

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年11月1日(01.11.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/199237 A1

(51) 国際特許分類:

C23C 4/134 (2016.01) F02C 7/00 (2006.01)
C23C 4/04 (2006.01) F23R 3/42 (2006.01)
F01D 5/28 (2006.01)

鳥越 泰治 (TORIGOE Taiji); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/016998

(22) 国際出願日: 2018年4月26日(26.04.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2017-087471 2017年4月26日(26.04.2017) JP
特願 2017-087472 2017年4月26日(26.04.2017) JP

(71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.)
[JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 Tokyo (JP).

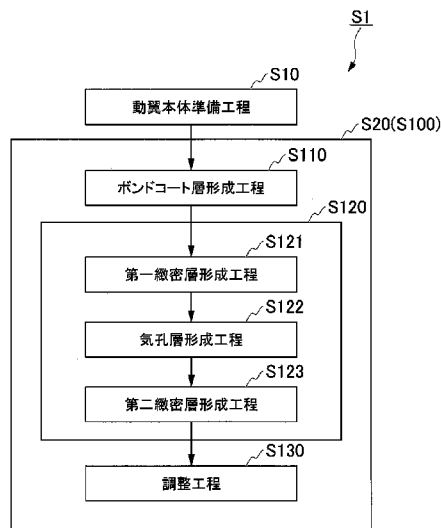
(72) 発明者: 岡嶋 芳史 (OKAJIMA Yoshifumi);
〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 松沼 泰史, 外 (MATSUNUMA Yasushi et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).

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

(54) Title: THERMAL BARRIER COATING FORMATION METHOD, THERMAL BARRIER COATING, AND HIGH-TEMPERATURE MEMBER

(54) 発明の名称: 遮熱コーティング形成方法、遮熱コーティング、及び高温部材



S10 Rotor blade body preparation step
S110 Bond coat layer formation step
S121 First dense layer formation step
S122 Porous layer formation step
S123 Second dense layer formation step
S130 Adjustment step

(57) Abstract: The thermal barrier coating is provided with a ceramic layer (120) formed on a heat-resistant alloy substrate and containing ceramic substance. The ceramic layer (120) has: a first dense layer (121); an intermediate porous layer (122) laminated on the first dense layer (121), having a higher density than the first dense layer (121), and in which many pores are formed; and a second dense layer (123) laminated on the intermediate porous layer (122) and having a lower density than the intermediate porous layer (122).

(57) 要約: 遮熱コーティングは、耐熱合金基材上に形成され、セラミックを含むセラミック層(120)を備える。セラミック層(120)は、第一緻密層(121)と、第一緻密層(121)上に積層され、第一緻密層(121)よりも密度が大きく多数の気孔が形成された中間気孔層(122)と、中間気孔層(122)上に積層され、中間気孔層(122)よりも密度が小さい第二緻密層(123)とを有する。

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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：

遮熱コーティング形成方法、遮熱コーティング、及び高温部材

技術分野

[0001] 本発明は、遮熱コーティング形成方法、遮熱コーティング、及び高温部材に関する。

本願は、2017年4月26日に、日本に出願された特願2017-087472号及び特願2017-087471号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] ガスタービンでは、その効率を向上させるために、使用するガスの温度を高く設定している。このような高温のガスに晒される動翼や静翼のようなタービン部材には、その表面に遮熱コーティング(Thermal Barrier Coating: TBC)が施されている。遮熱コーティングとは、被溶射物であるタービン部材の表面に、溶射により熱伝導率の小さい溶射材(例えば、熱伝導率の小さいセラミックス系材料)を被覆したものである。遮熱コーティングが表面に形成されることで、高温及び高圧の環境下に曝される高温部材の温度が下がり耐久性が向上する。

[0003] 特許文献1には、ガスタービンエンジンの金属部品に遮熱コーティングを形成する方法として、サスペンションプラズマ溶射を用いる方法が記載されている。サスペンションプラズマ溶射は、水又はアルコール系のキャリアにミクロ粒子を分散させた懸濁液を用いてプラズマ溶射する。サスペンションプラズマ溶射は、プラズマジェットによって蒸発または燃焼させることで溶融させたミクロ粒子を接触面に堆積させている。その結果、溶融したミクロ粒子によって均質なセラミック層が基材表面に形成される。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2015-166479号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、遮熱コーティングにおける緻密なセラミック層として、縦割を有するDVC (Dense Vertically Crack) コーティングが形成される場合がある。DVCコーティングは、縦割構造を有する緻密な組織となっていることで耐エロージョン性が向上されている。しかしながら、DVCコーティングは組織が緻密であるために、気孔率が小さくなってしまい、遮熱性が低下してしまうことが知られている。つまり、遮熱コーティングにあっては、耐エロージョン性を向上させるために気孔率を低下させると、熱伝導率が上昇して遮熱性能が低下してしまう。

[0006] 本発明は、耐エロージョン性の低下を抑えつつ遮熱効果を高めることが可能な遮熱コーティング形成方法、遮熱コーティング、及び高温部材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

[0007] 本発明の第一態様に係る遮熱コーティングは、耐熱合金基材上に形成され、セラミックを含むセラミック層を備え、前記セラミック層は、第一緻密層と、前記第一緻密層上に積層され、前記第一緻密層よりも密度が大きく多数の気孔が形成された中間気孔層と、前記中間気孔層上に積層され、前記中間気孔層よりも密度が小さい第二緻密層とを有する。

[0008] このような構成によれば、中間気孔層が第一緻密層と第二緻密層との間に形成されることで、厚さ方向へのセラミック層への入熱が中間気孔層で阻害される。その結果、セラミック層としての熱伝導率を低下させることができる。さらに、セラミック層の中で、耐熱合金基材側に第一緻密層が形成されることで、耐熱合金基材に対する密着性を確保することができる。さらに、セラミック層の中で、表面側に第二緻密層が形成されることで耐エロージョン性を確保することができる。

[0009] また、本発明の第二態様に係る遮熱コーティングでは、第一態様において

、前記中間気孔層と前記第一緻密層との境界部である第一境界部及び前記中間気孔層と前記第二緻密層との境界部である第二境界部では、気孔率が連続的に変化してもよい。

[0010] また、本発明の第三態様に係る遮熱コーティングでは、第一態様又は第二態様において、前記中間気孔層の気孔率が、10%以上20%以下であってもよい。

[0011] このような構成とすることで、面方向の広い領域にわたって、厚さ方向へのセラミック層への入熱を阻害する効果が大きくなる。その結果、中間気孔層における耐エロージョン性を大きく低下させることなく、トップコート層における熱伝導率を大きく低下させることができる。

[0012] また、本発明の第四態様に係る遮熱コーティングでは、第一態様から第三態様の何れか一つにおいて、前記第一緻密層及び前記第二緻密層の気孔率が、10%以下5%以上であってもよい。

[0013] また、本発明の第五態様に係る遮熱コーティングでは、第一態様から第四態様の何れか一つにおいて、前記第一緻密層は、厚さ方向に延びる第一縦割が面方向に分散され、前記第二緻密層は、厚さ方向に延びる第二縦割が面方向に分散されていてもよい。

[0014] また、本発明の第六態様に係る遮熱コーティングでは、第五態様において、前記第一縦割及び前記第二縦割は、前記セラミック層の表面に対して、傾斜して延びていてもよい。

[0015] このような構成とすることで、セラミック層における厚さ方向への入熱が斜めに延びる第一縦割及び第二縦割によって阻害される。したがって、第一縦割及び第二縦割によって、セラミック層における熱伝導率を低下させることができる。一方で、セラミック層を第一縦割及び第二縦割が形成されるほど緻密に形成することで、耐エロージョン性の低下を抑えることができる。

[0016] また、本発明の第七態様に係る遮熱コーティングでは、第五態様又は第六態様において、前記第一縦割の前記セラミック層の表面に対する傾斜角度と、前記第二縦割の前記セラミック層の表面に対する傾斜角度とが異なってい

てもよい。

[0017] また、本発明の第八態様に係る遮熱コーティング形成方法は、耐熱合金基材の表面上に、セラミックを含むセラミック層を形成するセラミック層形成工程を含み、前記セラミック層形成工程は、第一緻密層を形成する第一緻密層形成工程と、前記第一緻密層形成工程の後に実施され、前記第一緻密層上に前記第一緻密層よりも密度が大きく多数の気孔が形成された中間気孔層を形成する気孔層形成工程と、前記気孔層形成工程の後に実施され、前記中間気孔層上に前記中間気孔層よりも密度が小さい第二緻密層を形成する第二緻密層形成工程と有する。

[0018] このような構成とすることで、中間気孔層が第一緻密層と第二緻密層との間に形成されることで、厚さ方向へのセラミック層への入熱が中間気孔層で阻害される。その結果、セラミック層としての熱伝導率を低下させることができる。さらに、セラミック層の中で、耐熱合金基材側に第一緻密層が形成されることで、耐熱合金基材に対する密着性を確保することができる。さらに、セラミック層の中で、表面側に第二緻密層が形成されることで耐エロージョン性を確保することができる。

