

(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  
01. November 2018 (01.11.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2018/196956 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F01D 5/14 (2006.01) F01D 5/28 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/059779

(22) Internationales Anmeldedatum:  
25. April 2017 (25.04.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

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

(72) Erfinder: BUCHAL, Tobias; Blaumeisenweg 4, 40489 Düsseldorf (DE). GREWE, Robert; Rheinstraße 37, 45219 Essen (DE). HOHENSTEIN, Sebastian; Alte Landstraße 83, 40489 Düsseldorf (DE). KUNTE, Robert; Wagnerstr. 7, 40212 Düsseldorf (DE). PAUL, Uwe; Am Waldrand 1, 40882 Ratingen (DE). SCHMID, Gregor; Eugen-Richter-Str. 51, 40470 Düsseldorf (DE). SCHWARZ, Stephan;

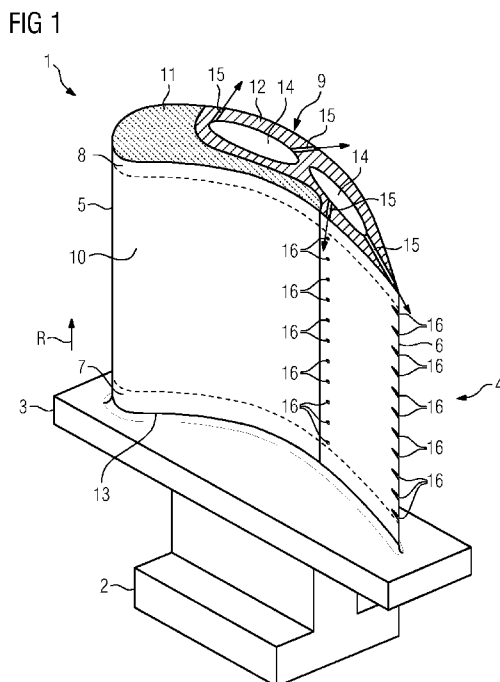
Ulmenstr. 102, 40476 Düsseldorf (DE). VÖLKER, Stefan; Am Domacker 46, 47447 Moers (DE).

(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,

(54) Title: TURBINE BLADE COMPRISING A BLADE CONSISTING OF AT LEAST ONE CERAMIC COMPONENT AND AT LEAST ONE METAL COMPONENT

(54) Bezeichnung: TURBINENSCHAUFEL, DIE EIN SCHAUFELBLATT AUFWEIST, DAS AUS ZUMINDEST EINEM KERAMISCHEN BAUTEIL UND ZUMINDEST EINEM METALLISCHEN BAUTEIL MONTIERT IST



(57) Abstract: The invention relates to a turbine blade (1), particularly a moving blade or a fixed blade, comprising a blade root (2), a platform (3) connected thereto, and a blade (4) connected to the side of the platform (3) that faces away from the root, said blade (4) having a leading edge (5) and a trailing edge (6) that extend in a main direction of extension R from a root region (7) to a tip region (8) of the blade (4), and a suction side (9) and a pressure side (10) that extend between the leading edge (5) and the trailing edge (6), and consisting of at least one ceramic component (11) and at least one metal component (12), the at least one ceramic component (11) defining the leading edge (5) and extending therefrom at least along the pressure side (10).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel 1, insbesondere Lauf- oder Leitschaufel, die einen Schaufelfuß 2, eine sich daran anschließende Plattform 3 und ein sich an der fußabgewandten Seite der Plattform 3 anschließendes Schaufelblatt 4 aufweist, das eine Vorderkante 5 und eine Hinterkante 6, die sich in einer Haupterstreckungsrichtung R von einem Wurzelbereich 7 zu einem Spitzenbereich 8 des Schaufelblatts 4 erstrecken, und eine Saugseite 9 und eine Druckseite 10, die sich zwischen der Vorderkante 5 und der Hinterkante 6 erstrecken, umfasst und aus zumindest einem keramischen Bauteil 11 und zumindest einem metallischen Bauteil 12 montiert ist, wo- bei das zumindest eine keramische Bauteil 11 die Vorderkante 5 definiert und sich ausgehend von dieser zumindest entlang der Druckseite 10 erstreckt.



WO 2018/196956 A1

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

5 Turbinenschaufel, die ein Schaufelblatt aufweist, das aus zumindest einem keramischen Bauteil und zumindest einem metallischen Bauteil montiert ist

10 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel, insbesondere Lauf- oder Leitschaufel, die einen Schaufelfuß, eine sich daran anschließende Plattform und ein sich an der fußabgewandten Seite der Plattform anschließendes Schaufelblatt aufweist, das eine Vorderkante und eine Hinterkante, die sich in einer Haupterstreckungsrichtung von einem Wurzelbereich zu einem Spitzenbereich des Schaufelblatts erstrecken, und eine Saugseite und eine Druckseite, die sich zwischen der Vorderkante und der Hinterkante erstrecken, umfasst und aus zumindest einem keramischen Bauteil und zumindest einem metallischen Bauteil montiert ist.

20

Turbinenschaufeln werden in Strömungsmaschinen, wie zum Beispiel Gasturbinen, eingesetzt. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen rotierenden Laufschaufeln und stationären Leitschaufeln, die ein heißes fluides Arbeitsmedium, insbesondere Gas, in Richtung der Laufschaufeln leiten. Die Temperatur des fluiden Arbeitsmediums liegt in der Regel über den zulässigen Materialtemperaturen der meist metallischen Turbinenschaufeln. Hierdurch können sich Beschädigungen der Turbinenschaufeln ergeben. Bei Gasturbinen nehmen die Temperatur und der Druck des Gasstroms von der Vorderkante zur Hinterkante (axiale Stromabrichtung) eines Turbinenschaufelblatts ab. Während also im Bereich der Hinterkante über die axiale Länge des Schaufelblatts gesehen die niedrigsten Drücke herrschen, ist die Temperatur- und Druckbelastung durch den Gasstrom jeweils an der Vorderkante am größten. Das erzeugt einen hohen Wärmeeintrag aus dem Gasstrom in die Vorderkante. Durch Temperaturgradienten innerhalb einer gekühlten Turbinenschaufel treten insbesondere unerwünschte thermische Spannungen auf. Ne-

ben thermo-mechanischen Belastungen treten auch aerodynamische Belastungen auf, die ihre Ursache in den aerodynamischen Kräften des Gasstroms haben, die auf die Turbinenschaufeln wirken. Zusätzlich treten bei rotierenden Laufschaufeln noch  
5 Zentrifugalkräfte bzw. Fliehkräfte auf. Alle diese Belastungen führen zu lokal unterschiedlichen Zug-, Druck-, Biege- und Scherspannungen in der Turbinenschaufel. Auch wenn in der Beschreibung manchmal auf Gasturbinen Bezug genommen wird, ist dies nur exemplarisch zu sehen, so dass die beschriebenen  
10 Merkmale und deren Vorteile sich auch auf jede beliebige andere Strömungsmaschine beziehen können.

