

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. Juli 2017 (20.07.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/121765 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

C04B 41/87 (2006.01) *C04B 41/52* (2006.01)
C04B 41/00 (2006.01) *F01D 5/28* (2006.01)
C04B 41/45 (2006.01) *C04B 111/00* (2006.01)
C04B 41/89 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/050496

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. Januar 2017 (11.01.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 200 294.5
13. Januar 2016 (13.01.2016) DE

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: PHAM, Gia Khanh; Blumenweg 44, 85579 Neubiberg (DE). VAN DER LAAG, Niels; Albert-Rosshaupter-Straße 3B, 81369 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): 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, JP, 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.

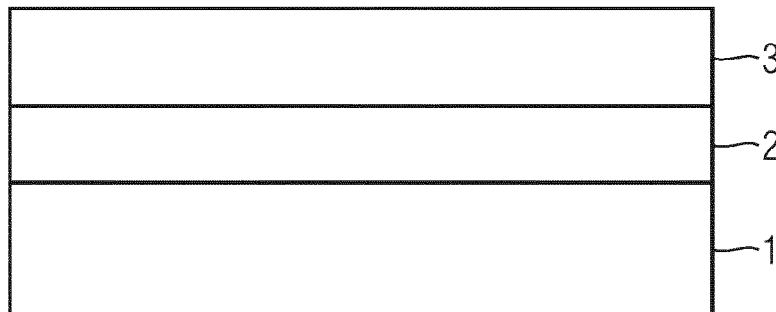
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, 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).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: COATING SYSTEM FOR A TURBINE COMPONENT

(54) Bezeichnung : BESCHICHTUNGSSYSTEM FÜR TURBINENKOMPONENTE



(57) Abstract: The invention relates to a coating system for turbine components, for example a gas turbine vane and/or a gas turbine blade, in particular a component which is made of a ceramic composite material "CMC" (Ceramic Matrix Component), wherein a water-tight coating is provided on the CMC, which is chemically compatible with the substrate material and/or almost pore-free.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Beschichtungssystem für Turbinenkomponenten, beispielsweise eine Gasturbinenschaufel und/oder ein Gasturbinenblatt, insbesondere eine aus einem keramischen Verbundwerkstoff „CMC“ (Ceramic Matrix Component), wobei eine wasserdichte Beschichtung auf dem CMC vorgesehen ist, die chemisch zu dem Substratmaterial kompatibel und/oder nahezu porenfrei ist.



WO 2017/121765 A1

Beschreibung

Beschichtungssystem für Turbinenkomponente

5 Die Erfindung betrifft einen Teil einer Wärmedämmschicht eines Umgebungs-Beschichtungssystems (Environmental barrier coatings (EBC)) für eine Turbinenkomponente wie beispielsweise eine Gasturbinenschaufel und/oder ein Gasturbinenblatt, die zumindest zum Teil aus einem keramischen Matrix-
10 Komponenten-Material „CMC“ (Ceramic Matrix Component) ist.

Wärmedämmschichten werden in der Industrie eingesetzt, um die Werkstofftemperatur bei Hochtemperaturanwendungen zu senken. Ein Beispiel sind Gasturbinen, bei denen die Beschichtung den
15 Bedürfnissen entsprechend im Bereich von wenigen Zehntelmillimetern bis hin zu Millimetern auf den Schaufeln sowie auf anderen Komponenten im Heißgaspfad von Turbinen aufgetragen wird.

20 Turbinen werden, beispielsweise in Form von Gasturbinen, zur Energiegewinnung elektrischer Energie über Verbrennungsgas in einer Verbrennungskammer eingesetzt. Dabei fließt das heiße Gas in die Turbine, die mit einem Generator verbunden ist. Um die Effizienz der Gasturbine zu steigern, wird das Gas so
25 heiß wie möglich eingeleitet. Je heißer das Gas, desto höhere Ansprüche an die Beschichtungsmaterialien, die die Turbinenkomponenten, wie beispielsweise Turbinenblätter und Turbinenschaufeln, entlang dem Heißgaspfad in den Turbinen vor Schäden durch das heiße Gas schützen.

