

(19)



(11)

EP 3 231 995 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

18.10.2017 Patentblatt 2017/42

(51) Int Cl.:

F01D 5/14 (2006.01)**F01D 5/18** (2006.01)**F01D 5/28** (2006.01)(21) Anmeldenummer: **16164811.8**(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)**

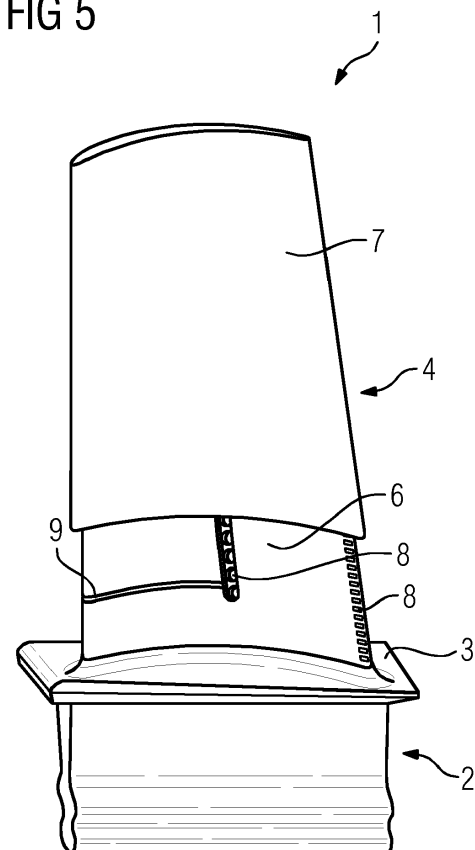
(72) Erfinder:

- **Buchholz, Björn**
46535 Dinslaken (DE)

• **Heckel, Waldemar****45357 Essen (DE)**• **Koch, Daniela****45130 Essen (DE)**• **Lempke, Markus****45468 Mülheim (DE)**• **Mattheis, Thorsten****45473 Mülheim (DE)**• **Ott, Michael****45470 Mülheim an der Ruhr (DE)**• **Schlößer, Marcel****45468 Mülheim an der Ruhr (DE)**• **Völker, Stefan****47447 Moers (DE)**

(54) **TURBINENSCHAUFEL MIT EINEM SCHAUFELBLATTKERN UND EINER SCHAUFELBLATTHÜLLE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel (1) für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbine, mit einem Schaufelfuß (2), an dem eine Schaufelplattform (3) ausgebildet ist, und einem Schaufelblatt (4), das gegenüberliegend zu dem Schaufelfuß (2) von der Schaufelplattform (3) abragt, wobei in dem Innerem des Schaufelblattes (4) ein Hohlraum (5) für ein Kühlfluid vorgesehen ist, wobei das Schaufelblatt (4) einen Schaufelblattkern (6) und eine an dem Schaufelblattkern (6) montierte Schaufelblatthülle (7) umfasst, die den Schaufelblattkern (6) formschlüssig umgibt. Ferner betrifft die Erfindung eine Strömungsmaschine mit derartigen Turbinenschaufeln (1).

FIG 5**EP 3 231 995 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbine, mit einem Schaufelfuß, an dem eine Schaufelplattform ausgebildet ist, und einem Schaufelblatt, das gegenüberliegend zu dem Schaufelfuß von der Schaufelplattform abragt, wobei in dem Inneren des Schaufelblattes ein Hohlraum für ein Kühlfluid vorgesehen ist. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung eine Strömungsmaschine mit solchen Turbinenschaufeln.

[0002] Derartige Turbinenschaufeln sind im Stand der Technik in unterschiedlichen Ausgestaltungen bekannt und dienen in Strömungsmaschinen dazu, die thermische und kinetische Energie eines Arbeitsfluids, insbesondere eines Heißgases in Rotationsenergie umzuwandeln. Üblicherweise umfasst eine solche Turbinenschaufel einen Schaufelfuß, an dem eine Schaufelplattform ausgebildet ist. Weiterhin umfasst die Turbinenschaufel ein Schaufelblatt, das gegenüberliegend zu dem Schaufelfuß von der Schaufelplattform abragt.

[0003] Bekannte Strömungsmaschinen wie beispielsweise Gasturbinen 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 eine Mehrzahl von Turbinenschaufeln, die einen mit dem Gehäuse verbundenen Leitschaufelkranz und einen mit einem zentral gelagerten und das Gehäuse in der axialen Richtung durchsetzenden Läufer verbundenen Laufschaufelkranz bilden.

[0004] Während des Betriebs der Strömungsmaschine wird der Strömungskanal der Strömungsmaschine von einem Heißgas durchströmt. Das den Strömungskanal durchströmende expandierende Heißgas wird dann von den Leitschaufeln derart umgelenkt, dass es die dahinter angeordneten Laufschaufeln optimal anströmt. Das dadurch erzeugte Drehmoment versetzt den Läufer in Rotation. Diese Rotationsenergie kann dann 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 u.a. durch die thermische Belastbarkeit der Turbinenschaufeln gesetzt. Dementsprechend besteht eine Zielsetzung darin, Turbinenschaufeln zu schaffen, die auch bei sehr hohen Temperaturen des Heißgases eine für den Betrieb der Gasturbine ausreichende mechanische Beständigkeit besitzen. Zum mechanischen Schutz und zur Wärmedämmung werden Turbinenschaufeln mit aufwändigen 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 ihrem Inneren Hohlräume für ein Kühlfluid vorgesehen.

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] Es hat sich allerdings gezeigt, dass die Turbinenschaufeln während des Betriebs trotz dieser Maßnahmen verschleissen. Beispielsweise können derart hohe thermische und mechanische Belastung auftreten, dass die Turbinenschaufeln einer allmählichen Erosion unterworfen sind, wodurch das Beschichtungssystem beschädigt und zumindest bereichsweise vollständig abgetragen wird. Ohne die durch das Beschichtungssystem vermittelte Wärmedämmung kann die Turbinenschaufel Schaden nehmen, was mit einer Verringerung ihrer Lebensdauer einhergeht. Entsprechend sind kürzere Wartungsintervalle und entsprechend häufigere Sanierungen bzw. Ersetzungen defekter Turbinenschaufeln erforderlich.

[0007] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Turbinenschaufel der eingangs genannten Art zu schaffen, deren thermische Belastbarkeit trotz verringerter oder bereichsweise ausgefallener Wärmedämmung eine längere Lebensdauer erreicht.

[0008] Diese Aufgabe wird für eine Turbinenschaufel der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass das Schaufelblatt einen Schaufelblattkern und eine an dem Schaufelblattkern montierte Schaufelblatthülle umfasst, die den Schaufelblattkern formschlüssig umgibt.

