

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-111191

(P2008-111191A)

(43) 公開日 平成20年5月15日(2008.5.15)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
C 2 3 C 24/04 (2006.01)		C 2 3 C	24/04	3 G 0 0 2
F 1 6 J 15/44 (2006.01)		F 1 6 J	15/44	3 J 0 4 2
F 1 6 J 15/453 (2006.01)		F 1 6 J	15/453	4 K 0 4 4
F 0 1 D 11/08 (2006.01)		F 0 1 D	11/08	

審査請求 有 請求項の数 30 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2007-280314 (P2007-280314)	(71) 出願人	590005449
(22) 出願日	平成19年10月29日 (2007.10.29)		ユナイテッド テクノロジーズ コーポレ イション
(31) 優先権主張番号	11/588, 953		UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION
(32) 優先日	平成18年10月27日 (2006.10.27)		アメリカ合衆国, コネチカット 0610 1, ハートフォード, ユナイテッド テク ノロジーズ ビルディング
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100096459
			弁理士 橋本 剛
		(74) 代理人	100092613
			弁理士 富岡 潔
		(72) 発明者	ジェフリー ディー, ハイネス
			アメリカ合衆国, フロリダ, スチュアート , パーム ロード 6

最終頁に続く

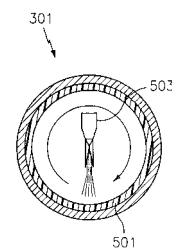
(54) 【発明の名称】 シール基材表面にアブレイダブル材料を堆積させる方法

(57) 【要約】

【課題】 シール材料の多孔性を制御しつつ、シール基材にアブレイダブルシール材料を精巧に堆積させる。

【解決手段】 コールドスプレー堆積システムは、コンバージェント／ダイバージェントノズル503を有するスプレーガンを備え、このスプレーガンを通るアブレイダブル材料が、シール基材表面303にスプレーされる。表面303にアブレイダブルシールを形成するために使用される粉末金属材料粒子は、 $5\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ (0.2～2.0ミル) の直径を有することが好ましい。粒子の寸法を小さくするほど、粒子の速度を速くすることができる。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シール基材表面のシール領域を特定の寸法に定めるステップと、
上記シール領域に対して少なくとも 1 種類のアブレイダブル材料を選択するステップと

、
上記シール領域を横断するノズル経路を導き出すステップと、
上記ノズル経路に対してスプレー距離を導き出すステップと、
上記少なくとも 1 種類のアブレイダブル材料が、融解することなく塑性変形し、かつ上記シール基材表面に衝突した際に上記シール基材表面に結合するように、上記ノズルから上記少なくとも 1 種類のアブレイダブル材料を上記シール基材表面に堆積させるステップと、
を含む、シール基材表面にアブレイダブル材料を堆積させる方法。

10

【請求項 2】

上記スプレー距離が、上記ノズルのスプレー出口と、上記シール基材表面との間で規定されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

上記スプレー距離が、50 mm よりも短いことを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

上記スプレー距離が、10 mm ～ 50 mm の範囲にあることを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

20

【請求項 5】

上記スプレー距離が、上記ノズル経路の全体にわたって変化することを特徴とする請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

上記ノズル経路に対して移動速度を導き出すことをさらに含む請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

上記移動速度が、上記ノズル経路の全体にわたって変化することを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

上記シール領域で少なくとも 1 種類のシールの厚さを選択することをさらに含む請求項 7 に記載の方法。

30

【請求項 9】

上記シール領域のうちの異なるシール領域に、異なるアブレイダブル材料を堆積させることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

上記堆積ステップが、50 μm よりも小さい粒子サイズを有する粒子の形態で上記アブレイダブル材料を用意することを含む請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

上記堆積ステップが、5 μm ～ 50 μm の範囲の粒子サイズを有する粒子の形態で上記アブレイダブル材料を用意することを含む請求項 9 に記載の方法。

40

【請求項 12】

キャリアガスを選択することをさらに含む請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

上記ノズル経路に対して移動速度を導き出すことをさらに含む請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

上記ノズル経路の全体にわたって上記移動速度が変化することを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 15】

ヘリウム、窒素、他の不活性ガス、およびこれらの混合物からなる群からキャリアガス

50

を選択することをさらに含む請求項 13 に記載の方法。

【請求項 16】

上記堆積ステップが、上記粒子を 825 m/秒～1400 m/秒の範囲のある速度に加速させることを含む請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

上記堆積ステップが、上記粒子を 850 m/秒～1200 m/秒の範囲のある速度に加速させることを含む請求項 15 に記載の方法。

【請求項 18】

上記堆積ステップが、上記選択したキャリアガスを使用して、上記充填材料を、10 g/分～100 g/分の範囲のある供給速度で、上記スプレーノズルに供給することをさらに含む請求項 16 に記載の方法。

【請求項 19】

上記供給ステップが、上記充填材料を、10 g/分～50 g/分の範囲のある供給速度で、上記スプレーノズルに供給することを含む請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

