

(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
14. September 2017 (14.09.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/153219 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F01D 5/20 (2006.01) F01D 11/10 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/054734

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. März 2017 (01.03.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
16159107.8 8. März 2016 (08.03.2016) EP

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

(72) Erfinder: GILL, Markus; Hünthügel 28, 49479
Ibbenbüren (DE). GINDORF, Christian; Düsseldorf
Straße 1, 47829 Krefeld (DE). HESELHAUS, Andreas;
Degerstr. 38, 40235 Düsseldorf (DE). KUNTE, Robert;
Wagnerstr. 7, 40212 Düsseldorf (DE). SCHLÖSSER,
Marcel; Scharpenberg 113, 45468 Mülheim an der Ruhr
(DE). CARLSON, Andrew; 18008 April Lane, Jupiter, FL
33458 (US). PETERSON, Ross; 837 Niemen Drive, Palm
Beach Gardens, FL 33410 (US).

(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.

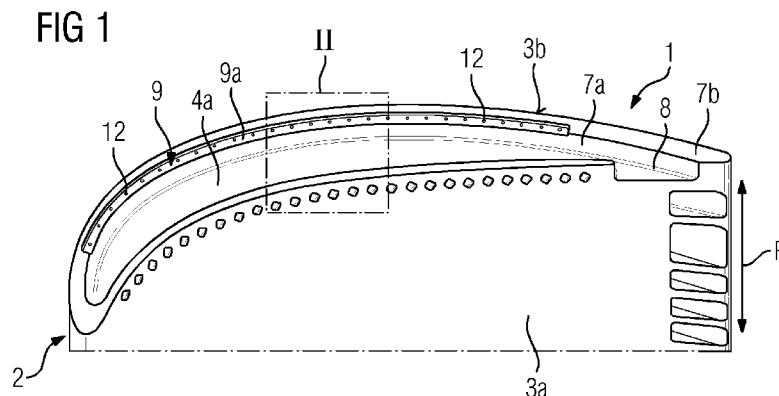
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,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

(54) Bezeichnung : LAUFSCHAUFEL FÜR EINE GASTURBINE MIT GEKÜHLTER ANSTREIFKANTE



(57) Abstract: The invention relates to a rotor blade for a gas turbine, comprising a blade (1) extending in a radial direction, with a blade body (2) comprising a peripheral wall with a pressure-side wall section (3a) and a suction-side wall section (3b), a plate-shaped crown base connected to the peripheral wall in the region of the blade tip, and a sweep edge extending along the peripheral wall, the peripheral wall and the crown base defining a cavity in the blade body, the sweep edge being aligned on the outer side with the peripheral wall and protruding radially over the crown base, and cooling channels are embodied in the blade body, extending from the cavity to cooling fluid outlets (12) provided in the sweep edge, at least one recess (9) being formed in the front surface (7b) of the sweep edge, into which at least some of the cooling channels flow such that the cooling fluid outlets are entirely arranged in a bottom region (9a) of the recess (9).

(57) Zusammenfassung: Laufschaufel für eine Gasturbine mit gekühlter Anstreifkante Laufschaufel für

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/153219 A1



eine Gasturbine, umfassend ein sich in einer radialen Richtung erstreckendes Schaufelblatt (1) mit einem Schaufelblattkörper (2), der eine Umfangswandung mit einem druckseitigen Wandabschnitt (3a) und einem saugseitigen Wandabschnitt (3b), einen im Bereich der Schaufelspitze mit der Umfangswandung verbundenen plattenförmigen Kronenboden und eine sich entlang der Umfangswandung erstreckende Anstreifkante aufweist, wobei die Umfangswandung und der Kronenboden in dem Schaufelblattkörper einen Hohlraum definieren, die Anstreifkante außenseitig mit der Umfangswandung fluchtet und radial über den Kronenboden vorsteht, und in dem Schaufelblattkörper Kühlkanäle ausgebildet sind, die sich ausgehend von dem Hohlraum zu in der Anstreifkante vorgesehenen Kühlfluidaustrittsöffnungen (12) erstrecken, wobei in der Stirnfläche (7b) der Anstreifkante wenigstens eine Vertiefung (9) ausgebildet ist, in die zumindest ein Teil der Kühlkanäle derart mündet, dass die Kühlfluidaustrittsöffnungen vollständig in einem Bodenbereich (9a) der Vertiefung (9) angeordnet sind.

Beschreibung

Laufschaufel für eine Gasturbine mit gekühlter Anstreifkante

5

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Laufschaufel für eine Gasturbine, umfassend ein sich in einer radialen Richtung erstreckendes Schaufelblatt mit einem Schaufelblattkörper, der eine Umfangswandung mit einem druckseitigen Wandabschnitt und einem saugseitigen Wandabschnitt, einen im Bereich der Schaufelspitze mit der Umfangswandung verbundenen plattenförmigen Kronenboden und eine sich entlang der Umfangswandung erstreckende Anstreifkante aufweist, wobei die Umfangswandung und der Kronenboden in dem Schaufelblattkörper einen Hohlraum definieren, die Anstreifkante außenseitig mit der Umfangswandung fluchtet und radial über den Kronenboden vorsteht und in dem Schaufelblattkörper Kühlkanäle ausgebildet sind, die sich ausgehend von dem Hohlraum zu in der Anstreifkante vorgesehenen Kühlfluidaustrittsöffnungen erstrecken.

In einer Gasturbinenanlage wird thermische Energie und/oder Strömungsenergie eines durch Verbrennung eines Brennstoffs erzeugten Heißgases in Rotationsenergie umgewandelt, die meist mittels eines Generators in elektrische Energie konvertiert wird. Dazu besitzt die Gasturbinenanlage einen Strömungskanal, in dessen axialer Richtung ein Turbinenläufer drehbar gelagert ist. Dieser umfasst eine Mehrzahl von Radscheiben, an deren radial äußeren Stirnflächen jeweils eine Mehrzahl von Laufschaufeln in Form eines Schaufelkranzes angeordnet sind. Die Laufschaufeln weisen hierzu jeweils Schaufelfüße auf, die in eine oder mehrere an den Stirnflächen der Radscheiben ausgebildete Aufnahmenuten eingesetzt und darin festgelegt sind.

35

An der Oberseite der Schaufelfüße sind Schaufelplattformen ausgebildet, von deren von der Radscheibe weg weisenden Außenseiten Schaufelblätter in den Strömungskanal vorstehen.

Während des Betriebs der Gasturbinenanlage wird der Strömungskanal von dem Heißgas durchströmt, wobei das strömende Heißgas die Laufschaufeln mit einer Kraft beaufschlagt, die aufgrund der Form der Schaufelblätter in ein auf den Turbinenläufer wirkendes Drehmoment umgewandelt wird, das den Turbinenläufer rotierend antreibt.

Der thermodynamische Wirkungsgrad von Gasturbinenanlagen ist umso größer, je höher die Heißgastemperatur in der Gasturbinenanlage ist. Der Höhe der Heißgastemperatur sind jedoch Grenzen durch die thermische Belastbarkeit der Laufschaufeln gesetzt. Dementsprechend besteht eine Zielsetzung darin, Laufschaufeln zu schaffen, die auch bei hohen thermischen Belastungen eine für den Betrieb der Gasturbinenanlage ausreichende mechanische Festigkeit besitzen. Hierzu werden Laufschaufeln mit aufwendigen Beschichtungssystemen versehen. Zur weiteren Erhöhung der maximal zulässigen Heißgastemperatur werden Laufschaufeln während des Betriebs der Gasturbinenanlage gekühlt. Dazu sind in ihrem Inneren Hohlräume und Kühlkanäle ausgebildet, die von einem Kühlfluid, zumeist Luft durchströmt werden. Gängige Kühlverfahren sind beispielsweise die Prallkühlung, bei der das Kühlfluid derart geführt wird, dass es von innen auf die Wandung des Schaufelblatts prallt, oder die Filmkühlung, bei der das Kühlfluid durch in dem Schaufelblattkörper ausgebildete Kühlbohrungen aus dem Inneren des Schaufelblatts nach außen strömt, um an dessen Außenseite einen Kühlfilm zu bilden.

So ist es beispielsweise aus der US 5,733,102 und der US 2014/044557 A1 bekannt, die Schaufelblätter gekühlter Laufschaufeln in einem Gussverfahren herzustellen. Gängige gegossene Schaufelblätter umfassen jeweils einen hohlen Schaufelblattkörper, der in dem Bereich der Schaufelspitze durch einen sogenannten Kronenboden verschlossen ist. Ferner trägt der Schaufelblattkörper in dem Bereich der Schaufelspitze eine Anstreifkante, die außenseitig bündig an den Schaufelblattkörper angegossen ist und entlang der Außenkon-

tur der Umfangswandung des Schaufelblattkörpers in der radialen Richtung vorsteht. Zwischen der Anstreifkante und einer den Strömungskanal der Gasturbinenanlage begrenzenden Kanalwandung verbleibt ein enger Radialspalt vorgegebener Breite, um einerseits ein reibungsarmes Rotieren des Turbinenläufers in dem Strömungskanal zu ermöglichen, andererseits aber nur einen geringen Teil des Heißgases ungenutzt durch den Radialspalt durchströmen zu lassen. Zum Schutz der Anstreifkante ist es bekannt, in der Anstreifkante zur Kühlung Kühlkanäle auszubilden, die sich ausgehend von dem Hohlraum zu Kühlfluidaustrittsöffnungen erstrecken, die in den Stirnflächen der Anstreifkante ausgebildet sind.

