8および9に示される例

50

の配置構成では、マイクロチャネル 130 が、それぞれのアクセス孔 140 から出口フィルム孔 142 まで冷却流を流通させる。図 8 および 9 に示される実施例では、溝が出口フィルム孔 142 まで流体を運ぶ。しかし、別の構成ではフィルム孔は伴われず、マイクロチャネルが単に基材の表面 112 に沿って延在し、後縁またはバケット先端部、あるいは端壁縁部などの、構成部品の縁部から抜け出る。また、図 8 ではフィルム孔は丸形で示されているが、これは単に非限定の実施例であることに留意されたい。このフィルム孔は非円形状の孔であってもよい。

#### 【0025】

通常、マイクロチャネルの長さは、フィルム孔の直径の 10 倍から 1000 倍の範囲内、より詳細には、フィルム孔の直径の 20 倍から 100 倍の範囲内にある。好都合には、マイクロチャネル 130 は構成部品の表面のいかなる場所でも使用することができる（エーロfoil本体、前縁部（lead edge）、後縁部（trail edge）、ブレード先端、端壁、プラットフォーム）。さらに、マイクロチャネルは直線の壁を有して示されているが、マイクロチャネル 130 は任意の構成であってもよく、例えば、これらは直線であっても湾曲していてもよく、あるいは複数の湾曲部などを有してもよい。コーティング 150 は、任意の適当な材料であってもよくまた基材 110 のエーロfoil形状の外側表面 120 に接着される、第 2 の材料を有する。特定の構成では、コーティング 150 は、工業用部品の場合、0.1 ミリメートル～2.0 ミリメートルの範囲内の、より詳細には 0.1 ミリメートルから 1 ミリメートルの範囲内の、さらに詳細には 0.1 ミリメートルから 0.5 ミリメートルの厚さを有する。航空機産業用の部品（aviation component）の場合、この範囲は通常 0.1 ミリメートルから 0.25 ミリメートルである。しかし、特定の構成部品 100 の要件に応じて別の厚さが使用されてもよい。

#### 【0026】

図 4 に示される例の構成では、コーティング 150 は 2 つの層 54、56 を有する。図 4 では 2 つのみのコーティング層 54 および 56 が示されているが、特定の用途において追加のコーティング層 50 が付着されてもよい。図 4 に示される例の配置構成では、複数の層 50 の第 1 の層 54 が角度  $\theta_1$  で基材 110 上に堆積されており、複数の層 50 の第 2 の層 56 が角度  $\theta_2$  で第 1 の層 56 の上に堆積されている。特定のプロセス構成では、角度  $\theta_1$  は実質的に角度  $\theta_2$  と等しくてもよく（すなわち、 $\theta_1 = \theta_2 \pm 10^\circ$ ）、それにより、第 1 の層 54 および第 2 の層 56 の向きが実質的に対称となる。別のプロセス構成では、堆積角度  $\theta_1$  および  $\theta_2$  はより大幅に異なってもよい。例えば、第 2 の層 56 は、第 1 の層 54 の堆積角度  $\theta_1$  より表面法線 52 により接近した角度  $\theta_2$  で堆積されてもよい。第 1 のコーティング層 54 がある角度  $\theta_1$  で付着されて第 2 のコーティング層 56 が反対の角度  $\theta_2 = 180^\circ - \theta_1$  で付着されるように、端から端までのコーティングの堆積角度を入れ替えるすなわち調整することにより、図 5 および 6 の比較から明らかなように、単一方向のコーティングでは開いたままである領域を閉鎖することができるコーティングマイクロ構造が構築される。このような入れ替えは、2 つの層または追加の層に対して実施することができる。

#### 【0027】

図 4 に描かれる例の構成では、第 1 のコーティング層 54 および第 2 のコーティング層 56 はそれぞれの溝 132 を完全に架橋しており、したがってコーティング（150）がそれぞれのマイクロチャネル 130 を密閉している。しかし、別の構成では、第 1 の層 54 が 1 つまたは複数の透過性のスロット 144 を画定し、したがって、第 1 の層 54 は個別の溝 132 の各々を完全には架橋しない。例の多孔性の層 54、56 が図 5 および 6 に示されている。図 5 は、GTD 444（登録商標）の基材内に形成された 4 つの例の冷却チャネルを示しており、René 142C（登録商標）の第 1 のコーティング層 54 が基材 110 の表面法線 52 に対して約 45 度の角度  $\theta_1$  で堆積されている。図 6 は、基材 110 の表面法線 52 に対して約 45 度の角度  $\theta_2$  で堆積された René 142C（登録商標）の追加の第 2 のコーティング層 56 を備える、図 5 の 4 つの例の冷却チャネルを示してい



る。より詳細な構成では、第2の層56がさらに1つまたは複数の透過性のスロット144を画定し、したがって、第1の層54および第2の層56は個別の溝132の各々を完全には架橋しない。図5に示されるように、コーティング150は付着されて一定の厚さを形成するので、通常、隙間（透過性のスロット）144は不規則な幾何形状を有し、隙間144の幅は変化する。最初に、コーティング54の第1の部分が基材110に付着されるときに、隙間144の幅はマイクロチャネル130の頂部136の幅の50%程度であってもよい。次いで、コーティング150が形成されるときに、隙間144は頂部136の幅の5%以下まで狭くすることができる。詳細な例では、最も狭い箇所の隙間144の幅は、それぞれのマイクロチャネル頂部136の幅の5%から20%である。さらに、透過性のスロット144は多孔性であってもよく、この場合、「多孔性」の隙間144はいくつかの接続部、すなわち、隙間を有さないいくつかの箇所または場所を有する。好都合には、隙間144は、コーティング150の応力を除去することができる。