上記キャリアガスがヘリウムであり、上記供給ステップが、上記ヘリウムを、0.001 SCFM～50 SCFM の範囲のある流量で、上記ノズルに供給することを含む請求項 19 に記載の方法。

【請求項 21】

上記供給ステップが、上記ヘリウムを、8.0 SCFM～15 SCFM の範囲のある流量で、上記ノズルに供給することを含む請求項 19 に記載の方法。

【請求項 22】

上記キャリアガスが窒素であり、上記供給ステップが、上記窒素を、0.001 SCFM～30 SCFM の範囲のある流量で、上記ノズルに供給することを特徴とする請求項 19 に記載の方法。

【請求項 23】

上記供給ステップが、上記窒素を、4.0 SCFM～10 SCFM の範囲のある流量で、上記ノズルに供給することを含む請求項 19 に記載の方法。

【請求項 24】

上記堆積ステップが、ヘリウム、窒素、他の不活性ガス、およびこれらの混合物からなる群から選択される主ガスを使用し、主ガスの温度が 600 °F～1200 °F の範囲にあり、かつスプレー圧力が 200 psi～500 psi の範囲にあるときに、上記アブレイダブル材料粒子を上記ノズルに通過させるステップを含む請求項 19 に記載の方法。

【請求項 25】

上記通過ステップが、主ガスの温度が 700 °F～1000 °F の範囲にあり、かつスプレー圧力が 200 psi～400 psi の範囲にあるときに、上記アブレイダブル材料粒子を上記ノズルに通過させることを含む請求項 19 に記載の方法。

【請求項 26】

上記主ガスの温度が 725 °F～900 °F の範囲にあり、かつスプレー圧力が 275 psi～375 psi の範囲にあることを特徴とする請求項 21 に記載の方法。

【請求項 27】

上記主ガスがヘリウムからなり、上記通過ステップが、上記ヘリウムを、0.001 SCFM～50 SCFM の範囲のある流量で、上記ノズルを通過させることを特徴とする請求項 21 に記載の方法。

【請求項 28】

上記ヘリウム供給ステップが、上記ヘリウムを、15 SCFM～35 SCFM の範囲のある流量で、上記ノズルに供給することを含む請求項 24 に記載の方法。

【請求項 29】

上記主ガスが窒素からなり、上記通過ステップが、上記窒素を、0.001 SCFM～30 SCFM の範囲のある供給速度で、上記ノズルに供給することを含む請求項 21 に記

10

20

30

40

50

載の方法。

【請求項 30】

上記窒素供給ステップが、上記窒素を、4.0SCFM～8.0SCFMの範囲のある供給速度で、上記ノズルに供給することを含む請求項26に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して開発が進んだ固定シールの分野に関し、詳しくは、アブレイダブル材料をシール基材に堆積させ、タービン内の回転部分と固定部分との間にある隙間を減らす空気シールを形成することに関する。

10

【背景技術】

【0002】

タービン内の回転部分と固定部分との間にあるシーリングを改良することにより、漏れを顕著に減らすことができ、それによって性能を向上させることができる。アブレイダブルシールは、タービンに組み込まれているシールの1つの種類であり、ブレードチップの隙間を減らす。アブレイダブルシールは1960年代後半ないし1970年代前半以来、航空機ガスタービンに使用されている。アブレイダブルシールはコンプレッサおよびタービンの内部でガス経路の隙間を減らすための比較的簡単な手段である。これらのシールは、比較的 low コストで隙間を減らすことができる。

【0003】

図1に、アブレイダブル材料が適用される位置を示す。回転ブレード105およびブレードチップ107と対向する位置にある固定シュラウド、リングないしケーシング103の表面にアブレイダブル材料101を適用し、ブレードとハウジングとが擦り合う際にタービン部品に生じる危険性を最小にしつつ、隙間を小さくする。運転時にブレードチップが擦り減ることはほとんどないが、シール101は、回転するブレードによって損耗する。これらのシールは、低温時につくられる隙間をより小さくすることを可能とし、タービンの過渡的状态および安定状態でのチップ／シュラウドの接近によるブレードチップの破損を心配することなく、運転時における隙間を減少させる。さらに、アブレイダブル材料を堆積させることにより、真円度からはずれたケーシングや、ロータの横方向の動きにより生じる隙間をさらに効果的に減少させる。

20

30

【0004】

アブレイダブルシールは、材料を中心に開発されている。材料の種類は、主に耐熱性によって分類される。760℃(1,400°F)よりも高い温度で使用する場合、一般に、アブレイダブル材料として多孔性セラミックが使われる。もっとも広く使われている材料は、イットリア安定化ジルコニア(YSZ)である。所望の程度の多孔性をつくり出すため、たいいていは不堅牢高分子相が加えられる。ブレードチップが擦り減らないようにするため、ブレードチップに切削要素を加えてもよい。

