

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
25. Mai 2001 (25.05.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/36791 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F01D 5/18**

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP00/10947**

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. November 2000 (06.11.2000)

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(30) Angaben zur Priorität:
99122757.0 16. November 1999 (16.11.1999) **EP**

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LIEBE, Roland**
[DE/DE]; Frohnkamp 22/Gartenhaus, 40789 Monheim
(DE). **HÖLL, Harald** [DE/DE]; Wolfgrabenstrasse 56,
63607 Wächtersbach (DE). **WALZ, Günther** [DE/DE];
Winkhauser Weg 41B, 45473 Mülheim (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): **CN, IN, JP, US.**

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

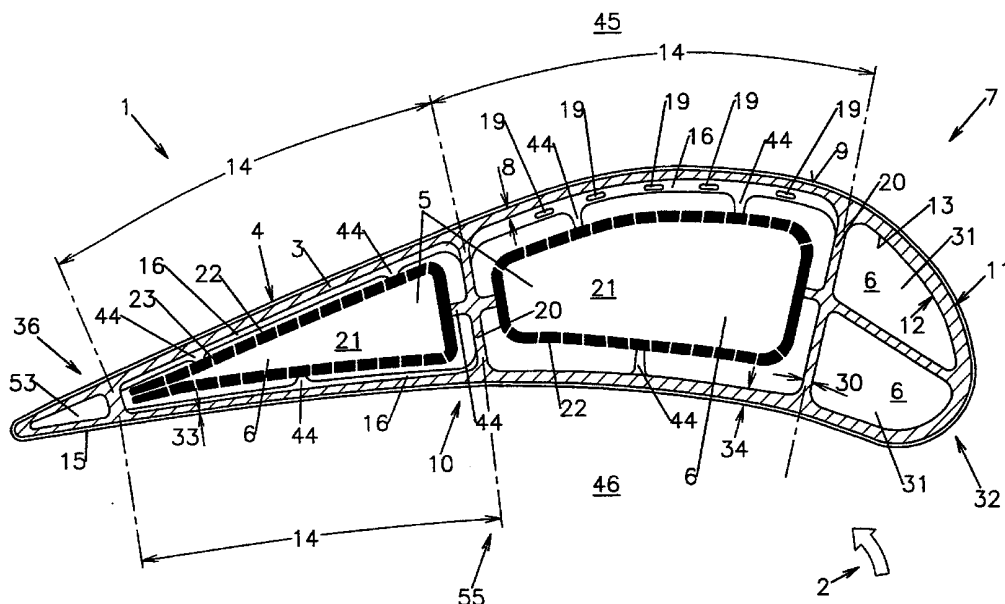
Veröffentlicht:

— Mit internationalem Recherchenbericht.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **TURBINE BLADE AND METHOD FOR PRODUCTION THEREOF**

(54) Bezeichnung: **TURBINENSCHAUFEL SOWIE VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER TURBINENSCHAUFEL**



(57) Abstract: The aim of the invention is to produce a turbine blade (1), comprising an outer wall (4), surrounding a hollow cavity, through which a cooling fluid (6) flows and which has an increased life expectancy, even under heavy loading and is simple to produce. The aim of the invention is achieved, whereby the thickness (8) of the outer wall (4), at least over an extent of the blade leading-edge region (7), is such that, at least in pre-determined areas of the external wall (4), pre-determined temperature thresholds (T_M) and/or pre-determined temperature gradients (ΔT_M) are not exceeded.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/36791 A1



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Um eine Turbinenschaufel (1), die einen Hohlraum umgebende Aussenwand (4) hat, der von einem Kühlfluid (6) durchströmt ist, zu erhalten, wobei sie eine verlängerte Lebensdauer auch unter sehr hohen Belastungen besitzt und mit geringem Aufwand herzustellen ist, wird vorgeschlagen, dass die Dicke (8) der Aussenwand (4) zumindest über einen Umfang des Schaufelblattbereichs (7) so eingestellt ist, dass zumindest an vorbestimmten Stellen der Aussenwand (4) vorbestimmte Temperaturschwellenwerte (T_M) und/oder vorbestimmte Temperaturgradienten (ΔT_M) nicht überschritten werden.

Turbinenschaufel sowie Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel

5 Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel, insbesondere Gasturbinenschaufel, die eine von einem heißen Aktionsfluid angeströmte Außenwand hat, die einen gegebenenfalls mehrteiligen Hohlraum umgibt, der von einem Kühlfluid durchströmt ist, wobei die Außenwand über den Umfang des Schaufelblattbereichs in einem Querschnitt durch den Schaufelblattbereich der Turbinenschaufel unterschiedlich dick ist, sowie ein Verfahren zur Herstellung einer gegossenen Turbinenschaufel, insbesondere Gasturbinenschaufel, nach dem Oberbegriff von Anspruch 27.