Um insbesondere den während des Betriebs einer Strömungsmaschine auftretenden hohen thermischen Belastungen von Turbinenschaufeln aus metallischen Legierungen entgegenzutreten,  
15 sind unterschiedliche Herangehensweisen bekannt. So werden beispielsweise Nickel-basierte Superlegierungen, teilweise mit einkristalliner oder gerichtet erstarrter Kristallstruktur, eingesetzt, um die zulässige maximale Materialtemperatur der Turbinenschaufeln zu erhöhen. Zudem wird je nach Bedarf eine thermische Schutzschicht auf die metallische Turbinenschaufel aufgebracht. Zusätzlich wird die Turbinenschaufel aktiv gekühlt. Hierbei erfolgt die Kühlung im Inneren der  
20 Turbinenschaufel über konvektive Kühlverfahren sowie Prallkühlung. Bei besonders hohen Temperaturen wird diese noch um eine externe Kühlung in Form einer Filmkühlung ergänzt.

Die zuvor beschriebenen Maßnahmen können den erforderlichen Kühlaufwand für eine metallische Turbinenschaufel nicht entscheidend reduzieren. Um eine metallische Turbinenschaufel  
30 effizienter zu kühlen ist es bekannt, durch Integration zumindest eines keramischen Bauteils, das eine wesentlich geringere Wärmeleitfähigkeit als die der eingesetzten Metalllegierungen aufweist, den metallischen Gesamtanteil der Turbinenschaufel zu reduzieren. Beispielsweise beschreibt die  
35 WO2014/011242 ein Schaufelblatt einer Turbinenschaufel, das aus zumindest einem metallischen Bauteil und zumindest einem keramischen Bauteil montiert ist. Genauer gesagt weist das

Schaufelblatt einen keramischen Hinterkantenbereich und einen metallischen Vorderkantenbereich auf. Während die eingesetzten Metalllegierungen eine Kühlung auf etwa 900°C erfordern, kann Keramik Temperaturen bis 1250°C aushalten. Aufgrund der hohen Temperaturbeständigkeit und der geringen Wärmeleitfähigkeit von Keramik kann in dem keramischen Bauteil ganz oder teilweise auf interne Kühlluftkanäle verzichtet werden. Auch kann ein gekühltes metallisches Bauteil des Schaufelblatts das keramische Bauteil auf 1250°C kühlen, falls die Temperatur des Arbeitsfluids darüber liegt. Verglichen mit einer rein metallischen Turbinenschaufel lässt sich somit Kühlluft sparen, die damit der Verbrennung zur Verfügung steht und entsprechend die Leistung und den Wirkungsgrad der Gasturbine erhöht. Allerdings wird durch die in der WO2014/011242 vorgeschlagene Anordnung des keramischen Bauteils ein Kühlluftersparpotential der Turbinenschaufel nicht vollständig ausgeschöpft. Zudem treten während des Betriebs einer Strömungsmaschine aufgrund der Anordnung des keramischen Bauteils in der WO2014/011242 hohe Zug-, Biege- und Scherspannungen in diesem auf. Dies kann zu einer verringerten Lebensdauer des keramischen Bauteils und somit zu erhöhten Betriebskosten einer Strömungsmaschine führen, da keramische Werkstoffe eine geringere Festigkeit als metallische Werkstoffe gegen diese Spannungen aufweisen.

25

Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Turbinenschaufel mit alternativem Aufbau bereitzustellen.

30

Zur Lösung dieser Aufgabe schafft die vorliegende Erfindung eine Turbinenschaufel der eingangs genannten Art, die dadurch gekennzeichnet ist, dass das zumindest eine keramische Bauteil die Vorderkante definiert und sich ausgehend von dieser zumindest entlang der Druckseite erstreckt.

35

Auf der Druckseite des Schaufelblatts herrschen, wie der Name bereits andeutet, höhere Gas-Drücke als auf der Saugseite, wobei wiederum auf der Druckseite im Bereich der Vorderkante

die höchste Druck- und Temperaturbelastung durch einen Gasstrom auftritt. Denn der Druck und die Temperatur des Gasstroms nimmt, wie bereits zuvor erwähnt, von der Vorderkante zur Hinterkante ab. Somit wird ein hoher Wärmeeintrag aus dem Gasstrom in die Vorderkante erzeugt. Deswegen müssen insbesondere die vorderen Reihen (Reihe 1 und 2) der Turbinenschaufeln einer Strömungsmaschine im Vorderkantenbereich intensiv gekühlt werden. Durch die erfindungsgemäße Anordnung des zumindest einen keramischen Bauteils lässt sich Kühlluft, insbesondere mehr Kühlluft als bei einer Anbringung eines keramischen Bauteils lediglich in einem Hinterkantenbereich, sparen. Diese Kühlluft kann wiederum für die Verbrennung genutzt werden und damit kann die Leistung und der Wirkungsgrad der Strömungsmaschine verbessert werden. Insbesondere kann das keramische Bauteil auf der Druckseite die Turbinenschaufel sehr effizient vor den hohen druckseitigen Gas-Temperaturen schützen, weshalb das zumindest eine metallische Bauteil weniger stark aufgeheizt wird. Somit kann für das zumindest eine metallische Bauteil ein einfacherer und kostengünstigerer Werkstoff benutzt werden. Zudem treten während des Betriebs einer Strömungsmaschine durch die Anordnung des zumindest einen keramischen Bauteils im Bereich der Vorderkante und der Druckseite vornehmlich Druckkräfte und keine oder minimale Zug-, Biege- und Scherkräfte in dem keramischen Bauteil auf. Dadurch werden Beschädigungen, wie beispielsweise Risse, durch Zug-, Biege- und/oder Scherkräfte vermieden oder zumindest verringert. Der hierdurch erzielte verringerte Verschleiß erhöht die Lebensdauer des keramischen Bauteils, wodurch sich die Betriebskosten einer Strömungsmaschine verringern.

Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung erstreckt sich das zumindest eine keramische Bauteil über mindestens 50 %, bevorzugt mindestens 60%, besser noch mindestens 75% der Länge der Druckseite zwischen der Vorderkante und der Hinterkante. Dadurch, dass sich das keramische Bauteil über einen Großteil der Länge der Druckseite erstreckt, kann es die Turbinenschaufel effizient vor den hohen druckseitigen Gas-

Temperaturen schützen, weshalb insbesondere Kühlluft eingespart werden kann.

Vorzugsweise erstreckt sich das zumindest eine keramische Bauteil ausgehend von der Vorderkante entlang der Saugseite, wobei es maximal 60% der Saugseite bildet, bevorzugt maximal 25%. Da in einem Bereich der Hinterkante relativ hohe Temperaturen auftreten, ist es sinnvoll, dass das zumindest eine keramische Bauteil zumindest einen Teil des Bereichs der Hinterkante bildet, um auch dort die Temperaturbeständigkeit der Turbinenschaufel zu erhöhen. Besonders vorteilhaft ist allerdings, wenn das zumindest eine keramische Bauteil nur einen kleinen Teil der Saugseite, d.h. im Wesentlichen den Teil im Bereich der Vorderkante, bildet. Denn im Bereich der Vorderkante sind beispielsweise die Temperaturbelastungen der Turbinenschaufel am größten.

Bevorzugt erstreckt sich das zumindest eine keramische Bauteil ausgehend von der Vorderkante entlang der Druckseite und der Saugseite gleich weit. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn das zumindest eine keramische Bauteil mit dem zumindest einen metallischen Bauteil formschlüssig verbunden ist. Eine derartige formschlüssige Verbindung wird im Folgenden noch näher erläutert.