【0005】

コーティングの微細構造および多孔率も被削性に重要な要素である。コーティングの多孔率を高くするほど、被削性が向上するが、耐食性は低下する。

40

【0006】

図2に、典型的な金属アブレイダブルシール201の一例を示す。アブレイダブルシールは、いくつかのセグメント203からつくられている。アブレイダブルシールセグメント203は、タービンブレードシュラウドセグメント207の内部表面205にろう付けで結合している。図3に示されるように、シール／シュラウドセグメント209が一体に結合され、内周側周縁にアブレイダブルシール303を有する完全なシュラウド301を形成している。この方法によるアブレイダブルシールの構築は、個々のシールセグメントによるシーリング効率と、ろう付けによる修復の難しさとに短所がある。

【0007】

コールドスプレー堆積法(cold spray deposition)は、室温も

50

しくは室温に近い温度にある固体粉末粒子が、超音速ガスジェット流の中で、500～1,500m/秒の範囲の速度に加速されることを特徴とする新しい技術である。被加工物の表面に衝突した際に、これらの高速低温粒子は塑性変形し、爆発圧接に類似したプロセスにより基材と結合する。ただし爆発圧接と比べて規模は非常に小さい。コールドスプレー堆積法を使うことにより、広範囲の金属や他の延性材料を高い生産率で堆積させることができる。

【0008】

コールドスプレープロセスは、他の冶金プロセスを超える多くの利点を有する。粉末が高温まで加熱されないで、原材料の酸化、分解、または他の劣化が生じない。このプロセスは本質的に室温で生じるので、銅、アルミニウムおよび多くの他の反応性金属を、空気中でほとんど若しくはまったく酸化させることなく、コールドスプレーにすることができる。

10

【0009】

これらの粒子は加速されたガス流の内部に含まれているので、堆積の間に生じる粉末の酸化を制御することもできる。他に見込まれる可能性は、圧縮残留表面応力 (compressive residual surface stresses) の形成や原材料の微細構造の保持などを含む。また、比較的低温が使われるので、熱による表面の変形を最小にすることができる。コールドスプレーは、原材料を融かさないので、脆性の金属間化合物を形成し易いこと若しくは冷却後または冷却に続く加熱処理でひび割れし易い傾向があることにより従来の方法ではスプレーにすることができなかった材料を堆積させることができる。

20

【0010】

アブレイダブル材料の多孔率はコールドスプレープロセスのパラメータを変化させることにより制御することができる。これらのパラメータには、キャリアガスと主ガスとの構成、スプレーノズルの移動速度、粉末供給速度、主ガスの温度と圧力、ノズルスプレー距離、および粉末の構成が含まれる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

シール材料の多孔性を制御しつつ、性能の高いアブレイダブルシールを形成することが課題の1つである。すなわち、アブレイダブルシール材料をシール基材に精巧に堆積させ、効率および性能を向上させる空気シールを形成する方法を得ることが望まれている。

30

【課題を解決するための手段】

【0012】

アブレイダブルシールを形成するための方法はいくつかあるが、それらは完全に満足できる方法ではない。本件の発明者は、シール多孔率およびシール厚さを制御するコールドスプレー堆積技術を使って、アブレイダブル材料で基材をシールする方法を得ることができれば望ましいことを見出した。

【0013】

本発明の一態様は、シール基材表面にアブレイダブル材料を堆積させる方法を提供する。

40

本発明のこの態様による方法は、シール基材表面のシール領域を特定の寸法に定めるステップから始まり、シール領域に対して少なくとも1種類のアブレイダブル材料を選択するステップと、上記シール領域を横断するノズル経路を導き出すステップと、上記ノズル経路に対してスプレー距離を導き出すステップと、上記少なくとも1種類のアブレイダブル材料が、融解することなく塑性変形し、かつ上記シール基材表面に衝突した際に上記シール基材表面に結合するように、上記ノズルから上記少なくとも1種類のアブレイダブル材料を上記シール基材表面に堆積させるステップと、を含む。

【0014】

本発明の1つまたは複数の実施例を、添付の図面を参照して記述する。本発明の他の特

50

徴、目的および利点は、以下に示す記述、図面および請求項から明らかになる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

本発明の実施例を添付の図面を参照して説明する。類似した参照番号は全体を通じて類似の要素を表す。更に明細書で使用する表現および用語は説明の目的で使用されるものであり、本発明を限定するものではないことを理解されたい。「含む」、「からなる」、「有する」および類似の言葉が使用された場合、その後に列記されているものだけでなく、その等価物および追加品目も包含することを意味する。「取り付けられた」「接続された」および「結合された」という用語は広い意味に使用され、直接的または間接的な取り付け、接続、結合を含む。更に、「接続された」および「結合された」は、物理的または機械的な接続あるいは結合に限定されない。

10

【0016】

本発明の実施例は、コールドスプレー堆積技術を用いてシール基材に直接的にアブレイダブル材料を堆積させ、アブレイダブルシールを形成する方法を提供する。本発明は、アブレイダブル材料を、平坦なあるいは形状づけられたシール基材表面に堆積させ、均一な若しくは異なる厚さを有する空気シールを形成する。堆積されるアブレイダブルシールの厚さおよび多孔率は、回転物／固定物の干渉によるシール領域において、用途に応じて変えることができる。

