



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 3 269 928 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
17.01.2018 Patentblatt 2018/03

(51) Int Cl.:
F01D 5/18 (2006.01)

F01D 9/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16179377.3**

(22) Anmeldetag: 14.07.2016

(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:

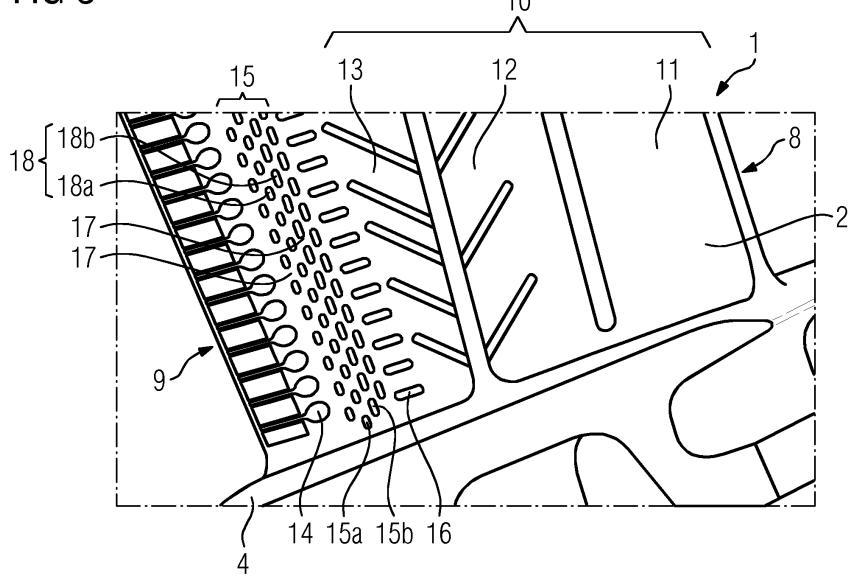
- Ahmad, Fathi
41564 Kaarst (DE)
 - Kurt, Nihal
40231 Düsseldorf (DE)

(54) TURBINENSCHAUFEL MIT STREBENFÖRMIGEN KÜHLRIPPEN

(57) Turbinenschaufel (1) für eine Strömungsmaschine, insbesondere für eine Gasturbine, mit einem Schaufelblatt (2), das eine Umfangswandung (5) mit einem druckseitigen Wandungsabschnitt (6) und einem diesem gegenüberliegenden saugseitigen Wandungsabschnitt (7) aufweist, die sich jeweils von einer vorderen Anströmseite (8) zu einer hinteren Abströmseite (9) des Schaufelblattes (2) erstrecken, wobei in dem Inneren des Schaufelblattes (2) ein Kühlfluidkanal (10) mit wenigstens zwei hintereinander vorgesehenen und miteinander fluidverbundenen Kanalabschnitten (11, 12, 13) ausgebildet ist, und mit einer Mehrzahl von strebenförmigen Kühlrippen - Pin Fins (15) -, die sich in dem hinteren Kanalabschnitt (13) des Kühlfluidkanals (10) zwischen dem druckseitigen Wandungsabschnitt (6) und dem saugseitigen Wandungsabschnitt (7) über die gesamte

Breite des Kanalabschnitts (13) erstrecken, wobei die Pin Fins (15) zwischen einem oberen Endbereich und einem unteren Endbereich des Schaufelblattes (2) in wenigstens zwei hintereinander vorgesehenen Reihen jeweils übereinander liegend und insbesondere parallel zueinander angeordnet sind, und wobei sämtliche Durchtrittsöffnungen (17) einer Reihe, die von jeweils benachbarten Pin Fins (15) dieser Reihe und den beiden gegenüberliegenden Wandungsabschnitten (6, 7) begrenzt sind, gemeinsam eine Durchtrittsfläche für das Kühlfluid definieren, wobei die Pin Fins (15) derart ausgebildet und angeordnet sind, dass die Durchtrittsfläche der vorderen Reihe höchstens 50%, vorteilhaft höchstens 30% und bevorzugt höchstens 10% größer ist als die Durchtrittsfläche der hinteren Reihe.

FIG 3



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine, insbesondere für eine Gasturbine, mit einem Schaufelblatt, das eine Umfangswandung mit einem druckseitigen Wandungsabschnitt und einem diesem gegenüberliegenden saugseitigen Wandungsabschnitt aufweist, die sich jeweils von einer vorderen Anströmseite zu einer hinteren Abströmseite des Schaufelblattes erstrecken, wobei in dem Inneren des Schaufelblattes ein Kühlfluidkanal mit wenigstens zwei hintereinander vorgesehenen und miteinander fluidverbundenen Kanalabschnitten ausgebildet ist, und mit einer Mehrzahl von strebenförmigen Kühlrippen - Pin Fins -, die sich in dem hinteren Kanalabschnitt des Kühlfluidkanals zwischen dem druckseitigen Wandungsabschnitt und dem saugseitigen Wandungsabschnitt über die gesamte Breite des Kanalabschnitts erstrecken, wobei die Pin Fins zwischen einem oberen Endbereich und einem unteren Endbereich des Schaufelblattes in wenigstens zwei hintereinander vorgesehenen Reihen jeweils übereinander liegend und insbesondere parallel zueinander angeordnet sind, und wobei sämtliche Durchtrittsöffnungen einer Reihe, die von jeweils benachbarten Pin Fins dieser Reihe und den beiden gegenüberliegenden Wandungsabschnitten begrenzt sind, gemeinsam eine Durchtrittsfläche für das Kühlfluid definieren.

[0002] Derartige Turbinenschaufeln sind im Stand der Technik in unterschiedlichen Ausgestaltungen bekannt und dienen in Strömungsmaschinen, insbesondere Gasturbinen dazu, die Strömungs- und/oder thermische Energie eines Arbeitsfluids in Rotationsenergie umzuwandeln. Üblicherweise umfasst eine Turbinenschaufel eine Schaufelplattform und ein Schaufelblatt, das von der Schaufelplattform abragt und sich im bestimmungsgemäß montierten Zustand der Turbinenschaufel in der radialen Richtung der Strömungsmaschine erstreckt. Das Schaufelblatt weist eine Umfangswandung mit einem druckseitigen Wandungsabschnitt und einen gegenüberliegenden saugseitigen Wandungsabschnitt auf, an einer vorderen Anströmseite und einer hinteren Abströmseite jeweils miteinander verbunden sind.

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

[0004] Während des Betriebs der Strömungsmaschine wird der Strömungskanal von dem Arbeitsfluid durchströmt. Dabei wird das Arbeitsfluid von den Leitschaufeln derart umgelenkt, dass es die Laufschaufeln optimal mit einer in der Umfangsrichtung wirkenden Kraft beaufschlägt. Das infolgedessen auf den Rotor wirkende Dreh-

moment versetzt diesen in Rotation. Die Rotationsenergie des Rotors kann dann beispielsweise mittels eines Generators in elektrische Energie umgewandelt werden.

[0005] In Gasturbinen wird ein expandierendes Heißgas als Arbeitsfluid verwendet. Der thermodynamische Wirkungsgrad von Gasturbinen ist umso höher, je höher die Eintrittstemperatur des Heißgases in die Gasturbine ist. Der Höhe der Eintrittstemperatur sind jedoch Grenzen unter anderem durch die thermische Belastbarkeit der Turbinenschaufeln gesetzt. Dementsprechend besteht eine Zielsetzung darin, Turbinenschaufeln zu schaffen, die auch bei sehr hohen thermischen Belastungen eine für den Betrieb der Gasturbine ausreichende mechanische Beständigkeit besitzen. Hierzu werden Turbinenschaufeln mit aufwendigen Beschichtungssystemen versehen.