[0009] Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, einen Schaufelblattkern und eine Schaufelblatthülle vorzusehen, die im bestimmungsgemäß montierten Zustand zusammen das Schaufelblatt der Turbinenschaufel bilden. Dazu umgibt die Schaufelblatthülle den Schaufelblattkern formschlüssig wie eine Haut. Ein Vorteil dieses Aufbaus des Schaufelblatts besteht darin, dass der Schaufelblattkern durch die Schaufelblatthülle zusätzlich geschützt ist. Zudem kann die Schaufelblatthülle bei Bedarf im Rahmen einer Sanierung auf einfache Weise von dem Schaufelblattkern gelöst und durch eine neue Schaufelblatthülle ersetzt werden, was mit geringen Kosten einhergeht.

[0010] Vorteilhaft umfasst die Schaufelblatthülle ein Metall oder eine Metalllegierung, insbesondere eine Nickelbasislegierung wie beispielsweise CM247 oder SIE-MET-DS oder besteht daraus.

[0011] Bevorzugt besitzt die Schaufelblatthülle eine Dicke im Bereich von 100 µm bis 500 µm und bevorzugt von 200 µm. Bei einer solch geringen Dicke besitzt die Schaufelblatthülle bezogen auf den Schaufelblattkern eine relativ geringe Masse. Dies ist für eine Laufschaufel besonders günstig, da die Schaufelblatthülle die während des Betriebs infolge der wirkenden Rotationskräfte auftretende mechanische Belastung der Laufschaufel und des sie haltenden Schaufelträgers nur unwesentlich erhöht.

[0012] Gemäß einer Weiterentwicklung ist die Schau-

felblatthülle mittels eines generativen Herstellungsverfahrens, insbesondere mittels selektiven Laserschmelzens (SLM) als separates Bauteil gefertigt. Generative Herstellungsverfahren ermöglichen die Fertigung komplex geformter Bauteile mit zudem geringer Ausdehnung, so dass auch die angestrebten geringen Dicken der Schaufelblatthülle erreichbar sind. Die oben genannten Nickelbasislegierungen eignen sich besonders zur Verarbeitung in generativen Herstellungsverfahren.

[0013] Die Schaufelblatthülle ist bevorzugt mit dem Schaufelblattkern verbunden, wobei die Verbindung mittels konventioneller Fügeverfahren, insbesondere mittels Hochtemperaturlötens oder durch Aufschrumphen der Schaufelblatthülle auf den Schaufelblattkern hergestellt ist. Konventionelle Fügeverfahren wie beispielsweise Hochtemperaturlöten bieten den Vorteil, dass die Verbindung zwischen der Schaufelblatthülle und dem Schaufelblattkern einfach herstellbar und bei Bedarf wieder lösbar ist. Zwar lässt sich eine aufgeschrumpte Schaufelblatthülle nur noch mittels Zerstörung vom Schaufelblattkern lösen. Dafür lässt sich diese Art der Verbindung ohne zusätzliches Material und/oder Beeinträchtigung der Substanz von Schaufelblattkern oder Schaufelblatthülle schaffen.

[0014] Bevorzugt besitzt das Material der Schaufelblatthülle einen geringeren Wärmeausdehnungskoeffizienten als das Material des Schaufelblattkerns. Diese Materialwahl stellt sicher, dass während des Betriebs der formschlüssige Sitz der Schaufelblatthülle erhalten bleibt. Im Falle einer aufgeschrumpten Schaufelblatthülle wird darüber hinaus ein Ablösen der Schaufelblatthülle von dem Schaufelblattkern während des Betriebs verhindert.

[0015] In bekannter Weise kann das Schaufelblatt eine Wärmedämmschicht (Thermal Barrier Coating, TBC) aufweisen. Beschichtungssysteme, die eine Wärmedämmschicht sowie eine Haftschrift (Bond Coating, BC) umfassen, haben sich bewährt und werden weithin eingesetzt.

[0016] Vorteilhaft umfasst die Wärmedämmschicht ein keramisches Material, insbesondere teilstabilisiertes Zirkon oder Gadoliniumzirkonat oder besteht daraus. Keramische Materialien weisen eine besonders hohe Hitzebeständigkeit auf und sind gute thermische Isolatoren.

[0017] In an sich bekannter Weise ist die Wärmedämmschicht außenseitig an der Schaufelblatthülle angeordnet. Üblicherweise wird zunächst eine Haftschrift außen auf das Schaufelblatt aufgebracht, die das Anhaften der in einem zweiten Schritt aufgetragenen Wärmedämmschicht verstärkt. Die Haftschrift kann beispielsweise aus einem Metall wie MCrALY bestehen.

[0018] Bevorzugt weist die Schaufelblatthülle an ihrer Außenseite eine raue Oberfläche oder Mikrostrukturierung derart auf, dass die Wärmedämmschicht mechanisch mit der Oberfläche oder der Mikrostrukturierung verklammert ist. Auf diese Weise ermöglicht die Schaufelblatthülle bereits allein ein festes Anhaften der Wärmedämmschicht an ihrer Außenseite, weshalb das Auf-

bringen einer zusätzlichen Haftschrift entfallen kann.

[0019] Gemäß einer Weiterbildung umfasst die Schaufelblatthülle wenigstens zwei Segmente. Ein mehrteiliger Aufbau der Schaufelblatthülle kann den Anwendungsbereich eines zweiteiligen Aufbaus eines Schaufelblatts aus einem Schaufelblattkern und einer Schaufelblatthülle erweitern. Komplexe Formen des Schaufelblattkerns können bei dieser Ausgestaltung der Schaufelblatthülle auch dann mit einer Schaufelblatthülle versehen werden, wenn sich eine entsprechende einteilige Schaufelblatthülle nicht auf den Schaufelblattkern aufschieben ließe. Der Schaufelblattkern kann mittels eines Vakuumfeingussverfahrens oder eines 3D-Druckverfahrens gefertigt sein. Vakuumfeingussverfahren sind bewährte und weithin eingesetzte Herstellungsverfahren für Schaufelblätter von Leitschaufeln. 3D-Druckverfahren können bei Kleinserien oder komplexen Formen von Schaufelblattkern zum Einsatz kommen, deren Herstellung mittels eines Vakuumfeingussverfahrens unmöglich oder zumindest sehr aufwändig und/oder fehleranfällig ist.

[0020] Vorteilhaft weist der Schaufelblattkern eine Mehrzahl von Kühlfluidbohrungen auf. Die Kühlfluidbohrungen verbinden den Hohlraum im Inneren des Schaufelblattkerns mit der Außenseite des Schaufelblattkerns, um Kühlfluid aus dem Hohlraum zur Bildung eines außenseitigen Kühlfilms nach außen zu leiten.