【0017】

本発明は、粒子が衝突の際に塑性変形して表面に結合し、コーティングつまり堆積物をつくり上げるほど高速に粒子を加速させられるエネルギーを提供するいかなる堆積プロセスをも用いることができる。そのような堆積プロセスは、粒子を固体の状態から冶金学的に変形させることはない。

20

【0018】

粒子は塑性変形してシール基材などの表面に結合する、あるいは以前に堆積したアブレイダブルシール材料表面に結合する。本発明のプロセスは、堆積されるアブレイダブル材料の多孔率を制御する。例えば、所定の領域で多層にすることにより、回転部分と固定部分との間の境界の変化に対応するように厚さを増すことができ、また、各層毎に異なるアブレイダブル材料を堆積させることにより、各層のシール基材からの成長に伴い、各層の密度と多孔性を制御することができる。

30

【0019】

この方式の粒子堆積法を実現するためのさまざまな技術が評価され、コールドガススプレー法（コールドスプレー堆積法）、動力的金属被覆法（kinetic metallization）、電磁的粒子加速法（electromagnetic particle acceleration）、改良型高速空気炎溶射法（modified high velocity air fuel spraying）、ないし高速衝突融合法（high velocity impact fusion：HVIF）などに代わってきている。これらは、粉末金属粒子の冶金学的な変形が見られない高速堆積プロセスの例である。本発明はコールドスプレー堆積法を用いるが、本発明は他の低温堆積法を用いることもできる。

40

【0020】

図4に、一例としてタービンシュラウド301の断面が示されている。このタービンシュラウド301は、複数のセグメントから造られていても、一個構成であってもよい。シュラウドは内部表面303および外部表面305を有する。

【0021】

図7に、本発明の方法を示す。この方法は、シール基材表面にアブレイダブル材料を堆積させるためにコールドスプレー堆積法を用いている。この方法では、アブレイダブル材料を堆積させる領域を測定し、シール基材表面からのノズル経路を決定する（ステップ705）。ノズルスプレー距離は、堆積させる厚さによって決められるのではない。ノズルスプレー距離は、約1インチ（約2.5cm）であることが好ましい。例えば、2インチ

50

(約 5.1 cm) の厚さの堆積が必要とされる場合、ノズルの位置は、1 インチの距離から始める。アブレイダブル材料が堆積するにつれ、ノズルの距離を、元のシール基材の表面からではなく、堆積されたアブレイダブル材料の表面からの距離に保つ。このようにして、堆積されたシールの厚さに関わらず、同じ距離が保たれる。この堆積プロセスは、ノズルスプレー距離の多少の違いには、あまり影響を受けない。所定の厚さよりも薄い（例えば 0.2 インチの）堆積を施す場合には、ノズルスプレー距離は、堆積成長に伴う調整を必要としないこともある。

【0022】

シール用途のアブレイダブル材料を選択する（ステップ 710）。運転時の温度と、回転部の速度とに依存して、材料を選択する。アブレイダブルシール材料および回転部の速度を、摩擦システム（tribological system）としての特定の用途に適するように設計する必要がある。さまざまなチタン合金、さまざまなニッケル合金、および他の合金からなるアブレイダブル材料が使用され得る。コールドスプレープロセスを用いて首尾よく応用され得る種々の材料を使用することができる。スプレーパラメータに依存して多孔率が導き出される（ステップ 720）。

10

【0023】

本発明の方法は、アブレイダブル材料の種類および所望の多孔率に基づいて、アブレイダブル材料のスプレー時にノズルが通る経路と、ノズル速度と、所定の領域でノズルがシール基材から離れていなければならないノズル距離と、を導き出す（ステップ 725）。ノズルの移動速度および基材表面からの距離は、特定の領域での所望の厚さおよび多孔率に応じて変化し得る。主ガス（ステップ 730）およびキャリアガス（ステップ 735）が選択される。

20

【0024】

理想的なアブレイダブル材料とシール基材との結合が弱いかもしれない場合には、シール基材と所望のアブレイダブル材料とに対してよく結合する材料を、媒介層（ボンドコート）としてスプレーすることができる。アブレイダブル材料の多孔率は、厚さとともに変化させることができ、シール基材の近傍では、剛性を加えるために密度の高い領域を有し、シーリング表面に向かうほど多孔率が高まる。

【0025】

図 5 に、コールドスプレー堆積法を用いてシュラウド 301 の内部表面 303 上に堆積されたアブレイダブルシール材料 501 を示す。コールドスプレー堆積システムは、コンバージェント／ダイバージェントノズル 503 を有するスプレーガンを備え、このスプレーガンを通してアブレイダブル材料が、シール基材表面 303 にスプレーされる。

