(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 333 366 A1**

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.06.2018 Patentblatt 2018/24

(51) Int Cl.:
F01D 5/18 *(2006.01)* ***F01D 9/04*** *(2006.01)*
F01D 25/12 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **16202826.0**

(22) Anmeldetag: **08.12.2016**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

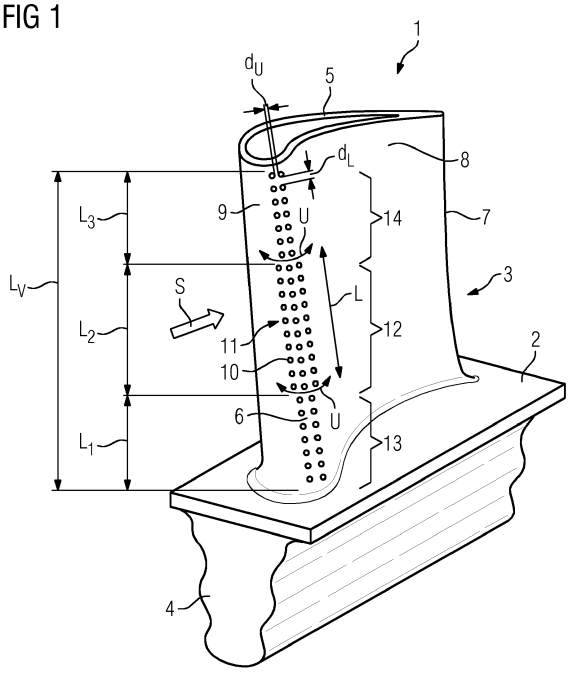
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
- **Ahmad, Fathi**
  41564 Kaarst (DE)
- **Koch, Daniela**
  45130 Essen (DE)

(54) TURBINENSCHAUFEL MIT VORDERKANTENKÜHLUNG

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel (1) für eine Strömungsmaschine (15), umfassend eine Schaufelplattform (2) und ein von der Schaufelplattform (2) abragendes Schaufelblatt (3) mit einer Umfangswandung(5), die eine anströmseitige Vorderkante (6), eine abströmseitige Hinterkante (7), einen druckseitigen Wandungsabschnitt (8) sowie einen saugseitigen Wandungsabschnitt (9) aufweist und einen Hohlraum definiert, der sich zumindest entlang der Vorderkante (6) erstreckt, wobei im Bereich der Vorderkante (6) zu deren Kühlung eine Mehrzahl von den Hohlraum mit der Außenseite des Schaufelblattes (3) verbindenden und beabstandet zueinander angeordneten Kühlbohrungen (10) vorgesehen ist, die eine Mehrzahl von Bohrungsreihen (11) bilden, die sich jeweils in einer Umfangsrichtung (U) des Schaufelblattes (3) erstrecken und zwischen der Schaufelplattform (2) und dem gegenüberliegenden Ende des Schaufelblattes (3) in einer Längsrichtung (L) der Vorderkante (6) übereinander angeordnet sind, wobei in einem bezogen auf die Längsrichtung (L) mittleren Vorderkantenabschnitt (12) die Bohrungsreihen (11) eine größere Anzahl von Kühlbohrungen (10) aufweisen als in einem unteren Vorderkantenabschnitt (13) und/oder in einem unteren Vorderkantenabschnitt (14).

FIG 1



EP 3 333 366 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine, umfassend eine Schaufelplattform und ein von der Schaufelplattform abragendes Schaufelblatt mit einer Umfangswandung, die eine anströmseitige Vorderkante, eine abströmseitige Hinterkante, einen druckseitigen Wandungsabschnitt sowie einen saugseitigen Wandungsabschnitt aufweist und einen Hohlraum definiert, der sich zumindest entlang der Vorderkante erstreckt, wobei im Bereich der Vorderkante zu deren Kühlung eine Mehrzahl von den Hohlraum mit der Außenseite des Schaufelblattes verbindenden und beabstandet zueinander angeordneten Kühlbohrungen vorgesehen ist, die eine Mehrzahl von Bohrungsreihen bilden, die sich jeweils in einer Umfangsrichtung des Schaufelblattes erstrecken und zwischen der Schaufelplattform und dem gegenüberliegenden Ende des Schaufelblattes in einer Längsrichtung der Vorderkante übereinander angeordnet sind. Ferner betrifft die Erfindung eine Gasturbine mit solchen Turbinenschaufeln.

[0002] Derartige Turbinenschaufeln sind im Stand der Technik in unterschiedlichen Ausführungen bekannt und dienen in Strömungsmaschinen dazu, die thermische und kinetische Energie eines Arbeitsfluides, insbesondere eines Heißgases, in Rotationsenergie umzuwandeln. Üblicherweise umfasst eine solche Turbinenschaufel eine Schaufelplattform und ein Schaufelblatt, das von der Schaufelplattform abragt. Das Schaufelblatt weist eine Umfangswandung auf, die eine anströmseitige Vorderkante, eine abströmseitige Hinterkante, einen druckseitigen Wandungsabschnitt sowie ein saugseitigen Wandungsabschnitt umfasst und in ihrem Inneren einen Hohlraum definiert, der sich entlang der Vorderkante erstreckt.

[0003] Gasturbinen umfassen ein Gehäuse, durch das sich in einer axialen Richtung ein ringförmiger Strömungskanal erstreckt. In dem Strömungskanal ist eine Mehrzahl von Turbinenstufen in der axialen Richtung hintereinander und beabstandet zueinander angeordnet. Jede Turbinenstufe umfasst eine Mehrzahl von Turbinenschaufeln, die einen mit dem Gehäuse verbundenen Leitschaufelkranz (Stator) und einen mit einem zentral gelagerten und das Gehäuse in der axialen Richtung durchsetzenden Läufer verbundenen Laufschaufelkranz (Rotor) bilden.

[0004] Während des Betriebs der Gasturbine wird der Strömungskanal von einem expandierenden Heißgas durchströmt. Das den Strömungskanal durchströmende Heißgas wird von den Leitschaufeln derart umgelenkt, dass es die dahinter angeordneten Laufschaufeln optimal anströmt. Das von dem Heißgas mittels der Laufschaufeln erzeugte Drehmoment versetzt den Läufer in Rotation. Die Rotationsenergie des Läufers kann dann beispielsweise mittels eines Generators in elektrische Energie umgewandelt werden.

[0005] Der thermodynamische Wirkungsgrad einer Gasturbine ist desto höher, je höher die Eintrittstemperatur des Heißgases in die Gasturbine ist. Jedoch sind der Höhe der Eintrittstemperatur unter anderem durch die thermische Belastbarkeit der Turbinenschaufeln Grenzen gesetzt. Dementsprechend besteht eine Zielsetzung darin, Turbinenschaufeln zu schaffen, die auch bei sehr hohen Eintrittstemperaturen des Heißgases eine für den Betrieb der Gasturbine ausreichende mechanische Beständigkeit besitzen.

[0006] Zum mechanischen Schutz und zur Wärmedämmung werden Turbinenschaufeln gewöhnlich mit aufwendigen Beschichtungssystemen versehen. Eine weitere Erhöhung der zulässigen Eintrittstemperatur des Heißgases während des Betriebs der Gasturbine lässt sich durch Kühlen der Turbinenschaufeln erreichen. Dazu sind in den Schaufelblättern Hohlräume vorgesehen, durch die ein Kühlfluid geleitet wird.

