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

(11) **EP 3 085 894 A1**

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
26.10.2016 Patentblatt 2016/43

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

(21) Anmeldenummer: **15164852.4**

(22) Anmeldetag: **23.04.2015**

(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

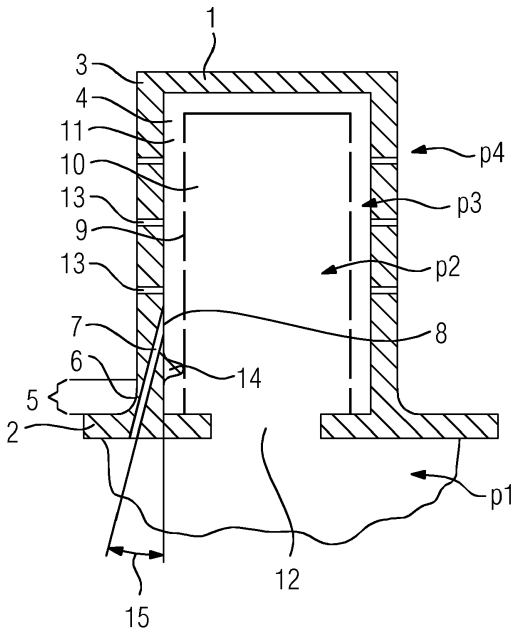
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
- **Ahmad, Fathi**
  41564 Kaarst (DE)
- **Buchholz, Björn**
  46535 Dinslaken (DE)
- **Gossilin, Ralph**
  46049 Oberhausen (DE)
- **Koch, Daniela**
  45130 Essen (DE)
- **Radulovic, Radan**
  44799 Bochum (DE)

(54) Schaufel und zugehöriges Herstellungsverfahren

(57) Die Erfindung betrifft eine Schaufel für eine Strömungsmaschine mit einer Deckplatte (2) und einem an der Deckplatte (2) angeordneten Schaufelblatt (1) mit einer einen Hohlraum (4) zumindest teilweise umschließenden Wandung (3), wobei die Wandung (3) angrenzend an die Deckplatte (2) einen Blattauslaufbereich (5) mit einer einen Übergangsradius vom Schaufelblatt (1) zur Deckplatte (2) ausbildenden Ausrundung (6) aufweist. Die Schaufel weist weiterhin einen sich derart durch die Deckplatte (2) und den Blattauslaufbereich (5) erstreckenden, in einem Mündungsbereich (8) in den Hohlraum (4) einmündenden Kühlkanal (7) auf, dass bei einem Strömen eines Kühlfluids durch den Kühlkanal (7) der Blattauslaufbereich (5) kühlbar ist.

FIG 1



EP 3 085 894 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Schaufel für eine Strömungsmaschine mit wenigstens einem Kühlkanal in einem Blattauslaufbereich. Der Blattauslaufbereich bildet einen Übergangsradius von einem Schaufelblatt zu einer Deckplatte der Schaufel. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Herstellverfahren für eine derartige Schaufel.

[0002] Schaufeln einer Strömungsmaschine wie z.B. einer Gasturbine sind im Betrieb hohen thermo-mechanischen Belastungen ausgesetzt. In einem Ansatzbereich zwischen einer Deckplatte der Schaufel und einem Schaufelblatt ist daher ein Blattauslaufbereich vorgesehen, welcher einen Übergangsradius zwischen Schaufelblattoberfläche und Deckplattenoberfläche ausbildet. Durch diesen abgerundeten Übergang können die im Ansatzbereich zwischen Deckplatte und Schaufelblatt auftretenden thermo-mechanischen Belastungen gesenkt werden. Der Blattauslaufbereich kann jedoch mechanisch geschwächt sein, wenn dort Kühlungslöcher zum Kühlen eines Schaufelblattmaterials im Betrieb angeordnet werden, da an den Kühllöchern durch ihre Kerbwirkung ebenfalls hohe Spannungen im Betrieb auftreten können.

[0003] Folglich ist der Blattauslaufbereich im Betrieb gleichzeitig hohen mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt. Dies geht mit einem erhöhten Schadensrisiko und einer verkürzten Lebensdauer aufgrund von Materialermüdung in diesem Bereich einher.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Schaufel für eine Strömungsmaschine mit einer erhöhten Lebensdauer und einem verringerten Versagensrisiko anzugeben. Weiterhin ist es Aufgabe, ein Herstellverfahren für eine derartige Schaufel anzugeben.

[0005] Diese Aufgabe wird durch eine Schaufel für eine Strömungsmaschine und ein Verfahren zum Herstellen einer Schaufel für eine Strömungsmaschine gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

[0006] Eine Schaufel für eine Strömungsmaschine weist eine Deckplatte und ein an der Deckplatte angeordnetes Schaufelblatt mit einer einen Hohlraum zumindest teilweise umschließenden Wandung auf, wobei die Wandung angrenzend an die Deckplatte einen Blattauslaufbereich mit einer einen Übergangsradius vom Schaufelblatt zur Deckplatte ausbildenden Ausrundung aufweist. Weiterhin weist die Schaufel einen sich durch die Deckplatte und den Blattauslaufbereich erstreckenden, in einem Mündungsbereich in den Hohlraum einmündenden Kühlkanal auf. Insbesondere erstreckt sich der Kühlkanal derart durch die Deckplatte und den Blattauslaufbereich und mündet derart im Mündungsbereich in den Hohlraum, dass bei einem Strömen eines Kühlfluids durch den Kühlkanal der Blattauslaufbereich kühlbar ist.

