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

(11) **EP 3 231 999 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
18.10.2017 Patentblatt 2017/42

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

(21) Anmeldenummer: **16164813.4**

(22) Anmeldetag: **12.04.2016**

(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

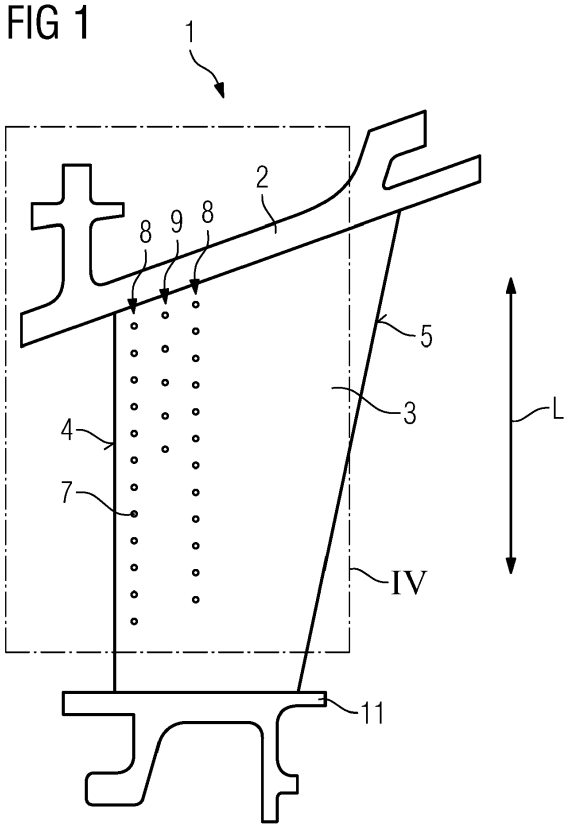
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
- **Ahmad, Fathi**
  41564 Kaarst (DE)
- **Häbel, Roland**
  51427 Bergisch Gladbach (DE)
- **Koch, Daniela**
  45130 Essen (DE)
- **Radulovic, Radan**
  44799 Bochum (DE)
- **Schüler, Marco**
  45131 Essen (DE)

(54) **LEITSCHAUFEL MIT FILMGEKÜHLTEM SCHAUFELBLATT**

(57) Die Erfindung betrifft eine Leitschaufel (1) mit zumindest einer Schaufelplattform (2), die im bestimmungsgemäß montierten Zustand an einer radial äußeren Position angeordnet ist, und einem von der zumindest einen Schaufelplattform (2) abragenden und sich in einer Längsrichtung (L) der Leitschaufel (1) erstreckenden Schaufelblatt (3), das eine Anströmkante (4) und ein Abströmkante (5) definiert und in dessen Innerem ein Hohlraum (6) vorgesehen ist, der durch eine Mehrzahl von in dem Schaufelblatt (3) ausgebildeten und zueinander beabstandet angeordneten Filmkühlbohrungen (7) mit der Außenseite des Schaufelblattes (3) verbunden ist, wobei im Bereich der Anströmkante (4) des Schaufelblattes (3) wenigstens eine lange Anordnung (8) von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen (7) vorgesehen ist, die sich ausgehend von der Schaufelplattform (3) in der Längsrichtung (L) des Schaufelblattes (3) über mindestens 60% der Länge des Schaufelblattes (3) erstreckt, wobei wenigstens eine kurze Anordnung (9) von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen (7) vorgesehen ist, die sich ausgehend von der Schaufelplattform (3) in der Längsrichtung (L) des Schaufelblattes (3) über höchstens 40% der Länge des Schaufelblattes (3) erstreckt.

FIG 1



EP 3 231 999 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Leitschaufel mit zumindest einer Schaufelplattform, die im bestimmungsgemäß montierten Zustand an einer radial äußeren Position angeordnet ist, und einem von der zumindest einen Schaufelplattform abragenden und sich in einer Längsrichtung der Leitschaufel erstreckenden Schaufelblatt, das eine Anströmkante und ein Abströmkante definiert und in dessen Innerem ein Hohlraum vorgesehen ist, der durch eine Mehrzahl von in dem Schaufelblatt ausgebildeten und zueinander beabstandet angeordneten Filmkühlbohrungen mit der Außenseite des Schaufelblattes verbunden ist, wobei im Bereich der Anströmkante des Schaufelblattes wenigstens eine lange Anordnung von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen vorgesehen ist, die sich ausgehend von der Schaufelplattform in der Längsrichtung des Schaufelblattes über mindestens 60% der Länge des Schaufelblattes erstreckt. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen einer solchen Leitschaufel. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbine, mit solchen Leitschaufeln sowie ein Verfahren zum Sanieren oder Herstellen einer Strömungsmaschine unter Verwendung solcher Leitschaufeln.

[0002] Derartige Leitschaufeln sind im Stand der Technik in unterschiedlichen Ausgestaltungen bekannt und dienen in Strömungsmaschinen, insbesondere Gasturbinen dazu, die Strömung eines expandierenden Heißgases zu lenken. Üblicherweise umfasst eine Leitschaufel zumindest eine Schaufelplattform, die im bestimmungsgemäß montierten Zustand an einer radial äußeren Position angeordnet ist. Weiterhin umfasst eine solche Leitschaufel ein Schaufelblatt, das von der zumindest einen Schaufelplattform abragt und sich in einer Längsrichtung der Leitschaufel erstreckt. Das Schaufelblatt definiert eine Anströmkante und eine Abströmkante.

[0003] Bekannte Strömungsmaschinen wie beispielsweise Gasturbinen umfassen ein Gehäuse, in dem sich in einer axialen Richtung ein Strömungskanal erstreckt. Der Strömungskanal wird während des Betriebs der Strömungsmaschine von einem Heißgas durchströmt. 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 einen mit einem zentral gelagerten und das Gehäuse in der axialen Richtung durchsetzenden Zuganker verbundenen Laufschaufelkranz (Rotor).

[0004] Während des Betriebs der Strömungsmaschine wird das den Strömungskanal durchströmende expandierende Heißgas von den Leitschaufeln derart umgelenkt, dass die dahinter angeordneten Laufschaufeln mit optimal angeströmt werden. Infolge des dadurch erzeugten Drehmoments wird der Rotor in Rotation versetzt. Die Rotationsenergie kann beispielsweise mittels eines Generators in elektrische Energie umgewandelt werden.

[0005] 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 Leitschaufeln gesetzt. Dementsprechend besteht eine Zielsetzung darin, Leitschaufeln zu schaffen, die auch bei sehr hohen thermischen Belastungen eine für den Betrieb der Gasturbine ausreichende mechanische Beständigkeit besitzen. Hierzu werden Leitschaufeln mit aufwendigen Beschichtungssystemen versehen. Zur weiteren Erhöhung der zulässigen Eintrittstemperatur werden Leitschaufeln während des Betriebs der Gasturbine gekühlt. Dazu sind in ihrem Inneren Hohlräume ausgebildet, die von einem Kühlfluid 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 an der Außenseite des Schaufelblatts einen Kühlfilm bildet.

[0006] Dazu verbindet eine Mehrzahl von in dem Schaufelblatt ausgebildeten und zu einander beabstandet angeordneten Filmkühlbohrungen den Hohlraum mit der Außenseite des Schaufelblatts. Üblicherweise ist im Bereich der Anströmkante des Schaufelblatts wenigstens eine lange Anordnung von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen vorgesehen, die sich ausgehend von der Schaufelplattform in der Längsrichtung des Schaufelblatts über mindestens 60 % der Länge des Schaufelblattes erstreckt.