[0007] Während des Betriebs der Gasturbine strömt das Kühlfluid durch den Hohlraum des Schaufelblattes, um dieses beispielsweise durch Prallkühlung, bei der das Kühlfluid derart geführt wird, dass es von innen auf die Umfangswandung des Schaufelblattes prallt, und/oder durch Filmkühlung zu kühlen, bei der das Kühlfluid durch in der Umfangswandung des Schaufelblattes vorgesehene Kühlbohrungen aus dem Hohlraum auf die Außenseite des Schaufelblatts strömt und dort einen äußeren Kühlfilm bildet.

[0008] Die anströmseitige Vorderkante des Schaufelblatts ist einer besonders hohen thermischen Belastung durch das anströmende Heißgas ausgesetzt. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, ist im Bereich der Vorderkante der Turbinenschaufel zu deren Kühlung eine Mehrzahl von Kühlbohrungen (shower head design) vorgesehen, die den Hohlraum im Inneren des Schaufelblattes mit seiner Außenseite verbinden und beabstandet zueinander angeordnet sind. Die Kühlbohrungen bilden dabei eine Mehrzahl von Bohrungsreihen, die sich jeweils in einer Umfangsrichtung des Schaufelblattes erstrecken und zwischen der Schaufelplattform und dem gegenüberliegenden Ende des Schaufelblattes in einer Längsrichtung der Vorderkante übereinander angeordnet sind. Beispielsweise kann jede Bohrungsreihe drei Kühlbohrungen aufweisen, wie es beispielhaft in Figur 5 gezeigt ist.

[0009] Untersuchungen haben ergeben, dass die Heißgasströmung an einem Punkt der Vorderkante der Turbinenschaufel einen sogenannten Staupunkt (stagnation point) ausbildet, an dem die Strömungsgeschwindigkeit des Heißgases zumindest nahezu vollständig verschwindet. Entsprechend ist die thermische Belastung der Vorderkante der Turbinenschaufel an dem Staupunkt besonders hoch. Die Position dieses Staupunktes bezogen auf die Längsrichtung der Vorderkante der Turbinenschaufel variiert allerdings mit dem jeweils aktuellen Betriebspunkt der Strömungsmaschine. Entsprechend kann der Staupunkt während des Betriebs der Gasturbine entlang der Vorderkante des Schaufelblatts in deren Längsrichtung wandern.

[0010] Vor diesem Hintergrund kann es bei der ge-

bräuchlichen und in Figur 5 dargestellten Anordnung von Kühlbohrungen im Bereich der Vorderkante der Turbinenschaufel zu einer ineffizienten Kühlung sowie bedingt durch einen großen Temperaturgradienten in bestimmten Bereichen zu Materialspannungen insbesondere zwischen einem an der Außenseite der Umfangswandung vorgesehenen Beschichtungssystem und der Umfangswandung kommen.

[0011] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Turbinenschaufel der eingangs genannten Art zu schaffen, die eine effiziente Kühlung der Vorderkante des Schaufelblatts ermöglicht und geringe Materialspannungen im Bereich der Vorderkante des Schaufelblattes bewirkt.

[0012] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Turbinenschaufel der eingangs genannten Art gelöst, bei der in einem bezogen auf die Längsrichtung mittleren Vorderkantenabschnitt die Bohrungsreihen eine größere Anzahl von Kühlbohrungen aufweisen als in einem unteren Vorderkantenbereich und/oder in einem oberen Vorderkantenabschnitt.

[0013] Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, die Anzahl von Kühlbohrungen je Bohrungsreihe - in der Längsrichtung der Vorderkante betrachtet - entsprechend der tatsächlichen thermischen Belastung durch den während des Betriebs der Strömungsmaschine wandernden Staupunkt variabel zu wählen. Dazu weisen in einem mittleren, durch den Staupunkt thermisch stärker belasteten Vorderkantenabschnitt die Bohrungsreihen eine größere Anzahl von Kühlbohrungen auf als in einem äußeren unteren und/oder oberen Vorderkantenabschnitt. Auf diese Weise ist die Gesamtzahl der Kühlbohrungen im Bereich der Vorderkante reduziert, was einerseits mit einem geringen Kühlfluidverbrauch einhergeht. Andererseits ist zumindest ein thermisch wenig belasteter äußerer Vorderkantenabschnitt geringer gekühlt als der mittlere Vorderkantenabschnitt, wodurch sich bezogen auf die Längsrichtung der Vorderkante der Turbinenschaufel der Temperaturgradient entsprechend verkleinert. Ein kleiner Temperaturgradient kann die Materialspannungen im Bereich der Vorderkante, insbesondere Spannungen zwischen einem an der Außenseite der Umfangswandung vorgesehenen Beschichtungssystem und der Umfangswandung des Schaufelblattes verringern und somit die Lebensdauer der Turbinenschaufel erhöhen. Abgesehen davon führt eine geringe Anzahl von Kühlbohrungen zu entsprechend geringen Herstellungskosten der Turbinenschaufel.

[0014] Bevorzugt weisen die Bohrungsreihen in dem mittleren Vorderkantenabschnitt jeweils drei Kühlbohrungen auf. Dies entspricht in dem mittleren Vorderkantenabschnitt einer herkömmlichen Kühlbohrungsanordnung (shower head design).

[0015] Besonders bevorzugt weisen die Bohrungsreihen in dem unteren Vorderkantenabschnitt und/oder in dem oberen Vorderkantenabschnitt jeweils zwei Kühlbohrungen auf. Gegenüber der herkömmlichen Kühlbohrungsanordnung in den äußeren Vorderkantenabschnitten sind in diesen somit weniger Kühlbohrungen vorgesehen, wodurch der Kühlfluidverbrauch reduziert werden und der Temperaturgradient bezogen auf die Längsrichtung der Vorderkante verringert sein kann.

[0016] Gemäß einer Ausgestaltung liegt - in der Längsrichtung betrachtet - die Länge des unteren Vorderkantenabschnittes und/oder des oberen Vorderkantenabschnittes jeweils im Bereich von 20% bis 40% der Gesamtlänge der Vorderkante und beträgt bevorzugt etwa 30%. Entsprechend liegt dabei - in der Längsrichtung betrachtet - die Länge des mittleren Vorderkantenabschnitts im Bereich von 20% bis 60% der Gesamtlänge der Vorderkante und beträgt bevorzugt etwa 40%. Mit anderen Worten werden über eine Länge von zwischen 40% und 80% der Gesamtlänge der Vorderkante weniger Kühlbohrungen je Bohrungsreihe vorgesehen.

[0017] Alternativ oder zusätzlich kann die Anzahl der Bohrungsreihen in dem mittleren Vorderkantenabschnitt größer sein als die Anzahl der Bohrungsreihen in dem unteren Vorderkantenabschnitt und/oder in dem oberen Vorderkantenabschnitt. Dieses Anzahlverhältnis stellt sich bei dem oben genannten Längenverhältnis zwischen wenigstens einem äußeren Vorderkantenabschnitt und dem mittleren Vorderkantenabschnitt ein, wenn die Bohrungsreihen in der Längsrichtung der Vorderkante über deren gesamter Länge äquidistant ausgebildet sind.

[0018] Gemäß einer Weiterentwicklung kann - in der Längsrichtung betrachtet - der Abstand zwischen benachbart angeordneten Bohrungsreihen im Bereich von 1 mm bis 5 mm liegen und bevorzugt 3 mm betragen. Auf diese Weise kann an der Vorderkante der Turbinenschaufel ein ausreichender Kühlfilm erzeugt werden.