25

Vorteilhaft ist das zumindest eine keramische Bauteil formschlüssig an dem zumindest einen metallischen Bauteil und/oder an der Plattform befestigt. Beispielsweise kann der Formschluss über einen Schiebesitz in der Plattform erfolgen. Das zumindest eine keramische Bauteil kann in eine entsprechende Ausnehmung der Plattform gesteckt sein. Zusätzlich oder alternativ kann der Formschluss über einen Zapfen erfolgen, über den das keramische Bauteil gelegt ist. Es ist auch denkbar, dass das zumindest eine metallische Bauteil über eine Zapfenverbindung mit der Plattform verbunden ist und das zumindest eine keramische Bauteil, insbesondere über eine schwalbenschwanzartige Verbindung, wiederum formschlüssig mit dem zumindest einen metallischen Bauteil verbunden ist. Eine

rein formschlüssige Verbindung ist insbesondere deshalb vorteilhaft, weil sie eine Relativbewegung zwischen den verbundenen Bauteilen, insbesondere ein axiales gegeneinander Verschieben oder Gleiten der Bauteile, ermöglicht. Dies kann dazu beitragen, dass in dem zumindest einen keramischen Bauteil keine oder nur äußerst geringe Zug-, Biege- und Scherspannungen auftreten. Zudem ist das zumindest eine keramische Bauteil beispielsweise während einer Inspektion leicht austauschbar. In einem Fall, wo sich das zumindest eine keramische Bauteil über einen wesentlichen Teil der Länge der Druckseite erstreckt und sich das zumindest eine metallische Bauteil über einen wesentlichen Teil der Länge der Saugseite erstreckt, können die relativ großen Druckkräfte auf der Druckseite einen Formschluss zwischen dem zumindest einen keramischen Bauteil und dem zumindest einen metallischen Bauteil und damit den Zusammenhalt beider Bauteile unterstützen.

Die Verbindung zwischen dem zumindest einen keramischen Bauteil und dem zumindest einen metallischen Bauteil sollte vorteilhafterweise so gestaltet werden, dass auftretende Zug-, Biege- und Scherspannungen in erster Linie von dem zumindest einen gut gekühlten metallischen Bauteil aufgenommen werden und nicht auf das zumindest eine keramische Bauteil übertragen werden. So treten keine oder nur äußerst geringe Zug-, Biege- und Scherspannungen in dem zumindest einen keramischen Bauteil auf.

Auch wenn eine rein formschlüssige Verbindung aus den zuvor erwähnten Gründen vorteilhaft sein kann, ist es grundsätzlich auch möglich, dass das zumindest eine keramische Bauteil mit dem zumindest einen metallischen Bauteil alternativ oder zusätzlich zu einer formschlüssigen Verbindung über eine Lötverbindung, insbesondere über eine duktile Lötverbindung, oder über eine Verbindung, die auf einem Bindemittel und einem Brennvorgang basiert, verbunden ist. Lötverbindungen, die insbesondere mittels Aktivlöten hergestellt sind, haben im Allgemeinen eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit, wodurch ein optimaler Wärmeaustausch zwischen den verbundenen Bauteilen

erreicht wird. Im Falle einer formschlüssigen Verbindung verhindert eine zusätzliche Lötverbindung eine Relativbewegung zwischen den verbundenen Bauteilen, insbesondere ein axiales gegeneinander Verschieben der Bauteile. Da jedes noch so geringe Spiel zwischen den formschlüssig verbundenen Bauteilen bei einer Schwingung des Schaufelblatts während des Betriebs der Turbinenschaufel normalerweise zu einem erhöhten Verschleiß führt, trägt die Lötverbindung zu einem verringerten Verschleiß der Turbinenschaufel bei. Eine duktile Lötverbindung bietet den zusätzlichen Vorteil, dass während eines Betriebs der Turbinenschaufel auftretende thermische Spannungen, die insbesondere aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen dem zumindest einen metallischen Bauteil und dem zumindest einen keramischen Bauteil entstehen, innerhalb der Lötverbindung aufgenommen werden können. Dies geschieht, indem sich die duktile Lötverbindung elastisch und/oder plastisch verformt.

Bevorzugt ist in dem zumindest einen metallischen Bauteil und/oder zwischen dem zumindest einen keramischen Bauteil und dem zumindest einen metallischen Bauteil zumindest ein Hauptkühlluftkanal ausgebildet, der fluidtechnisch mit der Druckseite und/oder der Saugseite und/oder der Hinterkante verbunden ist. Der zumindest eine Hauptkühlluftkanal erstreckt sich insbesondere in der Haupterstreckungsrichtung des Schaufelblatts und kann sich bevorzugt bis in den Schaufelfuß der Turbinenschaufel hinein oder dadurch hindurch erstrecken. Der zumindest eine Hauptkühlluftkanal bieten den Vorteil, dass sowohl das zumindest eine metallische Bauteil als auch das zumindest eine keramische Bauteil ausreichend gekühlt werden können. Eine Anordnung eines Hauptkühlluftkanals zwischen dem zumindest einen keramischen Bauteil und dem zumindest einen metallischen Bauteil ist besonders vorteilhaft. Denn hierdurch kann die Wärme des während des Betriebs der Turbinenschaufel aufgeheizten zumindest einen keramischen Bauteils unmittelbar an eine diesen Hauptkühlluftkanal durchströmende Kühlluft abgegeben werden, ohne das zumindest eine metallische Bauteil weiter aufzuheizen.

Vorteilhafterweise ist die fluidtechnische Verbindung durch Kühlluftlöcher, insbesondere Kühlluftbohrungen, realisiert, die in dem zumindest einen metallischen Bauteil und/oder in dem zumindest einen keramischen Bauteil ausgebildet sind. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Kühlluftlöcher in dem zumindest einen metallischen Bauteil ausgebildet sind. Denn hierdurch wird die Stabilität des zumindest einen keramischen Bauteils nicht geschwächt. Die Kühlluftlöcher tragen dazu bei, dass sich für das Schaufelblatt eine Reduktion der benötigten Kühlluft von mindestens 70% ergeben kann.

Vorzugsweise sind eine Vielzahl von Kühlluftlöchern benachbart zu einem Übergangsbereich zwischen dem zumindest einen keramischen Bauteil und dem zumindest einen metallischen Bauteil angeordnet. Mittels der Kühlluftlöcher kann somit sowohl ein Teil des zumindest einen keramischen Bauteils als auch ein Teil des zumindest einen metallischen Bauteils gekühlt werden.

Bevorzugt sind Austrittsöffnungen von zumindest einem Teil der Kühlluftlöcher auf der Druckseite, der Saugseite und/oder an der Hinterkante des Schaufelblatts in der Haupterstreckungsrichtung im Wesentlichen entlang einer Geraden und beabstandet zueinander angeordnet. Auch wenn eine derartige Anordnung bevorzugt wird, sind selbstverständlich auch andere Anordnungsmuster denkbar.