Nach einer gewissen Betriebsdauer der Turbinenanlage kann es zu Veränderungen des Radialspalts kommen. Beispielsweise kann der Turbinenläufer durch Kriechen seine ursprünglich zentrale Lage verlassen, die Länge der Laufschaufeln infolge der Zentrifugalkraft zunehmen oder sich ein ursprünglich kreisrunder Strömungskanal ovalisieren. Diese Effekte resultieren aus einem Setzen und/oder einer Längung infolge thermischer Belastung durch das Heißgas und/oder von rotationsbedingten Fliehkräften beziehungsweise der Schwerkraft. Der dadurch bewirkte Kontakt zwischen den Stirnflächen der Anstreifkanten und der Kanalwandung führt zu einem reibungsbedingten Abtrag von Material in Form von Metallstaub oder Metallspänen von den Anstreifkanten. Dann können sich die Kühlfluidaustrittsöffnungen mit dem abgetragenen Schaufelblattmaterial zusetzen, wodurch ein Kühlen der Anstreifkanten beeinträchtigt oder verhindert wird. Die unzureichende Kühlung der Anstreifkanten führt zu einem höheren Verschleiß und folglich zu einer geringeren Lebensdauer der Schaufelblätter.

Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Laufschaufel für eine Gasturbine der eingangs genannten Art zu schaffen, die einen alternativen Aufbau besitzt und eine zuverlässige Kühlung der Anstreifkante ermöglicht.

Zur Lösung dieser Aufgabe schafft die vorliegende Erfindung eine Laufschaufel für eine Gasturbine der eingangs genannten Art, bei der in der Stirnfläche der Anstreifkante wenigstens eine Vertiefung ausgebildet ist, in die zumindest ein Teil
5 der Kühlkanäle derart mündet, dass die Kühlfluidaustrittsöffnungen vollständig in einem Bodenbereich der wenigstens einen Vertiefung liegen.

Der Erfindung liegt die Überlegung zugrunde, die Kühlfluidaustrittsöffnungen bezogen auf die radiale Richtung gegenüber
10 der Stirnfläche der Anstreifkante abzusenken. Dies wird erfindungsgemäß dadurch bewirkt, dass in der Stirnfläche der Anstreifkante wenigstens eine Vertiefung ausgebildet ist und zumindest ein Teil der Kühlaustrittsöffnungen vollständig in
15 einem Bodenbereich der wenigstens einen Vertiefung angeordnet sind. Auf diese Weise sind die Kühlfluidaustrittsöffnungen von dem Kontaktbereich zwischen der Stirnfläche der Anstreifkante und der Kanalwandung entfernt, wodurch ein Zusetzen der Kühlfluidaustrittsöffnungen mit abgetragene
20 Schaufelblattmaterial reduziert oder verhindert wird. Infolge dessen bleibt die Kühlleistung über die Betriebsdauer der Gasturbinenanlage im Wesentlichen erhalten, was mit einer entsprechend langen Lebensdauer der Schaufelblätter einhergeht.

25

Weiter ist der Bodenbereich der wenigstens einen Vertiefung bezogen auf die radiale Richtung zwischen der Stirnfläche der Anstreifkante und der Außenfläche des Kronenbodens angeordnet. Vorzugsweise ist dabei der Bodenbereich als eine flache
30 Bodenfläche ausgebildet, die gegenüber der Stirnfläche eine Tiefe besitzt, die im Bereich von 0,5 mm bis 4,5 mm und bevorzugt im Bereich von 0,5 mm bis 2,5 mm liegt. Eine solche radiale Position des Bodenbereichs bewirkt einerseits, dass die Kühlfluidaustrittsöffnungen in unmittelbarer Nähe des
35 freien Endbereichs der Anstreifkante angeordnet sind, wodurch sich eine effektive Kühlung dieses Bereichs der Anstreifkante gewährleisten lässt. Die geringe Tiefe der Bodenfläche der Vertiefung gegenüber der Stirnfläche reicht andererseits aus,

um zu verhindern, dass von der Stirnfläche abgetragene Materialpartikel die Kühlfluidaustrittsöffnungen zusetzen, was mit einer gleichbleibenden Kühlleistung einhergeht.

5 In bekannter Weise besitzt die Anstreifkante bezogen auf die radiale Richtung gegenüber der Außenfläche des Kronenbodens eine Gesamthöhe, die im Bereich von 1 mm bis 10 mm, vorteilhaft im Bereich von 1,5 mm bis 6 mm liegt und bevorzugt 3,5 mm beträgt. In Anstreifkanten mit einer Gesamthöhe in diesem
10 Bereich lassen sich Vertiefungen mit geeigneter Tiefe ohne Weiteres ausbilden.

Darüber hinaus ist eine Innenfläche der Anstreifkante gegenüber der radialen Richtung nach außen unter Ausbildung eines
15 ersten Neigungswinkels geneigt, wobei der erste Neigungswinkel in einer sich in radialer Richtung erstreckenden Ebene gemessen wird, welche die Anstreifkante senkrecht durchschneidet, und in dem Bereich von 0° bis 45° liegt und bevorzugt mehr als 10° und/oder weniger als 30° beträgt. Infolge
20 der Neigung der Innenfläche der Anstreifkante verbreitert sich die Anstreifkante von der Stirnfläche in Richtung des Kronenbodens. Dies verbessert die Stabilität der Anstreifkante und verbessert zusätzlich den Wärmetransport zwischen der Anstreifkante und dem Kronenboden beziehungsweise der Umfangswandung.
25

Zudem erstreckt sich die wenigstens eine Vertiefung unter Bildung eines abgestuften Querschnitts bis zu einer Innenseite der Anstreifkante, wobei insbesondere eine Stufenecke des
30 Querschnitts, bevorzugt die Innenecke abgerundet ist. Bei dieser Ausgestaltung ist wenigstens eine Vertiefung zur Innenseite hin offen ausgebildet. Derartige Vertiefungen können bereits während des Gießens des Schaufelblattkörpers oder erst nachträglich beispielsweise durch Fräsen oder Erodieren
35 einfach hergestellt werden.

Weiter ist jeder Kühlkanal gegenüber einer zu der radialen Richtung senkrechten Ebene in Richtung der Anströmkante der

Laufschaufel oder in Richtung der Abströmkante der Laufschaufel unter Ausbildung eines dritten und/oder vierten Neigungswinkels geneigt, wobei der dritte Neigungswinkel in Richtung der Abströmkante der Laufschaufel und der vierte Neigungswinkel in Richtung der Anströmkante der Laufschaufel jeweils in einer Ebene, welche die Messebene des ersten Neigungswinkels senkrecht schneidet, gemessen werden, im Bereich zwischen 30° und 90° , weiter bevorzugt zwischen 30° und 80° liegen und insbesondere 45° betragen. Kühlkanäle mit einer solchen Neigung in Richtung der Anströmkante oder in Richtung der Abströmkante weisen eine größere Länge auf, wodurch sich die konvektive Kühlung der Anstreifkante verbessern kann. Insbesondere durch eine zur Anströmkante geneigte Anordnung von Kühlkanälen werden die Strahlen über die Spitzen der saugseitigen Anstreifkante geführt und kühlen dort die Oberfläche, wo sie in der Regel am heißesten wird. Zudem können sie die Strömungsrichtung des austretenden Kühlfluids günstig beeinflussen. Kühlkanäle unterschiedlicher Neigungsrichtungen können sich durchdringen oder ohne Durchdringung kreuzen.

Bevorzugt besitzt in dem Bereich der wenigstens einen Vertiefung die Stirnfläche der Anstreifkante eine Breite, die geringer ist als die Dicke der Umfangswandung des Schaufelblattkörpers in dem Bereich der wenigstens einen Vertiefung. Dazu kann in dem Bereich der Vertiefung die Stirnfläche der Anstreifkante eine Breite besitzen, die geringer ist als die Breite des Bodenbereichs der wenigstens einen Vertiefung. Auf diese Weise bildet nur ein relativ schmaler Außenbereich der Anstreifkante deren radial äußeren Endbereich.

Vorteilhaft besitzen in dem Bereich der wenigstens einen Vertiefung die Stirnfläche der Anstreifkante und der Bodenbereich der wenigstens einen Vertiefung gemeinsam eine Breite, die etwa gleich der Dicke der Umfangswandung des Schaufelblattkörpers in dem Bereich der wenigstens einen Vertiefung ist. Derartige Anstreifkanten stellen im Wesentlichen eine Fortsetzung der Umfangswandung des Schaufelblattkörpers über den Kronenboden hinaus dar.