[0019] Gemäß einer Variante nimmt in dem unteren Vorderkantenabschnitt und/oder in dem oberen Vorderkantenabschnitt der Abstand zwischen benachbart angeordneten Bohrungsreihen - in der Längsrichtung betrachtet - nach außen hin zu. Dies geht mit einer weiteren Reduzierung der Bohrungsreihen einher und verringert entsprechend den Kühlfluidverbrauch stärker.

[0020] Bevorzugt liegt innerhalb einer Bohrungsreihe der Abstand zwischen benachbart angeordneten Kühlbohrungen im Bereich von 1 mm bis 5 mm und beträgt bevorzugt 3 mm. Derartige Abstände zwischen den Kühlbohrungen einer Bohrungsreihe sind zum Erzeugen eines ausreichenden Kühlfilms an der Vorderkante des Schaufelblattes förderlich.

[0021] Gemäß einer Variante kann die Turbinenschaufel als eine Leitschaufel ausgebildet sein. Alternativ kann die Turbinenschaufel als eine Laufschaufel ausgebildet sein. Die erfindungsgemäß verbesserte Kühlbohrungsanordnung an der Vorderkante des Schaufelblatts eignet sich gleichermaßen für Leit- und Laufschaufeln, insbesondere auch Leitschaufeln mit zwei Schaufelplattformen, die an den gegenüberliegenden äußeren Enden des Schaufelblattes angeordnet sind.

[0022] Ferner schafft die vorliegende Erfindung eine Strömungsmaschine, umfassend wenigstens zwei in ei-

ner Strömungsrichtung hintereinander angeordnete Turbinenstufen, wobei jede Turbinenstufe einen aus einer Mehrzahl von Leitschaufeln gebildeten Leitschaufelkranz und einen dahinter angeordneten, aus einer Mehrzahl von Laufschaufeln gebildeten Laufschaufelkranz umfasst, wobei die Leitschaufeln und/oder die Laufschaufeln erfindungsgemäße Turbinenschaufeln sind. Strömungsmaschinen mit erfindungsgemäßen Turbinenschaufeln weisen einen relativ geringen Kühlfluidverbrauch auf und ermöglichen längere Wartungsintervalle, was mit geringeren Stillstandzeiten und somit einer höheren Wirtschaftlichkeit einhergeht.

[0023] Bevorzugt liegt bei Turbinenschaufeln der ersten Turbinenstufe - in der Längsrichtung betrachtet - die Länge der unteren Vorderkantenabschnitte und/oder der oberen Vorderkantenabschnitte im Bereich von 25% bis 35% der Gesamtlänge der Vorderkante und beträgt bevorzugt 30%.

[0024] Gemäß einer Weiterentwicklung ist bei Turbinenschaufeln einer hinteren Turbinenstufe - in der Längsrichtung betrachtet -das Verhältnis der Länge des unteren Vorderkantenabschnitts und/oder des oberen Vorderkantenabschnitts zur Länge des mittleren Vorderkantenabschnitts größer als bei Turbinenschaufeln einer vorderen Turbinenstufe. Damit kann dem Umstand Rechnung getragen werden, dass der Vorderkantenabschnitt, in dem der Staupunkt wandert, in hinteren Turbinenstufen bezogen auf die Längsrichtung kürzer ist, als in vorderen Turbinenstufen.

[0025] Bei Turbinenschaufeln der zweiten Turbinenstufe kann - in der Längsrichtung betrachtet - die Länge des unteren Vorderkantenabschnitts und/oder des oberen Vorderkantenabschnitts im Bereich vom 30% bis 40% der Gesamtlänge der Vorderkante liegen und bevorzugt 35% betragen. Dies geht mit einer Reduzierung der Länge des mittleren Vorderkantenabschnitts der Turbinenschaufeln der zweiten Turbinenstufe um bis zu 10 Prozentpunkte gegenüber der ersten Turbinenstufe einher, wodurch der Gesamtverbrauch an Kühlfluid der Strömungsmaschine weiter verringert wird.

[0026] Weitere Merkmale und Vorteile werden anhand von drei beispielhaften Ausführungsformen einer Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine gemäß der vorliegenden Erfindung sowie einer Ausführungsform einer Strömungsmaschine gemäß der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung deutlich. Darin ist

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

Figur 2 eine perspektivische Ansicht einer Turbinenschaufel gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Figur 3 eine perspektivische Ansicht einer Turbinenschaufel gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Figur 4 eine teilweise Querschnittsansicht einer Strömungsmaschine gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Figur 5 eine perspektivische Ansicht einer Turbinenschaufel gemäß dem Stand der Technik.

[0027] Die Figuren 1 bis 3 zeigen drei bevorzugte Ausführungsformen einer Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine gemäß der vorliegenden Erfindung, die vorliegend als eine Leitschaufel für eine Gasturbine ausgebildet ist.

[0028] Die Figur 1 zeigt eine Turbinenschaufel 1 gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Turbinenschaufel 1 umfasst eine Schaufelplattform 2, ein Schaufelblatt 3, das von der Schaufelplattform 2 abragt und einen Schaufelfuß 4, der gegenüberliegend zu dem Schaufelblatt 3 von der Schaufelplattform 2 vorsteht.

[0029] Das Schaufelblatt 3 weist eine Umfangswandung 5 mit einer bezogen auf eine Strömungsrichtung S einer Strömungsmaschine anströmseitigen Vorderkante 6, einer abströmseitigen Hinterkante 7, einem druckseitigen Wandungsabschnitt 8 und einem saugseitigen Wandungsabschnitt 9 auf. Ferner definiert die Umfangswandung 5 im Inneren des Schaufelblattes 3 einen in den Figuren nicht sichtbaren Hohlraum, der sich ausgehend von der Schaufelplattform 2 entlang der Vorderkante 6 erstreckt.

[0030] Im Bereich der Vorderkante 6 ist zu deren Kühlung eine Mehrzahl von Kühlbohrungen 10 vorgesehen, die den Hohlraum mit der Außenseite des Schaufelblattes 3 verbinden und beabstandet zueinander angeordnet sind. Die Kühlbohrungen 10 bilden eine Vielzahl von Bohrungsreihen 11, die sich jeweils in einer Umfangsrichtung U des Schaufelblattes 3 erstrecken. Die Bohrungsreihen 11 sind zwischen der Schaufelplattform 2 und dem gegenüberliegenden Ende des Schaufelblattes 3 in einer Längsrichtung L der Vorderkante 6 übereinander angeordnet. Die Turbinenschaufel 1 kann weitere Kühlbohrungen aufweisen, die beispielsweise an der Hinterkante 7 oder den Wandungsabschnitten 8, 9 vorgesehen und in den Figuren der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt sind.

[0031] In einem bezogen auf die Längsrichtung L mittleren Vorderkantenabschnitt 12 weisen die Bohrungsreihen 11 eine größere Anzahl von Kühlbohrungen 10 auf, als in einem oberen Vorderkantenabschnitt 14 und in einem unteren Vorderkantenabschnitt 13. Konkret weisen die Bohrungsreihen 11 in dem mittleren Vorderkantenabschnitt 12 jeweils 3 Kühlbohrungen 10 auf, während die Bohrungsreihen 11 in dem unteren Vorderkantenabschnitt 13 und in dem oberen Vorderkantenabschnitt 14 jeweils zwei Kühlbohrungen 10 aufweisen.