[0007] Es hat sich allerdings gezeigt, dass die Leitschaufeln während des Betriebs trotz dieser Maßnahmen verschleißen. Beispielsweise können derart hohe thermische und mechanische Belastung auftreten, dass die Leitschaufeln derart erodieren, dass sich Partikel beispielsweise aus dem Beschichtungssystem lösen. Diese Partikel werden von dem Heißgas durch den Strömungskanal transportiert und können auf Leitschaufeln nachfolgender Turbinenstufen aufprallen, wodurch die getroffenen Leitschaufeln zusätzlich einer starken partikelinduzierten Erosion ausgesetzt sind. Infolge der in dem Heißgas wirkenden Zentrifugalkraft und infolge sogenannter von den Leitschaufeln erzeugter Hufeisenwirbel werden die Partikel radial auswärts beschleunigt und treffen überwiegend nahe der radial äußeren Plattform auf die Saugseiten der Leitschaufeln nachfolgender Turbinenstufen.

[0008] Wegen des Verschleißes in diesem plattformnahen und anströmkantennahen Bereich auf der Saugseite der Leitschaufeln kann sich die Standzeit der Leitschaufeln in hohem Maße verringern, was entsprechend kürzere Wartungsintervalle der Gasturbine erzwingt und entsprechend häufigere Sanierungen beziehungsweise Ersetzungen defekter Leitschaufeln erfordert.

[0009] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Leitschaufel der eingangs genannten Art zu schaffen, die ihre spezifizierte Lebensdauer erreicht.

[0010] Diese Aufgabe wird für eine Leitschaufel der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass wenigstens eine kurze Anordnung von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen vorgesehen ist, die sich ausgehend von der Schaufelplattform in der Längsrichtung des Schaufelblattes über höchstens 40% der Länge des Schaufelblattes erstreckt.

[0011] Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, die Leitschaufeln in dem durch Partikelaufprall besonders belasteten Bereich durch Ausbilden zusätzlicher Filmkühlbohrungen mit einem stärkeren Schutz zu versehen. Zum einen bewirken die zusätzlichen Filmkühlbohrungen einen dichteren Kühlfilm in dem fraglichen Bereich des Schaufelblatts, wodurch aus strömungsmechanischen Gründen anströmende Partikel an einem Aufprall gehindert sind. Zum anderen wird der Schaufelblattkörper in dem fraglichen Bereich stärker gekühlt, wodurch seine thermische Beanspruchung auch dann noch unterhalb maximal zulässiger Werte bleibt, wenn die Wärmedämmschicht durch aufprallende Partikel teilweise oder vollständig abgetragen wurde.

[0012] In bekannter Weise kann sich die wenigstens eine lange Anordnung über mindestens 80 % und bevorzugt über die gesamte Länge des Schaufelblattes erstrecken. Derartige Leitschaufeln sind in vielen gängigen Gasturbinen verbaut.

[0013] Gemäß einer Weiterentwicklung erstreckt sich die wenigstens eine kurze Anordnung über höchstens 30 % und bevorzugt über höchstens 20 % der Länge des Schaufelblattes. Dies erlaubt eine bessere Konzentration der zusätzlichen Filmkühlung auf den plattformnahen Bereich des Schaufelblattes.

[0014] Dabei können die Filmkühlbohrungen der wenigstens einen kurzen Anordnung gegenüber den Filmkühlbohrungen der wenigstens einen langen Anordnung in der Längsrichtung versetzt angeordnet sein. Ein solcher Versatz der Filmkühlbohrungen kann die durch den Kühlfilm gebildete strömungsmechanische Barriere verbessern.

[0015] Vorteilhaft sind die Abstände zwischen benachbarten Filmkühlbohrungen einer Anordnung über die gesamte Länge der Anordnung identisch, wobei insbesondere die Abstände innerhalb der wenigstens einen kurzen Anordnung größer sind, als die Abstände innerhalb der wenigstens einen langen Anordnung. Dies ist eine besonders einfach herstellbare Möglichkeit, den oben genannten Versatz zwischen Filmkühlbohrungen der wenigstens einen kurzen Anordnung und Filmkühlbohrungen der wenigstens einen langen Anordnung zu erreichen.

[0016] Bevorzugt sind die kurzen Anordnungen auf der Saugseite des Schaufelblattes angeordnet. Damit lässt sich der stärkere Schutz auf den besonders gefährdeten Bereich des Schaufelblatts konzentrieren.

[0017] Vorteilhaft liegt der maximale Abstand der kurzen Anordnungen von der Anströmkante des Schaufelblattes im Bereich von 5 % bis 20 % des saugseitigen Profilumfangs zwischen der Anströmkante und der Abströmkante des Schaufelblatts und beträgt bevorzugt 10 % dieses Profilumfangs. Es hat sich gezeigt, dass die partikelinduzierte Erosion in unmittelbarer Nähe der Anströmkante am größten ist. Deshalb kann es ausreichend sein, nur das vordere Fünftel oder einen geringeren Teil des saugseitigen Profilumfangs mit kurzen Anordnungen linienartig aufgereihter Filmkühlbohrungen zu versehen.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform sind die Anordnungen von Filmkühlbohrungen ausgehend von der Anströmkante des Schaufelblatts in Richtung der Abströmkante hintereinander und beabstandet zueinander angeordnet.

[0019] Bevorzugt sind mehrere lange Anordnungen und/oder mehrere kurze Anordnungen vorgesehen, wobei insbesondere die kurzen Anordnungen zwischen langen Anordnungen angeordnet sind und sich insbesondere kurze Anordnungen und lange Anordnungen abwechseln. Diese Variante bietet sich für das nachträgliche Ausbilden kurzer Anordnungen in Leitschaufeln an, die ursprünglich mehrere lange Anordnungen aufweisen. Dabei können die kurzen Anordnungen insbesondere mittig zwischen den langen Anordnungen platziert sein.

[0020] Vorteilhaft nehmen die Längen der kurzen Anordnungen ausgehend von der Anströmkante in Richtung der Abströmkante ab, insbesondere derart, dass die kurzen Anordnungen einen trapezförmigen Filmkühlungsbereich definieren. Bei dieser Wahl kann berücksichtigt werden, dass die partikelinduzierte Erosion mit zunehmendem Abstand von der Anströmkante näher an der Schaufelplattform erfolgt.

[0021] Gemäß einer Weiterentwicklung ist wenigstens eine Filmkühlbohrung, sind insbesondere alle Filmkühlbohrungen der wenigstens einen kurzen Anordnung gegenüber der Senkrechten auf die Außenfläche des Schaufelblatts um bestimmte Neigungswinkel geneigt. Dadurch kann die strömungstechnische Barriere des Kühlfilms weiter verstärkt werden.

[0022] Bevorzugt unterscheidet sich der Neigungswinkel der wenigstens einen Filmkühlbohrung, insbesondere aller Filmkühlbohrungen der wenigstens einen kurzen Anordnung von den Neigungswinkeln der Filmkühlbohrungen einer benachbarten langen Anordnung. Diese Wahl der Neigungswinkel kann den Kühlfilm in dem fraglichen Bereich hinsichtlich seiner strömungsmechanischen Barrierewirkung weiter optimieren.

[0023] In an sich bekannter Weise kann die Leitschaufel mit einem Beschichtungssystem versehen sein, das eine Haftschicht (BC) und eine Wärmedämmschicht (TBC) umfasst, wobei die Schutzschicht auf das Schaufelblatt aufgetragen ist und die Wärmedämmschicht an der Haftschicht haftet. Beschichtungssysteme mit diesen beiden Komponenten sind weit verbreitet und haben sich bewährt.