30 Bislang werden entsprechende Turbinenkomponenten aus einer Superlegierung mit einer Haftschrift und darauf einer thermischen Barrierschicht (TBC, Thermal Barrier Coating) aufgebaut, wobei diese beiden Schichten sowohl die Gastemperatur
35 beschränken als auch ein Kühlsystem erfordern. Eine alternative Herangehensweise ist die Entwicklung von keramischen Verbundwerkstoffen, sog. Ceramic-Matrix-Component "CMCs" - .

Diese Trägerstrukturen halten höhere Temperaturen als Superlegierungen aus, haben eine geringere Dichte und eine bessere Oxidationsbeständigkeit, insbesondere die oxidischen CMCs. Die eingeschränkte Bruchfestigkeit und Schadenstoleranz der keramischen Materialien wird grundsätzlich durch Faserverstärkung verbessert und ausgeglichen.

Trotzdem sind die CMCs anfällig gegenüber Bestandteilen des heißen Gases, wie beispielsweise Wasserdampf, vergleichbar zu den herkömmlichen Superlegierungen. Deswegen werden die CMC-Trägerstrukturen mit einer Haftschiicht und darauf zumindest ein bis zwei Schutzschichten, die im Ganzen als Umgebungs-Beschichtungssystem (Environmental barrier coatings (EBC)) bezeichnet werden, vor Umgebungseinflüssen bewahrt.

Typische EBC-Beschichtungssysteme für beispielsweise Siliziumcarbid SiC/SiC-CMCs sind aus Barium-Strontium-Aluminium-Silikaten (BSAS) oder Silikaten von seltenen Erden, also Yttrium, Ytterbium wie z.B. $Y_2Si_2O_7$, Y_2SiO_5) im Sinne einer gemischten Mullit-BSAS Beschichtung auf einer Silizium-Haftschiicht aufgebaut.

Zusätzlich kann gemäß dem Stand der Technik, wie er beispielsweise aus der WO 2010/080240 und/oder aus der US 2010/0158680 bekannt ist, eine separate Barrierschiicht gegen das Eindringen von flüssigen CMAS, also Calcium, Magnesium, Aluminiumsilikaten, auf dem EBC -Beschichtungssystem vorgesehen sein.

Aus DE 10 2015 205 807.7 ist eine kombinierte Schutzschicht gegen Feuchte, Sauerstoff und Eindringen von Calcium, Magnesium und/oder Aluminiumsilikaten (CMAS) in eine Trägerstruktur aus keramischem Matrixmaterial für Hochtemperatur-Anwendungen bekannt. Diese Schutzschicht umfasst eine keramische Komponente, einen Spinell der allgemeinen Formel $(Mg, Zn, Fe, Mn) - Al_2O_4$, einen Perowskit der allgemeinen Formel $(RE1, RE2)AlO_3$, wobei RE1 für ein dreiwertiges Kation eines seltenen Erden-Elements steht und gleich oder ungleich RE2 sein kann, einen Oxyapatit und/oder einen Granaten mit einer

allgemeinen Formel $(RE_1RE_2RE_3)Al_5O_{12}$ wobei RE1, RE2 und RE3 jeweils für ein dreiwertiges Kation eines seltenen Erden-Elements steht und gleich oder verschieden sein können, sowie beliebige Mischungen der vorgenannten Verbindungen.

5

Nachteilig am Stand der Technik ist, dass das Beschichtungssystem zu viele Schichten umfasst, wobei Haftungsprobleme bei den Grenzflächen und insbesondere auch Unterschiede in den thermischen Ausdehnungskoeffizienten zu Instabilitäten der Beschichtungssysteme für Turbinenkomponenten wie Gasturbinenschaufeln und/oder Gasturbinenblätter führen kann.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Verbesserung des Beschichtungssystems für Turbinenkomponenten, insbesondere Gasturbinenschaufel- und/oder Gasturbinenblatt zu schaffen, das die Nachteile des Standes der Technik minimiert oder überwindet.