#### 【0028】

第1のコーティング54内の隙間144によって応力を除去することを実現することは重要であるが、しかし、第1のコーティング層54内に得られる隙間144は元々の開口部136よりずっと小さい。したがって、第2のコーティング層56内の隙間の必要性は低い。したがって、明確に示されてはいないが、特定の構成では、第1のコーティング層54内の透過性のスロット144および連続した（隙間のない）第2のコーティング層56が存在する。この特定の構成は、第1のコーティング層54内に形成された透過性のスロット144の上を完全に被覆することを目的として、例えば、第2のコーティング層56が堆積される際に基材110を1つまたは複数の軸を中心に回転させることにより、あるいは、ほかには、基材110に対してほぼ垂直にまたはより概略的には基材110の表面法線52に対して約+/-20度の範囲内の角度で第2のコーティング層56を堆積させることにより、実現することができる。この特定の構成（すなわち、連続した第2のコーティング層56を備える、第1のコーティング層54内の隙間144）を作るための別の技法は、空気プラズマ溶射コーティングなどの別のタイプの第2のコーティングを付着させることである。さらに、より厚い第2のコーティング層56を付着させることでも、最終的に隙間144は閉鎖される。より概略的には、透過性のスロット144は、これらのスロットを架橋する層が後で堆積されるように、1つまたは複数のコーティング層50内に形成されてもよく、それにより、スロット144が効果的に密閉される。したがって、透過性のスロット144は、それらの特定の機能に応じて、（1）すべてのコーティング層を通して、または、（2）すべてのコーティングではなく一部のコーティングのみを通して、のいずれかで延在してもよい。好都合には、透過性のスロット144は、構造上のコーティング（複数可）のために応力/ひずみを除去するように機能する。さらに、透過性のスロット144は、すべてのコーティングを通して延在する場合には冷却手段として機能することができ、すなわち、このような構成の場合、透過性のスロット144は、それぞれのチャネル130から構成部品の外部表面まで冷却剤流体を運ぶように構成される。さらに、透過性のスロット144は、上側のコーティングによって架橋されている場合に、これらのコーティングが損傷していたり破砕していたりする場合には受動的な冷却手段として機能する。

#### 【0029】

図7に示される例の構成では、溝132の各々が底面134および頂部136を有し、底面134は頂部136より広くなっており、したがって、溝132の各々は窪み形の形状132を有する。詳細な構成では、それぞれ1つの窪み形状の溝132の底面134はそれぞれの溝132の頂部136の少なくとも2倍の幅を有する。より詳細な構成では、それぞれの窪み形状の溝132の底面134は、それぞれの溝132の頂部136の少なくとも3倍の幅、さらに詳細な構成では約3~4倍の範囲内にある幅を有する。好都合には、上述したように、角度をつけてコーティングを堆積させることは、参照によりその全体が本明細書に組み込まれ、GE整理番号246424-1に該当し、本願の譲受人に譲渡された、同時に出版された、Ronald S. Bunkerらの米国特許出願「C

10

20

30

40

50

omponents with re-entrant shaped cooling channels and methods of manufacture」に提示される窪み形の溝 132 との組合せで使うことができる。好都合には、有意な堆積角度でコーティングを付着させることにより、コーティング 150 は、充填することなくまたは部分的に充填することなく窪み形の溝 132 の上を架橋することができる。さらに、窪み形の溝は、頂部 136 の幅が等しい単純な形状の溝（すなわち、幅がほぼ等しい頂部 136 および底面を有する溝）に対して冷却作用を向上させる。

#### 【0030】

コーティング 150 は様々な技法を用いて堆積されてもよい。詳細なプロセスでは、コーティング 150 は、イオンプラズマ蒸着を行うことによって基材 110 の表面 112 の少なくとも一部分の上に堆積される。例のカソードアークイオンプラズマ蒸着（cathodic arc ion plasma deposition）の装置および方法が、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる、本願の譲受人に譲渡された、Weaver らの米国公開特許出願第 20080138529 号「Method and apparatus for cathodic arc ion plasma deposition」に提示されている。簡単に言うと、イオンプラズマ蒸着は、コーティング材料で形成されるカソードを真空チャンバ内の真空環境内に配置すること、基材 110 をこの真空環境内に用意すること、カソード表面上にカソードアークを形成してカソード表面からコーティング材料を浸食または蒸発させるために、カソードに電流を印加すること、および、カソードからのコーティング材料を基材の表面 112 上に堆積させることを含む。

#### 【0031】

1 つの非限定の例では、イオンプラズマ蒸着プロセスはプラズマ蒸着プロセスを含む。コーティング 150 の非限定の例には、米国特許第 5,626,462 号を参照して後でより詳細に考察するように、構造上のコーティング、ボンドコーティング、耐酸化性のコーティング、および、遮熱コーティングが含まれる。特定の熱ガス経路構成部品 100 では、コーティング 150 はニッケルベースまたはコバルトベースの合金を含み、より詳細には、超合金または NiCoCrAlY 合金を含む。例えば、基材 110 の第 1 の材料が、相および相の両方を含む Ni ベースの超合金である場合、米国特許第 5,626,462 号を参照して後でより詳細に考察するように、コーティング 150 はこれらと同じ材料を含んでよい。

#### 【0032】

別のプロセス構成では、コーティング 150 は、溶射プロセスおよびコールドスプレープロセスのうちの少なくとも 1 つを実行することにより、基材 110 の表面 112 の少なくとも一部分の上に堆積される。簡単に言うと、コールドスプレーは非溶射プロセスであり、金属粉が不活性ガス噴射により加速される。金属粒子は、基材に衝突すると、塑性変形して基材の表面に固着される。例えば、溶射プロセスには燃焼溶射（combustion spraying）またはプラズマ溶射が含まれてもよく、燃焼溶射には高速フレイム溶射（high velocity oxygen fuel spraying（HVOF））または高速空気燃料溶射（high velocity air fuel spraying（HVAF））が含まれてもよく、プラズマ溶射には大気（空気または不活性ガスなど）プラズマ溶射または低圧プラズマ溶射（low pressure plasma spray（LPPS））、真空プラズマ溶射すなわち VPS（vacuum plasma spray）としても知られる）が含まれてもよい。1 つの非限定の例では、NiCrAlY コーティングが HVOF または HVAF によって堆積される。コーティング 150 の 1 つまたは複数の層を堆積させるための別の例の技法には、限定しないが、スパッタリング、電子ビーム物理蒸着、無電解めっき、および、電気めっきが含まれる。

