(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
09. August 2018 (09.08.2018)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/141574 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B32B 18/00 (2006.01) *F01D 5/28* (2006.01)
C04B 38/00 (2006.01) *F01D 9/06* (2006.01)
F01D 5/18 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/051518

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. Januar 2018 (23.01.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 201 505.5
31. Januar 2017 (31.01.2017) DE

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: **CAMPBELL, Christian Xavier**; 6518 Saint John Lane, Charlotte, NC 28210 (US). **LAMPENSCHERF, Stefan**; Cheruskerweg 8, 85586 Poing (DE). **PHAM, Gia Khanh**; Blumenweg 44, 85579 Neubiberg (DE). **WALTER, Steffen**; Steinseestr. 19, 85667 Oberpframmern (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, JO, 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.

WO 2018/141574 A1

(54) **Title:** CMC TURBINE COMPONENT WITH COMPLEX COOLING STRUCTURES AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) **Bezeichnung:** CMC-TURBINENKOMPONENTE MIT KOMPLEXEN KÜHLSTRUKTUREN SOWIE VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG DAZU

FIG 1a

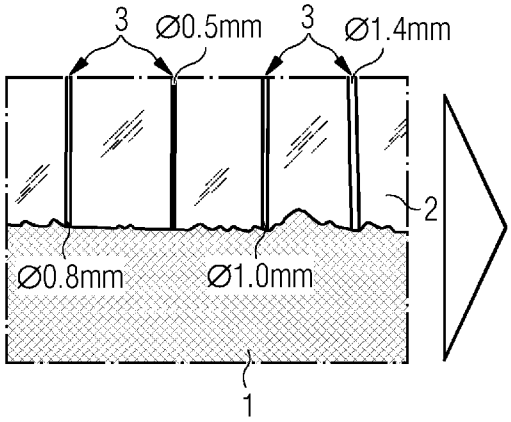
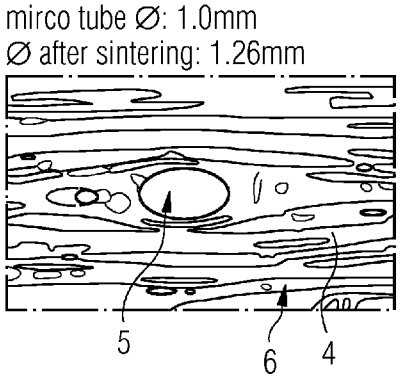


FIG 1b



(57) **Abstract:** The invention relates to a non-metal turbine component, particularly a gas turbine component, for example for stationary gas turbines, consisting of ceramic matrix composite (CMC) materials. A CMC turbine component comprising fine and complex cooling channel structures is provided for the first time by the invention. These cooling channel structures are produced inside the CMC turbine component without said component being subjected to mechanically stressful methods such as etching, milling, cutting etc. This can be seen, for example, on the inner walls of the cooling channels.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft nichtmetallische Turbinenkomponente, insbesondere Gasturbinenkomponente, beispielsweise für stationäre Gasturbinen, aus Ceramic Matrix Composite Materialien (CMCs). Durch die vorliegende Erfindung wird erstmals eine CMC-Turbinenkomponente vorgestellt, die über feine und komplexe Kühlkanalstrukturen verfügt. Diese Kühlkanalstrukturen werden innerhalb der CMC-Turbinenkomponente erzeugt, ohne dass diese mechanisch strapazierenden Verfahren wie Ätzen, Fräsen, Schneiden etc. unterworfen wird. Dies ist beispielsweise an den Innenwänden der Kühlkanäle erkennbar.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(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)*

Beschreibung

CMC-Turbinenkomponente mit komplexen Kühlstrukturen sowie Verfahren zur Herstellung dazu

Die Erfindung betrifft nichtmetallische Turbinenkomponente, insbesondere Gasturbinenkomponente, beispielsweise für stationäre Gasturbinen, aus Ceramic Matrix Composite Materialien (CMCs).

Turbinenkomponenten, insbesondere Turbinenschaufeln, die zumindest teilweise aus CMCs gemacht sind, haben den Vorteil gegenüber metallischen Komponenten, dass sie in stationären Turbinen, wie Gasturbinen, bei deutlich höheren Temperaturen eingesetzt werden können. Das bedeutet, dass mit der Erhöhung der Betriebstemperatur eine Effizienzsteigerung der Gasturbine möglich ist und insbesondere dass unter Umständen Effizienzen größer 63% erreicht werden können. Das CMC Material ist ein keramischer Verbundwerkstoff bestehend aus keramischen Fasern und/oder Fasergeweben, wie beispielsweise Mullit- und/oder Aluminiumoxid-Faser, die oder das in einer keramischen Matrix aus - wiederum beispielsweise - Aluminiumoxid eingebettet ist. Aus der WO 2016/159933 ist eine derartige Turbinenkomponente bekannt.

Doch auch diesem Material sind thermische Grenzen gesetzt, die unter anderem mit der Temperatur, bei der die Verstärkungsfasern eine Rekristallisation beginnen, erreicht sind. Für eine lange Lebensdauer der Gasturbinenkomponente bei den oben genannten Betriebsbedingungen ist daher eine Kühlung unerlässlich.

Geeignete Kühlstrukturen sind zwar für metallische Gasturbinenkomponenten bekannt, nicht jedoch für solche aus - möglicherweise auch noch stark porösen - CMCs. Bislang werden Kühlstrukturen und/oder Kühlkanäle in metallischen Gasturbinenkomponenten, also beispielsweise in Schaufeln und/oder Blades, über Gießprozesse hergestellt.

Dabei kommen nach dem Stand der Technik für innere Kühlstrukturen Gießkerne zum Einsatz, die die filigranen Kühlkanäle und/oder Strukturen während des Metallgusses abbilden und vor allem sich unzugänglich im Inneren der Turbinenkomponente befinden. Kühlkanäle, die von außen zugänglich sind, werden im Gegensatz dazu über Erodieren und/oder Laserbohren eingebracht.

Entsprechend ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Turbinenkomponente zu schaffen, die zumindest teilweise aus CMC ist und im CMC geeignete Kühlstrukturen aufweist, sowie ein Verfahren zur Herstellung von Kühlstrukturen in derartigen Turbinenkomponenten zur Verfügung zu stellen.

Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der vorliegenden Erfindung, wie er in der Beschreibung, den Figuren und den Ansprüchen offenbart ist, gelöst.

Dementsprechend ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung eine Turbinenkomponente, die zumindest zum Teil aus Ceramic Matrix Composite Material mittels eines Laminierverfahrens aufgebaut ist, wobei Platzhalter in das CMC-Prepreg, eine CMC-Prepreg-Vorstufe und/oder das aus CMC-Prepreg-Lagen gebildete Laminat vor und/oder während des Laminierverfahrens eingebracht werden, die beim Sintern der Turbinenkomponente durch Zersetzung und/oder Verdampfen entfernbar sind und definierte Hohlräume im CMC, die als Kühlstrukturen einsetzbar sind, hinterlassen.

Die durch das Entfernen der Platzhalter gebildeten Hohlräume sind je nach Platzhalter identifizierbar, weil sie, anders als nachträglich eingeschnittene, eingeätzte oder eingefräste Kanalstrukturen keine scharfen Kanten aufweisen, sondern glatte Oberflächen. Beispielsweise liegen an den Wänden der nach der Erfindung gebildeten Hohlräume keine abgeschnittenen Fasern vor, sondern die Hohlräume sind in der Regel ohne Schnittschädigung einer keramischen Verstärkungsfaser im CMC

gebildet. Dabei kann natürlich im Einzelfall eine gerissene und/oder abgetrennte Verstärkungsfaser in einem Kühlkanal der fertigen CMC-Komponente nicht ausgeschlossen werden.

Die hier einsetzbaren Platzhalter sind flexibel, biegsam oder auch steif, je nachdem welche Art Kühlkanal im fertigen Bauteil gewünscht ist. Beispielsweise handelt es sich um organisch basierte polymere Plastik-Opfer-Mikroschläuche, Plastik-Opfer-Kanalstrukturen und/oder Plastik-Opfer-Fasern, insbesondere Kohlenstoffbasierte, organische Fasern. Die Materialien der Opfer-Elemente richten sich danach, welche keramischen Verstärkungsfasern und welche keramische Matrix im CMC vorliegt. Entscheidend ist, dass das Opfer-Material mit dem keramischen Material unter Druck und Temperaturerhöhung, wie beispielsweise beim Entbinderungsschritt, vor dem Sinterungsschritt, nicht mit dem keramischen Material abreagieren und dass die dampfförmigen Zersetzungsprodukte des Opfermaterials auch keine Reaktionen und/oder Schäden an der Keramik hervorruft.

Die Opfer-Mikroschläuche sind beispielsweise Kunststoffprodukte, beispielsweise auf Basis organischer, anorganischer und/oder metallorganischer Polymere, die, wiederum beispielsweise, in Form von Schläuchen und/oder spritzgegossenen Kanalstrukturen eingesetzt werden.

Die Opfer-Fasern sind Fasern, Fasergewebe und/oder Faserverbunde, in denen zumindest zwei Arten von Fasern vorliegen, zumindest eine erste Faserart, die unter den Bedingungen der Sinterung der CMC-Komponente stabil bleiben und zumindest eine zweite Faserart, die unter den Bedingungen der Sinterung der CMC-Komponente sich zersetzen undverdampfen. Diese Faserverbunde mit zumindest zwei Arten Fasern nennt man auch Hybridfasern, Hybridfasergewebe und/oder Hybridfaserverbunde.

Dadurch ist es erstmals möglich, Turbinenkomponenten mit komplexen Kühlkanalstrukturen darzustellen. Komplexe Kühlkanalstrukturen liegen in den Turbinenkomponenten bereichsweise

oder durchgehend vor. Dabei können alle Arten von Kühlstrukturen einfach realisiert werden, weil in Bereichen, in denen erhöhte Kühlung vorteilhaft ist eine größere Dichte an Kühlkanalstrukturen vorliegen als in den Bereichen, in denen beispielsweise weniger Kühlkanäle erforderlich sind.

So kann näher am Kern bereichsweise eine höhere Dichte an Kühlstrukturen vorgesehen sein als näher an der Oberfläche des Laminats.

Als „komplexe Kühlkanalstrukturen" werden Kühlluftstrukturen in der Turbinenkomponente verstanden, die sehr dünnwandig ausgebildet sind. Beispielsweise werden Kühlkanalstrukturen in der US 2016/0376957 A1 beschrieben.

Beim Laminierverfahren zur Herstellung der Turbinenkomponente aus CMCs werden in einem ersten Schritt CMC-Prepregs hergestellt, das sind Fasern, Fasergewebe und/oder Faserverbunde, die mit keramischer Matrix infiltriert und/oder imprägniert sind und die auf Pressformen, wie beispielsweise Presskernen, abgelegt, insbesondere in Lagen abgelegt, also laminiert, sind. Als CMC-Prepreg-Laminat wird vorliegend ein Stapel mehrerer CMC-Prepreg-Lagen von imprägniertem Gewebe bezeichnet, das zur Herstellung einer CMC-Turbinenkomponente gesintert wird.

Die eingesetzten Gewebe sollen im fertigen Bauteil erhalten bleiben und deshalb sind die das Gewebe bildenden Fasern entsprechend aus keramischem Material, das gegenüber den Sinterungsprozess-Bedingungen stabil ist. Insbesondere vorteilhaft ist, wenn die Fasern zumindest Anteile aufweisen, die kristallin sind und deren Kristallisation während der Sinterung aufrecht erhalten bleibt, die also weder einer Re-Kristallisation noch einer Änderung der Modifikation durch den Sinterungsprozess unterworfen sind.

In diese CMC-Prepreg-Laminate werden die Platzhalter vorzugsweise eingebracht. Die Platzhalter liegen auch im Inneren der

CMC-Prepreg-Laminate und/oder CMC-Prepreg-Lagen und haben gegebenenfalls eine Anschluß-Öffnung an der Oberfläche. Des Weiteren können Platzhalter CMC-Prepreg-Lagen oder Teile von Lagen durchstoßen. Die CMC-Prepreg-Laminate werden beispielsweise auch um die Platzhalter herum gebildet.