[0032] Die Länge L_1 des unteren Vorderkantenabschnitts 13 und die Länge L_3 des oberen Vorderkanten-

abschnitts 14 betragen - in der Längsrichtung L betrachtet - jeweils 30 % der Gesamtlänge L_V der Vorderkante 6. Entsprechend beträgt die Länge L_2 des mittleren Vorderkantenabschnitts 12 - in der Längsrichtung L betrachtet - 40 % der Gesamtlänge L_V der Vorderkante 6.

[0033] Die Abstände d_L zwischen benachbart angeordneten Bohrungsreihen 11 sind über die Gesamtlänge L_V der Vorderkante identisch und betragen 3 mm. Entsprechend ist die Anzahl der Bohrungsreihen 11 in dem mittleren Vorderkantenabschnitt 12 größer als die Anzahl der Bohrungsreihen 11 in dem unteren Vorderkantenabschnitt 13 und in dem oberen Vorderkantenabschnitt 14. Der Abstand d_U zwischen benachbart angeordneten Kühlbohrungen 10 innerhalb einer Bohrungsreihe 11 liegt im Bereich von 1 mm bis 5 mm.

[0034] Selbstverständlich lässt sich eine derartige Anordnung von Kühlbohrungen 10 (shower head design) auch im Bereich der Vorderkante einer Leitschaufel vorsehen, insbesondere einer Leitschaufel mit zwei gegenüberliegenden Schaufelplattformen, zwischen denen ein Schaufelblatt angeordnet ist.

[0035] Während des Betriebs der Turbinenschaufel 1 wird diese von einem Heißgas umströmt. Zum Kühlen des Schaufelblattes 3 strömt gleichzeitig ein Kühlfluid ausgehend von der Schaufelplattform 2 durch den Hohlraum im Inneren des Schaufelblattes 3. Das Kühlfluid gelangt durch die Kühlbohrungen 10 im Bereich der Vorderkante 6 zur Außenseite des Schaufelblattes 3 und bildet dort einen Kühlfilm, der die Außenseite der Umfangswandung 5 kühlt und vor dem anströmenden Heißgas schützt.

[0036] Die Figur 2 zeigt eine Turbinenschaufel 1 gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Turbinenschaufel 1 besitzt denselben Grundaufbau wie die zuvor beschriebene Turbinenschaufel gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Anordnung der Kühlbohrungen 10 an der Vorderkante 6 der Turbinenschaufel 6 unterscheidet sich jedoch dadurch, dass die Länge L_1 des unteren Vorderkantenabschnitts 13 und die Länge L_3 des oberen Vorderkantenabschnitts 14 - in der Längsrichtung L betrachtet - jeweils 35 % der Gesamtlänge L_V der Vorderkante 6 betragen. Entsprechend beträgt die Länge L_2 des mittleren Vorderkantenabschnitts 12 - in der Längsrichtung L betrachtet - 30 % der Gesamtlänge L_V der Vorderkante 6.

[0037] Die Figur 3 zeigt eine Turbinenschaufel 1 gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Turbinenschaufel 1 besitzt denselben Grundaufbau wie die oben beschriebene Turbinenschaufel gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Auch die Längen L_1, L_2, L_3 des unteren Vorderkantenabschnitts 13, des mittleren Vorderkantenabschnitts 12 beziehungsweise des oberen Vorderkantenabschnitts 14 sind identisch. Jedoch sind die Bohrungsreihen 11 in dem unteren Vorderkantenabschnitt 13 und in dem oberen Vorderkantenabschnitt 14 - in der Längsrichtung L betrachtet - nicht äquidistant übereinander angeordnet, sondern nehmen nach außen hin zu.

[0038] Allen beschriebenen Ausführungsformen der Turbinenschaufel 1 ist gemeinsam, dass in dem mittleren Vorderkantenabschnitt 12 eine größere Anzahl von Kühlbohrungen 10 vorgesehen ist als jeweils in dem unteren Vorderkantenabschnitt 13 und in dem oberen Vorderkantenabschnitt 14. Entsprechend besteht ein Vorteil der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel 1 darin, dass ihre Vorderkante 6 effizienter gekühlt werden kann.

[0039] Sowohl der untere Vorderkantenabschnitt 13 als auch der obere Vorderkantenabschnitt 14 ist während des Betriebs der Strömungsmaschine einer geringeren thermischen Belastung ausgesetzt als der mittlere Vorderkantenabschnitts 12, da nur letzterer von dem Staupunkt (stagnation point) der Heißgasströmung getroffen wird. Infolgedessen wird zum Kühlen des unteren Vorderkantenabschnitts 13 und des oberen Vorderkantenabschnitts 14 weniger Kühlfluid benötigt als zum Kühlen des mittleren Vorderkantenabschnitts 12. Entsprechend kann in dem unteren Vorderkantenabschnitt 13 und in dem oberen Vorderkantenabschnitt 14 jeweils eine geringere Anzahl an Kühlbohrungen 10 vorgesehen sein als in dem mittleren Vorderkantenabschnitt 12, was mit einem geringen Kühlfluidverbrauch der Turbinenschaufel 1 einhergeht.

[0040] Zudem kann auf diese Weise eine Überkühlung des unteren Vorderkantenabschnitts 13 und des oberen Vorderkantenabschnitts 14 vermieden werden, wodurch der Temperaturgradient entlang der Vorderkante 6 der Turbinenschaufel 1 klein bleibt. Entsprechend treten im Bereich der Vorderkante 6 des Schaufelblattes 3, insbesondere zwischen einem an der Außenseite der Umfangswandung 5 vorgesehenen nicht dargestellten Beschichtungssystem und der Umfangswandung 5 des Schaufelblattes 3 nur geringe Materialspannungen auf, was die Lebensdauer der Turbinenschaufel 1 verlängern kann. Die geringe Anzahl von Kühlbohrungen im Bereich der Vorderkante 6 geht weiterhin mit geringen Herstellungskosten einher.

[0041] Figur 4 zeigt einen teilweisen Querschnitt einer Strömungsmaschine 15 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der es sich um eine Gasturbine handelt. Die Strömungsmaschine 15 umfasst fünf Turbinenstufen 16, die in der Strömungsrichtung S hintereinander angeordnet sind. Dabei umfasst jede Turbinenstufe 16 einen Leitschaufelkranz 17, der aus Leitschaufeln 18 gebildet ist, und einen dahinter angeordneten Laufschaufelkranz 19, der aus einer Mehrzahl von Laufschaufeln 20 gebildet ist.

[0042] Die Laufschaufeln 20a der ersten Turbinenstufe 16a sind Turbinenschaufeln gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Laufschaufeln 20b der hinter der ersten Turbinenstufe 16a angeordneten zweiten Turbinenstufe 16b sind Turbinenschaufeln gemäß der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0043] Entsprechend ist bei den Laufschaufeln 20b der zweiten Turbinenstufe 16b - in der Längsrichtung L be-

trachtet -das Verhältnis der Länge L_1 des unteren Vorderkantenabschnitts 13 sowie der Länge L_3 des oberen Vorderkantenabschnitts 14 zur Länge L_2 des mittleren Unterkantenabschnitts 12 größer als bei Laufschaufeln 20a der ersten Turbinenstufe 16a.

[0044] Selbstverständlich können alternativ oder zusätzlich die Leitschaufeln 18 als erfindungsgemäße Turbinenschaufeln mit entsprechenden, insbesondere in Richtung hinterer Turbinenstufen zunehmendem Längenverhältnis der Vorderkantenabschnitte vorgesehen sein.