[0024] Gemäß einer Alternative einer erfindungsgemäßen Leitschaufel ist die Schaufelplattform gegenüber einer zu der Längsrichtung des Schaufelblattes senkrechten Ebene geneigt. Mit derartig geneigten Schaufelplattformen lässt sich ein sich in der Strömungsrichtung

des Heißgases konisch aufweitender Strömungskanal ausbilden.

[0025] In an sich bekannter Weise kann gegenüberliegend zu der zumindest einen Schaufelplattform eine weitere Schaufelplattform mit dem Schaufelblatt verbunden sein. Diese weitere Schaufelplattform begrenzt den Strömungskanal an seiner radial inneren Seite.

[0026] Ferner schafft die vorliegende Erfindung eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbine mit einem Gehäuse, in dem sich in einer axialen Richtung ein Strömungskanal erstreckt, der während des Betriebs der Strömungsmaschine von einem Heißgas durchströmt wird, und einer Mehrzahl von Turbinenstufen, die jeweils einen in dem Strömungskanal angeordneten Leitschaufelkranz umfassen und in der axialen Richtung hintereinander und beabstandet zueinander angeordnet sind, wobei wenigstens eine Turbinenstufe erfindungsgemäße Leitschaufeln aufweist.

[0027] Bevorzugt ist die wenigstens eine Turbinenstufe ausschließlich ab der zweiten Position in der Strömungsmaschine angeordnet. Dies folgt daraus, dass die Leitschaufeln der ersten Turbinenstufe wegen ihrer vorderen Position keiner partikelinduzierten Erosion ausgesetzt sein können.

[0028] Gemäß einer Weiterbildung weitet sich der Strömungskanal in der Strömungsrichtung des Heißgases konisch auf, wobei die wenigstens eine Turbinenstufe Leitschaufeln mit geneigten Schaufelplattformen aufweist und die geneigten Schaufelplattformen dieser Leitschaufeln den Strömungskanal nach außen begrenzen. Die konische Aufweitung des Strömungskanals in der Strömungsrichtung des Heißgases stellt ein bei vielen Strömungsmaschinen vorzufindendes Konstruktionsmerkmal dar.

[0029] Weiterhin schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Leitschaufel, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen einer Leitschaufel mit zumindest einer Schaufelplattform, die im bestimmungsgemäß montierten Zustand an einer radial äußeren Position angeordnet ist, und einem von der zumindest einen Schaufelplattform abragenden und sich in einer Längsrichtung der Leitschaufel erstreckenden Schaufelblatt, das eine Anströmkante und ein Abströmkante definiert und in dessen Innerem ein Hohlraum vorgesehen ist, der durch eine Mehrzahl von in dem Schaufelblatt ausgebildeten und zueinander beabstandet angeordneten Filmkühlbohrungen mit der Außenseite des Schaufelblattes verbunden ist, wobei im Bereich der Anströmkante des Schaufelblattes wenigstens eine lange Anordnung von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen vorgesehen ist, die sich ausgehend von der Schaufelplattform in der Längsrichtung des Schaufelblattes über mindestens 60% der Länge des Schaufelblattes erstreckt; und
- Ausbilden wenigstens einer kurzen Anordnung von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen, die sich ausgehend von der Schaufelplattform in der Längsrichtung des Schaufelblattes über höchstens 40% der Länge des Schaufelblattes erstreckt.

[0030] Dieses Verfahren beschreibt das nachträgliche Vorsehen kurzer Anordnungen von linienartig aneinander gereihter Filmkühlbohrungen. Selbstverständlich können Leitschaufeln auch ursprünglich mit langen und kurzen Anordnungen von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen hergestellt werden.

[0031] Bevorzugt wird die wenigstens eine kurze Anordnung auf der Saugseite des Schaufelblattes ausgebildet. Vor allem die Saugseite ist einer partikelinduzierten Erosion ausgesetzt.

[0032] Bei der nachträglichen Ausbildung kurzer Anordnungen von Filmkühlbohrungen können Filmkühlbohrungen der wenigstens einen langen Anordnung verschlossen werden und/oder Querschnittsflächen von Filmkühlbohrungen der wenigstens einen langen Anordnung derart verringert werden, dass die Summe der Querschnittsflächen sämtlicher Filmkühlbohrungen der hergestellten Leitschaufel höchstens 10 % größer als die Summe der Querschnittsflächen sämtlicher Filmkühlbohrungen der bereitgestellten Leitschaufel ist und bevorzugt mit dieser identisch ist. Durch diese Maßnahme wird sichergestellt, dass der Kühlfluidstrom durch die Leitschaufel infolge der zusätzlichen kurzen Anordnungen nicht wesentlich zunimmt, so dass weitere Änderungen betreffend den Kühlfluidkreislauf in der Strömungsmaschine nicht erforderlich sind.

[0033] Schließlich schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Sanieren oder Herstellen einer Strömungsmaschine mit einer Mehrzahl von Turbinenstufen, insbesondere einer Gasturbine, bei dem erfindungsgemäße Leitschaufeln ausschließlich ab der zweiten Turbinenstufe in der Gasturbine angeordnet werden. Die erfindungsgemäßen Leitschaufeln werden in der ersten Turbinenstufe nicht benötigt, da die Leitschaufel dieser Turbinenstufe keiner partikelinduzierten Erosion ausgesetzt sind.

[0034] Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Leitschaufel unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung deutlich. Darin ist

Figur 1 eine Seitenansicht einer Leitschaufel gemäß einer ersten Ausführungsform von der Saugseite;

Figur 2 eine Seitenansicht einer Leitschaufel gemäß einer zweiten Ausführungsform von der Saugseite;

Figur 3 eine Querschnittsansicht der in Figur 2 dargestellten Leitschaufel von einer radial äußeren

Position entlang der in Figur 2 mit dem Bezugszeichen III bezeichneten Linie;

Figur 4 eine vergrößerte Seitenansicht einer Leitschaufel gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung entsprechend dem in Figur 1 mit dem Bezugszeichen IV bezeichneten Ausschnitts;

Figur 5 eine Seitenansicht einer Leitschaufel gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Figur 6 eine teilweise schematische Querschnittsansicht einer Strömungsmaschine gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0035] Die Figur 1 zeigt eine Leitschaufel 1 für eine nicht dargestellte Strömungsmaschine, insbesondere Gasturbine. Die Leitschaufel 1 umfasst eine Schaufelplattform 2, die im bestimmungsgemäß montierten Zustand an einer radial äußeren Position angeordnet. Ferner umfasst die Leitschaufel 1 ein Schaufelblatt 3, das von der Schaufelplattform 2 abragt und sich in einer Längsrichtung L der Leitschaufel 1 erstreckt.

[0036] Das Schaufelblatt 3 definiert eine Anströmkante 4 und eine Abströmkante 5 sowie einen in seinem Inneren vorgesehenen Hohlraum 6. In dem Schaufelblatt 3 ist eine Mehrzahl von Filmkühlbohrungen 7 zueinander beabstandet angeordnet, die den Hohlraum 6 mit der Außenseite des Schaufelblatts 3 verbindet. Dabei sind im Bereich der Anströmkante 4 zwei lange Anordnungen 8 von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen 7 vorgesehen, die sich ausgehend von der Schaufelplattform 2 in der Längsrichtung L des Schaufelblatts 3 über etwa 80 % der Länge des Schaufelblattes 3 erstrecken. Ferner ist im Bereich der Anströmkante 4 eine kurze Anordnung 9 von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen 7 vorgesehen, die sich ausgehend von der Schaufelplattform 2 in der Längsrichtung L des Schaufelblatts 3 über etwa 40 % der Länge des Schaufelblatts 3 erstreckt. Der Abstand der kurzen Anordnung 9 von der Anströmkante 4 des Schaufelblatts 3 beträgt ca. 15 % des saugseitigen Profilumfangs zwischen der Anströmkante 4 und der Abströmkante 5 des Schaufelblatts 3.

