



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.08.2017 Patentblatt 2017/31

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

(21) Anmeldenummer: **16153374.0**

(22) Anmeldetag: **29.01.2016**

(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

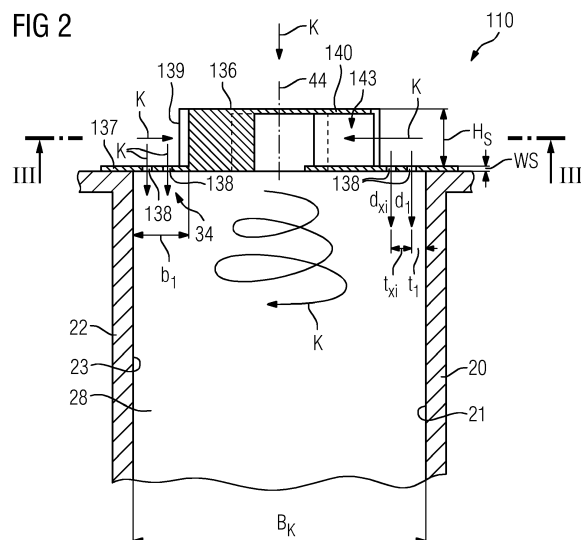
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Mick, York**
10555 Berlin (DE)
• **Heselhaus, Andreas**
40235 Düsseldorf (DE)
• **Kunte, Robert**
40212 Düsseldorf (DE)
• **Paul, Uwe**
40882 Ratingen (DE)
• **Pöhler, Bärbel**
40211 Düsseldorf (DE)
• **Schlößer, Marcel**
45468 Mülheim an der Ruhr (DE)

(54) **TURBINENSCHAUFEL FÜR EINE THERMISCHE STRÖMUNGSMASCHINE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel (10, 110, 210, 310) für eine thermische Strömungsmaschine, mit einem von einem Heißgas umströmbaren Schaufelblatt (14) umfasst, welches eine saugseitige Seitenwand (22) und eine druckseitige Seitenwand (20), die in Hauptströmungsrichtung des Heißgases betrachtet sich von einer gemeinsamen Vorderkante zu einer gemeinsamen Hinterkante (24) und entlang einer in einer zur Hauptströmungsrichtung im Wesentlichen senkrechten Längsachse (12) betrachtet sich von einem ersten Ende des Schaufelblatts (14) zu einem diesen gegenüberliegenden zweiten Ende des Schaufelblatts (14) mit einer Län-

ge erstrecken, wobei im Schaufelblattinneren zumindest ein Kühlkanal (28) vorgesehen ist, der von mehreren Innenflächen (21, 23) begrenzt ist und der einen Zugang (34) aufweist, durch den ein Kühlmedium (K) von außerhalb der Turbinenschaufel (10, 110, 210, 310) in den Kühlkanal (28) einströmbar ist, wobei die Turbinenschaufel (10, 110, 210, 310) am Zugang (34) ein Abdeckelement (36) mit zumindest einer Öffnung (38) umfasst. Um diese effizient kühlbar auszugestalten, wird vorgeschlagen, dass das Abdeckelement (36, 136, 236, 336) Mittel umfasst, welche dem in den Kühlkanal (28) einströmbaren Kühlmedium (K) einen Drall aufprägen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel für eine thermische Strömungsmaschine, umfassend ein von einem Heißgas umströmbares Schaufelblatt, das eine saugseitige Seitenwand und eine druckseitige Seitenwand aufweist, die in Hauptströmungsrichtung des Heißgases betrachtet sich von einer gemeinsamen Vorderkante zu einer Hinterkante und entlang einer in einer zur Hauptströmungsrichtung im Wesentlichen senkrechten Längsachse sich von einem ersten Ende des Schaufelblatts zu einem diesen gegenüberliegenden zweiten Ende des Schaufelblatts erstrecken, wobei im Schaufelblattinneren zumindest ein Kühlkanal vorgesehen ist, der von mehreren Innenflächen begrenzt ist, von denen zumindest eine als erste Seitenwandinnenfläche zumindest teilweise die Innenseite einer der beiden Seitenwände ist, und der einen Zugang aufweist, durch den ein Kühlmedium von außerhalb der Turbinenschaufel in den Kühlkanal einströmbare ist, wobei die Turbinenschaufel am Zugang ein Abdeckelement mit zumindest einer Öffnung umfasst.

[0002] Eine dementsprechende Turbinenschaufel ist beispielsweise aus der WO 2009/153108 A2 bekannt. Bei der bekannten Turbinenschaufel ist am Eingang des Kühlluftkanals ein Drosselblech vorgesehen, welches die Menge des in das Innere der Turbinenschaufel einströmenden Kühlmediums reduziert. Im bekannten Abdeckblech sind zwei Löcher vorgesehen, deren Position wahlfrei erscheint.

[0003] Aufgrund der wahlfreien Positionierung der Löcher können jedoch Strömungsverluste und geringere Kühlleistungen auftreten, was ungewünscht ist. Bisher wurde dieses Problem jedoch noch nicht berücksichtigt, weswegen die hier vorliegende Erfindung Abhilfe schaffen soll.

[0004] Die Aufgabe der Erfindung ist daher die Bereitstellung einer Turbinenschaufel, deren Abdeckplatte eine verbesserte Kühlung ermöglicht.

[0005] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Turbinenschaufel gemäß Anspruch 1 gelöst, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen in den abhängigen Ansprüchen angegeben sind.

[0006] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Abdeckelement Mittel umfasst, welche dem in den Kühlkanal einströmenden Kühlmedium einen Drall aufprägen. Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass durch die Einführung einer zusätzlichen Geschwindigkeitskomponente in Umfangsrichtung eine Wärmeübergangssteigerung bezogen auf ein rein parallel zur Längsachse des Kühlkanals strömendes Kühlmedium ermöglicht wird, so dass das Kühlmedium effizienter die den Kühlkanal umgebende Wand kühlen kann. Dies wird nachfolgend als Zyklonkühlung bezeichnet.

[0007] Um eine bereits im Einströmbereich des Kühlkanals hinreichende Kühlung zu erzeugen, wird vorgeschlagen, dass die in der Regel als Abdeckelement an einem Zugang des Kühlkanals ausgebildeten Bleche Mittel zur Erzeugung eines Dralls des im Kühlkanal strömenden Kühlmediums aufweisen.

[0008] Gemäß einer ersten vorteilhaften Ausgestaltung umfasst das Abdeckelement als Mittel zur Erzeugung eines Dralls einen Drallerzeuger, vorzugsweise in Form einer Trommel, in dem - bezogen auf eine Mittelachse des Drallerzeugers - zumindest eine, vorzugsweise mehrere tangential orientierte Einstrompassagen längs des Umfangs des Drallerzeugers verteilt vorgesehen sind. Aufgrund der tangential orientierten Einstrompassagen strömt dann von außen (oder von innen) in den Drallerzeuger ein Kühlmedium ein (bzw. aus), welches im inneren (bzw. außerhalb) des Drallerzeugers eine schraubenförmige Strömung hervorrufen. Die schraubenförmige Strömung strömt dann in konzentrischen Kreisen um die neutrale Sehne des Kühlkanals, so dass sich im besagten

[0009] Kühlkanal, welcher sich an den Drallerzeuger anschließt, die drallförmige Strömung mit einer zusätzlichen Geschwindigkeitskomponente in Umfangsrichtung zur Wärmeübergangssteigerung ausbreiten kann.