[0019] また、本発明の第九態様に係る遮熱コーティング形成方法では、第八態様において、前記セラミック層形成工程には溶射法が用いられ、溶射ガンの噴射孔と溶射対象の表面との距離は、前記気孔層形成工程より前記第一緻密層形成工程及び前記第二緻密層形成工程の方が短くてもよい。

[0020] また、本発明の第十態様に係る遮熱コーティング形成方法では、第八態様又は第九態様において、前記第一緻密層形成工程は、厚さ方向に延びる第一縦割が面方向に分散されるように前記第一緻密層を形成し、前記第二緻密層形成工程は、厚さ方向に延びる第二縦割が面方向に分散されるように前記第二緻密層を形成してもよい。

[0021] また、本発明の第十一態様に係る遮熱コーティング形成方法では、第八態様から第十態様の何れか一つにおいて、溶射粒子は、粒径が $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下であってもよい。

- [0022] また、本発明の第十二態様に係る遮熱コーティング形成方法では、第八態様から第十一態様の何れか一つにおいて、前記セラミック層形成工程の少なくとも一部は、サスペンションプラズマ溶射を用いてもよい。
- [0023] また、本発明の第十三態様に係る高温部材は、耐熱合金基材と、前記耐熱合金基材上に形成され、セラミックを含むセラミック層を備え、前記セラミック層は、第一緻密層と、前記第一緻密層上に積層され、前記第一緻密層よりも密度が大きく多数の気孔が形成された中間気孔層と、前記中間気孔層上に積層され、前記中間気孔層よりも密度が小さい第二緻密層とを有する。
- [0024] 本発明の第十四態様に係る遮熱コーティングでは、第一態様において、前記セラミック層は、厚さ方向に延びる縦割が面方向に分散され、前記縦割は、前記セラミック層の表面に対して、傾斜して延びていてもよい。
- [0025] このような構成によれば、セラミック層における厚さ方向への入熱が斜めに延びる縦割によって阻害される。したがって、縦割によって、セラミック層における熱伝導率を低下させることができる。一方で、セラミック層を縦割が形成されるほど緻密に形成することで、耐エロージョン性の低下を抑えることができる。
- [0026] 本発明の第十五態様に係る遮熱コーティングでは、第十四態様において、前記縦割の傾斜角度は、前記セラミック層の表面側と耐熱合金基材側とで異なってもよい。
- [0027] 本発明の第十六態様に係る遮熱コーティングでは、第十四態様又は第十五態様において、前記縦割は、1 mm当たりの分布率が6本/mm以上12本/mm以下であってもよい。
- [0028] 本発明の第十七態様に係る遮熱コーティングでは、第十四態様から第十六態様のいずれか一つにおいて、前記縦割は、断続的に延びていてもよい。
- [0029] 本発明の第十八態様に係る遮熱コーティングでは、第十四態様から第十七態様のいずれか一つにおいて、複数の前記縦割の全ては、前記セラミック層の表面に向かうにしたがって、前記面方向の一方側に向かって傾斜していてもよい。

- [0030] このような構成とすることで、セラミック層の面方向の広い領域にわたって、厚さ方向への入熱が阻害される。その結果、広い範囲にわたってセラミック層における熱伝導率を低下させることができる。
- [0031] 本発明の第十九態様に係る遮熱コーティングでは、第十四態様から第十八態様のいずれか一つにおいて、前記縦割の傾斜角度は、前記セラミック層の表面に対して、 45° 以上 80° 以下の角度であってもよい。
- [0032] このような構成とすることで、傾斜角度が小さくなることで、縦割による厚さ方向への入熱を阻害する効果が大きくなる。その結果、セラミック層における熱伝導率を大幅に低下させることができる。また、縦割の傾斜角度を 45 度以上とすることで、セラミック層を形成時に溶射粒子が表面に付着しづらくなることを抑えられる。そのため、セラミック層の製造効率の低下を抑えることができる。
- [0033] 本発明の第二十態様に係る遮熱コーティング形成方法は、第八態様において、耐熱合金基材の表面に対して溶射ガンを予め定めた傾斜角度だけ傾斜させて、溶射粒子を分散させた懸濁液を用いて溶射し、前記耐熱合金基材上に厚さ方向に延びて前記傾斜角度だけ傾斜して延びる縦割が面方向に分散されたセラミックを含むセラミック層を形成するようにしてもよい。
- [0034] このような構成とすることで、セラミック層における厚さ方向への入熱が斜めに延びる縦割によって阻害される。したがって、縦割によって、セラミック層における熱伝導率を低下させることができる。一方で、セラミック層を縦割が形成されるほど緻密に形成することで、耐エロージョン性の低下を抑えることができる。また、サスペンションプラズマ溶射によってセラミック層が形成されることで、セラミック層を形成する溶射粒子の粒径が小さくなる。その結果、セラミック層を非常に密な構造とすることができる。これにより、形成後のセラミック層の密着性も向上させることができる。
- [0035] 本発明の第二十一態様に係る遮熱コーティング形成方法では、第二十態様において、前記溶射はサスペンションプラズマ溶射であってもよい。
- [0036] 本発明の第二十二態様に係る遮熱コーティング形成方法は、第二十態様ま

たは第二十一態様において、前記溶射粒子の粒径が $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下であってもよい。

[0037] 本発明の第二十三態様に係る高温部材は、第十三態様において、耐熱合金基材と、前記耐熱合金基材上に形成され、厚さ方向に延びる縦割が面方向に分散されたセラミックを含むセラミック層とを備え、前記縦割は、前記セラミック層の表面に対して、傾斜して延びていてもよい。

発明の効果

[0038] 上記遮熱コーティング形成方法、遮熱コーティング、及び高温部材によれば、耐エロージョン性の低下を抑えつつ遮熱効果を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0039] [図1]本発明の実施形態に係るガスタービンの概略構成図である。

[図2]本発明の実施形態に係る動翼の概略構成斜視図である。

[図3]本発明の実施形態に係る遮熱コーティングを説明する動翼の要部断面拡大図である。

[図4]本発明の第一実施形態における遮熱コーティング形成方法の工程を説明する工程図である。

[図5]本発明の実施形態におけるトップコート層における熱伝導率と気孔率との関係をシミュレーションにより求めた図である。

[図6]本発明の実施形態における縦割が形成されたトップコート層における熱伝導率と縦割の傾斜角度との関係をシミュレーションにより求めた図である。

[図7]本発明の変形例に係る遮熱コーティングを説明する動翼の要部断面拡大図である。

[図8]本発明の変形例に係る遮熱コーティングを説明する動翼の要部断面拡大図である。

発明を実施するための形態

[0040] 以下、本発明の実施形態について図1から図7を参照して説明する。

図1に示すように、本実施形態のガスタービン1は、圧縮機2と、燃焼器

3と、タービン本体4と、ロータ5と、を備えている。圧縮機2は、多量の空気を内部に取り入れて圧縮する。燃焼器3は、圧縮機2にて圧縮された圧縮空気Aに燃料を混合して燃焼させる。

[0041] タービン本体4は、燃焼器3から導入された燃焼ガスGの熱エネルギーを回転エネルギーに変換する。このタービン本体4は、ロータ5に設けられた動翼7に燃焼ガスGを吹き付けることで燃焼ガスGの熱エネルギーを機械的な回転エネルギーに変換して動力を発生させる。タービン本体4には、ロータ5側の複数の動翼7の他に、タービン本体4のケーシング6に複数の静翼8が設けられる。タービン本体4では、これら動翼7と静翼8とが、ロータ5の軸方向に交互に配列されている。ロータ5は、タービン本体4の回転する動力の一部を圧縮機2に伝達して圧縮機2を回転させる。

[0042] 以下、この実施形態においては、タービン本体4の動翼7を、この発明の高温部材の一例として説明する。

動翼7は、図2に示すように、動翼本体70と、遮熱コーティング100とを有している。動翼本体70は、例えば、Ni基合金等の周知の耐熱合金材料により形成されている耐熱合金基材である。本実施形態の動翼本体70は、翼本体部71と、プラットフォーム部72と、翼根部73と、シュラウド部74と、を備えている。

[0043] 翼本体部71は、断面が翼形状をなしている。翼本体部71は、タービン本体4のケーシング6内の燃焼ガスGの流路内に配されている。プラットフォーム部72は、翼本体部71の基端に設けられている。このプラットフォーム部72は、翼本体部71の基端側において燃焼ガスGの流路を画成する。翼根部73は、プラットフォーム部72から翼本体部71と反対側へ突出して形成されている。シュラウド部74は、翼本体部71の先端に設けられている。このシュラウド部74は、翼本体部71の先端側において燃焼ガスGの流路を画成する。

[0044] 図3に示すように、遮熱コーティング100は、耐熱合金基材である動翼本体70の表面上に形成される。遮熱コーティング100は、動翼本体70

の表面のうち、翼本体部 7 1 の表面と、プラットフォーム部 7 2 の翼本体部 7 1 と接続されている側の表面と、シュラウド部 7 4 の翼本体部 7 1 と接続されている側の表面とをそれぞれ覆うように形成されている。本実施形態の遮熱コーティング 1 0 0 は、後述するサスペンションプラズマ溶射で形成されている。本実施形態の遮熱コーティング 1 0 0 は、ボンドコート層 1 1 0 と、トップコート層（セラミック層） 1 2 0 とを備えている。