So können vor der Aufbringung einer oberen CMC-Prepreg-Lage in zumindest eine untere CMC-Prepreg-Lage Platzhalter eingebracht werden, die sich nicht über die oberen CMC-Prepreg-Lagen erstrecken. Die Platzhalter können mehrere CMC-Prepreg-Lagen durchstechen und/oder entlang einer CMC-Prepreg-Lage angeordnet sein. Nach dem Sinterungsprozess bilden sich anstelle der Platzhalter Hohlräume aus, die zumindest den Raum der Platzhalter einnehmen, unter Umständen aber, weil die Entfernung der Platzhalter in der Regel während des Entbinderungsschritts unter Gasentwicklung stattfindet, können die Hohlräume auch größer oder kleiner als die in die CMC-Prepreg-Lage eingearbeiteten Platzhalter sein.

Das CMC-Prepreg-Laminat wird in einem zweiten Prozessschritt, vorzugsweise mittels Autoklaven, bei hohem Druck verdichtet und getrocknet.

Ein Laminierverfahren ist beispielsweise aus der WO 2016/159933 bekannt.

Nach dem Sintern wird eine fertige CMC-Komponente erhalten, wobei Fasern, Fasergewebe und/oder Faserverbund, die gegenüber den Bedingungen des Sinterungsprozesses stabil sind, im Wesentlichen unverändert vorliegen, also beispielsweise beim Sintern nicht oder nur unwesentlich rekristallisieren.

Die Hohlräume bilden beispielsweise dünnwandige und/oder komplexe Kanalstrukturen. Diese befinden sich beispielsweise entlang von Fasern, Fasergewebe und/oder Faserverbunde und/oder senkrecht dazu, so dass sie zumindest eine Ebene oder eine Lage, meistens aber mehrere Ebenen oder Lagen senkrecht durchlaufen.

Zur Ausbildung von Mikrokanalstrukturen entlang der Fasern, dem Fasergewebe und/oder den Faserverbunden werden Mikroschläuche mit den Fasern in ein CMC-Prepreg-Laminat eingelegt, die beim Trocknen, Entbindern und/oder beim Sintern des CMCs ausgebrannt werden.

Alternativ oder ergänzend können zu den Mikroschläuchen und/oder den spritzgegossenen Kanalstrukturen auch Hybridfaser, -gewebe und/oder -verbunde in ein CMC-Prepreg-Laminat eingearbeitet werden.

Hybridfaserverbunde sind beispielsweise 3-dimansionale Faserverbunde, in denen zumindest zwei unterschiedliche Fasermaterialien verarbeitet sind, beispielsweise keramische Fasern und Kohlenstofffasern. Das Prinzip dabei ist, dass eine erste Art Faser, beispielsweise eine Keramikfaser stabil gegenüber den Bedingungen der Sinterung ist, wohingegen eine zweite Art Faser während der Sinterung, insbesondere im Entbinderungsschritt entfernbar ist und Hohlräume hinterlässt, die in der fertigen Komponente als Kühlkanal nutzbar sind. Die beiden Faserarten werden beispielsweise zusammen verwoben und/oder geflochten und bilden Hybridstrukturen mit Platzhalter aus Opferfaserkordeln, Opferfasergewebe und/oder Opferfaserverbunde.

Im Flechtverfahren können beliebige 3-dimensionale Faserverbunde mit Platzhaltern zur Bildung der CMC-Prepreg-Lagen eingesetzt werden.

Durch diese Hybridstrukturen können sehr filigrane Kühlkanalstrukturen realisiert werden. Beispielsweise können um die stabilen keramischen Fasern herum die Opferfasern geflochten werden oder umgekehrt, verschiedene Durchmesser an Opferfasern und an stabilen Fasern können kombiniert werden und Gewebe mit Opferfasern verschiedenster Durchmesser können dazu dienen, gewünschte Zonen in der Turbinenkomponente mit diffe-

renzierten Kühlkanalstrukturen nach der Sinterung zu erhalten.

Durch den Einsatz von dünnen Opferfasern, beispielsweise von Kohlenstofffasern mit 500 Denier bis 3000 Denier können entsprechend feine Kühlkanalstrukturen erzeugt werden. Durch den Einsatz entsprechend dickerer Opferfasern, beispielsweise im Bereich 7000 bis 15.000 Denier, können entsprechend größere Kühlkanalstrukturen gebildet werden.

Bei der Verwendung von Opfer-Mikroschläuchen, die während des Sinterprozesses entfernt werden, bilden sich in der fertigen CMC-Komponente beispielsweise Kühlkanäle aus, die einen Durchmesser von 100µm bis 3mm haben, insbesondere von 300µm bis 2mm, besonders bevorzugt im Bereich von 500µm bis 1,5mm.

Durch einen Einbau von Opfer-Mikroschläuchen und/oder Opfer-Kanalstrukturen und/oder Opfer-Fasern in das CMC-Prepreg-Laminat können Kühlkanäle mit den genannten Durchmessern in verschiedenen Bereichen der CMC-Komponente ausgebildet werden.

So wechseln sich beispielsweise Bereiche mit Kühlkanälen und Bereiche ohne Kühlkanäle ab, oder Bereiche mit drei verschiedenen Durchmessern an Kühlkanälen mit Bereichen mit nur einem Durchmesser an Kühlkanälen. Insbesondere filigrane Kühlkanäle und Strukturen, die sich im Inneren der CMC-Komponente befinden, können so hergestellt werden.

Die Kühlkanalstrukturen bilden die Lage der Platzhalter vor dem Sinterprozess nach. Entsprechend können die Kühlkanalstrukturen geflochtener und verwebter Hybridfasern sehr komplexe Strukturen haben, die sich beispielsweise um die Verstärkungsfasern der CMC-Komponente winden.

Im Folgenden wird anhand von ausgewählten Beispielen die Erfindung näher erläutert:

Figur 1a und 1b zeigt eine Fotographie einer CMC-Turbinenkomponente mit Platzhalter vor dem Sinterungsprozess und mit Kühlkanal nach dem Sinterungsprozess.

Figuren 2a bis 2d zeigen schematisch den Laminierprozess unter Einbau von Platzhaltern

Figuren 3a und 3b zeigen einen beispielhaften Hybridfaserverbund a) ohne Laminat in schematischer, perspektivischer Darstellung; b) innerhalb eines CMC-Prepreg-Laminats;

Figuren 4a und 4b zeigen den Einbau von 2D-Hybridgeweben zur Herstellung kleiner Kühlkanalquerschnitte

Figuren 5a und 5b zeigen den Einbau von 2D-Hybridgeweben zur Herstellung großer Kühlkanalquerschnitte

Die Figur 6 schließlich zeigt eine schematische Darstellung eines beispielhaften 3D-Hybridfaserverbunds zum Einbringen in ein CMC-Prepreg-Laminat.