[0021] Bevorzugt weist der Schaufelblattkern an seiner Außenseite wenigstens einen Kühlfluidkanal auf, der die Form einer Nut besitzt, nach außen offen und über wenigstens eine Kühlfluidbohrung mit dem Hohlraum verbunden ist. Derartige nutförmige Kühlfluidkanäle an der Außenseite des Schaufelblattkerns werden im bestimmungsgemäß montierten Zustand des Schaufelblatts durch die Schaufelblatthülle verschlossen. Auf diese Weise kann das durch Kühlfluidbohrungen zugeführte Kühlfluid an der Innenseite der Schaufelblatthülle geführt werden.

[0022] Vorteilhaft weist der Schaufelblattkern eine Mehrzahl von Kühlfluidkanälen auf, wobei zumindest zwei Kühlfluidkanäle miteinander, insbesondere alle Kühlfluidkanäle netzartig verbunden sind. Diese Ausgestaltung der Kühlfluidkanäle ermöglicht ein Zirkulieren des Kühlfluids zwischen dem Schaufelblattkern und der Schaufelblatthülle.

[0023] Vorteilhaft weist die Schaufelblatthülle eine Mehrzahl von Kühlfluidbohrungen auf. Durch die Kühlfluidbohrungen lässt sich Kühlfluid von der Innenseite der Schaufelblatthülle auf deren Außenseite führen.

[0024] Gemäß einer bevorzugten Weiterentwicklung fluchtet ein erster Teil der Kühlfluidbohrungen der Schaufelblatthülle mit korrespondierenden Kühlfluidbohrungen des Schaufelblattkerns, wenn die Schaufelblatthülle den Schaufelblattkern formschlüssig umgibt. Auf diese Weise gelangt das Kühlfluid aus dem Hohlraum des Schaufelblattkerns auf die Außenseite der Schaufelblatthülle, wodurch eine konventionelle Filmkühlung gewährleistet wird.

[0025] Dabei können die Kühlfluidbohrungen des ers-

ten Teils der Kühlfluidbohrungen Durchmesser im Bereich von 500 μm bis 2500 μm besitzen. Bohrungen mit Durchmessern in diesem Bereich können ohne weiteres mit herkömmlichen Bohrverfahren in der Schaufelblatthülle ausgebildet werden.

[0026] Alternativ oder zusätzlich kann ein zweiter Teil der Kühlfluidbohrungen der Schaufelblatthülle mit korrespondierenden Kühlfluidkanälen des Schaufelblattkerns fluidverbunden sein, wenn die Schaufelblatthülle den Schaufelblattkern formschlüssig umgibt. In diesem Fall kann in den Kühlfluidkanälen zirkulierendes Kühlfluid durch die Kühlfluidbohrungen des zweiten Teils der Kühlfluidbohrungen an die Außenseite des Schaufelblatts strömen, um dort einen Kühlfilm zu bilden und/oder zu ergänzen. Dieser zweite Teil der Kühlfluidbohrungen kann überdies innerhalb durch die Anordnung der Kühlfluidkanäle bestimmter Grenzen nach Bedarf flexibel positioniert werden, ohne den Schaufelblattkern zu modifizieren.

[0027] Gemäß einer bevorzugten Variante ist der zweite Teil der Kühlfluidbohrungen von der Wärmedämmschicht bedeckt. Entsprechend dringt während des Betriebs der Turbinenschaufel kein Kühlfluid durch die Kühlfluidbohrungen des zweiten Teils der Kühlfluidbohrungen. Wenn allerdings als Folge eines betriebsbedingten Verschleißes die Wärmedämmschicht zumindest teilweise abgetragen ist, kann Kühlfluid aus dem freigelegten zweiten Teil der Kühlfluidbohrungen austreten, um eine Notkühlung des erodierten Bereichs sicherzustellen. Durch diese Notkühlung lässt sich die Lebensdauer einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel verlängern.

[0028] Vorteilhaft besitzt wenigstens eine Kühlfluidbohrung, insbesondere alle Kühlfluidbohrungen des zweiten Teils der Kühlfluidbohrungen einen Durchmesser im Bereich zwischen 100 μm und 500 μm . Kühlfluidbohrungen mit derart geringen Durchmessern lassen sich mittels generativer Herstellungsverfahren ohne weiteres ausbilden, während sie durch konventionelle Bohrverfahren nicht hergestellt werden können.

[0029] Gemäß einer Variante der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel sind Kühlfluidbohrungen des zweiten Teils der Kühlfluidbohrungen auf Knotenpunkten eines Gitternetzes angeordnet. Derart regelmäßige Anordnungen von Kühlfluidbohrungen bewirken die Bildung eines dichten und gleichmäßigen Kühlfilms in dem erodierten Bereich.

[0030] Ferner schafft die vorliegende Erfindung eine Strömungsmaschine, insbesondere 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 Leitschaufelkranz und einen Laufschaufelkranz umfassen, wobei die Turbinenstufen in dem Strömungskanal in der axialen Richtung hintereinander und beabstandet zueinander angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Laufschaufelkränze und/oder Leitschaufelkränze erfindungsgemäße Turbinenschaufeln

aufweisen. Bei Strömungsmaschinen mit Turbinenschaufeln, deren Schaufelblätter jeweils einen Schaufelblattkern und eine den Schaufelblattkern formschlüssig umgebende Schaufelblatthülle aufweisen, lassen sich die Turbinenschaufeln bei Bedarf einfach und kostengünstig sanieren, indem lediglich die Schaufelblatthüllen ersetzt werden.

[0031] Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand einer Turbinenschaufel gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung deutlich. Darin ist

- Figur 1 eine perspektivische Seitenansicht einer Turbinenschaufel gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ohne Schaufelblatthülle von schräg oben;
- Figur 2 eine perspektivische Seitenansicht der in Figur 1 gezeigten Turbinenschaufel;
- Figur 3 eine perspektivische Seitenansicht einer Schaufelblatthülle der in Figur 1 gezeigten Turbinenschaufel;
- Figur 4 eine vergrößerte Detailansicht der in Figur 3 gezeigten Schaufelblatthülle des mit dem Bezugszeichen IV bezeichneten Ausschnitts;
- Figur 5 eine perspektivische Seitenansicht der in Figur 1 gezeigten Turbinenschaufel mit teilweise auf den Schaufelblattkern aufgeschobener Schaufelblatthülle;
- Figur 6 eine perspektivische Seitenansicht der in Figur 1 dargestellten Turbinenschaufel im bestimmungsgemäß montierten Zustand; und
- Figur 7 eine teilweise schematische Querschnittsansicht einer Strömungsmaschine gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0032] Die Figuren 1 bis 6 zeigen eine Turbinenschaufel 1 für eine nicht dargestellte Strömungsmaschine, insbesondere Gasturbine, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Turbinenschaufel 1 ist zur Verwendung als Laufschaufel ausgebildet. Jedoch lassen sich auch Leitschaufeln ohne Weiteres gemäß der vorliegenden Erfindung ausführen.