Vorteilhaft sind innerhalb eines Kühlluftkanals zwischen dem zumindest einen keramischen Bauteil und dem zumindest einen metallischen Bauteil, der sich insbesondere in der Haupterstreckungsrichtung des Schaufelblatts erstreckt, Abstandshalter, insbesondere in Form von Pins und/oder Streben, vorgesehen. Die Streben können sich hierbei insbesondere über die gesamte Haupterstreckungsrichtung des Schaufelblatts erstrecken. Durch die Auswahl der Länge der Abstandshalter kann die Breite des Kühlluftkanals einfach bestimmt werden. Der Kühlluftkanal kann beispielsweise durch Montage des zumindest ei-

nen keramischen Bauteils mit dem zumindest einen metallischen Bauteil automatisch ausgebildet werden, ohne dass zusätzliche Bohrungen zwingend erforderlich sind.

5 Vorzugsweise ist das zumindest eine metallische Bauteil mit einer metallischen Schicht (Bondcoat) und einer darauffliegenden keramischen Schicht (Thermal Barrier Coating, TBC) beschichtet. Durch solche thermischen Schutzschichten lässt sich die Temperatur des zumindest einen metallischen Bauteils reduzieren. Derartige Beschichtungen tragen also dazu bei, dass sich für das Schaufelblatt eine Reduktion der benötigten Kühlluft von mindestens 70% ergeben kann.

15 Von Vorteil ist auch, wenn das zumindest eine keramische Bauteil ein „Ceramic Matrix Composite“, CMC, -Material aufweist oder daraus besteht. Das CMC-Material steigert die Festigkeit des zumindest einen keramischen Bauteils. Weiterhin ist durch eine gute Hochtemperaturbeständigkeit des CMC-Materials keine oder allenfalls eine geringe Kühlung des zumindest einen keramischen Bauteils notwendig. Damit wird beispielsweise ein Temperaturgradient über die Wanddicke des zumindest einen keramischen Bauteils in den inneren Bereich des Turbinenschau-  
20 felblattes verringert, was die thermisch bedingten Spannungen in dem zumindest einen keramischen Bauteil verringert und damit die Lebensdauer der Turbinenschaukel erhöht.

Bevorzugt besteht das Schaufelblatt aus genau einem keramischen Bauteil und genau einem metallischen Bauteil. Erstreckt sich das keramische Bauteil also beispielsweise ausgehend von der Vorderkante über 75% der Länge der Druckseite und über 25% der Länge der Saugseite zwischen der Vorderkante und der Hinterkante, so erstreckt sich das metallische Bauteil ausgehend von der Hinterkante entsprechend über die verbleibenden  
30 25% der Länge der Druckseite und über die verbleibenden 75% der Länge der Saugseite. In diesem Fall bildet das keramische Bauteil 75% der Druckseite und das metallische Bauteil 75% der Saugseite. Es findet also eine vorteilhafte Aufgabenteil-

lung statt. Denn auf das keramische Bauteil auf der Druckseite wirken vornehmlich Druckkräfte und keine oder nur äußerst geringe schädliche Zug-, Biege- und Scherkräfte. Gleichzeitig schützt das keramische Bauteil das Schaufelblatt der Turbinenschaufel effektiv gegenüber den hohen druckseitigen Temperaturen, insbesondere im Bereich der Vorderkante. Das metallische Bauteil auf der Saugseite nimmt hingegen vornehmlich Zug-, Biege- und Scherspannungen auf.

10 Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand der nachfolgenden Beschreibung verschiedener Ausführungsformen einer Turbinenschaufel gemäß der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung deutlich. Darin ist

15

Figur 1 eine schematische perspektivische Ansicht einer Turbinenschaufel gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

20

Figur 2 eine schematische Ansicht eines Schaufelblatts einer Turbinenschaufel gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Figur 3 eine schematische Ansicht eines Schaufelblatts einer Turbinenschaufel gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

25

Figur 1 zeigt eine schematische perspektivische Ansicht einer Turbinenschaufel 1 gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Bei der in Figur 1 dargestellten Turbinenschaufel 1 handelt es sich um eine Laufschaufel. Es sollte jedoch klar sein, dass es sich in anderen hier nicht dargestellten Ausführungsformen auch um eine Leitschaufel handeln kann. Die Turbinenschaufel 1 weist einen Schaufelfuß 2, eine sich daran anschließende Plattform 3 und ein sich an der fußabgewandten Seite der Plattform 3 anschließendes Schaufelblatt 4 auf. Das Schaufelblatt 4 umfasst eine Vorderkante 5 und eine Hinterkante 6, die sich in einer Hauptstreckungsrichtung R von einem Wurzelbereich 7 zu einem Spitzenbereich 8 des Schaufelblatts 4 erstrecken, und eine Saug-

30

35

seite 9 und eine Druckseite 10, die sich zwischen der Vorderkante 5 und der Hinterkante 6 erstrecken. Das Schaufelblatt 4 ist aus genau einem keramischen Bauteil 11, in diesem Fall aus CMC-Material, und genau einem metallischen Bauteil 12 montiert. Das keramische Bauteil 11 definiert die Vorderkante 5 und erstreckt sich ausgehend von der Vorderkante 5 zumindest entlang der Druckseite 10. Die bis hierin beschriebenen Merkmale der Turbinenschaufel 1 treffen auch auf die beiden weiteren Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel 1 zu, die in den Figuren 2 und 3 gezeigt sind und im Anschluss an diese Beschreibung der ersten Ausführungsform ausführlich beschrieben werden.

Wieder Bezug nehmend auf die in der Figur 1 dargestellte erste Ausführungsform, erstreckt sich das keramische Bauteil 11 ausgehend von der Vorderkante 5 über etwa 60% der Länge der Druckseite 10 zwischen der Vorderkante 5 und der Hinterkante 6, bildet also etwa 60% der Druckseite. Zusätzlich erstreckt sich das keramische Bauteil 11 ebenfalls ausgehend von der Vorderkante 5 über etwa 25% der Länge der Saugseite 9 zwischen der Vorderkante 5 und der Hinterkante 6, bildet also etwa 25% der Saugseite 9. Da das Schaufelblatt 4 nur aus dem keramischen Bauteil 11 und dem metallischen Bauteil 12 besteht, erstreckt sich das metallische Bauteil 12 entsprechend ausgehend von der Hinterkante 6 über die verbleibenden etwa 40% der Länge der Druckseite 10 zwischen der Vorderkante 5 und der Hinterkante 6. Zudem erstreckt sich das metallische Bauteil 12 ausgehend von der Hinterkante 6 über die verbleibenden etwa 75% der Länge der Saugseite 9 zwischen der Vorderkante 5 und der Hinterkante 6.

Das keramische Bauteil 11 ist formschlüssig an der Plattform 3 befestigt, indem es in eine entsprechende Ausnehmung 13 der Plattform 3 gesteckt ist. Somit ist das keramische Bauteil 11 leicht austauschbar und es wird ein gegeneinander Gleiten oder Verschieben der beiden Bauteile 11, 12 ermöglicht. Da sich das keramische Bauteil 11 über einen wesentlichen Teil der Länge der Druckseite 10 erstreckt und sich das metalli-

sche Bauteil 12 über einen wesentlichen Teil der Länge der Saugseite 9 erstreckt, unterstützen die relativ großen Druckkräfte auf der Druckseite 10 die Verbindung der beiden Bauteile 11, 12.