[0045] ボンドコート層 1 1 0 は、動翼本体 7 0 の表面に直接形成されている。ボンドコート層 1 1 0 は、動翼本体 7 0 からトップコート層 1 2 0 が剥離することを抑制する。このボンドコート層 1 1 0 は、耐食性および耐酸化性に優れた金属結合層である。ボンドコート層 1 1 0 は、例えば、溶射材として M C r A l Y 合金の金属溶射粉を動翼本体 7 0 の表面に対して溶射して形成される。ここで、ボンドコート層 1 1 0 を構成する M C r A l Y 合金の「M」は、金属元素を示している。この金属元素「M」は、例えば、N i、C o 等の単独の金属元素、又は、これらのうち 2 種以上の組み合わせからなる。

[0046] トップコート層 1 2 0 は、ボンドコート層 1 1 0 を介して動翼本体 7 0 上に形成されている。トップコート層 1 2 0 は、厚さ方向に延びる縦割 C が面方向に分散されたセラミックを含んだ層を有している。ここで、面方向とは、トップコート層 1 2 0 の表面に沿う方向である。本実施形態のトップコート層 1 2 0 は、0. 3 mm 以上 1. 5 mm 以下の厚みで形成されている。トップコート層 1 2 0 は、第一緻密層 1 2 1 と、中間気孔層 1 2 2 と、第二緻密層 1 2 3 とを有している。

[0047] 第一緻密層 1 2 1 は、ボンドコート層 1 1 0 上に直接積層されている。第一緻密層 1 2 1 は、縦割 C として、第一縦割 C 1 が表面の広がる面方向に分散されている。したがって、第一緻密層 1 2 1 では、第一縦割 C 1 は面方向に離れて複数形成されている。本実施形態の第一緻密層 1 2 1 は、例えば、第一縦割 C 1 が面方向に分散された緻密な D V C (D e n s e V e r t i c a l C r a c k) コーティングである。第一緻密層 1 2 1 は、トップコート層 1 2 0 の中で最も耐熱合金基材側に形成されている。第一緻密層 1 2

1を形成する際に用いられる溶射材は、例えば、イットリア安定化ジルコニア（ YSZ ）や、酸化イッテルビウム（ Yb_2O_3 ）で部分安定化させたジルコニア（ ZrO_2 ）であるイッテルビア安定化ジルコニア（ YbSZ ）が用いられる。

[0048] 第一縦割C1は、トップコート層120の表面に対して、所定の傾斜角度 α だけ傾斜して延びている。具体的には、第一縦割C1は、厚さ方向における耐熱合金基材の表面側である基端と、トップコート層120の表面側である先端とを結んだ仮想直線の延びる方向を延在方向としている。第一縦割C1は、この延在方向がトップコート層120の表面が広がる面方向に対して傾斜している。したがって、第一縦割C1は、基端からトップコート層120の表面に向かうにしたがって、基端に対して面方向の一方側に向かって延びている。本実施形態における傾斜角度 α は、面方向に対する延在方向の角度である。本実施形態では、複数の第一縦割C1は、全て同じ方向に向かって傾斜している。つまり、複数の第一縦割C1の全ては、トップコート層120の表面に向かうにしたがって、面方向の一方側に向かって傾斜している。また、第一縦割C1は、基端側や先端側の一部だけでなく、厚さ方向の全域にわたって傾斜している。

[0049] 本実施形態における傾斜角度 α は、トップコート層120の表面に対して、 45° 以上 80° 以下の角度であることが好ましい。傾斜角度 α は、トップコート層120の表面に対して、 50° 以上 70° 以下の角度であることがより好ましい。傾斜角度 α は、トップコート層120の表面に対して、 55° 以上 65° 以下の角度であることが特に好ましい。

[0050] 第一緻密層121では、1mm当たりの第一縦割C1の分布率が、6本/mm以上12本/mm以下であることが好ましい。第一緻密層121では、1mm当たりの第一縦割C1の分布率が、8本/mm以上10本/mm以下であることがより好ましい。

[0051] 第一緻密層121の気孔率は、10%以下5%以上の範囲に収まっていることが好ましい。なお、本実施形態における気孔率とは、単位体積当たりの

気孔 P のみの占有率だけでなく、縦割 C 及び気孔 P を合わせた占有率である。

[0052] 中間気孔層 1 2 2 は、第一緻密層 1 2 1 上に積層されている。中間気孔層 1 2 2 は、第一緻密層 1 2 1 よりも密度が大きく、多数の気孔 P が形成されている。したがって、中間気孔層 1 2 2 は、第一緻密層 1 2 1 よりも大きな気孔率で形成されたポラス膜であり、内部にほとんど縦割 C を有していない。本実施形態の中間気孔層 1 2 2 は、第一緻密層 1 2 1 と同じ厚みで形成されている。本実施形態の中間気孔層 1 2 2 は、第一緻密層 1 2 1 と同じ溶射材で形成されている。

[0053] 本実施形態の中間気孔層 1 2 2 の気孔率は、10%以上20%以下であることが好ましい。中間気孔層 1 2 2 の気孔率は、12%以上18%以下であることがより好ましい。中間気孔層 1 2 2 の気孔率は、14%以上16%以下であることが特に好ましい。

[0054] 中間気孔層 1 2 2 と第一緻密層 1 2 1 との境界部である第一境界部では、気孔率が連続的に変化している。したがって、第一緻密層 1 2 1 の厚さ方向の中央付近から中間気孔層 1 2 2 の厚さ方向の中央付近に向かって気孔率が徐々に高くなるよう形成されている。

[0055] 第二緻密層 1 2 3 は、中間気孔層 1 2 2 上に直接積層されている。第二緻密層 1 2 3 は、縦割 C として、第二縦割 C 2 が面方向に分散されている。したがって、第二緻密層 1 2 3 では、第二縦割 C 2 は面方向に離れて複数形成されている。第二緻密層 1 2 3 は、中間気孔層 1 2 2 よりも密度が大きい。第二緻密層 1 2 3 は、トップコート層 1 2 0 の中で最も表面側に形成されている。したがって、第二緻密層 1 2 3 の表面がトップコート層 1 2 0 の表面である。本実施形態の第二緻密層 1 2 3 は、例えば、第二縦割 C 2 が面方向に分散された緻密な DVC コーティングである。本実施形態の第二緻密層 1 2 3 は、第一緻密層 1 2 1 と同じ構造を有する膜である。したがって、第二緻密層 1 2 3 を形成する際に用いられる溶射材は、第一緻密層 1 2 1 と同じ溶射材である。

[0056] 第二縦割C 2は、第一縦割C 1と同様に、トップコート層1 2 0の表面に対して、傾斜角度 α だけ傾斜して延びている。具体的には、第二縦割C 2は、厚さ方向における耐熱合金基材の表面側で基端と、トップコート層1 2 0の表面側である先端とを結んだ仮想直線の延びる方向を延在方向としている。第二縦割C 2は、この延在方向がトップコート層1 2 0の表面が広がる面方向に対して傾斜している。したがって、第二縦割C 2は、第一縦割C 1と同様に、基端からトップコート層1 2 0の表面に向かうにしたがって、基端に対して面方向の一方側に向かって延びている。本実施形態の第二縦割C 2は、第一縦割C 1と同じ方向に同じ角度をなして傾斜している。複数の第二縦割C 2は、全て同じ方向に向かって傾斜している。つまり、複数の第二縦割C 2の全ては、トップコート層1 2 0の表面に向かうにしたがって、面方向の一方側に向かって傾斜している。また、第二縦割C 2は、基端側や先端側の一部だけでなく、厚さ方向の全域にわたって傾斜している。

[0057] 第二緻密層1 2 3では、1 mm当たりの第二縦割C 2の分布率が、6本/mm以上1 2本/mm以下であることが好ましい。第二緻密層1 2 3では、1 mm当たりの第二縦割C 2の分布率が、8本/mm以上1 0本/mm以下であることがより好ましい。第二緻密層1 2 3の気孔率は、1 0%以下5%以上の範囲に収まっていることが好ましい。第二緻密層1 2 3では、1 mm当たりの第二縦割C 2の分布率が、第一緻密層1 2 1の第一縦割C 1の分布率と同じであることが好ましい。第二緻密層1 2 3の気孔率は、第一緻密層1 2 1の気孔率と同じであることが好ましい。

[0058] 中間気孔層1 2 2と第二緻密層1 2 3との境界部である第二境界部では、気孔率が連続的に変化している。したがって、中間気孔層1 2 2の厚さ方向の中央付近から第二緻密層1 2 3の厚さ方向の中央付近に向かって気孔率が徐々に低くなるよう形成されている。

[0059] 次に高温部材の製造方法S 1を説明する。本実施形態の高温部材の製造方法S 1は、上述した動翼7を高温部材として製造する動翼7の製造方法である。本実施形態の高温部材の製造方法S 1は、図4に示すように、動翼本体

準備工程 S 1 0 と、遮熱コーティング形成工程 S 2 0 とを含む。

[0060] 動翼本体準備工程 S 1 0 は、事前に動翼本体 7 0 として耐熱合金基材を準備する。本実施形態の動翼本体準備工程 S 1 0 では、材料を目的の高温部材（例えば、本実施形態では動翼本体 7 0）の形状となるように形成して準備する。