[0007] Die Schaufel kann eine Leitschaufel oder eine Laufschaufel der Strömungsmaschine, beispielsweise einer Gasturbine, sein. Die Deckplatte kann im Falle einer Leitschaufel eine in der Strömungsmaschine in Bezug auf eine zentrale Welle radial nach außen anordbare Fußplatte oder eine radial nach innen anordbare Kopfplatte sein. Im Falle einer Laufschaufel kann die Deckplatte eine in der Strömungsmaschine radial nach innen anordbare Fußplatte sein.

[0008] Die Schaufel ist als Hohlschaufel mit dem von der Wandung umschlossenen Hohlraum im Schaufelblatt ausgebildet. Der Hohlraum kann mehrteilig ausgebildet sein und eine Mehrzahl miteinander in fluider Verbindung stehender und/oder gegeneinander abgeschlossener Hohlräume aufweisen. Die Hohlräume können zumindest teilweise als Kanäle zum Führen des Kühlfluids ausgebildet sein.

[0009] In einem Wurzelbereich des Schaufelblatts zur Deckplatte hin ist der Blattauslaufbereich ausgebildet, in dem eine Außenfläche der Wandung einen Übergangsradius zu einer Außenfläche der Deckplatte ausbildet. Der Übergangsradius kann derart gestaltet sein, dass mechanische Belastungen im Ansatzbereich zwischen Schaufelblatt und Deckplatte während eines Betriebs der Strömungsmaschine gesenkt bzw. abgemildert werden.

[0010] Der Kühlkanal erstreckt sich im Blattauslaufbereich zwischen der Deckplatte und der Wandung derart, dass er einerseits einen auf einer dem Schaufelblatt gegenüberliegend angeordneten Seite der Deckplatte angeordneten Bereich und andererseits den Mündungsbereich innerhalb des Hohlraums verbindet. Diese Bereiche werden somit durch den Kühlkanal in eine fluide Verbindung gebracht und können vom Kühlmittel durchströmt werden, wodurch eine effektive Kühlung des Blattauslaufbereichs erreicht wird. Es können auch mehrere Kühlkanäle vorgesehen sein, die sich dem Kühlkanal entsprechend im Blattauslaufbereich zwischen der Deckplatte und der Wandung erstrecken.

[0011] Die Außenseite der Wandung im Blattauslaufbereich wird vom Kühlkanal nicht berührt. Im Gegensatz dazu wird der Kühlkanal durch die Deckplatte und im Blattauslaufbereich innerhalb der Wandung hindurchgeführt. Die Außenseite der Wandung im Blattauslaufbereich kann daher ohne Öffnungen und Kerben, dafür aber mit einer geschlossenen Hitzeschutzbeschichtung ausgebildet sein. Hierdurch wird eine hohe mechanische und thermische Stabilität im Blattauslaufbereich erreicht.

[0012] Das effektive Kühlen des Blattauslaufbereichs bei gleichzeitig hoher mechanischer Stabilität erhöht die Belastbarkeit der Schaufel auch bei hohen zyklischen Belastungen im Betrieb. Die Schaufel weist eine erhöhte Lebensdauer auf, was zu einem reduzierten Versagensrisiko der gesamten Strömungsmaschine führt. Zudem verändert das Vorsehen des Kühlkanals die äußere Geometrie der Schaufel nicht, so dass die Schaufel im Wesentlichen unveränderte Strömungseigenschaften aufweist. Ein Produktdesign der Strömungsmaschine muss daher nicht geändert werden, und Schaufeln mit dem Kühlkanal können ohne wesentliche Anpassungen der Strömungsmaschine verwendet werden. Dies führt zu einer Senkung der Betriebskosten und ermöglicht eine schnelle Produktentwicklung.

[0013] In einer Ausführungsform weist die Schaufel einen in dem Hohlraum angeordneten Prallkühleinsatz auf, wobei der Kühlkanal außerhalb des Prallkühleinsatzes in den Hohlraum einmündet.

[0014] Der Prallkühleinsatz kann eine Trennwand zum Ausbilden eines auf einer Seite der Trennwand angeordneten Prallkühlkanals und eines auf einer dem Prallkühlkanal gegenüberliegenden Seite der Trennwand angeordneten Prallbereichs aufweisen. In der Trennwand kann eine Mehrzahl von Prallkühlöffnungen ausgebildet sein. Herrscht bei dieser Anordnung im Prallkühlkanal ein höherer Druck als im Prallbereich, kann eine Innenseite der Wandung im Prallbereich mit dem aus dem Prallkühlkanal durch die Prallkühlöffnungen ausströmenden Kühlfluid beaufschlagt und effektiv gekühlt werden.

[0015] Das Einmünden des Kühlkanals in den Prallbereich, d.h. in den Bereich mit dem geringeren Druck, ermöglicht ein effektives Durchströmen des Kühlkanals und damit ein Kühlen des Blattauslaufbereichs auch dann, wenn beispielsweise ein Querschnitt des Kühlkanals vergleichsweise gering ist. Der Blattauslaufbereich kann mechanisch stabil ausgebildet werden und wird nicht durch breite Kanalquerschnitte geschwächt.

[0016] In einer Ausführungsform weist die Schaufel eine Einströmöffnung zum Einströmen des Kühlfluids aus einem Kühlfluidreservoir in den Hohlraum und eine Ausströmöffnung zum Ausströmen des Kühlfluids aus dem Hohlraum auf. Dabei bildet der Kühlkanal eine der Einströmöffnung nebengeordnete Nebenleitung zum Leiten des Kühlfluids von dem Kühlfluidreservoir in den Hohlraum aus.