[0010] Gemäß einer alternativen Ausgestaltung kann das Abdeckelement als Mittel zur Erzeugung des Dralls Leitelemente aufweisen, die dem durch die Öffnungen einströmenden Kühlmedium eine in Umfangsrichtung orientierte Strömungskomponente aufprägen. Auch hierdurch lässt sich eine drallbehaftete Strömung im Inneren des Kühlkanals gewährleisten.

[0011] Weiter bevorzugt kann sich das Abdeckelement teilweise in den Kühlkanal hinein erstrecken. In diesem Fall kann das Abdeckelement vorzugsweise einen rohrförmigen Abschnitt umfassen, in dem Prallkühlöffnungen vorgesehen sind. Gemäß dieser bevorzugten Ausführungsvariante ist die den Kühlkanal umgebende Wand stromauf prallkühlbar und stromab durch die drallbehaftete Kühlung, welche auch als Zyklonkühlung bezeichnet werden kann, kühlbar.

[0012] Zweckmäßiger Weise kann die Turbinenschaufel sowohl als Leitschaufel als auch als Laufschaufel ausgebildet sein. Ausgebildet als Laufschaufel ist das Abdeckelement an einer Unterseite des zumeist tannenbaum- oder schwalbenschwanzförmigen Laufschaufelfußes angebracht.

[0013] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile der Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden nachfolgend mit der Beschreibung der Ausführungsbeispiele anhand der beigefügten Figuren näher erläutert. Hierbei sind die Figuren lediglich schematisch dargestellt, wodurch insbesondere keine Einschränkung der Ausführbarkeit der Erfindung die Folge ist. Es zeigen:

Figur 1 eine erfindungsgemäße Turbinenschaufel, ausgestaltet als Leitschaufel in einer teilgeschnittenen perspektivischen Darstellung,

Figur 2 einen schematischen Längsschnitt durch eine Turbinenschaufel mit einem Kühlkanal und einem daran angeordneten Abdeckelement gemäß eines zweiten Ausführungsbeispiels,

Figur 3 einen Querschnitt durch einen Drallerzeuger gemäß Figur 2,

Figur 4 den schematischen Längsschnitt gemäß Figur 2 mit einem dritten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Abdeckelements,

Figur 5 den schematischen Längsschnitt gemäß Figur 2 mit einem vierten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Abdeckelements und

Figur 6 einen Querschnitt durch einen weiteren Drallerzeuger.

[0014] In allen Figuren sind identische Merkmale mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0015] Figur 1 zeigt in perspektivischer Darstellung einen Längsschnitt durch eine Turbinenschaufel 10. Die Turbinenschaufel 10 umfasst entlang einer virtuellen Längsachse 12 aufeinanderfolgend einen Befestigungsabschnitt 18, eine Plattform 16 sowie ein aerodynamisch gekrümmtes Schaufelblatt 14. Das Schaufelblatt 14 umfasst zwei Seitenwände 20, 22, von denen die erste druckseitig (20) und die zweite saugseitig (22) angeordnet ist. Die Seitenwände 20, 22 erstrecken sich von einer gemeinsamen in Figur 1 nicht dargestellten Vorderkante zu einer gemeinsamen Hinterkante 24. Das Schaufelblatt 14 ist - wie die Lage der Schnittebene es verdeutlicht - hohl ausgebildet. Dieser Hohlraum wird auch als Kühlkanal 28 bezeichnet und weist zumindest einen Zugang 34 auf. Der Zugang 34 liegt an dem einen der beiden Enden 32 des Schaufelblatts 14.

[0016] Von den beiden Enden des Schaufelblatts ist lediglich ein Ende in Figur 1 dargestellt.

[0017] Wenn die Turbinenschaufel 10 - wie dargestellt - als Leitschaufel ausgestaltet ist, weist das Schaufelblatt 14 zumeist an beiden seiner Enden 32 eine sich quer dazu erstreckende Plattform 16 auf. Bei Laufschaufeln mit sogenannten Deckbändern gilt dies ebenso. Allein freistehende Turbinenschaufeln weisen lediglich an einem ihrer beiden Schaufelblatt-Enden eine Plattform auf, wobei in einer Turbine freistehende Leitschaufel eher untypisch und freistehende eher Laufschaufeln gängig sind. Gängig sind freistehende Laufschaufeln. Bezogen auf die Einbaulage in einer beispielweise axial durchströmbaren Gasturbine spricht man in der Regel von einer inneren Plattform und einer äußeren Plattform, bezogen auf die Maschinenachse der Gasturbine. Dann steht auch die Längsachse 12 senkrecht auf der Maschinenachse. Im hier dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Plattform 16 radial außen angeordnet.

[0018] Der Zugang 34 ist durch ein am Schaufelblatt 14 befestigtes Abdeckelement 36 zwar vollständig abgedeckt, jedoch nur teilweise verschlossen, da im Abdeckelement 36 mehrere Öffnungen 38 vorgesehen sind. Das Abdeckelement 36 ist an der restlichen Turbinenschaufel, dem gegossenen Schaufelgrundkörper, in konventioneller Weise befestigt, beispielsweise durch eine Schweißverbindung.

[0019] Beim Betrieb einer mit der gezeigten Turbinenschaufel 10 ausgestatteten Gasturbine strömt das Heißgas der Gasturbine von der Vorderkante zur Hinterkante 24. Damit das Schaufelblatt 14 den heißen Temperaturen standhalten kann, ist das Schaufelblatt 14 innen gekühlt. Dazu wird der Turbinenschaufel 10 über die Öffnungen 38 Kühlluft zugeführt, welche längs des Kühlkanals 28 die Seitenwände 20, 22 kühlend strömt. Vom Kühlkanal 28 aus strömt die Kühlluft durch nicht gezeigte weitere Kühlkanäle zu an der Hinterkante 24 angeordneten Austrittsöffnungen 40, an denen die Kühlluft die Turbinenschaufel 10 verlässt.

Im gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Austrittsöffnungen 40 als sog. "Cut-Back-Öffnungen" ausgestaltet. Dies ist jedoch für die Erfindung unerheblich. Sie könnten auch alternativ als mittige Austrittsöffnungen an der Hinterkante 24 angeordnet sein.