Die Figur 1a zeigt eine Fotographie eines CMC-Prepreg-Laminats vor dem Sinterungsprozess. Zu erkennen ist die Grundstruktur 1, auf der die Prepregs 2 in Lagen während des Laminierverfahrens abgelegt werden. Senkrecht zur Ebene der Lagen kann man als senkrechte Linien die eingebrachten Platzhalter in Form von Mikroschläuchen 3 erkennen, deren Durchmesser mit 0,5mm bis 1,4mm angegeben sind.

Figur 1b zeigt die fertige Turbinenkomponente, nach dem Sinterungsprozess. Der Blickwinkel ist um 90° gedreht, man sieht jetzt von oben entlang des ehemaligen Platzhalters, des Mikroschlauchs. Zu erkennen ist das dort, wo der Platzhalter 3 im Laminat 2 war nun ein Kühlkanal 5 entstanden ist. Die fertig gesinterte CMC-Komponente 4 weist Verstärkungsfasern 6 auf, die gegenüber den Bedingungen der Sinterung (Druck, Temperatur) stabil sind.

Die Figuren 2a bis 2d zeigen den Einbau polymerer Kanalstrukturen in das CMC-Prepreg-Laminat, die mittels Spritzgussprozess herstellbar sind. Figur 2a zeigt den ersten Verfahrensschritt, bei dem auf die Grundstruktur 6 - eine so genannte „core structure" - die CMC-Prepreg-Lagen 7 aufgelegt, also auf laminiert werden. Die Grenzfläche 8 zwischen den einzelnen CMC-Prepreg-Lagen ist ebenfalls zu erkennen. Bei dieser Ausführungsform der Erfindung wird dann, wie in Figur 2b gezeigt, ein Platzhalter 9 in Form einer spritzgegossenen Kanalstruktur in das bereits gebildete CMC-Prepreg-Laminat eingedrückt und in der Grundstruktur 6 in den entsprechenden Vertiefungen 10 verankert.

Figur 2c zeigt - immer im Querschnitt - weitere CMC-Prepreg-Lagen des CMC-Prepreg-Laminats 7, also herkömmliche Lagen aus CMC-Prepreg, wie beispielsweise in der WO 2016/159933 A1 beschrieben, außerhalb des Platzhalters 9, so dass der Platzhalter 9 sich im Inneren des gebildeten CMC-Prepreg-Laminats 7, befindet. Nach Trocknung des CMC-Prepreg-Laminats 7 kann für den Entbinderungs- und Sinterungsprozess die Grundstruktur 6 entfernt werden. Daraus entsteht ein CMC-Prepreg-Laminat 7 mit einem Platzhalter 9, wie in Figur 2d gezeigt.

Die hier gezeigte Kühlkanalstruktur hat Öffnungen 11, wo das CMC-Prepreg-Laminat 7 auf der Grundstruktur 6 auflag und seitlich.

Die Figuren 3a und 3b zeigen die Bildung und den Einbau von Hybridfaser, -Kordeln und/oder -Bändern.

Hier werden beispielsweise dickere Opferfasern 12 mit dünneren keramischen Fasern 13 verflochten und ergeben eine Hybridfaser-Kordel 14, wie in Figur 3a gezeigt.

In Figur 3b ist gezeigt, wie die Hybridfaser-Kordel 14 in das CMC-Prepreg-Laminat 7 beispielsweise zusätzlich zu dem Platzhalter 9 aus Figur 1 und/oder Figur 2 eingebracht wird. Die in Figur 3b dargestellte Querschnittsansicht geht durch das

CMC-Prepreg-Laminat 7 und durch die eingelegte Hybridfaser-Kordel 14.

Die Figuren 4a und 4b zeigen beispielhaft ein 2D-Hybrid-Gewebe 15 aus keramischen Fasern 13 und Opferfasern 12 in ein CMC-Prepreg-Laminat 7, wobei die Opferfaser 12 einen nur kleinen Querschnitt von beispielsweise 1500 Denier hat.

Figur 4a zeigt ein 2-dimensionales Fasergewebe aus keramischer, beispielsweise oxidischer, Faser 13, die sowohl in x- als auch in y-Richtung verlegt ist. In dieses 2-dimensionale Gewebe ist noch eine Opferfaser 12 in y-Richtung hineingewoben.

Figur 4b zeigt eine beispielhafte Lage eines Hybrid-Gewebes 15 in einem CMC-Prepreg-Laminat 7.

Figur 5 zeigt ein anderes Beispiel für ein Hybridgewebe 15, bei dem die Opferfaser 12 einen wesentlich größeren Querschnitt als die keramische Faser 13 hat. Es liegt wieder, wie bei Figur 4a ein Gewebe aus keramischer Faser 13 in x - Richtung und in y-Richtung gewebt, vor, wobei wellenartig eine fette Opferfaser 12a nach der anderen 12b, 12c,… einmal vom keramischen Gewebe 13 bedeckt ist und alternativ einmal auf dem Gewebe 13 zu liegen kommt. Eine „fette" Opferfaser ist beispielsweise eine Kohlenstofffaser in Form eines Rovings mit 10.000 Denier.

Figur 5b zeigt wieder den Einbau dieses Hybridgewebes in ein CMC-Prepreg-Laminat 7, wobei hier die dicken Opferfasern 12 zu erkennen sind.

Figur 6 zeigt einen beispielhaften Hybrid-Faserverbund 16 der durch Verweben von drei Fasern 12, 13 und 17 gebildet wird. Dabei ist frei wählbar, wo im Verbund die Opferfasern 12 und wo die keramischen Fasern 13 liegen, genau wie die Wahl der dritten Faser 17 als Opferfaser oder keramische Faser, weil der Verbund 16 durch Herstellung der gesinterten CMC-

Komponente auch nach dem Entfernen der Opferfasern stabil ist.