#### 【0033】

特定の構成では、コーティングシステム 150 を形成するために複数の堆積技法が採用

10

20

30

40

50

されることが望ましい。例えば、第1の層54はイオンプラズマ蒸着を用いて堆積され、第2の層56および任意選択の追加の層（図示せず）は、燃焼溶射プロセス（例えば、HVOFまたはHVOF）などの別の技法またはLPFSなどのプラズマ溶射プロセスを用いて堆積されてもよい。使用される材料に応じて、コーティング層50のための異なる堆積技法を用いることが、ひずみ耐性および/または延在にとって利益になる可能性がある。

#### 【0034】

より概略的には、米国特許第5,626,462号で考察されるように、コーティング150を形成するのに使用される第2の材料は任意の適当な材料を含む。冷却式タービンの構成部品100の場合、第2の材料は約1150に耐えることができなければならない。TBCでは約1320に達することもある。コーティング150は、基材110のエロフォイル形状の外側表面112に接着されることに適合性を有し、それに適応されなければならない。この接着は、コーティング150が基材110上に堆積されるときに形成されてもよい。接着作用は、堆積が行われる際に、堆積方法、堆積中の基材100の温度、堆積表面が堆積源（deposition source）に対して偏向されているか否か、および、別のパラメータ、を含めた多くのパラメータの影響を受ける可能性がある。接着作用はまた、その後の熱処理または別の処理の影響を受ける可能性もある。さらに、堆積が行われる前の基材110の表面性状、化学的性質および清浄度が、冶金学的な接着作用が起こる程度に影響する場合がある。コーティング150と基材110との間に強力な冶金学的接着を形成することに加えて、本明細書で説明するように、この接着が、経時的にまた高温において、相変化および相互拡散に対して安定した状態を維持することが望ましい。適合することにより、これらの要素間の接着が熱力学的に安定し、それにより、接着の強度および延性が、Niベース合金のエロフォイル支持壁40およびエロフォイルスキン42の場合には1,150程度の高温にさらされる場合でも、また、Nbベースの合金などのより高温の高温材料が使用される場合には1,300程度のさらに高温にさらされる場合でも、相互拡散または別のプロセスによって経時的に（例えば、最大で3年）大幅に劣化しないことが好ましい。

#### 【0035】

米国特許第5,626,462号で考察されるように、基材110の第1の材料が、相および相の両方を含むNiベースの超合金またはNiAlの金属間化合物合金である場合、コーティング150用の第2の材料はこれらと同じ材料を含んでよい。コーティング150および基材110の材料のこのような組合せは、運転環境の最大温度が現行のエンジンの最大温度（例えば、1650未満）と同等であるような場合の用途において好適である。基材110の第1の材料がNbベースの合金である場合、コーティング150用の第2の材料も、同じNbベースの合金を含めた、Nbベースの合金を含んでよい。

#### 【0036】

米国特許第5,626,462号で考察されるように、金属合金のコーティング150を使用することが望ましくないような温度、環境、または別の制約が課されるような用途などの、別の用途では、コーティング150は、金属合金のみの特性より優れた特性を有する、金属間化合物（ $I_S$ ）/金属合金（M）相の複合材および金属間化合物（ $I_S$ ）/金属間化合物（ $I_M$ ）相の複合材の一般的な形態の複合材などの、材料を含むことが好ましい。金属合金Mは、エロフォイル支持壁40に使用されるものと同じ合金であってもよく、または、エロフォイルの要件に応じて別の材料であってもよい。これらの複合材は、一般的に言えば、両方の材料の利点を有するコーティング150を作るために、比較的多い延性相Mまたは $I_M$ と比較的少ない延性相 $I_S$ とを組み合わせるという点で、類似している。さらに、好結果の複合材を得るためには、これら2つの材料は適合性を有さなければならない。複合材に関連して本明細書で使用される場合、適合性という用語は、それらの材料が、それらの相の所望される初期分布を形成することできなければならない。さらに、複合材の強度、延性、靱性、および別の重要な特性が大幅に損なわれるような冶金反応を起こすことなく、1,150以上の使用温度において上述したように長時間その分布

を維持することができなければならないことを意味する。このような適合性は相安定性という用語で表現されてもよい。すなわち、複合材の分離相は運転時にある温度で ( a t t e m p e r a t u r e ) 長時間にわたって安定性を有しなければならず、それにより、これらの相が分離して互いに異質である状態を維持し、それらの別個の独自性および特性が維持され、相互拡散により単一の相または複数の異なる相になることがない。適合性は、 $I_S / M$  複合材または  $I_S / I_M$  複合材の層の間の相間境界面 ( i n t e r p h a s e b o u n d a r y i n t e r f a c e ) の形状安定性で表現されてもよい。不安定性は、いずれかの層の持続性を阻害するコンボリューション ( c o n v o l u t i o n ) によって明らかとなる場合がある。また、所与のコーティング 150 内で、複数の  $I_S / M$  または  $I_S / I_M$  複合材が使用されてもよく、このような複合材は 2 つの材料または 2 つの相の組合せに限定されないことに留意されたい。このような組合せを使用することは単に例示的なものであり、包括的なものではなく、すなわち、可能性のある組合せを限定しない。したがって、 $M / I_M / I_S$ 、 $M / I_{S1} / I_{S2}$  ( $I_{S1}$  および  $I_{S2}$  は異なる材料) および多くの別の組合せが可能である。

#### 【 0 0 3 7 】

米国特許第 5, 626, 462 号で考察されるように、基材 110 が、相および相の両方の混合物を含む Ni ベースの超合金を含む場合、 $I_S$  には、 $Ni_3 [Ti, Ta, Nb, V]$ 、 $NiAl$ 、 $Cr_3Si$ 、 $[Cr, Mo]_xSi$ 、 $[Ta, Ti, Nb, Hf, Zr, V]C$ 、 $Cr_3C_2$  および  $Cr_7C_3$  の金属間化合物および中間相が含まれてもよく、 $M$  には、相および相の両方の混合物を含む Ni ベースの超合金が含まれてもよい。