Alternativ kann die Vertiefung in der Stirnfläche der Anstreifkante als Nut unter Belassung eines außenseitigen Stirnflächenabschnitts und eines innenseitigen Stirnflächenabschnitts ausgebildet sein, wobei insbesondere die Innen-
5 ecken der Vertiefung abgerundet sind.

In diesem Fall können in dem Bereich der Vertiefung die Breite des außenseitigen Stirnflächenabschnitts und die Breite
10 des innenseitigen Stirnflächenabschnitts der Anstreifkante jeweils im Bereich von 0,5 mm bis 5 mm liegen und bevorzugt mindestens 1 mm betragen, wobei das Verhältnis zwischen der außenseitigen Breite und der innenseitigen Breite im Bereich
15 zwischen 0,7 mm und 1,3 mm, insbesondere 0,9 und 1,1 liegt und bevorzugt 1 ist.

Gemäß einer weiteren Variante verjüngt sich in dem Bereich der Vertiefung die Umfangswandung in Richtung des Kronenbodens zugunsten des Hohlraums, wobei sich die Dicke der Umfangswandung von einer Ausgangsdicke auf eine verjüngte Dicke
20 reduziert, die mindestens halb so groß wie die Ausgangsdicke ist, und die Verjüngung über einen radialen Abschnitt der Umfangswandung erfolgt, dessen Höhe mindestens fünfmal und höchstens zehnmal so groß ist wie die Ausgangsdicke. Infolge
25 der reduzierten Dicke der Umfangswandung unmittelbar unterhalb des Kronenbodens können die Kühlkanäle derart ausgebildet sein, dass sie sich näher zu der Außenseite der Anstreifkante erstrecken, was mit einer verbesserten konvektiven Kühlung der Anstreifkante einhergeht.

30

Vorteilhaft sind in der wenigstens einen Vertiefung die Kühlfliuidaustrittsöffnungen nebeneinander und beabstandet zueinander insbesondere äquidistant und/oder entlang einer Linie angeordnet. Derartig angeordnete Kühlfliuidaustrittsöffnungen
35 eignen sich in besonderem Maße dazu, die Anstreifkante entlang Ihrer umfänglichen Erstreckung zu kühlen. Grundsätzlich können die Kühlfliuidaustrittsöffnungen aber beliebig verteilt sein.

Bei einer erfindungsgemäßen Laufschaufel kann die wenigstens eine Vertiefung nur in einem von dem saugseitigen Wandabschnitt der Umgebungswandung abragenden Abschnitt der

5 Anstreifkante vorgesehen sein. Auf diese Weise lässt sich die Kühlung des von dem saugseitigen Wandabschnitt der Umfangswandung abragenden Abschnitts der Anstreifkante verbessern.

10 In einer Variante der vorliegenden Erfindung ist genau eine Vertiefung vorgesehen. Dies führt zu einer besonders einfachen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laufschaufel.

Alternativ dazu kann eine Mehrzahl von in der Umfangsrichtung nebeneinander angeordneten Vertiefungen vorgesehen sein, in 15 die jeweils ein Teil der Kühlkanäle mündet und die insbesondere jeweils wenigstens ein oben genanntes Merkmal aufweisen. Mehrere Vertiefungen führen zu einer entsprechenden Gruppierung der Kühlkanäle.

20 Gemäß einer Variante erstreckt sich jeder Kühlkanal geradlinig und/oder besitzt einen kreisförmigen Querschnitt mit einem Durchmesser, der im Bereich von 0,25 mm bis 2 mm liegt und bevorzugt 0,6 mm beträgt.

25 Dabei können die Kühlkanäle im Bereich der Kühlfluidaustrittsöffnungen aufgeweitet sein, wobei die Aufweitungen insbesondere die Form eines Zylinders besitzen, dessen Höhe höchstens fünfmal, bevorzugt ebenso groß ist wie der Durchmesser des Kühlkanals und/oder dessen Durchmesser höchstens 30 dreimal, bevorzugt doppelt so groß ist wie der Durchmesser des Kühlkanals. Derartig aufgeweitete Kühlfluidaustrittsöffnungen können als Diffusor wirken und den austretenden Kühlfluidstrom entsprechend aufweiten, sodass nach dem Prinzip der Filmkühlung ein großer Bereich der Anstreifkante gekühlt 35 werden kann. Alternativ zu der zylindrischen Form können die Kühlfluidaustrittsöffnungen auch konisch, halb-konisch oder fächerartig aufgeweitet sein.

Vorteilhaft sind die Kühlkanäle als Bohrungen ausgebildet. Durch Bohren lassen sich geradlinige Kühlkanäle mit kreisförmigem Querschnitt einfach in einen gegossenen Schaufelblattkörper einbringen.

5

Vorteilhaft sind die Kühlkanäle gegenüber der radialen Richtung quer zu der Innenfläche der Anstreifkante unter Ausbildung eines zweiten Neigungswinkels geneigt, wobei insbesondere die zweite Neigungswinkel der Kühlkanäle, die jeweils in einer sich in radialer Richtung erstreckenden Ebene gemessen werden, welche die Anstreifkante senkrecht durchschneidet, gleich oder etwa gleich dem ersten Neigungswinkel der Innenfläche der Anstreifkante sind. Kühlkanäle mit einer solchen Neigung leiten das aus den Kühlfluidaustrittsöffnungen austretende Kühlfluid von innen zu dem äußeren Endbereich der Anstreifkante.

~~Gemäß einer Variante ist jeder Kühlkanal gegenüber einer zu der radialen Richtung senkrechten Ebene in Richtung der Anströmkante der Laufschaufel oder in Richtung der Abströmkante der Laufschaufel unter Ausbildung eines dritten und/oder vierten Neigungswinkels geneigt, wobei der dritte Neigungswinkel in Richtung der Abströmkante der Laufschaufel und der vierte Neigungswinkel in Richtung der Anströmkante der Laufschaufel jeweils in einer Ebene, welche die Messebene des ersten Neigungswinkels senkrecht schneidet, gemessen werden, im Bereich zwischen 30° und 90° liegen und bevorzugt 45° betragen. Kühlkanäle mit einer solchen Neigung in Richtung der Anströmkante oder in Richtung der Abströmkante weisen eine größere Länge auf, wodurch sich die konvektive Kühlung der Anstreifkante verbessern kann. Zudem können sie die Strömungsrichtung des austretenden Kühlfluids günstig beeinflussen. Kühlkanäle unterschiedlicher Neigungsrichtungen können sich durchdringen oder ohne Durchdringung kreuzen.~~

35

Gemäß einer Weiterentwicklung ist ein Übergangsbereich zwischen einer Innenfläche der Anstreifkante und der Außenfläche des Kronenbodens abgerundet. Dies verbessert die aerodynami-

schen Eigenschaften der Schaufelspitze. Ansonsten ist die Innenfläche der Anstreifkante längs der Radialrichtung betrachtet, größtenteils gerade.

5 In an sich bekannter Weise ist der Schaufelblattkörper durch Gießen oder in einem generativen Verfahren, insbesondere mittels 3D-Drucken hergestellt. Gießen hat sich insbesondere für gekühlte Schaufelblätter mit einem Hohlraum in ihrem Inneren als ein geeignetes Herstellungsverfahren herausgestellt. Aber
10 auch generative Verfahren sind zur Herstellung von Schaufelblattkörpern geeignet.

Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung werden anhand von sechs Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen Laufschaufel unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung
15 deutlich. Darin ist:

Figur 1 eine perspektivische Teilansicht eines Schaufelblatts einer Laufschaufel gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
20

Figur 2 eine vergrößerte Teilansicht der in der Figur 1 dargestellten Laufschaufel;

25 Figur 3 eine vergrößerte Querschnittsansicht der in Figur 2 dargestellten Laufschaufel entlang der mit III bezeichneten Linie;

Figur 4 eine vergrößerte Querschnittsansicht eines Schaufelblatts einer Laufschaufel gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die der
30 Figur 3 entspricht;

Figur 5 eine vergrößerte Querschnittsansicht eines Schaufelblatts einer Laufschaufel gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die der
35 Figur 3 entspricht;

Figur 6 eine vergrößerte Querschnittsansicht eines Schaufelblatts einer Laufschaufel gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die der Figur 3 entspricht;

5

Figur 7 eine vergrößerte Teilansicht eines Schaufelblatts einer Laufschaufel gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die der Figur 2 entspricht; und

10

Figur 8 eine vergrößerte Teilansicht eines Schaufelblatts einer Laufschaufel gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die der Figur 2 entspricht.