15

Zur Erzielung hoher Wirkungsgrade und Leistungen beim Betrieb einer mit einem Aktionsfluid, insbesondere einem heißen Gas, betriebenen Turbine, insbesondere einer Gasturbine, wird das Aktionsfluid auf eine hohe Temperatur aufgeheizt. Die vom heißen Aktionsfluid zuerst angeströmten Leit- und Laufschaufeln werden deshalb zur Vermeidung von Schädigungen intern gekühlt, insbesondere mittels Durchströmung eines Kühlfluids, beispielsweise eines Kühlgases oder eines leicht überhitzten Kühleampfes.

25

US-Patent 5,320,483 offenbart, wie das Kühlfluid in Form von Kühleampf in einem geschlossenen Kreislauf in die Turbinenschaufel eingeleitet wird und nach dem Durchströmen eines mit verschiedenen Strömungskammern und Innenwänden ausgestatteten, innenliegenden Hohlraums der Turbinenschaufel wieder herausgeführt wird. Der Hohlraum ist von der Außenwand der Turbinenschaufel umgeben, die von dem heißen Aktionsfluid der Turbine angeströmt ist. Die Außenwand weist eine im wesentlichen konstante Dicke über eine Betrachtung eines Querschnitts durch den Schaufelblattbereich auf. Trotz der Ausbildung von komplexen und recht aufwendig herzustellenden Kanälen und Turbulaturen innerhalb des Hohlraums der Turbinenschaufel ist

35

es bei dieser Art der Ausbildung einer Turbinenschaufel jedoch nicht gewährleistet, daß die Kühlung überall homogen und in dem erforderlichen Maße stattfindet, was die Lebensdauer der Schaufel stark herabsetzt.

5

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine innengekühlte Turbinenschaufel mit den oben genannten Merkmalen anzugeben, die eine gegenüber üblichen Turbinenschaufeln verlängerte Lebensdauer auch unter sehr hohen Belastungen besitzt, mit geringem Aufwand herzustellen ist, sowie in einer Turbine hohe Leistungs- und Wirkungsgrade bei niedrigen NO_x-Emissionen ermöglicht sowie - als Unteraufgabe - ein hierfür geeignetes Herstellungsverfahren.

10

15 Die auf die Turbinenschaufel gerichtete Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Dicke der Außenwand zumindest über einen Teilumfang des Schaufelblattbereichs nach Maßgabe des Verlaufs der externen Wärmeübergangszahl an der Außenseite der Außenwand und des Verlaufs der internen Wärmeübergangszahl an
20 der Innenseite der Außenwand kontinuierlich so verläuft, daß vorbestimmte Temperaturschwellenwerte an der Außenwand und/oder vorbestimmte Temperaturgradienten zwischen vorbestimmten Stellen der Außenwand nicht überschritten werden.

25 Die Außenwand der Turbinenschaufel wird durch das heiße Aktionsfluid nicht überall gleich schnell und gleich stark umströmt, was zu lokal stark unterschiedlichen Wärmeeinträgen beziehungsweise Wärmeübergängen Aktionsfluid/Außenwand führt. Ein Maß für diesen Wärmeübergang ist die externe Wärmeübergangszahl. Eine Wärmeübergangszahl gibt die Wärmemenge an,
30 die pro Zeit- und Flächeneinheit übergeht. Je höher die Wärmeübergangszahl, desto größer ist der Wärmeübergang der beispielsweise durch Konvektion oder Strahlung in das Material eingebrachten Wärme. Mit einem erhöhten externen Wärmeübergang steigt die Kühlanforderung an dieser Stelle des Schaufelblatts.
35

Dieser lokal erhöhten Kühlanforderung wird erfindungsmäßig dadurch begegnet, daß die Dicke der Metallwand und somit der Außenwand an Stellen mit einer hohen externen Wärmeübergangszahl herabgesetzt wird. Dies ergibt sich unter Einbeziehung

5 der Lösung eines Gleichungssystems, das die Wärmeübertragung innerhalb der verschiedenen Bereiche des Turbinenschaufelblatts beschreibt. Die Wärmeübertragung umfaßt einerseits den Wärmeübergang vom heißen Aktionsfluid auf die Außenseite der Außenwand und von der Innenseite der Außenwand auf das Kühl-