[0045] Vorteile der erfindungsgemäßen Strömungsmaschine bestehen darin, dass ihr Kühlfluidverbrauch gering ist und die Materialspannungen an den Vorderkanten 6 der Laufschaufeln 20, insbesondere zwischen der Umfangswandung und einem an der Außenseite der Umfangswandung vorgesehenen Beschichtungssystem infolge von Temperaturgradienten gering sind. Deshalb können für die Strömungsmaschine 15 lange Wartungsintervalle vorgesehen sein, was mit entsprechend geringen Stillstandzeiten und einer guten Wirtschaftlichkeit der Strömungsmaschine 15 einhergeht.

[0046] 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 Schutzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (1) für eine Strömungsmaschine (15), umfassend eine Schaufelplattform (2) und ein von der Schaufelplattform (2) abragendes Schaufelblatt (3) mit einer Umfangswandung(5), die eine anströmseitige Vorderkante (6), eine abströmseitige Hinterkante (7), einen druckseitigen Wandungsabschnitt (8) sowie einen saugseitigen Wandungsabschnitt (9) aufweist und einen Hohlraum definiert, der sich zumindest entlang der Vorderkante (6) erstreckt, wobei im Bereich der Vorderkante (6) zu deren Kühlung eine Mehrzahl von den Hohlraum mit der Außenseite des Schaufelblattes (3) verbindenden und beabstandet zueinander angeordneten Kühlbohrungen (10) vorgesehen ist, die eine Mehrzahl von Bohrungsreihen (11) bilden, die sich jeweils in einer Umfangsrichtung (U) des Schaufelblattes (3) erstrecken und zwischen der Schaufelplattform (2) und dem gegenüberliegenden Ende des Schaufelblattes (3) in einer Längsrichtung (L) der Vorderkante (6) übereinander angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem bezogen auf die Längsrichtung (L) mittleren Vorderkantenabschnitt (12) die Bohrungsreihen (11) eine größere Anzahl von Kühlbohrungen (10) aufweisen als in einem unteren Vorderkantenabschnitt (13) und/oder in einem oberen Vorderkantenabschnitt (14).

2. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bohrungsreihen (11) in dem mittleren Vorderkantenabschnitt (12) jeweils drei Kühlbohrungen (10) aufweisen.

3. Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bohrungsreihen (11) in dem unteren Vorderkantenabschnitt (13) und/oder in dem oberen Vorderkantenabschnitt (14) jeweils zwei Kühlbohrungen (10) aufweisen.

4. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

   - in der Längsrichtung (L) betrachtet - die Länge (L_1, L_3) des unteren Vorderkantenabschnitts (13) und/oder des oberen Vorderkantenabschnitts (14) jeweils im Bereich von 20% bis 40% der Gesamtlänge (L_V) der Vorderkante (6) liegt und bevorzugt 30% beträgt, wobei entsprechend - in der Längsrichtung (L) betrachtet - die Länge (L_2) des mittleren Vorderkantenabschnitts (12) im Bereich von 20% bis 60% der Gesamtlänge (L_V) der Vorderkante (6) liegt und bevorzugt 40% beträgt.

5. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anzahl der Kühlbohrungen (10) in dem mittleren Vorderkantenabschnitt (12) größer ist als die Anzahl der Kühlbohrungen (10) in dem unteren Vorderkantenabschnitt (13) und/oder in dem oberen Vorderkantenabschnitt (14).

6. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anzahl der Bohrungsreihen (11) in dem mittleren Vorderkantenabschnitt (12) größer ist als die Anzahl der Bohrungsreihen (11) in dem unteren Vorderkantenabschnitt (13) und/oder in dem oberen Vorderkantenabschnitt (14).

7. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

   - in der Längsrichtung (L) betrachtet - der Abstand (d_L) zwischen benachbart angeordneten Bohrungsreihen (11) im Bereich vom 1 mm bis 5 mm liegt und bevorzugt 3 mm beträgt.

8. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehen-

den Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
in dem unteren Vorderkantenabschnitt (13) und/oder in dem oberen Vorderkantenabschnitt (14) der Abstand zwischen benachbart angeordneten Bohrungsreihen (11) - in der Längsrichtung (L) betrachtet - nach außen hin zunimmt.

9. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
innerhalb einer Bohrungsreihe (11) der Abstand (d_U) zwischen benachbart angeordneten Kühlbohrungen (10) im Bereich von 1 mm bis 5 mm liegt und bevorzugt 3 mm beträgt.

10. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Turbinenschaufel (1) als eine Leitschaufel ausgebildet ist.

11. Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Turbinenschaufel (1) als eine Laufschaufel ausgebildet ist.

12. Gasturbine (15),
umfassend wenigstens zwei in einer Strömungsrichtung (S) hintereinander angeordnete Turbinenstufen (16), wobei jede Turbinenstufe (16) einen aus einer Mehrzahl von Leitschaufeln (18) gebildeten Leitschaufelkranz (17) und einen dahinter angeordneten, aus einer Mehrzahl von Laufschaufeln (20) gebildeten Laufschaufelkranz (19) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leitschaufeln (18) und/oder die Laufschaufeln (20) Turbinenschaufeln (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche sind.

13. Gasturbine (15) nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
bei Turbinenschaufeln (1) der ersten Turbinenstufe (16) - in der Längsrichtung (L) betrachtet - die Länge (L_1, L_3) der unteren Vorderkantenabschnitte (13) und/oder der oberen Vorderkantenabschnitte (14) im Bereich von 25% bis 35% der Gesamtlänge (L_V) der Vorderkante (6) liegt und bevorzugt 30% beträgt.

14. Gasturbine (15) nach einem der Ansprüche 12 oder 13,
dadurch gekennzeichnet, dass
bei Turbinenschaufeln (1) einer hinteren Turbinenstufe (16) - in der Längsrichtung (L) betrachtet -das Verhältnis der Länge (L_1, L_3) des unteren Vorderkantenabschnitts (13) und/oder des oberen Vorderkantenabschnitts (14) zur Länge (L_2) des mittleren Vorderkantenabschnitts (12) größer ist als bei Turbinenschaufeln (1) einer vorderen Turbinenstufe (16).

15. Gasturbine (15) nach einem der Ansprüche 13 oder 14,
dadurch gekennzeichnet, dass
bei Turbinenschaufeln (1) der zweiten Turbinenstufe (16) - in der Längsrichtung (L) betrachtet - die Länge (L_1, L_3) des unteren Vorderkantenabschnitts (13) und/oder des oberen Vorderkantenabschnitts (14) im Bereich von 30% bis 40% der Gesamtlänge (L_V) der Vorderkante (6) liegt und bevorzugt 35% beträgt.