Lösung der Aufgabe und Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist daher eine Beschichtung für eine Turbinenkomponente, insbesondere Gasturbinenkomponente, beispielsweise eine Turbinenschaufel, die zumindest zum Teil aus einem keramischen Verbundwerkstoff (CMC) ist, wobei der Teil, der aus einem keramischen Verbundwerkstoff ist, eine Beschichtung aufweist, die wasserdicht ist und mit dem Material der Turbinenkomponente chemisch mischbar und/oder ineinander lösbar, insbesondere chemisch miteinander unbegrenzt mischbar und/oder unbegrenzt ineinander lösbar, also „chemisch kompatibel“ sind, weil in der Matrix des CMCs der Gasturbinenschaufel Partikel und/oder Fasern eingearbeitet sind, die aus einem gleichen oder einem chemisch übereinstimmendem, zumindest aber chemisch kompatiblen, Material sind wie sie in der wasserdichten Beschichtung enthalten sind, wobei dieses übereinstimmende und kompatible Material insbesondere auf Basis von Aluminiumoxid, Yttrium Aluminium Granat oder Garnet (YAG) und/oder Yttrium Stabilized Zirkonoxid (YSZ) sowie beliebiger Mischungen dieser Komponenten beschaffen ist.

Als chemisch kompatibles Material wird insbesondere ein Material bezeichnet, das eine übereinstimmende chemische Summenformel hat. Dabei kann die Modifikation, insbesondere die kristallographische Modifikation, in der das chemisch übereinstimmende Material vorliegt, durchaus ganz verschieden sein, so dass ein amorphes Material oder keramisch gesinter-
5
tes Material mit einem kristallinen oder teilkristallinem Material im Sinne der vorliegenden Erfindung „chemisch kompatibel“, also chemisch miteinander - ohne nennenswerte Reaktion
10 wie Umsetzung oder Zersetzung - mischbar ist.

Vorteilhafterweise ergibt sich daraus eine Beschichtung mit einer sehr dichten Mikrostruktur, deren Gewicht über 90% ihres theoretischen Gewichts beträgt, so dass in der Beschichtung ein nahezu porenfreies Material vorliegt, das eine hohe
15
Schutzwirkung auf, beispielsweise ein Turbinenblatt, ausübt.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform der Beschichtung ist diese nahezu porenfrei, das heißt die Beschichtung weist eine
20
Dichte auf, die ein Gewicht der Beschichtung bedingt, das größer oder gleich 95% des theoretischen Gewichts, also bei 100% Dichte, und theoretischer Porenfreiheit ist.

Die Füllstoffe im CMC können in einer oder in mehreren verschiedenen Fraktionen, wobei Unterschiede in der Partikelgröße, von mehreren Mikrometer bis Nanometer, bestehen können,
25
vorliegen.

Des Weiteren können Unterschiede in der Partikelzusammensetzung des oder der Füllstoffe vorliegen, beispielsweise ausgehend von einem Füllstoff aus reinem $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) über ein 50:50 Mol% Gemisch mit einem stabilisiertem Zirkonium (IV) - oxid, beispielsweise YSZ, bis zu reinem Zirkonium (IV) - oxid, bevorzugt mit 4 Mol% bis 8 Mol% Yttriumoxid Y_2O_3 stabilisiert.
35

Die Füllstoffe liegen bevorzugt weder in der Matrix noch im CMC amorph vor, sondern polykristallin, teilkristallin und/oder kristallin.

Die bevorzugte Partikelgröße der im Folgenden als „grob“ bezeichneten, vorzugsweise zumindest teilkristallin vorliegenden Partikel des oder der Füllstoffe liegen beispielsweise im Bereich von 500nm bis 15 µm wobei im Bereich der Korngrößen von 700nm bis 3 µm eine Häufung an geeigneten Partikeln vorliegt. Die feinen Partikel sintern während der Herstellung einer Beschichtung zu einem festen Material mit keramischer Mikrostruktur.