[0033] Die Turbinenschaufel 1 umfasst einen Schaufelfuß 2, an dem eine Schaufelplattform 3 ausgebildet ist. Ferner umfasst die Turbinenschaufel 1 ein Schaufelblatt 4, das gegenüberliegend zu dem Schaufelfuß 2 von der Schaufelplattform 3 abragt. In dem Inneren des Schaufelblattes 4 ist ein Hohlraum 5 für ein Kühlfluid vorgesehen. Das Schaufelblatt 4 umfasst einen Schaufelblattkern 6 und eine an dem Schaufelblattkern 6 montierte Schaufelblatthülle 7, die den Schaufelblattkern 6 formschlüssig umgibt.

[0034] Der Schaufelblattkern 6 weist eine Mehrzahl von Kühlfluidbohrungen 8 auf, die den Hohlraum 5 mit der Außenseite des Schaufelblattkerns 6 verbinden. Ferner ist an der Außenseite des Schaufelblattkerns 6 eine

Mehrzahl von Kühlfluidkanälen 9 ausgebildet, die netzartig miteinander verbunden sind. Die Kühlfluidkanäle 9 besitzen die Form von Nuten, sind nach außen offen und über eine Mehrzahl von Kühlfluidbohrungen 8 mit dem Hohlraum 5 verbunden. Der Schaufelblattkern 6 ist mittels eines Vakuumgießverfahrens gefertigt, kann aber auch in einem 3D-Druckverfahren hergestellt sein.

[0035] Die Schaufelblatthülle 7 ist als separates Bauteil mittels eines generativen Herstellungsverfahrens, insbesondere mittels selektiven Laserschmelzens (SLM) gefertigt. Sie besteht aus einer Nickelbasislegierung wie beispielsweise CM247 oder SIEMET-DS, kann aber allgemein ein Metall oder eine Metallegierung umfassen bzw. daraus bestehen. Die Schaufelblatthülle 7 besitzt eine Dicke von ca. 200 µm. Sie ist mittels Hochtemperaturlötens mit dem Schaufelblattkern 6 verbunden, kann aber auch mittels anderer konventioneller Fügeverfahren an dem Schaufelblattkern 6 befestigt sein. Alternativ kommt auch ein Aufschrupfen der Schaufelblatthülle 7 auf den Schaufelblattkern 6 infrage. Das Material der Schaufelblatthülle 7 besitzt einen geringeren Wärmeausdehnungskoeffizienten als das Material des Schaufelblattkerns 6. Auf diese Weise bleibt der Formschluss zwischen der Schaufelblatthülle 7 und dem Schaufelblattkern 6 auch bei einer hohen Temperatur erhalten.

[0036] Ferner weist das Schaufelblatt 4 eine nicht dargestellte Wärmedämmschicht (TBC) auf, die beispielsweise teilstabilisiertes Zirkon oder Gadoliniumzirkonat, aber auch ein anderes keramisches Material umfassen oder daraus bestehen kann. Die Schaufelblatthülle 7 weist an ihrer Außenseite eine raue Oberfläche oder Mikrostrukturierung auf. Infolgedessen ist die außenseitig an der Schaufelblatthülle 7 angeordnete Wärmedämmschicht mechanisch mit der Oberfläche oder der Mikrostrukturierung verklammert. Alternativ kann aber auch eine Haftschrift, beispielsweise aus dem Metall MCrAlY, außen auf die Schaufelblatthülle 7 aufgebracht sein, mit der sich die Wärmedämmschicht mechanisch verklammert.

[0037] Vorliegend ist die Schaufelblatthülle 7 einteilig ausgebildet, wie in der Figur 3 dargestellt ist. Wenn sich die Schaufelblatthülle 7 aufgrund der komplexen Form des Schaufelblatts 4 nicht auf den Schaufelblattkern 6 aufschieben ließe, könnte die Schaufelblatthülle 7 alternativ auch zwei oder mehr Segmente umfassen.

[0038] Die Schaufelblatthülle 7 weist ferner eine Mehrzahl von Kühlfluidbohrungen 10 auf. Ein erster Teil der Kühlfluidbohrungen 10 der Schaufelblatthülle 7 fluchtet mit korrespondierenden Kühlfluidbohrungen 8 des Schaufelblattkerns 6, wenn die Schaufelblatthülle 7 den Schaufelblattkern 6 formschlüssig umgibt. Die Kühlfluidbohrungen 10 des ersten Teils der Kühlfluidbohrungen 10 besitzen Durchmesser im Bereich von 500 µm bis 2500 µm.

[0039] Ein zweiter Teil der Kühlfluidbohrungen 10 der Schaufelblatthülle 7 ist mit korrespondierenden Kühlfluidkanälen 9 des Schaufelblattkerns 6 fluidverbunden, wenn die Schaufelblatthülle 7 den Schaufelblattkern 6

formschlüssig umgibt. Die Kühlfluidbohrungen 10 des zweiten Teils der Kühlfluidbohrungen 10 besitzen einen Durchmesser im Bereich zwischen 100 µm und 500 µm.

[0040] Vorliegend ist lediglich beispielhaft eine gitternetzartige Anordnung von Kühlfluidbohrungen 10 des zweiten Teils der Kühlfluidbohrungen 10 vorgesehen, der in einem vorderen und plattformnahen Bereich der Saugseite der Schaufelblatthülle 7 positioniert ist, wie in den Figuren 3 und 4 gezeigt ist. Dieser Bereich ist besonders von Erosion betroffen. Der zweite Teil der Kühlfluidbohrungen 10 ist von der Wärmedämmschicht bedeckt.

[0041] Die Figuren 5 und 6 zeigen zwei Zustände der Turbinenschaufel 1 beim Montieren der Schaufelblatthülle 7 auf den Schaufelblattkern 6. Zunächst wird die Schaufelblatthülle 7 von oben auf den Schaufelblattkern 6 aufgeschoben (Figur 5), bis sie den Schaufelblattkern 6 formschlüssig umgibt (Figur 6).

[0042] Die Figur 7 zeigt schematisch einen Abschnitt einer Strömungsmaschine gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Strömungsmaschine umfasst ein Gehäuse 11, in dem sich in einer axialen Richtung A ein Strömungskanal 12 erstreckt. Weiterhin umfasst die Strömungsmaschine eine Mehrzahl von Turbinenstufen 13, die jeweils einen Leitschaufelkranz 14 und einen Leitschaufelkranz 15 umfassen, wobei die Turbinenstufen 13 in dem Strömungskanal 12 in der axialen Richtung A hintereinander und beabstandet zueinander angeordnet sind. Die Laufschaufelkränze 15 sind jeweils aus einer Mehrzahl von erfindungsgemäßen Turbinenschaufeln 1 gebildet.