[0020] Gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind die vier Öffnungen 38 zwar als Bohrungen ausgeführt, jedoch erstrecken sich deren Längsachsen nicht senkrecht zur ebenen Oberfläche 37 des Abdeckelements 36. Vielmehr sind die Bohrungsachsen der Öffnungen 38 derartig geneigt, dass diese jeweils eine tangentielle Komponente für das einströmende Kühlmedium K bereitstellen, so dass sich im Kühlkanal 28 eine Strömung ausbilden kann, die drallbehaftet ist: das im Kühlkanal 28 strömende Kühlmedium K strömt quasi auf einer oder mehreren Schraubenlinien um die neutrale Sehne des Kühlkanals, welche im Flächenschwerpunkt des Querschnitts des Kühlkanals liegt.

[0021] Mithin sind als Mittel zur Erzeugung eines Dralls die Öffnungen 38 derart gegenüber der Abdeckelementsenkrechten geneigt, dass sie dem einströmenden Kühlmedium K den Drall aufprägen. Weiterhin könnten zusätzlich oder alternativ zu den geneigten Öffnungen 38 an der dem Kühlkanal 28 zugewandten Fläche des Abdeckelements 39 Leitelemente vorgesehen sein, die beispielsweise gegenüber einer Flächensenkrechten geneigt sind.

[0022] Figur 2 zeigt den zugangsseitigen Bereich des Kühlkanals 28 einer alternativen Turbinenschaufel 110 in einer weiter schematisierten Darstellung. In Analogie zu der aus Figur 1 bekannten Turbinenschaufel 10 ist der Kühlkanal 28 durch Innenflächen 21, 23 begrenzt, die Teil von den Seitenwänden 20 bzw. 22 sind. Der Zugang 34 des Kühlkanals 28 ist durch ein Abdeckelement 136 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel abgedeckt. Das Abdeckelement 136

ist zylinderhutförmig ausgestaltet und weist dadurch einen kragenförmigen Ring 137 auf, an dessen Innendurchmesser ein Drallerzeuger 139 vorgesehen ist. Der Drallerzeuger 139 ist in Form einer Trommel und erstreckt sich in diesem Ausführungsbeispiel nicht in den Kühlkanal 28 hinein, sondern ragt nach außen. Am äußeren Ende des Drallerzeugers 139 ist ein Deckel 140 vorgesehen. Im kragenförmigen Ring 137 sind ebenfalls Öffnungen 138 vorgesehen.

[0023] Figur 3 zeigt den Querschnitt durch den Drallerzeuger 139 entlang der Schnittlinie III-III. Der Drallerzeuger 139 ist im Inneren hohl ausgestaltet und weist einen Außendurchmesser d_a auf, der vergleichsweise groß gegenüber seinem Innendurchmesser d_i ist. Dadurch ist der Drallerzeuger 139 vergleichsweise dickwandig ausgeführt. Durch die Wand des Drallerzeugers 139 erstrecken sich zwei Einströmpassagen 143, die in Bezug auf eine Mittelachse 44 des Drallerzeugers 139 tangential ausgerichtet sind. Jede Einströmpassage 143 kann auch als Bohrungsreihe oder als Schlitz ausgeführt sein.

[0024] Im Betrieb wird der Turbinenschaufel 110 das Kühlmedium K von außen zugeführt. Dieses strömt durch die Einströmpassagen 143 seitlich in den Drallerzeuger 139 ein. Aufgrund der vergleichsweise dickwandigen Ausführung wird das durch die Einströmpassagen 143 geführte Kühlmedium K gerichtet in das Innere des Drallerzeugers 139 eingeleitet. Dieses strömt darin mit einem um die Mittelachse 44 gerichteten Drall weiter. Anschließend strömt das Kühlmedium - weiterhin drallbehaftet - in den Kühlkanal 28 ein, wo es die Innenflächen 21, 23 der Seitenwände 20, 22 und damit das Schaufelblatt 14 kühlt.

[0025] Gemäß der Darstellung in Figuren 2 und 3 sind der Anordnung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel des Abdeckelements 136 folgende Parameter zu entnehmen:

- eine mittlere Kanalhöhe B_K als arithmetischer Mittelwert des minimalen und maximalen, zur Mittelachse senkrechten Abstands der beiden einander gegenüberliegenden Innenflächen 21, 23,
- eine axiale Länge H_S des Drallerzeuger 139, erfasst als axialer Abstand zwischen seinem Deckel 140 und dem kragenförmigen Ring 137,
- die Wandstärke WS des Abdeckelements 136,
- ein erster Abstand b_1 als projizierter (senkrechter) Abstand der Außenwand des Drallerzeugers 139 von den Innenflächen 21, 23,
- ein erster Durchmesser d_1 als Durchmesser derjenigen, im kragenförmigen Ring 137 angeordneten Öffnungen 138, die in Bezug auf die Mittelachse 44 - am weitesten außen angeordnet sind,
- ein zweiter Durchmesser d_{x1} als Durchmesser derjenigen, im kragenförmigen Ring 137 angeordneten Öffnungen 138, die weiter innen - in Bezug auf die Mittelachse 44 - angeordnet sind,
- ein zweiter Abstand t_1 als Abstand zwischen der zu kühlenden Innenfläche 21, 23 und der Mitte der zuäußerst angeordneten Öffnung 138,
- ein dritter Abstand t_{x1} als Abstand zwischen der zuäußerst angeordneten Öffnung 138 und der nächstinneren Öffnung 138,
- ein dritter Durchmesser d_a als äußerer Durchmesser des Drallerzeugers 139,
- ein vierter Durchmesser d_i als innerer Durchmesser des Drallerzeugers 139,
- eine Exzentrizität e als Abstand zwischen der Mittelachse 44 des Drallerzeugers 139 und der betreffenden Einströmpassage 143 und
- eine Einströmfläche A_{in} als Summe der Einströmquerschnitte aller Einströmpassagen 143.

[0026] Da üblicherweise die Stärke der Seitenwände 20, 22 aufgrund von strukturellen Anforderungen vorgegeben und auch der Krümmungsverlauf der Seitenwände 20, 22 durch die aerodynamischen Anforderungen an das Schaufelblatt 14 vorbestimmt werden, ergibt sich für die mittlere Kanalhöhe B_K ein vorgegebener Wert.

[0027] So kann der Wert für die mittlere Kanalhöhe B_K beispielsweise zwischen 1 cm und 4 cm und für die Wandstärke WS des Abdeckelements 136 beispielsweise zwischen 0.5 mm und 2 mm liegen.