[0006] Zur weiteren Erhöhung der zulässigen Eintrittstemperatur werden Turbinenschaufeln während des Betriebs der Gasturbine gekühlt. In dem Inneren des Schaufelblatts einer gekühlten Turbinenschaufel ist ein Kühlfluidkanal ausgebildet, der kontinuierlich von einem Kühlfluid durchströmt wird. Der Kühlfluidkanal umfasst zumeist mehrere hintereinander angeordnete und miteinander fluidverbundene Kanalabschnitte.

[0007] Die Kühlung der Abströmseite eines Schaufelblattes lässt sich dadurch verbessern, dass in dem hinteren Kanalabschnitt eine Mehrzahl von speziellen Kühlelementen vorgesehen wird, die sich jeweils zwischen dem druckseitigen Wandungsabschnitt und dem saugseitigen Wandungsabschnitt über die gesamte Breite des Schaufelblattes erstrecken. Diese Kühlelemente sind zwischen einem oberen und einem unteren Endbereich des Schaufelblattes in mehreren hintereinander vorgesehenen Reihen jeweils übereinander liegend und insbesondere parallel zueinander angeordnet. Dabei sind unterschiedlich ausgeformte Kühlelemente gewöhnlich nach ihrem Typ gruppiert.

[0008] Gebräuchliche Anordnungen von derartigen speziellen Kühlelementen können beispielsweise eine Reihe sogenannter Turbulatoren, mehrreihig angeordnete strebenförmige Kühlrippen, sogenannte Pin Fins, und eine als Cut-Out-Design bekannte Kühlelementform und -anordnung umfassen, die in der genannten Reihenfolge von vorn nach hinten vorgesehen sind. Diese Kühlelemente werden von dem Kühlfluid umströmt und verstärken so die konvektive Kühlung der mit ihnen verbundenen hinteren Wandungsabschnitte des Schaufelblattes. Zudem erzeugen sie Turbulenzen in dem strömenden Kühlfluid, wodurch sich die Kühlleistung erhöht.

[0009] Es hat sich jedoch gezeigt, dass bei üblichen Formen und Anordnungen dieser speziellen Kühlelemente der Kühlfluidverbrauch, d.h. die das Schaufelblatt pro Zeiteinheit durchströmende Kühlfluidmenge, höher als gewünscht und die erzielbare Kühlleistung niedriger als gewünscht ist. Zudem ist die Herstellung derartiger spezieller Kühlelementanordnungen mittels des üblichen Feingießverfahrens sehr fehleranfällig und damit kostspielig, da die benötigten Gießkerne sehr empfind-

lich sind und beim Gießen leicht zerstört werden können.

[0010] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Turbinenschaufel der eingangs genannten Art zu schaffen, die eine effizientere Kühlung erlaubt, den Kühlfluidverbrauch senkt und einfacher herstellbar ist.

[0011] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Turbinenschaufel der eingangs genannten Art gelöst, bei der die Pin Fins derart ausgebildet und angeordnet sind, dass die Durchtrittsfläche der vorderen Reihe höchstens 50%, vorteilhaft höchstens 30% und bevorzugt höchstens 10% größer ist als die Durchtrittsfläche der hinteren Reihe.

[0012] Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, in allen Pin Fin-Reihen des hinteren Kanalabschnitts möglichst identische Durchtrittsflächen vorzusehen. Es hat sich aber gezeigt, dass Abweichungen innerhalb der verlangten Grenzen ausreichend sind. Aus baulichen Gründen bildet die Durchtrittsfläche der hinteren Pin Fin-Reihe den Maßstab für die Durchtrittsflächen der davor liegenden Pin Fin-Reihen. Gemäß der Erfindung werden Form und Anordnung der Pin Fins der vorderen Reihe derart gewählt, dass die Durchtrittsflächen der Pin Fin-Reihen nach vorn nicht entsprechend der Aufweitung zunehmen. Auf diese Weise wird der Kühlfluidstrom durch die Durchtrittsfläche der vorderen Pin Fin-Reihe an den Kühlfluidstrom durch die Durchtrittsfläche der hinteren Pin Fin-Reihe angepasst, was den Kühlfluidverbrauch günstig beeinflusst. Zudem wird die Turbulenz der Kühlfluidströmung im Bereich der Pin Fins erhöht, was eine effektivere konvektive Kühlung der Umfangswandung des Schaufelblattes in ihrem hinteren Bereich bewirkt und den Kühlfluidverbrauch weiter senkt. Entsprechend stellt die vordere Pin-Fin-Reihe überdies eine größere effektive Kühlfläche dar, was mit einer noch stärkeren konvektiven Kühlung einhergeht. Ferner sind die benötigten korrespondierenden Gießkerne weniger empfindlich, wodurch das Herstellungsverfahren für erfindungsgemäße Turbinenschaufeln weniger fehleranfällig ist und entsprechend geringere Kosten verursacht.

[0013] In an sich bekannter Weise verjüngt sich die Breite des hinteren Kanalabschnitts des Kühlfluidkanals von vorn nach hinten, so dass die Pin Fins der vorderen Reihe eine in ihrer Erstreckungsrichtung zwischen den Wandungsabschnitten gemessene größere Breite aufweisen als die Pin Fins der hinteren Reihe, wobei insbesondere die Pin Fins der vorderen Reihe eine Breite im Bereich von 8 mm bis 12 mm und bevorzugt eine Breite von 10 mm aufweisen und/oder die Pin Fins der hinteren Reihe eine Breite im Bereich von 4 mm bis 6 mm und bevorzugt eine Breite von 5 mm aufweisen. Mit anderen Worten ist der Abstand der beiden gegenüberliegenden Wandungsabschnitte des Schaufelblattes zueinander in dem Bereich der Pin Fin-Reihen vorn etwa doppelt so groß wie hinten, weshalb vordere Pin Fins etwa die doppelte Breite aufweisen wie hintere Pin Fins.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform weisen die übereinander liegenden Pin Fins einer Reihe jeweils

identische lichte Abstände zueinander auf. Dies ermöglicht eine besonders einfache Einstellung der Durchtrittsfläche dieser Reihe und ist zudem einfach in der Herstellung.

[0015] Vorteilhaft sind die lichten Abstände in der vorderen Reihe kleiner als die lichten Abstände in der hinteren Reihe. Auf diese Weise kann erreicht werden, dass die Durchtrittsöffnungen zwischen benachbarten Pin Fins einer Reihe und damit die Durchtrittsfläche der Pin Fin-Reihen von hinten nach vorn nicht in dem Maße anwachsen, wie sich die Breite des Kanalabschnitts in dem Bereich der Pin Fin-Reihen von hinten nach vorn aufweitet.

[0016] Gemäß einer Weiterentwicklung weisen die übereinander liegenden Pin Fins einer Reihe mit Ausnahme der Pin Fins an den Reihenenden oder sämtliche Pin Fins einer Reihe identische Höhen und insbesondere senkrecht zu ihrer Erstreckungsrichtung identische Querschnitte auf.

[0017] Vorteilhaft sind die Höhen der Pin Fins identischer Höhe und/oder identischen Querschnittes in der vorderen Reihe größer sind als die Höhen der Pin Fins identischer Höhe und/oder identischen Querschnittes in der hinteren Reihe. Größere Höhen der Pin Fins stellen eine gute Möglichkeit dar, die lichten Abstände benachbarter Pin Fins zu verringern. Alternativ oder zusätzlich könnte auch die Anzahl der Pin Fins in der vorderen Reihe größer sein als in der hinteren Reihe.