Die Herstellung eines Hybridfaser-Verbunds erfolgt beispielsweise über das Flechtverfahren. Dabei können ebenfalls oxidische keramische Fasern mit Kohlenstoff-Fasern verarbeitet werden. Die Kohlenstoff-Fasern können wiederum während der Temperaturbehandlung ausbrennen und ein feines Kanalnetzwerk zur Kühlung einer Komponente erzeugen. Für dieses Herstellungsverfahren wird die keramische Matrix zur Herstellung der CMC-Turbinenkomponente beispielsweise nachträglich in den 3D-Formkörper beispielsweise über ein Transfer-Moulding-Verfahren infiltriert. Dabei ist in der fertigen CMC-Turbinenkomponente erkennbar, dass zumindest ein Kühlkanal oder zumindest ein Teil eines Kühlkanals sich mit den Verstärkungsfasern der CMC-Komponente zu einem Muster ergänzt.

Durch die vorliegende Erfindung wird erstmals eine Turbinenkomponente vorgestellt, die über feine und komplexe Kühlkanalstrukturen verfügt. Diese Kühlkanalstrukturen werden in der CMC-Turbinenkomponente erzeugt, ohne dass diese mechanisch strapazierenden Verfahren wie Ätzen, Fräsen, Schneiden etc. unterworfen wird. Dies ist beispielsweise an den Innenwänden der Kühlkanäle erkennbar.

Patentansprüche

1. CMC-Turbinenkomponente, die zumindest zum Teil aus Ceramic Matrix Composite Material mittels eines Laminierverfahrens aufgebaut ist, wobei Platzhalter in das CMC-Prepreg, eine CMC-Prepreg-Vorstufe und/oder das aus CMC-Prepreg-Lagen gebildete CMC-Prepreg-Laminat vor und/oder während des Laminierverfahrens eingebracht werden, die beim Sintern der Turbinenkomponente durch Zersetzung und/oder Verdampfen entfernbar sind und definierte Hohlräume im CMC-Prepreg-Laminat, die als Kühlkanäle einsetzbar sind, hinterlassen.

2. CMC-Turbinenkomponente nach Anspruch 1, die ein Turbinenblatt oder eine Turbinenschaufel ist.

3. CMC-Turbinenkomponente nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei zumindest ein Kühlkanal oder ein Teil eines Kühlkanals sich mit zumindest einer in der CMC-Turbinenkomponente vorliegenden Verstärkungsfaser oder zumindest einem Teil einer solchen Verstärkungsfaser zu einem Muster ergänzt.

4. CMC-Turbinenkomponente nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei zumindest ein Kühlkanal oder zumindest ein Teil eines Kühlkanals mit zumindest einer Verstärkungsfaser oder zumindest einem Teil einer Verstärkungsfaser der CMC-Komponente ein Flecht- und/oder Webmuster ergibt.

5. CMC-Turbinenkomponente nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei zumindest ein Kühlkanal oder ein Teil eines Kühlkanals mit zumindest einer Verstärkungsfaser oder einem Teil einer Verstärkungsfaser eine Kordel ergibt.

6. CMC-Turbinenkomponente nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei sich zumindest ein Kühlkanal zumindest teilweise mäandernd durch die CMC-Komponente zieht.

7. CMC-Turbinenkomponente nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Innenwände der Kühlkanäle keine scharfen Kanten und/oder abgeschnittene Verstärkungsfasern aufweisen.

8. CMC-Turbinenkomponente nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei im Inneren der CMC-Turbinenkomponente eine Kühlstruktur vorliegt, die zumindest einen Kühlkanal oder einen Teil eines Kühlkanals umfasst, der einen Durchmesser im Bereich von 100µm bis 3 mm hat.

9. Verfahren zur Herstellung einer CMC-Turbinenkomponente, wobei in einem
ersten Verfahrensschritt CMC-Prepreg-Lagen auf eine Grundstruktur laminiert werden; in einem
folgenden Verfahrensschritt Platzhalter in das CMC-Prepreg-Laminat eingebracht werden; in einem darauf
folgenden Sinterungsprozessschritt die Platzhalter durch Entbindern und/oder Sintern entfernt werden und die CMC-Turbinenkomponente gesintert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei in einem Verfahrensschritt vor dem Sinterungsprozessschritt weitere CMC-Prepreg-Lagen auf die mit Platzhalter bestückten CMC-Prepreg-Lagen auf laminiert werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, wobei als Platzhalter Mikroschläuche und/oder spritzgegossene Kanalstrukturen auf Basis organischer, anorganischer und/oder metallorganischer Polymere in das noch nicht gesinterte CMC-Prepreg-Laminat eingebracht werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei die Platzhalter als Opferfasern in Form einer Hybridfaser-Kordel, Hybridfasergewebe und/oder Hybridfaserverbunde eingesetzt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei als Opferfaser eine Kohlenstoff-Faser eingesetzt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 oder 13, wobei als Opferfaser eine Kohlenstoff-Faser mit einem Durchmesser im Bereich von 500 bis 15 000 Denier eingesetzt wird.