[0043] Während des Betriebs der Strömungsmaschine wird der Strömungskanal 12 von einem Heißgas durchströmt. Zur Kühlung der in dem Strömungskanal 12 angeordneten Laufschaufelkränze 15 werden die Turbinenschaufeln 1 jeweils von einem Kühlfluid durchströmt. Das Kühlfluid strömt aus dem Hohlraum 5 durch die Kühlfluidbohrungen 8 des Schaufelblattkerns und die mit diesem fluchtenden Kühlfluidbohrungen 10 der Schaufelblatthülle 7 auf die Außenseite des Schaufelblattes 4. Auf der Außenseite bildet das ausströmende Kühlfluid einen Kühlfilm, der die Außenseite des Schaufelblattes 4 vor dem strömenden Heißgas schützt und die thermische Belastung des Schaufelblattes 4 verringert.

[0044] Mit zunehmender Betriebsdauer kommt es zu einer allmählichen Erosion der Wärmedämmschicht, wobei diese in einzelnen Bereichen des Schaufelblattes 4 auch vollständig abgetragen werden kann. Dadurch wird der zweite Teil von Filmkühlbohrungen 10 der Schaufelblatthülle 7 freigelegt, wodurch Kühlfluid aus dem Hohlraum 5 durch Kühlfluidbohrungen 8, Kühlfluidkanäle 9 und den zweiten Teil der Kühlfluidbohrungen 10 der Schaufelblatthülle 7 auf die Außenseite der Schaufelblatthülle 7 strömt und dort einen Kühlfilm bildet.

[0045] Ein Vorteil der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel liegt darin, dass sich die Schaufelblatthülle 7 bei Bedarf im Rahmen einer Sanierung auf einfache Wei-

se ersetzen lässt, ohne auch den Schaufelblattkern 6 ersetzen zu müssen. Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, dass sich mittels des zweiten Teils von Filmkühlbohrungen 10 in der Schaufelhülle 7 eine effektive Notfallkühlung realisieren lässt, deren Wirkung genau dann eintritt, wenn die Wärmedämmschicht infolge von Erosion zumindest bereichsweise von der Außenseite des Schaufelblattes 4 abgetragen ist.

[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 Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (1) für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbine, mit einem Schaufelfuß (2), an dem eine Schaufelplattform (3) ausgebildet ist, und einem Schaufelblatt (4), das gegenüberliegend zu dem Schaufelfuß (2) von der Schaufelplattform (3) abragt, wobei in dem Innerem des Schaufelblattes (4) ein Hohlraum (5) für ein Kühlfluid vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schaufelblatt (4) einen Schaufelblattkern (6) und eine an dem Schaufelblattkern (6) montierte Schaufelblatthülle (7) umfasst, die den Schaufelblattkern (6) formschlüssig umgibt.
2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaufelblatthülle (7) ein Metall oder eine Metalllegierung umfasst, insbesondere eine Nickelbasislegierung wie beispielsweise CM247 oder SiE-MET-DS oder daraus besteht und/oder das Material der Schaufelblatthülle (7) einen geringeren Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt als das Material des Schaufelblattkerns (6).
3. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaufelblatthülle (7) eine Dicke im Bereich von 100 µm bis 500 µm und bevorzugt von 200 µm besitzt und/oder mittels eines generativen Herstellungsverfahrens, insbesondere mittels selektiven Laserschmelzens (SLM) als separates Bauteil gefertigt ist.
4. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaufelblatthülle (7) mit dem Schaufelblattkern (6) verbunden ist, wobei die Verbindung mittels konventioneller Fügeverfahren, insbesondere mittels Hochtemperaturlötens oder durch Aufschrumpfen der Schaufelblatthülle (7) auf den Schaufelblattkern (6) hergestellt ist.

5. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schaufelblatt (4) eine Wärmedämmschicht (TBC) aufweist, wobei insbesondere die Wärmedämmschicht ein keramisches Material, insbesondere teilstabilisiertes Zirkon oder Gadoliniumzirkonat umfasst oder daraus besteht und/oder die Wärmedämmschicht außenseitig an der Schaufelblatthülle (7) angeordnet ist, wobei insbesondere die Schaufelblatthülle (7) an ihrer Außenseite eine raue Oberfläche oder Mikrostrukturierung derart aufweist, dass die Wärmedämmschicht mechanisch mit der Oberfläche oder der Mikrostrukturierung verklammert ist.
6. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaufelblatthülle (7) wenigstens zwei Segmente umfasst.
7. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaufelblattkern (6) mittels eines Vakuumfeingussverfahrens oder eines 3D-Druckverfahrens gefertigt ist.
8. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaufelblattkern (6) eine Mehrzahl von Kühlfluidbohrungen (8) und/oder die Schaufelblatthülle (7) eine Mehrzahl von Kühlfluidbohrungen (10) aufweist.
9. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaufelblattkern (6) an seiner Außenseite wenigstens einen Kühlfluidkanal (9) aufweist, der die Form einer Nut besitzt, nach außen offen und über wenigstens eine Kühlfluidbohrung (8) mit dem Hohlraum (5) verbunden ist.
10. Turbinenschaufel nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaufelblattkern (6) eine Mehrzahl von Kühlfluidkanälen (9) aufweist, wobei zumindest zwei Kühlfluidkanäle (9) miteinander, insbesondere alle Kühlfluidkanäle (9) netzartig verbunden sind.
11. Turbinenschaufel nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein erster Teil der Kühlfluidbohrungen (10) der Schaufelblatthülle (7) mit korrespondierenden Kühlfluidbohrungen (8) des Schaufelblattkerns (6) fluchtet, wenn die Schaufelblatthülle (7) den Schaufelblattkern (6) formschlüssig umgibt, wobei insbesondere die Kühlfluidbohrungen (10) des ersten Teils der Kühlfluidbohrungen (10) Durchmesser im Bereich von 500 µm bis 2500 µm besitzen.