[0017] Das Kühlfluidreservoir kann beispielsweise an einer dem Schaufelblatt gegenüberliegenden Seite der Deckplatte angeordnet sein. Beispielsweise kann das Kühlfluidreservoir jenseits der Fuß- oder Kopfplatte der Leitschaufel oder jenseits der Fußplatte der Laufschaufel angeordnet sein. Das Kühlfluid kann in dieser Anordnung durch die beispielsweise in der Deckplatte angeordnete Einströmöffnung in den Hohlraum einströmen.

[0018] Die Ausströmöffnung kann auf eine Oberfläche des Schaufelblatts bzw. der Wandung führen und als Kühlluftloch z.B. zum Erzeugen eines Oberflächenkühlfilms ausgebildet sein. Insbesondere kann eine Mehrzahl von Ausströmöffnungen vorgesehen sein, die an einer Eintrittskante, einer Austrittskante, auf einer Druck- bzw. Saugseite und/oder an einer Schaufelspitze des Schaufelblatts angeordnet sind. Hierdurch kann eine effektive Material- und/oder Filmkühlung erreichen werden.

[0019] In dieser Anordnung kann z.B. ein wesentlicher Anteil des Kühlfluidstroms aus dem Kühlfluidreservoir durch die Einlassöffnung in den Hohlraum des Schaufelblatts erfolgen. Der Kühlkanal kann eine in der Strömungsrichtung nebengeordnete bzw. parallel angeordnete Nebenleitung zur Einlassöffnung ausbilden, die einen zusätzlichen Massenstrom des Kühlfluids aus dem Kühlfluidreservoir in den Hohlraum ermöglicht. Hierdurch wird ein Teil des in den Hohlraum strömenden Kühlfluids zum Kühlen des Blattauslaufbereichs genutzt bzw. abgezweigt, bevor es der Hohlraum- bzw. Schaufelblattoberflächenkühlung zugeführt wird.

[0020] Trotz der durch den Kühlkanal gebildeten Nebenleitung wird ein Massenstrom bzw. Durchsatz an Kühlfluid durch das Schaufelblatt nicht erhöht, da der Massenstrom im Wesentlichen durch den Querschnitt bzw. die Querschnitte der Ausströmöffnungen begrenzt wird. Ein Kühlen des Blattauslaufbereichs wird daher ohne zusätzlichen Fluidverbrauch realisiert.

[0021] In einer Variante der Ausführungsform mit Prallkühleinsatz mündet die Einströmöffnung in den Prallkühleinsatz.

[0022] Da im Hohlraum des Schaufelblatts innerhalb des Prallkühleinsatzes ein höherer Druck herrscht als außerhalb des Prallkühleinsatzes, ist in dieser Ausführungsform eine Druckdifferenz zwischen dem Kühlfluidreservoir und dem Inneren des Prallkühleinsatzes geringer als eine Druckdifferenz zwischen dem Kühlfluidreservoir und dem Bereich des Hohlraums außerhalb des Prallkühleinsatzes z.B. im Mündungsbereich. Demzufolge herrscht zwischen den beidseitigen Öffnungen des Kühlkanals eine höhere Druckdifferenz als eine Druckdifferenz zwischen einer Kühlfluidreservoirseite und einer Prallkühlkanalseite der Einströmöffnung. Dies bewirkt einen vergleichsweise hohen Massenstrom durch den Kühlkanal und somit ein effektives Kühlen des Blattauslaufbereichs. Ein Querschnitt des Kühlkanals kann daher vergleichsweise klein gehalten werden, während dennoch ein ausreichender Massenstrom durch den Kühlkanal erzeugbar ist. Folglich wird eine mechanische Stabilität im Blattauslaufbereich durch den Kühlkanal nicht beeinträchtigt.

[0023] Eine Ausführungsform weist ein zwischen einer Innenseite der Wandung und dem Prallkühleinsatz in einer Umgebung des Mündungsbereichs angeordnetes Halteelement zum Halten des Prallkühleinsatzes in einem vorbestimmten Abstand zu der Innenseite im Mündungsbereich auf.

[0024] Das Halteelement kann den Prallkühleinsatz innerhalb des Hohlraums in einer vorbestimmten Anordnung halten. Hierdurch wird ein Abstand zwischen der Trennwand und der Innenseite der Wandung erzielt, der eine effektive Prallkühlung ermöglicht. Das Anordnen des Halteelements in einer Umgebung des Mündungsbereichs, beispielsweise mit einem vorgegebenen maximalen Abstand zum Mündungsbereich, kann einen ausreichend dimensionierten Ausströmbereich für den Kühlkanal ausbilden, der einen ausreichenden Massenstrom durch den Kühlkanal zulässt.

[0025] In einer Variante dieser Ausführungsform ist das Halteelement durch einen in den Hohlraum vorstehenden Vorsprung der Wandung ausgebildet.

[0026] Diese Ausgestaltung des Halteelements ist kostengünstig in der Herstellung und geeignet, um möglichen Betriebsbedingungen der Strömungsmaschine Stand zu halten. Insbesondere kann durch eine geeignete Dimensionierung des Halteelements bzw. durch ei-

ne ausreichende Höhe des Vorsprungs über der Wandung der Ausströmbereich des Kühlkanals ausreichend dimensioniert werden. Ein effektiver Massenstrom durch den Kühlkanal wird dadurch begünstigt.

[0027] In einer Ausführungsform schließt der Kühlkanal mit der Innenseite der Wandung einen spitzen Winkel ein. Beispielsweise kann der Winkel kleiner als 30° bzw. kleiner als 10° sein.

[0028] Der zwischen dem Kühlkanal und der Innenseite der Wandung eingeschlossene spitze Winkel bewirkt im Betrieb der Schaufel in einer Strömungsmaschine einen ebenfalls spitzen Einströmwinkel des Kühlfluids aus dem Kühlkanal in den Hohlraum. Hierdurch kann das Kühlfluid nach seinem Austritt aus dem Kühlkanal im Mündungsbereich entlang der Innenseite der Wandung strömen und auch stromab vom Mündungsbereich eine Kühlwirkung entfalten.