FIG 1a

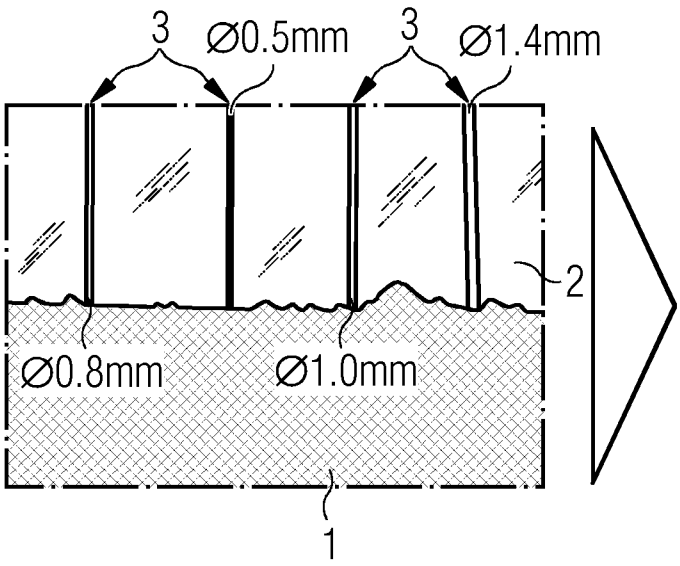


FIG 1b

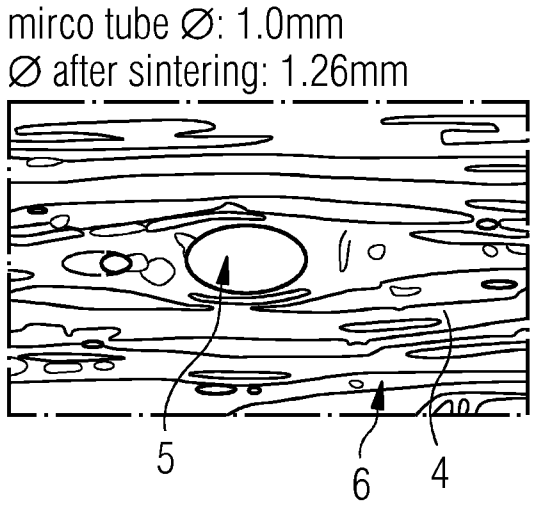


FIG 2a

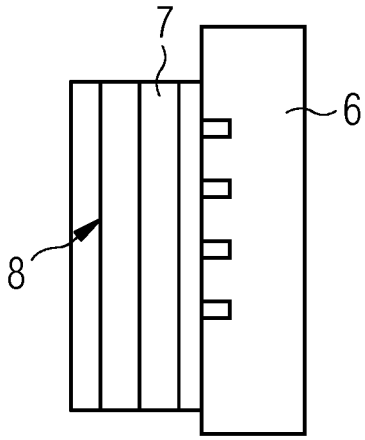


FIG 2b

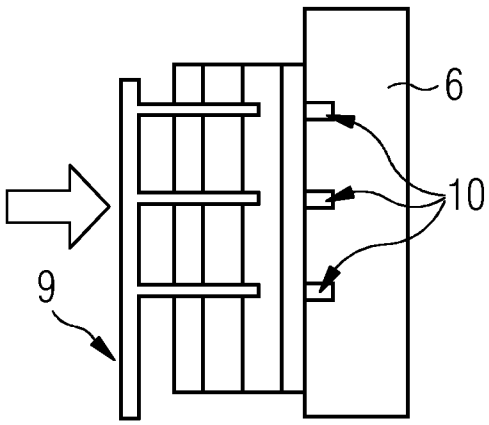


FIG 2c

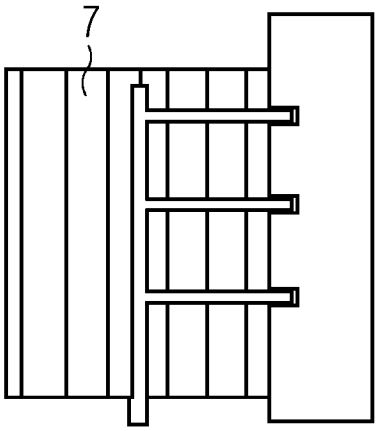


FIG 2d

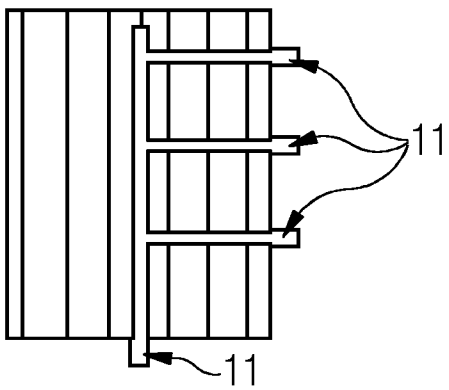


FIG 3a

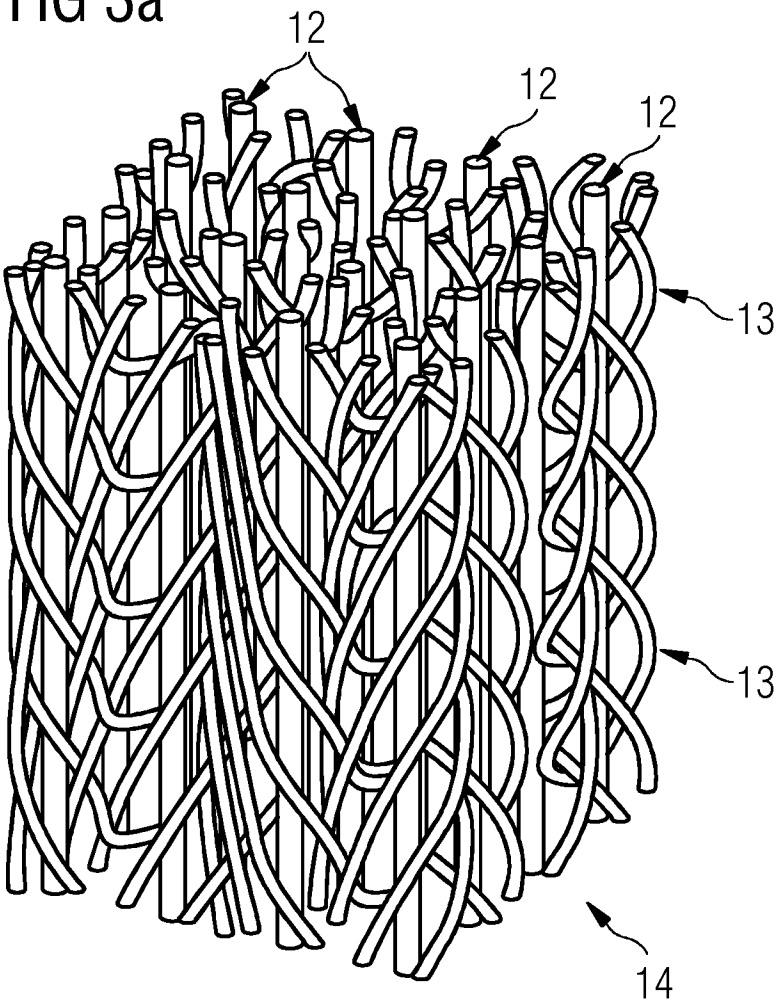


FIG 3b

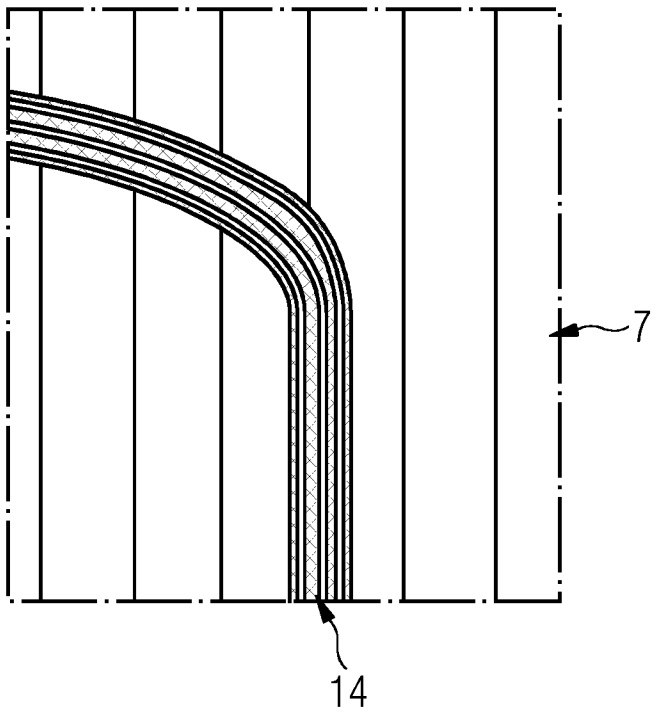


FIG 4a

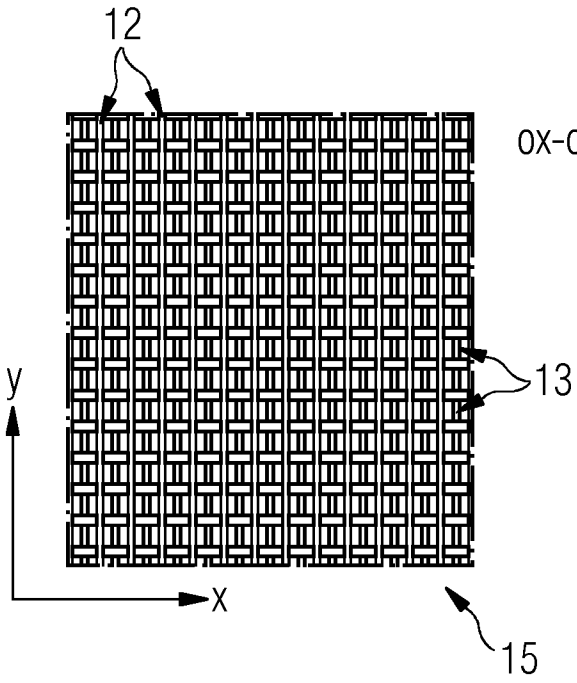


FIG 4b

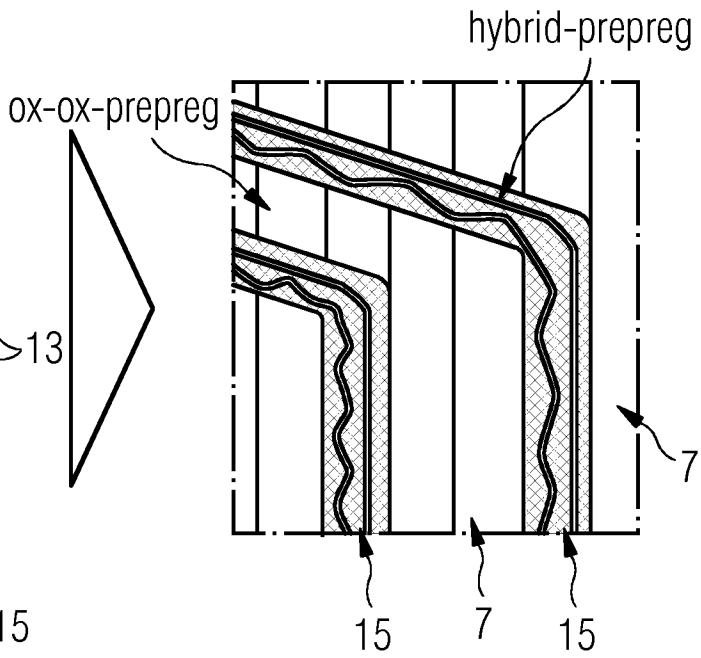


FIG 5a

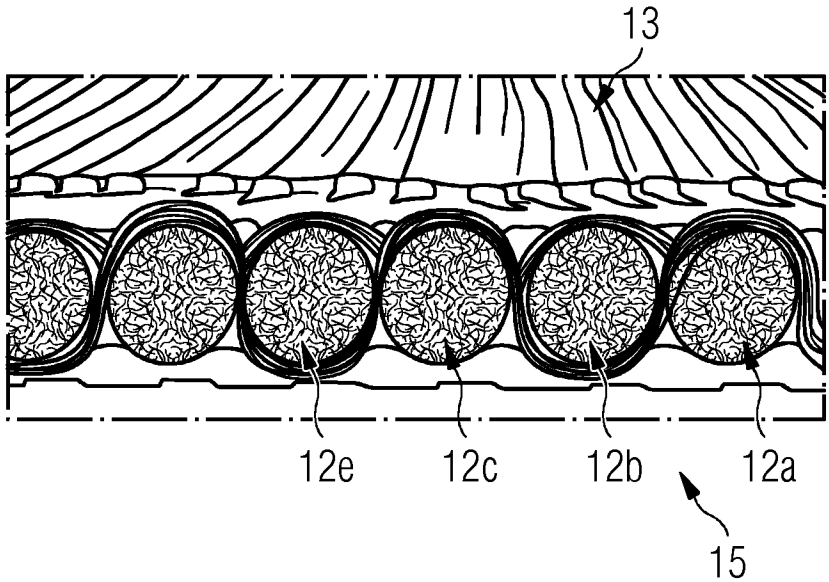


FIG 5b

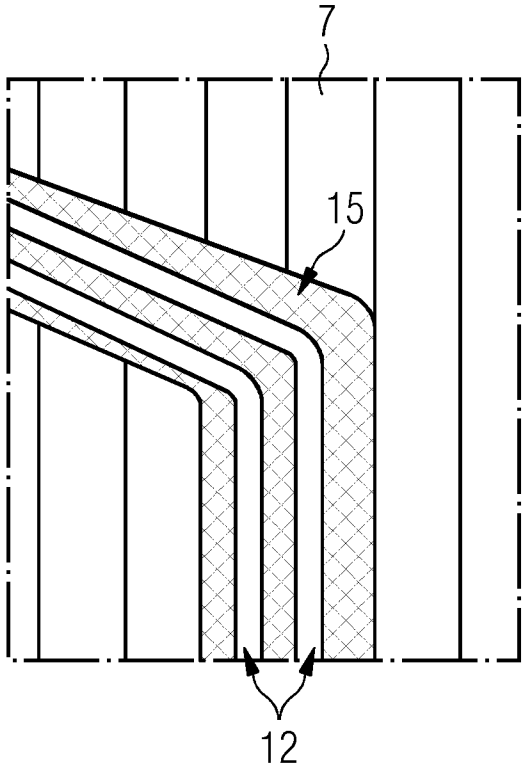
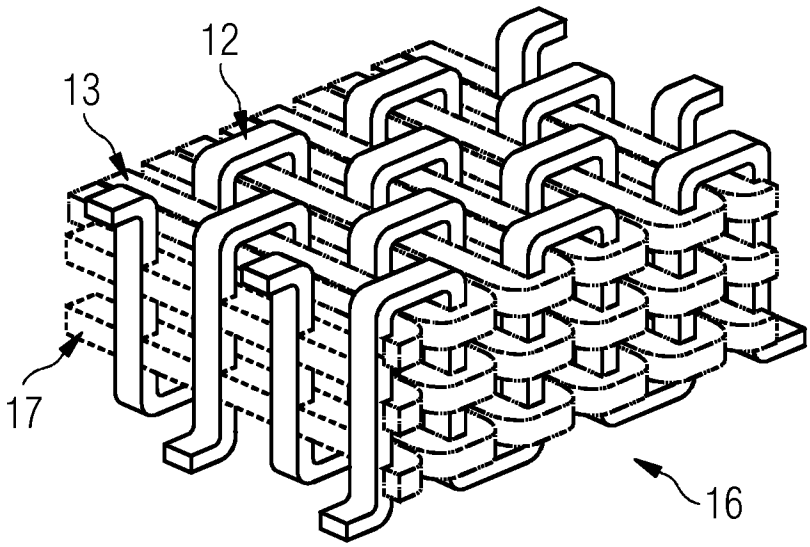


FIG 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2018/051518

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B32B18/00 C04B38/00 F01D5/18 F01D5/28 F01D9/06
ADD.

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)
F01D C04B

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,P	EP 3 255 247 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 13 December 2017 (2017-12-13) paragraphs [0021] - [0023] -----	1-7,9,10
E	WO 2018/017172 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 25 January 2018 (2018-01-25) paragraph [0055] - paragraph [0056]; claims 15,17 -----	1-10
X	EP 3 115 199 A1 (GENERAL ELECTRIC TECHNOLOGY GMBH [CH]) 11 January 2017 (2017-01-11) paragraphs [0055], [0063] - [0068]; claims 8,9,19,31; figures 3,9-14 -----	1-7,9, 10,12,13
X	US 2005/118392 A1 (MILLARD MICHAEL L [US] ET AL) 2 June 2005 (2005-06-02) paragraph [0016]; claims 1-3,11 -----	1-10, 12-14