[0037] Sowohl die langen Anordnungen 8 als auch die kurzen Anordnungen 9 von Filmkühlbohrungen 7 sind auf der Saugseite 10 des Schaufelblatts 3 angeordnet. Die langen und kurzen Anordnungen 8, 9 von Filmkühlbohrungen 7 sind ausgehend von der Anströmkante 4 des Schaufelblatts 3 in Richtung der Abströmkante 5 hintereinander und beabstandet zueinander angeordnet. Dabei ist die kurze Anordnung 9 mittig zwischen den beiden langen Anordnungen 8 ausgebildet, so dass die langen Anordnungen 8 und die kurze Anordnung 9 im Wechsel angeordnet sind.

[0038] Innerhalb einer Anordnung 8, 9 sind die Abstände zwischen benachbarten Filmkühlbohrungen 7 identisch. Dabei sind die Abstände innerhalb der kurzen Anordnung 9 größer als die Abstände innerhalb der beiden langen Anordnungen 8, so dass die Filmkühlbohrungen 7 der kurzen Anordnung 9 gegenüber den Filmkühlbohrungen 7 der beiden langen Anordnungen 8 versetzt sind.

[0039] Die Leitschaufel 1 ist mit einem Beschichtungssystem (nicht dargestellt) versehen, das eine Haftschicht (Bond Coating BC) und eine Wärmedämmschicht (Thermal Barrier Coating TBC) umfasst. Dabei ist die Haftschicht unmittelbar auf das Schaufelblatt 3 aufgetragen und die Wärmedämmschicht haftet an der Haftschicht.

[0040] Die Schaufelplattform 2 ist gegenüber einer zu der Längsrichtung L des Schaufelblatts 3 senkrechten Ebene geneigt. Gegenüberliegend der Schaufelplattform 2 ist eine weitere Schaufelplattform 11 mit dem Schaufelblatt 3 verbunden. Die beiden Schaufelplattformen 2, 11 begrenzen im bestimmungsgemäß montierten Zustand einen Strömungskanal der Strömungsmaschine.

[0041] Die Strömungsmaschine umfasst ein Gehäuse 12, in dem sich in einer axialen Richtung ein Strömungskanal 13 erstreckt. Weiterhin umfasst die Strömungsmaschine eine Mehrzahl von Turbinenstufen 14, die jeweils einen in dem Strömungskanal 13 angeordneten Leitschaufelkranz 15 umfassen und in der axialen Richtung A hintereinander und beabstandet zueinander angeordnet sind. Ausschließlich die Leitschaufelkränze 15 ab der zweiten Position in der Strömungsmaschine weisen erfindungsgemäße Leitschaufeln 1 gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung auf. Infolge der geneigten Schaufelplattform 2 der Leitschaufeln 1, die den Strömungskanal 13 nach außen begrenzen, weitet sich der Strömungskanal 13 in der Strömungsrichtung des Heißgases konisch auf.

[0042] Während des Betriebs der Strömungsmaschine wird der Strömungskanal 13 von einem Heißgas durchströmt. Zur Kühlung der in dem Strömungskanal 13 angeordneten Leitschaufelkränze 15 werden die Leitschaufeln 1 jeweils von einem Kühlfluid durchströmt. Das Kühlfluid strömt aus dem Hohlraum 8 durch die Filmkanalbohrungen 7 auf die Außenseite 10 des Schaufelblattes 3. Auf der Außenseite 10 bildet das ausströmende Kühlfluid einen Kühlfilm, der die Außenseite 10 des Schaufelblattes 3 vor dem strömenden Heißgas schützt und die thermische Belastung des Schaufelblatts 3 verringert. Die zusätzlichen Filmkühlbohrungen 7 der kurzen Anordnung 9 bewirken einen dichteren und stärkeren Kühlfilm, so dass Partikel, die sich von Leitschaufeln 1 vorgelagerter Turbinenstufen 14 gelöst haben, an einem Einschlagen auf der Saugseite 10 des Schaufelblatts 3 gehindert sind oder vorher zumindest derart abgebremst werden, dass der an dem Beschichtungssystem der Leitschaufel 1 verursachte Schaden verhältnismäßig gering ist. Infolge der in dem Heißgas herrschenden Zentrifugalkräfte und der durch Leitschaufeln vorgelagerter Turbinenstufen 14 erzeugten sogenannten Hufeisenwirbel

werden die Partikel überwiegend auf einen Bereich der Saugseite 10 des Schaufelblatts 3 gelenkt, der benachbart zu der Schaufelplattform 2 und der Anströmkante 4 ist. Zweckmäßigerweise ist daher die kurze Anordnung 9 in diesem besonders stark betroffenen Bereich des Schaufelblatts 3 angeordnet.

[0043] Die Figuren 2 und 3 zeigt das Schaufelblatt 3 einer Leitschaufel 1 gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Sie besitzt denselben grundsätzlichen Aufbau wie die in Figur 1 dargestellte Leitschaufel 1 gemäß der ersten Ausführungsform. Abweichend davon sind auf der Saugseite 10 des Schaufelblatts 3 mehrere lange Anordnungen und mehrere kurze Anordnungen vorgesehen, die abwechselnd angeordnet sind. Dabei nehmen die Längen der kurzen Anordnungen 9 ausgehend von der Anströmkante 4 in Richtung der Abströmkante 5 derart ab, dass die kurzen Anordnungen 9 einen trapezförmigen Filmkühlungsbereich definieren. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass die Abstände zwischen Filmkühlbohrungen 7 innerhalb der kurzen Anordnung 9 ebenso groß sind wie die Abstände der Filmkühlbohrungen 7 der langen Anordnungen 8.

[0044] Die Figur 4 zeigt eine Leitschaufel 1 gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Sie besitzt denselben grundsätzlichen Aufbau wie die in Figur 1 dargestellte Leitschaufel 1. Davon abweichend sind die Abstände zwischen Filmkühlbohrungen 7 innerhalb der kurzen Anordnung 9 ebenso groß wie die Abstände der Filmkühlbohrungen 7 innerhalb der beiden langen Anordnungen 8. Entsprechend sind die Filmkühlbohrungen 7 der kurzen Anordnung 9 nicht gegenüber den Filmkühlbohrungen 7 der beiden langen Anordnungen 8 in der Längsrichtung L des Schaufelblattes 3 versetzt angeordnet. Zudem erstrecken sich die langen Anordnungen 8 nur über etwa 60 % der Länge des Schaufelblattes 3.

[0045] Die Figur 5 zeigt schließlich eine Leitschaufel 1 gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0046] Die Leitschaufel 1 entspricht hinsichtlich ihres Grundaufbaus der in Figur 1 dargestellten Leitschaufel 1. Im Unterschied zu dieser sind die Filmkühlbohrungen 7 sowohl der langen Anordnungen 8 als auch der kurzen Anordnungen 9 gegenüber der senkrechten auf die Außenfläche 10 des Schaufelblattes 3 um bestimmte Neigungswinkel geneigt. Dabei sind die Neigungswinkel innerhalb einer Anordnung 8, 9 im Wesentlichen identisch, während die Neigungswinkel zwischen langen Anordnungen 8 und kurzen Anordnungen 9 unterschiedlich sind, so dass das Kühlfluid jeweils entgegengesetzt aus den Kühlfluidbohrungen 7 ausströmt. Auf diese Weise kann die Schutzwirkung des Kühlfluidfilms auf der Außenseite 10 des Schaufelblattes 3 in dem von der partikelinduzierten Erosion besonders betroffenen Bereich verstärkt werden.

