

(19)



(11)

EP 4 048 872 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
31.01.2024 Patentblatt 2024/05

(21) Anmeldenummer: **20824139.8**

(22) Anmeldetag: **04.12.2020**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01D 5/18^(2006.01) F01D 5/20^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F01D 5/187; F01D 5/189; F01D 5/20;
F05D 2260/201; F05D 2260/204; F05D 2260/205**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2020/084603

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2021/110899 (10.06.2021 Gazette 2021/23)

(54) **TURBINENSCHAUFEL FÜR EINE STATIONÄRE GASTURBINE**

TURBINE BLADE FOR A STATIONARY GAS TURBINE

AUBE DE TURBINE POUR TURBINE À GAZ FIXE

(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**

(30) Priorität: **06.12.2019 EP 19214178**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
31.08.2022 Patentblatt 2022/35

(73) Patentinhaber: **Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**
81739 München (DE)

(72) Erfinder: **CAVADINI, Philipp**
10625 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A1-2016/043742 WO-A1-2016/076834
US-A1- 2005 084 370 US-A1- 2010 239 431
US-B1- 8 628 298**

EP 4 048 872 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel von Gasturbinen, welche im Betrieb höchsten thermischen und mechanischen Belastungen unterliegen, weswegen diese heutzutage Mithilfe von komplexen, hohlen Innen-Geometrien kühlbar und besonders robust ausgestaltet sind.

[0002] So ist beispielsweise eine dem Oberbegriff des Anspruch 1 entsprechende Gasturbinenschaufel aus der WO 1996/15358 A1 bekannt, bei der Mithilfe von tangential in einen Vorderkanten-Kühlkanal eingebrachter Kühlluft eine Kühlung der Vorderkante ermöglicht wird, ohne dass darin weitere Filmkühlöffnungen, im Englischen häufig auch als Showerhead-Holes bezeichnet, zu deren Kühlung erforderlich sind. Ein signifikanter Anteil der im Vorderkanten-Kühlkanal strömenden Kühlluft wird jedoch über in der Saugseite, nahe der Vorderkante angeordnete Filmkühlöffnungen, im Englischen auch als Gill-Holes bezeichnet, aus der Turbinenschaufel entlassen, wohingegen der restliche Anteil dieser Kühlluft unterhalb der Schaufelspitze zur Hinterkante geführt wird. Der restliche Teil des Schaufelblatts hingegen wird über einen Serpentina-Kühlkanal mit anschließender Hinterkanten-Ausbläsung gekühlt.

[0003] Des Weiteren ist aus der WO 2017/039571 A1 eine sogenannte Mehrlagen-Turbinenschaufel bekannt, die im englischen auch als "Multiwall-Turbine Blade" bezeichnet wird. In ihrem Inneren sind zwei Verdrängungskörper vorgesehen, mit denen die im Inneren der Turbinenschaufel strömende Kühlluft besonders nah an die Innenflächen der Außenwände gedrängt werden soll. Eine alternative Ausgestaltung einer Multiwall-Turbinenschaufel zeigt zudem die EP 1 783 327 A2. Darüber hinaus zeigt die US 2010/0239431 A1 eine Turbinenschaufel mit - bezogen auf die Spannweite - zwei benachbarten Mäander-Kühlkanälen, die über einen die Vorderkante kühlenden Kanal in Reihe geschaltet sind.

[0004] Im Streben nach weiter erhöhten Wirkungsgraden von Turbinen besteht ein fortwährender Bedarf an Kühlluft einsparung, da die eingesparte Kühlluft als Primärluft zur Oxidation von fossilen oder synthetischen Brennstoffen effizienzsteigernd verwendet werden kann.

[0005] Die Aufgabe der Erfindung ist folglich die Bereitstellung einer langlebigen Turbinenschaufel mit einem weiter reduzierten Kühlmittelverbrauch.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Turbinenschaufel gemäß Anspruch 1. Die vorliegende Erfindung schlägt eine Turbinenschaufel für eine insbesondere axial durchströmte, stationäre Gasturbine, insbesondere für eine ihrer Hochdruck-Turbinenstufen, mit einem in ihrem Inneren angeordneten Kühlsystem vor, welches einen ersten Kühlpfad für einen ersten Kühlmittelstrom und einen vom ersten Kühlpfad im Wesentlichen, vorzugsweise vollständig getrennten zweiten Kühlpfad für einen zweiten Kühlmittelstrom umfasst, bei dem der erste Kühlpfad eine erste Kühlmittelpassage, die zu einer Zyklonkühlung der Vorderkante

eingerrichtet ist und eine sich an die erste Kühlmittelpassage anschließende zweite Kühlmittelpassage, die sich unterhalb der Schaufelspitze von der Vorderkante in Richtung der Hinterkante erstreckt, wobei der zweite Kühlpfad eine Serpentina-Kühlmittelpassage zur Kühlung eines in Sehnenrichtung hinter dem Vorderkantenbereich angeordneten Mittelbereichs des Schaufelblatts und eine erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage zur zumindest teilweisen Kühlung eines in Sehnenrichtung hinter dem Mittelbereich angeordneten, bis zur Hinterkante reichenden Hinterkantenbereichs des Schaufelblatts umfasst, wobei die erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage mit einer Vielzahl von ersten, in der Hinterkante angeordneten Austrittslöchern strömungstechnisch verbunden ist, wobei die erste Kühlmittelpassage für eine austrittslochfreie, d.h. lokal geschlossene Kühlung eingerichtet ist und der erste Kühlpfad weiter umfasst: eine sich an die zweite Kühlmittelpassage anschließende dritte Kühlmittelpassage, die sich hauptsächlich radial nach innen erstreckt sowie eine, sich an die dritte Kühlmittelpassage anschließende zweite Hinterkanten-Kühlmittelpassage, welche zur Kühlung einer schaufelspitzenseitigen Region des Hinterkantenbereichs ausgestaltet ist und mit einer Vielzahl von zweiten, in der Hinterkante angeordneten Austrittslöchern strömungstechnisch verbunden ist.

[0007] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass eine signifikante Einsparung von Kühlmittel zur Kühlung der Turbinenschaufel nur dann erreicht werden kann, wenn die Vorderkante und/oder die druckseitige Seitenwand und/oder die saugseitige Seitenwand des Schaufelblatts keine Öffnungen aufweisen, durch welche Kühlmittel ausströmen und dort in ein die Turbinenschaufel umströmendes Heißgas einströmen kann. Um eine einfache Konstruktion der Turbinenschaufel zu ermöglichen, entweicht das Kühlmittel zumindest an der Hinterkante und ggf. auch noch durch die nach außen weisende Schaufelspitze. Insofern sollen lediglich diejenigen Passagen und Kanäle, mit denen die Vorderkante und ein Großteil der Druckseiten und Saugseiten des Schaufelblatts gekühlt werden können, zu einer lokal geschlossenen Kühlung eingerichtet sein. Mit anderen Worten: von der ersten Kühlmittelpassage und/oder von der Serpentina-Kühlmittelpassage zweigen weder Showerhead-Holes, noch Gill-Holes, noch andere Filmkühlöffnungen ab; diese sind austrittslochfrei. Austrittslöcher sind lediglich an der Hinterkante und ggf. in der Schaufelspitze vorgesehen. Unter einer lokal geschlossenen Kühlung wird nicht verstanden, dass aus dem Schaufelblatt gar kein Kühlmittel ins Heißgas austreten darf.

[0008] Um dennoch eine hinreichende Kühlung der Vorderkante zu erreichen, insbesondere von thermisch äußerst hochbelasteten Turbinenschaufeln, besteht eigentlich in einem Fall von einer lokal geschlossenen, d.h. austrittslochfreien Vorderkantenkühlung ein gesteigerter Bedarf an Kühlmittel. Mit der Erfindung wird nun jedoch erstmalig vorgeschlagen, den für die Vorderkantenkühlung eingesetzte erste Kühlmittelstrom auch noch für

die Kühlung eines radial äußeren Teils des Hinterkantenbereichs des Schaufelblatts zur verwenden. Anstatt das Kühlmittel wie im Stand der Technik über Gill-Holes und an der Hinterkante direkt zu entlassen, wird erfindungsgemäß eine hintere Trennrippe ins System eingebracht, die das Kühlmittel aus dem vorwärtsströmenden System kommend erneut nach innen umlenkt und schließlich zu einem weiteren Hinterkanten-Kühlmittelpassage führt. Folglich wird der erste Kühlmittelstrom über eine zweite Kühlmittelpassage, die sich unmittelbar unterhalb der Schaufelspitze zum hinteren Ende des Schaufelblatts erstreckt, und über eine sich daran anschließende dritte Kühlmittelpassage auf vorzugsweise etwa halbe Höhe der Hinterkante geführt, um anschließend in einer radial außen angeordneten Hinterkanten-Kühlmittelpassage dort nutzbringend verwendet zu werden. Aufgrund dieser Lösung kann der Bedarf an Kühlluft für den zweiten Strömungspfad signifikant reduziert werden. Mithin bietet der hier vorgeschlagene Ansatz einen maximalen Nutzen des zur Verfügung stehenden Kühlmittels aufgrund einer neuartigen Aufteilung und unter Verwendung eines Kühlkonzepts, nämlich der Zyklonkühlung, die für Turbinenschaufeln der ersten und/oder zweiten Turbinenstufe von Gasturbinen mit vergleichsweise hohen Verdichterdruckverhältnissen bzw. hohen Turbineneintrittstemperaturen bisher als vollkommen ungeeignet angesehen und deshalb für deren Turbinenschaufeln nicht in Betracht gezogen wurde.

[0009] Unter einer Zyklonkühlung ist eine solche Kühlung zu verstehen, bei der wesentliche Anteile des in einem Kühlkanal oder in einer Kühlmittelpassage strömenden Kühlmediums von einem Haupteinlass für das Kühlmittel zu einem Hauptauslass verdreht strömen. Verdreht bedeutet, dass der wesentliche Anteil des Kühlmediums längs des betreffenden Kanals bzw. Passage schraubenlinienmäßig bzw. helixartig strömt. Die verdrehte Strömung ist von einer turbulenten Strömung zu unterscheiden. Letztere wird regelmäßig von sogenannten Turbulatoren hervorgerufen und tritt demzufolge in räumlich sehr begrenzten Gebieten auf, da nur ein sehr geringer Anteil des Kühlmittels durch die Turbulatoren erreicht und manipuliert wird. Nach dem Verlassen des betreffenden Gebiets ist die Turbulenz dann auch wieder zerfallen. Somit kann eine verdrehte Hauptströmung in lokal sehr kleinen Gebieten auch turbulente Sekundärströmungsanteile aufweisen, nicht aber umgekehrt.

[0010] Mit der Erfindung kann der Verbrauch an Kühlmittel in einem nicht vorab zu erwartendem Umfang reduziert werden bei gleichzeitiger hinreichender Kühlung des gesamten Schaufelblatts. Gemäß detaillierten Simulationen gilt dies selbst für Turbinenschaufeln, die in einer der beiden vorderen Turbinenstufen einer stationären Gasturbine, deren Turbineneintrittstemperatur bei ISO-Nennbetrieb von 1300°C und höher liegt oder deren Verdichterdruckverhältnis von 19:1 oder höher beträgt. Selbst bei derartigen Turbinenschaufeln konnte die Menge an Kühlmittel um etwa 30 % gesenkt werden im Vergleich zu einer konventionellen, mit in der Vorderkante

angeordneten Kühllöchern, unter Erreichung der identischen Lebensdauer.

[0011] Gemäß einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind in der Schaufelspitze ein oder mehrere Austrittslöcher für Kühlmittel angeordnet sind, die mit der zweiten Kühlmittelpassage strömungstechnisch verbunden sind. Diese Maßnahme verbessert die Dauerfestigkeit von etwaigen, an der Schaufelspitze hervorragenden Anstreifkanten.