[0029] In einer Variante ist der Mündungsbereich ausgehend von der Deckplatte bei 15% bis 25% der Schaufelhöhe angeordnet.

[0030] In dieser Ausführungsform wird der Kühlkanal durch einen breiten Abschnitt der Wandung bzw. im gesamten Wurzelbereich des Schaufelblatts durch Wandung hindurchgeführt und kann diesen Bereich effektiv kühlen. Folglich kann zumindest auf einen Teil der Ausströmöffnungen zum Erzeugen einer Filmkühlung in diesem Bereich verzichtet werden und der Bereich mit einer hohen mechanischen Stabilität, beispielsweise ohne Öffnungen zur Schaufeloberfläche, gestaltet werden. Hierdurch wird eine zu erwartende Lebensdauer der Schaufel weiter verlängert.

[0031] In einer weiteren Ausführungsform ist der Querschnitt des Kühlkanals im Wesentlichen gleich groß wie der Querschnitt der Ausströmöffnung.

[0032] Insbesondere können beide Querschnitte in etwa der gleichen Größenordnung gewählt werden. Als gleich groß betrachtet werden z.B. Querschnitte, bei denen der eine bis zu viermal so groß wie der andere ist. Weiterhin kann der Querschnitt des Kühlkanals deutlich kleiner sein als der der Einströmöffnung.

[0033] In einer weiteren Ausführungsform entspricht der Querschnitt des Kühlkanals einem Anteil von 5% bis 50% einer Dicke der Wandung, insbesondere einer Dicke der Wandung im Blattauslaufbereich und/oder im Mündungsbereich.

[0034] Das Ausbilden des Kühlkanals mit geringem Querschnitt ermöglicht es, das Material im Blattauslaufbereich durch den Kühlkanal nicht wesentlich zu schwächen. Dabei kann ein effektives Kühlen trotz des geringen Querschnitts erreicht werden, da sich im Betrieb z. B. aufgrund der genannten Druckdifferenzen zwischen dem Kühlfluidreservoir und dem Einmündungsbereich ein starker Massenstrom im Kühlkanal ausbilden kann.

[0035] In einer Variante dieser Ausführungsformen ist eine Mehrzahl von Kühlkanälen vorgesehen. Dabei kann jeder der Kühlkanäle einzelne oder alle der vorstehend genannten Merkmale des Kühlkanals aufweisen.

[0036] In dieser Ausführungsform kann ein großer Abschnitt des Blattauslaufbereichs, z.B. den gesamten Wurzelbereich des Schaufelblatts druck- und saugseitig umfassend, und insbesondere der gesamte Blattauslaufbereich durch eine geeignete Anordnung der Kühlkanäle gekühlt werden. Beispielsweise können die Kühlkanäle in vorbestimmtem Abstand im Wesentlichen parallel im Blattauslaufbereich angeordnet sein. Zudem können sie jeweils zur Deckplatte hin geneigt angeordnet sein, um eine möglichst lange Kanalführung und somit Kühlstrecke zu erreichen. Hierdurch kann die mechanische Stabilität und die zu erwartende Lebensdauer der gesamten Schaufel weiter erhöht werden.

[0037] In einem Verfahren zum Herstellen einer Schaufel für eine Strömungsmaschine weist die Schaufel eine Deckplatte und ein an der Deckplatte angeordnetes Schaufelblatt mit einer einen Hohlraum zumindest teilweise umschließenden Wandung auf, wobei die Wandung angrenzend an die Deckplatte einen Blattauslaufbereich mit einer einen Übergangsradius vom Schaufelblatt zur Deckplatte ausbildenden Ausrundung aufweist. Das Verfahren weist ein Ausbilden eines sich durch die Deckplatte und den Blattauslaufbereich erstreckenden, in einem Mündungsbereich in den Hohlraum einmündenden Kühlkanals auf.

[0038] Das Ausbilden des Kühlkanals kann dabei ohne Rücksicht auf eine Gestaltung oder Beschichtung der Oberfläche des Schaufelblatts vorgenommen werden, da der durch die Deckplatte in den Hohlraum einmündende Kühlkanal die Schaufeloberfläche nicht berührt bzw. tangiert.

[0039] In einer Variante des Verfahrens weist das Ausbilden des Kühlkanal ein Laserbohren auf. Insbesondere kann das Laserbohren mit einer von einer Beschichtung der Schaufeloberfläche unabhängigen Strahlungsenergie durchgeführt werden. Dies ermöglicht eine kostengünstige Herstellung der Schaufel mit Kühlkanal.

[0040] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile der Erfindung sowie die Art und Weise wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die in Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

Figur 1 eine Schnittansicht durch eine Schaufel für eine Strömungsmaschine mit Kühlkanal und Prallkühleinsatz,

Figur 2 eine perspektivische Ansicht eines Schnitts durch eine Schaufel mit Kühlkanal,

Figur 3 eine weitere perspektivische Ansicht des Schnitts aus Figur 2, und

Figur 4 eine perspektivische Ansicht einer Schaufel mit Kühlkanal in Richtung einer Einlassöffnung.