15

Die Figuren 1 bis 3 zeigen eine Laufschaufel für eine Gasturbine gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Laufschaufel umfasst ein sich in einer radialen Richtung R erstreckendes Schaufelblatt 1 mit einem gegossenen Schaufelblattkörper 2. Der Schaufelblattkörper 2 besitzt eine Umfangswandung 3, die einen druckseitigen Wandabschnitt 3a und einen saugseitigen Wandabschnitt 3b aufweist. Ferner umfasst der Schaufelblattkörper 2 einen plattenförmigen Kronenboden 4, der mit der Umfangswandung 3 im Bereich der Schaufelspitze 5 verbunden ist. Die Umfangswandung 3 und der Kronenboden 4 definieren in dem Schaufelblattkörper 2 einen Hohlraum 6, der während des Betriebs der Gasturbine von einem Kühlfluid durchströmt wird.

20

25

30

35

Weiterhin umfasst der Schaufelblattkörper 2 eine Anstreifkante 7. Die Anstreifkante 7 erstreckt sich entlang der Umfangswandung 3 und fluchtet außenseitig mit dieser. Dabei steht die Anstreifkante 7 radial über den Kronenboden 4 vor und besitzt bezogen auf die radiale Richtung R gegenüber der Außenfläche 4a des Kronenbodens eine Gesamthöhe h , die senkrecht zu der Außenfläche 4a des Kronenbodens gemessen wird und etwa 3 mm beträgt. Eine Innenfläche 7a der Anstreifkante 7 ist gemäß der Querschnittsansicht größten-

teils geradlinig ausgestaltet und gegenüber der radialen Richtung R um einen ersten Neigungswinkel δ von ca. 25° geneigt, der in einer sich in radialer Richtung (R) erstreckenden Ebene gemessen wird, welche die Anstreifkante 7 senkrecht durchschneidet. Ein Übergangsbereich 8 zwischen der Innenfläche 7a der Anstreifkante 7 und der Außenfläche 4a des Kronenbodens 4 ist abgerundet ausgebildet.

In einem von dem saugseitigen Wandabschnitt der Umfangswandung 3 abragenden Abschnitt der Anstreifkante 7 ist eine Vertiefung 9 ausgebildet, die sich unter Bildung eines abgestuften Querschnitts bis zu der Innenseite der Anstreifkante 7 erstreckt. Dabei ist die Innenecke 10 des abgestuften Querschnitts abgerundet. Der Bodenbereich 9a der Vertiefung 9 ist als eine flache Bodenfläche ausgebildet und bezogen auf die radiale Richtung R zwischen der Stirnfläche 7b der Anstreifkante 7 und der Außenfläche 4a des Kronenbodens 4 angeordnet. Dabei erstrecken sich die Außenfläche 4a des Kronenbodens 4, die Bodenfläche 9a der Vertiefung 9 und Stirnfläche 7b der Anstreifkante 7 parallel zueinander und senkrecht zu der radialen Richtung R. Auf diese Weise besitzt die Vertiefung 9 gegenüber der Stirnfläche 7b eine Tiefe h_1 , die als senkrechter Abstand zwischen der Bodenfläche 9a und der Stirnfläche 7b gemessen wird und ca. 1 mm beträgt. Entsprechend beträgt die senkrecht gemessene Höhe h_2 der Bodenfläche der Vertiefung 9 über der Außenfläche 4a des Kronenbodens 4 ca. 2 mm. Die Bodenfläche 9a der Vertiefung 9 und die Außenfläche 4a des Kronenbodens 4 können aber auch zueinander und/oder zu der radialen Richtung R geneigt sein, wobei die Tiefe h_1 bzw. die Höhe h_2 dann jeweils bezogen auf die Innenecke 10 zu bestimmen sind.

In dem Bereich der Vertiefung 9 besitzt die Stirnfläche 7b der Anstreifkante 7 eine Breite a_1 , die geringer ist als die Dicke d_1 der Umfangswandung 3 des Schaufelblattkörpers 2 in dem Bereich der Vertiefung 9. Darüber hinaus ist die Breite a_1 der Stirnfläche 7b der Anstreifkante 7 in dem Bereich der Vertiefung 9 geringer als die Breite b_1 des Bodenbereichs 9a

der Vertiefung 9. Gemeinsam besitzen die Stirnfläche 7b der Anstreifkante 7 und der Bodenbereich 9a der Vertiefung 9 eine Breite a_1+b_1 , die etwa gleich der Dicke d_1 der Umfangswandung 3 des Schaufelblattkörpers 2 in dem Bereich der Vertiefung 9 ist, wobei die Dicke d_1 als senkrechter Abstand zwischen der Außenfläche und der Innenfläche der Umgebungswandung 3 gemessen wird. Wie der Figur 3 zu entnehmen ist, werden die Breiten a_1 und b_1 jeweils parallel zueinander und zu der Außenfläche 4a des Kronenbodens 4 gemessen. Andere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können relative Größenverhältnisse der Breiten a_1 und b_1 sowie der Dicke d_1 aufweisen, die von den hier gewählten abweichen.

In dem Schaufelblattkörper 2 sind Kühlkanäle 11 ausgebildet, die sich ausgehend vom dem Hohlraum 6 zu Kühlfluidaustrittsöffnungen 12 erstrecken, die in der Anstreifkante 7 vorgesehen sind. Die Kühlkanäle 11 münden derart in die Vertiefung 9, dass die Kühlfluidaustrittsöffnungen 12 vollständig in dem Bodenbereich 9a der Vertiefung 9 angeordnet sind. Dabei sind die Kühlfluidaustrittsöffnungen 12 in der Vertiefung 9 äquidistant und entlang einer Linie nebeneinander angeordnet. Jeder Kühlkanal 11 ist als Bohrung ausgebildet und erstreckt sich geradlinig. Er besitzt einen kreisförmigen Querschnitt mit einem Durchmesser, der etwa 0,6 mm beträgt. Jeder Kühlkanal 11 ist gegenüber der radialen Richtung R quer zu der Innenfläche 7a der Anstreifkante 7 geneigt, wobei die zweiten Neigungswinkel θ der Kühlkanäle 11, die jeweils in einer sich in radialer Richtung R erstreckenden Ebene gemessen werden, welche die Anstreifkante 7 senkrecht durchschneidet, etwa gleich dem ersten Neigungswinkel δ der Innenfläche 7a der Anstreifkante 7 sind.

Die Figur 4 zeigt eine Laufschaufel für eine Gasturbine gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Der Aufbau dieser Laufschaufel stimmt grundsätzlich mit dem Aufbau der in den Figuren 1 bis 3 dargestellten ersten Ausführungsform überein. Abweichend davon sind hier die Kühlkanäle im Bereich der Kühlfluidaustrittsöffnungen aufgeweitet. Die

aufgeweitete Kühlfluidöffnung 12a besitzt die Form eines Zylinders, dessen Höhe h_5 gleich dem Durchmesser des Kühlkanals 11 ist und dessen Durchmesser c_5 doppelt so groß wie der Durchmesser des Kühlkanals 11 ist, wodurch sich für den Zylinder eine Querschnittsfläche ergibt, die viermal so groß ist wie die Querschnittsfläche des Kühlkanals 11. Bei dieser Ausführungsform wird im Betrieb der Laufschaufel entsprechend ein aufgeweiteter Kühlstrom erzeugt, mit dem sich ein großer Bereich der Anstreifkante 7 kühlen lässt.

10

Die Figur 5 zeigt eine Laufschaufel für eine Gasturbine gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Sie besitzt grundsätzlich denselben Aufbau wie die in den Figuren 1 bis 3 dargestellte Laufschaufel. Im Unterschied zu dieser ist die Vertiefung 9 als Nut unter Belassung eines außenseitigen Stirnflächenabschnitts und eines innenseitigen Stirnflächenabschnitts ausgebildet, erstreckt sich also nicht bis zur Innenseite der Anstreifkante 7, sondern wird auch innen-

15
20
25
30

seitig durch die Anstreifkante 7 begrenzt. Dabei besitzen die außenseitige Stirnfläche 7b eine Breite a_2 , die innenseitige Stirnfläche 7b eine Breite c_2 und der Bodenbereich 9a der Vertiefung 9 eine Breite b_2 . Auf diese Weise ergibt sich für die Anstreifkante 7 in dem Bereich der Vertiefung 9 eine gemeinsame Breite von $a_2 + b_2 + c_2$, die größer ist als die Dicke d_1 der Umfangswandung 3 des Schaufelblattkörpers 2. Infolgedessen ist der erste Neigungswinkel δ der Innenfläche 7a der Anstreifkante 7 gegenüber der radialen Richtung R entsprechend kleiner. Die innenseitige Höhe ($h_3 + h_4$) der Anstreifkante 7 ist vorliegend gleich der außenseitigen Höhe ($h = h_1 + h_2$) der Anstreifkante, kann aber auch von dieser abweichen.