[0012] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst der erste Kühlpfad eine Versorgungspassage für die erste Kühlmittelpassage, die unmittelbar neben der ersten Kühlmittelpassage angeordnet sich zumindest über einen Großteil der Spannweite des Schaufelblatts erstreckend über eine Vielzahl von Durchtrittsöffnungen mit der ersten Kühlmittelpassage strömungstechnisch verbunden ist, wobei die Durchtrittsöffnungen Mittel aufweisen, um dem in der ersten Kühlmittelpassage strömenden Kühlmittel einen Drall aufzuprägen bzw. diesen zu verstärken. Als Mittel weisen die Durchtrittsöffnungen eine spezielle Ausrichtung auf. Wenn beispielsweise die Durchtrittsöffnungen tangential, d.h. außermittig in der ersten Kühlmittelpassage und insbesondere mit der Innenfläche der saugseitigen oder druckseitigen Seitenwand fluchtend münden und/oder in Radialrichtung angestellt sind, lässt sich mit einfachen Mitteln dem in der ersten Kühlmittelpassage strömenden Kühlmittel den für die Zyklonkühlung erforderlichen Drall aufprägen bzw. verstärken. Somit lässt sich eine effiziente Zyklonkühlung der Vorderkante vergleichsweise einfach bereitstellen.

[0013] Eine über die Höhe des Schaufelblatts angepasste bzw. homogenisierte Zyklonkühlung der Vorderkante lässt sich gemäß einer weiteren Ausführungsform dadurch erreichen, dass eine in Spannweitenrichtung ermittelbare Dichte an Durchtrittsöffnungen am fußseitigen Ende am größten ist, und vorzugsweise zur Schaufelspitze hin schrittweise oder kontinuierlich abnimmt. Hiermit kann die Strömungsgeschwindigkeit in der ersten Kühlmittelpassage über die Spannweite des Schaufelblatts nahezu konstant gehalten werden, was ebenso durch eine sich im Querschnitt verjüngende erste Kühlmittelpassage zur Schaufelspitze erreichbar ist.

[0014] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist an einer oder mehreren Innenflächen von einer oder mehreren Kühlmittelpassagen eine Vielzahl von vorzugsweise rippenförmigen, insbesondere geneigt angeordneten Turbulatoren angeordnet, um lokal den Wärmeübergang in das erste und oder zweite Kühlmittel weiter zu erhöhen und/oder um den Drall zu unterstützen.

[0015] Nach einer weiteren Weiterbildung der Erfindung ist in jeder Hinterkanten-Kühlmittelpassage eine Vielzahl von in einem Muster d.h. in mehreren Reihen angeordneten Sockeln vorgesehen. Hiermit lässt sich ein saugseitiger und druckseitiger Hinterkantenbereich des Schaufelblatts, welcher sich an den Mittelbereich des Schaufelblatts anschließt und sich bis zur Hinterkante des Schaufelblatts erstreckt, in einfacher wie effizienter

Weise austrittslochfrei, d.h. lokal geschlossen kühlen. Weiter können dadurch auch die Aufteilung des Kühlmittels für die beiden Kühlpfade und die darin auftretenden Druckverluste effizient eingestellt werden.

[0016] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind zwei die zweite Kühlmittelpassage erweitern- de, Kühlkanalarne vorgesehen, die mit zunehmender Erstreckung in Sehnenrichtung sich nach radial innen aufweiten und in der dritten Kühlmittelpassage münden. Diese Maßnahme reduziert bzw. kompensiert die Ver- ringerung des Durchströmungsquerschnitts der zweiten Kühlmittelpassage, die sich aufgrund der tropfenförmigen Gestalt des zur Hinterkante spitz zulaufenden Schaufelprofils ergibt. Mithin kann für die gesamte Länge der zweiten Kühlmittelpassage eine annähernd konstan- te Querschnittsfläche erzielt werden, wodurch der erste Kühlmittelstrom mit konstanter Geschwindigkeit die zweite Kühlmittelpassage durchströmen kann. Strö- mungsablösung können somit vermieden werden unter Aufrechterhaltung einer gleichmäßigen Kühlung der Schaufelspitze sowie der lokalen Bereiche der Seiten- wände.

[0017] Des Weiteren ist gemäß einer Weiterbildung der vorgenannten Ausführungsform zwischen der zwei- ten Kühlmittelpassage und der Serpentina-Kühlmittel- passage eine Trennwand angeordnet, die die beiden Sei- tenwände miteinander verbindet und sich in Sehnenrich- tung erstreckt, wobei die Trennwand mit zunehmender Annäherung zur Hinterkante einen vorzugsweise spitz zu- laufenden Verdrängungskeil ausbildet, der in Verbind- ung mit den Innenflächen der beiden Seitenwände die zwei Kühlkanalarne seitlich begrenzt.

[0018] Gemäß einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist zwischen der dritten Kühlmittelpassage und der zweiten Hinterkanten-Kühl- mittelpassage eine sich in Spannweitenrichtung erstre- ckende hintere Trennrippe vorgesehen. Gegebenenfalls können in der hinteren Trennrippe auch ein oder mehrere Löcher vorhanden sein, um lokale Totwassergebiete in der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage zu verhin- dern.

[0019] Gemäß einem vorteilhaften Vorschlag der Er- findung weist die Hinterkante eine normierte Höhe von 100%, beginnend an ihrem fußseitigem Ende bei 0% und endend an der Schaufelspitze bei 100 %, auf, wobei die beiden Hinterkanten-Kühlmittelpassagen von einer sich hauptsächlich in Sehnenrichtung erstreckenden Trenn- rippe zumindest im Wesentlichen voneinander getrennt sind, die auf einer Höhe zwischen 45% und 75% der nor- mierten Höhe angeordnet ist. Insbesondere hierdurch lässt eine besonders effiziente Aufteilung der insgesamt zur Verfügung stehenden Kühlmittelmenge erreichen, mit der zum einen eine homogene Kühlung des Schau- felblatts und zum anderen ein weiter reduzierter Kühlmit- telverbrauch an sich erzielbar ist. Um die zum Gießen der Turbinenschaufel benötigten Gusskerne, welche später die beiden hinteren Hinterkanten-Kühlmittelpas- sagen hinterlassen, besser befestigen zu können und

um Kernbruch zu vermeiden, ist es hilfreich sein, wenn diese Gusskerne über einige, wenige Stützen unmittel- bar miteinander verbunden sind. Zwar hinterlassen dann die Stützen in der fertigen Turbinenschaufel Öffnungen in der Trennrippe, die die vollständige Trennung der bei- den Hinterkanten-Kühlkanäle aufhebt, jedoch sind die beiden Hinterkanten-Kühlkanäle weiterhin im Wesentli- chen voneinander getrennt.

[0020] Bevorzugtermaßen ist bei einer weiteren Wei- terbildung der Erfindung vorgesehen, dass die Serpen- tinen-Kühlmittelpassage zumindest zwei sich in Spann- weitenrichtung erstreckende Kanalabschnitte und zu- mindest zwei Umkehrabschnitte, die einander abwech- seln, umfasst, wobei der im Kühlmittelstrom weiter strom- ab gelegene Umkehrabschnitt mit der ersten Hinterkan- ten-Kühlmittelpassage unmittelbar strömungstechnisch verbunden ist.

[0021] Besonders bevorzugt und vorteilhaft ist die Wei- terbildung der voran beschriebenen Ausführungsform, bei der die beiden Kanalabschnitte mittels eines Verdrän- gungskörpers und mittels der beiden Seitenwände in ei- ner Querschnittsbetrachtung des Schaufelblatts im We- sentlichen jeweils C-förmig mit einem saugseitigen Ka- nalarm, einem druckseitigen Kanalarm und einem die beiden Kanalarne verbindenden Verbindungsarm aus- gestaltet und derart zueinander angeordnet sind, dass sie den Verdrängungskörper nahezu vollständig umge- ben. Hierdurch kann eine als Multiwall ausgestaltete Tur- binenschaufel bereitgestellt werden. Durch die Ausge- staltung als Multiwall ist es einerseits möglich, ein Schau- felblatt zu erzeugen, das auch bei geringem mittelver- brauch eine relativ geringe Krümmung an der Vorder- kante aufweist. Diese geringe Krümmung ist der Draller- zeugung in der ersten Kühlmittelpassage natürlich stark förderlich. Andererseits können durch aufgrund der Mul- tiwall-Ausgestaltung die Kühlabschnitte vergleichsweise geringe Durchströmungsquerschnitte erhalten. Im Be- trieb strömt sodann der zweite Kühlmittelstrom durch die Kanalabschnitte bzw. durch die Serpentina-Kühlmittel- passage mit hinreichend gro-ßer Geschwindigkeit und somit unter Ausbildung eines hinreichend hohen Wär- meübergangs. Dies insbesondere verringert die Menge an erforderlichem Kühlmittel für eine effiziente Kühlung des Mittelbereichs des Schaufelblatts zwischen Vorder- kante und Hinterkantenbereich. Mit Hilfe dieser Maßnah- me kann der Verbrauch um etwa weitere 40% gesenkt werden, wodurch dann die thermische Effizienz der Tur- binenschaufel vergleichsweise nah an das theoretische Maximum geführt werden kann.

[0022] Dabei erweist es sich als zweckmäßig, wenn der Verdrängungskörper in einer Querschnittsbetrach- tung einen Hohlraum umgreift und über Stege an den beiden Seitenwänden abgestützt ist.

[0023] Nach einer vorteilhaften Weiterbildung kann bei einer Turbinenlaufschaufel zur Kompensation von im Be- trieb auf das zweite Kühlmittel auftretenden Corioliskräf- ten zumindest einer, vorzugsweise bei beiden, die Druck- seitenwand mit der Saugseitenwand verbindenden

Stützrippen, welche sich vom fußseitigen Ende zur Schaufelspitze hin erstrecken auf der Stützrippe bzw. an den die Verbindungsarme begrenzenden Innenflächen des Verdrängungskörpers Elemente, vorzugsweise Turbulatoren, vorgesehen sein. Dadurch kann eine Querströmung von Kühlmittel aus dem saugseitigen Kanalarium durch den Verbindungsarm in den druckseitigen Kanalarium reduziert werden.

[0024] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der Hohlraum nicht von Kühlmittel durchströmbar, da er keine Austrittsöffnung für Kühlmittel aufweist. Dies verhindert eine ungewollte Störung der zweiten Kühlmittelströmung, ermöglicht aber die Verwendung einer besonders einfachen Gießvorrichtung, bei der die verwendeten Gusskerne besonders einfach und stabil an weiteren Komponenten der Gießvorrichtung befestigbar sind. Dementsprechend ist die erfindungsgemäße Turbinenschaufel vorzugsweise gegossen, wobei eine nach dem Gießen der Turbinenschaufel im Schaufelfuß vorhandene Öffnung, die mit dem Hohlraum in direkter, d.h. unmittelbarer Verbindung steht, von einer separat hergestellten Abdeckplatte verschlossen ist. Analoges gilt für eine nach dem Gießen der Turbinenschaufel im Schaufelfuß vorhandene Öffnung, die mit der ersten Hinterkanten-Kühlmittelpassage in direkter, d.h. unmittelbarer Verbindung steht. Bevorzugtermaßen ist auch eine solche verschlossen, indem eine separat hergestellte Abdeckplatte die betreffende Öffnung vollständig überdeckend am Schaufelfuß befestigt ist.

[0025] Zweckmäßigerweise sind für jeden Kühlpfad ein oder mehrere Einlässe vorgesehen, die mit der ersten Kühlmittelpassage bzw. der Versorgungspassage oder mit der Serpentina-Kühlmittelpassage bzw. einem ihrer Kanalabschnitte unmittelbar strömungstechnisch verbunden sind.

[0026] Bevorzugtermaßen weist die Turbinenschaufel ein Aspektverhältnis von einer Hinterkanten-Spannweite bezogen auf eine am fußseitigen Ende zu erfassenden Sehnenlänge auf, welches 3,0 oder kleiner ist, da sich herausgestellt hat, dass die vorgeschlagene Aufteilung des zu Verfügung stehenden Kühlmittels in zwei vorzugsweise voneinander getrennte Kühlmittelströme und die gleichzeitig vorgeschlagene Aufteilung der Kühlung des Hinterkantenbereichs insbesondere für derartige Turbinenschaufeln eine beträchtliche Einsparung der Menge an Kühlmittel ermöglicht.

[0027] Grundsätzlich ist die Verwendung der voran beschriebenen Turbinenschaufel sowohl als an einem Rotor angebrachter Laufschaufel oder als an einem statischen Träger angebrachter Leitschaufel möglich.