[0018] Die Pin Fins identischer Höhe und/oder identischen Querschnittes weisen bevorzugt in der Höhenrichtung längliche Querschnitte auf, wobei insbesondere die Kontur der Querschnitte oval ist oder zwei zueinander parallele geradlinige Konturabschnitte umfasst, die durch gegenüberliegende Halbkreise miteinander verbunden sind. Pin Fins mit solchen Querschnitten eignen sich besonders zur Verringerung der Durchtrittsfläche einer Reihe und sind leicht herstellbar.

[0019] Gemäß einer vorteilhaften Weiterentwicklung sind die Pin Fins derart angeordnet, dass sich die Längsachsen ihrer länglichen Querschnitte parallel zueinander und insbesondere koaxial zu der Reihenrichtung erstrecken. Die Reihenrichtung ist dabei als Richtung einer durch die Mittelachsen der Pin Fins verlaufenden Linie definiert, wobei sich die Mittelachsen in der Breiterichtung der Pin Fins erstrecken. Diese Ausrichtung der Pin Fins führt zu einer möglichst geringen Durchtrittsfläche einer Pin Fin-Reihe.

[0020] Vorteilhaft liegt ein Abstand-Höhe-Verhältnis einer Reihe im Bereich von 0,5 bis 2,5, wobei das Abstand-Höhe-Verhältnis als Verhältnis des lichten Abstandes zwischen benachbarten Pin Fins gleicher Höhe einer Reihe zu ihrer Höhe definiert ist. Abstand-Höhe-Verhältnisse in diesem Bereich stellen einen guten Kompromiss zwischen Strömungswiderstand, Kühlwirkung und Herstellbarkeit dar.

[0021] Bevorzugt sind genau vier Reihen von Pin Fins vorgesehen und ist das Abstand-Höhe-Verhältnis für die beiden vorderen Reihen identisch und liegt im Bereich

von 0,5 bis 1 und ist für die beiden hinteren Reihen identisch und liegt im Bereich von 1,5 bis 2,5. Dieser Unterschied zwischen vorderen und hinteren Abstand-Höhe-Verhältnissen korrespondiert zu der Verjüngung der Breite des Kanalabschnitts in dem Bereich der Pin Fins.

[0022] Gemäß einer Variante sind die Mittelachsen der Pin Fins identischer Höhe und/oder identischen Querschnitts in allen Reihen äquidistant angeordnet. Mit anderen Worten ist die Anzahl der Pin Fins in jeder Reihe unabhängig von dem lichten Abstand und der Höhe der Pin Fins gleich groß. Derartig ausgebildete und angeordnete Pin Fin-Reihen erzeugen eine zwischen dem oberen Endbereich und dem unteren Endbereich des Schaufelblattes gleichmäßige Wirkung. Zudem vereinfachen sie die Herstellung und Handhabung der zum Gießen der Turbinenschaufel erforderlichen Gießkerne.

[0023] Vorteilhaft sind die Pin Fins benachbarter sich geradlinig und/oder parallel zueinander erstreckender Reihen in der Reihenrichtung versetzt zueinander angeordnet, wobei der Versatz zwischen benachbarten Reihen von Pin Fins zumindest im Wesentlichen dem halben Abstand zwischen den Mittelachsen benachbarter Pin Fins entspricht. Durch einen Versatz lässt sich sowohl die turbulenzzerzeugende Wirkung als auch die Kühlwirkung der Pin Fins erhöhen. Der Versatz um eine im Wesentlichen halbe Summenhöhe führt zu einer Anordnung der Pin Fins auf Lücke, wodurch der Strömungswiderstand für das Kühlfluid erhöht ist und sich ein geringer Kühlfluidverbrauch einstellt.

[0024] In an sich bekannter Weise sind die benachbarten Kanalabschnitte des Kühlfluidkanals an einem Endbereich des Schaufelblattes miteinander fluidverbunden, wobei insbesondere genau drei Kanalabschnitte vorgesehen sind, die unter Bildung eines mäanderförmigen Kühlfluidkanals in abwechselnd gegenüberliegenden Endbereichen des Schaufelblattes miteinander fluidverbunden sind. Derartige Kühlfluidkanäle haben sich zur Kühlung von Schaufelblättern von Turbinenschaufeln bewährt.

[0025] Bei einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel kann das Schaufelblatt von einer Schaufelplattform vorstehen, wobei ein der Schaufelplattform gegenüberliegender Endbereich eine Schaufelspitze definiert oder mit einer zweiten gegenüberliegend angeordneten Schaufelplattform verbunden ist. Turbinenschaufeln mit einer Schaufelspitze werden häufig als Leitschaufeln verwendet, während Turbinenschaufeln mit zwei gegenüberliegenden Schaufelplattformen häufig als Laufschaufeln verwendet werden.

[0026] Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand einer Turbinenschaufel gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung deutlich. Darin ist

Figur 1 eine perspektivische Seitenansicht einer Turbinenschaufel gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei welcher der

druckseitige Wandungsabschnitt entfernt ist;

- 5 Figur 2 eine vergrößerte Ansicht eines Details der in Figur 1 dargestellten Turbinenschaufel;
- 10 Figur 3 eine vergrößerte Ansicht eines Details der in Figur 1 dargestellten Turbinenschaufel;
- 15 Figur 4 eine perspektivische Seitenansicht des quer geschnittenen Schaufelblattes der in Figur 1 dargestellten Turbinenschaufel;
- 20 Figur 5 eine perspektivische Draufsicht auf die Schnittfläche des in Figur 4 dargestellten Schaufelblattes;
- 25 Figur 6 eine vergrößerte Ansicht des mit dem Bezugszeichen VI bezeichneten Details der in Figur 5 dargestellten Schnittfläche;
- 30 Figur 7 eine perspektivische Seitenansicht eines Gießkerns zum Gießen der in Figur 1 dargestellten Turbinenschaufel; und
- 35 Figur 8 eine vergrößerte Ansicht des mit dem Bezugszeichen VIII bezeichneten Details der in Figur 5 dargestellten Gießkerns.

[0027] Die Figuren 1 bis 6 zeigen eine Turbinenschaufel 1 für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Leitschaufel für eine Gasturbine, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Turbinenschaufel 1 umfasst ein Schaufelblatt 2, das von einer Schaufelplattform 3 vorsteht, wobei ein der Schaufelplattform 3 gegenüberliegender Endbereich mit einer zweiten gegenüberliegend angeordneten Schaufelplattform 4 verbunden ist. Alternativ könnte der der Schaufelplattform 3 gegenüberliegende Endbereich auch eine Schaufelspitze definieren, wie es beispielsweise bei Laufschaufeln üblich ist.

[0028] Das Schaufelblatt 2 weist eine Umfangswandung 5 mit einem druckseitigen Wandungsabschnitt 6 und einem gegenüberliegenden saugseitigen Wandungsabschnitt 7 auf. Die beiden Wandungsabschnitte 6, 7 erstrecken sich jeweils von einer vorderen Anströmseite 8 zu einer hinteren Abströmseite 9 des Schaufelblattes 2.

[0029] In dem Inneren des Schaufelblattes 2 ist ein Kühlfluidkanal 10 ausgebildet. Der Kühlfluidkanal 10 umfasst drei miteinander fluidverbundene Kanalabschnitte 11, 12, 13, die unter Bildung eines mäanderförmigen Kühlfluidkanals 10 in abwechselnd gegenüberliegenden Endbereichen des Schaufelblattes 2 miteinander fluidverbunden.