12. Turbinenschaufel nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein zweiter Teil der Kühlfluidbohrungen (10) der
Schaufelblatthülle (7) mit korrespondierenden Kühl-
fluidkanälen (9) des Schaufelblattkerns (3) fluidver- 5
bunden ist, wenn die Schaufelblatthülle (7) den
Schaufelblattkern (6) formschlüssig umgibt, wobei
insbesondere Kühlfluidbohrungen (10) des zweiten
Teils der Kühlfluidbohrungen (10) auf Knotenpunk- 10
ten eines Gitternetzes angeordnet sind.
13. Turbinenschaufel nach Anspruch 12 und Anspruch
5, **dadurch gekennzeichnet, dass**
der zweite Teil der Kühlfluidbohrungen (10) von der
Wärmedämmschicht bedeckt ist. 15
14. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 12
oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass**
wenigstens eine Kühlfluidbohrung (10), insbesonde- 20
re alle Kühlfluidbohrungen (10) des zweiten Teils der
Kühlfluidbohrungen (10) einen Durchmesser im Be-
reich zwischen 100 μm und 500 μm besitzen.
15. Strömungsmaschine,
insbesondere Gasturbine, mit einem Gehäuse (11), 25
in dem sich in einer axialen Richtung (A) ein Strö-
mungskanal (12) erstreckt, der während des Be-
triebs der Strömungsmaschine von einem Heißgas
durchströmt wird, und einer Mehrzahl von Turbinen-
stufen (13), die jeweils einen Leitschaufelkranz (14) 30
und einen Laufschaufelkranz (15) umfassen, wobei
die Turbinenstufen (13) in dem Strömungskanal (12)
in der axialen Richtung (A) hintereinander und be-
abstandet zueinander angeordnet sind, **dadurch**
gekennzeichnet, dass die Leitschaufelkränze (14) 35
und/oder Laufschaufelkränze (15) Turbinenschau-
feln (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14 aufwei-
sen.