[0028] In überraschender Weise lässt sich die voran beschriebene Turbinenschaufel auch in einer ersten oder zweiten Turbinenstufe einer stationären Gasturbine verwenden, die bei ISO-Nennbetrieb eine Turbineneintrittstemperatur von mindestens 1300°C und/oder ein bei ISO-Nennbetrieb auftretendes Verdichtungsverhältnis von 19:1 oder größer aufweist. Im Sinne dieser Anmeldung fallen so genannte Aero-Derivate nicht unter die

Definition von stationären Gasturbinen. Mithin ist die Erfindung nicht nur für solche stationären Gasturbinen geeignet, deren Heißgas-Temperaturen am Turbineneintritt nach heutigen Maßstäben als vergleichsweise gering angesehen werden.

[0029] Die bisherige Beschreibung vorteilhafter Ausgestaltungen der Erfindung enthält zahlreiche Merkmale, die in den einzelnen Unteransprüchen teilweise zu einer Einheit zusammengefasst wiedergegeben sind. Diese Merkmale können jedoch zweckmäßigerweise auch einzeln betrachtet und zu weiteren Kombinationen zusammengefasst werden. Insbesondere sind diese Merkmale jeweils einzeln und in beliebiger geeigneter Kombination mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung kombinierbar. So sind etwa auch Verfahrensmerkmale, gegenständlich formuliert, auch als Eigenschaft der entsprechenden Vorrichtungseinheit zu sehen und umgekehrt.

[0030] 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. Ebenso dienen die Zahlwörter "erster", "zweiter", "dritter", etc. lediglich zur Unterscheidung von Merkmalen, die grundsätzlich ähnlicher Natur sind.

[0031] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile der Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

[0032] Es zeigen:

- | | |
|---------------|---|
| Figur 1 | eine Seitenansicht auf eine Turbinenlaufschaufel gemäß eines ersten Ausführungsbeispiels, |
| Figur 2 | das Kühltaschemata der Turbinenlaufschaufel gemäß Figur 1, |
| Figur 3 | den Längsschnitt durch die Turbinenlaufschaufel gemäß des ersten Ausführungsbeispiels, |
| Figur 4 | einen Querschnitt durch die Turbinenlaufschaufel gemäß Figur 3 entlang der Schnittlinie A-A, |
| Figuren 5 - 7 | Längsschnitte durch die Turbinenlaufschaufel gemäß Figur 3 entlang der Schnittlinien B-B, C-C bzw. D-D, |
| Figur 8 | einen Querschnitt durch die Turbinenlaufschaufel gemäß Figur 1 entlang der Schnittlinie E-E und |
| Figur 9 | in schematischer Darstellung eine stationäre Gasturbine. |

[0033] In den Figuren weisen alle technischen Merkmale, welche mit gleichen Bezugszeichen versehen

sind, gleiche technische Wirkung auf.

[0034] Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer Turbinenschaufel 10 erläutert, welche als Turbinenlauf-schaufel ausgestaltet ist. Gleichwohl kann es sich bei der Erfindung auch um eine Turbinenleitschaufel handeln.

[0035] Als ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt Figur 1 eine Turbinenschaufel 10 in einer Seitenansicht. Die vorzugsweise in einem Feinguss-Verfahren hergestellte Turbinenschaufel 10 umfasst einen nur im Ansatz dargestellten Schaufelfuß 12. Der Schaufelfuß 12 kann in bekannter Art und Weise in einer Schwalbenschwanzform oder einer Tannenbaumform ausgestaltet sein. Daran schließt sich eine Plattform 13 an, von der aus sich in Spannweitenrichtung R ein Schaufelblatt 18 sich von einem fußseitigen Ende 20 zu einer Schaufelspitze 22 erstreckt. Wenn die Turbinenlauf-schaufel 10 in einer axial durchströmten Gasturbine eingebaut ist, fallen die Spannweitenrichtung und die Radialrichtung der Gasturbine zusammen. In einer quer zur Spannweitenrichtung R orientierten Sehnenrichtung S erstreckt sich das Schaufelblatt 18 von einer Vorderkante 24 zu einer Hinterkante 26. In der Hinterkante 26 sind Austrittslöcher 46, 56 entlang der Spannweitenrichtung verteilt. Ein Aspektverhältnis HSP/SL von einer Hinterkanten-Spannweite HSP bezogen auf eine am fußseitigen Ende zu erfassenden Sehnenlänge SL beträgt gemäß diesem Ausführungsbeispiel 1,9 und liegt bevorzugtermaßen im Bereich zwischen 1,5 und 3.

[0036] An einer seitlichen Fläche der Plattform 13 münden ebenfalls Austrittsöffnungen 28. Die Austrittslöcher 46, 56 sowie die Austrittsöffnungen 28 sind in Strömungsverbindung mit einem inneren Kühlsystem der Turbinenlauf-schaufel 10.

[0037] Das Kühlsystem der Turbinenlauf-schaufel 10 und insbesondere des Schaufelblatts 18 ist in der Figur 2 als Kühltisch schematisch dargestellt. Der Turbinenlauf-schaufel 10 sind ein erster Kühlmittelstrom M1 und ein zweiter Kühlmittelstrom M2 getrennt zuführbar. Der erste Kühlmittelstrom M1 durchströmt einen ersten Kühlpfad 30, welcher sich aus mehreren Kühlmittelpassagen 31, 32, 33, 34, 36a, 36b, 38, 40, 44 zusammensetzt. Stromab eines in der Figur 2 nicht dargestellten Einlasses für den Kühlmittelstrom M1 folgt eine Versorgungspassage 31, die über eine Vielzahl von Durchtrittsöffnungen 33 mit einer ersten Kühlmittelpassage 32 in Strömungsverbindung steht. Die erste Kühlmittelpassage 32 dient zur Zyklonkühlung der Vorderkante 24 des Schaufelblatts 18 sowie des sich daran unmittelbar anschließenden Vorderkantenbereichs 39. Im Bereich der Schaufelspitze 22 geht die erste Kühlmittelpassage 32 in eine zweite Kühlmittelpassage 34 über, welche zur Kühlung der Schaufelspitze 22 sich von der Vorderkante 24 über eine vergleichsweise große Sehnenlänge der Schaufelspitze 22 sich in Richtung Hinterkante 26 erstreckt. In der Schaufelspitze können dritte Austrittslöcher 67 zur Kühlung von später erläuterten Anstreifkanten angeordnet sein. Weiter umfasst die zweite Kühlmittelpassage 34 zwei erst in der zweiten Hälfte der zweiten

Kühlmittelpassage 34 beginnende Kühlkanalarmlänge 36a, 36, die ebenso wie das stromabseitige Ende der zweiten Kühlmittelpassage 34 mit einer dritten Kühlmittelpassage 38 verbunden sind. Letztere ist über einen Umkehrabschnitt 40 mit einer zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 44 strömungstechnisch verbunden. Der den ersten Kühlpfad 30 durchströmende Kühlmittelstrom M1 kann dann über eine Vielzahl von zweiten Austrittslöchern 46 die Turbinenlauf-schaufel 10 an ihrer Hinterkante 26 verlassen. Parallel zum ersten Kühlpfad 30 und strömungstechnisch vorzugsweise vollständig davon getrennt ist ein zweiter Kühlpfad 50 angeordnet, welcher stromab eines in Figur 2 nicht weiter dargestellten Einlasses eine Serpentin-Kühlmittelpassage 52 aufweist. Die Serpentin-Kühlmittelpassage 52 umfasst zur Kühlung eines Mittelbereichs 48 (Figur 1) gemäß diesen Ausführungsbeispiel zwei sich in Spannweitenrichtung erstreckende Kanalabschnitte 55a, 55b, die über einen dazwischen angeordneten Umkehrabschnitt 57a miteinander verbunden sind. Am stromab gelegenen Ende des zweiten Kanalabschnitts 55b schließt sich ein zweiter Umkehrabschnitt 57b an, welcher den zweiten Kanalabschnitt 55b mit einer ersten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 54 strömungstechnisch verbindet. Der den zweiten Kühlpfad 50 durchströmende Kühlmittelstrom M2 kann dann den über eine Vielzahl von ersten Austrittslöchern 46 die Turbinenlauf-schaufel 10 an ihrer Hinterkante 26 verlassen. Beide Hinterkanten-Kühlmittelpassagen 44, 54 dienen zur Kühlung eines Hinterkantenbereichs 59 (Figur 1).

[0038] Figur 3 zeigt als Längsschnitt eine innere Struktur der Turbinenlauf-schaufel 10 gemäß Figur 1, welche zu dem Kühltisch nach Figur 2 korrespondierend ausgestaltet ist. Hierzu umfasst die Turbinenlauf-schaufel 10 eine Reihe von unterschiedlich angeordneten Wänden und Rippen, die die einzelnen Kühlpfade und Kühlmittelpassagen voneinander trennen. Im Schaufelfuß 12 sind zwei Einlässe 80 für die beiden Kühlmittelströme M1 und M2 bzw. für die beiden Kühlpfade 30, 50 vorgesehen. Zwischen den beiden Einlässen 80 ist eine die beiden Seitenwände 14, 16 miteinander verbindende vordere Stützrippe 66v angeordnet, die für einen ersten Abschnitt den ersten Kühlpfad 30 vom zweiten Kühlpfad 50 trennt. Eine vordere Trennrippe 49v trennt zudem die Versorgungspassage 31 von der ersten Kühlmittelpassage 32, wobei in der vordere Trennrippe 49v eine Vielzahl von Durchtrittsöffnungen 33 (Detail zu Figur 4) angeordnet sind. In Figur 3 sind von diesen jedoch lediglich die Mündungen der Durchtrittsöffnungen dargestellt. Wie aus Figur 3 hervorgeht, ist im plattformnahen Bereich eine größere Dichte von Durchtrittsöffnungen 33 vorgesehen als im spitzennahen Bereich. Die Lage und die Orientierung der Durchtrittsöffnungen 33 in der vordere Trennrippe 49v ist so gewählt, dass in der ersten Kühlmittelpassage 32 eine vergleichsweise stark verdrehte Kühlmittelströmung entstehen kann. Unter einer verdrehten Kühlmittelströmung ist eine solche zu verstehen, die zyklonartig bzw. analog zu einer Schraubenlinie

bzw. einer Helix sich vom fußseitigen Ende 20 zur Schaufelspitze 22 hin ausbilden kann. Mithin sind sie in der vorderen Trennrippe 49v außermittig und insbesondere mit den Innenwänden der Saugseitenwand 16 (oder Druckseitenwand) fluchtend angeordnet, ggf. sogar unter einer Neigung zur Schaufelspitze 22 hin um die Abschwächung des Dralls beim Durchströmen der ersten Kühlmittelpassages 32 zumindest teilweise zu kompensieren.

[0039] Am äußeren Ende der ersten Kühlmittelpassage 32 schließt sich die zweite Kühlmittelpassage 34 zur Kühlung eines Bodens 37 der Schaufelspitze 22 an, wobei die zweite Kühlmittelpassage 34 durch eine Trennwand 60 von der Serpentina-Kühlmittelpassage 52 getrennt ist. Am hinterkantennahen Ende der zweiten Kühlmittelpassage 34 schließt sich die dritte Kühlmittelpassage 38 an, welche sich von der Schaufelspitze 22 in Richtung des fußseitigen Endes 22 erstreckt, jedoch etwa nur bis zur halben Höhe des Schaufelblatts 18, wobei die Höhe des Schaufelblatts 18 an der Hinterkante 26 zu erfassen ist. Daran schließt sich ein weiterer Umkehrabschnitt 40 an, mittels dem der erste Kühlmittelstrom M1 der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 44 zugeführt werden kann. Die dritte Kühlmittelpassage 38 ist durch eine entsprechend ausgestaltete hinteren Trennrippe 49h von der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 54 größtenteils getrennt.

[0040] In der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 44 sind vom Kühlmittel M1 umströmbare Sockel 53 in mehreren Reihen hintereinander angeordnet. Im geeigneten Ausführungsbeispiel sind die Sockel eher Rennbahnförmig ausgestaltet mit vergleichsweise engen Durchtrittspassagen, um einen möglichst hohen Druckverlust herbeizuführen. Der erste Kühlpfad 30 endet in in der Hinterkante 26 vorgesehenen zweiten Austrittslöchern 46, durch welche zumindest ein Großteil des durch den zugehörigen Einlass 80 zugeführten Kühlmittelstroms M1 aus der Turbinenlaufschaufel 10 entlassen werden kann.