[0028] Untersuchungen haben ergeben, dass eine Turbinenschaufel 10 mit einer reinen Zyklonkühlung mit mittelmäßiger Kühlwirkung bereitgestellt werden kann, wenn die Parameter folgende Werte aufweisen bzw. folgenden Bedingungen entsprechen:

Tab. 1 Generelle Anforderung für eine Turbinenschaufel mit einer Zyklonkühlung

Generelle Anforderungen für die Zyklonkühlung			
B_K	vorgegeben	WS	vorgegeben
A_{in}	abhängig vom Kühlmassenstrom	d_i	abhängig vom Kühlmassenstrom
e	$= 0.5 \cdot d_i$	d_a	$\leq 1 \cdot B_K$
d_1	$\leq (b_2 - WS)$	t_1	$\geq 0.5 \cdot d_1$

(fortgesetzt)

Generelle Anforderungen für die Zyklonkühlung			
d_{xi}	$\leq (b_2 - WS)$	t_{xi}	$\geq 0.5 \cdot d_{xi}$
H_s	abhängig von A_{in}	b_1	$\leq 0.15 \cdot B_K$

[0029] Selbstverständlich sind ebenso Varianten an Abdeckelementen 36 denkbar, bei denen im kragenförmigen Ring 137 Öffnungen 138 fehlen. Dies gilt insbesondere für Varianten, bei denen der erste Abstand b_1 gleich Null gewählt wird. Gleichfalls können die Öffnungen 138 ebenso angestellt sein wie die Öffnungen 38 des ersten Ausführungsbeispiels, um die Zyklonwirkung des Drallerzeugers 139 weiter zu unterstützen.

[0030] Für eine vergleichsweise schwach zyklongekühlte Turbinenschaufel 110 sollten deren Parameter den in der Tabelle 2 genannten Werten bzw. Bedingungen entsprechen:

Tab. 2 Beispiel für eine Turbinenschaufel mit einer schwachen Zyklonkühlung

Schwache Zyklonkühlung			
B_K	vorgegeben	WS	vorgegeben
A_{in}	abhängig vom Kühlmassenstrom	d_i	abhängig vom Kühlmassenstrom
e	$= 0.5 \cdot d_i$	d_a	$\leq 0.5 \cdot B_K$
d_1	$= 1 \text{ mm}$	t_1	$\geq 0.5 \cdot d_1 + 1 \cdot WS$
d_{xi}	$= 0$ (nur eine Öffnungsreihe)	t_{xi}	$= 0$ (nur eine Öffnungsreihe)
H_s	$= 5 \cdot WS$	b_1	$= 0.15 \cdot B_K$

[0031] Für eine vergleichsweise stark zyklongekühlte Turbinenschaufel 110 sollten die Parameter den in der Tabelle 3 genannten Werten bzw. Bedingungen entsprechen:

Tab. 3 Beispiel für eine Turbinenschaufel mit einer starken Zyklonkühlung

Starke Zyklonkühlung			
B_K	vorgegeben	WS	vorgegeben
A_{in}	abhängig vom Kühlmassenstrom	d_i	abhängig vom Kühlmassenstrom
e	$= 0.5 \cdot d_i$	d_a	$\leq 0.7 \cdot B_K$
d_1	$\leq 0.10 \cdot B_K$	t_1	$\geq 0.5 \cdot d_1 + 1 \cdot WS$
d_{xi}	$< 0.05 \cdot B_K$	t_{xi}	$\geq 1 \cdot d_{xi}$
H_s	$= 8 \cdot WS$	b_1	$= 0.25 \cdot B_K$

[0032] Figur 4 zeigt eine dritte Turbinenschaufel 210 mit einem dritten Ausführungsbeispiel eines Abdeckelements 236. Nachfolgend werden jedoch nur die Unterschiede zu dem zweiten Ausführungsbeispiel erläutert.

[0033] Das Abdeckelement 236 ist derart ausgestaltet, dass dieses neben einer Zyklonkühlung zusätzlich eine teilweise Prallkühlung des Kühlkanals bzw. der Innenflächen 21, 23 ermöglicht. Dazu ist das Abdeckelement 236 als - verglichen mit der Länge des Kühlkanals - verkürzter Prallkühleinsatz mit einem rohrförmigen Abschnitt 245 ausgebildet. Im rohrförmigen Abschnitt 245 sind Prallkühlöffnungen 247 vorgesehen, wobei der rohrförmige Abschnitt 245 im Querschnitt betrachtet vorzugsweise nicht kreisrund ist, sondern der Querschnittskontur des zumeist trapezförmigen Kühlkanals 28 ähnelt. Mithin weist der rohrförmige Abschnitt 245 ein einströmseitiges Ende 34 mit einem gegenüberliegenden Boden 249 auf. Der Drallerzeuger 139 ist über eine Tragwand 251 an dem Boden 249 befestigt. Um ein flachbauendes Abdeckelement 36 zu erhalten, überlappen sich der rohrförmige Abschnitt 245 und der Drallerzeuger 139. Ggf. sind im Boden 249 auch den Drall unterstützende Öffnungen 38 angeordnet.

[0034] Mithin wird während des Betriebs das Schaufelblatt 14 in einem ersten Abschnitt D prallgekühlt und in einem zweiten Abschnitt M zyklongekühlt.

[0035] Ein viertes Ausführungsbeispiel eines Abdeckelements 336 in Form eines kombinierten Prallkühleinsatzes mit einem Drallerzeuger 339 ist in Figur 5 dargestellt, bei der der Drallerzeuger 339 und der rohrförmige Abschnitt 245 für

die Prallkühlung in Bezug auf die Längsachse des Kühlkanals 28, nicht wie in Figur 4 überlappend, sondern axial zueinander versetzt angeordnet sind.

[0036] Abschließend zeigt Figur 6 einen alternativen Drallerzeuger 339. Der Drallerzeuger 339 gemäß diesem Ausführungsbeispiel umfasst acht geradlinige Einströmpassagen 343, die in Bezug auf die Mittelachse 44 und dem dritten Durchmesser d_a wie eine Sekante angeordnet ist. Jede Einströmpassage 343 kann dabei als eine einzige Bohrung, als eine Reihe von Bohrungen oder als Schlitz ausgestaltet sein.

[0037] Aufgrund der zueinander versetzten Anordnung wird der Drallerzeuger 339 in umgekehrter Richtung - in Bezug auf das zweite Ausführungsbeispiel - durchströmt. Insofern ist die vom inneren, vierten Durchmesser d_i definierte Fläche des Drallerzeugers 339 die Einströmfläche A_{in} für das Kühlmedium K.

[0038] Gemäß den Darstellungen der Figuren 4 und 5 sind den Anordnungen gemäß dem zweiten und dritten Ausführungsbeispiels des Abdeckelements 236, 336 folgende Parameter zu entnehmen:

- eine mittlere Kanalhöhe B_K als arithmetischer Mittelwert des minimalen und maximalen, zur Mittelachse senkrechten Abstands der beiden einander gegenüberliegenden Innenflächen 21, 23,
- eine axiale Länge H_S des Drallerzeugers 139,
- die Wandstärke WS des Abdeckelements 36,
- eine Exzentrizität e als Abstand zwischen der Mittelachse 44 des Drallerzeugers 339 und der betreffenden Einströmpassage 143 bzw. Ausströmpassage 343,
- ein dritter Durchmesser d_a als äußerer Durchmesser des Drallerzeugers 139,
- ein vierter Durchmesser d_i als innerer Durchmesser des Drallerzeugers 139,
- eine Einströmfläche A_{in} als Summe der Einströmquerschnitte aller Einströmpassagen 143 (nur für das dritte Ausführungsbeispiel) bzw. als Einströmquerschnitt des vierten Durchmessers d_i (nur für das vierte Ausführungsbeispiel),
- ein Durchmesser d der Prallkühlöffnungen 247,
- Prallkühlänge H des rohrförmigen Abschnitts 245, erfasst zwischen dem Zugang 34 und seinem Boden 249,
- ein vierter Abstand h_1 als Abstand zwischen dem Boden 249 und der daran nächstliegenden Reihe an Prallkühlöffnungen 247,
- ein fünfter Abstand h_{xi} als Abstand zwischen zwei Reihen von Prallkühlöffnungen 247 sowie
- ein sechster Abstand z als Abstand zwischen der Innenfläche 21, 23 und dem rohrförmigen Abschnitt 245,
- ein siebter Abstand b als projizierter (senkrechter) Abstand der Prallkühleinsätze zur Tragwand 251,
- eine Länge h_{s2} als axiale Länge der Tragwand 251 (nur für das dritte Ausführungsbeispiel) und
- eine Länge h_{s3} als axiale Länge der Tragwand 351 (nur für das vierte Ausführungsbeispiel).