相および相の両方の混合物を含む Ni ベースの超合金では、 $Ti$ 、 $Ta$ 、 $Nb$ 、 $V$ 、 $W$ 、 $Mo$ 、 $Re$ 、 $Hf$  および  $Zr$  の様々な組合せと共に、元素  $Co$ 、 $Cr$ 、 $Al$ 、 $C$  および  $B$  はほとんど常に合金成分として存在する。したがって、説明する例示の  $I_S$  材料の成分は、第 1 の材料として ( 基材 110 を形成するのに ) 使用することができ、したがって本明細書で説明する相および相互拡散の安定性 ( p h a s e a n d i n t e r d i f f u s i o n a l s t a b i l i t y ) を実現するように適合され得る Ni ベースの超合金で通常見られる 1 つまたは複数の材料に一致する。第 1 の材料 ( 基材 110 ) が  $NiAl$  の金属間化合物合金を含む場合の追加の例として、 $I_S$  には、 $Ni_3 [Ti, Ta, Nb, V]$ 、 $NiAl$ 、 $Cr_3Si$ 、 $[Cr, Mo]_xSi$ 、 $[Ta, Ti, Nb, Hf, Zr, V]C$ 、 $Cr_3C_2$  および  $Cr_7C_3$  の金属間化合物および中間相が含まれてもよく、 $I_M$  には、 $Ni_3Al$  の金属間化合物合金が含まれてもよい。 $NiAl$  の金属間化合物合金でもやはり、 $Ti$ 、 $Ta$ 、 $Nb$ 、 $V$ 、 $W$ 、 $Mo$ 、 $Re$ 、 $Hf$  および  $Zr$  の様々な組合せと共に、元素  $Co$ 、 $Cr$ 、 $C$  および  $B$  のうちの 1 つまたは複数の合金成分としてほぼ常に存在する。したがって、説明する例示の  $I_S$  材料の成分は、第 1 の材料として使用することができ、したがって本明細書で説明する相および相互拡散の安定性を実現するように適合され得る  $NiAl$  合金で通常見られる 1 つまたは複数の材料に一致する。

#### 【 0 0 3 8 】

米国特許第 5, 626, 462 号で考察されるように、基材 110 が、少なくとも 1 つの二次相を含む Nb ベースの合金を含めた、Nb ベースの合金を含む場合、 $I_S$  には、Nb を含有する金属間化合物、Nb を含有するカーバイド、または、Nb を含有するホウ化物が含まれてもよく、 $M$  には Nb ベースの合金が含まれてもよい。このような  $I_S / M$  複合材は、 $Ti$  を含む Nb ベースの合金の  $M$  相を含むことが好ましく、この場合、合金の、Nb に対する  $Ti$  の原子比 (  $Ti / Nb$  ) が 0.2 ~ 1 の範囲であり、 $I_S$  相には、Nb ベースのケイ化物、 $Cr_2 [Nb, Ti, Hf]$ 、および、Nb ベースのアルミナイドから構成される群が含まれ、Nb、 $Ti$  および  $Hf$  の中でもとりわけ Nb が、原子ベースで  $Cr_2 [Nb, Ti, Hf]$  の主成分となる。これらの化合物はすべて共通の成分として Nb を有し、したがって、米国特許第 5, 626, 462 号に記載される相および相互拡散の安定性を実現するのに適合され得る。

#### 【 0 0 3 9 】

付着時のコーティングは、コーティングを堆積させる際に犠牲充填材を使用することな

くかつ溝の内部に堆積されるコーティング材料の量を最小にして溝 132 の開いた隙間 136 を架橋するための、十分な粒度、強度および付着力（接合作用）を有する。しかし、通常、例えば図 10 に示されるように、コーティング材料の一部はやはり外側表面のわずかに下方の開口部内に充填されてしまう。この架橋の効果は、小さいサイズの開いた溝の上に堆積されるプラズマ蒸着（PVD）の TBC コーティングと共に上に記載されている。好都合には、溶射コーティングと共に、本発明の角度をつける堆積技法を使用することで、大きな隙間 136 サイズを架橋する能力を伴う非常に大きな粒子凝集が得られる。

#### 【0040】

ここで図 3 および 4 を参照すると、特定の構成では、コーティング 150 はそれぞれの溝 132 を完全に架橋し、したがって、コーティング 150 はそれぞれのマイクロチャンネル 130 を密閉する。より詳細には、図 4 および 7 に示される例の配置構成では、第 1 のコーティング層 54 および第 2 のコーティング層 56 がそれぞれの溝 132 を完全に架橋する。別の構成では、例えば図 5 および 6 で示されるように、コーティング 150 は 1 つまたは複数の透過性のスロット 144 を画定し、したがって、コーティング 150 は個別の溝 132 の各々を完全には架橋しない。この多孔性の構成により、コーティング 150 のために応力を除去することが可能となる。

#### 【0041】

好都合には、コーティング 150 を角度、で堆積させることで、コーティング 150 を基材 110 に付着させるのに犠牲充填材（図示せず）を使用する必要がなくなる。これにより、充填プロセスおよびより困難な除去プロセスが必要なくなる。さらに、例えば約 10 ~ 12 ミルの範囲の幅の開口部 136 を有するような、狭い開口部 136（頂部）を有する窪み形状の溝の上に角度をつけてコーティングを堆積させることで、犠牲充填材を使用することなく開口部 136 をコーティング 150 によって架橋することができ、それにより、従来のチャンネル形成技法での主要な処理ステップのうちの 2 つ（充填および浸出）が排除される。