[0047] Zur Herstellung erfindungsgemäßer Leitschaufeln 1 wie beispielhaft in den Figuren 1 bis 5 dargestellt, wird zunächst eine Leitschaufel 1 mit den zuvor beschriebenen Merkmalen, jedoch ohne kurze Anordnungen 9 von Filmkühlbohrungen bereitgestellt. An der Saugseite des Schaufelblattes 3 der bereitgestellten Leitschaufel 1 wird dann wenigstens eine kurze Anordnung 9 von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen 7 vorgesehen, die sich ausgehend von der Schaufelplattform 2 in der Längsrichtung L des Schaufelblattes 3 über höchstens 40 % der Länge des Schaufelblattes 3 erstreckt.

[0048] Um den Kühlfluidstrom durch die Leitschaufel 1 trotz der zusätzlichen Filmkühlbohrungen 7 der wenigstens einen kurzen Anordnung 9 nicht oder zumindest nicht wesentlich zu erhöhen, können Filmkühlbohrungen 7 der wenigstens einen langen Anordnung 8 verschlossen werden. Alternativ oder zusätzlich können die Querschnittsflächen von Filmkühlbohrungen 7 der wenigstens einen langen Anordnung 9 verringert werden. Auf diese Weise wird erreicht, dass die Summe der Querschnittsflächen sämtlicher Filmkühlbohrungen 7 der hergestellten Leitschaufel 1 höchstens 10 % größer ist als die Summe der Querschnittsflächen sämtlicher Filmkühlbohrungen 7 der bereitgestellten Leitschaufel und idealerweise mit dieser identisch ist.

[0049] Im Rahmen der Sanierung oder Herstellung einer Strömungsmaschine mit einer Mehrzahl von Turbinenstufen werden erfindungsgemäße Leitschaufeln ausschließlich ab der zweiten Turbinenstufe in der Gasturbine angeordnet. Dies geht mit einer längeren Lebensdauer der von einer partikelinduzierten Erosion betroffenen Leitschaufeln 1 einher, was längere Wartungsintervalle der Strömungsmaschine erlaubt. Wenn sich der Kühlfluidstrom durch die Leitschaufeln 1 gegenüber den Kühlfluidstrom durch konventionelle Leitschaufeln zumindest nicht wesentlich erhöht, können die erfindungsgemäßen Leitschaufeln 1 ohne weiteres verbaut werden, insbesondere ohne Änderungen im Kühlfluidkreislauf der Strömungsmaschine vornehmen zu müssen.

[0050] 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. Leitschaufel (1) mit zumindest einer Schaufelplattform (2), die im bestimmungsgemäß montierten Zustand an einer radial äußeren Position angeordnet ist, und einem von der zumindest einen Schaufelplattform (2) abragenden und sich in einer Längsrichtung (L) der Leitschaufel (1) erstreckenden Schaufelblatt (3), das eine Anströmkante (4) und ein Abströmkante (5) definiert und in dessen Innerem ein Hohlraum (6) vorgesehen ist, der durch eine Mehrzahl von in dem Schaufelblatt (3) ausgebildeten

und zueinander beabstandet angeordneten Filmkühlbohrungen (7) mit der Außenseite des Schaufelblattes (3) verbunden ist, wobei im Bereich der Anströmkante (4) des Schaufelblattes (3) wenigstens eine lange Anordnung (8) von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen (7) vorgesehen ist, die sich ausgehend von der Schaufelplattform (3) in der Längsrichtung (L) des Schaufelblattes (3) über mindestens 60% der Länge des Schaufelblattes (3) erstreckt, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine kurze Anordnung (9) von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen (7) vorgesehen ist, die sich ausgehend von der Schaufelplattform (3) in der Längsrichtung (L) des Schaufelblattes (3) über höchstens 40% der Länge des Schaufelblattes (3) erstreckt.

2. Leitschaufel nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich die wenigstens eine lange Anordnung (8) über mindestens 80% und bevorzugt über die gesamte Länge des Schaufelblattes (3) erstreckt und/oder sich die wenigstens eine kurze Anordnung (8) über höchstens 30% und bevorzugt über höchstens 20% der Länge des Schaufelblattes (3) erstreckt.

3. Leitschaufel nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Filmkühlbohrungen (7) der wenigstens einen kurzen Anordnung (9) gegenüber den Filmkühlbohrungen (7) der wenigstens einen langen Anordnung (8) in der Längsrichtung (L) versetzt angeordnet sind, wobei insbesondere die Abstände zwischen benachbarten Filmkühlbohrungen (7) einer Anordnung (8, 9) über die gesamte Länge der Anordnung (8, 9) identisch sind, wobei insbesondere die Abstände innerhalb der wenigstens einen kurzen Anordnung (9) größer sind als die Abstände innerhalb der wenigstens einen langen Anordnung (8).

4. Leitschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die kurzen Anordnungen (9) auf der Saugseite (10) des Schaufelblattes (3) angeordnet sind, wobei insbesondere der maximale Abstand der kurzen Anordnungen (9) von der Anströmkante (4) des Schaufelblattes (3) im Bereich von 5% bis 20% des saugseitigen Profilumfangs zwischen der Anströmkante (4) und der Abströmkante (5) des Schaufelblattes (3) liegt und bevorzugt 10% dieses Profilumfangs beträgt.

5. Leitschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Anordnungen (8, 9) von Kühlfilmbohrungen (7) ausgehend von der Anströmkante (4) des Schaufelblattes (3) in Richtung der Abströmkante (5) hintereinander und beabstandet zueinander angeordnet sind.

6. Leitschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
mehrere lange Anordnungen (8) und/oder mehrere kurze Anordnungen (9) vorgesehen sind, wobei insbesondere die kurzen Anordnungen (9) zwischen langen Anordnungen (8) angeordnet sind und sich insbesondere kurze Anordnungen (9) und lange Anordnungen (8) abwechseln und/oder die Längen der kurzen Anordnungen (9) ausgehend von der Anströmkante (4) in Richtung der Abströmkante (5) abnehmen, insbesondere derart, dass die kurzen Anordnungen (8) einen trapezförmigen Filmkühlungsbereich definieren.

7. Leitschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
wenigstens eine Filmkühlbohrung (7), insbesondere alle Filmkühlbohrungen (7) der wenigstens einen kurzen Anordnung (9) gegenüber der Senkrechten auf die Außenfläche des Schaufelblattes (3) um bestimmte Neigungswinkel geneigt ist, wobei insbesondere sich der Neigungswinkel der wenigstens einen Filmkühlbohrung (7), insbesondere aller Filmkühlbohrungen (7) der wenigstens einen kurzen Anordnung (9) von den Neigungswinkeln der Filmkühlbohrungen (7) einer benachbarten langen Anordnung (8) unterscheidet.

8. Leitschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Leitschaufel (1) mit einem Beschichtungssystem versehen ist, das eine Haftschicht (BC) und eine Wärmedämmschicht (TBC) umfasst, wobei die Haftschicht auf das Schaufelblatt (3) aufgetragen ist und die Wärmedämmschicht an der Haftschicht haftet.

9. Leitschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Schaufelplattform (2) gegenüber einer zu der Längsrichtung (L) des Schaufelblattes senkrechten Ebene geneigt ist und/oder gegenüberliegend zu der zumindest einen Schaufelplattform (2) eine weitere Schaufelplattform (11) mit dem Schaufelblatt (3) verbunden ist.

10. Strömungsmaschine, insbesondere Gasturbine mit einem Gehäuse (12), in dem sich in einer axialen Richtung (A) ein Strömungskanal (13) erstreckt, der während des Betriebs der Strömungsmaschine von einem Heißgas durchströmt wird, und einer Mehr-

zahl von Turbinenstufen (14), die jeweils einen in dem Strömungskanal (13) angeordneten Leitschaufelkranz (15) umfassen und in der axialen Richtung (A) hintereinander und beabstandet zueinander angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine Turbinenstufe (14) Leitschaufeln (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 aufweist.

11. Strömungsmaschine nach Anspruch 10, dass die wenigstens eine Turbinenstufe (14) ausschließlich ab der zweiten Position in der Strömungsmaschine angeordnet ist.

12. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 10 oder 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich der Strömungskanal (13) in der Strömungsrichtung des Heißgases konisch aufweitet, wobei die wenigstens eine Turbinenstufe (14) Leitschaufeln (1) mit geneigten Schaufelplattformen (2) aufweist und die geneigten Schaufelplattformen (2) dieser Leitschaufeln (1) den Strömungskanal (13) nach außen begrenzen.

13. Verfahren zum Herstellen einer Leitschaufel (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen einer Leitschaufel mit zumindest einer Schaufelplattform (2), die im bestimmungsgemäß montierten Zustand an einer radial äußeren Position angeordnet ist, und einem von der zumindest einen Schaufelplattform (2) abragenden und sich in einer Längsrichtung (L) der Leitschaufel (1) erstreckenden Schaufelblatt (3), das eine Anströmkante (4) und ein Abströmkante (5) definiert und in dessen Innerem ein Hohlraum (6) vorgesehen ist, der durch eine Mehrzahl von in dem Schaufelblatt (3) ausgebildeten und zueinander beabstandet angeordneten Filmkühlbohrungen (7) mit der Außenseite des Schaufelblattes (3) verbunden ist, wobei im Bereich der Anströmkante (4) des Schaufelblattes (3) wenigstens eine lange Anordnung (8) von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen (7) vorgesehen ist, die sich ausgehend von der Schaufelplattform (3) in der Längsrichtung (L) des Schaufelblattes (3) über mindestens 60% der Länge des Schaufelblattes (3) erstreckt; und
- Ausbilden wenigstens einer kurzen Anordnung (9) von linienartig aneinander gereihten Filmkühlbohrungen (7), die sich ausgehend von der Schaufelplattform (2) in der Längsrichtung (L) des Schaufelblattes (3) über höchstens 40% der Länge des Schaufelblattes (3) erstreckt.

14. Verfahren nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass
die wenigstens eine kurze Anordnung (9) auf der Saugseite (10) des Schaufelblattes (3) ausgebildet wird und/oder Filmkühlbohrungen (7) der wenigstens einen langen Anordnung (8) verschlossen werden und/oder Querschnittsflächen von Filmkühlbohrungen (7) der wenigstens einen langen Anordnung (8) derart verringert werden, dass die Summe der Querschnittsflächen sämtlicher Filmkühlbohrungen (7) der hergestellten Leitschaufel (1) höchstens 10% größer als die Summe der Querschnittsflächen sämtlicher Filmkühlbohrungen (7) der bereitgestellten Leitschaufel ist und bevorzugt mit dieser identisch ist.

15. Verfahren zum Sanieren oder Herstellen einer Strömungsmaschine mit einer Mehrzahl von Turbinenstufen, insbesondere einer Gasturbine,
dadurch gekennzeichnet, dass
Leitschaufeln (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ausschließlich ab der zweiten Turbinenstufe in der Gasturbine angeordnet werden.