Ebenso können die Füllstoffe in verschiedene Formen, sphärisch, plättchen- und/oder stabförmig vorliegen.

Nach einer vorteilhaften Ausbildung der Erfindung wird das Beschichtungssystem der Turbinenkomponente wie der Gasturbinschaufel und/oder des Gasturbinenblatts gleich mit der Gasturbine und/oder dem Gasturbinenblatt hergestellt. Allerdings kann ebenso gut eine Beschichtung eines bereits fertigen Gasturbinenblattes oder einer Gasturbinschaufel, also beispielsweise eine Nachrüstung, erfolgen.

Im Folgenden wird die Erfindung noch anhand einiger Beispiele näher erläutert:

Eine erfindungsgemäß sehr dichte auf YAG und/oder YSZ basierende Beschichtung wird durch Aufbringen eines Schlickers und anschließende Wärmebehandlung hergestellt. Beispielsweise wird der Schlicker durch Mischen grober Partikel, beispielsweise Partikel im Mikrometerbereich, und/oder feiner Füllstoffpartikel im Nanometer- Submikrometerbereich mit deionisiertem, destilliertem Wasser gerührt oder gemischt.

Beispielsweise kann das Verhältnis Füllstoffe zu Wasser 50:50 betragen, wobei beliebige andere Verhältnisse genauso einsetzbar sind.

In der fertigen Mischung liegt dann in wässriger Lösung fester Füllstoff im Bereich von 10 bis 60 Vol% vor. Bevorzugt

liegt der Anteil an Füllstoff im Bereich von 20 bis 50 Vol% und insbesondere bevorzugt im Bereich von ca. 30 bis 40 Vol% Füllstoff - also beispielsweise Partikel aus Al_2O_3 , YAG und/oder YSZ - wiederum beispielsweise in verschiedenen

5 Partikelfraktionen - vor. Optional kann sowohl ein Binder oder eine Bindermischung, eine Dispergierhilfe und/oder eine Sinterhilfe noch beigemischt sein, diese Komponenten sind dem mit der Technik vertrauten Fachmann geläufig und sowohl in

10 Material als auch in Menge von diesem leicht für das jeweilige System passend aufzufinden. Beispielsweise kann als Dispergierhilfe ein organisches Verflüssigungsmittel, insbesondere ein organisches alkalifreies Verflüssigungsmittel, wie eine Carbonsäurezubereitung, eingesetzt werden.

15 Beispielsweise wird das Material für die Beschichtung als wasserhaltiger und/oder säurehaltiger Schlicker auf das CMC-Substrat aufgebracht und mit diesem einer Wärmebehandlung unterzogen. Dabei können Temperaturen bis zu 1100°C realisiert werden. So entsteht eine Beschichtung, die gesintertes Material, in dem Füllstoffpartikel in beispielsweise Mikrometer-

20 gröÙe enthalten sind.

Ein derart hergestellter fester Verbund aus dichter wasserfester Beschichtung gemäß der Erfindung und Turbinenkomponente wie Gasturbinenblatt und/oder Gasturbinenschaufel kann wie

25 beispielsweise durch optische Verfahren wie REM-Aufnahmen charakterisiert werden, wobei das Substrat, also beispielsweise das Gasturbinenblatt als Schicht mit Fasern und die Beschichtung als Schicht ohne Fasern und mit Füllstoffpartikel

30 zu erkennen ist. Die REM Aufnahmen können auch mit chemischen Analysen zur Charakterisierung kombiniert werden.