#### 【0042】

コーティング 150 に加えて、溝 132（すなわち、コーティング 150 の第 1 の（内側の）層が特に耐酸化性ではない場合の、マイクロチャンネル 130）の内部表面を、その耐酸化性および/または高温耐食性を向上させるようにさらに修正することができる。耐酸化性のコーティング（明確には示されない）を溝 132 の（すなわち、マイクロチャンネル 130 の）内部表面に付着させるための適切な技法には、気相クロミジリング（vapor-phase chromiding）またはスラリクロミジリング（slurry chromiding）、気相アルミナ化またはスラリアルミナ化、あるいは、蒸発、スパッタリング、イオンプラズマ蒸着、溶射および/またはコールドスプレーを介したオーバーレイ堆積（overlay deposition）が含まれる。例の耐酸化性オーバーレイコーティングには、MCrAlY の一群（M = {Ni、Co、Fe}）内の材料さらには NiAlX の一群（X = {Cr、Hf、Zr、Y、La、Si、Pt、Pd}）から選択される材料が含まれる。

#### 【0043】

しかし、特定のプロセス構成では、充填材が使用されてもよく、その後で浸出プロセスが用いられてもよい。これらのプロセス構成では、この方法は、コーティング 150 を堆積させる前に充填材（図示せず）で溝 132 を充填することをさらに含む。例えば、充填材は、金属スラリ（metallic slurry）の「インク」（図示せず）で構成部品 100 を浸漬被覆または溶射被覆するスラリによって付着することができ、それにより溝 132 が充填される。別の構成では、充填材はマイクロペンまたは注入器を使用して塗布することができる。特定の実施態様では、溝 132 は充填材材料によって過充填されてもよい。余分な充填材は、例えば拭き取られることによって除去することができ、それにより溝 132 が「見える」ようになる。充填材用の非限定の例の材料には、UV 硬化樹脂、セラミック、有機溶剤のキャリアを有する銅またはモリブデンのインク、ならびに、ウォーターベース（water base）およびキャリアを有する黒鉛粉末が含まれる

。より概略的には、充填材は、任意選択のバインダを備えるキャリア内に懸濁される対象の粒子を含むことができる。さらに、採用される充填材のタイプに応じて、充填材はアクセス孔 140 内に流れ込んでも流れ込まなくてもよい。例の充填材材料（すなわち、チャンネル充填手段または犠牲材料）は、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる、本願の譲受人に譲渡された米国特許第 5,640,767 号および本願の譲受人に譲渡された米国特許第 6,321,449 号で考察されている。このプロセス構成の場合、この方法は、コーティング 150 を堆積させた後に溝 132 から充填材を除去することをさらに含む。例えば、充填材は、化学浸出プロセスを用いてマイクロチャンネル 130 から浸出され得る。米国特許第 5,640,767 号で考察されるように、充填材（すなわち、チャンネル充填手段）は、例えば、融解／抽出、高温分解またはエッチングによって除去されてもよい。同様に、米国特許第 6,321,449 号で考察されている充填材材料（犠牲材料）は、水、アルコール、アセトン、水酸化ナトリウム、水酸化カリウムまたは硝酸内で溶解されることによって除去することができる。

10

#### 【0044】

図 2 ~ 10 を参照して構成部品 100 を説明する。例えば図 2 に示されるように、構成部品 100 は、外側表面 112 および内側表面 116 を備える基材 110 を有する。例えば図 2 に示されるように、内側表面 116 は少なくとも 1 つの中空の内部空間 114 を画定する。例えば図 2 ~ 4、7 および 8 に示されるように、外側表面 112 は 1 つまたは複数の溝 132 を画定する。示される実施例では、基材 110 は複数の溝を画定する。例えば図 7 ~ 9 に示されるように、溝 132 は各々が基材 110 の表面 112 に少なくとも部分的に沿って延在し、また、底面 134 を有する。溝 132 の内部の側壁上にコーティングがいくらかでも堆積される可能性を軽減するために、頂部におけるチャンネル開口部の幅は望ましくは 0.010 インチ（0.25 ミリメートル）から 0.02 インチ（0.51 ミリメートル）の範囲内にある。

20

#### 【0045】

例えば図 3、4 および 7 に示されるように、アクセス孔 140 が、溝 132 と中空の内部空間（複数可）114 との間を流体連通させるために、溝 132 のそれぞれの底面 134 を通って延在する。アクセス孔 140 は通常断面が円形または楕円形であり、例えば、レーザ切削（レーザ穿孔）、研磨液噴射（abrasive liquid jet）、放電加工（electric discharge machining（EDM））、および、電子ビーム穿孔のうちの 1 つまたは複数を用いて形成されてもよい。アクセス孔 140 は、それぞれの溝 132 の底面 134 に対して垂直であってもよく（図 3、4 および 7 に示されるように）、また、より概略的には、溝の底面 134 に対して 20 度 ~ 90 度の範囲内にある角度で穿孔されてもよい。

30

#### 【0046】

例えば図 3、4 および 7 に示されるように、構成部品 100 は、基材 110 の表面 112 の少なくとも一部分の上に堆積されるコーティング 150 をさらに含み、コーティング 150 は 1 つまたは複数の層 50 を有する。上で考察したように、溝 132 およびコーティング 150 は一体に、構成部品 100 を冷却するための複数のチャンネル 130 を画定する。例のコーティングは上で提示されている。例の構成では、コーティング 150 には、構造上のコーティング、ボンドコーティング、耐酸化性のコーティング、および、遮熱コーティングのうちの少なくとも 1 つが含まれる。

40

#### 【0047】

図 5 および 6 に示される例の配置構成では、コーティング層 50 のうちの少なくとも 1 つが 1 つまたは複数の透過性のスロット 144 を画定しており、したがって、それぞれの層 50 は個別の溝 132 の各々を完全には架橋していない。上で考察したように、特定の配置構成では、透過性のスロット 144 はすべてのコーティング層を通して延在し、チャンネル 130 から構成部品の外部表面まで冷却剤を運ぶ。別の構成では、透過性のスロット 144 は、これらのスロットを架橋する層が後で堆積されるように、1 つまたは複数のコーティング層 50 内に形成されてもよく、それにより、スロット 144 が効果的に密閉さ