[0041] Der zweite Kühlpfad 50 zur Führung des zweiten Kühlmittelstroms M2 und umfasst im Wesentlichen die Serpentina-Kühlmittelpassage 52 sowie die erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage 44. Ersteres lässt sich in vier aufeinanderfolgende Abschnitte unterteilen, von denen der erste als erster Kanalabschnitt 55a bezeichnet ist. Daran anschließend folgt aufeinander ein erster Umkehrabschnitt 57a, ein zweiter Kanalabschnitt 55b sowie ein zweiter Umkehrabschnitt 57b. Letzter verbindet die Serpentina-Kühlmittelpassage 52 mit der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 54, welche analog zur ersten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 44 mit in mehreren Reihen angeordneten, Rennbahn-förmigen Sockeln 53 ausgestaltet ist.

[0042] Die beiden Kanalabschnitte 55a, 55b der Serpentina-Kühlmittelpassage 52 erstrecken sich entlang der Spannweitenrichtung R über einen Großteil des Schaufelblatts 18. Der erste Kanalabschnitt 55a als auch der zweite Kanalabschnitt 55b sind, wie in Figur 4 zusätzlich dargestellt, im Wesentlichen U-förmig mit jeweils

einem saugseitig angeordneten Kanalarm 55as, 55bs, einem druckseitig angeordneten Kanalarm 55ad, 55bd sowie einem die betreffenden Kanalarne verbindenden Verbindungsarm 55av, 55bv. Demzufolge ist der erste Kanalabschnitt 55a von der druckseitigen Seitenwand 14, von der vorderen Stützrippe 66v, von der saugseitigen Seitenwand 16 sowie einem im Inneren angeordneten Verdrängungskörper 70 - im Querschnitt gemäß Figur 4 - umgeben. Der zweite Kanalabschnitt 55b ist von der druckseitigen Seitenwand 14, von einer hinteren Stützrippe 66h, von der saugseitigen Seitenwand 16 sowie dem im Inneren angeordneten Verdrängungskörper 70 umgeben. Der Verdrängungskörper 70 umgreift selbst einen Hohlraum 72 und ist über Stege 71 an der druckseitigen Seitenwand 14 bzw. der saugseitigen Seitenwand 16 abgestützt. Die Stege 71 erstrecken sich annähernd über die gesamte Höhe des Schaufelblatts 18 und dienen einerseits zur monolithischen Befestigung des Verdrängungskörpers 70 in der Turbinenlaufschaufel 10 und andererseits zur Trennung der beiden Kanalabschnitte 55, 57. Bezugnehmend auf Figur 2 ist erkennbar, dass der Verdrängungskörper 72 an seinem radial äußeren Ende hinterkantenseitig gestützt ist. Diese Maßnahme verbessert die mechanische Integrität der Turbinenlaufschaufel 10 und insbesondere deren Schwingungsfestigkeit.

[0043] Die beiden Hinterkanten-Kühlmittelpassagen 44, 54 sind von einer sich hauptsächlich in Sehnenrichtung S erstreckenden Trennrippe 64 sind zumindest größtenteils, wenn nicht gar vollständig voneinander getrennt. Gemäß dem Ausführungsbeispiel endet die Trennrippe 64 auf einer Höhe von 55% einer normierten Schaufelblatthöhe der Hinterkante 24. Vorzugsweise ist die Trennrippe 64 auf einer Höhe zwischen 45% und 75% der normierten Höhe angeordnet.

[0044] Die Figuren 5 bis 7 zeigen Schnitte durch die Spitze der Turbinenlaufschaufel 10 gemäß der drei Schnittlinien B-B, C-C und D-D aus Figur 3. An dem äußeren Ende der Schaufelspitze 72 sind sowohl saugseitig als auch druckseitig Anstreifkanten 78 vorgesehen. Zudem ist es ersichtlich, dass der Verdrängungskörper 70 an seinem radial äußeren Ende nicht verschlossen, sondern zum ersten Umkehrabschnitt 57a hin geöffnet ist. Insofern wäre zwar ein Einströmen des zweiten Kühlmittelstroms M2 möglich. Da jedoch eine für das Erstellen des Hohlraums 72 bzw. des Verdrängungskörpers 70 erforderliche Öffnung 74a am Schaufelfuß 12 durch eine dort nach dem Gießen angebrachte Abdeckplatte 76a (Figur 1) verschlossen ist, mangelt es dem Hohlraum 72 an Austrittsöffnungen. Demzufolge ist er nicht durchströmbar, sondern als Totwasser-Raum ausgestaltet. Folglich bietet es sich an, dessen Innengestalt ggf. zu schon noch in der Entwurfsphase mittels des Vorsehens von weiteren Strukturen wie Rippen, Streben oder dergleichen zu variieren, wenn falls eine Modalanpassung erforderlich ist. Der besondere Vorteil würde darin liegen, dass allein die Eigenfrequenz der Turbinenschaufel angepasst werden würde, ohne sonstige Eigenschaften wie

Aerodynamik oder Wärmeaustausch zu beeinflussen.

[0045] Weiter zeigen die Figuren 5 bis 7, wie die Trennwand 60 mit zunehmender Annäherung zur Hinterkante 24 einen spitz zulaufenden Verdrängungskeil 62 ausbildet, der in Verbindung mit den Innenflächen der beiden Seitenwänden 14, 16 die beiden Kühlkanäle 36a und 36b jeweils seitlich begrenzen. Mithilfe des spitz zulaufenden Verdrängungskeils 62 lässt sich die Stützung des Verdrängungskörpers 70 kompensieren, sodass weiterhin eine seitenwandnahe Führung des Kühlmittelstroms M2 im gestützten Bereich und somit eine hinreichende Kühlung dessen effizient möglich ist. Ist die Stützung des Verdrängungskörpers nicht zwingend notwendig, kann die Größe des Verdrängungskeils reduziert werden. Ggf. kann sogar ganz darauf verzichtet werden.

[0046] Figur 8 zeigt in einer zur Schaufelspitze 22 - also nach außen - gerichteten Sicht einen Querschnitt auf die stromabwärtige Hälfte der Schaufelspitze 22 gemäß Schnittlinie E-E aus Figur 3.

[0047] Gemäß eines nicht weiter gezeigten zweiten Ausführungsbeispiels kann anstelle oder zusätzlich zur Versorgungspassage 31 ein schaufelfußseitiger Kanalabschnitt vorgesehen sein, welcher eine Verlängerung der ersten Kühlmittelpassage 32 bis zur Unterseite des Schaufelfußes 12 darstellen kann. In diesem schaufelfußseitigen Kanalabschnitt können entsprechend geeignete Drallerzeuger, beispielsweise Spiralrippen, vorgesehen sein, die den Kühlmittelstrom M1 bei der Durchströmung des schaufelfußseitigen Kanalabschnitts zyklonartig verdrallen. In diesem Fall wäre die erste Kühlmittelpassage 32 durch die vordere Stützrippe 66v von dem Verbindungskanal 55av getrennt, sodass in der vorderen Stützrippe 66v angeordnete Durchtrittsöffnung 33 eine Wiederauffrischung bzw. Verstärkung des Drallimpulses begünstigen könnten. Insofern kann es gegebenenfalls sogar sinnvoll sein, die beiden Kühlmittelströme M1 und M2 nicht gänzlich voneinander getrennt durch die Turbinenschaufel 10 zu führen, sondern in einem sehr geringen Umfang einen Austausch zuzulassen, indem an sehr wenigen Stellen einzelne Löcher mit vorzugsweise geringen Durchmessers die beiden ansonsten strömungstechnisch getrennten Kühlpfade miteinander verbunden sind.

[0048] Figur 9 zeigt lediglich schematisch eine Gasturbine 100 mit einem Verdichter 110, einer Brennkammer 120 sowie einer Turbineneinheit 130. An einem Rotor 140 der Gasturbine ist gemäß diesem Ausführungsbeispiel ein Generator 150 zur Stromerzeugung angekoppelt. Der Verdichter 110 ist derart ausgestaltet, dass er im Betrieb bei ISO-Normbedingungen ein Druckverhältnis von verdichteter Umgebungsluft VL zu angesaugter Umgebungsluft L von 19:1 oder größer erzeugen kann. In der Brennkammer 120 wird dann die verdichtete Luft VL mit einem Brennstoff F gemischt und zu einem Heißgas HG verbrannt. Brennkammer 120 und Turbineneinheit 130 sind derart ausgestaltet, dass das am Ausgang der Brennkammer 120 bzw. am Eintritt der Turbineneinheit 130 strömende Heißgas HG bei ISO-Norm-

bedingungen eine Temperatur von mindestens 1300°C aufweist, wobei die Lauf- und Leitschaufeln der ersten Turbinenstufe oder der zweiten Turbinenstufe in der hier beschriebenen Art und Weise ausgestaltet sind. Das in der Turbineneinheit 130 entspannte Heißgas HG verlässt dieses als Rauchgas RG.

[0049] Insgesamt wird mit der Erfindung eine Turbinenschaufel 10 mit einem Schaufelfuß 12 und einem Schaufelblatt 18 vorgeschlagen, welches sich entlang einer Spannweitenrichtung R von einem fußseitigen Ende 20 zu einer Schaufelspitze 22 und entlang einer zur Spannweitenrichtung R quer angeordneten Sehnenrichtung S von einer Vorderkante 24 zu einer Hinterkante 26 erstreckt, wobei im Inneren des Schaufelblatts 18 ein erster Kühlpfad 30 für einen ersten Kühlmittelstrom M1 und ein zweiter Kühlpfad 50 für einen zweiten Kühlmittelstrom M2 ausgestaltet sind, wobei der erste Kühlpfad 30 eine erste Kühlmittelpassage 32, die zu einer Zyklonkühlung der Vorderkante 24 eingerichtet ist und eine sich an die erste Kühlmittelpassage 32 anschließende zweite Kühlmittelpassage 34, die sich unterhalb der Schaufelspitze 22 von der Vorderkante 24 in Richtung der Hinterkante 26 erstreckt, umfasst, wobei der zweite Kühlpfad 50 eine Serpentina-Kühlmittelpassage 52 zur Kühlung eines in Sehnenrichtung hinter dem Vorderkantenbereich 39 angeordneten Mittelbereichs 48 des Schaufelblatts 18 und eine erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage 54 zur zumindest teilweisen Kühlung eines in Sehnenrichtung hinter dem Mittelbereich 48 angeordneten, bis zur Hinterkante reichenden Hinterkantenbereichs 59 des Schaufelblatts 18 umfasst, wobei die erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage 54 mit einer Vielzahl von ersten, in der Hinterkante 26 angeordneten Austrittslöchern 56 strömungstechnisch verbunden ist. Um eine Turbinenschaufel mit einem weiter reduzierten Kühlmittelverbrauch bereitzustellen wird vorgeschlagen, dass die erste Kühlmittelpassage 32 und/oder die Serpentina-Kühlmittelpassage 52 für eine lokal geschlossene Kühlung eingerichtet ist und der erste Kühlpfad 30 eine sich an die zweite Kühlmittelpassage 34 anschließende dritte Kühlmittelpassage 38, die sich hauptsächlich radial nach innen erstreckt sowie eine, sich an die dritte Kühlmittelpassage 38 anschließende zweite Hinterkanten-Kühlmittelpassage 44 umfasst, welche zur Kühlung einer schaufelspitzenseitigen Region des Hinterkantenbereichs 59 ausgestaltet ist und mit einer Vielzahl von zweiten, in der Hinterkante 26 angeordneten Austrittslöchern 46 strömungstechnisch verbunden ist.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (10) für eine insbesondere axial durchströmte Gasturbine, insbesondere für eine ihrer Hochdruck-Turbinenstufen,

mit einem Schaufelfuß (12) und einem eine druckseitige Seitenwand (14) und eine saugsei-

tige Seitenwand (16) umfassenden Schaufelblatt (18), welche Seitenwände (14, 16) sich entlang einer Spannweitenrichtung (R) von einem fußseitigen Ende (20) zu einer Schaufelspitze (22) und entlang einer zur Spannweitenrichtung (R) quer angeordneten Sehnenrichtung (S) von einer Vorderkante (24) zu einer Hinterkante (26) erstrecken,

wobei im Inneren des Schaufelblatts (18) ein erster Kühlpfad (30) für einen ersten Kühlmittelstrom (M_1) und ein vom ersten Kühlpfad (30) im Wesentlichen getrennter zweiter Kühlpfad (50) für einen zweiten Kühlmittelstrom (M_2) ausgestaltet sind,

wobei der erste Kühlpfad (30)

- eine erste Kühlmittelpassage (32), die zu einer Zyklonkühlung der Vorderkante (24) eingerichtet ist und

- eine sich an die erste Kühlmittelpassage (32) anschließende zweite Kühlmittelpassage (34), die sich unterhalb der Schaufelspitze (22) von der Vorderkante (24) in Richtung der Hinterkante (26) erstreckt,

umfasst, wobei der zweite Kühlpfad (50)

- eine Serpentina-Kühlmittelpassage (52) zur Kühlung eines in Sehnenrichtung hinter dem Vorderkantenbereich (39) angeordneten Mittelbereichs (48) des Schaufelblatts (18) und

- eine erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage (54) zur zumindest teilweisen Kühlung eines in Sehnenrichtung hinter dem Mittelbereich (48) angeordneten, bis zur Hinterkante reichenden Hinterkantenbereichs (59) des Schaufelblatts (18)

umfasst, wobei die erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage (54) mit einer Vielzahl von ersten, in der Hinterkante (26) angeordneten Austrittslöchern (56) strömungstechnisch verbunden ist, wobei

die erste Kühlmittelpassage (32) und/oder die Serpentina-Kühlmittelpassage (52) austrittslochfrei ist

und der erste Kühlpfad (30)

- eine sich an die zweite Kühlmittelpassage (34) anschließende dritte Kühlmittelpassage (38), die sich hauptsächlich radial nach innen erstreckt sowie

- eine, sich an die dritte Kühlmittelpassage (38) anschließende zweite Hinterkanten-Kühlmittelpassage (44), welche zur Kühlung einer schaufelspitzenseitigen Region des Hinterkantenbereichs (59) ausgestaltet

ist und mit einer Vielzahl von zweiten, in der Hinterkante (26) angeordneten Austrittslöchern (46) strömungstechnisch verbunden ist,

umfasst.

2. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 1, bei der in der Schaufelspitze (22) ein oder mehrere Austrittslöcher (67) für Kühlmittel angeordnet sind, die mit der zweiten Kühlmittelpassage (34) strömungstechnisch verbunden sind.

3. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 1 oder 2, bei der der erste Kühlpfad (30) eine Versorgungspassage (31) für die erste Kühlmittelpassage (32) umfasst, die

- unmittelbar neben der ersten Kühlmittelpassage (32) angeordnet

- sich zumindest über einen Großteil der Spannweite des Schaufelblatts (18) erstreckend

- über eine Vielzahl von Durchtrittsöffnungen (33) mit der ersten Kühlmittelpassage (32) strömungstechnisch verbunden ist, wobei die Durchtrittsöffnungen (33) Mittel aufweisen, um dem in der ersten Kühlmittelpassage (32) strömenden Kühlmittel (M_1) einen Drall aufzuprägen.

4. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 3, bei der eine in Spannweitenrichtung (R) ermittelbare Dichte an Durchtrittsöffnungen (33) am fußseitigen Ende (20) am größten ist, und vorzugsweise zur Schaufelspitze (22) hin schrittweise oder kontinuierlich abnimmt.

5. Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der in jeder Hinterkanten-Kühlmittelpassage (44, 54) eine Vielzahl von in einem Muster angeordneten Sockeln (53) vorgesehen ist.

6. Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der zwei die zweite Kühlmittelpassage (34) erweiternde, Kühlkanalarne (36a, 36b) vorgesehen sind, die mit zunehmender Erstreckung in Sehnenrichtung sich nach radial innen aufweiten und in der dritten Kühlmittelpassage (38) münden.

7. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 6, bei der zwischen der zweiten Kühlmittelpassage (34) und der Serpentina-Kühlmittelpassage (52) eine Trennwand (60) angeordnet ist, die die beiden Seitenwände (14, 16) miteinander verbindet und sich in Sehnenrichtung (S) erstreckt, wobei die Trennwand (60) mit zunehmender Annäherung zur Hinterkante

- (26) einen vorzugsweise spitz zulaufenden Verdrängungskeil (62) ausbildet, der in Verbindung mit den Innenflächen der beiden Seitenwände (14, 16) die zwei Kühlkanalarms (36a, 36b) seitlich begrenzt.
8. Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der zwischen der dritten Kühlmittelpassage (38) und der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage (44) eine sich in Spannweitenrichtung (R) erstreckende hintere Trennrippe (49h) vorgesehen ist.
9. Turbinenschaufel nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der die Hinterkante (26) eine normierte Höhe von 100%, beginnend an ihrem fußseitigen Ende (20) bei 0% und endend an der Schaufelspitze (22) bei 100 %, aufweist, und bei der die beiden Hinterkanten-Kühlmittelpassagen (44, 54) von einer sich hauptsächlich in Sehnenrichtung (S) erstreckenden Trennrippe (64) voneinander getrennt sind, die auf einer Höhe zwischen 45% und 75% der normierten Höhe angeordnet ist.
10. Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der die Serpentin-Kühlmittelpassage (52) zumindest zwei sich in Spannweitenrichtung erstreckende Kanalabschnitte (55a, 55b) und zumindest zwei Umkehrabschnitte (57a, 57b) umfasst, wobei der im Kühlmittelstrom weiter stromab gelegene Umkehrabschnitt (57b) mit der ersten Hinterkanten-Kühlmittelpassage (54) unmittelbar strömungstechnisch verbunden ist.
11. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 10, bei der die beiden Kanalabschnitte (55a, 55b) mittels eines Verdrängungskörpers (70) und mittels der beiden Seitenwände (14, 16) in einer Querschnittsbetrachtung des Schaufelblatts (18) im Wesentlichen jeweils C-förmig mit einem saugseitigen Kanalarms (55as, 55bs), einem druckseitigen Kanalarms (55ad, 55bd) und einem die beiden Kanalarms verbindenden Verbindungsarm (55av, 55bv) ausgestaltet und derart zueinander angeordnet sind, dass sie den Verdrängungskörper (70) nahezu vollständig umgeben.
12. Turbinenschaufel nach Anspruch 11, bei der der Verdrängungskörper (70) in einer Querschnittsbetrachtung einen Hohlraum (72) umgreift und über Stege (71) an den beiden Seitenwänden (14, 16) abgestützt ist.
13. Turbinenschaufel (10) nach einem der Ansprüche 11 oder 12, bei der die Serpentin-Kühlmittelpassage (52) von zumindest einer, vorzugsweise von zwei die druckseitige Seitenwand (14) mit der saugseitigen Seitenwand (16) verbindenden Stützrippen (66h, 66v) begrenzt ist, welche sich vom fußseitigen Ende zur Schaufelspitze hin erstrecken und bei der vorzugsweise auf der Stützrippe (66v, 66h) bzw. an den die Verbindungsarme (55av, 55bv) begrenzenden Innenflächen des Verdrängungskörpers (70) Elemente, vorzugsweise Turbulatoren, vorgesehen sind, die eine Querströmung von Kühlmittel aus dem saugseitigen Kanalarms (55as, 55bs) durch den Verbindungsarm (55av, 55bv) in den druckseitigen Kanalarms (55ad, 55bd) reduzieren.
14. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 12 oder 13, bei der der Hohlraum (72) nicht von Kühlmittel (M) durchströmbar ist und insbesondere keine Austrittsöffnung für Kühlmittel (M) aufweist (Totwasser-Hohlraum).
15. Turbinenschaufel (10) nach einem der Ansprüche 12 bis 14, die gegossen ist und bei der eine nach dem Gießen der Turbinenschaufel im Schaufelfuß (12) vorhandene Öffnung (74a), die mit dem Hohlraum (72) in direkter Verbindung steht, von einer separat hergestellten Abdeckplatte (76a) verschlossen ist.
16. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 14, die gegossen ist.
17. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 15 oder 16, bei der eine nach dem Gießen der Turbinenschaufel im Schaufelfuß (12) vorhandene Öffnung (74b), die mit der ersten Hinterkanten-Kühlmittelpassage (54) in direkter Verbindung steht, von einer separat hergestellten Abdeckplatte (76b) verschlossen ist.
18. Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der für jeden Kühlpfad (30, 50) ein oder mehrere Einlässe (80) vorgesehen sind, die mit der ersten Kühlmittelpassage (32) bzw. der Versorgungspassage (31) oder mit der Serpentin-Kühlmittelpassage (52) bzw. einem ihrer Kanalabschnitte (55a) unmittelbar strömungstechnisch verbunden sind.
19. Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, mit einem Schaufelblatt-Aspektverhältnis HSP/SL von einer Hinterkanten-Spannweite (HSP) bezogen auf eine am fußseitigen Ende zu erfassenden Sehnenlänge (SL), welches 3,0 oder kleiner ist.
20. Verwendung einer Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche in einer ersten oder zweiten Turbinenstufe einer stationären Gasturbine mit einer bei ISO-Nennbetrieb auftretenden Turbineneintrittstemperatur von mindestens 1300°C und/oder mit einem bei ISO-Nennbetrieb auftretenden

den Verdichterdruckverhältnis von 19:1 oder größer.

Claims

1. Turbine blade (10) for a gas turbine which is flowed through in particular axially, in particular for one of the highpressure turbine stages thereof,

having a blade root (12) and a blade airfoil (18) comprising a pressure-side side wall (14) and a suction-side side wall (16), which side walls (14, 16) extend along a spanwise direction (R) from a root-side end (20) to a blade tip (22) and along a chordwise direction (S), which is oriented transversely to the spanwise direction (R), from a leading edge (24) to a trailing edge (26), wherein, in the interior of the blade airfoil (18), a first cooling path (30) for a first coolant stream (M_1) and a second cooling path (50), substantially separated from the first cooling path (30), for a second coolant stream (M_2) are formed, wherein the first cooling path (30) comprises

- a first coolant passage (32), which is configured for cyclone cooling of the leading edge (24), and
- a second coolant passage (34), which adjoins the first coolant passage (32) and extends below the blade tip (22) from the leading edge (24) in the direction of the trailing edge (26),

wherein the second cooling path (50) comprises

- a serpentine coolant passage (52) for cooling of a middle region (48) of the blade airfoil (18), which middle region is arranged behind the leading-edge region (39) in the chordwise direction, and
- a first trailing-edge coolant passage (54) for at least partial cooling of a trailing-edge region (59) of the blade airfoil (18), which trailing-edge region is arranged behind the middle region (48) in the chordwise direction and extends as far as the trailing edge,

wherein the first trailing-edge coolant passage (54) is connected in terms of flow to a multiplicity of first exit holes (56) arranged in the trailing edge (26),

wherein

the first coolant passage (32) and/or the serpentine coolant passage (52) are/is free of exit holes

and the first cooling path (30) comprises

- a third coolant passage (38), which adjoins

the second coolant passage (34) and extends mainly radially inwardly, and

- a second trailing-edge coolant passage (44), which adjoins the third coolant passage (38) and is configured for cooling of a blade-tip-side region of the trailing-edge region (59) and is connected in terms of flow to a multiplicity of second exit holes (46) arranged in the trailing edge (26).

2. Turbine blade (10) according to Claim 1, in which one or more exit holes (67) for coolant are arranged in the blade tip (22) and are connected in terms of flow to the second coolant passage (34).

3. Turbine blade (10) according to Claim 1 or 2, in which the first cooling path (30) comprises a supply passage (31) for the first coolant passage (32), which,

- in a manner arranged directly adjacent to the first coolant passage (32) and
- extending at least over a major part of the span width of the blade airfoil (18),
- is connected in terms of flow to the first coolant passage (32) via a multiplicity of passage openings (33), wherein the passage openings (33) have means for imparting swirl to the coolant (M_1) flowing in the first coolant passage (32).

4. Turbine blade (10) according to Claim 3, in which a density, ascertainable in the spanwise direction (R), of passage openings (33) is greatest at the root-side end (20), and preferably decreases in a stepped manner or continuously toward the blade tip (22).

5. Turbine blade (10) according to one of the preceding claims, in which a multiplicity of pedestals (53) arranged in a pattern is provided in each trailing-edge coolant passage (44, 54).

6. Turbine blade (10) according to one of the preceding claims, in which provision is made of two cooling-channel arms (36a, 36b), which widen the second coolant passage (34) and, with increasing extent in the chordwise direction, expand radially inward and open out in the third coolant passage (38).