	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
25 April 2018	07/05/2018

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

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2018/051518

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2016/115086 A1 (TUERTSCHER MICHAEL RAY [US] ET AL) 28 April 2016 (2016-04-28) paragraphs [0027], [0028], [0039]; claims 1,3; figure 1 -----	1-11

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2018/051518

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 3255247 A1	13-12-2017	EP 3255247 A1	13-12-2017
		JP 2018021545 A	08-02-2018
		US 2017350259 A1	07-12-2017
WO 2018017172 A2	25-01-2018	US 2017328217 A1	16-11-2017
		WO 2018017172 A2	25-01-2018
EP 3115199 A1	11-01-2017	CN 106640206 A	10-05-2017
		EP 3115199 A1	11-01-2017
		EP 3115200 A1	11-01-2017
		US 2017009600 A1	12-01-2017
US 2005118392 A1	02-06-2005	NONE	
US 2016115086 A1	28-04-2016	BR 112015028346 A2	25-07-2017
		CA 2913031 A1	04-12-2014
		CN 105308269 A	03-02-2016
		EP 3004559 A1	13-04-2016
		JP 2016522348 A	28-07-2016
		US 2016115086 A1	28-04-2016
		WO 2014193565 A1	04-12-2014

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2018/051518

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B32B18/00 C04B38/00 F01D5/18 F01D5/28 F01D9/06
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F01D C04B

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,P	EP 3 255 247 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 13. Dezember 2017 (2017-12-13) Absätze [0021] - [0023]	1-7,9,10