5

In dem metallischen Bauteil 12 sind zwei Hauptkühlluftkanäle 14 ausgebildet. Einer der beiden Hauptkühlluftkanäle 14 ist über eine Vielzahl von Kühlluftlöchern 15, die in dem metallischen Bauteil 12 ausgebildet sind, fluidtechnisch mit der Saugseite 9 des Schaufelblatts 4 verbunden. Der andere Hauptkühlluftkanal 14 ist über eine Vielzahl von weiteren Kühlluftlöchern 15, die ebenfalls in dem metallischen Bauteil 12 ausgebildet sind, mit der Druckseite 10 beziehungsweise mit der Hinterkante 6 des Schaufelblatts 4 verbunden. Sowohl die druckseitigen als auch ein Teil der sogseitigen Kühlluftlöcher 15 sind benachbart zu einem Übergangsbereich zwischen dem metallischen Bauteil 12 und dem keramischen Bauteil 11 angeordnet. Austrittsöffnungen 16 der Kühlluftlöcher 15 sind auf der Druckseite 10, der Saugseite 9 und an der Hinterkante 6 in der Haupterstreckungsrichtung R des Schaufelblatts 4 jeweils im Wesentlichen entlang einer Geraden und beabstandet zueinander angeordnet. Insgesamt gibt es drei Reihen von Kühlluftöffnungen 16, wovon die sogseitige Reihe darstellungsbedingt der Figur 1 nicht zu entnehmen ist. Beide Hauptkühlluftkanäle 14 erstrecken sich in der Haupterstreckungsrichtung R des Schaufelblatts 4. Die Pfeile an den Kühlluftlöchern 15 in der Figur 1 sollen eine mögliche Strömungsrichtung von Kühlluft andeuten. Dadurch, dass das keramische Bauteil 11 in der ersten Ausführungsform einen Großteil der Druckseite 10 bildet, kann es die Turbinenschaufel effizient vor den hohen druckseitigen Temperaturen schützen. Gleichzeitig erhöht sich die Lebensdauer des keramischen Bauteils 11, da es vornehmlich Druckkräften und nur in geringem Maße Zug-, Biege- und Scherkräften ausgesetzt ist.

35

In der ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel 1 ist das metallische Bauteil 12 noch zusätzlich mit einer metallischen Schicht (Bondcoat) und einer

daraufliegenden keramischen Schicht (Thermal Barrier Coating, TBC) beschichtet, um eine Erwärmung der Turbinenschaufel 1 während ihres Betriebs weiter zu minimieren.

5 Figur 2 zeigt eine schematische Ansicht eines Schaufelblatts 4 einer Turbinenschaufel 1 gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das keramische Bauteil 11 erstreckt sich ausgehend von der Vorderkante 5 über etwa 60% der Länge der Länge der Druckseite 10 zwischen der Vorderkan-  
10 te 5 und der Hinterkante 6. Zusätzlich erstreckt sich das keramische Bauteil 11 ebenfalls ausgehend von der Vorderkante 5 über etwa 60% der Länge der Saugseite 9 zwischen der Vorderkante 5 und der Hinterkante 6. Das keramische Bauteil 11 erstreckt sich also entlang der Druckseite 10 und der Saugseite  
15 9 gleich weit. Da das Schaufelblatt 4 nur aus dem keramischen Bauteil 11 und dem metallischen Bauteil 12 besteht, erstreckt sich das metallische Bauteil 12 ausgehend von der Hinterkante 6 über die jeweils verbleibenden etwa 40% der Länge der Druckseite 10 und der Länge der Saugseite 9 zwischen der Vor-  
20 derkante 5 und der Hinterkante 6.

Das metallische Bauteil 12 ist über eine Zapfenverbindung 17 formschlüssig mit der Plattform 3 verbunden und das keramische Bauteil 11 ist wiederum über eine schwalbenschwanzartige  
25 Verbindung 18 formschlüssig mit dem metallischen Bauteil 12 verbunden. Zusätzlich ist das keramische Bauteil 11 über eine Verbindung, die auf einem Bindemittel und einem Brennvorgang basiert, mit dem metallischen Bauteil 12 verbunden. Alternativ wäre es auch möglich, eine Lötverbindung vorzusehen.  
30 Durch die zweifache Befestigung ist das keramische Bauteil 11 besonders sicher mit dem metallischen Bauteil 12 verbunden.

In dem metallischen Bauteil 12 ist ein Hauptkühlluftkanal 14 ausgebildet, der über eine Vielzahl von Kühlluftlöchern 15,  
35 die in dem metallischen Bauteil 12 ausgebildet sind, fluidtechnisch mit der Saugseite 9, der Druckseite 10 und mit der Hinterkante 6 des Schaufelblatts 4 verbunden sind. Sowohl die druckseitigen als auch die sogseitigen Kühlluftlöcher 15 sind

benachbart zu einem Übergangsbereich zwischen dem metallischen Bauteil 12 und dem keramischen Bauteil 11 angeordnet. Austrittsöffnungen 16 der Kühlluftlöcher 15 sind auf der Druckseite 10, der Saugseite 9 und an der Hinterkante 6 in  
5 der Hauptstreckungsrichtung R des Schaufelblatts 4 jeweils im Wesentlichen entlang einer Geraden und beabstandet zueinander angeordnet. Insgesamt gibt es drei Reihen von Kühlluftöffnungen 16. In der Figur 2 ist aufgrund der Perspektive jeweils nur ein Kühlluftloch 15 aus jeder der drei Reihen zu  
10 erkennen. Der Hauptkühlluftkanal 14 erstreckt sich in der Hauptstreckungsrichtung R des Schaufelblatts 4. Die Pfeile an den Kühlluftlöchern 15 in der Figur 2 sollen eine mögliche Strömungsrichtung von Kühlluft andeuten.

15 Figur 3 zeigt eine schematische Ansicht eines Schaufelblatts 4 einer Turbinenschaufel 1 gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Hier erstreckt sich das keramische Bauteil 11 ausgehend von der Vorderkante 5 über etwa 75% der Länge der Druckseite 10 zwischen der Vorderkante 5  
20 und der Hinterkante 6. Zusätzlich erstreckt sich das keramische Bauteil 11 ebenfalls ausgehend von der Vorderkante 5 über etwa 25% der Länge der Saugseite 9 zwischen der Vorderkante 5 und der Hinterkante 6. Da das Schaufelblatt 4 nur aus dem keramischen Bauteil 11 und dem metallischen Bauteil 12  
25 besteht, erstreckt sich das metallische Bauteil 12 entsprechend ausgehend von der Hinterkante 6 über die verbleibenden etwa 25% der Länge der Druckseite 10 beziehungsweise die verbleibenden etwa 75% der Länge der Saugseite 9 zwischen der  
30 Vorderkante 5 und der Hinterkante 6.

In dieser dritten Ausführungsform kann das keramische Bauteil 11 auf unterschiedliche Weise mit dem metallischen Bauteil 12 verbunden sein. Beispielsweise kann das keramische Bauteil 11 formschlüssig an der Plattform 3 befestigt und/oder mit dem  
35 metallischen Bauteil 12 über eine duktile Lötverbindung verbunden sein. Obwohl es auf die genaue Verbindungsart in dieser Ausführungsform nicht ankommt, kann es vorteilhaft sein,

eine Verbindung zu wählen, die eine gewisse Relativbewegung zwischen den beiden verbundenen Bauteilen 11, 12 ermöglicht.