[0061] 遮熱コーティング形成工程 S 2 0 は、動翼本体準備工程 S 1 0 で準備された動翼本体 7 0 の表面に遮熱コーティング形成方法 S 1 0 0 で遮熱コーティング 1 0 0 を形成する。本実施形態の遮熱コーティング形成工程 S 2 0 では、動翼本体 7 0 の表面にボンドコート層 1 1 0 及びトップコート層 1 2 0 が形成される。本実施形態の遮熱コーティング形成工程 S 2 0 は、以下の遮熱コーティング形成方法 S 1 0 0 で実施される。

[0062] 遮熱コーティング形成方法 S 1 0 0 は、動翼本体 7 0 に遮熱コーティング 1 0 0 を形成する。本実施形態の遮熱コーティング形成方法 S 1 0 0 は、ボンドコート層形成工程 S 1 1 0 と、トップコート層形成工程（セラミック層形成工程） S 1 2 0 と、調整工程 S 1 3 0 とを含む。

[0063] ボンドコート層形成工程 S 1 1 0 は、動翼本体 7 0 の表面に対してボンドコート層 1 1 0 を形成する。ボンドコート層形成工程 S 1 1 0 は、動翼本体準備工程 S 1 0 の後に実施される。ボンドコート層形成工程 S 1 1 0 は、例えば、溶射ガンで M C r A l Y 合金の溶射粒子が動翼本体 7 0 の表面に溶射される。ボンドコート層形成工程 S 1 1 0 では、溶射ガンは、動翼本体 7 0 の表面に対して溶射粒子の噴射孔を垂直に向けて移動される。本実施形態のボンドコート層形成工程 S 1 1 0 は、溶射ガンで高速フレイム溶射（H V O F : H i g h V e l o c i t y O x y g e n F u e l）や減圧プラズマ溶射（L P P S : L o w P r e s s u r e P l a s m a S p r a y i n g）を実施することでボンドコート層 1 1 0 を形成する。

[0064] トップコート層形成工程 S 1 2 0 は、動翼本体 7 0 の表面上に、セラミックを含むトップコート層 1 2 0 を形成する。トップコート層形成工程 S 1 2 0 は、ボンドコート層形成工程 S 1 1 0 の後に実施される。トップコート層

形成工程 S 1 2 0 は、ボンドコート層形成工程 S 1 1 0 で形成されたボンドコート層 1 1 0 上にトップコート層 1 2 0 を積層させる。トップコート層形成工程 S 1 2 0 は、溶射法が用いられる。したがって、本実施形態のトップコート層形成工程 S 1 2 0 は、動翼本体 7 0 に形成されたボンドコート層 1 1 0 の表面上に溶射粒子を溶射させてトップコート層 1 2 0 を形成する。トップコート層形成工程 S 1 2 0 は、第一緻密層形成工程 S 1 2 1 と、気孔層形成工程 S 1 2 2 と、第二緻密層形成工程 S 1 2 3 とを有している。

[0065] 第一緻密層形成工程 S 1 2 1 は、ボンドコート層形成工程 S 1 1 0 の後に実施される。第一緻密層形成工程 S 1 2 1 は、ボンドコート層 1 1 0 上に第一緻密層 1 2 1 を形成する。第一緻密層形成工程 S 1 2 1 は、サスペンションプラズマ溶射を実施して第一緻密層 1 2 1 を形成する。第一緻密層形成工程 S 1 2 1 は、動翼本体 7 0 の表面に対して溶射ガンを所定の傾斜角度 α だけ傾斜させてサスペンションプラズマ溶射を実施する。サスペンションプラズマ溶射は、微細な溶射粒子を分散させた懸濁液をプラズマジェット中に供給して被膜を形成する溶射方法である。なお、溶射ガンの噴射孔と溶射対象である動翼本体 7 0 の表面との距離は、気孔層形成工程 S 1 2 2 より第一緻密層形成工程 S 1 2 1 の方が短くなっている。

[0066] 微細な溶射粒子とは、粒径が $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $1.0 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。懸濁液に使用されるキャリアは、例えば、水やエタノールが挙げられる。サスペンションプラズマ溶射は、プラズマジェットに対する懸濁液の供給方式が軸流内部供給方式の溶射ガンを用いてもよく、外部供給方式の溶射ガンを用いてもよい。

[0067] 気孔層形成工程 S 1 2 2 は、第一緻密層形成工程 S 1 2 1 の後に実施される。気孔層形成工程 S 1 2 2 は、第一緻密層 1 2 1 上に中間気孔層 1 2 2 を形成する。気孔層形成工程 S 1 2 2 は、サスペンションプラズマ溶射を実施して中間気孔層 1 2 2 を形成する。気孔層形成工程 S 1 2 2 は、第一緻密層形成工程 S 1 2 1 よりも溶射ガンを動翼本体 7 0 から離して溶射粒子を溶射する。気孔層形成工程 S 1 2 2 では、初めに、第一緻密層形成工程 S 1 2 1

における溶射距離から徐々に遠ざけるように溶射ガンを移動させながら溶射を実施する。その後、中間気孔層 1 2 2 の所望の膜厚の半分程度まで、中間気孔層 1 2 2 が形成された時点で、溶射距離を第二緻密層形成工程 S 1 2 3 における溶射距離に徐々に近づけていく。最終的に、所望の膜厚の中間気孔層 1 2 2 が形成された時点で、溶射距離が第二緻密層形成工程 S 1 2 3 における溶射距離と一致させるように溶射ガンを移動させる。

[0068] 第二緻密層形成工程 S 1 2 3 は、気孔層形成工程 S 1 2 2 の後に実施される。第二緻密層形成工程 S 1 2 3 は、中間気孔層 1 2 2 上に第二緻密層 1 2 3 を形成する。第二緻密層形成工程 S 1 2 3 は、サスペンションプラズマ溶射を実施して第二緻密層 1 2 3 を形成する。第二緻密層形成工程 S 1 2 3 は、気孔層形成工程 S 1 2 2 よりも溶射ガンを動翼本体 7 0 に近づけて溶射粒子を溶射する。本実施形態の第二緻密層形成工程 S 1 2 3 は、第一緻密層形成工程 S 1 2 1 と同じ条件で実施される。したがって、第二緻密層形成工程 S 1 2 3 は、動翼本体 7 0 の表面に対して溶射ガンを予め定めた傾斜角度 α だけ傾斜させてサスペンションプラズマ溶射で溶射する。なお、溶射ガンの噴射孔と溶射対象である動翼本体 7 0 の表面との距離は、気孔層形成工程 S 1 2 2 より第二緻密層形成工程 S 1 2 3 の方が短くなっている。

[0069] 調整工程 S 1 3 0 は、第二緻密層形成工程 S 1 2 3 の後に実施される。調整工程 S 1 3 0 は、遮熱コーティング 1 0 0 の表面の状態を調整する。具体的には、調整工程 S 1 3 0 においては、トップコート層 1 2 0 の表面を僅かに削って遮熱コーティング 1 0 0 の膜厚を調整したり、表面をより滑らかにしたりする。この調整工程 S 1 3 0 により、例えば、動翼 7 への熱伝導率を低下させることができる。この実施形態の調整工程 S 1 3 0 においては、第二緻密層 1 2 3 の表面を数 μm 削ることで、トップコート層 1 2 0 の表面を滑らかにするとともに膜厚を調整している。

[0070] 上記のような遮熱コーティング 1 0 0、遮熱コーティング形成方法 S 1 0 0、及び動翼 7 によれば、中間気孔層 1 2 2 が第一緻密層 1 2 1 と第二緻密層 1 2 3 との間に形成されることで、厚さ方向へのトップコート層 1 2 0 へ

の入熱が中間気孔層 122 で阻害される。その結果、トップコート層 120 としての熱伝導率をより一層低下させることができる。トップコート層 120 の中で、動翼本体 70 側であるボンドコート層 110 に密着する側に第一緻密層 121 が形成されることで、ボンドコート層 110 に対する密着性を確保することができる。さらに、トップコート層 120 の中で、表面側に第二緻密層 123 が形成されることで耐エロージョン性を確保することができる。これらにより、遮熱コーティング 100 での耐エロージョン性の低下を抑えつつ遮熱効果を高めることができる。

[0071] 具体的には、中間気孔層 122 があることで熱伝導率を低下する点について、図 5 を用いて説明する。図 5 は、トップコート層 120 における熱伝導率と気孔率との関係をシミュレーションにより求めた図である。図 5 に示すように、トップコート層 120 では、気孔率が大きくなるほど、トップコート層 120 における熱伝導率は小さくなる。より具体的には、気孔率が 0% から 15% まで上昇することで、熱伝導率が 10% 程度低下する。したがって、気孔率の高い中間気孔層 122 を第一緻密層 121 と第二緻密層 123 との間に形成することによって、トップコート層 120 における熱伝導率を低下させることができることがわかる。