7. Turbine blade (10) according to Claim 6, in which a separating wall (60) is arranged between the second coolant passage (34) and the serpentine coolant passage (52) and connects the two side walls (14, 16) to one another and extends in the chordwise direction (S), wherein, with progressively closer proximity to the trailing edge (26), the sepa-

- rating wall (60) forms a displacement wedge (62) which narrows preferably to a point and which, in conjunction with the inner surfaces of the two side walls (14, 16), laterally delimits the two cooling-channel arms (36a, 36b).
8. Turbine blade (10) according to one of the preceding claims,
in which a rear separating rib (49h) is provided between the third coolant passage (38) and the second trailing-edge coolant passage (44) and extends in the spanwise direction (R) .
9. Turbine blade according to one of the preceding claims,

in which the trailing edge (26) has a normalized height of 100%, beginning at its root-side end (20) at 0% and ending at the blade tip (22) at 100%, and
in which the two trailing-edge coolant passages (44, 54) are separated from one another by a separating rib (64) which extends mainly in the chordwise direction (S) and which is arranged at a height of between 45% and 75% of the normalized height.
10. Turbine blade (10) according to one of the preceding claims,
in which the serpentine coolant passage (52) comprises at least two channel sections (55a, 55b), extending in the spanwise direction, and at least two reversal sections (57a, 57b), wherein the reversal section (57b) situated further downstream in the coolant stream is connected in terms of flow directly to the first trailing-edge coolant passage (54).
11. Turbine blade (10) according to Claim 10,
in which the two channel sections (55a, 55b), by means of a displacement body (70) and by means of the two side walls (14, 16), are, in a cross-sectional view of the blade airfoil (18), each of substantially C-shaped form with a suction-side channel arm (55as, 55bs), a pressure-side channel arm (55ad, 55bd) and a connecting arm (55av, 55bv) connecting the two channel arms and are arranged in relation to one another in such a way that they almost completely surround the displacement body (70).
12. Turbine blade according to Claim 11,
in which the displacement body (70), in a cross-sectional view, reaches around a cavity (72) and is supported via webs (71) against the two side walls (14, 16).
13. Turbine blade (10) according to either of Claims 11 and 12, in which the serpentine coolant passage (52) is delimited by at least one, preferably by two, support ribs (66h, 66v), which connect the pressure-side side wall (14) to the suction-side side wall (16) and extend from the root-side end toward the blade tip and at which provision is made, preferably on the support rib (66v, 66h) or on the inner surfaces, delimiting the connecting arms (55av, 55bv), of the displacement body (70), of elements, preferably turbulators, which reduce a transverse flow of coolant from the suction-side channel arm (55as, 55bs) into the pressure-side channel arm (55ad, 55bd) through the connecting arm (55av, 55bv).
14. Turbine blade (10) according to Claim 12 or 13,
in which the cavity (72) cannot be flowed through by coolant (M) and in particular has no exit opening for coolant (M) (dead-water cavity).
15. Turbine blade (10) according to one of Claims 12 to 14, which turbine blade is cast, and in which an opening (74a) which is present in the blade root (12) after the casting of the turbine blade and which is connected directly to the cavity (72) is closed off by a separately produced cover plate (76a).
16. Turbine blade according to one of Claims 1 to 14, which turbine blade is cast.
17. Turbine blade (10) according to Claim 15 or 16,
in which an opening (74b) which is present in the blade root (12) after the casting of the turbine blade and which is connected directly to the first trailing-edge coolant passage (54) is closed off by a separately produced cover plate (76b).
18. Turbine blade (10) according to one of the preceding claims,
in which, for each cooling path (30, 50), provision is made of one or more inlets (80) which are connected in terms of flow directly to the first coolant passage (32) or the supply passage (31) or to the serpentine coolant passage (52) or one of the channel sections (55a) thereof.
19. Turbine blade (10) according to one of the preceding claims,
having a blade-airfoil aspect ratio HSP/SL of a trailing-edge span width (HSP) to a chord length (SL) to be measured at the root-side end that is 3.0 or less.
20. Use of a turbine blade (10) according to one of the preceding claims in a first or second turbine stage of a stationary gas turbine, having a turbine-entry temperature, occurring during nominal operation under ISO conditions, of at least 1300°C and/or having a compressor pressure ratio, occurring during nominal operation under ISO conditions, of 19:1 or greater.

Revendications

1. Aube (10) de turbine pour une turbine à gaz parcouru en particulier axialement, en particulier pour l'un de ses étages de turbine de haute pression,

comprenant une emplanture (12) d'aube et un corps (18) d'aube comprenant une paroi (14) latérale d'intrados et une paroi (16) latérale d'extrados, lesquelles parois (14, 16) latérales s'étendent suivant une envergure (R) d'une extrémité (20) du côté de l'emplanture à une pointe (22) d'aube et suivant une direction (S) de corde disposée transversalement à la direction (R) d'envergure d'un bord (24) avant à un bord (26) arrière, dans laquelle à l'intérieur du corps (18) de l'aube sont conformés un premier chemin (30) de refroidissement d'un premier courant (M_1) de réfrigérant et un deuxième chemin (50) de refroidissement, sensiblement distinct du premier chemin (30) de refroidissement, d'un deuxième courant (M_2) de réfrigérant, dans lequel le premier chemin (30) de refroidissement comprend,

- un premier passage (32) de réfrigérant qui est agencé pour un refroidissement à cyclone du bord (24) avant et,
- un deuxième passage (34) de réfrigérant qui se raccorde au premier passage (32) de réfrigérant et qui s'étend en-dessous de la pointe (22) de l'aube du bord (24) avant en direction du bord (26) arrière,

dans lequel le deuxième chemin (50) de refroidissement comprend,

- un passage (52) de réfrigérant en serpentin pour le refroidissement d'une partie (48) médiane, disposée dans la direction de corde derrière la partie (39) de bord avant, du corps (18) de l'aube et
- un premier passage (54) de réfrigérant de bord arrière pour le refroidissement au moins en partie d'une partie (59) de bord arrière du corps (18) de l'aube, disposée dans la direction de corde derrière la partie (48) médiane et allant jusqu'au bord arrière,

dans laquelle le premier passage (54) de réfrigérant de bord arrière communique en technique d'écoulement avec une pluralité de premiers trous (56) de sortie disposés dans le bord (26) arrière, dans lequel le premier passage (32) de réfrigérant et/ou le passage (52) de réfrigérant en serpentin est

sans trou de sortie et le premier chemin (30) de refroidissement comprend

- un troisième passage (38) de réfrigérant, qui se raccorde au deuxième passage (34) de réfrigérant et qui s'étend principalement radialement vers l'intérieur, ainsi que
- un deuxième passage (44) de réfrigérant de bord arrière, qui se raccorde au troisième passage (38) de réfrigérant et qui est conformé pour le refroidissement d'une région, du côté de la pointe de l'aube, de la partie (59) de bord arrière et qui communique en technique d'écoulement avec une pluralité de deuxièmes trous (46) de sortie disposés dans le bord (26) arrière.

2. Aube (10) de turbine suivant la revendication 1, dans laquelle dans la pointe (22) de l'aube sont disposés un ou plusieurs trous (67) de sortie de réfrigérant, qui communique en technique d'écoulement avec le deuxième passage (34) de réfrigérant.

3. Aube (10) de turbine suivant la revendication 1 ou 2, dans laquelle le premier chemin (30) de refroidissement comprend un passage (31) d'alimentation du premier passage (32) de réfrigérant, qui

- est disposé directement à côté du premier passage (32) de réfrigérant
- s'étend au moins sur une grande partie de l'envergure du corps (18) de l'aube
- communique en technique d'écoulement par une pluralité d'ouvertures (33) de passage avec le premier passage (32) de réfrigérant, les ouvertures (33) de passage ayant des moyens pour imprimer un tourbillonnement au réfrigérant (M_1) s'écoulant dans le premier passage (32) de réfrigérant.

4. Aube (10) de turbine suivant la revendication 3, dans laquelle une étanchéité pouvant être déterminée dans la direction (R) d'envergure est la plus grande aux ouvertures (33) de passage à l'extrémité (20) du côté de l'emplanture et de préférence diminue par palier ou d'une manière continue vers la pointe (22) de l'aube.

5. Aube (10) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, dans laquelle il est prévu dans chaque passage (44, 54) de réfrigérant de bord arrière une pluralité de dés (53) disposés suivant un motif.

6. Aube (10) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, dans laquelle il est prévu deux bras (36a, 36b) de canal de refroidissement, qui élargissent le deuxiè-

me passage (34) de réfrigérant, qui s'élargissent vers l'intérieur radialement au fur et à mesure qu'ils s'étendent dans la direction de corde et qui débouchent dans le troisième passage (38) de réfrigérant.

7. Aube (10) de turbine suivant la revendication 6, dans laquelle entre le deuxième passage (34) de réfrigérant et le passage (52) en serpentin est disposée une cloison (60), qui relie entre elles les deux parois (14, 16) latérales et qui s'étend dans la direction (S) de corde, dans laquelle la cloison (60) forme au fur et à mesure du rapprochement du bord (26) intérieur un coin (62) de déplacement, de préférence en pointe, qui, en liaison avec les surfaces intérieures des deux parois (14, 16) latérales, délimite latéralement les deux bras (36a, 36b) de canal de refroidissement.
8. Aube (10) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, dans laquelle il est prévu une nervure (49h) de séparation arrière s'étendant dans la direction (R) d'envergure entre le troisième passage (38) de réfrigérant et le deuxième passage (44) de réfrigérant de bord arrière.
9. Aube de turbine suivant l'une des revendications précédentes, dans laquelle le bord (26) arrière a une hauteur normée de 100%, commençant à son extrémité (20) du côté de l'implanture à 0% et se terminant à la pointe (22) de l'aube à 100% et, dans laquelle les deux passages (44, 54) de réfrigérant de bord arrière sont séparés l'un de l'autre par une nervure (64) de séparation, qui s'étend principalement dans la direction (S) de corde et qui est disposée à une hauteur comprise entre 45% et 75% de la hauteur normée.
10. Aube (10) de turbine sur l'une des revendications précédentes, dans laquelle le passage (52) de réfrigérant en serpentin comprend au moins deux tronçons (55a, 55b) de canal s'étendant dans la direction d'envergure et au moins deux tronçons (57a, 57b) de retour, dans laquelle le tronçon (57b) de retour plus loin en aval dans le courant de réfrigérant communique en technique d'écoulement directement avec le premier passage (54) de réfrigérant de bord arrière.
11. Aube (10) de turbine suivant la revendication 10, dans laquelle les deux tronçons (55a, 55b) de canal sont conformés au moyen d'un corps (70) de déplacement et au moyen des deux parois (14, 16) latérales, considéré en section transversale du corps (18) de l'aube, sensiblement chacun en forme de C en ayant un bras (55as, 55bs) de canal du côté d'ex-

trados et un bras (55ad, 55bd) de liaison reliant les deux bras de canal (55av, 55bv) et sont disposés l'un par rapport à l'autre de manière à entourer à peu près complètement le corps (70) de déplacement.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

12. Aube de turbine suivant la revendication 11, dans laquelle le corps (70) de déplacement enveloppe, considéré en section transversale, une cavité (72) et, est appuyé par des entretoises (71) sur les deux parois (14, 16) latérales.
13. Aube (10) de turbine suivant l'une des recommandations 11 ou 12, dans laquelle, le passage (52) de réfrigérant en serpentin est délimité par au moins une, de préférence par deux, nervures (66h, 66v) d'appui reliant la paroi (14) latérale d'intrados à la paroi (16) latérale d'extrados, nervures qui s'étendent de l'extrémité du côté de l'implanture à la pointe de l'aube et dans laquelle de préférence il est prévu sur les nervures (66v, 66h) d'appui ou sur les surfaces intérieures, délimitant les bras (55av, 55bv) de liaison, du corps (70) de déplacement, des éléments, de préférence des dispositifs de turbulence, qui réduisent un écoulement transversal de réfrigérant du bras (55as, 55bs) de canal extrados au bras (55ad, 55bd) de canal d'intrados par le bras (55av, 55bv) de liaison.
14. Aube (10) de turbine suivant la revendication 12 ou 13, dans laquelle il ne peut pas passer du réfrigérant (M) dans la cavité (72) et en particulier elle n'a pas d'ouverture de sortie pour du réfrigérant (M) (cavité d'eau morte).
15. Aube (10) de turbine suivant l'une des revendications 12 à 14, qui est coulée et dans laquelle une ouverture (74a), qui est présente dans l'implanture (12) de l'aube après la coulée de l'aube de turbine et qui est en communication directe avec la cavité (72), est fermée par une plaque (76a) de recouvrement fabriquée séparément.
16. Aube de turbine suivant l'une des revendications 1 à 14, qui est coulée.
17. Aube (10) de turbine suivant les revendications 15 ou 16, dans laquelle une ouverture (74b), qui est présente dans l'implanture (12) de l'aube après la coulée de l'aube de turbine et qui est en communication directe avec le premier passage (54) de réfrigérant de bord arrière, est fermée par une plaque (76b) de recouvrement fabriquée séparément.
18. Aube (10) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, dans laquelle pour chaque chemin (30, 50) de refroidissement sont prévus une ou plusieurs entrées (80), qui communiquent directe-

ment en technique d'écoulement avec le premier passage (32) de réfrigérant et respectivement le passage (31) d'alimentation ou avec le passage (52) de réfrigérant en serpentin et respectivement l'un de ses tronçons (55a) de canal.