30

【0026】

シール基材（シュラウド 301）は、必要であれば適切な固定具に配置されて、アブレイダブル材料が堆積される。シール基材を動かないように固定し、スプレーノズルを操作することが望ましい場合もあれば、スプレーノズルを動かないようにして、シール基材を手動またはロボット制御堆積システムのいずれかによって操作することが望ましい場合もある。状況によっては、基材およびノズル 503 の両方が操作されることもある。好適な一実施例において、コールドスプレーノズル 503 がシール基材の内側に配置され、その上にスプレーが始められる（ステップ 740）。

40

【0027】

本発明の方法において、アブレイダブル材料の原料は粉末金属材料である。アブレイダブルシール材料は、シール内で損耗が生じるように、典型的に、回転部品／噛合部品よりも柔らかくつくられている。噛み合う材料は、アブレイダブルシール材料を選択する以前に、すでに分かっていることがふつうである。

【0028】

表面 303 にアブレイダブルシールを形成するために使用される粉末金属材料粒子は、 $5\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$ （0.2 ミル～2.0 ミル）の直径を有することが好ましい。粒子の寸法を小さくするほど、粒子の速度を速めることができる。直径が $5\mu\text{m}$ よりも小さい場合

50

、表面 303 の上方の衝撃波層によって粒子が表面 303 から一掃される恐れがある。すなわち、衝撃波層を通過して粒子を推進させられるだけの十分な質量がない。粒子の寸法分布が狭いほど、粒子の速度が均一に近づく。これは、スプレー／プラム内にある小さな粒子が、もっと遅く動いている大きな粒子に衝突し、互いの速度を効果的に減少させるからである。

【0029】

アブレイダブル材料の粒子は、ヘリウム、窒素、その他の不活性ガス、およびこれらの混合気などの圧縮ガスを利用して超音速にまで加速され得る。ヘリウムは原子量が小さいので、速度が速く、密度の高い堆積を生じさせることができる。これに対し、同じ操作パラメータが与えられた窒素は、密度の低い堆積を生じさせる。

10

【0030】

粉末状のアブレイダブル材料を堆積物に変形させるために、本発明の方法に利用される結合メカニズムは固体メカニズムである。これは、粒子は塑性的に変形はするが、融解しないことを意味する。粒子に形成される酸化膜または部品表面に存在する酸化膜は、非常に高圧のもとで分解され、新しい金属－金属接触がつくられる。

【0031】

アブレイダブルシールを形成するために使用される粉末金属材料を、当技術分野で知られている改良型熱スプレーフィーダ (thermal spray feeders) などの適切な手段を用いてスプレーガンに供給することができる。

【0032】

本発明の方法で、フィーダは、ヘリウム、窒素、その他の不活性ガス、およびこれらの混合気からなる群から選択されたガスを使って圧縮され得る。フィーダ圧力は、一般に主ガス圧力すなわち筒先圧力よりも 15 psi (0.1 MPa) 高く、この圧力は、アブレイダブル材料構成に依存するが、普通は、200 psi ~ 500 psi の範囲になる。

20

【0033】

ガスの温度が 600 °F ~ 1200 °F の範囲になるように、主ガスが熱せられる。必要であれば、主ガスは、堆積される材料に依存するが、約 1,250 °F にまで熱せられることもある。主ガスを熱することで、ノズル 503 のスロートを通って膨張したときに、急激に冷却されて凍結してしまうことを防いでいる。正味の効果として、堆積された材料の領域および厚さに依存して、堆積表面温度が 100 °F ~ 200 °F になる。当技術分野で知られている適切な手段を用いて、主ガスを熱することができる。

30

【0034】

アブレイダブル材料を堆積させるために、ノズル 503 が、基材 301 の表面 303 を覆うように複数回にわたって横断することができる。要求される横断回数は、所望のシール厚さ、粉末供給速度、および加工物に対するノズルの相対速度の関数である。本発明の方法は、タービンシールに典型的に使われる所望の厚さを有する堆積を形成することができる。シールを施すとき、残留応力 (residual stresses) の急激な発生や堆積層どうしの間の分離が起こることを避けるために、1 回の横断でつくられる厚さを制限することが望ましい。

【0035】

アブレイダブル材料粒子を表面 24 に堆積させるために使用する主ガスは、0.001 SCFM ~ 50 SCFM (望ましくは 15 SCFM ~ 35 SCFM) の範囲の流量で、ノズル 503 を通過することができる。上記の流量は、ヘリウムが主ガスとして使われる場合に好ましい。窒素のみ若しくはヘリウムとの混合気が主ガスとして使われる場合、窒素ガスは、0.001 SCFM ~ 30 SCFM (望ましくは 4 SCFM ~ 30 SCFM) の範囲の流量で、ノズル 503 を通過することができる。他の実施例では、ノズル 503 が、2 つのガスを切り替えるバルブに結合された単一の入口を有し得る (ステップ 730)。