[0072] また、中間気孔層 122 における気孔率を 10% 以上 20% 以下とすることで、第一縦割 C1 及び第二縦割 C2 による厚さ方向への入熱を阻害する効果が大きくなる。その結果、中間気孔層 122 における耐エロージョン性を大きく低下させることなく、トップコート層 120 における熱伝導率を大きく低下させることができる。

[0073] また、第一縦割 C1 や第二縦割 C2 のようにトップコート層 120 内に斜めに形成された縦割 C が形成される。そのため、第一緻密層 121 内における厚さ方向への入熱が斜めに延びる第一縦割 C1 によって阻害される。同様に、第二緻密層 123 内における厚さ方向への入熱が斜めに延びる第二縦割 C2 によって阻害される。したがって、第一縦割 C1 及び第二縦割 C2 によって、トップコート層 120 における熱伝導率を低下させることができる。

一方で、トップコート層 120 における表面側に第二緻密層 123 が形成されている。第二緻密層 123 を縦割 C が形成されるほど緻密に形成することで、耐エロージョン性の低下を抑えることができる。これらにより、遮熱コーティング 100 の表面側の耐エロージョン性の低下を抑えつつ遮熱効果を高めることができる。

[0074] 具体的には、縦割 C を傾斜させることで熱伝導率を低下する点について、図 6 を用いて説明する。図 6 は、縦割 C が形成されたトップコート層 120 における熱伝導率と縦割 C の傾斜角度 α との関係をシミュレーションにより求めた図である。図 6 に示すように、トップコート層 120 では、縦割 C の傾斜角度 α が小さくなるほど、トップコート層 120 における熱伝導率は小さくなる。より具体的には、縦割 C が傾斜していない状態（傾斜角度 α が 90° の場合）に比べて、縦割 C の傾斜角度 α を 60° にした場合、熱伝導率が 25% 以上低下する。したがって、縦割 C を斜めにすることによって、トップコート層 120 における熱伝導率を低下させることができることがわかる。

[0075] また、サスペンションプラズマ溶射によってトップコート層 120 が形成されることで、大気プラズマ溶射（APS: atmospheric plasma spraying）に比べてトップコート層 120 を形成する溶射粒子の粒径が小さくなる。その結果、第一緻密層 121 や第二緻密層 123 を非常に密な構造とすることができる。そのため、第一緻密層 121 のボンドコート層 110 に対する密着性やトップコート層 120 における各層間の密着性を向上させることができる。

[0076] また、第一縦割 C 1 及び第二縦割 C 2 の全てが同じ方向に傾斜していることで、第一緻密層 121 及び第二緻密層 123 の面方向の広い領域にわたって、厚さ方向への入熱が阻害される。その結果、広い範囲にわたってトップコート層 120 における熱伝導率を低下させることができる。

[0077] また、第一縦割 C 1 及び第二縦割 C 2 の傾斜角度 α が 45° 以上 80° 以下とされている。傾斜角度 α が小さくなることで、第一縦割 C 1 及び第二縦

割C 2による厚さ方向への入熱を阻害する効果が大きくなる。その結果、トップコート層120における熱伝導率を大幅に低下させることができる。また、第一縦割C 1及び第二縦割C 2の傾斜角度 α を45度以上とすることで、第一緻密層121及び第二緻密層123の形成時に溶射粒子が表面に付着しづらくなることを抑えられる。そのため、トップコート層120の製造効率の低下をより抑えることができる。

[0078] (実施形態の他の変形例)

以上、本発明の実施形態について図面を参照して詳述したが、各実施形態における各構成及びそれらの組み合わせ等は一例であり、本発明の趣旨から逸脱しない範囲内で、構成の付加、省略、置換、及びその他の変更が可能である。また、本発明は実施形態によって限定されることはなく、特許請求の範囲によってのみ限定される。

[0079] なお、上記実施形態では、第一縦割C 1及び第二縦割C 2が傾斜した構造をなしているが、トップコート層120はこのような構造に限定されるものではない。例えば、図7に示すように、面方向に対して垂直に延在する縦割C（傾斜していない縦割）を有する構造の遮熱コーティング100Aのトップコート層120Aが形成されていてもよい。したがって、第一緻密層121Aの第一縦割C 1及び第二緻密層123Aの第二縦割C 2がトップコート層120Aの表面に対して垂直な方向に延びている。

[0080] 上記実施形態では、トップコート層120が第一緻密層121と第二緻密層123との間に中間気孔層122が形成された多層構造をなしている。しかし、トップコート層120はこのような構造に限定されるものではない。例えば、図8に示すように、遮熱コーティング100Aのトップコート層120Aが、傾斜した縦割Cを有する単層構造として形成されていてもよい。

[0081] また、本実施形態の遮熱コーティング形成方法S100では、ボンドコート層形成工程S110は実施されなくてもよい。例えば、別の方法でボンドコート層110を形成してもよく、ボンドコート層110自体を形成しなくてもよい。ボンドコート層110を形成しない場合、セラミック層を動翼本

体 70 の表面に直接形成してもよい。

[0082] また、高温部材は、動翼 7 に限定されるものではなく、高温の曝される部材であればよい。高温部材は、例えば、ガスタービン 1 の静翼 8 や燃焼器 3 を構成するノズルや筒体等の部材に本発明を適用してもよい。また、高温部材は、ガスタービン 1 以外において高温に曝される部材であってもよい。例えば、高温部材は、ガスエンジンにおいて、高温の環境下に曝される部材であってもよい。

[0083] また、中間気孔層 122 は、完全に縦割 C が形成されておらず気孔 P のみが形成された構造に限定されるものではない。中間気孔層 122 は、気孔率が十分大きければ、縦割 C が多少形成されていても良い。同様に第一緻密層 121 や第二緻密層 123 は、縦割 C が形成されていれば、気孔 P が多少形成されていても良い。

[0084] また、第一縦割 C1 及び第二縦割 C2 のような縦割の延在方向は、上述したように基端と先端とを結んだ仮想直線の延びる方向とすることに限定されるものではない。縦割の延在方向は、複雑に折れ曲がる縦割から画像解析等によって近似直線を取得し、この近似直線の延びる方向としてもよい。

[0085] また、第一縦割 C1 及び第二縦割 C2 は、傾斜していればよく、全域にわたって同じ方向に傾斜していることに限定されるものではない。縦割 C の傾斜角度 α は、セラミック層の表面側と動翼本体 70 側とで異なってもよい。即ち、縦割は、例えば、同じ方向に傾斜していれば、延在方向の途中で異なる角度で傾斜していても良い。したがって、第一縦割 C1 及び第二縦割 C2 は、例えば、トップコート層 120 の表面に近い側の領域における傾斜角度 α が動翼本体 70 の表面に近い側の領域における傾斜角度 α よりも小さく形成されていてもよい。

[0086] また、本実施形態では、第一緻密層 121 の第一縦割 C1 及び第二緻密層 123 の第二縦割 C2 の傾斜角度 α が一致した構造としたが、第一緻密層 121 及び第二緻密層 123 はこのような構造に限定されるものではない。したがって、第一縦割 C1 のトップコート層 120 の表面に対する傾斜角度 α

と第二縦割C 2のトップコート層1 2 0の表面に対する傾斜角度 α とが異なっているとしてもよい。この際、第一縦割C 1の傾斜角度 α が第二縦割C 2の傾斜角度 α よりも小さいことが好ましい。

[0087] また、本実施形態では、第一緻密層1 2 1及び第二緻密層1 2 3の1 mm当たりの縦割Cの分布率を同じとしたが、第一緻密層1 2 1及び第二緻密層1 2 3はこのような構造に限定されるものではない。例えば、第二緻密層1 2 3の1 mm当たりの縦割Cの分布率を第一緻密層1 2 1の1 mm当たりの縦割Cの分布率よりも大きくしたり、小さくしたりしてもよい。

[0088] また、本実施形態では、第一緻密層1 2 1及び第二緻密層1 2 3の気孔率を同じとしたが、第一緻密層1 2 1及び第二緻密層1 2 3はこのような構造に限定されるものではない。例えば、第一緻密層1 2 1及び第二緻密層1 2 3の気孔率は、中間気孔層1 2 2の気孔率を下回っていれば、互いに異なっているとしてもよい。

[0089] また、本実施形態の縦割Cは、第一縦割C 1と第二縦割C 2とのように一つのトップコート層1 2 0の中で厚さ方向の中間付近に中間気孔層1 2 2で間隔を設けるように形成されている。このように縦割Cは、セラミック層の動翼本体7 0側を向く面から表面まで連続している構造に限定されるものではない。したがって、縦割Cは、一つのセラミック層内で厚さ方向に断続的に延びていてもよい。そのため、第一縦割C 1及び第二縦割C 2も本実施形態のように連続して延びている構造に限定されるものではない。例えば、第一緻密層1 2 1内で第一縦割C 1が厚さ方向に間隔を空けて形成されていてもよい。同様に、第二緻密層1 2 3内で第二縦割C 2が厚さ方向に間隔を空けて形成されていてもよい。

[0090] また、本実施形態の気孔層形成工程S 1 2 2では、徐々に溶射距離を変化（除変）させるように溶射ガンは移動されたが、このように溶射ガンを移動させることに限定されるものではない。例えば、気孔層形成工程S 1 2 2では、第一緻密層形成工程S 1 2 1における溶射距離から気孔層形成工程S 1 2 2における目標とする溶射距離まで急激に変化させるように溶射ガンを移