35

Die Figur 6 zeigt eine Laufschaufel für eine Gasturbine gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Sie unterscheidet sich von den bisher beschriebenen Ausführungsformen dadurch, dass sich die Umfangswandung 3 in Richtung des Kronenbodens 4 zugunsten des Hohlraums 6 verjüngt. Dabei reduziert sich die Dicke der Umfangswandung 3 von einer Aus-

gangsdicke d_1 auf eine verjüngte Dicke d_2 , die etwa halb so groß ist wie die Ausgangsdicke d_1 . Die Verjüngung erfolgt über einen radialen Abschnitt der Umfangswandung 3, dessen Höhe l ungefähr fünfmal so groß ist wie Ausgangsdicke d_1 . In der gezeigten Ausführungsform verläuft die Verjüngung linear, d.h. die Innenseite der Umfangswandung 3 ist flach und bezogen auf Ausführungsformen ohne Verjüngung der Umfangswandung 3 um einen Winkel ε geneigt. Dank der Verjüngung der Umfangswandung 3 ist der Querneigungswinkel θ der Kühlkanäle 11 kleiner derart gewählt, dass sich die Kühlkanäle 11 näher zu der Außenseite der Anstreifkante 7 erstrecken, wodurch die konvektive Kühlung der Anstreifkante 7 verbessert wird. Der Übergangsbereich zum Kronenboden 4 ist abgerundet, wobei die Krümmung durch einen Krümmungsradius r_2 definiert ist, der von dem Krümmungsradius r_1 von Ausführungsformen ohne Verjüngung der Umfangswandung 3 abweichen kann. In der Figur 7 ist ein Krümmungsradius r_2 dargestellt, der ungefähr doppelt so groß wie r_1 ist. Der von dem Kronenboden 4 abgewandte Übergangsbereich der Verjüngung ist zur Vermeidung einer Kante abgerundet, wobei die Abrundung durch einen Krümmungsradius r_3 definiert ist.

Die Figur 7 zeigt eine Laufschaufel für eine Gasturbine gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Sie besitzt denselben grundsätzlichen Aufbau wie die zuvor beschriebenen Ausführungsformen und unterscheidet sich von den bisher beschriebenen Ausführungsformen dadurch, dass die Kühlkanäle gegenüber einer zu der radialen Richtung R senkrechten Ebene in Richtung der Abströmkante der Laufschaufel geneigt sind. Dabei werden die dritten Neigungswinkel α in Richtung der Abströmkante der Laufschaufel in einer Ebene, welche die Messebene des ersten Neigungswinkels δ senkrecht schneidet, gemessen und betragen 45° . Dadurch weisen die Kühlkanäle 11 eine größere Länge auf, wodurch sich die konvektive Kühlung der Anstreifkante 7 verbessert.

Die Figur 8 zeigt eine Laufschaufel für eine Gasturbine gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Sie unterscheidet sich von der in Figur 7 dargestellten Ausführungsformen dadurch, dass weitere Kühlkanäle 11 vorgesehen sind, die gegenüber einer zu der radialen Richtung R senkrechten Ebene in Richtung der Anströmkante der Laufschaufel geneigt sind. Dabei werden die vierten Neigungswinkel β in Richtung der Anströmkante der Laufschaufel in einer Ebene, welche die Messebene des ersten Neigungswinkels δ senkrecht schneidet, gemessen und betragen 45° . Bei dieser Laufschaufel durchdringen sich die Kühlkanäle 11 unterschiedlicher Neigungsrichtungen jeweils gegenseitig. Alternativ können sie sich aber auch ohne Durchdringung kreuzen, insbesondere wenn die Kühlfluidaustrittsöffnungen 12 in zwei nebeneinander angeordneten Reihen angeordnet sind. Auch kann der vierte Neigungswinkel β abweichend von dem dritten Neigungswinkel α gewählt sein.

Ein Vorteil der erfindungsgemäßen Laufschaufel besteht darin, dass die Kühlkanäle 11 nicht oder nur geringfügig durch Materialabtrag von der Stirnfläche 7b der Anstreifkante 7 zuge- setzt werden. Dies gewährleistet eine während des Betriebs der Gasturbine gleichbleibende Kühlung der Anstreifkante 7 und somit eine lange Lebensdauer der Laufschaufel. Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Laufschaufel zeigt sich in der einfachen Herstellbarkeit der Vertiefung 9 sowie der Kühlkanäle 11. Aufgrund der geringen Tiefe der Vertiefung 9 bleibt eine effektive Kühlung der Anstreifkante 7 über ihre gesamte Höhe h möglich. Zudem wird das aus den Kühlfluidaustrittsöffnungen 12 strömende Kühlfluid auf seinem kurzen Weg zu der außenseitigen Stufe der Anstreifkante 7 während des Betriebs der Gasturbine kaum abgelenkt, was mit einer effektiven Kühlung der Schaufelspitze 5 einher geht.

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

5 1. Laufschaufel für eine Gasturbine, umfassend ein sich in
einer radialen Richtung (R) erstreckendes Schaufelblatt (1)
mit einem Schaufelblattkörper (2), der eine Umfangswandung
(3) mit einem druckseitigen Wandabschnitt (3a) und einem
saugseitigen Wandabschnitt (3b), einen im Bereich der Schau-
10 felspitze (5) mit der Umfangswandung (3) verbundenen platten-
förmigen Kronenboden (4) und eine sich entlang der Umfangs-
wandung (3) erstreckende Anstreifkante (7) aufweist, wobei
die Umfangswandung (3) und der Kronenboden (4) in dem Schau-
felblattkörper (2) einen Hohlraum (6) definieren, die
15 Anstreifkante (7) außenseitig mit der Umfangswandung (3)
fluchtet und radial über den Kronenboden (4) vorsteht und in
dem Schaufelblattkörper (2) Kühlkanäle (11) ausgebildet sind,
die sich ausgehend von dem Hohlraum (6) zu in der
Anstreifkante (7) vorgesehenen Kühlfluidaustrittsöffnungen
20 (12) erstrecken, wobei in der Stirnfläche (7b) der
Anstreifkante (7) wenigstens eine Vertiefung (9) ausgebildet
ist, in die zumindest ein Teil der Kühlkanäle (11) derart
mündet, dass die Kühlfluidaustrittsöffnungen (12) vollständig
in einem Bodenbereich (9a) der Vertiefung (9) liegen,
25 wobei der Bodenbereich (9a) der wenigstens einen Vertiefung
(9) bezogen auf die radiale Richtung (R) zwischen der Stirn-
fläche (7b) der Anstreifkante (7) und der Außenfläche (4a)
des Kronenbodens (4) angeordnet ist,
wobei sich die wenigstens eine Vertiefung (9) unter Bildung
30 eines abgestuften Querschnitts bis zu einer Innenseite der
Anstreifkante (7) erstreckt und
wobei unter Ausbildung eines ersten Neigungswinkel (δ) eine
Innenfläche (7a) der Anstreifkante (7) gegenüber der radialen
Richtung (R) nach außen geneigt ist und in einer sich in ra-
35 dialer Richtung (R) erstreckenden Ebene gemessen wird, welche
die Anstreifkante (7) senkrecht durchschneidet,
dadurch gekennzeichnet,
dass der erste Neigungswinkel (δ) in dem Bereich von 0° bis

45° liegt und
dass jeder Kühlkanal (11) unter Ausbildung eines dritten
und/oder eines vierten Neigungswinkels (α , β) gegenüber einer
zu der radialen Richtung (R) senkrechten Ebene in Richtung
5 der Anströmkante der Laufschaufel oder in Richtung der
Abströmkante der Laufschaufel geneigt ist, wobei der dritte
Neigungswinkel (α) in Richtung der Abströmkante der Lauf-
schaufel und der vierte Neigungswinkel (β) in Richtung der
Anströmkante der Laufschaufel jeweils in einer Ebene, welche
10 die Messebene des ersten Neigungswinkels (δ) senkrecht
schneidet, gemessen werden, im Bereich zwischen 30° und 90°
liegen.

2. Laufschaufel nach Anspruch 1,
15 dadurch gekennzeichnet, dass
der Bodenbereich (9a) als eine flache Bodenfläche ausgebildet
ist, die gegenüber der Stirnfläche (7b) eine Tiefe (h_1) be-
sitzt, die im Bereich von 0,5 mm bis 4,5 mm und bevorzugt im
Bereich von 0,5 mm bis 2,5 mm liegt.

20
3. Laufschaufel nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Anstreifkante (7) bezogen auf die radiale Richtung (R)
gegenüber der Außenfläche (4a) des Kronenbodens (4) eine Ge-
25 samthöhe (h) besitzt, die im Bereich von 1 mm bis 10 mm, vor-
teilhaft im Bereich von 1,5 mm bis 6 mm liegt und bevorzugt
3,5 mm beträgt, wobei eine Höhe h_2 der Bodenfläche der Ver-
tiefung 9 über der Außenfläche 4a des Kronenbodens 4 vorteil-
haft im Bereich zwischen 60% und 80% der Gesamthöhe (h)
30 liegt.

4. Laufschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der erste Neigungswinkel (δ) weniger als 30° und/oder mehr
35 als 10° beträgt.

5. Laufschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass

eine Stufenecke des Querschnitts, bevorzugt die Innenecke (10) abgerundet ist.

6. Laufschaufel nach Anspruch 5,
5 dadurch gekennzeichnet, dass
in dem Bereich der wenigstens einen Vertiefung (9) die Stirnfläche (7b) der Anstreifkante (7) eine Breite (a_1) besitzt, die geringer ist als die Dicke (d_1) der Umfangswandung (3) des Schaufelblattkörpers (2) in dem Bereich der wenigstens
10 einen Vertiefung (9).

7. Laufschaufel nach einem der Ansprüche 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
in dem Bereich der wenigstens einen Vertiefung (9) die Stirnfläche (7b) der Anstreifkante (7) eine Breite (a_1) besitzt,
15 die geringer ist als die Breite (b_1) des Bodenbereichs (9a) der wenigstens einen Vertiefung (9).

8. Laufschaufel nach einem der Ansprüche 5 bis 7,
20 dadurch gekennzeichnet, dass
in dem Bereich der wenigstens einen Vertiefung (9) die Stirnfläche (7b) der Anstreifkante (7) und der Bodenbereich (9a) der Vertiefung (9) gemeinsam eine Breite ($a_1 + b_1$) besitzen, die etwa gleich der Dicke (d_1) der Umfangswandung (3) des
25 Schaufelblattkörpers (2) in dem Bereich der wenigstens einen Vertiefung (9) ist.

9. Laufschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
30 die Vertiefung (9) in der Stirnfläche (7b) der Anstreifkante (7) als Nut unter Belassung eines außenseitigen Stirnflächenabschnitts und eines innenseitigen Stirnflächenabschnitts ausgebildet ist, wobei insbesondere die Innenecken (10) der Vertiefung (9) abgerundet sind.

35
10. Laufschaufel nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
in dem Bereich der Vertiefung (9) die Breite (a_2) des außen-

seitigen Stirnflächenabschnitts und die Breite (c_2) des innenseitigen Stirnflächenabschnitts der Anstreifkante (7) jeweils im Bereich von 0,5 mm bis 5 mm liegen und bevorzugt mindestens 1 mm betragen, wobei das Verhältnis zwischen der
5 außenseitigen Breite (a_2) und der innenseitigen Breite (c_2) im Bereich zwischen 0,7 und 1,3, insbesondere 0,9 und 1,1 liegt und bevorzugt 1 ist.

11. Laufschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
10 dadurch gekennzeichnet, dass
sich in dem Bereich der Vertiefung (9) die Umfangswandung (3) in Richtung des Kronenbodens (4) zugunsten des Hohlraums (6) verjüngt, wobei sich die Dicke der Umfangswandung (3) von einer Ausgangsdicke (d_1) auf eine verjüngte Dicke (d_2) reduziert,
15 ziert, die mindestens halb so groß wie die Ausgangsdicke (d_1) ist, und wobei insbesondere die Verjüngung über einen radialen Abschnitt der Umfangswandung (3) erfolgt, dessen Höhe (1) mindestens fünfmal und höchstens zehnmal so groß ist wie die Ausgangsdicke (d_1).

20

12. Laufschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die wenigstens eine Vertiefung (9) nur in einem von dem saugseitigen Wandabschnitt (3b) der Umfangswandung (3) abragenden
25 Abschnitt der Anstreifkante (7) vorgesehen ist.

13. Laufschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
genau eine Vertiefung (9) vorgesehen ist.

30

14. Laufschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
eine Mehrzahl von in der Umfangsrichtung nebeneinander angeordneten Vertiefungen (9) vorgesehen ist, in die jeweils ein
35 Teil der Kühlkanäle (11) mündet und die insbesondere wenigstens ein Merkmal aus den Ansprüchen 2 bis 10 aufweisen.

15. Laufschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
in der wenigstens einen Vertiefung (9) die Kühlfluidaustrittsöffnungen (12) in der Umfangsrichtung nebeneinander und
5 beabstandet zueinander, insbesondere äquidistant und/oder entlang einer Linie angeordnet sind.
16. Laufschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
10 sich jeder Kühlkanal (11) geradlinig erstreckt und/oder einen kreisförmigen Querschnitt mit einem Durchmesser besitzt, der im Bereich von 0,25 mm bis 2 mm liegt und bevorzugt 0,6 mm beträgt.
- 15 17. Laufschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
die Kühlkanäle (11) im Bereich der Kühlfluidaustrittsöffnungen (12) aufgeweitet sind, wobei die Aufweitungen (12a) insbesondere die Form eines Zylinders besitzen, dessen Höhe (h_5)
20 höchstens fünfmal, bevorzugt ebenso groß ist wie der Durchmesser eines Kühlkanals (11) und/oder dessen Durchmesser (c_5) höchstens dreimal, bevorzugt doppelt so groß ist wie der Durchmesser eines Kühlkanals (11).
- 25 18. Laufschaufel nach einem der Ansprüche 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass
die Kühlkanäle (11) als Bohrungen ausgebildet sind.
19. Laufschaufel nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
30 unter Ausbildung eines zweiten Neigungswinkels (θ) die Kühlkanäle (11) gegenüber der radialen Richtung (R) geneigt sind, wobei die zweiten Neigungswinkel (θ) der Kühlkanäle (11), die jeweils in einer sich in radialer Richtung (R) erstreckenden
35 Ebene gemessen werden, welche die Anstreifkante (7) senkrecht schneidet, gleich oder etwa gleich dem ersten Neigungswinkel (δ) der Innenfläche (7a) der Anstreifkante (7) sind.

20. Laufschaufel nach Anspruch 16 bis 19 und Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der dritte und/oder vierte Neigungswinkel kleiner als 80° ist und vorzugsweise 45° betragen.

5

21. Laufschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Übergangsbereich (8) zwischen einer Innenfläche (7a) der Anstreifkante (7) und der Außenfläche (4a) des Kronenbodens (4) abgerundet ist.

10

22. Laufschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaufelblattkörper (2) durch Gießen oder in einem generativen Verfahren, insbesondere mittels 3D-Drucken hergestellt ist.