50

れる。上で述べたように、透過性のスロット 144 は、コーティング 150 のために応力を除去することができる。さらに、これらの図では隙間 144 の 1 つ例の断面が示されているが、別の配置構成では、この多孔度（および、それに伴い断面）はマイクロチャネルの長手方向に沿って変化することに留意されたい。

#### 【0048】

詳細な構成では、隙間 144 は、冷却流をコーティング（複数可）150 を通して構成部品 100 の外部表面まで送るのに使用される。例えば、構造上のコーティングのみが付着されている場合には、チャネルの長さ全体に沿って冷却流が有益に抽気され、ある種の吹出し冷却が生じる。さらに、プラズマ蒸着（PVD）の遮熱コーティング（TBC）のみが付着されている場合には、TBC の柱状特性により、やはり冷却流を隙間 144 を通して抽気することが可能となる。透過性のスロット 144 を通る冷却流は、航空機産業用のタービンエーロfoilを冷却するのに特に有益である。

10

#### 【0049】

図 5 に示される例の構成では、透過性のスロット 144 の各々が基材 110 の表面法線 52 に対して角度  $\theta$  で傾斜しており、角度  $\theta$  は、基材 110 の表面法線 52 に対して約 25 度～70 度の範囲内にある。スロットの傾斜角度  $\theta$  は、以下の方程式を用いて堆積角度に関連付けられ得る。

#### 【0050】

$$\tan \theta = 2 \tan \alpha \quad (\text{式 1})$$

より詳細な構成では、角度  $\theta$  は、基材 110 の表面法線 52 に対して約 30～55 度の範囲内にある。図 5 および 6 に示される構成が、通常、被覆プロセスの間動かない構成部品のみに対して得られることに留意されたい。さらに、湾曲した構成部品では、角度  $\theta$  は、構成部品の局所の曲率の結果としてチャネル 130 の長手方向に沿って変化してもよい。また、湾曲した構成部品では、角度  $\theta$  は、構成部品の局所の曲率に基づいて異なるチャネルごとに変化してもよい。

20

#### 【0051】

図 6 に示される例の構成では、透過性のスロット 144 の傾斜角度はコーティング 150 の厚さ方向を通して変化する。図 6 に示されるように、第 2 のコーティング層 56 内のスロット 144 の傾斜角度  $\theta'$ （基材 110 の表面法線 52 に対する）は、第 1 のコーティング層 54 内のスロット 144 の傾斜角度  $\theta$ （表面法線 52 に対する）とは異なる。スロットの傾斜角度  $\theta'$  は以下の方程式を用いて堆積角度  $\alpha'$  に関連付けられ得る。

30

#### 【0052】

$$\tan \theta' = 2 \tan \alpha' \quad (\text{式 2})$$

別の構成では、透過性のスロット 144 は基材 110 に対してほぼ垂直に方向付けられる。この構成は、通常、コーティングが堆積される際に基材 110 が 1 つまたは複数の軸を中心に回転される場合に得られる。本明細書で使用される場合、「ほぼ」という語は、局所の表面法線の  $\pm 15$  度を意味することを理解されたい。

#### 【0053】

図 5 および 6 に示される例の構成では、第 1 の層 54 は 1 つまたは複数の透過性のスロット 144 を画定することができ、したがって、第 1 の層 54 は個別の溝 132 の各々を完全には架橋しない。さらに、図 6 に示される例の配置構成では、第 2 の層 56 がさらに 1 つまたは複数の透過性のスロット 144 を画定しており、したがって、第 1 の層 54 および第 2 の層 56 は個別の溝 132 の各々を完全には架橋しない。

40

#### 【0054】

上で考察したように、チャネル 130 は直線の壁を有して示されているが、チャネル 130 は任意の構成であってもよく、例えば、これらは直線であっても湾曲していてもよく、または複数の湾曲部などを有してもよい。図 7 および 10 に示される例の構成では、溝は窪み形状である。すなわち、図 7 および 10 の配置構成では、各々の溝 132 の底面 134 がそれぞれの溝 132 の頂部 136 より広く、したがって溝 132 の各々が窪み形状の溝 132 となっている。より詳細には、それぞれの窪み形状の溝 132 の底面 134 は

50

、それぞれの溝 1 3 2 の頂部 1 3 6 の少なくとも 2 倍の幅を有し、さらに詳細には約 3 倍 ~ 4 倍の範囲内にある幅を有する。詳細な構成では、それぞれ 1 つの窪み形状の溝 1 3 2 の壁 1 3 8 は、例えば図 1 0 に示されるように、表面法線に対して約 1 0 度 ~ 8 0 度の範囲内にある角度 で方向付けられる。より詳細には、それぞれ 1 つの窪み形状の溝 1 3 2 の壁 1 3 8 は、表面法線に対して約 1 0 度 ~ 4 5 度の範囲内にある角度 で方向付けられる。

#### 【 0 0 5 5 】

上で述べたように、例えば約 1 0 ~ 1 2 ミルの範囲内にある幅を有する開口部 1 3 6 を有するような、狭い開口部 1 3 6 ( 頂部 ) を有する窪み形状の溝の上に角度をつけてコーティングを堆積させることで、犠牲充填材を使用することなく開口部 1 3 6 をコーティング 1 5 0 によって架橋することができ、それにより、従来のチャンネル形成技法での主要な処理ステップのうちの 2 つ ( 充填および浸出 ) が排除される。さらに、底面 1 3 4 が広くなるとチャンネル 1 3 0 の冷却作用が向上する。

#### 【 0 0 5 6 】

構成部品 1 0 0 を製造する方法を図 2 ~ 1 0 を参照して説明する。図 3、4 および 7 を参照して上で考察したように、この方法は、基材 1 1 0 の表面 1 1 2 内に 1 つまたは複数の溝 1 3 2 を形成することを含む。示される実施例では、複数の溝 1 3 2 が基材の表面 1 1 2 内に形成されている。例えば図 2 に示されるように、基材 1 1 0 は少なくとも 1 つの中空の内部空間 1 1 4 を有する。基材 1 1 0 は、通常、基材 1 1 0 の表面 1 1 2 に溝 1 3 2 が形成される前に注型される。例の基材材料は上に提示されている。図 7 ~ 9 を参照して上で考察したように、溝 1 3 2 は各々が基材 1 1 0 の表面 1 1 2 に少なくとも部分的に沿って延在し、また、底面 1 3 4 を有する。