動させてもよい。

[0091] また、各工程で挙げた溶射条件は一例であって、限定されるものではない。溶射条件は、使用される装置や対象とする溶射粒子の種類等に応じて適宜設定されればよい。

産業上の利用可能性

[0092] この発明は、遮熱コーティング形成方法、遮熱コーティング、及び高温部材に適用でき、耐エロージョン性の低下を抑えつつ遮熱効果を高めることができる。

符号の説明

[0093] 1…ガスタービン 2…圧縮機 3…燃焼器 4…タービン本体 5…ロータ 6…ケーシング 7…動翼 70…動翼本体 71…翼本体部 72…プラットフォーム部 73…翼根部 74…シュラウド部 8…静翼 A…圧縮空気 G…燃焼ガス 100…遮熱コーティング 110…ボンドコート層 120…トップコート層 121…第一緻密層 C1…第一縦割 α …傾斜角度 122…中間気孔層 P…気孔 123…第二緻密層 C2…第二縦割 S1…高温部材の製造方法 S10…動翼本体準備工程 S20…遮熱コーティング形成工程 S100…遮熱コーティング形成方法 S110…ボンドコート層形成工程 S120…トップコート層形成工程 S121…第一緻密層形成工程 S122…気孔層形成工程 S123…第二緻密層形成工程 S130…調整工程 C…縦割

請求の範囲

- [請求項1] 耐熱合金基材上に形成され、セラミックを含むセラミック層を備え、
- 前記セラミック層は、
- 第一緻密層と、
- 前記第一緻密層上に積層され、前記第一緻密層よりも密度が大きく多数の気孔が形成された中間気孔層と、
- 前記中間気孔層上に積層され、前記中間気孔層よりも密度が小さい第二緻密層と、
- を有する遮熱コーティング。
- [請求項2] 前記中間気孔層と前記第一緻密層との境界部である第一境界部及び前記中間気孔層と前記第二緻密層との境界部である第二境界部では、気孔率が連続的に変化する請求項1に記載の遮熱コーティング。
- [請求項3] 前記中間気孔層の気孔率が、10%以上20%以下である請求項1又は請求項2に記載の遮熱コーティング。
- [請求項4] 前記第一緻密層及び前記第二緻密層の気孔率が、10%以下5%以上である請求項1から請求項3のいずれか一項に記載の遮熱コーティング。
- [請求項5] 前記第一緻密層は、厚さ方向に延びる第一縦割が面方向に分散され、
- 前記第二緻密層は、厚さ方向に延びる第二縦割が面方向に分散された請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の遮熱コーティング。
- [請求項6] 前記第一縦割及び前記第二縦割は、前記セラミック層の表面に対して、傾斜して延びている請求項5に記載の遮熱コーティング。
- [請求項7] 前記第一縦割の前記セラミック層の表面に対する傾斜角度と、前記第二縦割の前記セラミック層の表面に対する傾斜角度とが異なる請求項5又は請求項6に記載の遮熱コーティング。
- [請求項8] 耐熱合金基材の表面上に、セラミックを含むセラミック層を形成す

るセラミック層形成工程を含み、

前記セラミック層形成工程は、

第一緻密層を形成する第一緻密層形成工程と、

前記第一緻密層形成工程の後に実施され、前記第一緻密層上に前記第一緻密層よりも密度が大きく多数の気孔が形成された中間気孔層を形成する気孔層形成工程と、

前記気孔層形成工程の後に実施され、前記中間気孔層上に前記中間気孔層よりも密度が小さい第二緻密層を形成する第二緻密層形成工程と有する遮熱コーティング形成方法。

[請求項9] 前記セラミック層形成工程には溶射法が用いられ、

溶射ガンの噴射孔と溶射対象の表面との距離は、前記気孔層形成工程より前記第一緻密層形成工程及び前記第二緻密層形成工程の方が短い請求項8に記載の遮熱コーティング形成方法。

[請求項10] 前記第一緻密層形成工程は、厚さ方向に延びる第一縦割が面方向に分散されるように前記第一緻密層を形成し、

前記第二緻密層形成工程は、厚さ方向に延びる第二縦割が面方向に分散されるように前記第二緻密層を形成する請求項8又は請求項9に記載の遮熱コーティング形成方法。

[請求項11] 溶射粒子は、粒径が $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下である請求項8から請求項10のいずれか一項に記載の遮熱コーティング形成方法。

[請求項12] 前記セラミック層形成工程の少なくとも一部は、サスペンションプラズマ溶射を用いる請求項8から請求項11のいずれか一項に記載の遮熱コーティング形成方法。

[請求項13] 耐熱合金基材と、

前記耐熱合金基材上に形成され、セラミックを含むセラミック層を備え、

前記セラミック層は、

第一緻密層と、

前記第一緻密層上に積層され、前記第一緻密層よりも密度が大きく多数の気孔が形成された中間気孔層と、

前記中間気孔層上に積層され、前記中間気孔層よりも密度が小さい第二緻密層とを有する高温部材。

[請求項14] 前記セラミック層は、厚さ方向に延びる縦割が面方向に分散され、前記縦割は、前記セラミック層の表面に対して、傾斜して延びている請求項1に記載の遮熱コーティング。

[請求項15] 前記縦割の傾斜角度は、前記セラミック層の表面側と耐熱合金基材側とで異なる請求項14に記載の遮熱コーティング。

[請求項16] 前記縦割は、1 mm当たりの分布率が6本/mm以上12本/mm以下である請求項14または請求項15に記載の遮熱コーティング。

[請求項17] 前記縦割は、断続的に延びている請求項14から請求項16の何れか一項に記載の遮熱コーティング。

[請求項18] 複数の前記縦割の全ては、前記セラミック層の表面に向かうにしたがって、前記面方向の一方側に向かって傾斜している請求項14から請求項17の何れか一項に記載の遮熱コーティング。

[請求項19] 前記縦割の傾斜角度は、前記セラミック層の表面に対して、 45° 以上 80° 以下の角度である請求項14から請求項18の何れか一項に記載の遮熱コーティング。

[請求項20] 耐熱合金基材の表面に対して溶射ガンを予め定めた傾斜角度だけ傾斜させて、溶射粒子を分散させた懸濁液を用いて溶射し、前記耐熱合金基材上に厚さ方向に延びて前記傾斜角度だけ傾斜して延びる縦割が面方向に分散されたセラミックを含むセラミック層を形成する請求項8に記載の遮熱コーティング形成方法。

[請求項21] 前記溶射はサスペンションプラズマ溶射である請求項20に記載の遮熱コーティング形成方法。

[請求項22] 前記溶射粒子の粒径が $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $1.0\ \mu\text{m}$ 以下である請求項20または請求項21に記載の遮熱コーティング形成方法。

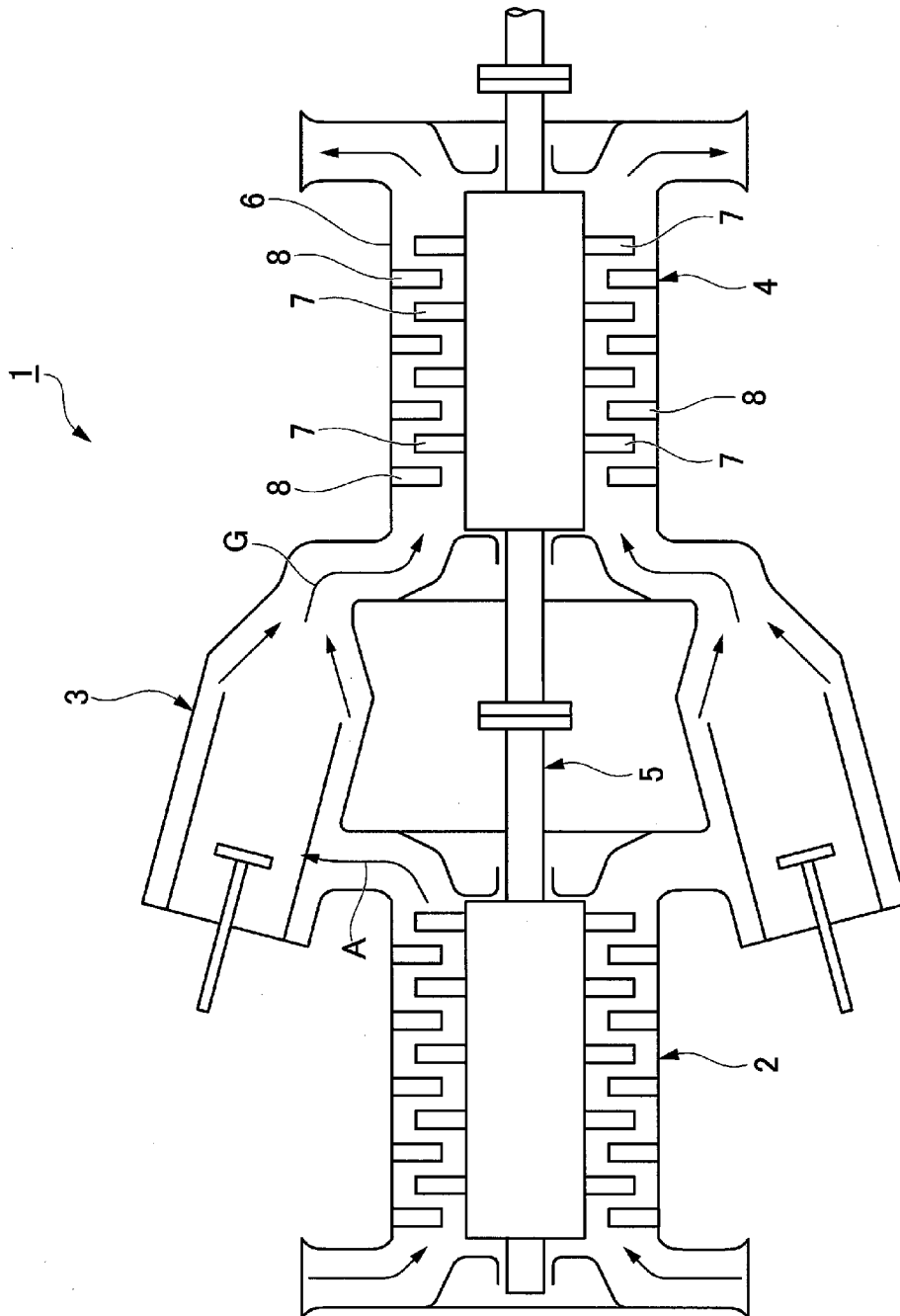
[請求項23]