FIG 1

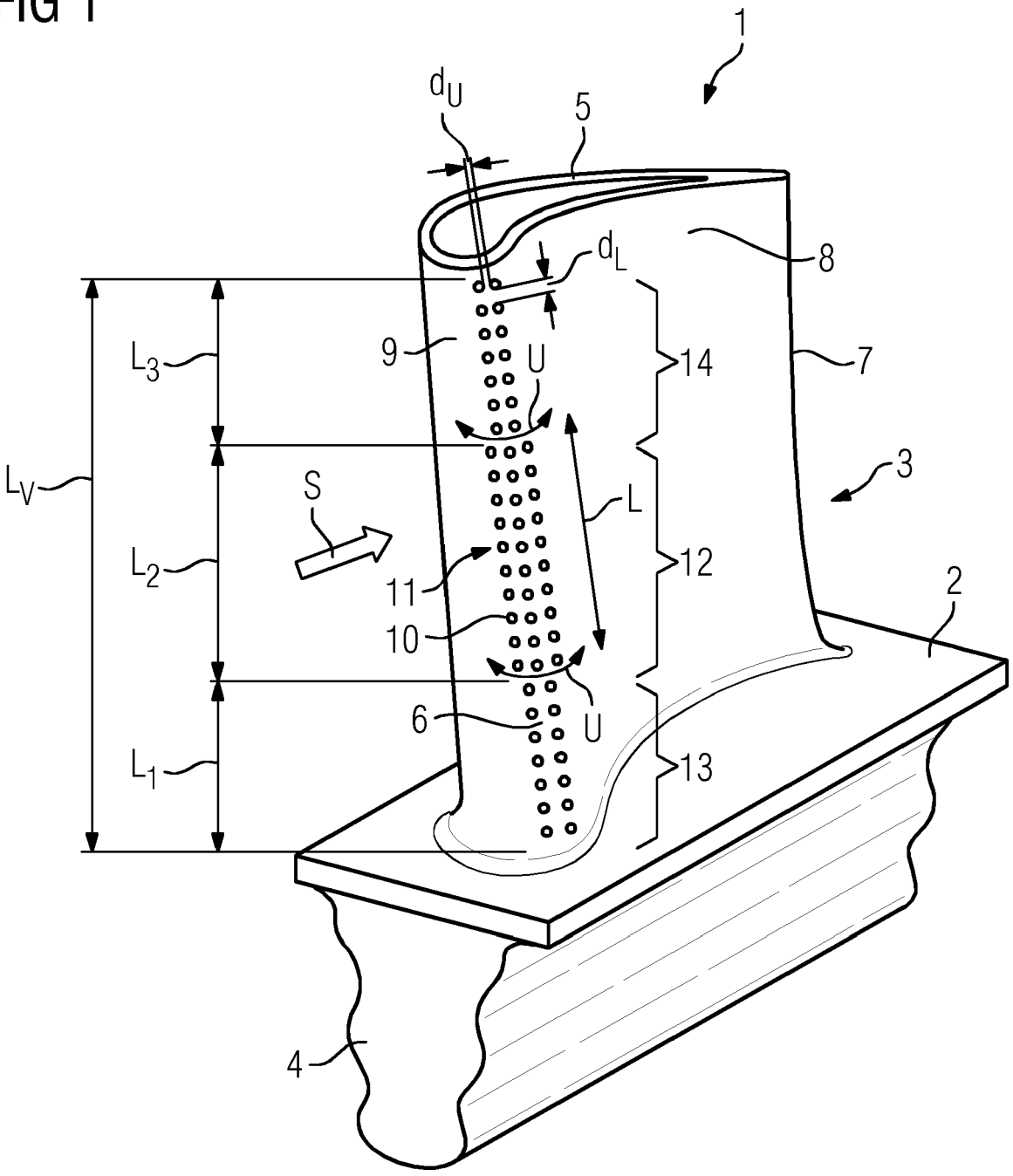


FIG 2

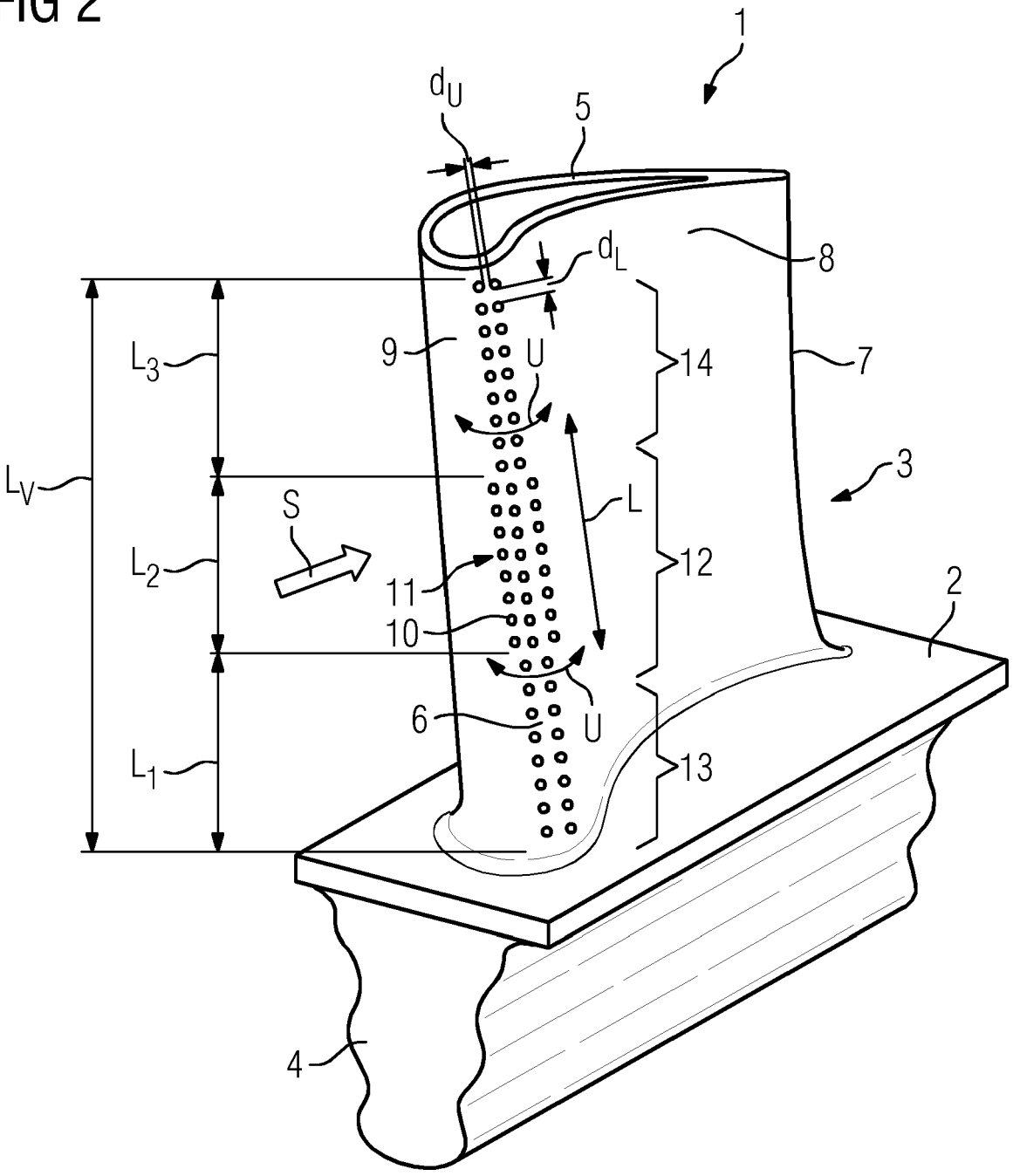


FIG 3