[0041] Figur 1 zeigt schematisch einen Schnitt durch eine als Hohlschaufel ausgebildete Schaufel für eine Strömungsmaschine. Die Schaufel weist ein Schaufelblatt 1 auf, welches an einer im Beispiel als Fußplatte ausgebildeten Deckplatte 2 angeordnet ist. Das Schaufelblatt 1 weist eine Wandung 3 auf, die einen Hohlraum 4 umschließt. Die Wandung 3 bildet in einem angrenzend an die Deckplatte 2 ausgebildeten Auslaufbereich 5 eine Ausrundung 6 aus, die einen Übergangsradius vom Schaufelblatt zur Deckplatte 2 ausbildet. Der im Blattauslaufbereich 5 durch die Ausrundung 6 gebildete Übergangsradius senkt die im Betrieb der Strömungsmaschine auftretenden mechanischen Belastungen im Übergangsbereich zwischen Deckplatte 2 und Schaufelblatt 1.

[0042] Durch die Deckplatte 2 und den Blattauslaufbereich 5 hindurch erstreckt sich ein Kühlkanal 7, der in einem Mündungsbereich 8 in den Hohlraum 4 der Schaufel einmündet. Der Kühlkanal 7 ermöglicht eine effektive Kühlung der Wandung 3 im Bereich des mechanisch stark beanspruchten Blattauslaufbereichs 5 und der Ausrundung 6. Eine mechanische Stabilität des Blattauslaufbereichs 5 wird gleichzeitig durch den Kühlkanal 7 nur unwesentlich beeinträchtigt, da der Kühlkanal 7 an einer Innenseite der Wandung 3 in den Hohlraum 4 mündet und nicht auf einer Außenseite der Wandung 3. Die Außenseite der Wandung 3 mit einer möglicherweise dort angeordneten Hitzeschutzschicht wird durch den Kühlkanal 7 nicht tangiert bzw. beeinträchtigt. Insbesondere kann der Kühlkanal 7 mit einem vorgegebenen Mindestabstand zur Außenseite der Wandung 3 angeordnet sein.

[0043] Weiterhin ist in der Hohlschaufel ein Prallkühleinsatz 9 vorgesehen und im Inneren des Hohlraums 4 angeordnet. Durch den Prallkühleinsatz 9 wird ein Prallkühlkanal 10 innerhalb des Prallkühleinsatzes 9 und ein Prallbereich 11 außerhalb des Prallkühleinsatzes 9 ausgebildet. Der Prallkühleinsatz 9 kann beispielsweise als Trennwand mit einer Mehrzahl von Prallkühlöffnungen ausgebildet sein.

[0044] Bei Anordnung der Schaufel in einer Strömungsmaschine kann in einem Betrieb ein Kühlfluid aus einem Kühlfluidreservoir der Strömungsmaschine, welches an einer dem Schaufelblatt 1 gegenüberliegenden Seite der Deckplatte 2 angeordnet sein kann, durch eine Einströmöffnung 12 in den Prallkühlkanal 10 des Prallkühleinsatzes 9 einströmen. Das Kühlfluid kann durch die Prallkühlöffnungen hindurch strömen und im Prallbereich 11 auf der Innenseite der Wandung 3 einen Prallkühlstrom ausbilden. Von dort aus kann das Kühlfluid durch eine oder mehrere in der Wandung 3 angeordnete Ausströmöffnungen 13 aus dem Hohlraum 4 herausströmen und auf der Oberfläche des Schaufelblatts 1 eine Kühlströmung bzw. einen Kühlfilm ausbilden.

[0045] An der Innenseite der Wandung 3 ist ein Halteelement 14 durch einen in den Hohlraum 4 vorstehenden Vorsprung der Wandung 3 ausgebildet. Das Halteelement 14 hält den Prallkühleinsatz 9 in einer definierten Position im Hohlraum 4 und insbesondere in einem vorgegebenen Abstand zur Innenseite der Wandung 3, insbesondere auch im Mündungsbereich 8. Hierdurch kann stromab vom Mündungsbereich 8 ein ausreichend dimensionierter Ausströmbereich des Kühlkanals 7 ausgebildet sein.

[0046] Im Betrieb der Strömungsmaschine kann in dem Kühlfluidreservoir ein erster Druck p1 anliegen. Das Kühlfluid strömt durch die Einströmöffnung 12 in das Innere des Prallkühleinsatzes 9, in dem sich ein zweiter Druck p2 ausbildet, der geringer als Druck p1 ist. Stromab davon im Prallbereich 11 außerhalb des Prallkühleinsatzes 9 bildet sich ein noch geringerer dritter Druck p3 aus. Außerhalb der Schaufel 1 herrscht ein noch geringerer Druck p4. Die sich hieraus an der Einströmöffnung 12, den Prallkühlöffnungen und den Ausströmöffnungen 13 ergebenden Druckdifferenzen bewirken den Prallkühlstrom durch den Hohlraum 4 der Schaufel.

[0047] Der Kühlkanal 7 ist neben der Einlassöffnung 12 als Nebenleitung vom Kühlfluidreservoir in den Hohlraum 4 und insbesondere in den Prallbereich 11 ausgebildet. An seinem in der Deckplatte angeordneten Ende herrscht der erste Druck p1 des Kühlfluidreservoirs, während im Mündungsbereich 8 der dritte Druck p3 anliegt. Folglich ist die am Kühlkanal 7 anliegende Druckdifferenz größer als eine Druckdifferenz an der Einströmöffnung 12, die sich durch ersten Druck p1 im Kühlfluidreservoir und den zweiten Druck p2 im Prallkühleinsatz ergibt. Die höhere Druckdifferenz am Kühlkanal 7 bewirkt einen effektiven Massenstrom 7, der selbst dann, wenn der Kühlkanal 7 einen nur geringen Querschnitt aufweist, eine effektive Kühlung des Blattauslaufbereichs 5 bewirkt.

[0048] Der Kühlkanal 7 schließt mit der Innenseite der Wandung 3 einen spitzen Winkel 15 ein, der ein Ausströmen des Kühlfluids aus dem Kanal 7 in den Mündungsbereich 8 entlang der Innenseite der Wandung 3 ermöglicht. Hierdurch kann ein zusätzliches Kühlen der Wandung 3 erreicht werden.