40

【0036】

主ガスの温度は、600 °F ~ 1,200 °F にすることができ、好ましくは 700 °

50

F $\sim$ 1, 000 ° F、もっとも好ましくは725 ° F $\sim$ 900 ° Fにすることができる。

【0037】

スプレーガンの圧力は、200 p s i $\sim$ 500 p s iにすることができ、好ましくは200 p s i $\sim$ 400 p s iにすることができ、もっとも好ましくは275 p s i $\sim$ 375 p s iにすることができる。アブレイダブル材料粒子はホッパー (hopper) から供給される。このホッパーは、特定の主ガス圧力よりも、10 p s i $\sim$ 50 p s i高い圧力で、好ましくは15 p s iだけ高い圧力で、ラインを介してスプレーガンに供給する。このラインを通るときの流量は、10 g / 分 $\sim$ 100 g / 分であり、好ましくは15 g / 分 $\sim$ 50 g / 分である。

【0038】

アブレイダブル材料は、酸化作用のないキャリアガスを使用してスプレーガンに供給される。キャリアガスは0.001 S C F M $\sim$ 50 S C F M (好ましくは8 S C F M $\sim$ 15 S C F M) の流量で導入され得る。上記の流量は、ヘリウムをキャリアガスとして使う場合に有用である。窒素のみ若しくはヘリウムとの混合気をキャリアガスとして使う場合、0.001 S C F M $\sim$ 30 S C F M (好ましくは4 S C F M $\sim$ 10 S C F M) の流量を使うとよい (ステップ735)。

【0039】

ノズル503は、特定のシール領域での堆積厚さに応じて、シール基材表面303から所定のスプレー距離に位置決めされている。スプレー距離は10 mm $\sim$ 50 mmの範囲にあり、典型的には25 mmの距離にある。

【0040】

スプレーノズル503から吐出するアブレイダブル材料粒子の速度は、上記の操作パラメータのすべてに依存し、必要とされるパラメータは、スプレーされる粉末の臨界速度要件に依存して変化する。

【0041】

ノズル503は、所定の経路を移動する。コールドスプレー堆積制御システム (図示せず) が、所定の経路、移動速度、およびスプレー距離をプログラムする (ステップ740)。上記のように、1つまたは複数のパラメータが変化し得る。ノズル503は、例えば1つの軸方向位置で、360°にわたってコーティングをした後、別の軸方向位置を指定して、再び360°にわたってコーティングをすることができる。すると、アブレイダブル材料リングが互いに重なり合っている連続体が堆積される。軸方向位置のステップの寸法は、重なり合いが生じる箇所で、堆積したアブレイダブル材料に山や谷がつくられることなく、かつ完全な覆いができるほど十分に重なり合うように設定される。ステップの寸法は、プロセスパラメータの1つである (ステップ745)。本発明にしたがってコーティングされ終えたアブレイダブルシーリング表面601が図6に示されている (ステップ750)。

【0042】

さらに厚いシーリング表面を形成するために複数回の経路としたり、内部シュラウド表面の所定の領域にスプレーするために、他の経路を用いることもできる。

【0043】

本発明によってシール基材表面に堆積されたアブレイダブルシール材料の例を、図8、図9、および図10に示す。図8は、チタン6-4基材に堆積された多孔性金属チタン6-4からなるアブレイダブルシールを示し、図9は、インコネル (Inconel) 718基材に堆積された多孔性金属インコネル625からなるアブレイダブルシールを示し、図10は、インコネル718基材に堆積された多孔性金属インコネル718からなるアブレイダブルシールを示している。

【0044】

特定の実施例を参照して本発明について記述したが、これらの実施例は、本発明の原理および応用を示すためだけのものであることを理解されたい。したがって、請求項に規定される本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、例示した実施例および他の構成に

10

20

30

40

50

対して数々の変更がなされ得ることを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】ブレードチップシーリングに用いるアブレイダブル材料の断面図。