耐熱合金基材と、

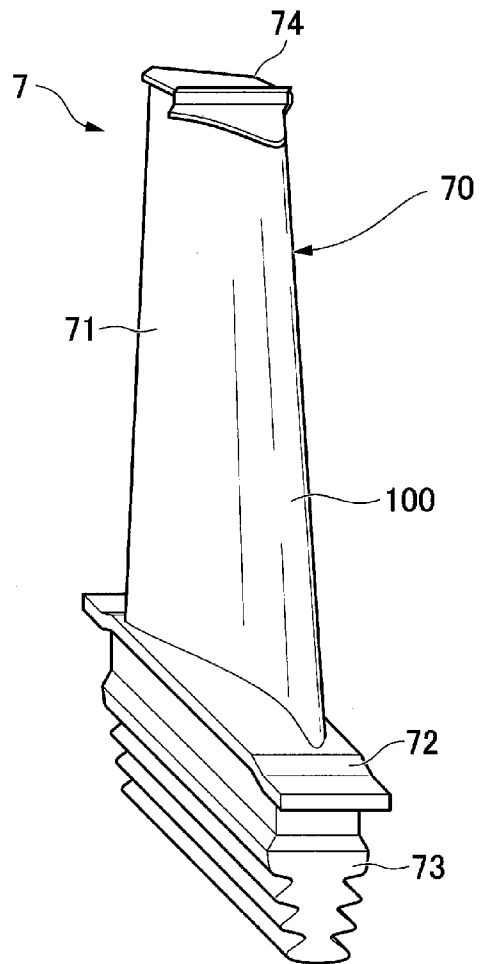
前記耐熱合金基材上に形成され、厚さ方向に延びる縦割が面方向に分散されたセラミックを含むセラミック層とを備え、

前記縦割は、前記セラミック層の表面に対して、傾斜して延びている請求項13に記載の高温部材。

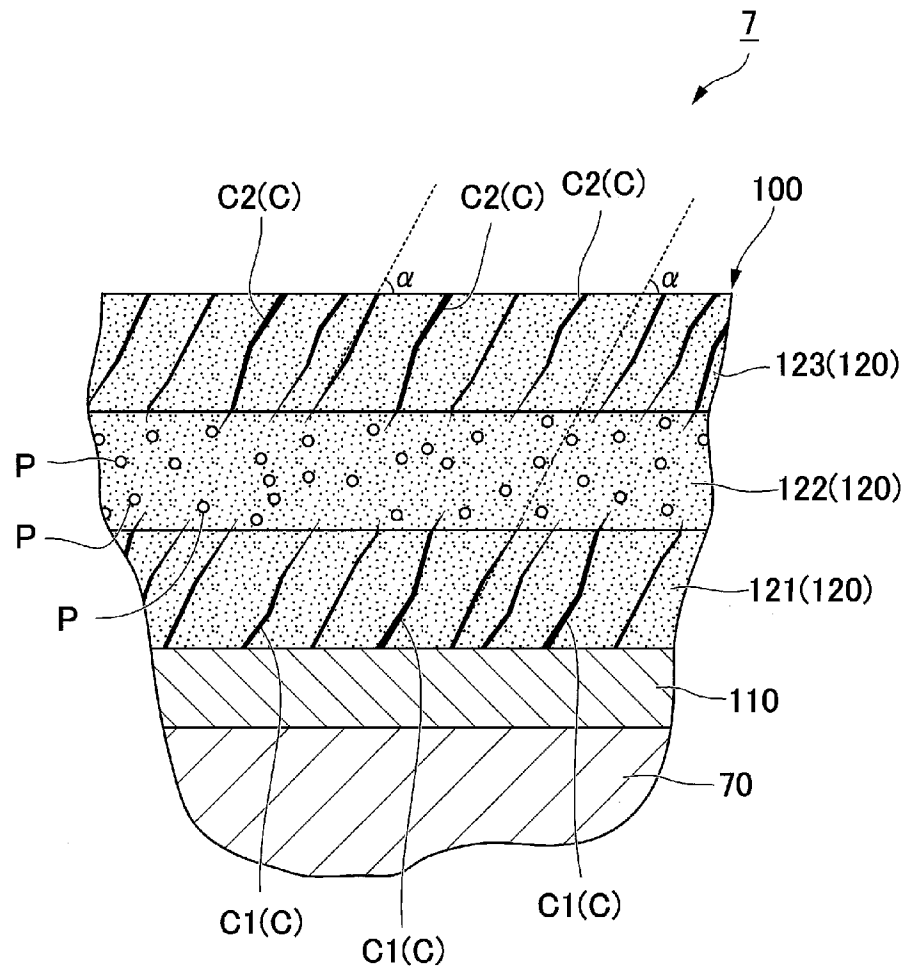
[図1]



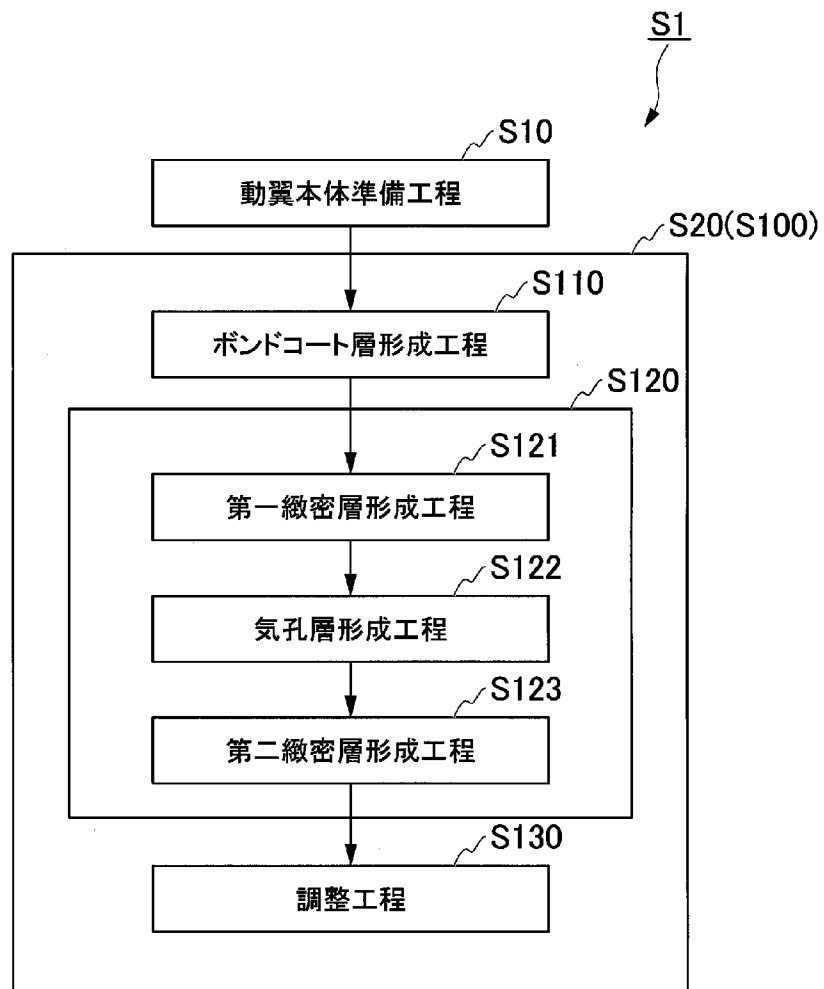
[図2]