[0030] Ferner umfasst die Turbinenschaufel 1 eine Mehrzahl von Kühlelementen 14, 15, 16, die sich in dem hinteren Kanalabschnitt 13 des Kühlfluidkanals 10 jeweils zwischen dem druckseitigen Wandungsabschnitt

6 und dem saugseitigen Wandungsabschnitt 7 über die gesamte Breite des Kanalabschnitts 13 erstrecken. Die Kühelemente 14, 15, 16 umfassen ein sogenanntes Cut-Out-Design 14, strebenförmige Kühlrippen - Pin Fins 15 - und Turbulatoren 16, die in der genannten Reihenfolge von hinten nach vorn hintereinander angeordnet sind. Die Kühelemente 14, 15, 16 sind zwischen einem oberen Endbereich und einem unteren Endbereich des Schaufelblattes 2 gruppiert in mehreren hintereinander vorgesehenen Reihen jeweils übereinander liegend und parallel zueinander angeordnet.

[0031] Die Pin Fins 15 sind in genau vier hintereinander vorgesehenen Reihen angeordnet, die sich geradlinig und parallel zueinander erstrecken. Jeweils benachbarte Pin Fins 15 einer Reihe und die beiden gegenüberliegenden Wandungsabschnitte 6, 7 begrenzen Durchtrittsöffnungen 17. Sämtliche Durchtrittsöffnungen 17 einer Reihe definieren gemeinsam eine Durchtrittsfläche für das Kühlfluid.

[0032] Da sich die Breite des hinteren Kanalabschnitts 13 des Kühlfluidkanals 10 von vorn nach hinten verjüngt, weisen die Pin Fins 15b der vorderen Reihe in ihrer Erstreckungsrichtung gemessene größere Breiten auf als die Pin Fins 15a der hinteren Reihe. Die Breite der Pin Fins 15b der vorderen Reihe beträgt 10 mm, kann aber zwischen 8 mm und 12 mm variieren. Die Breite der Pin Fins 15a der hinteren Reihe beträgt vorliegend 5 mm, kann aber in einem Bereich von 4 mm bis 6 mm variieren.

[0033] Die Pin Fins 15a, 15b einer Reihe weisen jeweils identische lichte Abstände auf, wobei die lichten Abstände der Pin Fins 15b in der vorderen Reihe kleiner sind als die lichten Abstände der Pin Fins 15a in der hinteren Reihe.

[0034] Die übereinander liegenden Pin Fins 15 einer Reihe, ggf. mit Ausnahme von Pin Fins 15 an den Reihenenden, weisen identische Höhen und senkrecht zu ihrer Erstreckungsrichtung identische Querschnitte 18 auf, wobei die Höhen in der vorderen Reihe größer sind als die Höhen in der hinteren Reihe.

[0035] Die Pin Fins 15a, 15b identischer Höhe und/oder identischen Querschnittes weisen in der Höhenrichtung längliche Querschnitte 18a, 18b auf, deren Konturen zueinander parallele geradlinige Konturabschnitte umfassen, die durch gegenüberliegende Halbkreise miteinander verbunden sind. Abweichende Ausführungsformen können Pin Fins mit anderen länglichen Querschnitten aufweisen, beispielsweise mit Querschnitten ovaler Kontur.

[0036] Sämtliche Pin Fins 15a, 15b identischer Länge und/oder identischen Querschnittes einer Reihe besitzen identische Querschnitte 18a, 18b. Die Pin Fins 15a, 15b sind derart angeordnet, dass sich die Längsachsen ihrer länglichen Querschnitte 18a, 18b parallel zueinander und insbesondere koaxial zu der Reihenrichtung erstrecken.

[0037] Die beiden vorderen Reihen von Pin Fins 15b besitzen ein identisches Abstand-Höhe-Verhältnis von 0,5 und die beiden hinteren Reihen von Pin Fins 15a

besitzen ein identisches Abstand-Höhe-Verhältnis von 2. Dabei ist das Abstand-Höhe-Verhältnis als Verhältnis des lichten Abstandes zwischen benachbarten Pin Fins 15a, 15b einer Reihe zu ihrer Höhe definiert.

[0038] Die Mittelachsen der Pin Fins 15 identischer Höhe und/oder identischen Querschnitts sind in allen sich geradlinig und parallel erstreckender Reihen äquidistant angeordnet. Die Pin Fins 15 benachbarter Reihen sind in der Reihenrichtung versetzt zueinander angeordnet, wobei der Versatz zwischen benachbarten Reihen von Pin Fins 15 etwa dem halben Abstand zwischen den Mittelachsen benachbarter Pin Fins entspricht. Mit anderen Worten sind die Pin Fins 15a, 15b benachbarter Reihen auf Lücke angeordnet. Insgesamt sind die Pin Fins 15b der vorderen Reihe derart ausgebildet und angeordnet, dass die Durchtrittsfläche der vorderen Reihe höchstens 10% größer ist als die Durchtrittsfläche der hinteren Reihe. Dagegen wäre die Durchtrittsfläche der vorderen Reihe etwa 100% größer als die Durchtrittsfläche der hinteren Reihe, falls die Höhen und lichten Abstände der Pin Fins 15b der vorderen Reihe und die Höhen der Pin Fins 15a und lichten Abstände der hinteren Reihe identisch wären.

[0039] Infolge der erfindungsgemäßen Ausbildung und Anordnung der Pin Fins 15b der vorderen Reihe kann weniger Kühlfluid die Pin Fins 15 passieren, was mit einem entsprechend verringerten Kühlfluidverbrauch einhergeht. Überdies werden durch die hinsichtlich ihres Querschnitts längeren Pin Fins 15b der vorderen Reihe stärkere Turbulenzen in der Kühlfluidströmung erzeugt, wodurch eine effizientere konvektive Kühlung der Pin Fins 15b sowie der mit diesen verbundenen gegenüberliegenden Wandungsabschnitten 6, 7 erreicht wird. Die konvektive Kühlwirkung wird zudem dadurch verbessert, dass die wirksame Kühlfläche der Pin Fins 15b der vorderen Reihe infolge derer größerer Höhen vergrößert ist. Schließlich sind die zum Gießen erfindungsgemäßer Turbinenschaufeln 1 erforderlichen Gießkerne 19, die in den Figuren 7 und 8 dargestellt sind, weniger zerbrechlich und somit einfacher in der Handhabung, wodurch die Herstellungskosten erfindungsgemäßer Turbinenschaufeln 1 relativ geringer sind.

[0040] 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 Schutzmfang der Erfindung zu verlassen.

50

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (1) für eine Strömungsmaschine, insbesondere für eine Gasturbine, mit einem Schaufelblatt (2), das eine Umfangswandung (5) mit einem druckseitigen Wandungsabschnitt (6) und einem diesem gegenüberliegenden saugseitigen Wandungsabschnitt (7) aufweist, die sich jeweils von ei-