【図2】アブレイダブルシールが堆積されたシール基材セグメントの断面図。

【図3】図2に示されるアブレイダブルシールが堆積されたシール基材セグメントを組立てた断面図。

【図4】一個構成のシール基材の断面図。

【図5】コールドスプレー堆積技術を使って堆積されたアブレイダブル材料を有する図4に示される基材セグメントの断面図。

【図6】所定の位置にアブレイダブル材料を有する図4に示されるシール基材の断面図。

【図7】本発明による一実施例の方法を示すフローチャート。

【図8】チタン6-4基材に堆積されたアブレイダブル多孔性金属チタン6-4からなるアブレイダブルシールの顕微鏡写真。

【図9】インコネル718基材に堆積されたアブレイダブル多孔性金属IN625からなるアブレイダブルシールの顕微鏡写真。

【図10】インコネル718基材に堆積されたアブレイダブル多孔性金属IN718からなるアブレイダブルシールの顕微鏡写真。

【符号の説明】

【0046】

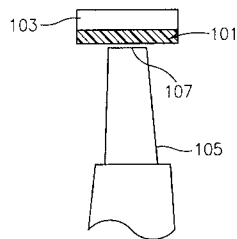
301…タービンシュラウド

503…ノズル

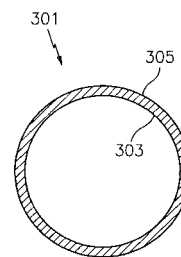
10

20

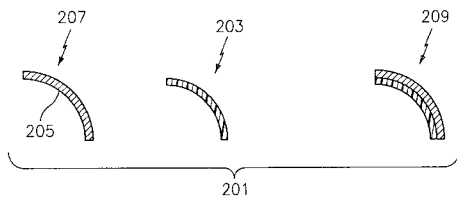
【図1】



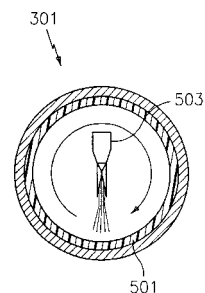