#### 【 0 0 5 7 】

この製造方法は、複数のアクセス孔 1 4 0 を形成することをさらに含む。より詳細には、1 つまたは複数のアクセス孔 1 4 0 が溝 1 3 2 ごとに設けられる。示される実施例では、1 つの溝 1 3 2 ごとに 1 つのアクセス孔 1 4 0 が設けられている。例えば図 3、4 および 7 に示されるように、アクセス孔 1 4 0 は各々が、溝 1 3 2 と中空の内部空間 1 1 4 との間に流体連通を形成するために、それぞれ 1 つの溝 1 3 2 の底面 1 3 4 を通るように形成される。例のアクセス孔の幾何形状および形成方法は上に提示されている。

#### 【 0 0 5 8 】

例えば図 3 に示されるように、この製造方法は、コーティング 1 5 0 を、基材 1 1 0 の表面 1 1 2 の少なくとも一部分の上において、空いている ( 充填されていない ) 溝 1 3 2 の上に直接に堆積させることをさらに含む。上で述べたように、「空いている」は、溝 1 3 2 が空であること、すなわち、溝 1 3 2 が犠牲充填材で充填されていないことを意味する。例のコーティングは上に提示されている。例の構成では、コーティング 1 5 0 には、構造上のコーティング、ボンドコーティング、耐酸化性のコーティング、および、遮熱コーティングのうちの少なくとも 1 つが含まれる。例えば図 3、4 および 7 に示されるように、コーティング 1 5 0 はそれぞれの溝 1 3 2 を完全に架橋することができ、その場合、コーティング 1 5 0 はそれぞれのチャンネル 1 3 0 を密閉する。別の構成では、例えば図 5 および 6 に示されるように、コーティング 1 5 0 は 1 つまたは複数の透過性のスロット 1 4 4 を画定し、したがって、コーティング 1 5 0 は個別の溝 1 3 2 の各々を完全には架橋しない。

#### 【 0 0 5 9 】

詳細な構成では、この方法は、コーティング 1 5 0 が堆積される際に少なくとも 1 つの軸を中心に基材 1 1 0 を回転させることをさらに含み、この場合、コーティング 1 5 0 は連続的に変化する角度で堆積される。本明細書で使用される場合、「連続的に変化する」という言葉は、時間的に連続的に変化するとして理解されたい。基材は、単一軸の回転固定具または多軸の ( 遊星の ) 回転固定具などの、回転固定具 ( 図示せず ) の上に装着されてもよい。したがって、タービンブレードなどの、曲率が変化する複雑な部品の場合、コーティングが堆積されるとき表面法線に対する角度は時間的に連続的に変化する、そ

10

20

30

40

50



れにより、得られる透過性のスロット 1 4 4 は基材の表面に対してほぼ垂直になる（すなわち、局部の表面法線の + / - 1 5 度の範囲内にある）。

#### 【 0 0 6 0 】

図 7 に示される例の構成では、溝の底面 1 3 4 は溝の頂部 1 3 6 より広くなっており、したがって、溝 1 3 2 の各々は窪み形状の溝 1 3 2 を有する。窪み形状の溝 1 3 2 は、研磨液噴射、プランジタイプの電解加工（electrochemical machining（ECM））、回転する電極棒を用いる放電加工（EDM）（ミリング EDM）、および、レーザ切削（レーザ穿孔）のうちの 1 つまたは複数を使用して形成することができる。窪み形状の溝 1 3 2 を基材 1 1 0 内に形成する技法は Bunker らにより提示されている。Bunker らの図 3 ~ 5 に示されているように、例えば、窪み形状の溝 1 3 2 は、研磨液噴射が最初に通過するときには基材 1 1 0 の表面 1 1 2 に対して外側に角度をつけて研磨液噴射（図示せず）を方向付けて、次いで次に通過するときにはその外側の角度と実質的に反対の角度にして、適宜追加的に通過させることにより、形成されてもよく、研磨液噴射は、外側の角度および実質的に反対の角度の間の 1 つまたは複数の角度で溝 1 3 2 の底面 1 3 4 の方に向けられ、それにより、材料が溝 1 3 2 の底面 1 3 4 から除去される。噴射 1 6 0 のための別の工具経路構成が使用されてもよい。例えば、噴射 1 6 0 は半径に沿うように振られてもよく（図 5）、また、ジグザグの工具経路に従ってチャネルの長手方向に沿って移動されてもよい。このようにして、比較的狭い溝開口部 1 3 6（溝の頂部）を形成することができる。噴射 1 6 0 を振る際に、開口部 1 3 6 が確実に狭くなるように噴射 1 6 0 の駆動点を制御するために、多軸の数値制御される（numerically controlled（NC））工具経路機能が使用されてもよい。チャネルの深さは、噴流圧力が設定されている場合の、振るときの速度、さらには、チャネルに沿った噴射の移動速度によって決定される。

#### 【 0 0 6 1 】

上で考察したように、コーティング 1 5 0 を角度、 で堆積させることにより、コーティング 1 5 0 を基材 1 1 0 に付着させるために犠牲充填材（図示せず）を使用する必要がなくなる。これにより、充填プロセスおよびより困難な除去プロセスが必要なくなる。さらに、コーティング 1 5 0 を角度、 で堆積させることは、構成部品の表面上の冷却チャネルの内部が部分的に被覆されるのを防止するのに役立つ。

#### 【 0 0 6 2 】

本明細書では本発明の特定の特徴のみを示して説明してきたが、当業者であれば多くの修正形態および変更形態を思いつくであろう。したがって、添付の特許請求の範囲が、本発明の真の趣旨の範囲内にあるこのようなすべての修正形態および変更形態を包含することを意図することを理解されたい。