E	WO 2018/017172 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 25. Januar 2018 (2018-01-25) Absatz [0055] - Absatz [0056]; Ansprüche 15,17	1-10
X	EP 3 115 199 A1 (GENERAL ELECTRIC TECHNOLOGY GMBH [CH]) 11. Januar 2017 (2017-01-11) Absätze [0055], [0063] - [0068]; Ansprüche 8,9,19,31; Abbildungen 3,9-14	1-7,9, 10,12,13
X	US 2005/118392 A1 (MILLARD MICHAEL L [US] ET AL) 2. Juni 2005 (2005-06-02) Absatz [0016]; Ansprüche 1-3,11	1-10, 12-14

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
25. April 2018	07/05/2018

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Raming, Tomas

1

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (April 2005)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2018/051518

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2016/115086 A1 (TUERTSCHER MICHAEL RAY [US] ET AL) 28. April 2016 (2016-04-28) Absätze [0027], [0028], [0039]; Ansprüche 1,3; Abbildung 1 -----	1-11

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2018/051518

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3255247 A1	13-12-2017	EP 3255247 A1	13-12-2017
		JP 2018021545 A	08-02-2018
		US 2017350259 A1	07-12-2017
WO 2018017172 A2	25-01-2018	US 2017328217 A1	16-11-2017
		WO 2018017172 A2	25-01-2018
EP 3115199 A1	11-01-2017	CN 106640206 A	10-05-2017
		EP 3115199 A1	11-01-2017
		EP 3115200 A1	11-01-2017
		US 2017009600 A1	12-01-2017
US 2005118392 A1	02-06-2005	KEINE	
US 2016115086 A1	28-04-2016	BR 112015028346 A2	25-07-2017
		CA 2913031 A1	04-12-2014
		CN 105308269 A	03-02-2016
		EP 3004559 A1	13-04-2016
		JP 2016522348 A	28-07-2016
		US 2016115086 A1	28-04-2016
		WO 2014193565 A1	04-12-2014