[0039] Untersuchungen haben ergeben, dass eine Turbinenschaufel 210, 310 mit einer Prall- und Zyklonkühlung bereitgestellt werden kann, wenn die Parameter folgende Werte aufweisen bzw. folgenden Bedingungen entsprechen:

Tab. 4 Generelle Anforderung für Turbinenschaufeln mit Zyklon- und Prallkühlung

Für den Prallkühlabschnitt D		Für den Zyklonkühlabschnitt M	
WS	vorgegeben	B_K	vorgegeben
d	$0.8 \text{ mm} < d < 1.6 \text{ mm}$	A_{in}	abhängig vom Kühlmassenstrom
H	$\geq 2 \cdot d$	H_S	abhängig von A_{in}
h_1	$> 1 \cdot d$	b	$0.15 \cdot B_K \leq b_1 \leq 0.25 \cdot B_K$
h_{xi}	$\geq 1 \cdot d$	e	$= 0.5 \cdot d_i$
z	$z/d < 4.5$	d_i	abhängig vom Kühlmassenstrom
		d_a	$\leq 0.7 \cdot B_K$
		h_{s2}	$0 \leq h_{s2} \leq (H - H_S)$
		h_{s3}	$0 \leq h_{s3} \leq 2 \cdot H$

[0040] Untersuchungen haben ergeben, dass eine Turbinenschaufel 210, 310 mit einer vergleichsweise schwachen Prall- und Zyklonkühlung bereitgestellt werden kann, wenn die Parameter folgende Werte aufweisen bzw. folgenden Bedingungen entsprechen:

Tab. 5 Beispiel für eine Turbinenschaufel mit einer schwachen Zyklon- und Prallkühlung

Für den Prallkühlabschnitt D		Für den Zyklonkühlabschnitt M	
WS	vorgegeben	B_K	vorgegeben
d	= 1.0 mm	A_{in}	abhängig vom Kühlmassenstrom
H	= 3 d	H_S	abhängig von A_{in}
h_1	$\geq 1 \cdot d$	b	= $0.25 \cdot B_K$
h_{xi}	≥ 0 (nur eine Reihe)	e	= $0.5 \cdot d_i$
z	$z/d < 4.5$	d_i	abhängig vom Kühlmassenstrom
		d_a	$\leq 0.5 \cdot B_K$
		h_{s2}	= 0
		h_{s3}	= 0

[0041] Untersuchungen haben ergeben, dass eine Turbinenschaufel 210, 310 mit einer vergleichsweise starken Prall- und Zyklonkühlung bereitgestellt werden kann, wenn die Parameter folgende Werte aufweisen bzw. folgenden Bedingungen entsprechen:

Tab. 6 Beispiel für eine Turbinenschaufel mit einer schwachen Zyklon- und Prallkühlung

Für den Prallkühlabschnitt D		Für den Zyklonkühlabschnitt M	
WS	vorgegeben	B_K	vorgegeben
d	= 0.8 mm	A_{in}	abhängig vom Kühlmassenstrom
H	= 10 d	H_S	abhängig von A_{in}
h_1	$\geq 1 \cdot d$	b	= $0.15 \cdot B_K$
h_{xi}	$\geq 1 \cdot d$	e	= $0.5 \cdot d_i$
z	$z/d < 1.5$	d_i	abhängig vom Kühlmassenstrom
		d_a	$\leq 0.7 \cdot B_K$
		h_{s2}	= $H - H_S$
		h_{s3}	= $1.5 \cdot H$

[0042] Auch wenn in der Beschreibung bzw. in den Patentansprüchen einige Begriffe jeweils im Singular oder in Verbindung mit einem Zahlwort verwendet werden, soll der Umfang der Erfindung für diese Begriffe nicht auf den Singular oder das jeweilige Zahlwort eingeschränkt sein. Ferner sind die Wörter "ein" bzw. "eine" nicht als Zahlwörter, sondern als unbestimmte Artikel zu verstehen.

[0043] Die Ausführungsbeispiele dienen der Erläuterung der Erfindung und beschränken die Erfindung nicht auf die darin angegebenen Kombinationen von Merkmalen, auch nicht in Bezug auf funktionale Merkmale. Außerdem können dazu geeignete Merkmale eines jeden Ausführungsbeispiels auch explizit isoliert betrachtet, aus einem Ausführungsbeispiel entfernt, in ein anderes Ausführungsbeispiel zu dessen Ergänzung eingebracht und mit einem beliebigen der Ansprüche kombiniert werden, soweit diese Kombination, die der Erfindung zugrundeliegenden Aufgaben lösen kann. Andere Weiterbildungen und Ausführungsformen der Erfindung eröffnen sich dem Fachmann zudem anhand der Unteransprüche, welche ebenfalls mit den nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispielen kombiniert werden können.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (10, 110, 210, 310) für eine thermische Strömungsmaschine, mit einem von einem Heißgas umströmbar Schaufelblatt (14), welches eine saugseitige Seitenwand (22) und eine druckseitige Seitenwand (20) umfasst, die in Hauptströmungsrichtung des Heißgases betrachtet sich von einer gemeinsamen Vorderkante zu einer gemeinsamen Hinterkante (24) und entlang einer in einer zur Hauptströmungsrichtung im Wesentlichen senkrechten Längsachse (12) sich

von einem ersten Ende des Schaufelblatts (14) zu einem diesen gegenüberliegenden zweiten Ende des Schaufelblatts (14) mit einer Länge erstrecken,

wobei im Schaufelblattinneren zumindest ein Kühlkanal (28) vorgesehen ist, der von mehreren Innenflächen (21, 23) begrenzt ist und der einen Zugang (34) aufweist, durch den ein Kühlmedium (K) von außerhalb der Turbinenschaufel (10, 110, 210, 310) in den Kühlkanal (28) einströmbar ist, wobei die Turbinenschaufel (10, 110, 210, 310) am Zugang (34) ein Abdeckelement (36) mit zumindest einer Öffnung (38) umfasst,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Abdeckelement (36, 136, 236, 336) Mittel umfasst, welche dem in den Kühlkanal (28) einströmbareren Kühlmedium (K) einen Drall aufprägen.