Nach einer weiteren Ausführungsform umfasst das CMC-Material der Gasturbinenschaufel und/oder des Gasturbinenblatts stabilisierende Fasern, die aus dem gleichen Material wie die gro-

35 ben oder feinen Füllstoffe der Beschichtung sind, beispielsweise aus Al_2O_3 , YAG und/oder YSZ. Analytisch können dann das CMC-Substratmaterial und das Beschichtungsmaterial beispielsweise dadurch unterschieden werden, dass im Substratmaterial

Fasern und gegebenenfalls auch Partikel und in der Beschichtung zwar Partikel des gleichen Oxids oder der gleichen Oxidmischung aber keine Fasern vorliegen.

5 Die Fasern können beispielsweise auf Basis von Aluminiumoxid, und/oder Mullit sein und haben zumindest amorphe Anteile. Der Schlicker wird nach üblichen Methoden, beispielsweise über Besprühen, Eintauchen, Aufpinseln oder ähnliches auf das Substrat aufgebracht. Die Beschichtung ergibt sich durch Sin-
10 tern und Tempern der mit Schlicker beschichteten Gasturbinenschaufel oder des Gasturbinenblattes. Dabei sintern die feinen Füllstoffpartikel und ergeben eine nahezu porenfreie keramische Beschichtung während die größeren und gröberen Partikel für die Festigkeit und Widerstandsfähigkeit der Be-
15 schichtung sorgen.

Im Folgenden wird die Erfindung noch anhand einer Figur, die einen beispielhaften Aufbau eines Beschichtungssystems nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt, näher erläut-
20 tert:

Zu erkennen ist unten das Substrat 1, also beispielsweise ein Substrat aus einer CMC. Eine CMC umfasst eine Matrix aus beispielsweise einer oxidischen oder einer nicht-oxidischen Keramik wie SiC, Si₃N₄, SiO₂, Al₂O₃ sowie beliebige Mischungen
25 daraus wie beispielsweise aus der EP 1394138 bekannte CMC-Matrizen. In der Matrix befinden sich dann beispielsweise Fasern, die insbesondere zur Verstärkung dienen. Beispielsweise können aber auch Füllstoffpartikel in die Matrix eingearbeitet sein. Der Inhalt der EP 1394138 wird hiermit, die CMC-
30 Substrate betreffend auch zum Gegenstand der vorliegenden Offenbarung gemacht. In diese Matrix aus den oben genannten Materialien sind zur Steigerung der Festigkeit im CMC noch Fasern und gegebenenfalls auch noch Partikel eingearbeitet. Die Fasern sind beispielsweise aus dem gleichen Material wie die
35 Füllstoffe des Schlickers aus dem die auf dem Substrat aufliegenden wasserdampfdichte Beschichtung 2 gemacht ist.

Vorliegend wird ein Substrat, wie ein Gasturbinenblatt aus einer Matrix mit Faserfüllung beschrieben, wobei die Matrix und die Fasern gegebenenfalls aus gleichem chemischem Material, beispielsweise Aluminiumoxid, sind. Auf diesem Substrat befindet sich eine Beschichtung, die über einen Schlicker herstellbar ist, wobei die Beschichtung wiederum das gleiche Material hat, allerdings in Form einer gesinterten Keramik mit groben Füllstoffpartikel, beispielsweise im Mikrometerbereich.

10 Diese Beschichtung ist durch Erhitzen und Sintern eines Schlickers auf dem CMC Substrat herstellbar, wobei der Schlicker zumindest eine Fraktion eines feineren Füllstoffes und eine Fraktion eines gröbereren Füllstoffes umfasst und durch das Sintern eine gesinterte Keramik aus dem feineren Füllstoffpartikeln entsteht und die gröbereren Partikel in der fertigen Beschichtung noch nachweisbar bleiben.

Auf dem Substrat 1 befindet sich die chemisch kompatible wasserdichte Barrierschicht 2 die Füllstoffpartikel umfasst, die nach einer bevorzugten Ausführungsform das gleiche Material wie im CMC-Substrat enthaltene Füllstoffpartikel aufweist. Die Anbindung der wasserdichten nahezu porenfreien Beschichtung 2 an das Substrat ist wegen der chemischen Kompatibilität ausgezeichnet, weil sich keine echten Grenzflächen ausbilden, die verbunden werden müssen, sondern die Grenzflächen ineinander übergehen und Grenzbereiche bilden.