- | | | |
|-----|--|----|
| | ner vorderen Anströmseite (8) zu einer hinteren Abströmseite (9) des Schaufelblattes (2) erstrecken, wobei in dem Inneren des Schaufelblattes (2) ein Kühlfluidkanal (10) mit wenigstens zwei hintereinander vorgesehenen und miteinander fluidverbundenen Kanalabschnitten (11, 12, 13) ausgebildet ist, und mit einer Mehrzahl von strebenförmigen Kühlrippen - Pin Fins (15) -, die sich in dem hinteren Kanalabschnitt (13) des Kühlfluidkanals (10) zwischen dem druckseitigen Wandungsabschnitt (6) und dem saugseitigen Wandungsabschnitt (7) über die gesamte Breite des Kanalabschnitts (13) erstrecken, wobei die Pin Fins (15) zwischen einem oberen Endbereich und einem unteren Endbereich des Schaufelblattes (2) in wenigstens zwei hintereinander vorgesehenen Reihen jeweils übereinander liegend und insbesondere parallel zueinander angeordnet sind, und wobei sämtliche Durchtrittsöffnungen (17) einer Reihe, die von jeweils benachbarten Pin Fins (15) dieser Reihe und den beiden gegenüberliegenden Wandungsabschnitten (6, 7) begrenzt sind, gemeinsam eine Durchtrittsfläche für das Kühlfluid definieren, dadurch gekennzeichnet, dass die Pin Fins (15) derart ausgebildet und angeordnet sind, dass die Durchtrittsfläche der vorderen Reihe höchstens 50%, vorteilhaft höchstens 30% und bevorzugt höchstens 10% größer ist als die Durchtrittsfläche der hinteren Reihe. | 5 |
| 2. | Turbinenschaufel nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich die Breite des hinteren Kanalabschnitts (13) des Kühlfluidkanals (10) von vorn nach hinten verjüngt, so dass die Pin Fins (15b) der vorderen Reihe eine in ihrer Erstreckungsrichtung zwischen den Wandungsabschnitten (6, 7) gemessene größere Breite aufweisen als die Pin Fins (15a) der hinteren Reihe, wobei insbesondere die Pin Fins (15b) der vorderen Reihe eine Breite im Bereich von 8 mm bis 12 mm und bevorzugt eine Breite von 10 mm aufweisen und/oder die Pin Fins (15a) der hinteren Reihe eine Breite im Bereich von 4 mm bis 6 mm und bevorzugt eine Breite von 5 mm aufweisen. | 30 |
| 3. | Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die übereinander liegenden Pin Fins (15) einer Reihe jeweils identische lichte Abstände zueinander aufweisen. | 45 |
| 4. | Turbinenschaufel nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
die lichten Abstände in der vorderen Reihe kleiner sind als die lichten Abstände in der hinteren Reihe. | 50 |
| 5. | Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 3 oder 4, | 55 |
| | dadurch gekennzeichnet, dass
die übereinander liegenden Pin Fins (15) einer Reihe mit Ausnahme der Pin Fins (15) an den Reihenenden oder sämtliche Pin Fins (15) einer Reihe identische Höhen und insbesondere senkrecht zu ihrer Erstreckungsrichtung identische Querschnitte (18) aufweisen. | 5 |
| 6. | Turbinenschaufel nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Höhen der Pin Fins (15b) identischer Höhe und/oder identischen Querschnittes (18b) in der vorderen Reihe größer sind als die Höhen der Pin Fins (15a) identischer Höhe und/oder identischen Querschnitts (18a) in der hinteren Reihe. | 10 |
| 7. | Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Pin Fins (15) identischer Höhe und/oder identischen Querschnittes in der Höhenrichtung längliche Querschnitte (18) aufweisen, wobei insbesondere die Kontur der Querschnitte (18) oval ist oder zwei zueinander parallele geradlinige Konturabschnitte umfasst, die durch gegenüberliegende Halbkreise miteinander verbunden sind. | 15 |
| 8. | Turbinenschaufel nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Pin Fins (15) derart angeordnet sind, dass sich die Längsachsen ihrer länglichen Querschnitte (18) parallel zueinander und insbesondere koaxial zu der Reihenrichtung erstrecken. | 20 |
| 9. | Turbinenschaufel nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein Abstand-Höhe-Verhältnis einer Reihe im Bereich von 0,5 bis 2,5 liegt, wobei das Abstand-Höhe-Verhältnis als Verhältnis des lichten Abstandes zwischen benachbarten Pin Fins (15) gleicher Höhe einer Reihe zu ihrer Höhe definiert ist. | 25 |
| 10. | Turbinenschaufel nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
genau vier Reihen von Pin Fins (15a, 15b) vorgesehen sind und das Abstand-Höhe-Verhältnis für die beiden vorderen Reihen identisch ist und im Bereich von 0,5 bis 1 liegt und für die beiden hinteren Reihen identisch ist und im Bereich von 1,5 bis 2,5 liegt. | 30 |
| 11. | Turbinenschaufel nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Mittelachsen der Pin Fins (15) identischer Höhe und/oder identischen Querschnitts in allen Reihen äquidistant angeordnet sind. | 35 |
| 12. | Turbinenschaufel nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass | 40 |

die Pin Fins (15) benachbarter sich geradlinig und/oder parallel zueinander erstreckender Reihen in der Reihenrichtung versetzt zueinander angeordnet sind, wobei der Versatz zwischen benachbarten Reihen von Pin Fins (15) zumindest im Wesentlichen dem halben Abstand zwischen den Mittelachsen benachbarter Pin Fins (15) entspricht. 5

13. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 10

dadurch gekennzeichnet, dass

die benachbarten Kanalabschnitte (11, 12, 13) des Kühlfluidkanals (10) an einem Endbereich des Schaufelblattes (2) miteinander fluidverbunden sind, wobei insbesondere genau drei Kanalabschnitte (11, 12, 13) vorgesehen sind, die unter Bildung eines mäanderförmigen Kühlfluidkanals (10) in abwechselnd gegenüberliegenden Endbereichen des Schaufelblattes (2) miteinander fluidverbunden sind. 15

20

14. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 25

dadurch gekennzeichnet, dass

das Schaufelblatt (2) von einer Schaufelplattform (3) vorsteht, wobei ein der Schaufelplattform (3) gegenüberliegender Endbereich eine Schaufelspitze definiert oder mit einer zweiten gegenüberliegend angeordneten Schaufelplattform (4) verbunden ist.