40

45

50

55

FIG 1

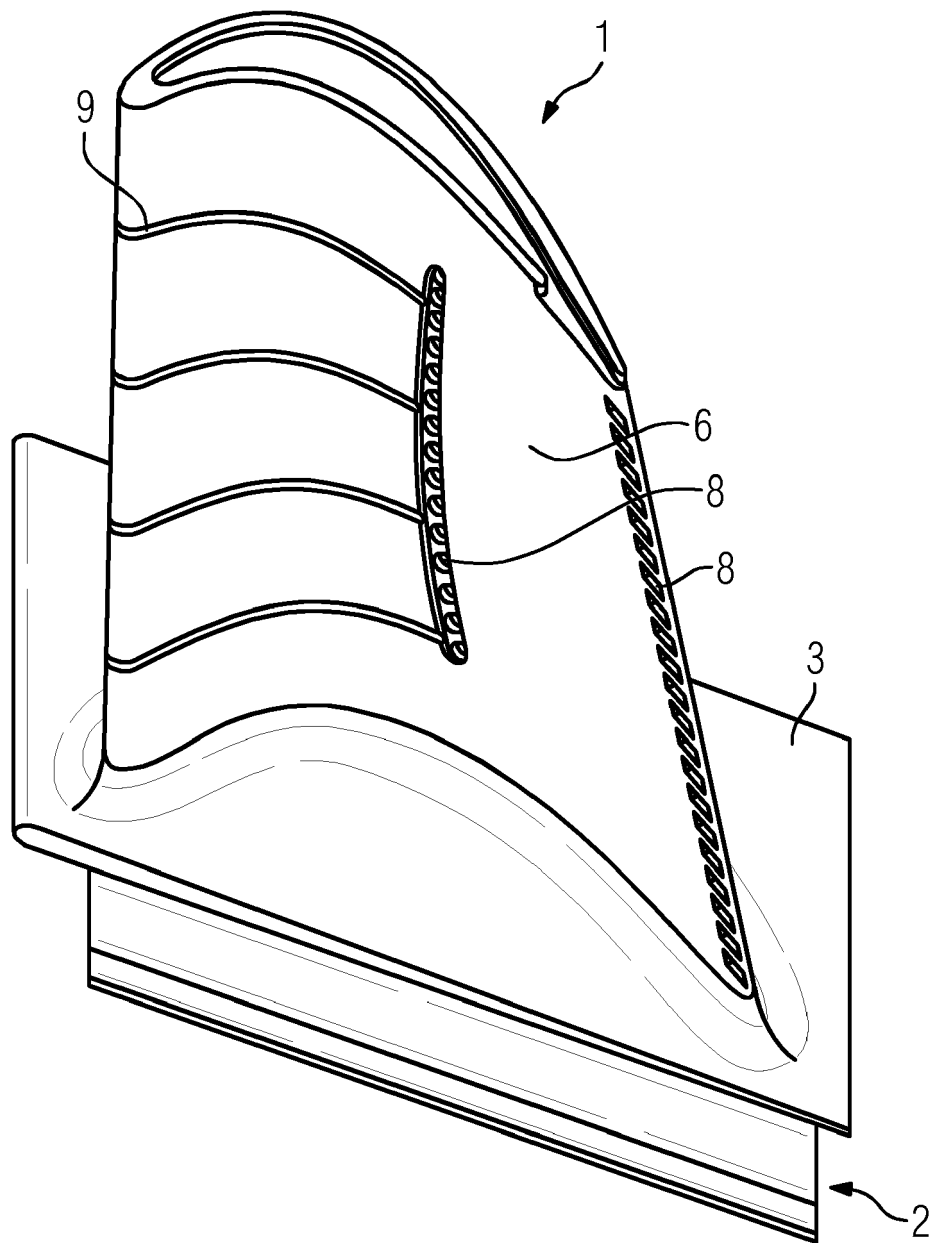


FIG 2

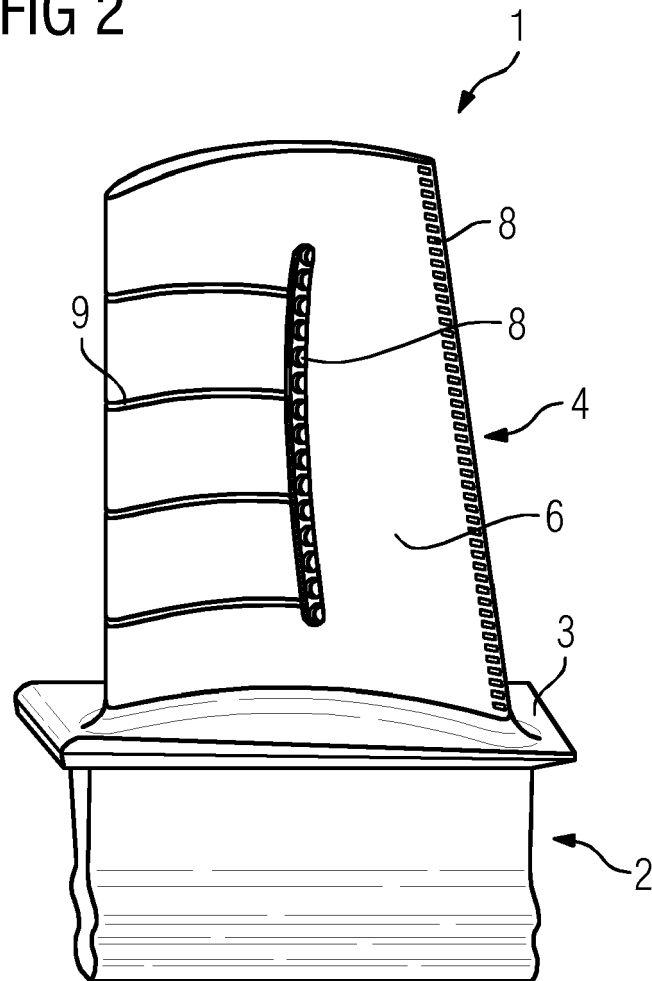


FIG 3

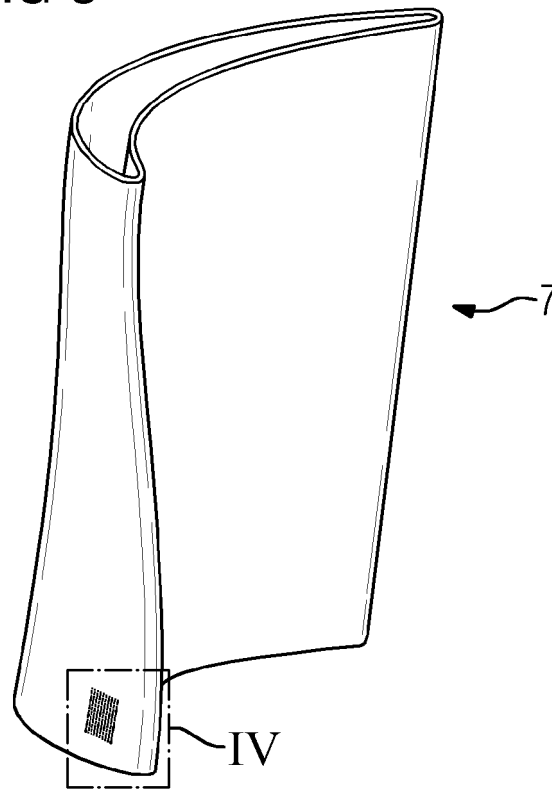


FIG 4

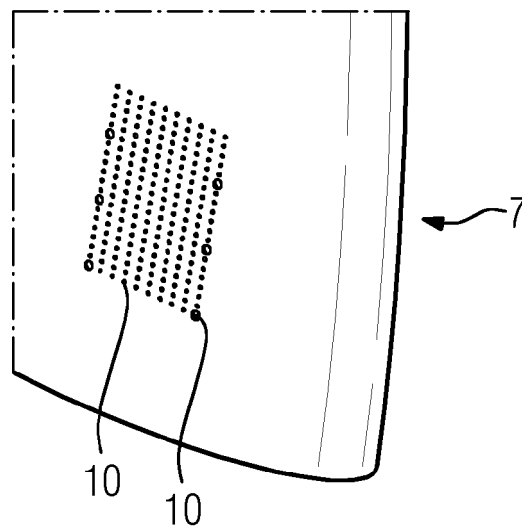


FIG 5

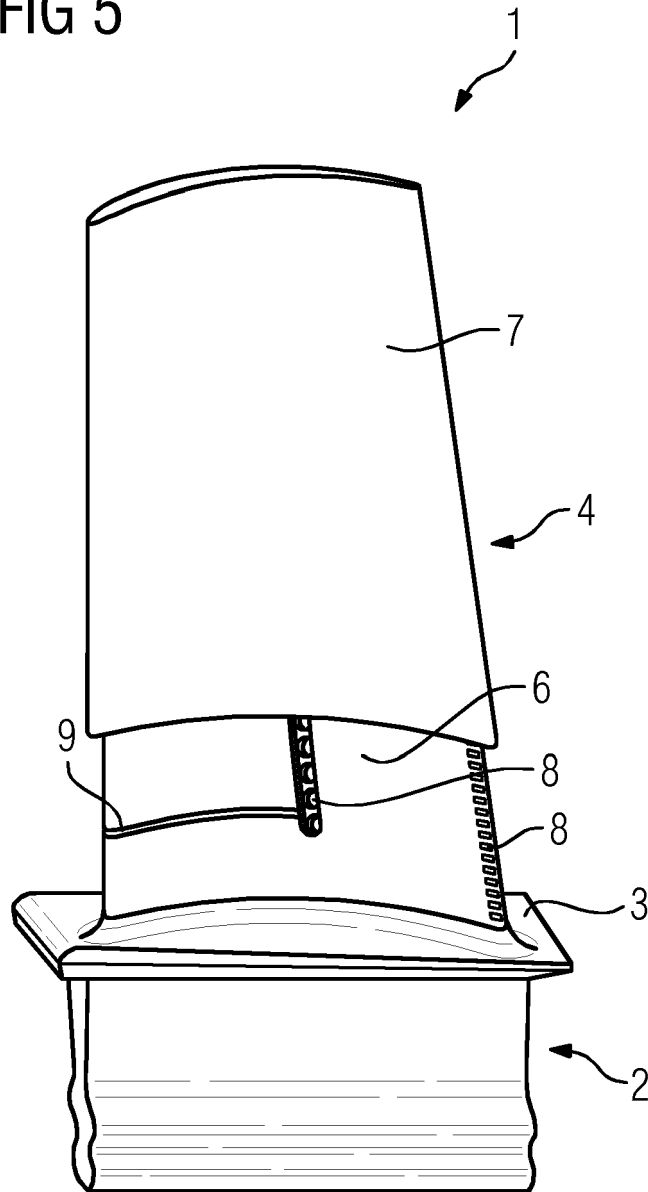


FIG 6

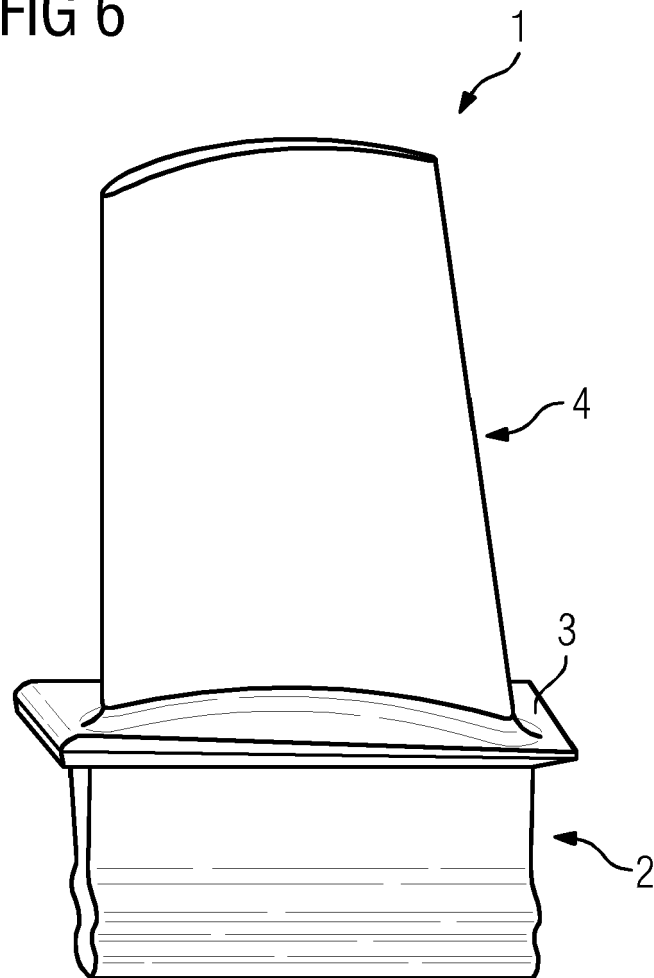
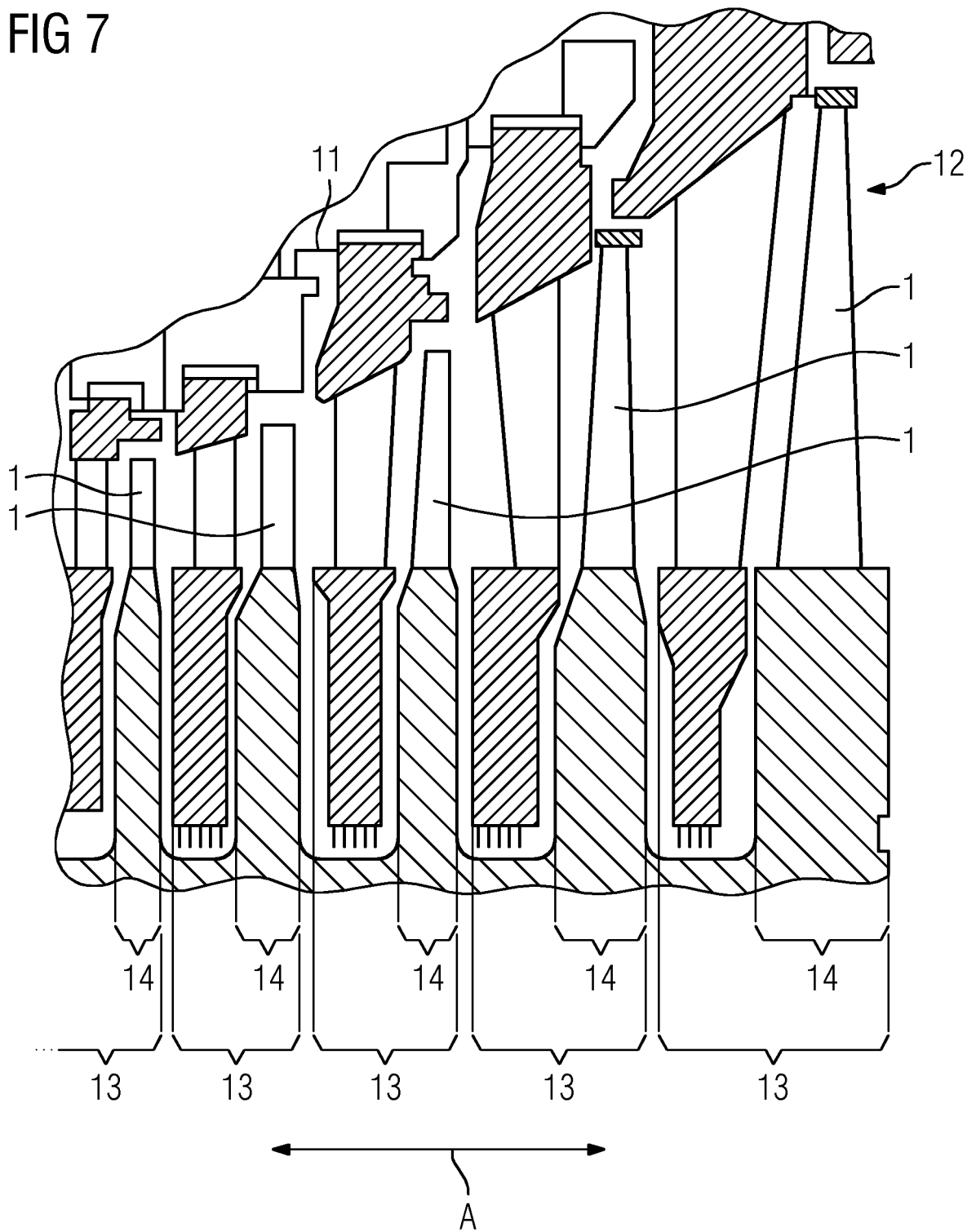


FIG 7





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 16 16 4811

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 8 162 617 B1 (DAVIES DANIEL O [US] ET AL) 24. April 2012 (2012-04-24)	1,2,4,6,8,9,15	INV. F01D5/14 F01D5/18 F01D5/28
Y	* Spalten 1-5; Abbildungen 1, 3, 5 *	3,5,6	

X	US 3 810 711 A (STEINBARGER J ET AL) 14. Mai 1974 (1974-05-14)	1,2,4,8-10,15	
Y	* Spalten 1-6; Abbildungen 4-8 *	3,5,6,11-14	

E	WO 2016/058900 A1 (SIEMENS AG [DE]) 21. April 2016 (2016-04-21)	1,2,4,7,15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01D
	* Seiten 4-17; Ansprüche 10, 11; Abbildungen 1-6 *		
	* Seiten 4-17; Ansprüche 10,11; Abbildungen 1-6 *		

Y	US 2015/322800 A1 (CROSATTI LORENZO [US] ET AL) 12. November 2015 (2015-11-12)	5	

Y	US 7 625 180 B1 (LIANG GEORGE [US]) 1. Dezember 2009 (2009-12-01)	5	F01D
	* Abbildung 1 *		

Y	US 2006/120869 A1 (WILSON JACK W [US] ET AL) 8. Juni 2006 (2006-06-08)	11-14	
	* Abbildungen 5,6 *		

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 19. September 2016	Prüfer 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 : mündliche 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 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 16 16 4811

5 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.

19-09-2016

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 8162617 B1	24-04-2012	KEINE	
US 3810711 A	14-05-1974	GB 1427072 A US 3810711 A	03-03-1976 14-05-1974
WO 2016058900 A1	21-04-2016	DE 102014220787 A1 WO 2016058900 A1	14-04-2016 21-04-2016
US 2015322800 A1	12-11-2015	KEINE	
US 7625180 B1	01-12-2009	KEINE	
US 2006120869 A1	08-06-2006	US 7670116 B1 US 2006120869 A1 US 2008260538 A1 US 2009193657 A1 US 2010290917 A1 US 2011020137 A1 US 2011305580 A1	02-03-2010 08-06-2006 23-10-2008 06-08-2009 18-11-2010 27-01-2011 15-12-2011

EPO FORM P0461

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