2. Turbinenschaufel (10, 110, 210, 310) nach Anspruch 1,
bei der das Abdeckelement (36, 136, 236, 336) als Mittel zur Erzeugung eines Dralls einen Drallerzeuger (39, 139, 336) in Form einer Trommel umfasst, in dem - bezogen auf seine Mittelachse (44) - zumindest eine tangential orientierte Einströmpassage (143) vorgesehen ist.
3. Turbinenschaufel (10, 110, 210, 310) nach Anspruch 2,
bei der das Abdeckelement (136) zumindest teilweise zylinderhutförmig ausgebildet ist.
4. Turbinenschaufel (10, 110, 210, 310) nach Anspruch 1 oder 2,
bei der das Abdeckelement als Mittel zur Erzeugung eines Dralls Leitelemente aufweist.
5. Turbinenschaufel (10, 110, 210, 310) nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
bei der das Abdeckelement (236, 336) sich teilweise in den Kühlkanal (28) hinein erstreckt.
6. Turbinenschaufel (10, 110, 210, 310) nach Anspruch 5,
bei der das Abdeckelement (236, 336) einen rohrförmigen Abschnitt (245) umfasst, in dem Prallkühlöffnungen (247) vorgesehen sind.

FIG 1

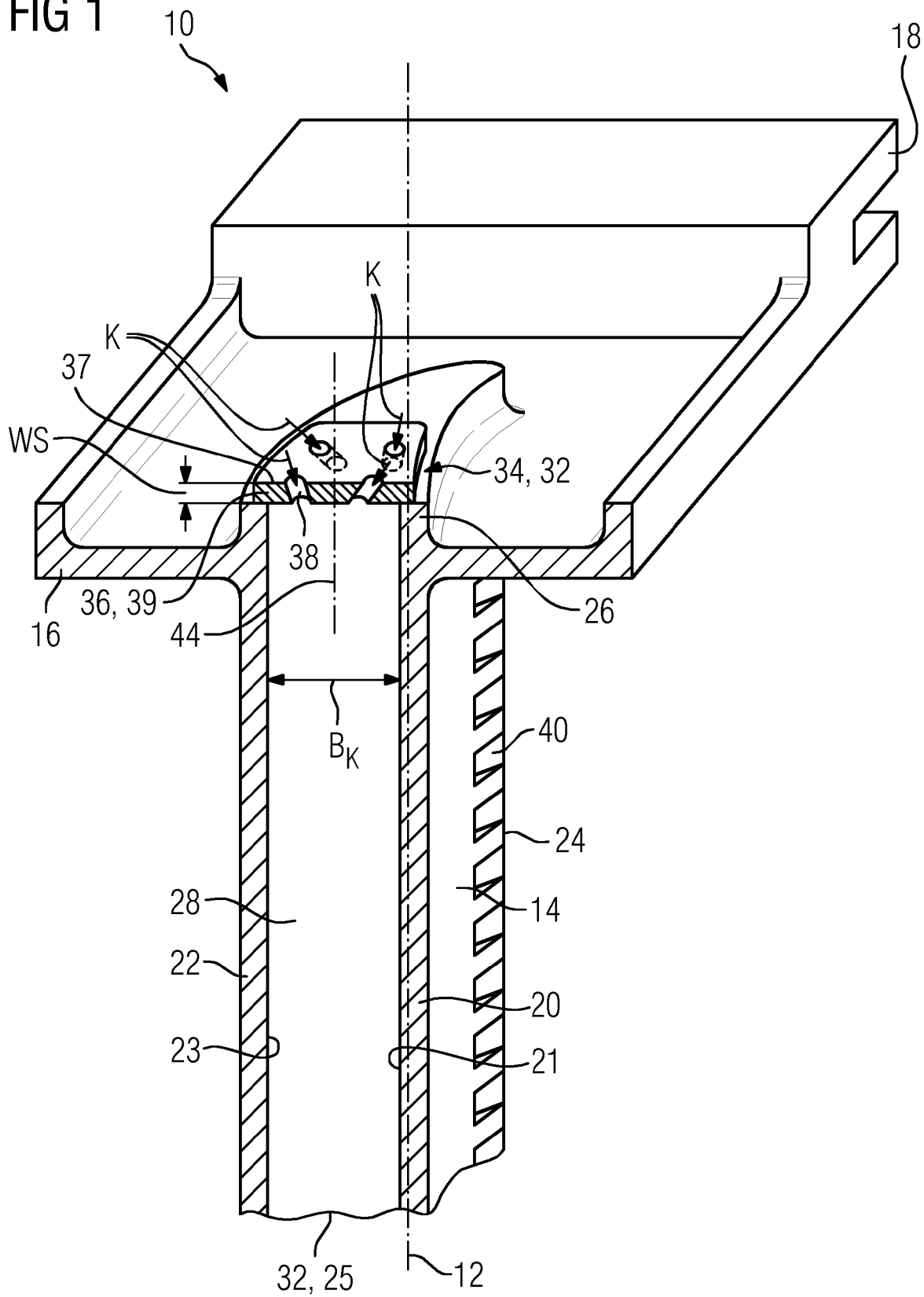


FIG 2

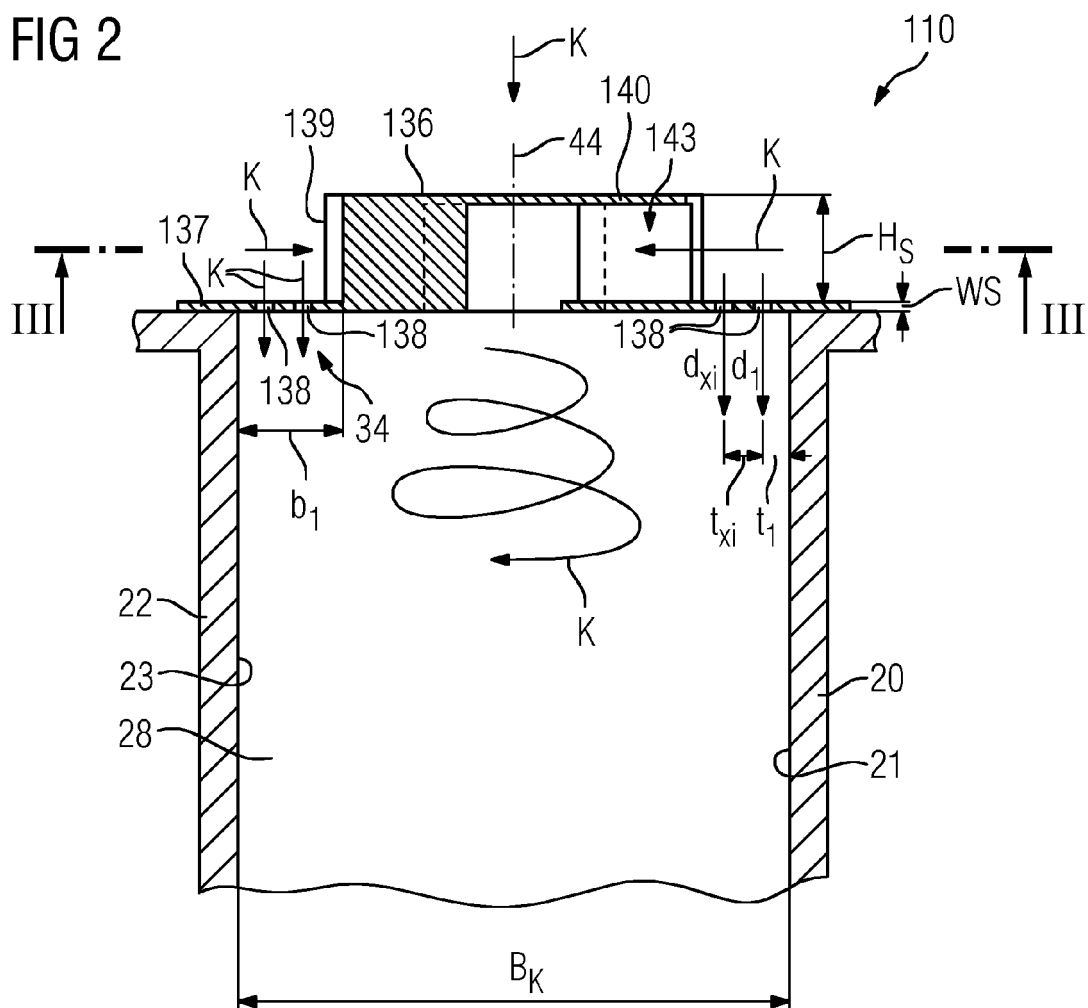


FIG 3

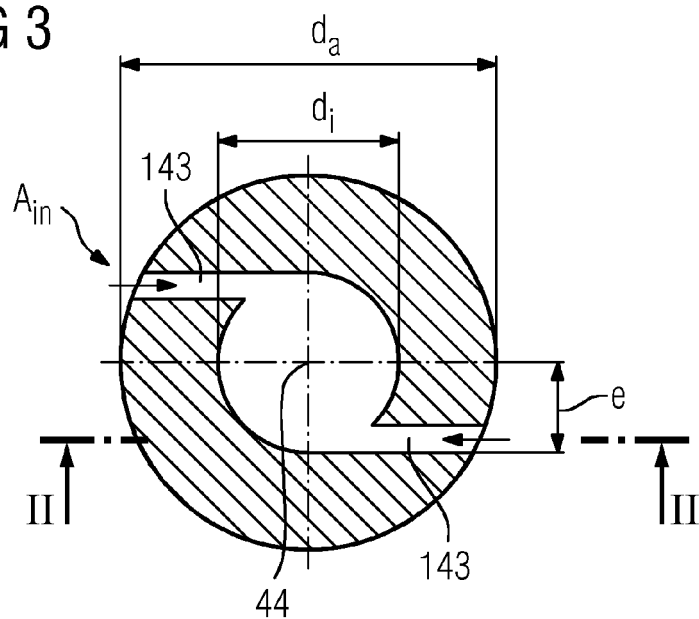


FIG 4

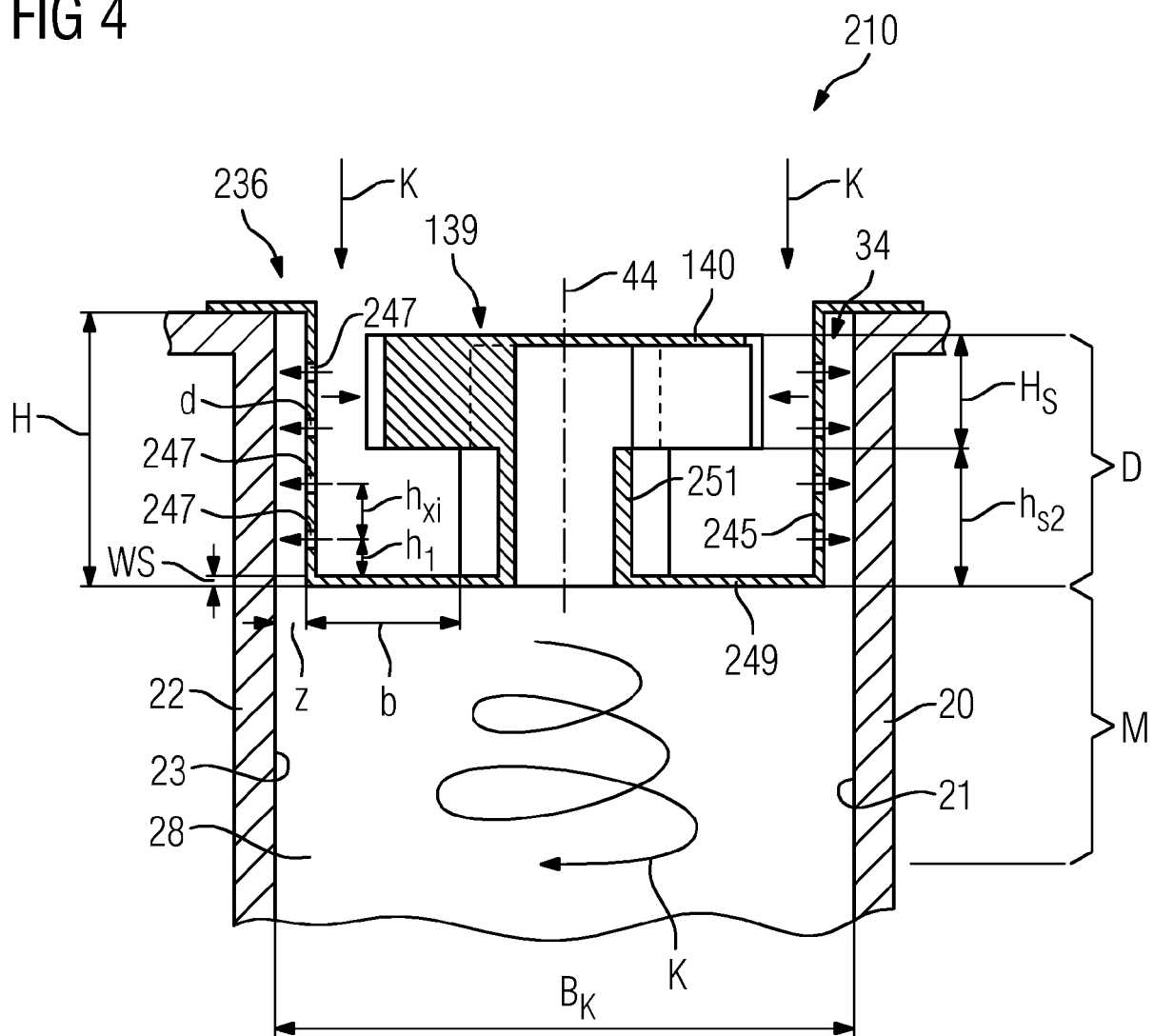


FIG 5

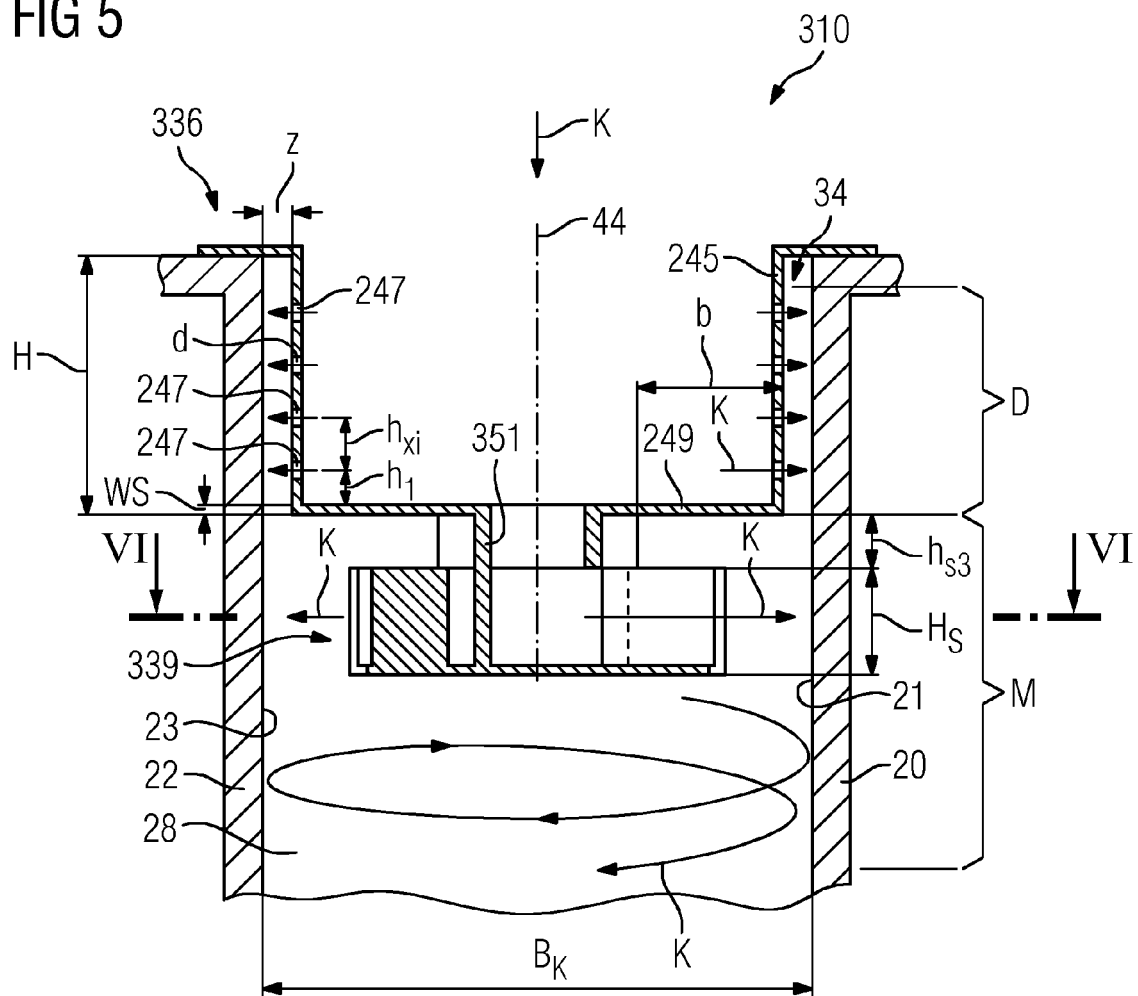
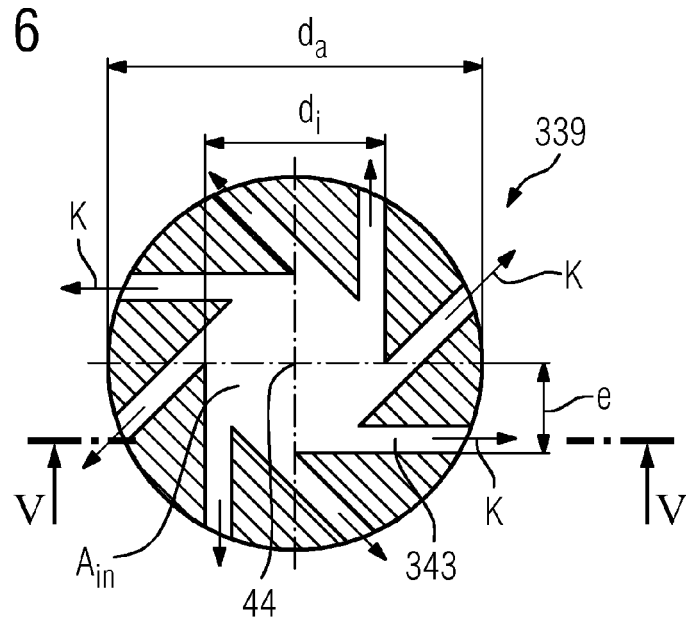


FIG 6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 16 15 3374

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	DE 198 34 376 A1 (ASEA BROWN BOVERI [CH]) 3. Februar 2000 (2000-02-03) * Spalten 2-4; Abbildungen 2, 3 *	1-4,6	INV. F01D5/18
X	EP 2 703 603 A2 (ROLLS ROYCE DEUTSCHLAND [DE]) 5. März 2014 (2014-03-05) * Abbildungen 3, 4a, 5a, 6a, 7a *	1,4,5	
X	EP 2 899 370 A1 (DOOSAN HEAVY IND & CONSTR [KR]) 29. Juli 2015 (2015-07-29) * Abbildungen 2-5 *	1	
A	US 7 665 965 B1 (LIANG GEORGE [US]) 23. Februar 2010 (2010-02-23) * Abbildung 2 *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 5. Juli 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 03.82 (P04C03)

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

EP 16 15 3374

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.

05-07-2016

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	DE 19834376	A1	03-02-2000	DE 19834376	A1	03-02-2000
				GB 2342124	A	05-04-2000
				US 6308511	B1	30-10-2001
15	-----			-----		
	EP 2703603	A2	05-03-2014	DE 102012017491	A1	06-03-2014
				EP 2703603	A2	05-03-2014
				US 2014079539	A1	20-03-2014
	-----			-----		
20	EP 2899370	A1	29-07-2015	CN 104791018	A	22-07-2015
				EP 2899370	A1	29-07-2015
				JP 2015135113	A	27-07-2015
				KR 101509385	B1	07-04-2015
				US 2015198049	A1	16-07-2015
	-----			-----		
25	US 7665965	B1	23-02-2010	KEINE		
	-----			-----		
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2009153108 A2 [0002]