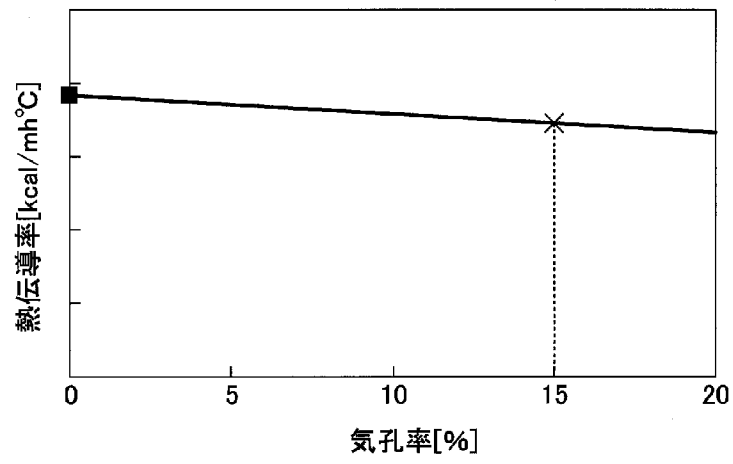
[図3]



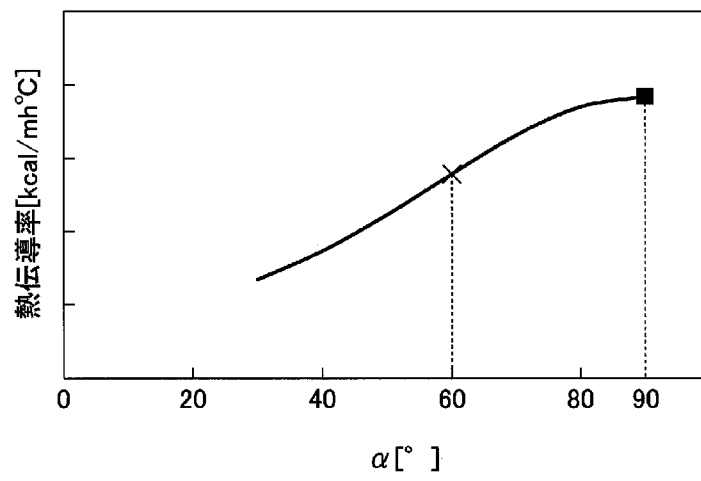
[図4]



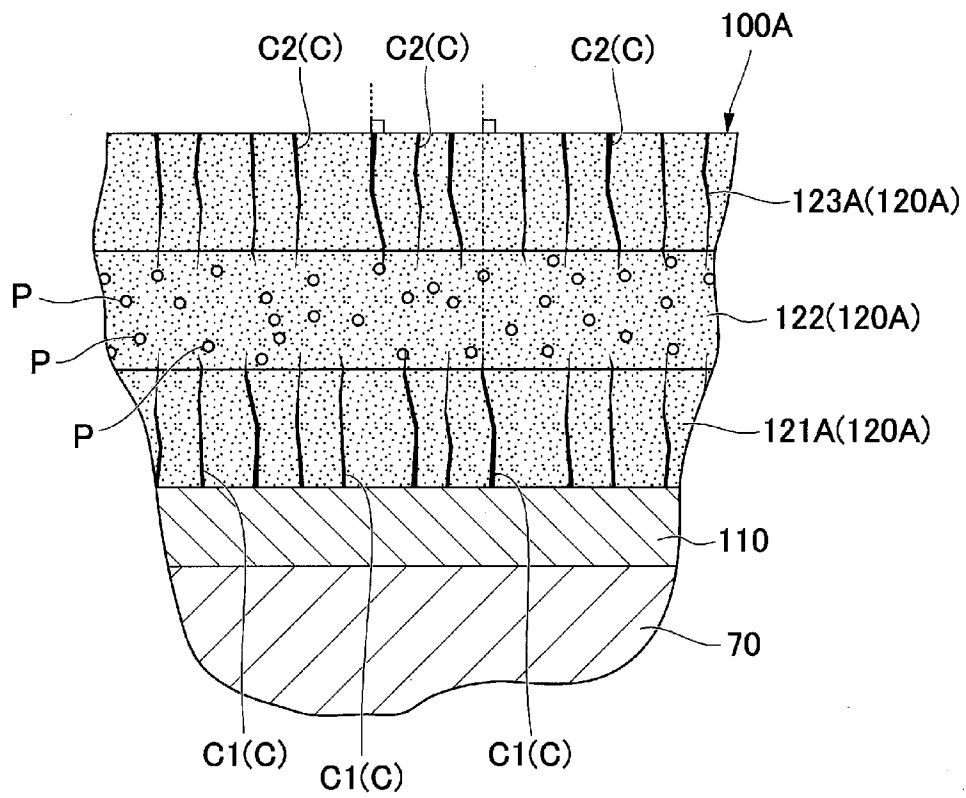
[図5]



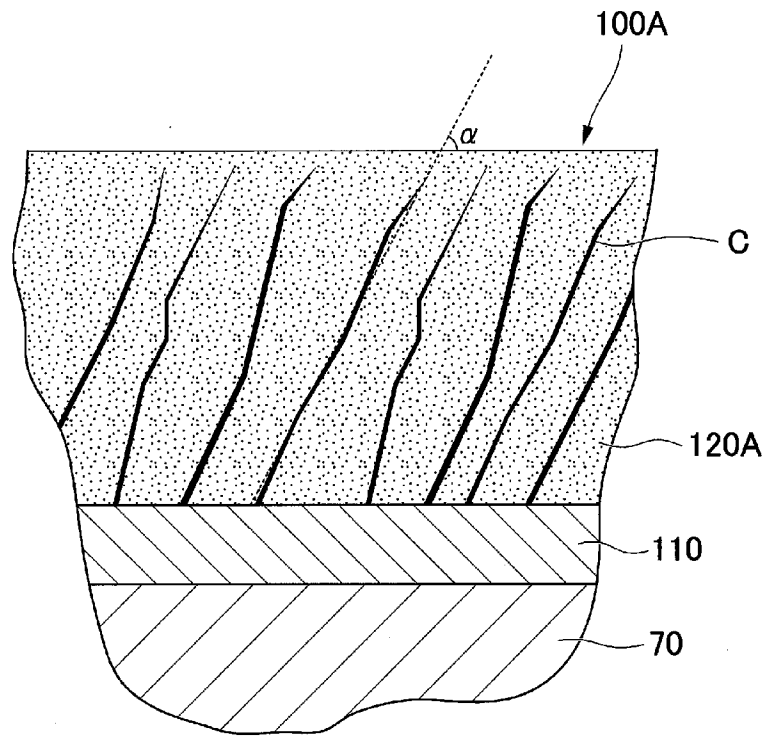
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/016998

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. C23C4/134 (2016.01) i, C23C4/04 (2006.01) i, F01D5/28 (2006.01) i,
F02C7/00 (2006.01) i, F23R3/42 (2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. C23C4/134, C23C4/04, F01D5/28, F02C7/00, F23R3/42

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2011-140693 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 21 July 2011, claims, paragraphs [0014]-[0030], fig. 2 (Family: none)	1-4, 8, 9, 11, 13 5, 10, 12 6, 7, 14-23
X Y A	JP 60-197861 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 07 October 1985, claims, page 2, lower right column, line 1 to page 3, upper left column, line 12, fig. 1 (Family: none)	1-4, 8, 9, 11, 13 5, 10, 12 6, 7, 14-23
Y	JP 2016-79457 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 16 May 2016, paragraphs [0033]-[0044] (Family: none)	5, 10, 12
Y	JP 2014-205913 A (GENERAL ELECTRIC CO.) 30 October 2014, paragraphs [0024]-[0025], [0036] & US 2014/0308479 A1 (paragraphs [0025]-[0026], [0037]) & EP 2799588 A2 & CN 104096846 A	5, 10, 12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.	☐ See patent family annex.
---	---

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 03 July 2018 (03.07.2018)	Date of mailing of the international search report 17 July 2018 (17.07.2018)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C23C4/134(2016.01)i, C23C4/04(2006.01)i, F01D5/28(2006.01)i, F02C7/00(2006.01)i, F23R3/42(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C23C4/134, C23C4/04, F01D5/28, F02C7/00, F23R3/42

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2011-140693 A (三菱重工業株式会社) 2011.07.21, 特許請求の範囲, [0014]-[0030], 図2 (ファミリーなし)	1-4, 8, 9, 11, 13
<u>Y</u>		<u>5, 10, 12</u>
A		6, 7, 14-23
X	JP 60-197861 A (トヨタ自動車株式会社) 1985.10.07, 特許請求の範囲, 第2頁右下欄1行-第3頁左上欄12行, 第1図 (ファミリーなし)	1-4, 8, 9, 11, 13
<u>Y</u>		<u>5, 10, 12</u>
A		6, 7, 14-23

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

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

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

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

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

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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

03.07.2018

国際調査報告の発送日

17.07.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

國方 康伸

4 E

9442

電話番号 03-3581-1101 内線 3425

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2016-79457 A (三菱重工業株式会社) 2016. 05. 16, [0033]-[0044] (ファミリーなし)	5, 10, 12
Y	JP 2014-205913 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ) 2014. 10. 30, [0024]-[0025], [0036] & US 2014/0308479 A1 ([0025]-[0026], [0037]) & EP 2799588 A2 & CN 104096846 A	5, 10, 12