In dem metallischen Bauteil 12 ist ein Hauptkühlluftkanal 14  
5 ausgebildet, der sich in der Haupterstreckungsrichtung R des  
Schaufelblatts 4 erstreckt und über eine Vielzahl von Kühl-  
luftlöchern 15, die in dem metallischen Bauteil 12 ausgebil-  
det sind, fluidtechnisch mit der Saugseite 9 des Schaufel-  
blatts 4 verbunden ist. Ein zweiter Hauptkühlluftkanal 14 ist  
10 zwischen dem keramischen Abschnitt 11 und dem metallischen  
Abschnitt 12 ausgebildet und erstreckt sich ebenfalls in der  
Haupterstreckungsrichtung R des Schaufelblatts 4. Innerhalb  
des zweiten Hauptkühlluftkanals 14 sind Abstandshalter 19 in  
Form von Streben vorgesehen. Die Streben 19 erstrecken sich  
15 in der Haupterstreckungsrichtung R des Schaufelblatts 4 über  
die gesamte Länge des zweiten Hauptkühlluftkanals 14. In der  
Figur 3 sind die Streben 19 angedeutet, deren Länge aller-  
dings aus Gründen der Darstellungsperspektive nicht zu erken-  
nen. Der zweite Hauptkühlluftkanal 14 ist über eine Vielzahl  
20 von Kühlluftlöchern 15 mit der Hinterkante 6 fluidtechnisch  
verbunden. Zusätzlich ist der zweite Hauptkühlluftkanal 14 an  
den in der Figur 3 kenntlich gemachten Positionen I und II  
mit der Saugseite 9 und der Druckseite 10 fluidtechnisch ver-  
bunden. Auf der Saugseite 9 und an der Hinterkante 6 sind  
25 Austrittsöffnungen 16 der Kühlluftlöcher 15 in der Haupt-  
erstreckungsrichtung R des Schaufelblatts 4 jeweils im Wesent-  
lichen entlang einer Geraden und beabstandet zueinander ange-  
ordnet. Insgesamt gibt es drei Reihen von Kühlluftöffnungen  
16, zwei auf der Saugseite 9 und eine an der Hinterkante 6.  
30 In der Figur 3 ist aufgrund der Perspektive jeweils nur ein  
Kühlluftloch 15 aus jeder der drei Reihen zu erkennen. Beide  
Hauptkühlluftkanäle 14 erstrecken sich in der Haupterstre-  
ckungsrichtung R des Schaufelblatts 4. Die Pfeile an den  
Kühlluftlöchern 15 in der Figur 1 sollen eine mögliche Ström-  
35 mungsrichtung von Kühlluft andeuten.

Dadurch, dass das keramische Bauteil 11 in der dritten Aus-  
führungsform einen Großteil der Druckseite 10 bildet, kann es

die Turbinenschaufel 1 effizient vor den hohen druckseitigen Temperaturen schützen. Gleichzeitig erhöht sich die Lebensdauer des keramischen Bauteils 11, da es vornehmlich Druckkräften und nur in geringem Maße Zug-, Biege- und Scherkräften ausgesetzt ist. Zudem bietet der Hauptkühlluftkanal 14 zwischen dem keramischen Bauteil 11 und dem metallischen Bauteil 12 den Vorteil, dass beispielsweise Wärme des während des Betriebs der Turbinenschaufel 1 aufgeheizten keramischen Abschnitts 11 unmittelbar an eine diesen Hauptkühlluftkanal 14 durchströmende Kühlluft abgegeben werden kann, ohne das metallische Bauteil 12 weiter aufzuheizen.

Bezüglich weiterer Vorteile der im Zusammenhang mit der Beschreibung der drei Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel erwähnten Merkmale oder Merkmalskombinationen wird auf den allgemeinen Beschreibungsteil verwiesen.

Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

## Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (1), insbesondere Lauf- oder Leitschaufel, die einen Schaufelfuß (2), eine sich daran anschließende Plattform (3) und ein sich an der fußabgewandten Seite der Plattform (3) anschließendes Schaufelblatt (4) aufweist, das eine Vorderkante (5) und eine Hinterkante (6), die sich in einer Hauptstreckungsrichtung R von einem Wurzelbereich (7) zu einem Spitzenbereich (8) des Schaufelblatts (4) erstrecken, und eine Saugseite (9) und eine Druckseite (10), die sich zwischen der Vorderkante (5) und der Hinterkante (6) erstrecken, umfasst und aus zumindest einem keramischen Bauteil (11) und zumindest einem metallischen Bauteil (12) montiert ist, dadurch gekennzeichnet, dass das zumindest eine keramische Bauteil (11) die Vorderkante (5) definiert und sich ausgehend von dieser zumindest entlang der Druckseite (10) erstreckt.
2. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich das zumindest eine keramische Bauteil (11) über mindestens 50 %, bevorzugt mindestens 60%, besser noch mindestens 75% der Länge der Druckseite (10) zwischen der Vorderkante (5) und der Hinterkante (6) erstreckt.
3. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich das zumindest eine keramische Bauteil (11) ausgehend von der Vorderkante (5) entlang der Saugseite (9) erstreckt, wobei es maximal 60% der Saugseite (9) bildet, bevorzugt maximal 25%.

4. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

5 sich das zumindest eine keramische Bauteil (11) ausgehend von der Vorderkante (5) entlang der Druckseite (10) und der Saugseite (9) gleich weit erstreckt.

10 5. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

das zumindest eine keramische Bauteil (11) formschlüssig an dem zumindest einen metallischen Bauteil (12) und/oder an der Plattform (3) befestigt ist.

15

6. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

20 das zumindest eine keramische Bauteil (11) mit dem zumindest einen metallischen Bauteil (12) über eine Lötverbindung, insbesondere über eine duktile Lötverbindung, oder über eine Verbindung, die auf einem Bindemittel und einem Brennvorgang basiert, verbunden ist.

25 7. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

30 in dem zumindest einen metallischen Bauteil (12) und/oder zwischen dem zumindest einen keramischen Bauteil (11) und dem zumindest einen metallischen Bauteil (12) zumindest ein Hauptkühlluftkanal (14) ausgebildet ist, der fluidtechnisch mit der Druckseite (10) und/oder der Saugseite (9) und/oder der Hinterkante (6) verbunden ist und sich insbesondere in der Haupterstreckungsrichtung R des Schaufelblatts (4) erstreckt.

35

8. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die fluidtechnische Verbindung durch Kühlluftlöcher (15),  
insbesondere Kühlluftbohrungen, realisiert ist, die in dem  
5 zumindest einen metallischen Bauteil (12) und/oder in dem zu-  
mindest einen keramischen Bauteil (11) ausgebildet sind.

9. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 8,  
10 dadurch gekennzeichnet, dass  
eine Vielzahl von Kühlluftlöchern (15) benachbart zu einem  
Übergangsbereich zwischen dem zumindest einen keramischen  
Bauteil (11) und dem zumindest einen metallischen Bauteil  
(12) angeordnet sind.