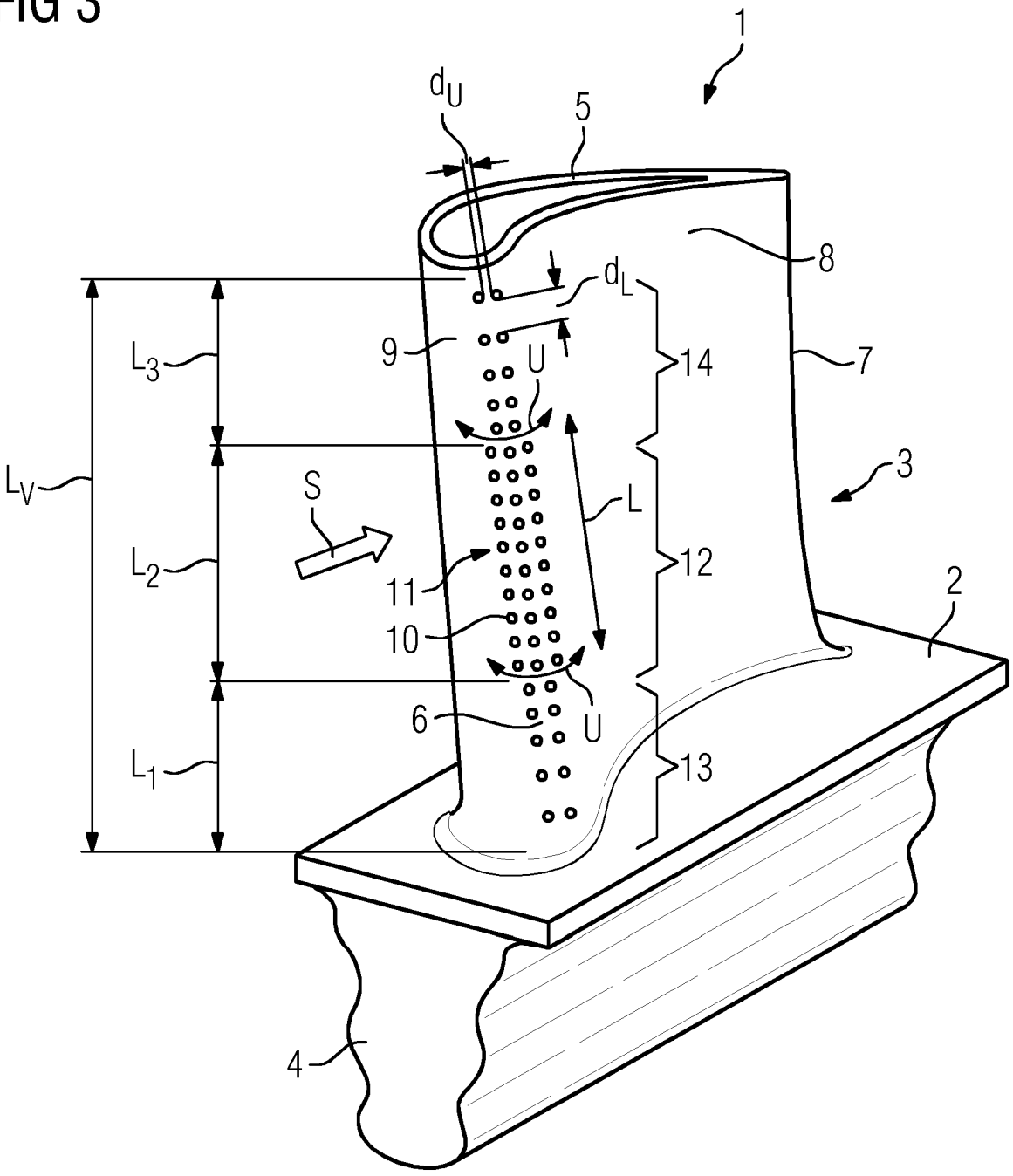


FIG 4

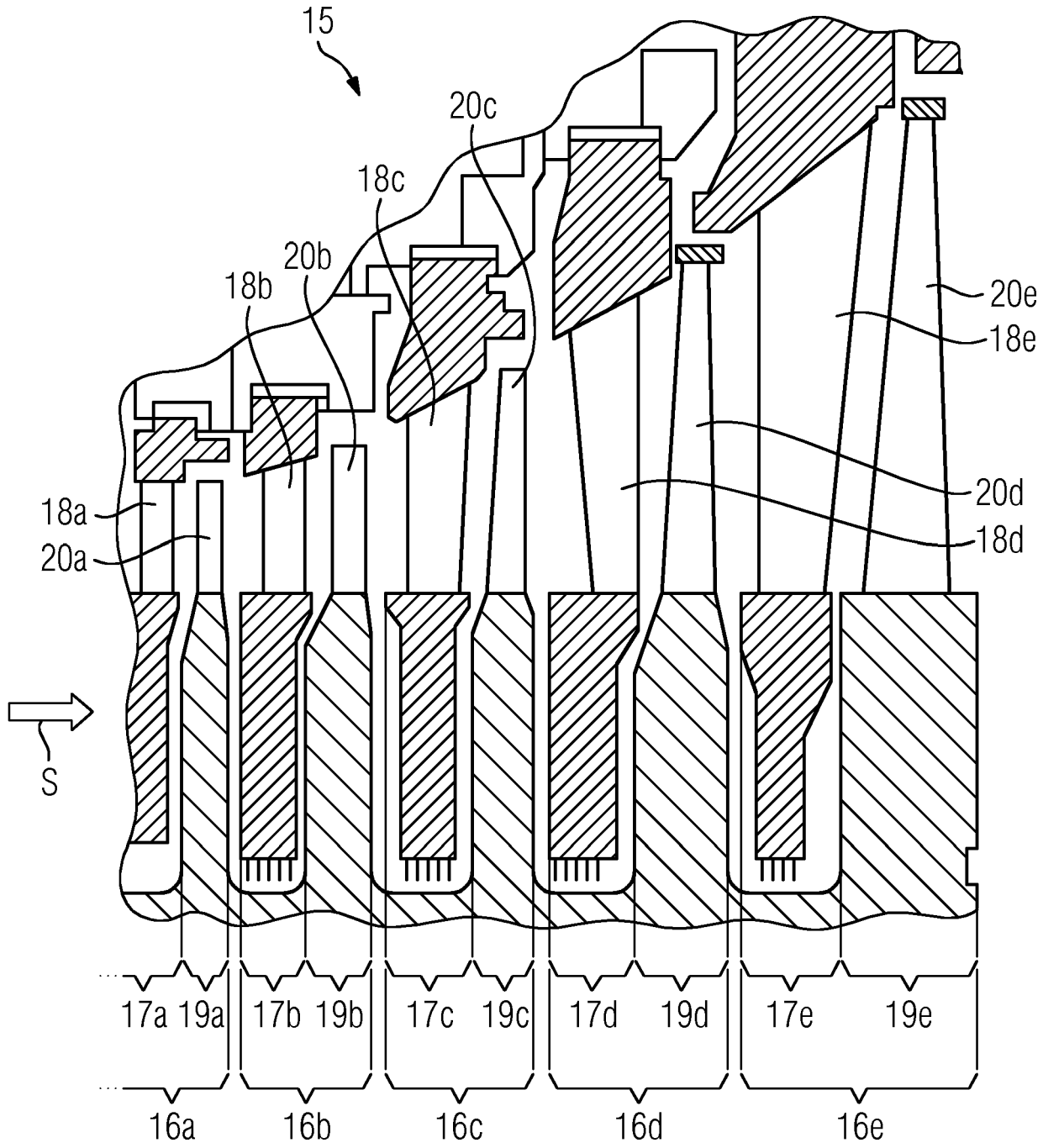
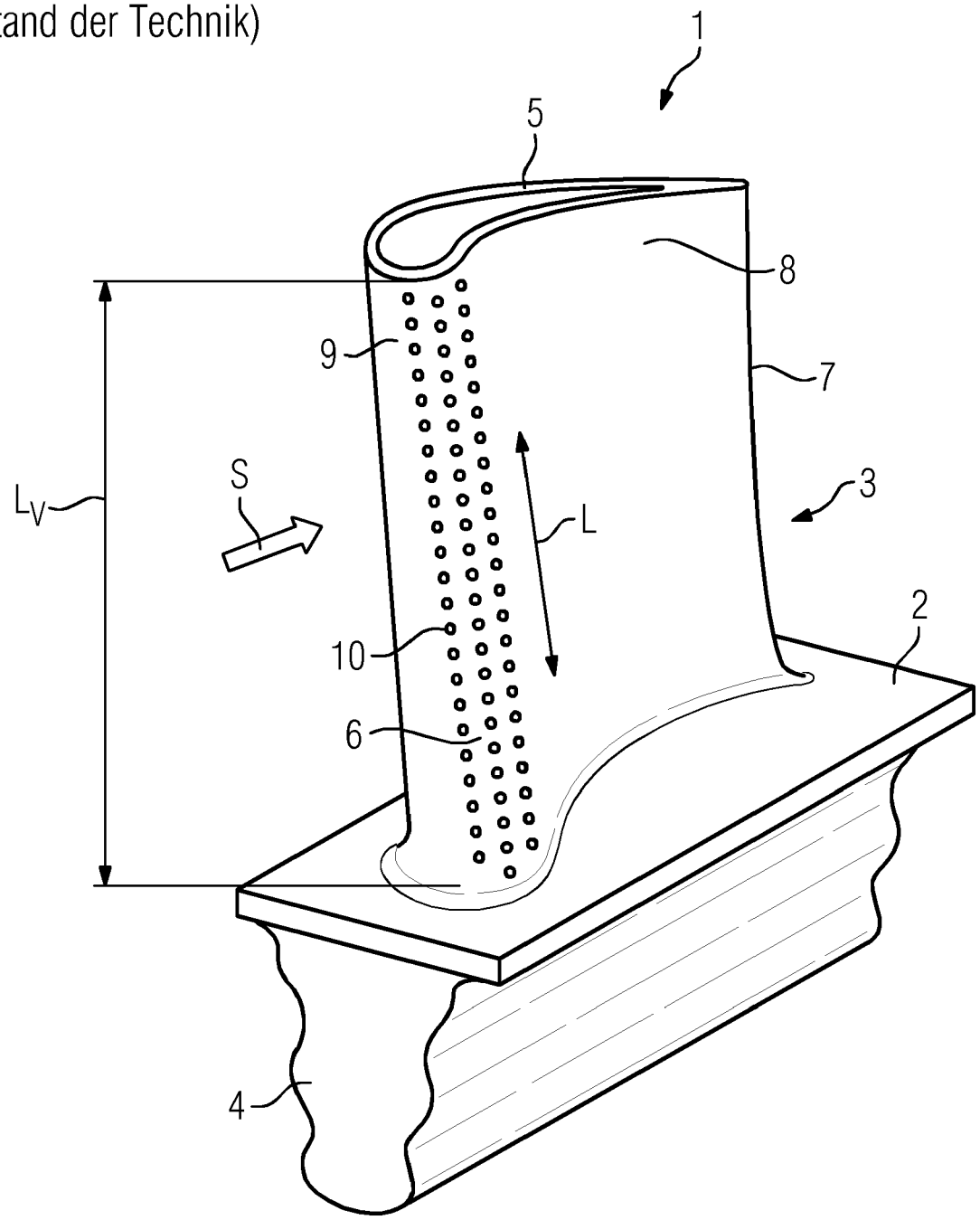