【図4】



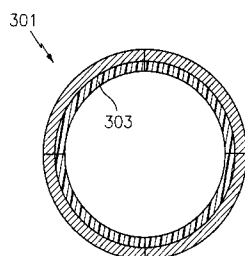
【図2】



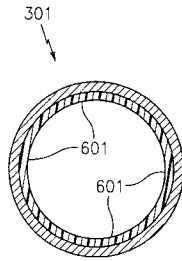
【図5】



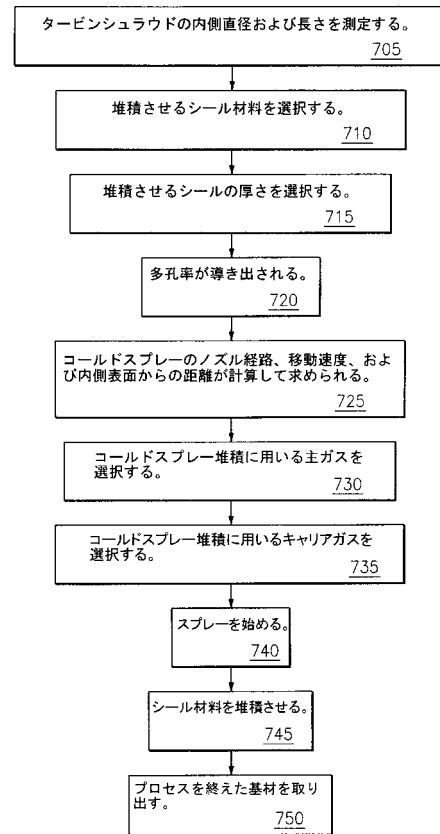
【図3】



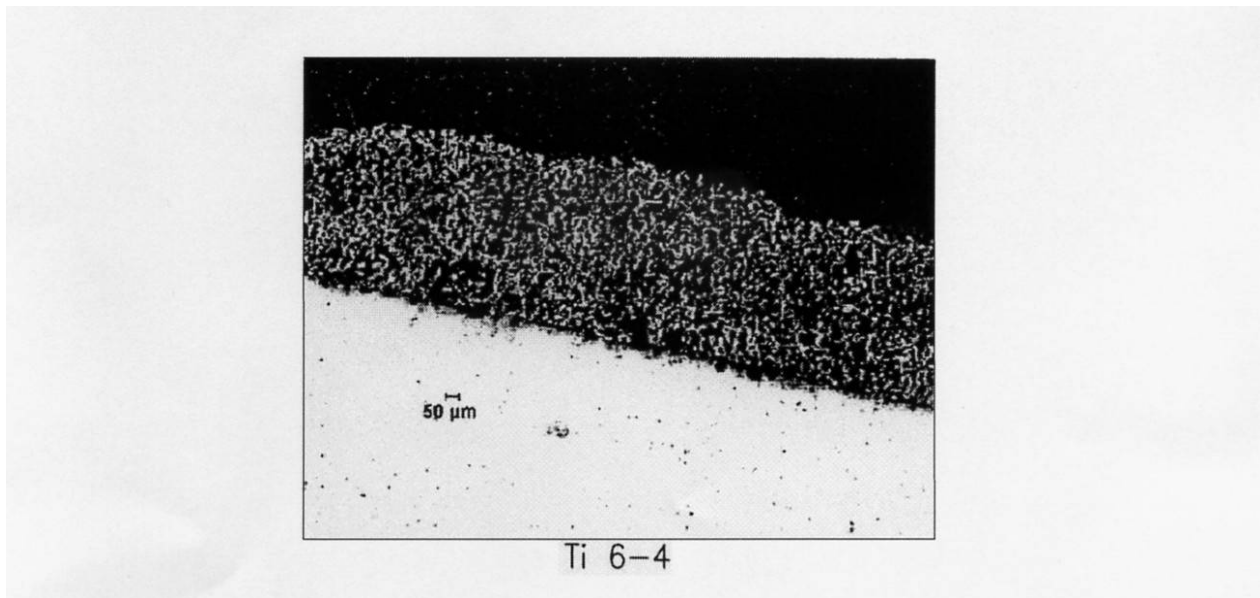
【図 6】



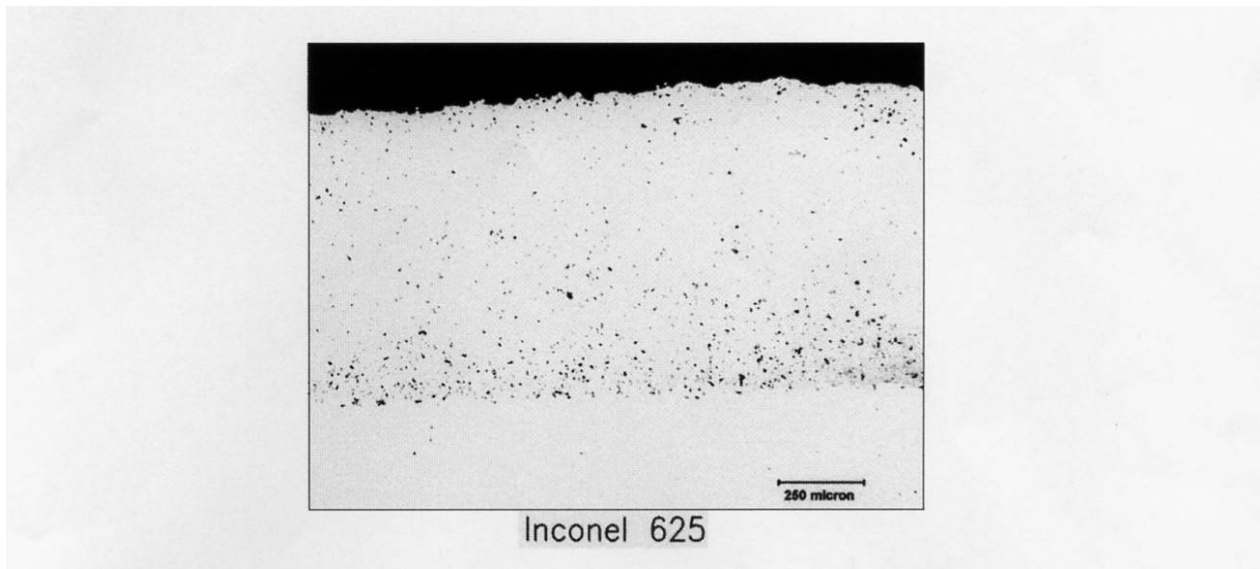
【図 7】



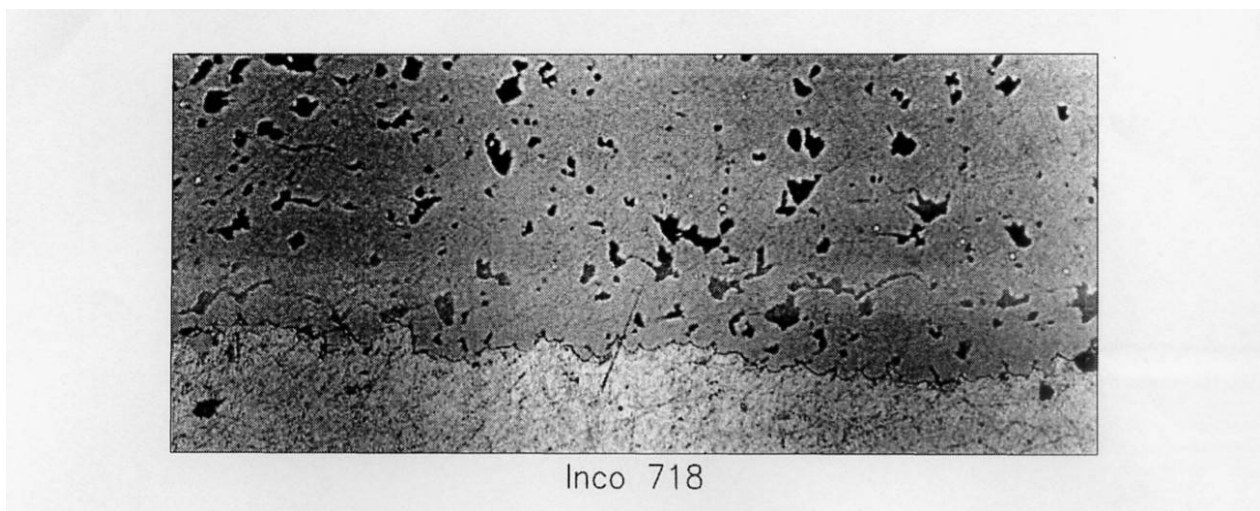
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 アンドリュー デビカリ

アメリカ合衆国, コネチカット, ノース ブランフォード, ブランフォード ロード 229, ユ
ニット 442

(72)発明者 ゲーリー シュバート

アメリカ合衆国, コネチカット, イースト ハンプトン, ステス ロード 4

Fターム(参考) 3G002 HA04 HA13

3J042 AA03 BA01 CA01 CA10 DA02

4K044 AA01 AA06 BA02 BA06 BB01 BB03 BB13 BC01 BC11 CA23

CA29