15 10. Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 8 und 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
Austrittsöffnungen (16) von zumindest einem Teil der Kühl-  
luftlöcher (15) auf der Druckseite (10), der Saugseite (9)  
20 und/oder an der Hinterkante (6) des Schaufelblatts (4) in der  
Haupterstreckungsrichtung R im Wesentlichen entlang einer Ge-  
raden und beabstandet zueinander angeordnet sind.

11. Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 10,  
25 dadurch gekennzeichnet, dass  
innerhalb eines Kühlluftkanals (14) zwischen dem zumindest  
einen keramischen Bauteil (11) und dem zumindest einen metal-  
lischen Bauteil (12) Abstandshalter (19), insbesondere in  
Form von Pins und/oder Streben, vorgesehen sind.

30 12. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden An-  
sprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das zumindest eine metallische Bauteil (12) mit einer metal-  
35 lischen Schicht und einer daraufliegenden keramischen Schicht  
beschichtet ist.

13. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das zumindest eine keramische Bauteil ein CMC-Material auf-  
5 weist oder daraus besteht.

14. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
10 das Schaufelblatt (4) aus genau einem keramischen Bauteil  
(11) und genau einem metallischen Bauteil (12) besteht.



FIG 2

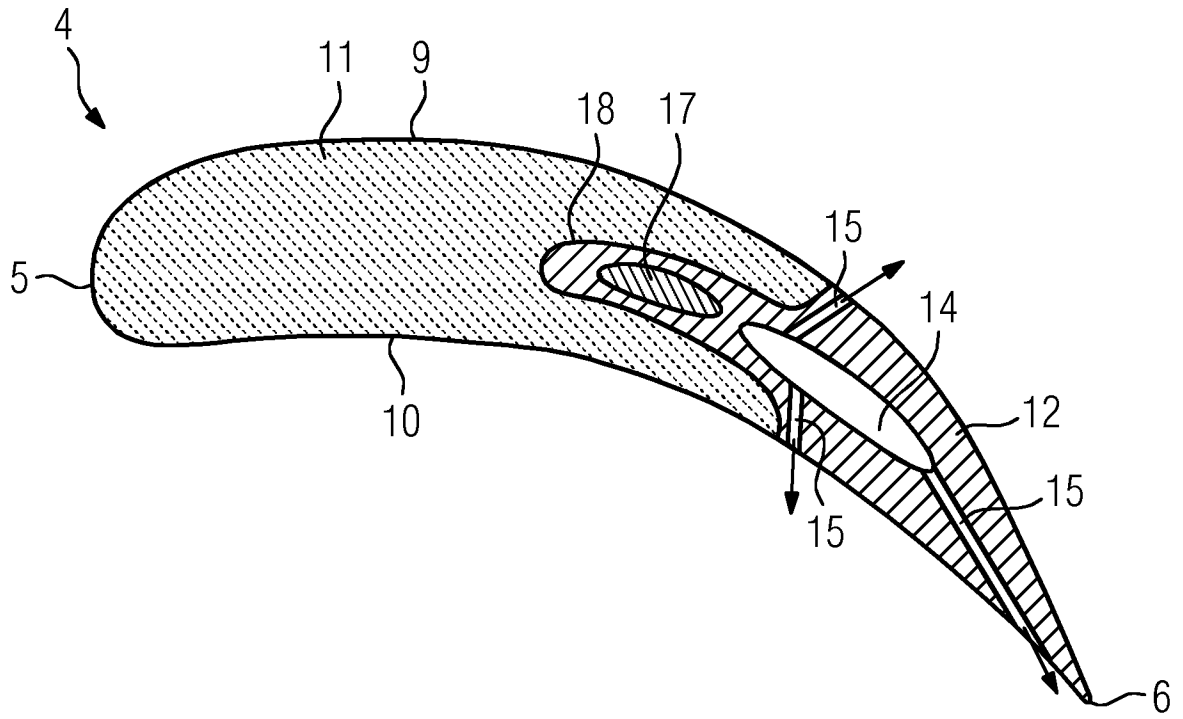
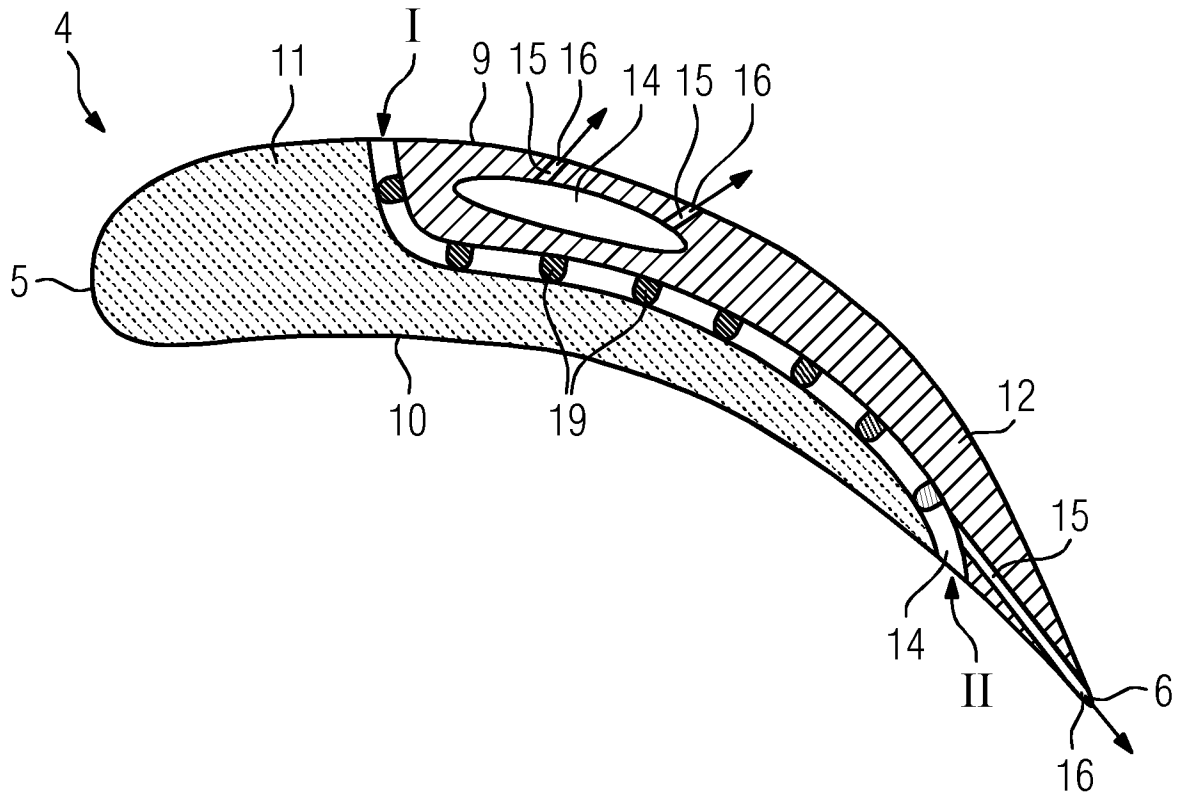