FIG 1

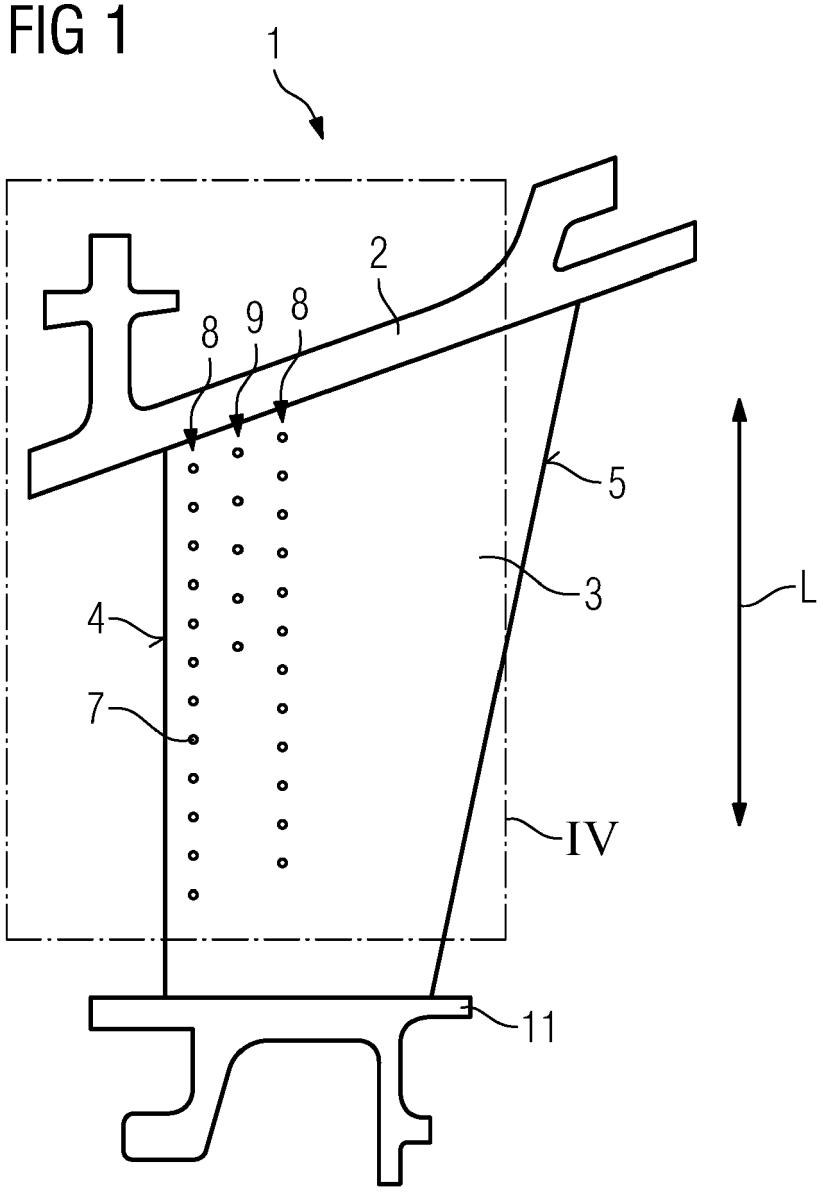


FIG 2

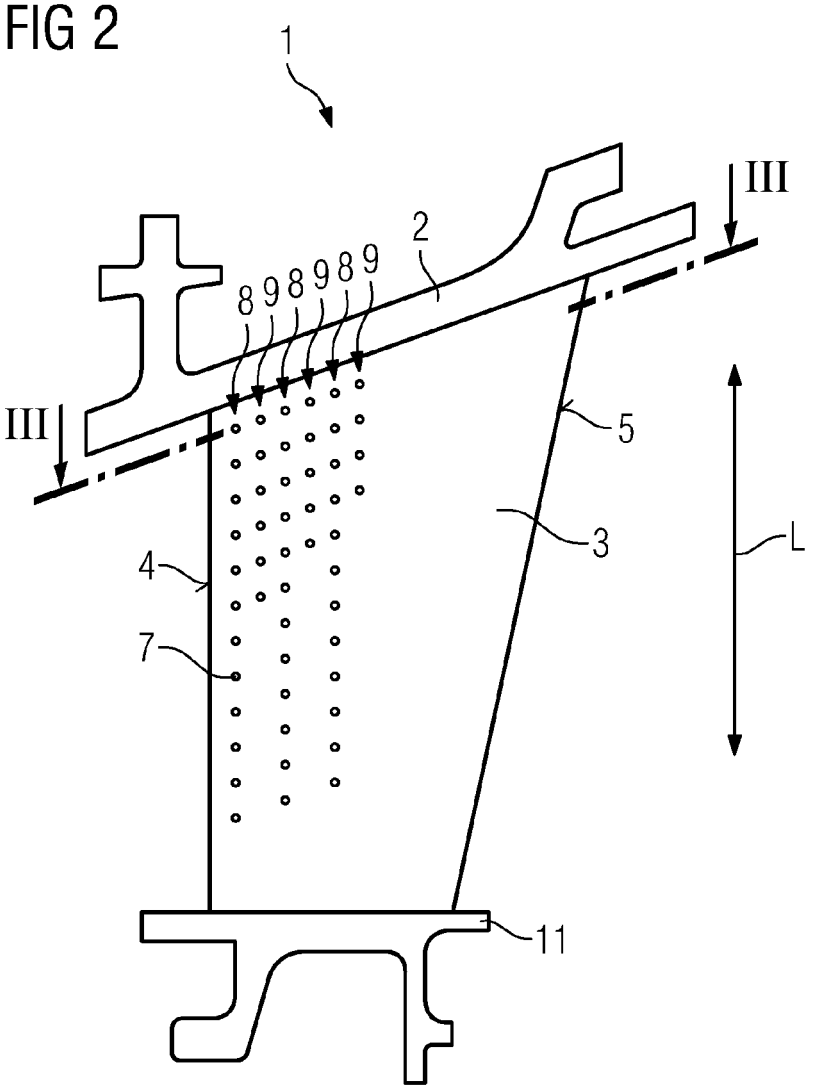


FIG 3

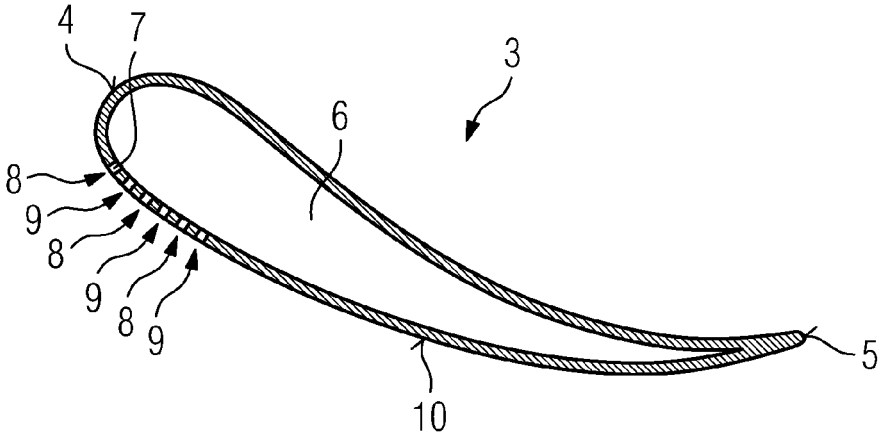


FIG 4

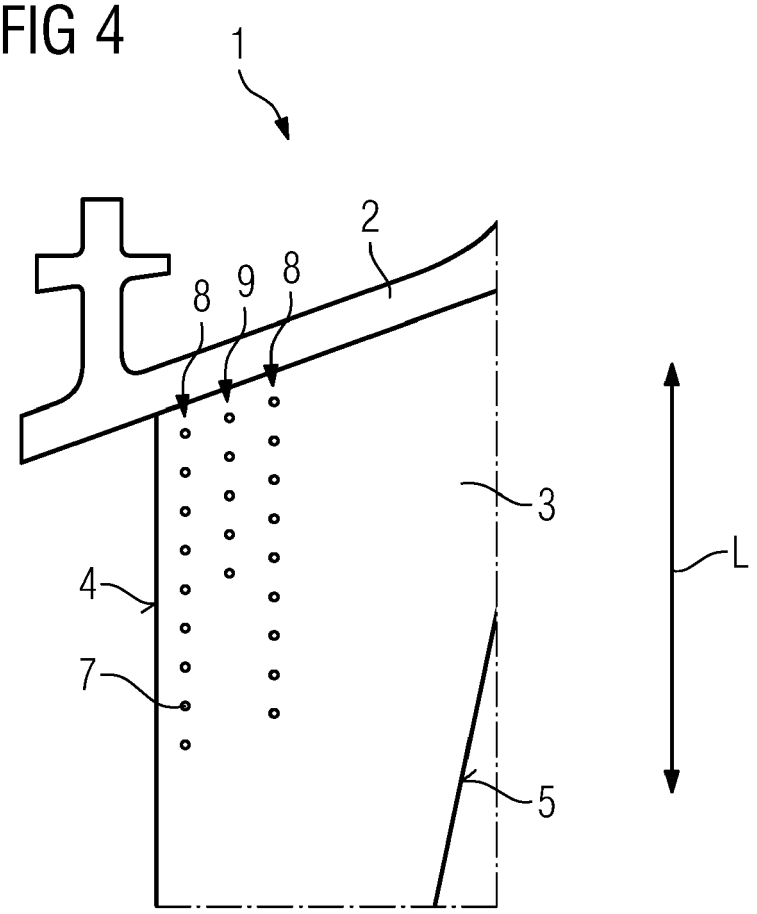


FIG 5

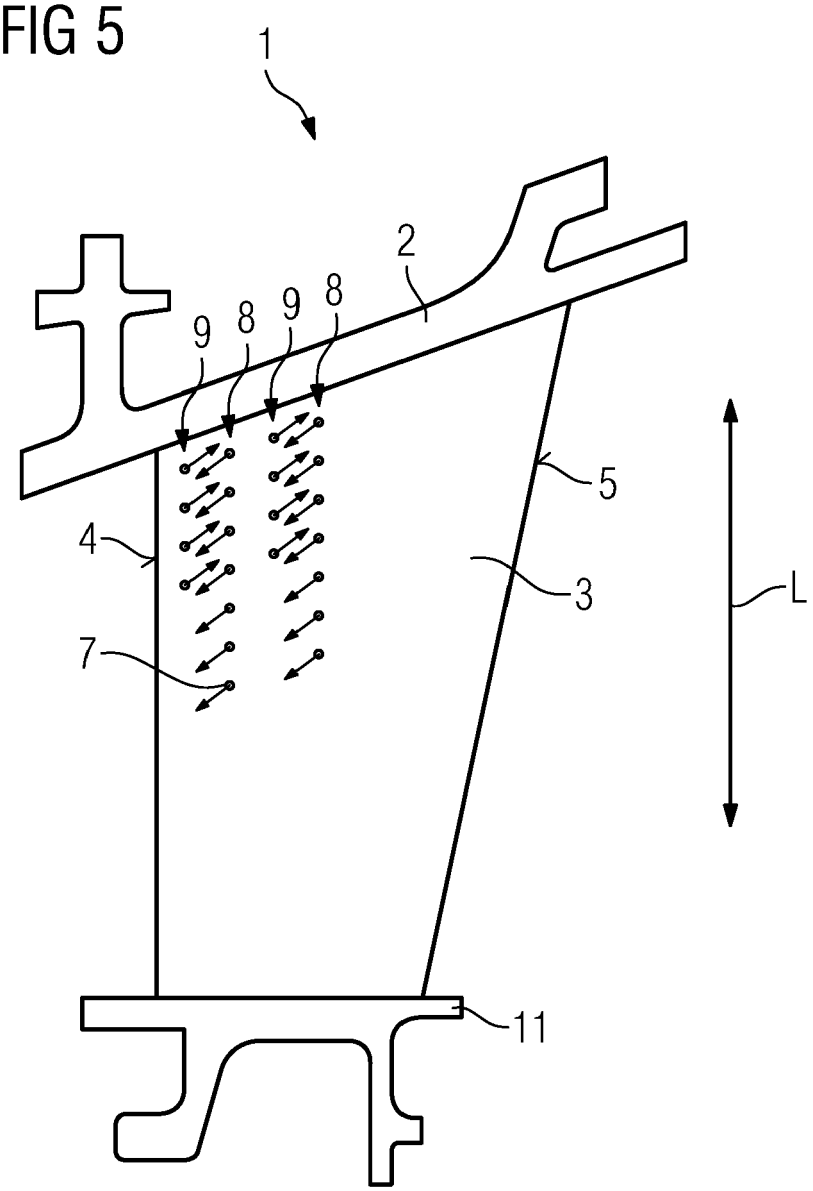
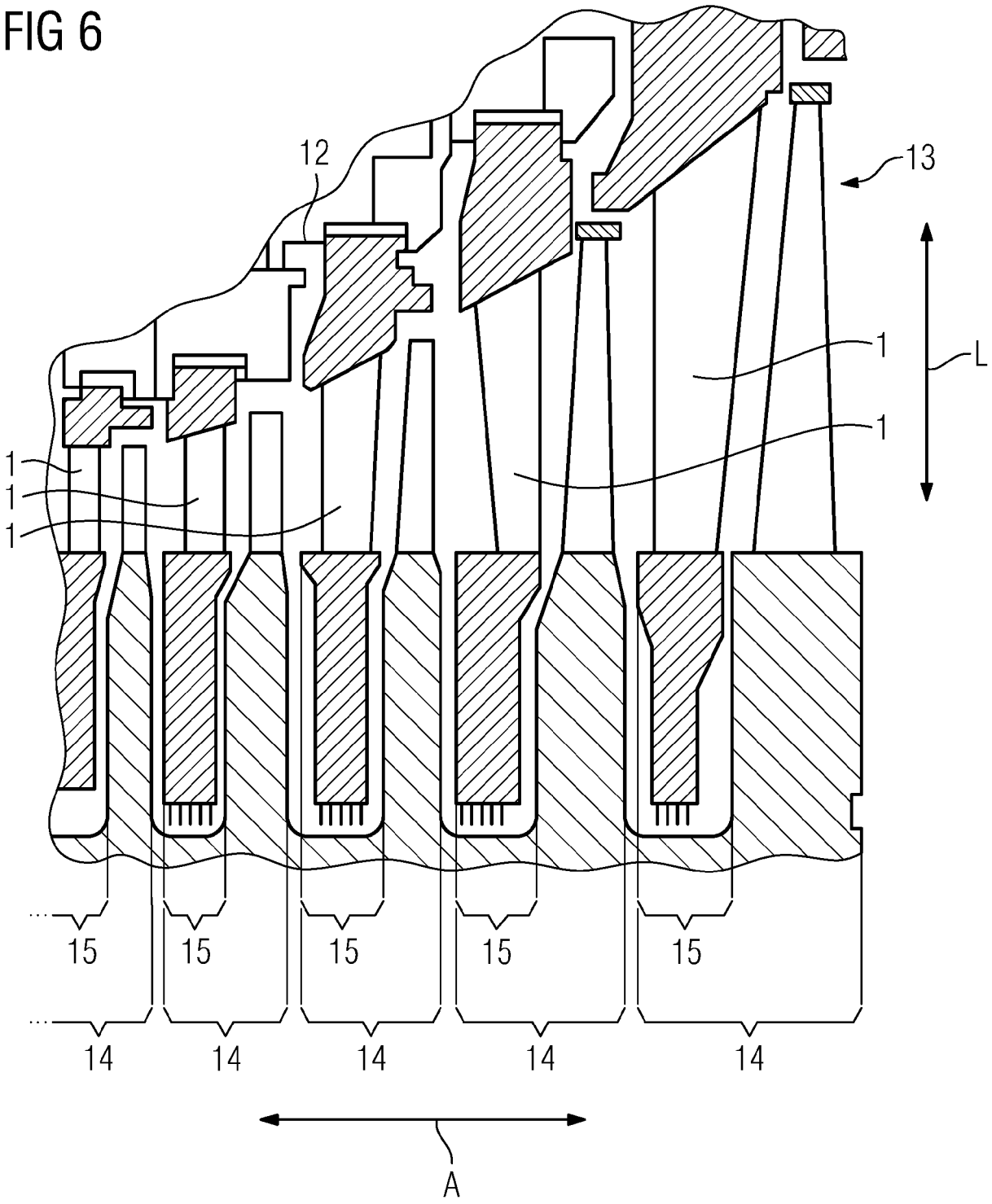


FIG 6



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 16 16 4813

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 2 093 382 A2 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 26. August 2009 (2009-08-26) * Absätze [0008] - [0018]; Abbildungen 1-4 * -----	1-3,6, 8-13,15	INV. F01D5/18
X	GB 2 455 899 A (GEN ELECTRIC [US]) 1. Juli 2009 (2009-07-01) * Seiten 5-20; Abbildungen 3-4 * -----	1-10,13, 14	
X	EP 0 641 917 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 8. März 1995 (1995-03-08) * Abbildung 1 * -----	1,13	
A	GB 1 226 751 A (UNITED TECHNOLOGIES CORP. [US]) 31. März 1971 (1971-03-31) * Abbildungen 6-7,11 * -----	1,13	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)

F01D

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	11. Oktober 2016	Lepers, Joachim

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 16 4813

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.

11-10-2016

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2093382 A2	26-08-2009	EP 2093382 A2	26-08-2009
		US 2009208325 A1	20-08-2009
GB 2455899 A	01-07-2009	CA 2647764 A1	30-06-2009
		DE 102008055589 A1	02-07-2009
		GB 2455899 A	01-07-2009
		JP 5356007 B2	04-12-2013
		JP 2009162228 A	23-07-2009
		US 2010047056 A1	25-02-2010
EP 0641917 A1	08-03-1995	DE 69414209 D1	03-12-1998
		DE 69414209 T2	10-06-1999
		EP 0641917 A1	08-03-1995
		JP 3880639 B2	14-02-2007
		JP H07305603 A	21-11-1995
		US 5486093 A	23-01-1996
GB 1226751 A	31-03-1971	DE 1601550 A1	24-06-1971
		GB 1226751 A	31-03-1971
		US 3584972 A	15-06-1971

EPO FORM P0461

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