15
20c
18c
20b
18b
20e
18e
20d
18d
18a
20a
S
17a
19a
17b
19b
17c
19c
17d
19d
17e
19e
16a
16b
16c
16d
16e

FIG 5
(Stand der Technik)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 16 20 2826

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X Y	EP 1 798 379 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 20. Juni 2007 (2007-06-20) * Absätze [0025], [0045] - [0047], [0059] - [0062]; Abbildung 3 *	1-7,9, 10,12,13 8,11,14, 15	INV. F01D5/18 F01D9/04 F01D25/12
X Y	EP 1 760 267 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 7. März 2007 (2007-03-07) * Absätze [0036], [0047]; Abbildung 1 *	1-9, 11-13 10,14,15	
X Y	EP 3 091 185 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 9. November 2016 (2016-11-09) * Absätze [0022], [0025] - [0033], [0037]; Abbildungen 3B,3D,4B,4D *	1-4,7, 9-12 13-15	
X Y	WO 2014/137686 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 12. September 2014 (2014-09-12) * Absätze [0051] - [0055]; Abbildung 3 *	1-3,5,7, 9-12 13-15	
X	US 2005/135932 A1 (DODD ALEC G [GB]) 23. Juni 2005 (2005-06-23) * Absätze [0018], [0021]; Abbildungen 1-4 *	1-3,5-9, 11,12	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01D
Y	EP 0 473 991 A2 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP [US]) 11. März 1992 (1992-03-11) * Spalten 5,6; Abbildung 4 *	1-15	
Y	US 8 545 180 B1 (LIANG GEORGE [US]) 1. Oktober 2013 (2013-10-01) * Spalte 3; Abbildungen 5,7,8 *	1-13	
Y	US 2012/117975 A1 (SHARMA OM P [US] ET AL) 17. Mai 2012 (2012-05-17) * Absätze [0018], [0028], [0032]; Abbildung 2 *	12-15	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	11. Mai 2017	Koch, Rafael

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 16 20 2826

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

11-05-2017

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1798379 A2	20-06-2007	CA 2562584 A1	19-06-2007
		CN 1987055 A	27-06-2007
		EP 1798379 A2	20-06-2007
		JP 4719122 B2	06-07-2011
		JP 2007170375 A	05-07-2007
		US 2007140849 A1	21-06-2007
EP 1760267 A2	07-03-2007	CN 1970997 A	30-05-2007
		EP 1760267 A2	07-03-2007
		JP 4688758 B2	25-05-2011
		JP 2007064226 A	15-03-2007
		US 2007048133 A1	01-03-2007
EP 3091185 A1	09-11-2016	EP 3091185 A1	09-11-2016
		US 2016326882 A1	10-11-2016
WO 2014137686 A1	12-09-2014	EP 2964932 A1	13-01-2016
		US 2016010463 A1	14-01-2016
		WO 2014137686 A1	12-09-2014
US 2005135932 A1	23-06-2005	GB 2401915 A	24-11-2004
		US 2005135932 A1	23-06-2005
EP 0473991 A2	11-03-1992	AR 246781 A1	30-09-1994
		AU 640513 B2	26-08-1993
		CA 2050546 A1	05-03-1992
		DE 69107148 D1	16-03-1995
		DE 69107148 T2	08-06-1995
		EP 0473991 A2	11-03-1992
		JP H04234535 A	24-08-1992
		MX 173973 B	12-04-1994
		US 5117626 A	02-06-1992
US 8545180 B1	01-10-2013	KEINE	
US 2012117975 A1	17-05-2012	EP 2798185 A1	05-11-2014
		US 2012117975 A1	17-05-2012
		WO 2013101533 A1	04-07-2013

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82