15

FIG 1

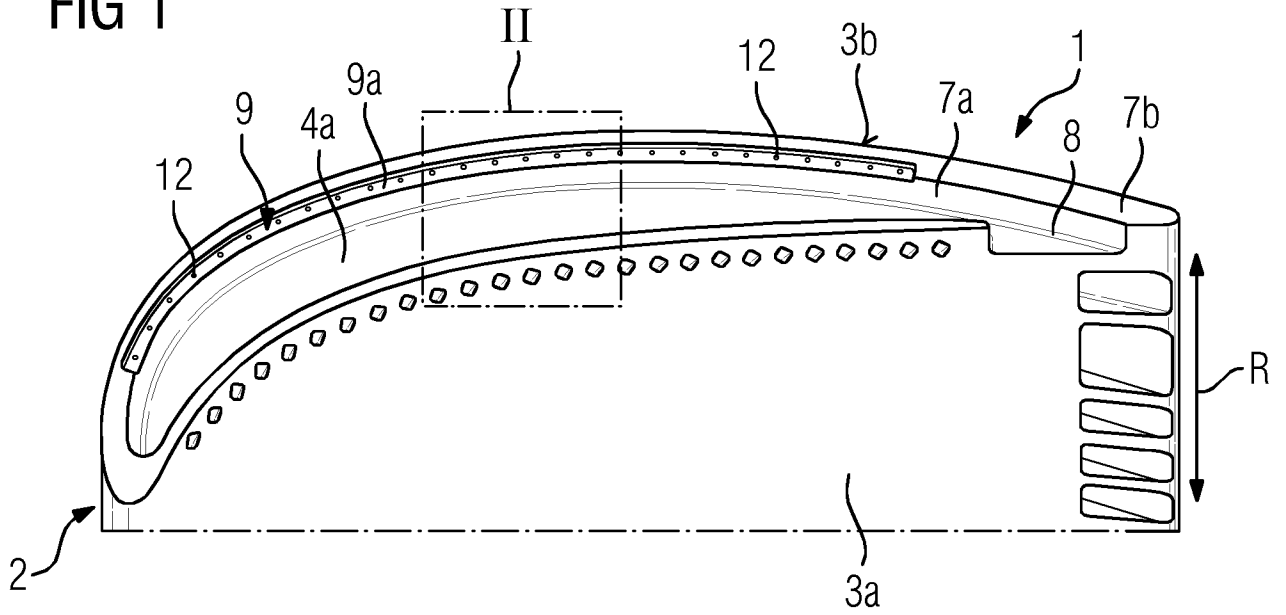


FIG 2

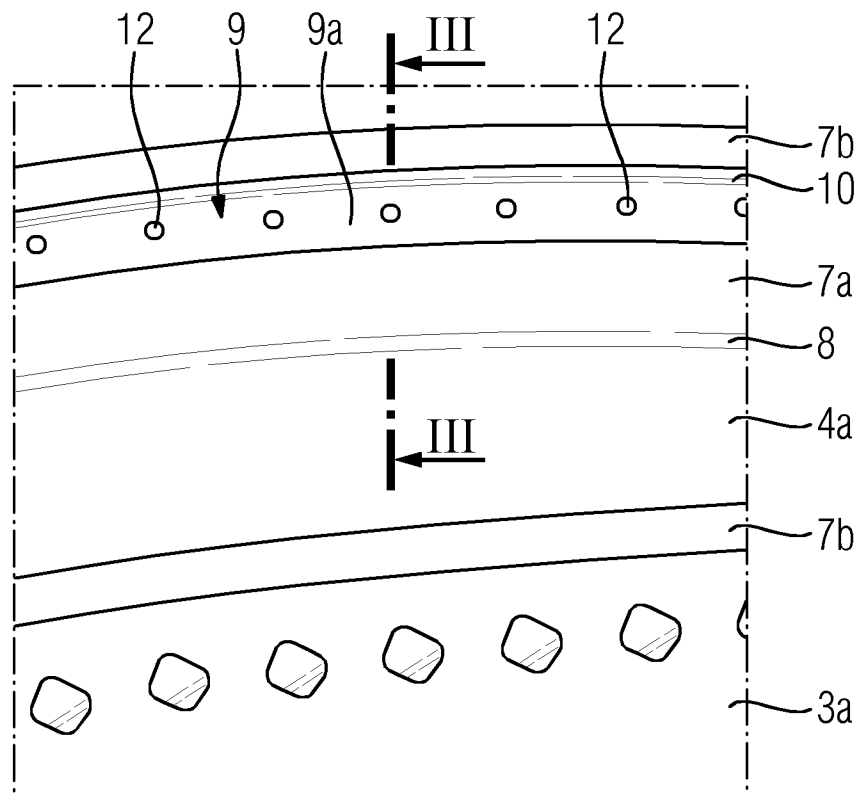


FIG 3

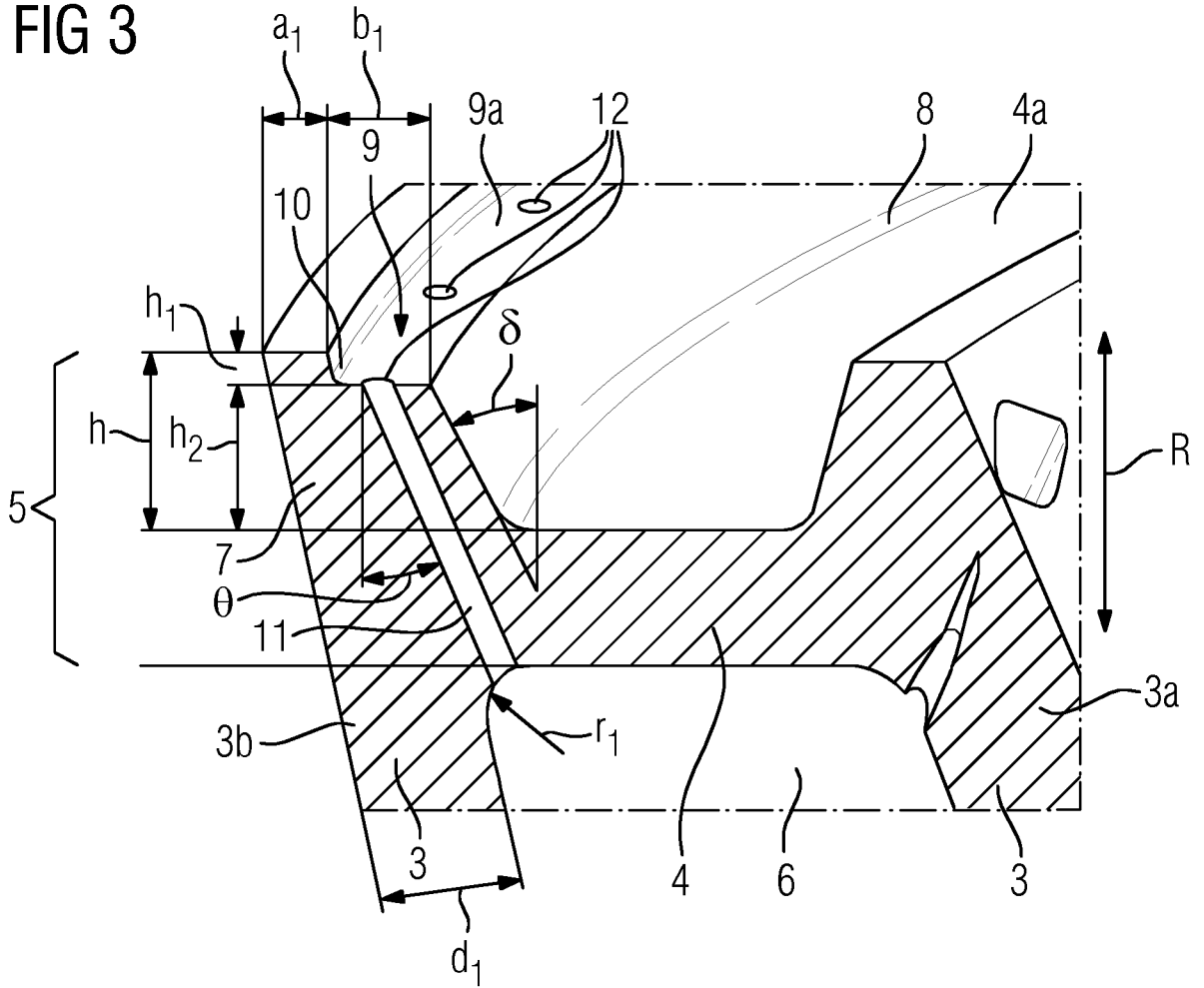


FIG 4

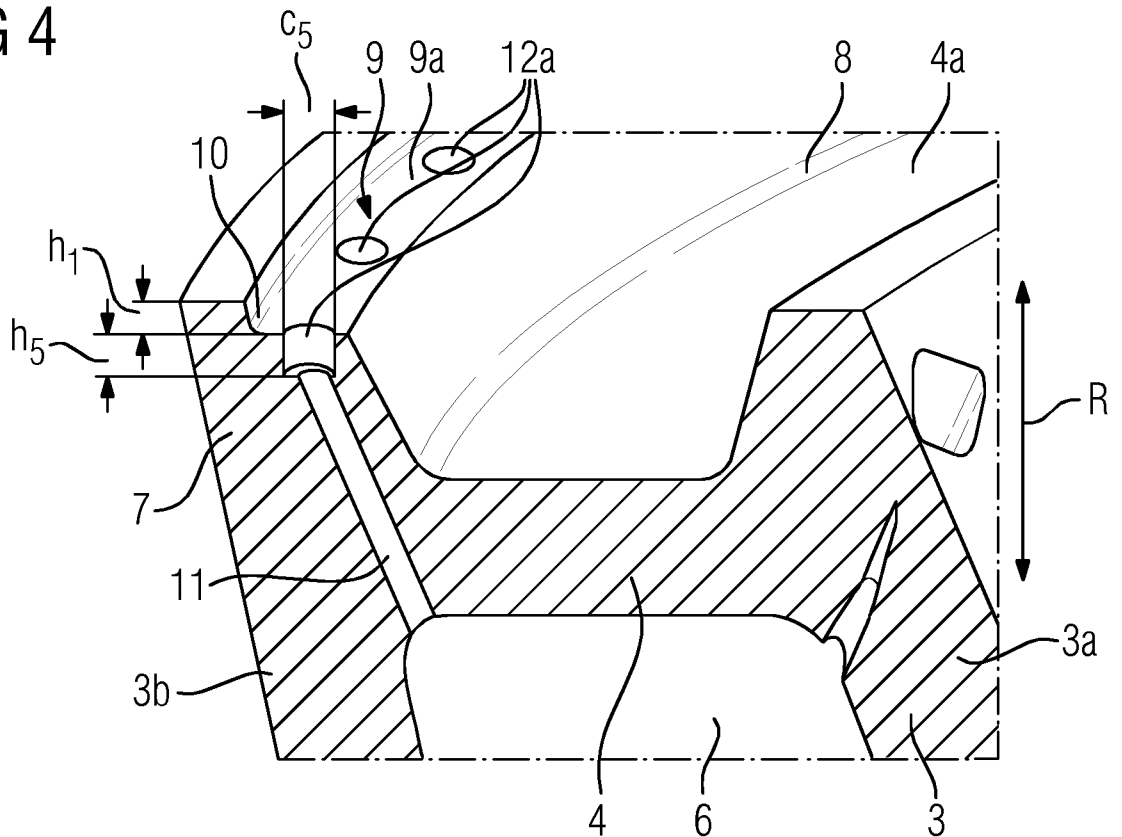


FIG 7

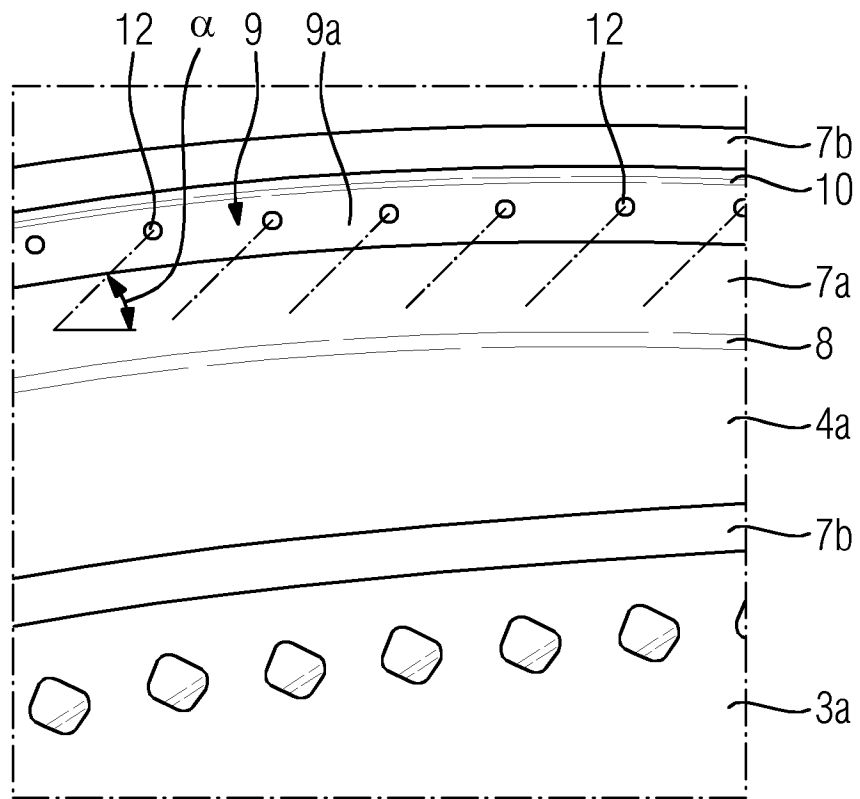
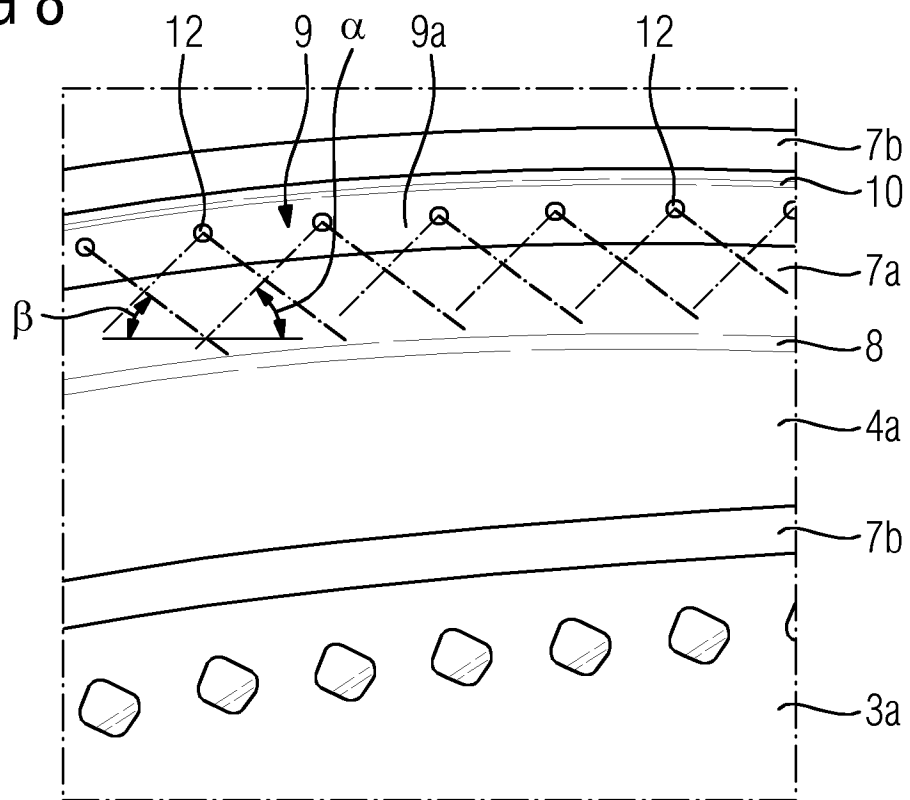


FIG 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2017/054734

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. F01D5/20 F01D11/10 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.		
Y	EP 2 378 076 A1 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 19 October 2011 (2011-10-19) column 3, paragraph 19 - column 5, paragraph 33; figures 3-6,11-14 -----	1-3,5-8, 10-22		
Y	EP 1 281 837 A1 (ALSTOM SWITZERLAND LTD [CH]) 5 February 2003 (2003-02-05) column 6, paragraph 23 - column 7, paragraph 26; figures 4-6 -----	1-3,5-8, 10-22		
X	EP 2 863 015 A1 (HONEYWELL INT INC [US]) 22 April 2015 (2015-04-22) column 5, paragraph 20 - column 10, paragraph 36; figures 4,8 -----	1-10,17, 18 8		
Y	US 5 733 102 A (LEE CHING-PANG [US] ET AL) 31 March 1998 (1998-03-31) figure 2 -----	8		
-/--				
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.				
* Special categories of cited documents : <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> "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 </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> "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 </td> </tr> </table>			"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
"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			
27 April 2017	10/05/2017			
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 Rau, Guido			

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2017/054734

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 261 789 A (BUTTS DON [US] ET AL) 16 November 1993 (1993-11-16) column 6, line 45 - column 7, line 2; figure 2	1
A	----- EP 1 059 419 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 13 December 2000 (2000-12-13) figures 2-4 -----	14,17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2017/054734

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2378076	A1	19-10-2011	EP 2378076 A1 19-10-2011 US 2011255990 A1 20-10-2011

EP 1281837	A1	05-02-2003	NONE

EP 2863015	A1	22-04-2015	EP 2863015 A1 22-04-2015 US 2015104326 A1 16-04-2015

US 5733102	A	31-03-1998	GB 2322167 A 19-08-1998 JP 4070856 B2 02-04-2008 JP H10252407 A 22-09-1998 US 5733102 A 31-03-1998