5

19. Aube (10) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, ayant un rapport HSP/SL d'aspect de corps d'aube d'une envergure (HSP) de bord arrière, rapportée à une longueur (SL) de corde à prendre à l'extrémité du côté de l'implanture, qui est inférieur ou égal à 3,0. 10
20. Utilisation d'une aube (10) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, dans un premier ou un deuxième étage de turbine d'une turbine à gaz fixe, ayant une température d'entrée de turbine se produisant lors d'un fonctionnement nominal ISO d'au moins 1300°C et/ou ayant un rapport de pression de compresseur se produisant à un fonctionnement nominal ISO supérieur ou égal à 19:1. 15 20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

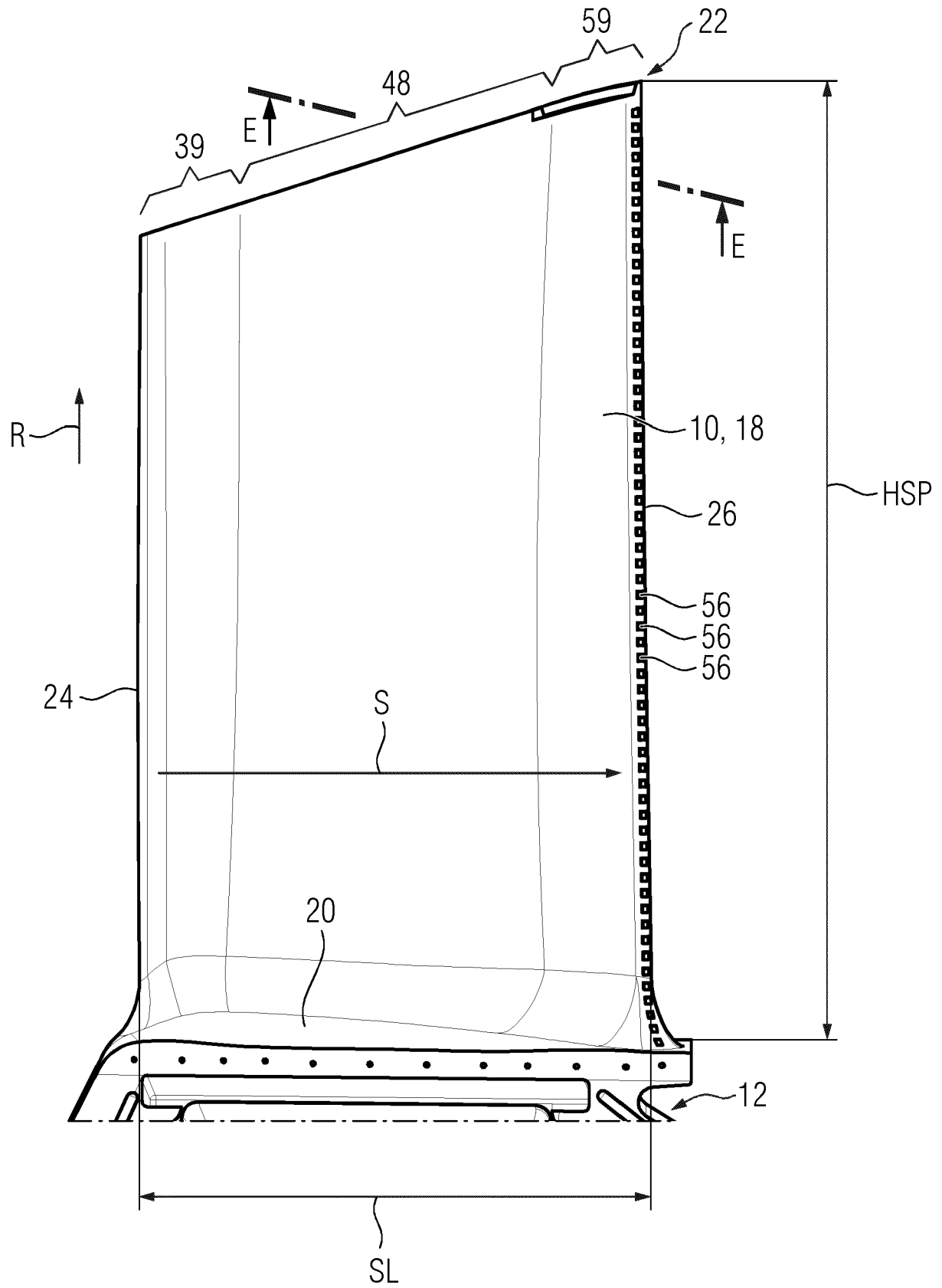


FIG 2

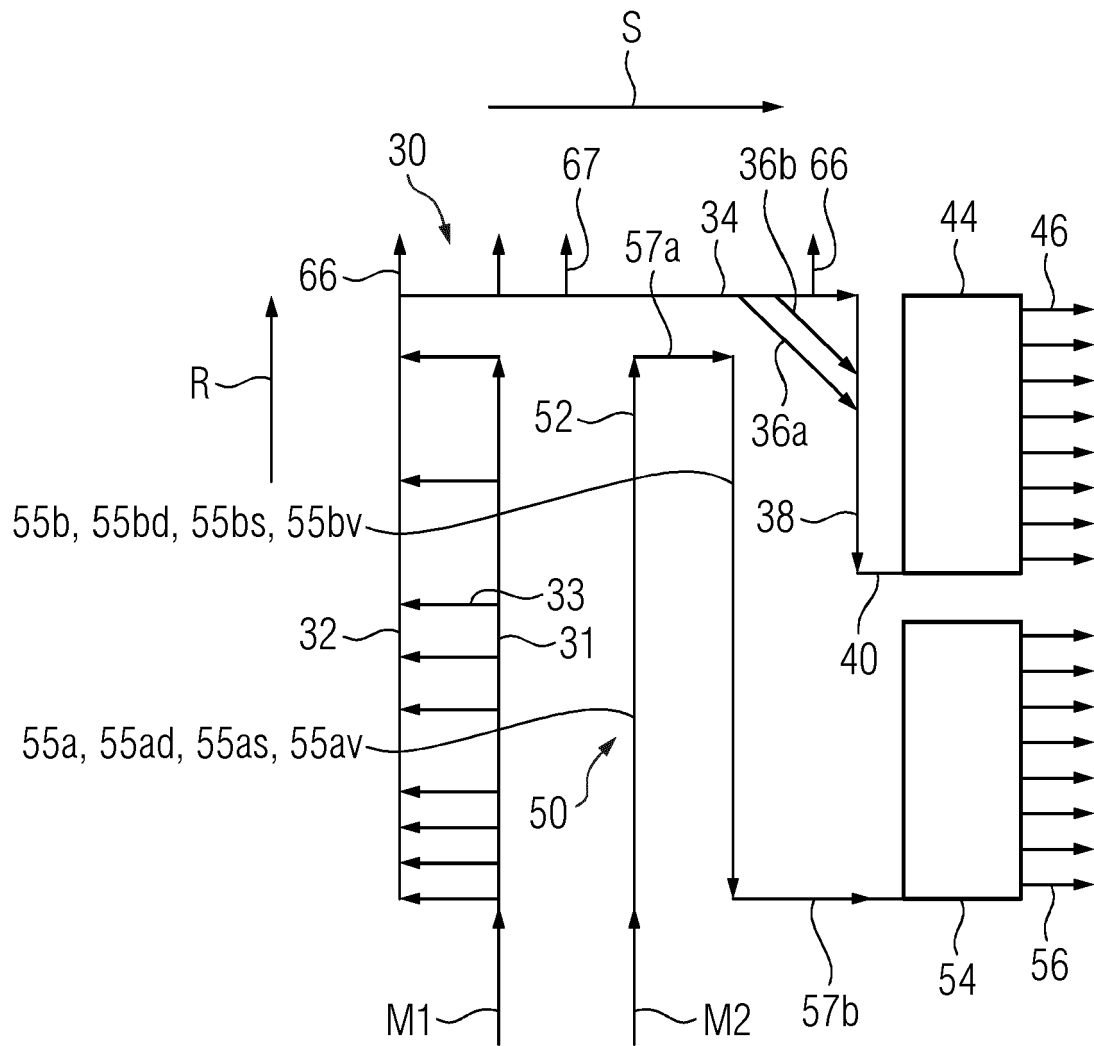


FIG 3

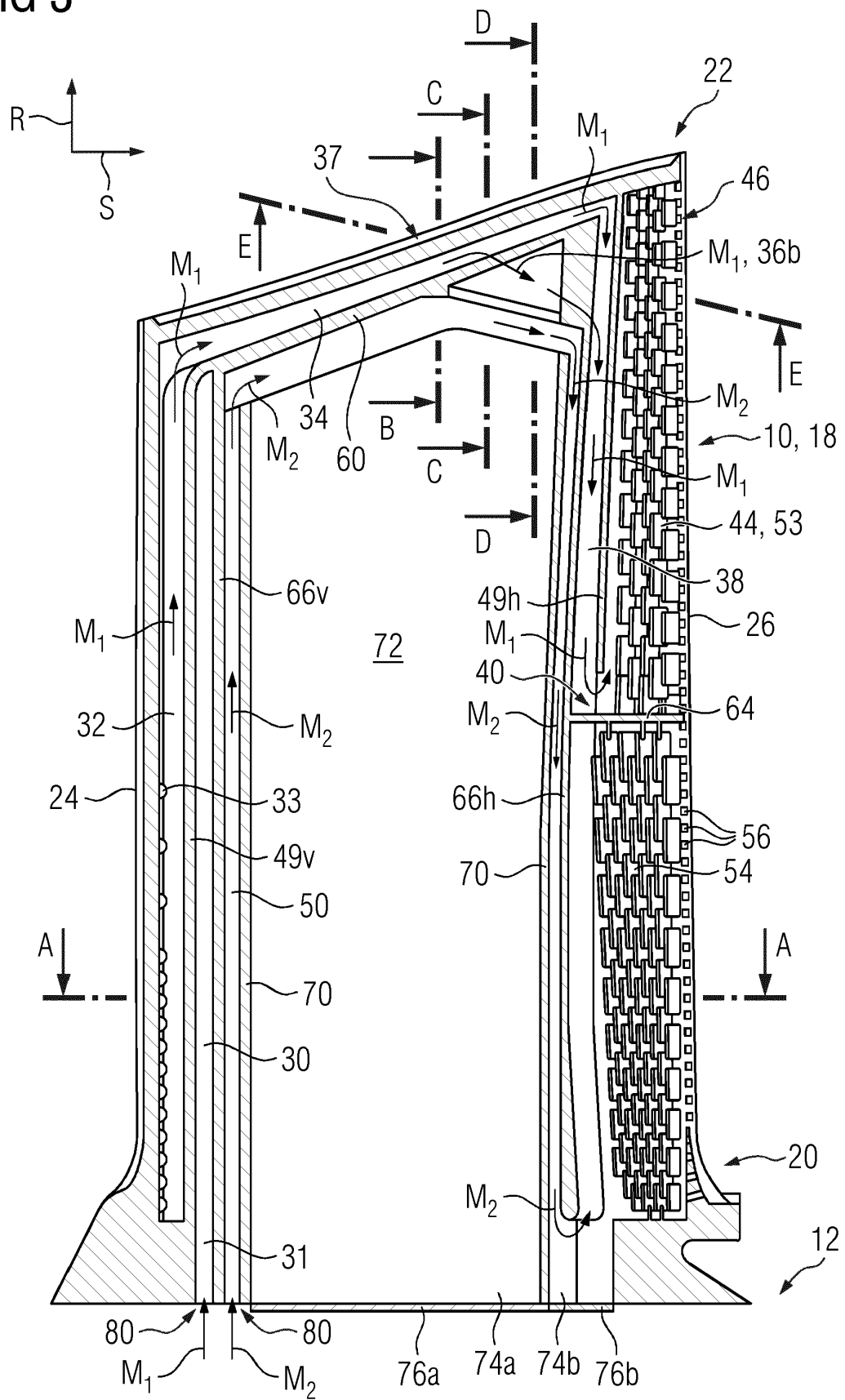


FIG 4

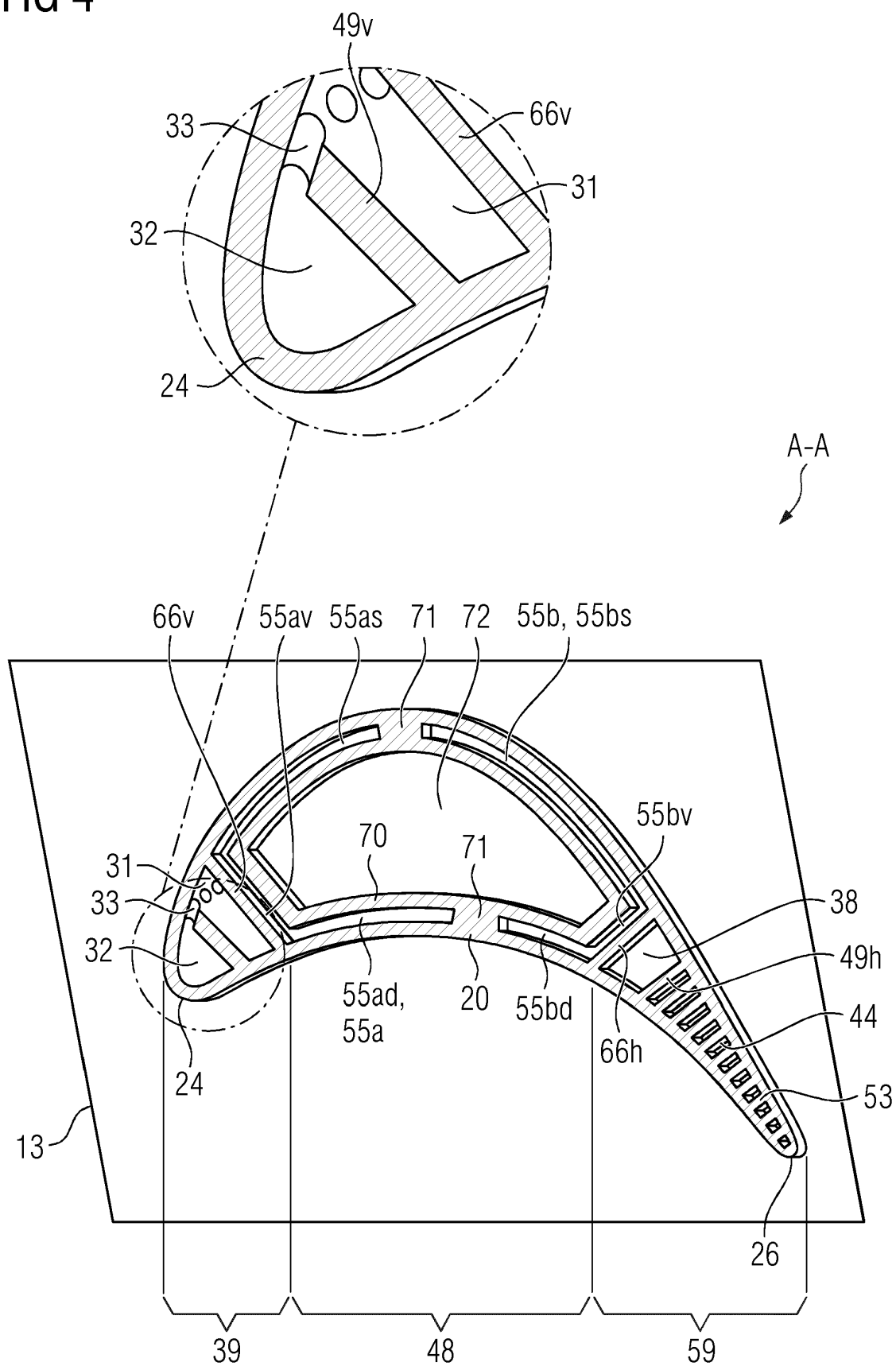


FIG 5

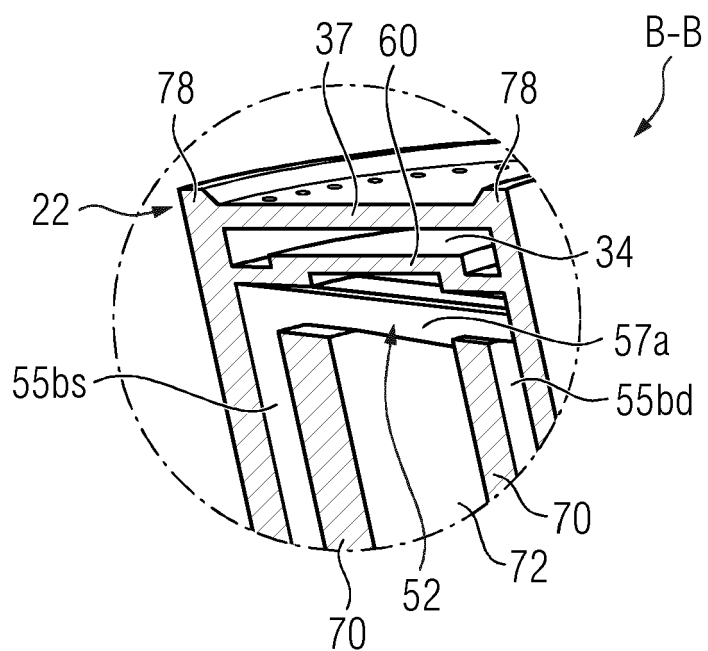


FIG 6

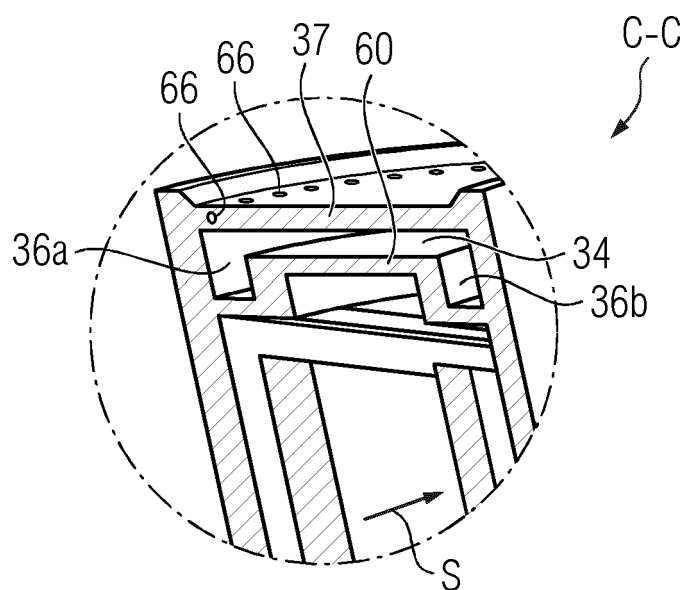


FIG 7

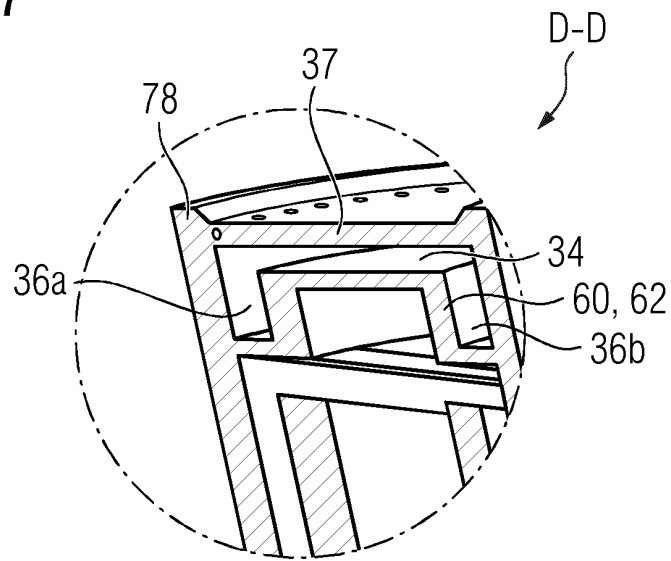


FIG 8

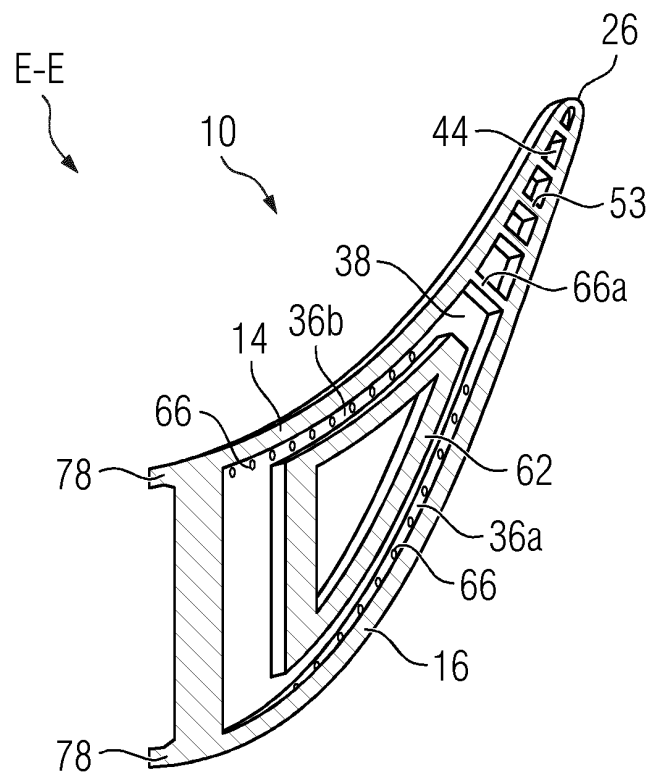
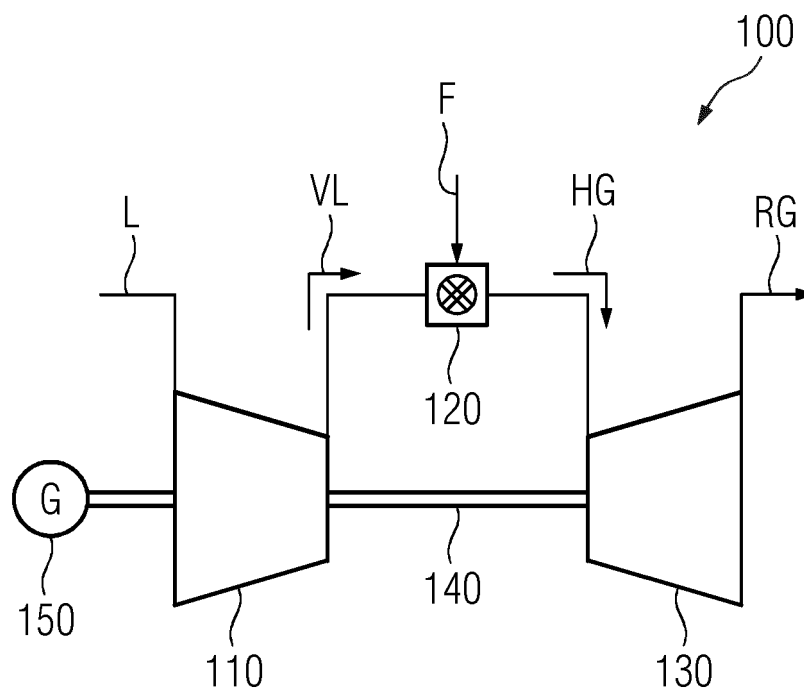


FIG 9



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 199615358 A1 **[0002]**
- WO 2017039571 A1 **[0003]**
- EP 1783327 A2 **[0003]**
- US 20100239431 A1 **[0003]**