30

35

40

45

50

55

FIG 1

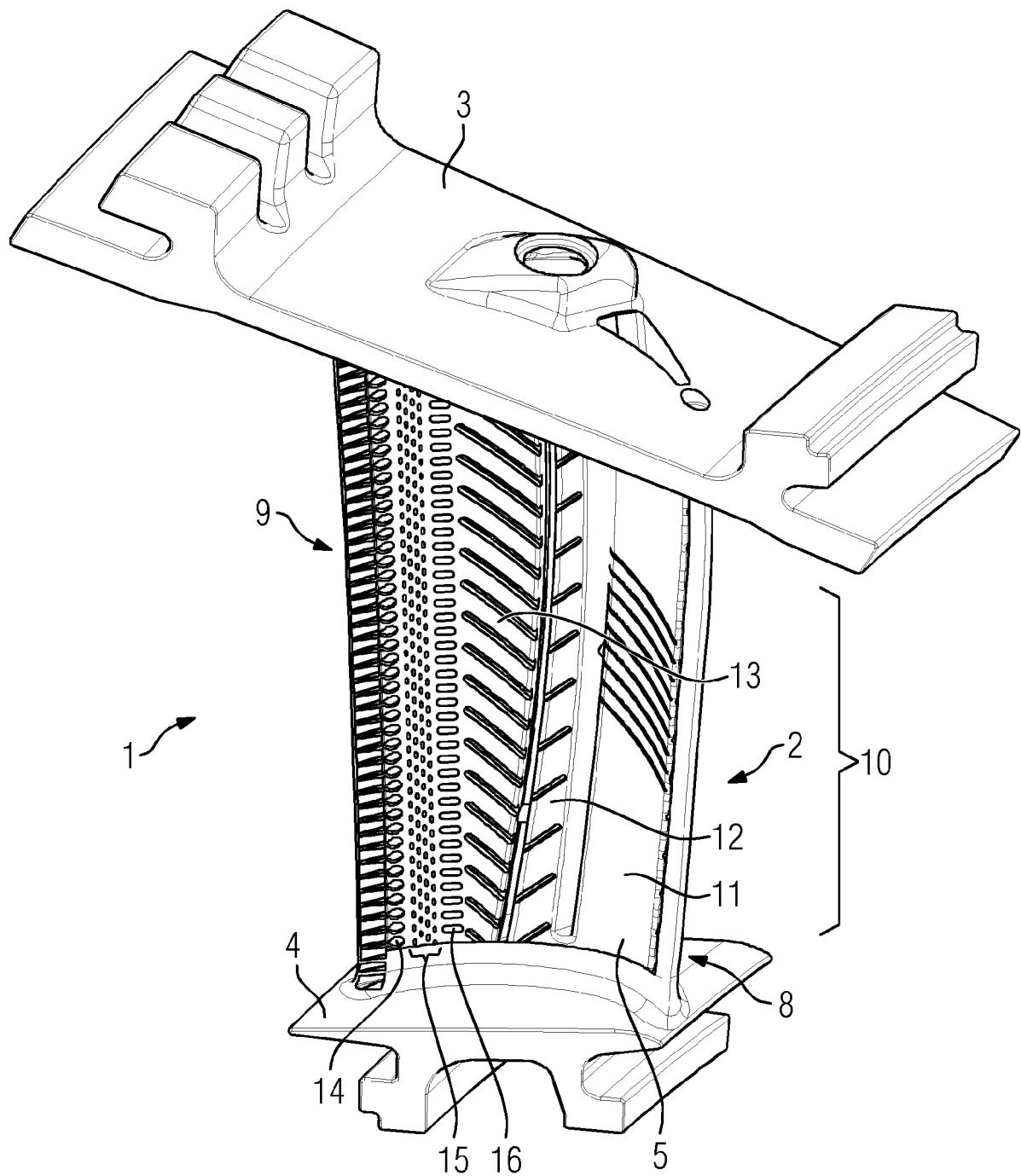


FIG 2

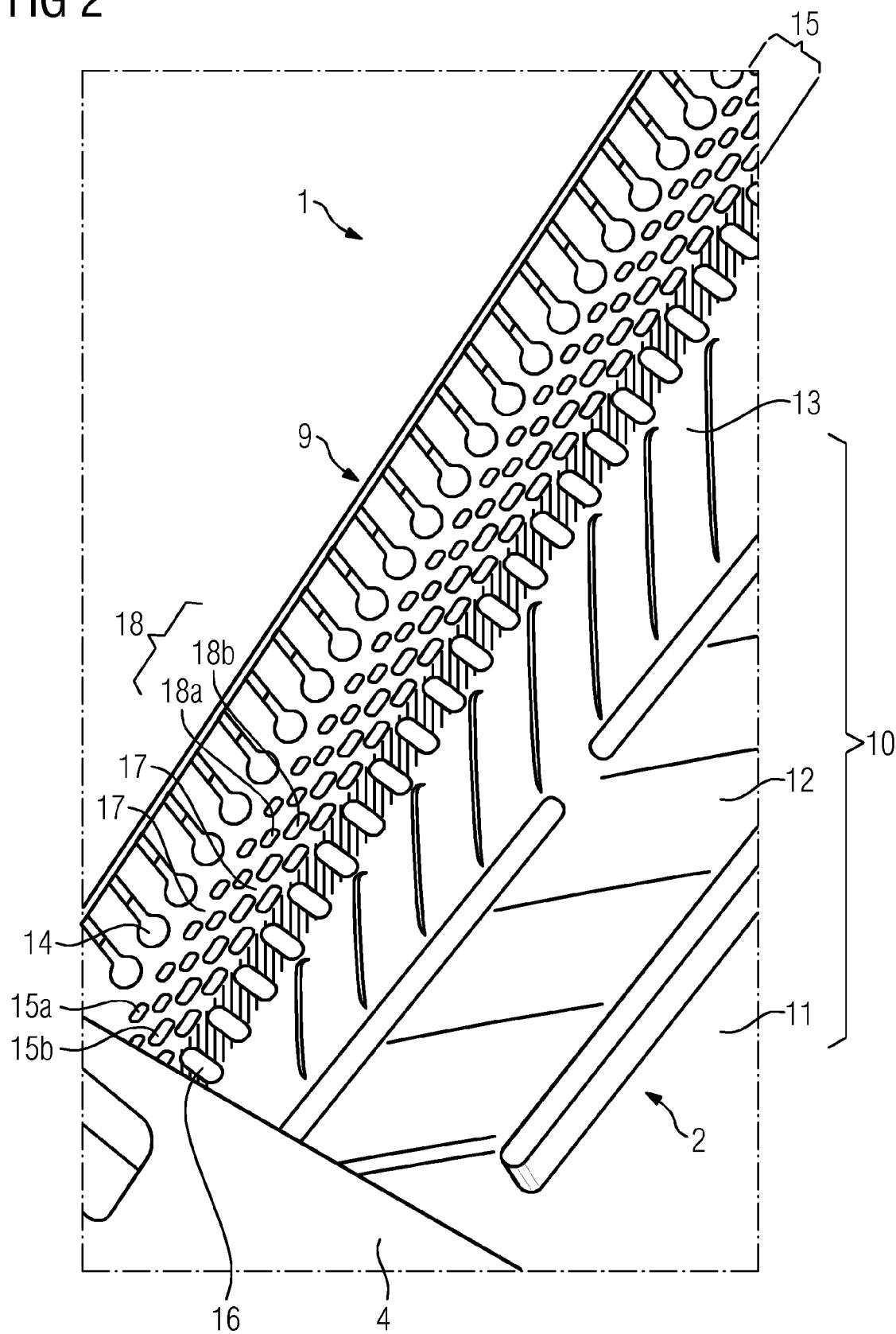


FIG 3

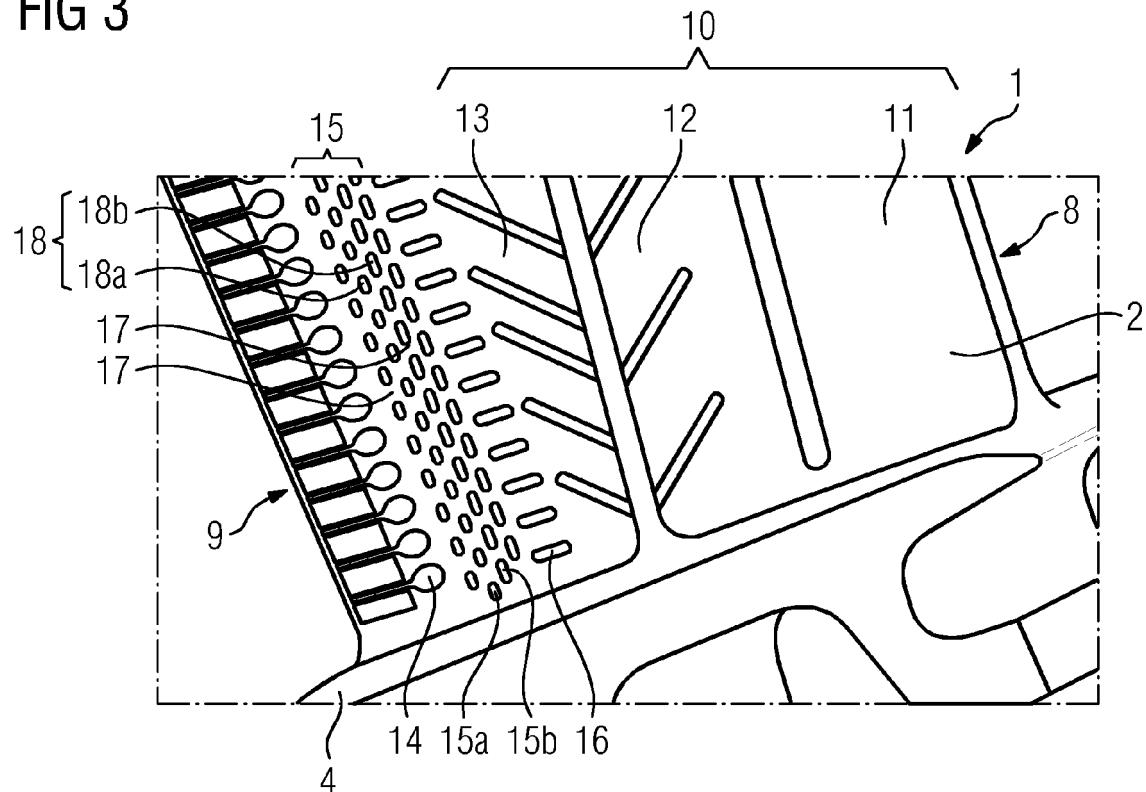


FIG 4

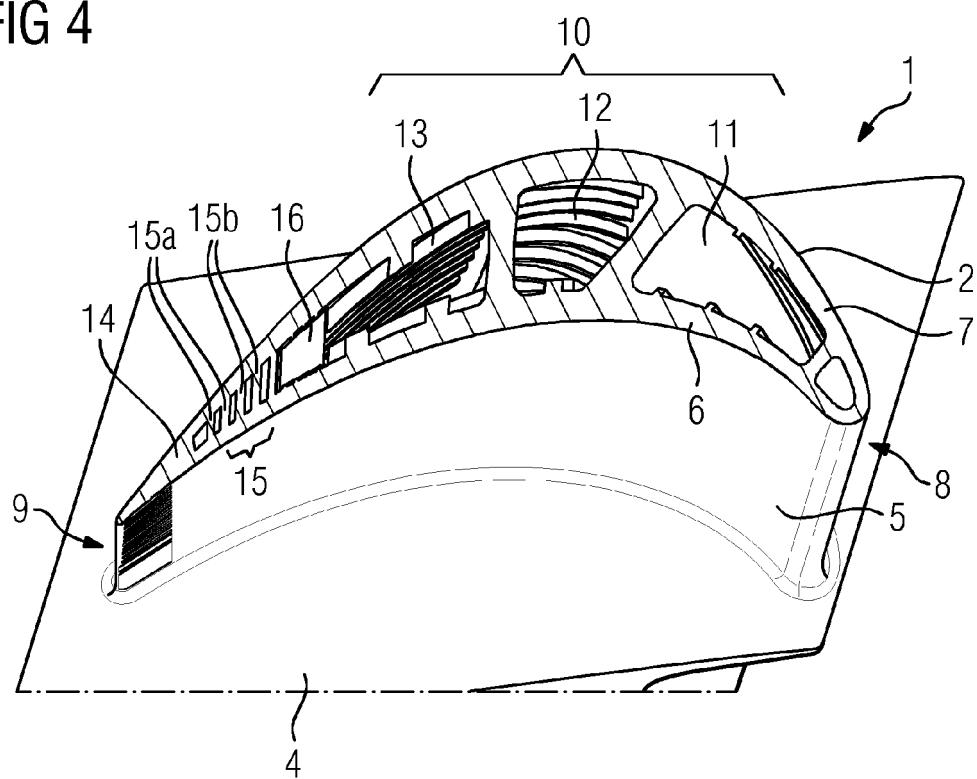


FIG 5

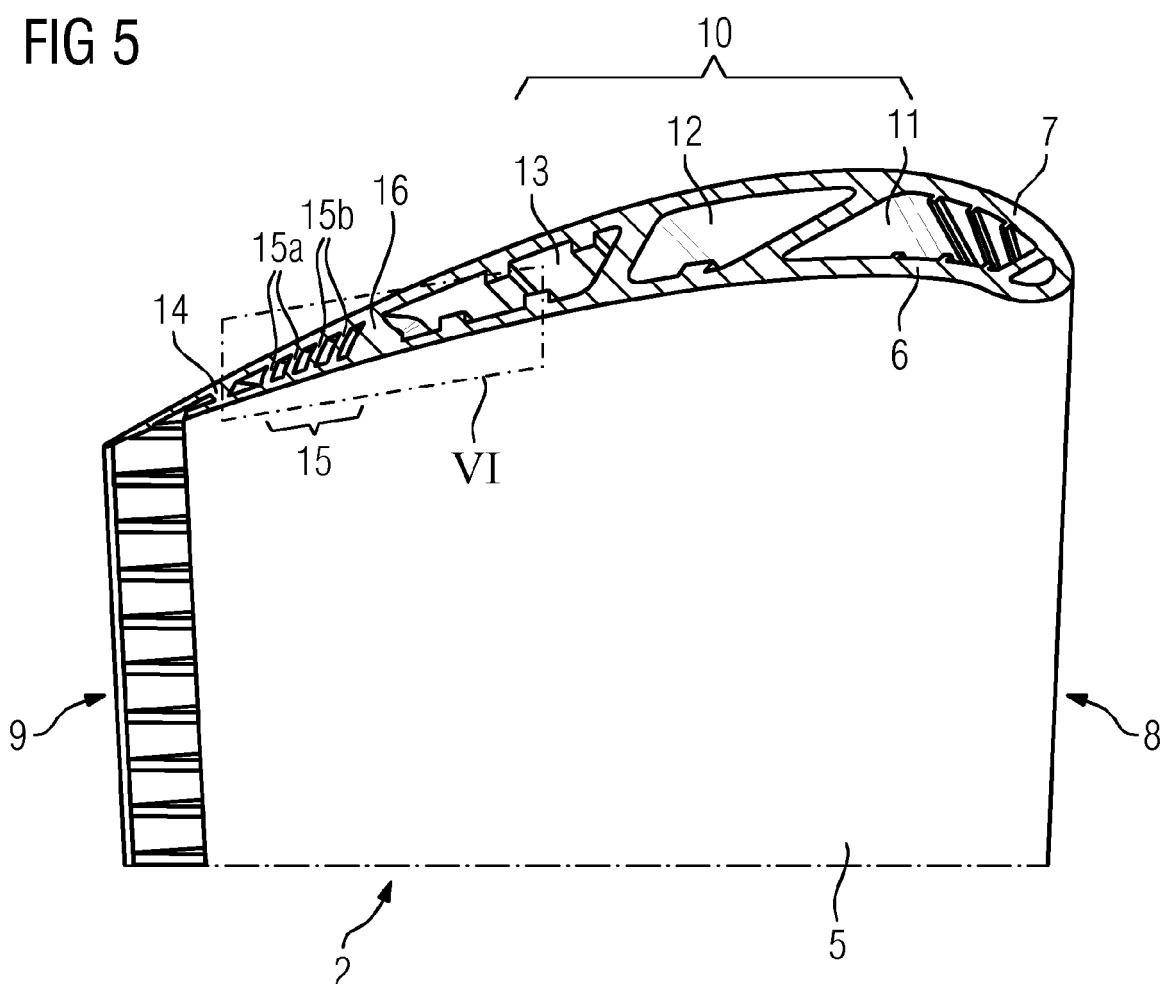


FIG 6

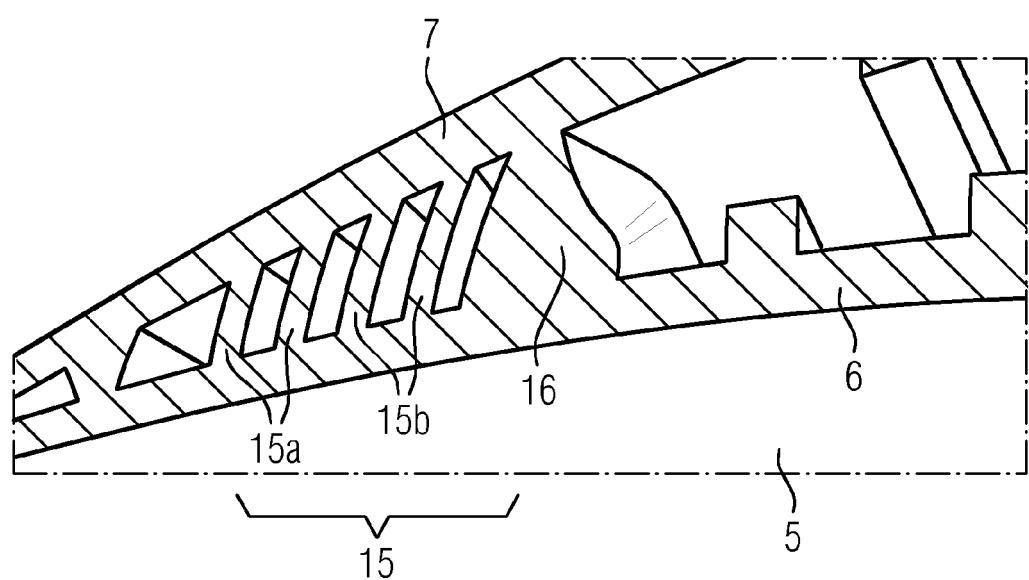


FIG 7

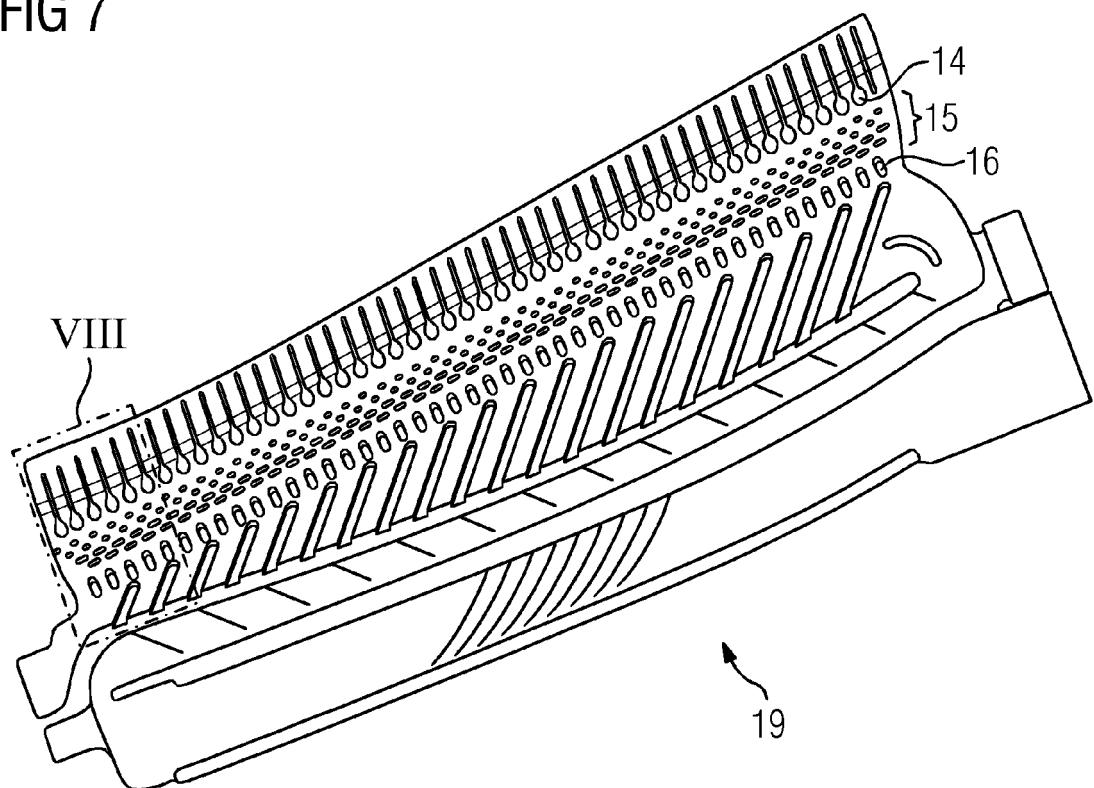
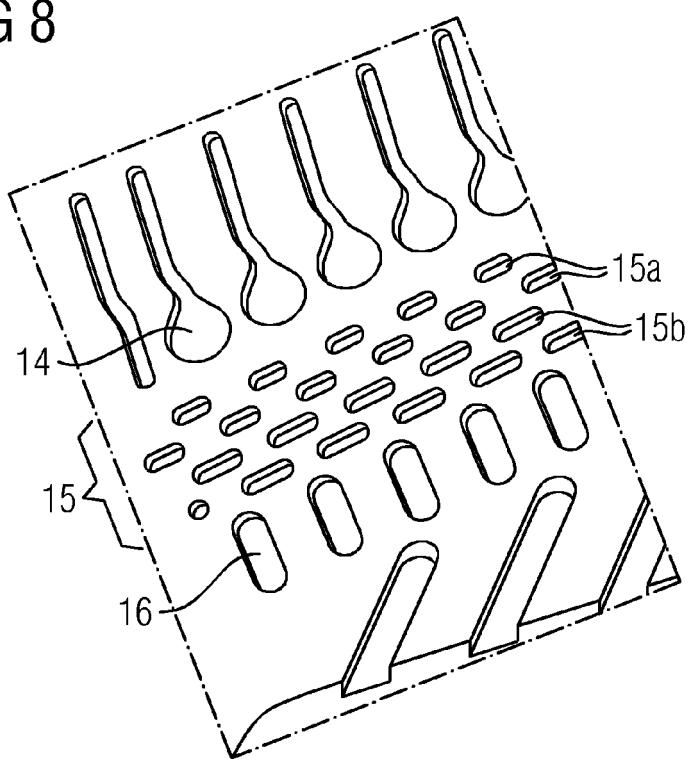


FIG 8





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 16 17 9377

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrieff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10 X	EP 1 467 065 A2 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 13. Oktober 2004 (2004-10-13) * Seite 2, Zeile 39, Absatz 16 - Zeile 41; Abbildungen 3, 3A, 4 * * Seite 3, Absatz 18 *	1-14	INV. F01D5/18 F01D9/04
15 X	EP 2 335 845 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 22. Juni 2011 (2011-06-22) * Abbildungen 9, 9A *	1-14	
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50 1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
55	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 17. Januar 2017	Prüfer Delaitre, Maxime
	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 Anmelde datum 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 17 9377

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendifikamente 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.

17-01-2017

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patendifikument	Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	EP 1467065 A2 13-10-2004	CA CN EP EP JP KR PL SG TW US US	2463390 A1 1536200 A 1467065 A2 2388438 A1 2004308659 A 20040087875 A 367008 A1 116534 A1 I278565 B 2004202542 A1 2007237639 A1	08-10-2004 13-10-2004 13-10-2004 23-11-2011 04-11-2004 15-10-2004 18-10-2004 28-11-2005 11-04-2007 14-10-2004 11-10-2007	
20	EP 2335845 A1 22-06-2011	EP US	2335845 A1 2011135446 A1	22-06-2011 09-06-2011	
25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

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