US 5261789	A	16-11-1993	FR 2695162 A1 04-03-1994 GB 2270125 A 02-03-1994 US 5261789 A 16-11-1993

EP 1059419	A1	13-12-2000	EP 1059419 A1 13-12-2000 JP 2001098904 A 10-04-2001 US 6224336 B1 01-05-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/054734

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F01D5/20 F01D11/10 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F01D		
Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten 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.
Y	EP 2 378 076 A1 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 19. Oktober 2011 (2011-10-19) Spalte 3, Absatz 19 - Spalte 5, Absatz 33; Abbildungen 3-6,11-14 -----	1-3,5-8, 10-22
Y	EP 1 281 837 A1 (ALSTOM SWITZERLAND LTD [CH]) 5. Februar 2003 (2003-02-05) Spalte 6, Absatz 23 - Spalte 7, Absatz 26; Abbildungen 4-6 -----	1-3,5-8, 10-22
X	EP 2 863 015 A1 (HONEYWELL INT INC [US]) 22. April 2015 (2015-04-22) Spalte 5, Absatz 20 - Spalte 10, Absatz 36; Abbildungen 4,8 -----	1-10,17, 18 8
Y	US 5 733 102 A (LEE CHING-PANG [US] ET AL) 31. März 1998 (1998-03-31) Abbildung 2 -----	8
-/--		
<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 <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">27. April 2017</p>		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">10/05/2017</p>
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 <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Rau, Guido</p>

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/054734

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 261 789 A (BUTTS DON [US] ET AL) 16. November 1993 (1993-11-16) Spalte 6, Zeile 45 - Spalte 7, Zeile 2; Abbildung 2 -----	1
A	EP 1 059 419 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 13. Dezember 2000 (2000-12-13) Abbildungen 2-4 -----	14,17

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/054734

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2378076	A1	19-10-2011	EP 2378076 A1	19-10-2011
			US 2011255990 A1	20-10-2011

EP 1281837	A1	05-02-2003	KEINE	

EP 2863015	A1	22-04-2015	EP 2863015 A1	22-04-2015
			US 2015104326 A1	16-04-2015

US 5733102	A	31-03-1998	GB 2322167 A	19-08-1998
			JP 4070856 B2	02-04-2008
			JP H10252407 A	22-09-1998
			US 5733102 A	31-03-1998

US 5261789	A	16-11-1993	FR 2695162 A1	04-03-1994
			GB 2270125 A	02-03-1994
			US 5261789 A	16-11-1993

EP 1059419	A1	13-12-2000	EP 1059419 A1	13-12-2000
			JP 2001098904 A	10-04-2001
			US 6224336 B1	01-05-2001