[0049] Die Figuren 2 und 3 zeigen perspektivische Ansichten eines Schnitts durch eine Ausführungsform der prallgekühlten Schaufel in einem Wurzelbereich, in dem das Schaufelblatt 1 an die Deckplatte 2 angrenzt. Das Prallkühlelement 9 ist aus Gründen des besseren Verständnisses in den Figuren 2 - 4 jedoch ausgeblendet. Hierbei wird insbesondere eine Anordnung des Kühlkanals 7 innerhalb der Deckplatte 2 und der Wandung 3 mit Einschluss des spitzen Winkels 15 im Mündungsbereich 8 sowie eine mögliche Ausgestaltung des Querschnitts des Kühlkanals 7 und des Halteelements 8 verdeutlicht.

[0050] In Figur 4 ist zu dem Ausführungsbeispiel aus den Figuren 2 und 3 eine perspektivische Draufsicht auf die Deckplatte 2 im Bereich der Einströmöffnung 12 gezeigt. Der Kühlkanal 7 weist ein dicht neben der Einströmöffnung 12 angeordnetes eines Ende und ein sich im Mündungsbereich 8 weit öffnendes weiteres Ende auf. Ein Querschnitt des Kühlkanals 7 ist dabei wesentlich kleiner als ein Querschnitt der Einlassöffnung 12 und entspricht im Wesentlichen einem Querschnitt der Aus-

strömöffnungen 13. Aufgrund der sich in einem Betrieb ausbildenden Druckverhältnisse kann sich trotz des geringen Querschnitts des Kühlkanals 7 ein ausreichender Massenstrom von Kühlfluid durch den Kühlkanal 7 ausbilden, der den Blattauslaufbereich 5 effektiv kühlt.

[0051] Obwohl in Figur 4 beispielhaft nur ein einziger Kühlkanal 7 der Schaufel 1 gezeigt ist, kann zum Kühlen des gesamten Blattauslaufbereichs 5 auch eine Mehrzahl von Kühlkanälen 7 vorgesehen sein. Die Kühlkanäle 7 können beispielsweise entsprechend dem gezeigten Kühlkanal 7 gestaltet und entlang des Umfangs der Einströmöffnung 12 beispielsweise in regelmäßigen, z.B. gleichen Abständen angeordnet sein.

[0052] Im Betrieb der Schaufel in der Strömungsmaschine wird die thermische Belastung des Blattauslaufbereichs 5 durch die Kühlkanäle 7 verringert, während die mechanische Belastbarkeit nicht beeinträchtigt wird. Folglich kann die Lebensdauer der Schaufel erhöht und das Versagensrisiko gesenkt werden.

[0053] Obwohl die Erfindung im Detail durch bevorzugte Ausführungsbeispiele näher erläutert wurde, ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt. Andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Schaufel für eine Strömungsmaschine, mit
einer Deckplatte (2),
einem an der Deckplatte (2) angeordneten Schaufelblatt (1) mit einer einen Hohlraum (4) zumindest teilweise umschließenden Wandung (3),
wobei die Wandung (3) angrenzend an die Deckplatte (2) einen Blattauslaufbereich (5) mit einer einen Übergangsradius vom Schaufelblatt (1) zur Deckplatte (2) ausbildenden Ausrundung (6) aufweist, und
einem sich derart durch die Deckplatte (2) und den Blattauslaufbereich (5) erstreckenden, in einem Mündungsbereich (8) in den Hohlraum (4) einmündenden Kühlkanal (7), dass bei einem Strömen eines Kühlfluids durch den Kühlkanal (7) der Blattauslaufbereich (5) kühlbar ist.

2. Schaufel nach Anspruch 1,
mit einem in dem Hohlraum (4) angeordneten Prallkühleinsatz (9),
wobei der Kühlkanal (7) außerhalb des Prallkühleinsatzes (9) in den Hohlraum (4) einmündet.

3. Schaufel nach Anspruch 1 oder 2,
mit einer Einströmöffnung (12) zum Einströmen des Kühlfluids aus einem Kühlfluidreservoir in den Hohlraum (4), und einer Ausströmöffnung (13) zum Ausströmen des Kühlfluids aus dem Hohlraum,
wobei der Kühlkanal (7) eine der Einströmöffnung (12) nebengeordnete Nebenleitung zum Leiten des Kühlfluids von dem Kühlfluidreservoir in den Hohlraum (4) bildet.

4. Schaufel nach Anspruch 2 oder 3,
wobei die Einströmöffnung (12) in den Prallkühleinsatz (9) mündet.

5. Schaufel nach einem der vorstehenden Ansprüche,
mit einem zwischen einer Innenseite der Wandung (3) und dem Prallkühleinsatz (9) in einer Umgebung des Mündungsbereichs (8) angeordneten Halteelement (14) zum Halten des Prallkühleinsatzes (9) in einem vorbestimmten Abstand zu der Innenseite der Wandung (3) im Mündungsbereich (8).

6. Schaufel nach Anspruch 5,
wobei das Halteelement (14) durch einen in den Hohlraum (4) vorstehenden Vorsprung der Wandung (3) ausgebildet ist.

7. Schaufel nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei der Kühlkanal (7) mit der Innenseite der Wandung (3) einen spitzen Winkel (15) einschließt.

8. Schaufel nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei der Mündungsbereich (8) ausgehend von der Deckplatte (2) bei 15% bis 25% der Schaufelhöhe angeordnet ist.

9. Schaufel nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei der Querschnitt des Kühlkanals (7) im Wesentlichen gleich groß wie der Querschnitt der Ausströmöffnung (13) ist.