Auf der wasserdichten Beschichtung 2 befindet sich vorteilhafterweise noch eine thermische Barrierschicht TBC 3, die nach üblichen Methoden aufbringbar ist.

Die Dicke der Schicht liegt beispielsweise im Mikrometerbereich im Bereich von ca. 500nm bis 10 mm.

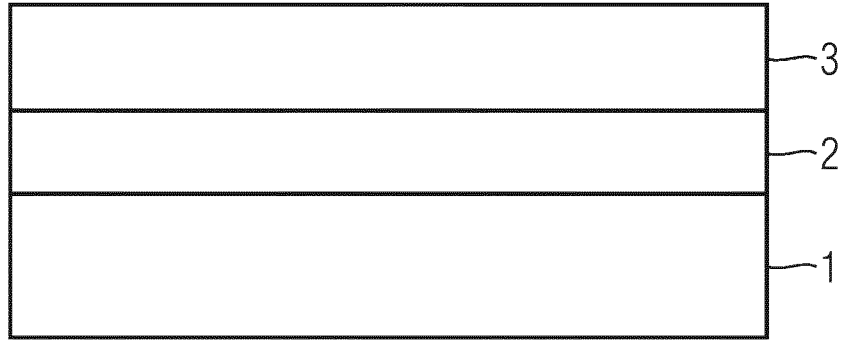
Die Erfindung betrifft ein Beschichtungssystem für eine Turbinenkomponente wie eine Gasturbinenschaufel und/oder ein Gasturbinenblatt, insbesondere eines aus einem keramischen Matrix-Komponenten-Material „CMC“ (Ceramic Matrix Component), wobei eine wasserdampfdichte keramische Beschichtung auf dem

CMC Substrat vorgesehen ist, die chemisch zu dem Substratmaterial kompatibel und nahezu porenfrei ist.

Patentansprüche

1. Beschichtung für eine Turbinenkomponente, insbesondere Gasturbinenkomponente, beispielsweise eine Turbinenschaufel, die zumindest zum Teil aus einem keramischen Verbundwerkstoff (CMC) ist, wobei der Teil, der aus einem keramischen Verbundwerkstoff ist, eine Beschichtung aufweist, die wasserdicht ist und mit dem Material der Turbinenkomponente chemisch mischbar und/oder ineinander lösbar, insbesondere chemisch miteinander unbegrenzt mischbar und/oder unbegrenzt ineinander lösbar, also „chemisch kompatibel“ sind, weil in der Matrix des CMCs der Gasturbinenschaufel Partikel und/oder Fasern eingearbeitet sind, die aus einem gleichen oder einem chemisch übereinstimmendem, zumindest aber chemisch kompatiblen, Material sind wie sie in der wasserdichten Beschichtung enthalten sind, wobei dieses übereinstimmende und kompatible Material insbesondere auf Basis von Aluminiumoxid, Yttrium Aluminium Granat oder Garnet (YAG) und/oder Yttrium Stabilized Zirkonoxid (YSZ) sowie beliebiger Mischungen dieser Komponenten beschaffen ist.
2. Beschichtungssystem nach Anspruch 1, wobei in der wasserdichten Beschichtung Partikel einer durchschnittlichen Größe im Mikrometerbereich vorliegen.
3. Beschichtungssystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei in der wasserdichten Beschichtung eine Matrix aus einer gesinterten Keramik vorliegt.
4. Beschichtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Dichte der wasserdichten Beschichtung größer 90% ist.
5. Beschichtungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Gewicht der Beschichtung größer oder gleich 90% des theoretischen Gewichts der Beschichtung ist.
6. Beschichtungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die wasserdichte Beschichtung ohne geschlossene Poren ist.

7. Beschichtungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die wasserdichte Beschichtung ohne offene Poren ist.



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/050496

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. C04B41/87 C04B41/00 C04B41/45 C04B41/89 C04B41/52
 F01D5/28
 ADD. C04B111/00
 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)
 C04B F01D

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 9 085 991 B2 (GOLECKI ILAN [US]) 21 July 2015 (2015-07-21) column 7, line 10 - line 25; tables 1,2 -----	1-7
X	EP 2 918 570 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 16 September 2015 (2015-09-16) paragraphs [0019], [0020], [0024], [0028], [0038], [0046], [0052]; figures 1-3; example 1 -----	1,4-7
X	US 2007/075455 A1 (MARINI BONNIE D [US] ET AL) 5 April 2007 (2007-04-05) paragraphs [0002], [0023] - [0028]; figure 4 ----- -/--	1,2,4-7

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"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
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"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 15 March 2017	Date of mailing of the international search report 24/03/2017
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Bonneau, Sébastien
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/050496

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2012/027442 A1 (ROLLS ROYCE CORP [US]; LEE KANG N [US]) 1 March 2012 (2012-03-01) paragraphs [0036], [0040], [0075], [0079], [0083], [0106]; example 4 -----	1-7
X,P	WO 2016/133990 A1 (SIEMENS AG [DE]; SIEMENS ENERGY INC [US]) 25 August 2016 (2016-08-25) paragraph [0041] -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/050496

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 9085991	B2	21-07-2015	NONE

EP 2918570	A2	16-09-2015	BR 102015005097 A2 07-02-2017
			CA 2883818 A1 14-09-2015
			CN 104908396 A 16-09-2015
			EP 2918570 A2 16-09-2015
			JP 2015174821 A 05-10-2015
			US 2016003063 A1 07-01-2016

US 2007075455	A1	05-04-2007	NONE

WO 2012027442	A1	01-03-2012	US 2014261080 A1 18-09-2014
			WO 2012027442 A1 01-03-2012

WO 2016133990	A1	25-08-2016	WO 2016133579 A1 25-08-2016
			WO 2016133580 A1 25-08-2016
			WO 2016133990 A1 25-08-2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	C04B41/87	C04B41/00
	F01D5/28	
ADD.	C04B111/00	
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTER GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
C04B F01D		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 9 085 991 B2 (GOLECKI ILAN [US]) 21. Juli 2015 (2015-07-21) Spalte 7, Zeile 10 - Zeile 25; Tabellen 1,2	1-7
X	EP 2 918 570 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 16. September 2015 (2015-09-16) Absätze [0019], [0020], [0024], [0028], [0038], [0046], [0052]; Abbildungen 1-3; Beispiel 1	1,4-7
X	US 2007/075455 A1 (MARINI BONNIE D [US] ET AL) 5. April 2007 (2007-04-05) Absätze [0002], [0023] - [0028]; Abbildung 4	1,2,4-7
	----- -/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
15. März 2017		24/03/2017
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Bonneau, Sébastien

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2012/027442 A1 (ROLLS ROYCE CORP [US]; LEE KANG N [US]) 1. März 2012 (2012-03-01) Absätze [0036], [0040], [0075], [0079], [0083], [0106]; Beispiel 4 -----	1-7
X,P	WO 2016/133990 A1 (SIEMENS AG [DE]; SIEMENS ENERGY INC [US]) 25. August 2016 (2016-08-25) Absatz [0041] -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/050496

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 9085991	B2	21-07-2015	KEINE
EP 2918570	A2	16-09-2015	BR 102015005097 A2 CA 2883818 A1 CN 104908396 A EP 2918570 A2 JP 2015174821 A US 2016003063 A1
US 2007075455	A1	05-04-2007	KEINE
WO 2012027442	A1	01-03-2012	US 2014261080 A1 WO 2012027442 A1
WO 2016133990	A1	25-08-2016	WO 2016133579 A1 WO 2016133580 A1 WO 2016133990 A1