FIG 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/059779

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. F01D5/14 F01D5/28  
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  
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 2016/222806 A1 (JENNINGS AARON P [US]) 4 August 2016 (2016-08-04)	1,5, 7-11,13, 14
Y	paragraphs [0004], [0035] - [0045], [0049]; figures 1, 2	6,12
X	US 2008/159851 A1 (MONIZ THOMAS ORY [US] ET AL) 3 July 2008 (2008-07-03)	1,3-5,14
Y	paragraphs [0020] - [0024]; figure 3	6,12
X	US 5 358 379 A (PEPPERMAN BARTON M [US] ET AL) 25 October 1994 (1994-10-25)	1,3-5, 7-10,14
Y	column 2, lines 53-65; figures 2, 7 column 4, lines 49-52, 63-66	6,12
X	US 2006/226290 A1 (CAMPBELL CHRISTIAN X [US]) 12 October 2006 (2006-10-12)	1-5,7, 11,13,14
Y	paragraphs [0054] - [0055]; figure 6	6,12
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search  14 December 2017	Date of mailing of the international search report  22/12/2017
---	--

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  Ketelheun, Anja
--	---

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/059779

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 2015/108592 A2 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 23 July 2015 (2015-07-23)	1,3-5, 13,14
Y	paragraphs [0052] - [0053]; figure 2 -----	6,12
X	EP 2 322 762 A1 (SIEMENS AG [DE]) 18 May 2011 (2011-05-18)	1,2, 7-11,13, 14
Y	paragraph [0048]; figure 6 -----	6,12
Y	EP 3 124 747 A1 (ROLLS-ROYCE CORP [US]; ROLLS-ROYCE NORTH AMERICAN TECH INC [US]) 1 February 2017 (2017-02-01) paragraphs [0032] - [0033], [0075]; figure 5 -----	6,12
E	WO 2017/074372 A1 (SIEMENS ENERGY INC [US]) 4 May 2017 (2017-05-04) paragraphs [0024] - [0048]; figures 21, 22 -----	1,3-6,14
E	US 2017/254206 A1 (SCHETZEL TARA G [US] ET AL) 7 September 2017 (2017-09-07)  paragraphs [0033] - [0048]; figure 3 -----	1,2,4,5, 7-11,13, 14

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2017/059779
---

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2016222806	A1	04-08-2016	NONE	
-----				
US 2008159851	A1	03-07-2008	CA 2615508 A1	29-06-2008
			EP 1942253 A2	09-07-2008
			JP 2008163950 A	17-07-2008
			KR 20080063131 A	03-07-2008
			US 2008159851 A1	03-07-2008
-----				
US 5358379	A	25-10-1994	AU 672922 B2	17-10-1996
			CA 2134420 A1	28-04-1995
			CN 1107934 A	06-09-1995
			JP H07180504 A	18-07-1995
			US 5358379 A	25-10-1994
-----				
US 2006226290	A1	12-10-2006	US 2006226290 A1	12-10-2006
			US 2009003988 A1	01-01-2009
-----				
WO 2015108592	A2	23-07-2015	EP 3071793 A2	28-09-2016
			US 2016245098 A1	25-08-2016
			WO 2015108592 A2	23-07-2015
-----				
EP 2322762	A1	18-05-2011	EP 2322762 A1	18-05-2011
			WO 2011058043 A1	19-05-2011
-----				
EP 3124747	A1	01-02-2017	CA 2935398 A1	31-01-2017
			EP 3124747 A1	01-02-2017
			US 2017030199 A1	02-02-2017
-----				
WO 2017074372	A1	04-05-2017	NONE	
-----				
US 2017254206	A1	07-09-2017	NONE	
-----				

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. F01D5/14 F01D5/28  
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 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 2016/222806 A1 (JENNINGS AARON P [US]) 4. August 2016 (2016-08-04)	1,5, 7-11,13, 14
Y	Absätze [0004], [0035] - [0045], [0049]; Abbildungen 1, 2	6,12
X	US 2008/159851 A1 (MONIZ THOMAS ORY [US] ET AL) 3. Juli 2008 (2008-07-03)	1,3-5,14
Y	Absätze [0020] - [0024]; Abbildung 3	6,12
X	US 5 358 379 A (PEPPERMAN BARTON M [US] ET AL) 25. Oktober 1994 (1994-10-25)	1,3-5, 7-10,14
Y	Spalte 2, Zeilen 53-65; Abbildungen 2, 7 Spalte 4, Zeilen 49-52, 63-66	6,12
X	US 2006/226290 A1 (CAMPBELL CHRISTIAN X [US]) 12. Oktober 2006 (2006-10-12)	1-5,7, 11,13,14
Y	Absätze [0054] - [0055]; Abbildung 6	6,12
	----- -/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen  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 er-  
scheinen 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

14. Dezember 2017

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

22/12/2017

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

Ketelheun, Anja

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2015/108592 A2 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 23. Juli 2015 (2015-07-23)	1,3-5, 13,14
Y	Absätze [0052] - [0053]; Abbildung 2 -----	6,12
X	EP 2 322 762 A1 (SIEMENS AG [DE]) 18. Mai 2011 (2011-05-18)	1,2, 7-11,13, 14
Y	Absatz [0048]; Abbildung 6 -----	6,12
Y	EP 3 124 747 A1 (ROLLS-ROYCE CORP [US]; ROLLS-ROYCE NORTH AMERICAN TECH INC [US]) 1. Februar 2017 (2017-02-01) Absätze [0032] - [0033], [0075]; Abbildung 5 -----	6,12
E	WO 2017/074372 A1 (SIEMENS ENERGY INC [US]) 4. Mai 2017 (2017-05-04) Absätze [0024] - [0048]; Abbildungen 21, 22 -----	1,3-6,14
E	US 2017/254206 A1 (SCHETZEL TARA G [US] ET AL) 7. September 2017 (2017-09-07)  Absätze [0033] - [0048]; Abbildung 3 -----	1,2,4,5, 7-11,13, 14

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/059779

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2016222806	A1	04-08-2016	KEINE
US 2008159851	A1	03-07-2008	CA 2615508 A1 29-06-2008 EP 1942253 A2 09-07-2008 JP 2008163950 A 17-07-2008 KR 20080063131 A 03-07-2008 US 2008159851 A1 03-07-2008
US 5358379	A	25-10-1994	AU 672922 B2 17-10-1996 CA 2134420 A1 28-04-1995 CN 1107934 A 06-09-1995 JP H07180504 A 18-07-1995 US 5358379 A 25-10-1994
US 2006226290	A1	12-10-2006	US 2006226290 A1 12-10-2006 US 2009003988 A1 01-01-2009
WO 2015108592	A2	23-07-2015	EP 3071793 A2 28-09-2016 US 2016245098 A1 25-08-2016 WO 2015108592 A2 23-07-2015
EP 2322762	A1	18-05-2011	EP 2322762 A1 18-05-2011 WO 2011058043 A1 19-05-2011
EP 3124747	A1	01-02-2017	CA 2935398 A1 31-01-2017 EP 3124747 A1 01-02-2017 US 2017030199 A1 02-02-2017
WO 2017074372	A1	04-05-2017	KEINE
US 2017254206	A1	07-09-2017	KEINE