#### 【 符号の説明 】

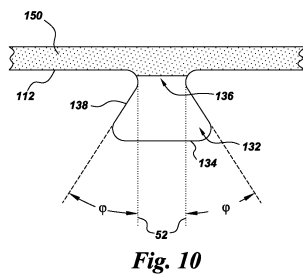
#### 【 0 0 6 3 】

- 1 0 ガスタービンシステム
- 1 2 圧縮機
- 1 4 燃焼器
- 1 6 タービン
- 1 8 シャフト
- 2 0 燃料ノズル
- 5 0 コーティング層（複数可）
- 5 2 基材の表面法線
- 5 4 第 1 のコーティング層
- 5 6 第 2 のコーティング層
- 8 0 熱ガス流
- 1 0 0 熱ガス経路構成部品
- 1 1 0 基材
- 1 1 2 基材の外側表面

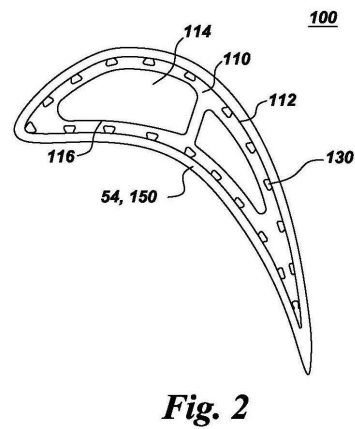
- 1 1 4 中空の内部空間
- 1 1 6 基材の内側表面
- 1 3 0 チャンネル
- 1 3 2 溝（複数可）
- 1 3 4 溝の底面
- 1 3 6 溝の頂部（開口部）
- 1 3 8 溝の壁
- 1 4 0 アクセス孔（複数可）
- 1 4 2 フィルム冷却孔（複数可）
- 1 4 4 コーティング内の透過性のスロット（複数可）
- 1 5 0 コーティング（複数可）

10

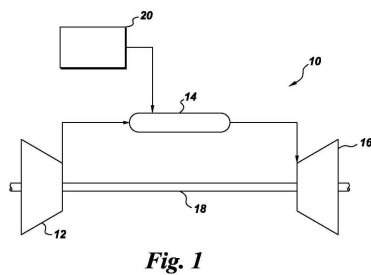
【図 10】



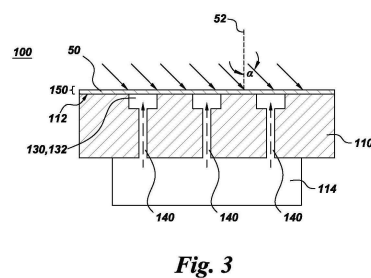
【図 2】



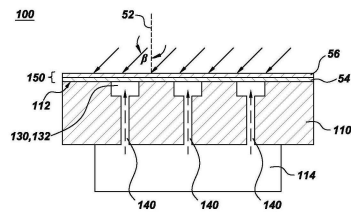
【図 1】



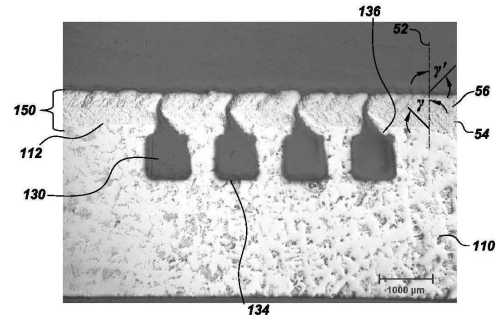
【図 3】



【 図 6 】

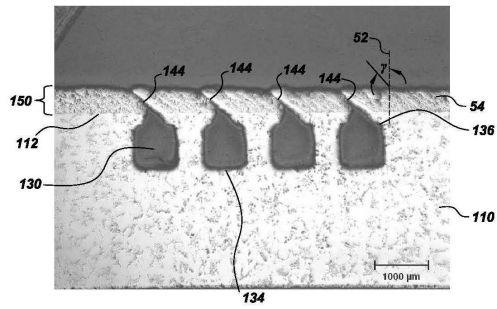


**Fig. 4**



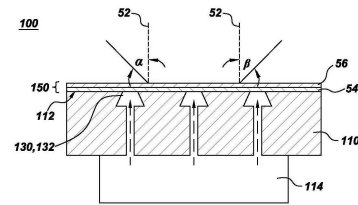
**Fig. 6**

【 図 5 】



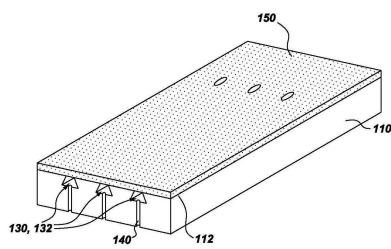
**Fig. 5**

【 図 7 】



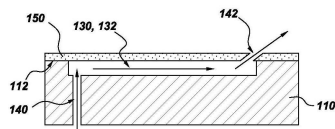
**Fig. 7**

【圖 8】



**Fig. 8**

【圖 9】



**Fig. 9**

## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
F 0 1 D 9/02 1 0 2

- (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
- (72)発明者 デニス・マイケル・グレイ  
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
- (72)発明者 ドン・マーク・リブキン  
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 齊藤 公志郎

- (56)参考文献 特表２００１－５１４０９０（ＪＰ，Ａ）  
特開２００６－０７１２７４（ＪＰ，Ａ）  
特開平０９－１２５９２１（ＪＰ，Ａ）  
米国特許出願公開第２００７／０２８０８３２（ＵＳ，Ａ１）  
米国特許出願公開第２００２／０１４１８７２（ＵＳ，Ａ１）  
米国特許第７７０４０３９（ＵＳ，Ｂ１）  
米国特許第０６６１７００３（ＵＳ，Ｂ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)

F 0 1 D 5 / 1 2 - 2 8  
F 0 1 D 9 / 0 2  
F 0 1 D 2 5 / 0 0  
F 0 2 C 7 / 1 8