10. Schaufel nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei der Querschnitt des Kühlkanals (7) einem Anteil von 5% bis 50% einer Dicke der Wandung (3) entspricht.

11. Schaufel nach einem der vorstehenden Ansprüche,
mit einer Mehrzahl von Kühlkanälen (7).

12. Verfahren zum Herstellen einer Schaufel für eine Strömungsmaschine,
wobei die Schaufel eine Deckplatte (2) und ein an der Deckplatte angeordnetes Schaufelblatt (1) mit einer einen Hohlraum (4) zumindest teilweise umschließenden Wandung (3) aufweist,
wobei die Wandung (3) angrenzend an die Deckplatte (2) einen Blattauslaufbereich (5) mit einer einen Übergangsradius vom Schaufelblatt (1) zur Deckplatte (2) ausbildenden Ausrundung (6) aufweist,
mit Ausbilden eines sich durch die Deckplatte (2) und den Blattauslaufbereich (5) erstreckenden, in einem Mündungsbereich (8) in den Hohlraum (4) einmündenden Kühlkanals (7).

13. Verfahren nach Anspruch 11,
wobei das Ausbilden des Kühlkanals (7) ein Laserbohren aufweist.

FIG 1

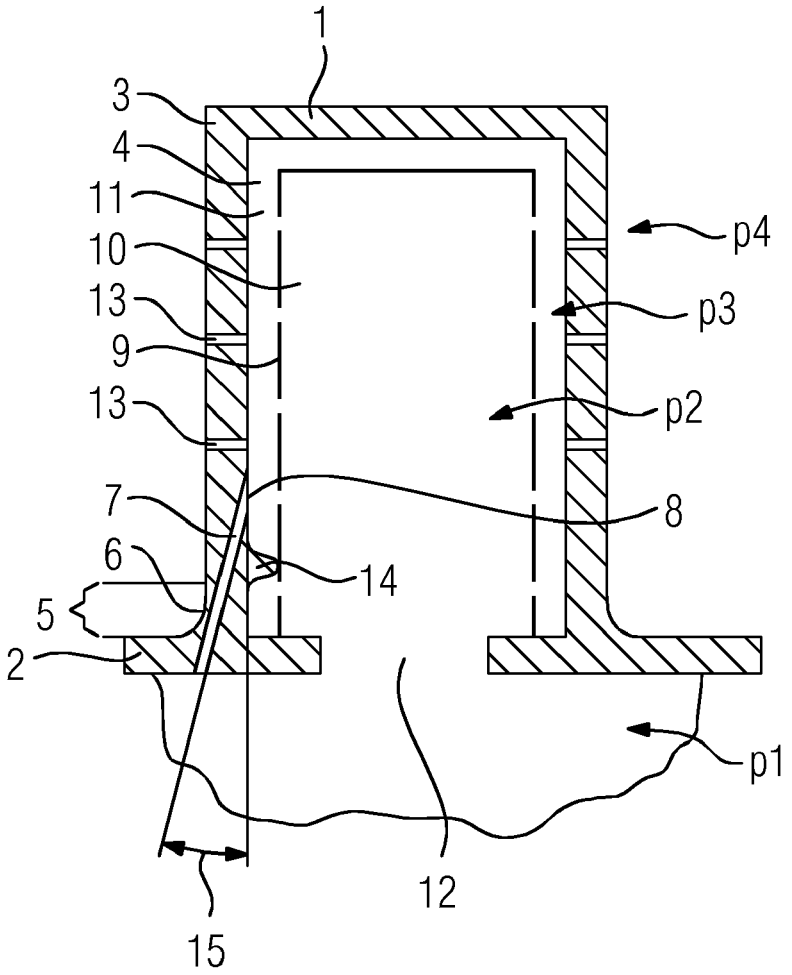


FIG 2

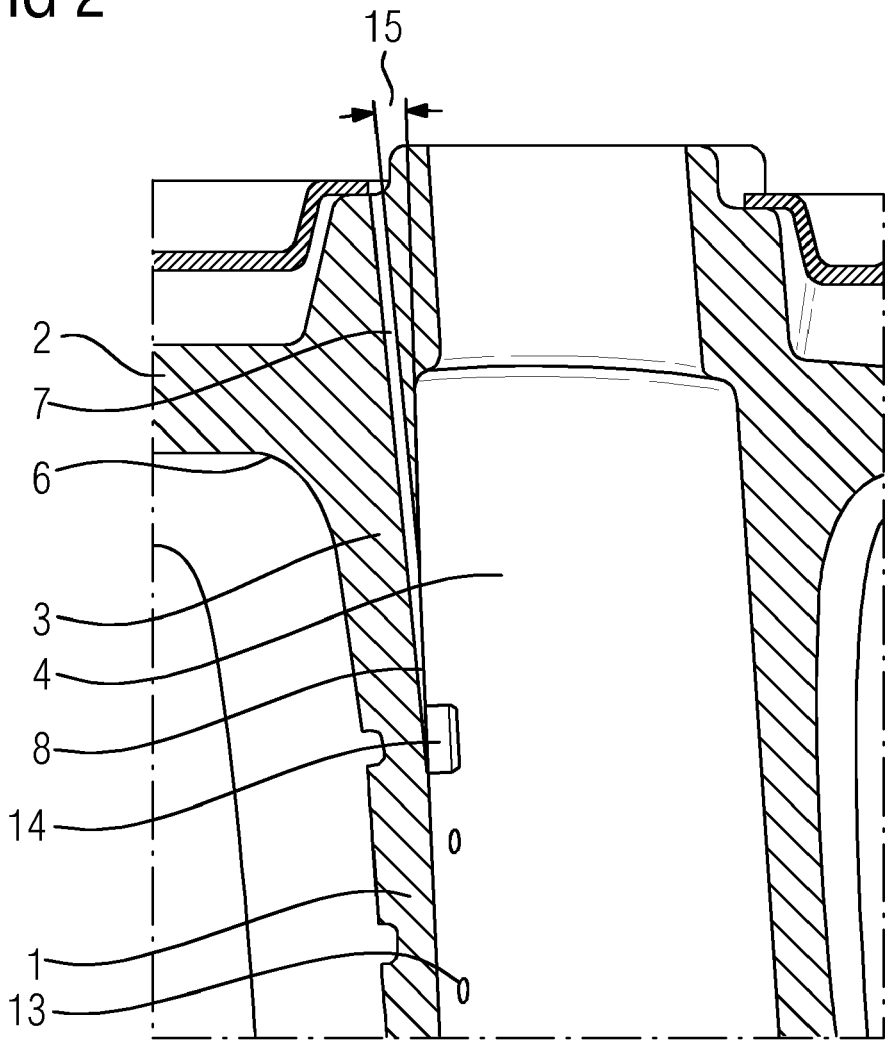


FIG 3

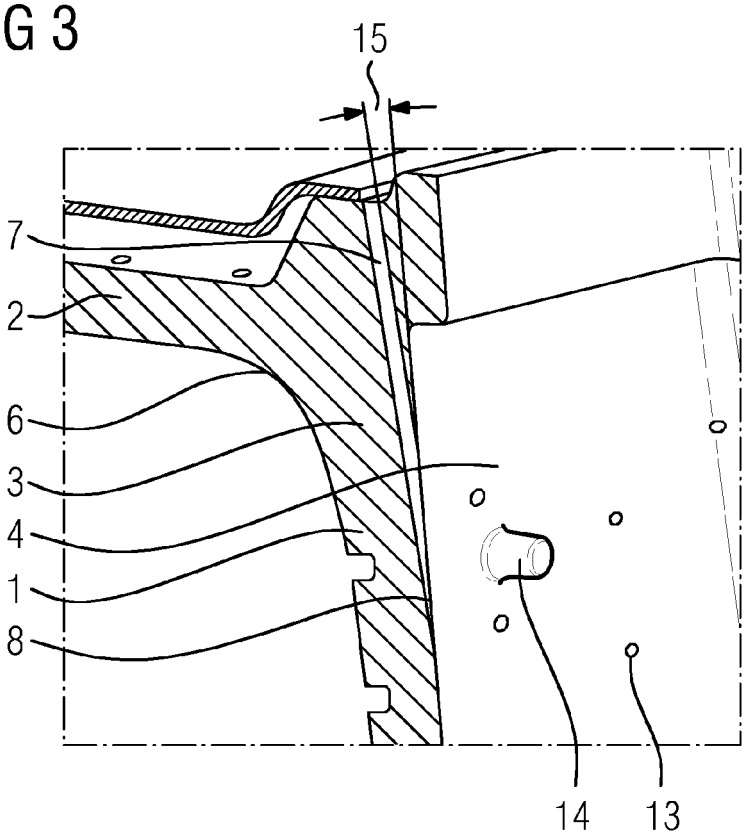
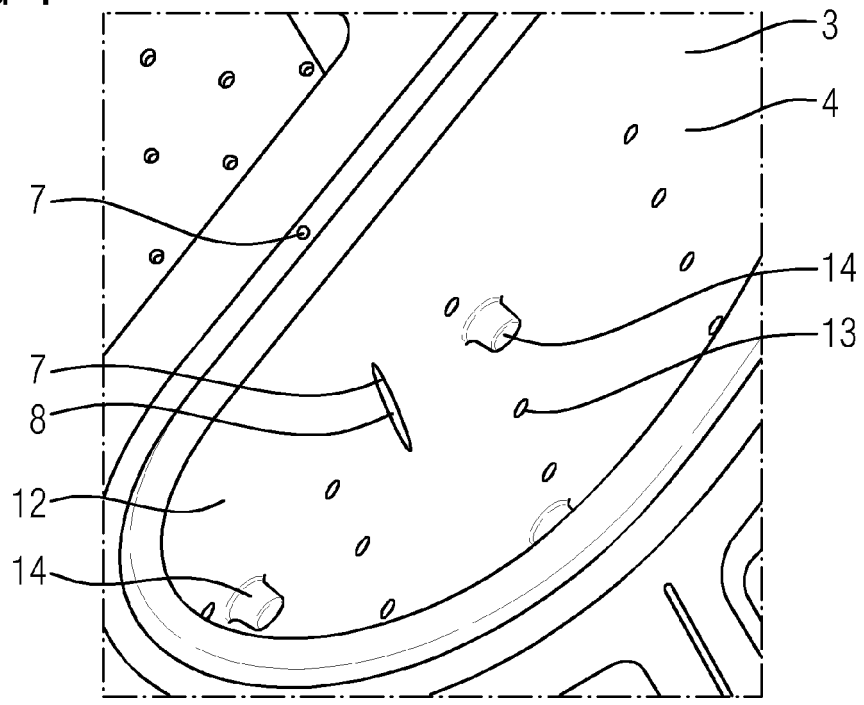


FIG 4



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 15 16 4852

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 7 927 073 B2 (SCOTT ROBERT KENMER [US] ET AL) 19. April 2011 (2011-04-19) * Abbildungen * -----	1-13	INV. F01D5/18

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)

F01D

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	29. September 2015	Raspo, Fabrice

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 15 16 4852

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.

29-09-2015

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 7927073 B2	19-04-2011	KEINE	

EPO FORM P0461

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