10 fluid. Weiterhin wird in dem Gleichungssystem die Wärmeleitung innerhalb der Außenwand beschrieben. Eine dünnere Außenwand erhöht die Wärmeleitung. Als Randbedingungen für die Lösung des Gleichungssystems werden die Temperaturschwellenwerte, die Temperaturgradienten gesetzt. Sie sind charakteristisch für die Außenwand und stellen im wesentlichen eine

15 obere Begrenzung für die Aktionsfluidtemperaturen dar. Eine Einhaltung dieser Werte stellt sicher, daß keine Temperaturen an der Schaufel überschritten werden, die zu lokalen Schäden und letztendlich zum frühen Versagen der Turbinenschaufel

20 führen könnten. Der Temperaturschwellenwert entspricht in der Regel einer Oxidationsgrenze des Außenwandmaterials, der Temperaturgradient ist eine Maß für aufgrund unterschiedlicher Temperaturen zwischen zwei Stellen der Außenwand entstehende thermische Spannungen. Zur Gewährleistung einer langen Le-

25 bensdauer der Turbinenschaufel darf er einen kritischen Wert, der von dem Werkstoff, der Zusammensetzung aller beteiligten Spannungen und vom Betriebs-Lastkollektiv abhängt, nicht übersteigen.

30 Die Lösung des Gleichungssystems verdeutlicht, daß eine dünnere Ausbildung der Außenwand in einer Art dynamischem Gleichgewicht das Temperaturniveau und die anliegenden Temperaturgradienten herabgesetzt. Prinzipiell führt somit eine dünnere Ausbildung der Außenwand zu einer verbesserten Kühl-

35 wirkung aufgrund der erhöhten Wärmeableitung durch das Schaufelaußenwandmaterial. Dies unterliegt jedoch noch den Anforderungen an die Stabilität, die der Dicke der Außenwand eine

untere Grenze setzen. Bei geschickter Ausbildung des Innenraums, beispielsweise durch das Einsetzen von Rippen, wie unten beschrieben, wird diese untere Grenze noch ein wenig zu geringeren Dicken hin verschoben.

5

Durch eine lokale Variation der Dicke kann somit den lokal erhöhten Kühlanforderungen an Stellen mit hohen externen Wärmeübergangszahlen auf einfache Art und Weise begegnet werden.

10 An Stellen niedriger externer Wärmeübergangszahl kann die Außenwand sogar dicker ausgeführt werden, was die Stabilität erhöht. Aufgrund der durch die Einstellung der Außenwanddicke erreichten, individuell angepaßten Kühlwirkung kann auf kompliziert ausgebildete Kanäle innerhalb des Hohlraums verzichtet werden. Dies vereinfacht die Herstellung der Turbinen-

15 schaufel und senkt die Kosten. Darüber hinaus wird der benötigte Kühlfluidmassenstrom durch die angepaßte Kühlung gesenkt, was den Wirkungsgrad und die Leistung der Turbine verbessert.

20 Vorteilhaft ist es, wenn die Außenwand mehrschichtig aufgebaut ist und außen an der Außenwand eine dünne keramische Schutzschicht und innen eine Metallwand aufweist und daß derjenige Temperaturgradient maßgeblich ist, der zwischen der Außenseite und der Innenseite der Metallwand anliegt. Durch

25 den mehrschichtigen Aufbau kann die Außenwand bei geeigneter Wahl der Schichten verschiedenartige Aufgaben und Anforderungen erfüllen. Die Metallwand, insbesondere aus einer hochwarmfesten Metallegierung, gewährleistet neben einer ausreichenden mechanische Festigkeit und gute Wärmeelastizität, was

30 aufgrund der wechselnden mechanischen Belastungen und Temperaturen notwendig ist. Eine keramische Schutzschicht schützt die Metallwand vor zu hohen Temperaturbelastungen bzw. verhindert eine Oxidation bzw. Korrosion. Die Schutzschicht soll unter anderem verhindern, daß die durch das Anströmen durch

35 das heiße Aktionsfluid an der Schaufelaußenwand verursachte höchste Temperatur einen werkstoffspezifischen Maximalwert übersteigt, beziehungsweise ein sich einstellender Tempera-

turgradient zwischen der Außenseite der Außenwand und der Innenseite der Außenwand einen bestimmten kritischen Wert übersteigt. Übliche Hochleistungsschaufeln sind auf ausreichend dicke keramische Schutzschichten zur Wärmedämmung angewiesen, damit Temperatur- und Spannungsgrenzen einhaltbar sind. Durch die hohen Belastungen während des Betriebs der Turbine, insbesondere durch schnelle Temperaturwechsel beziehungsweise große Spannungsunterschiede zwischen verschiedenen Bereichen der Außenwand und aufgrund der bereits im kalten Zustand vorhandenen Gitterparameterunterschiede zwischen der keramischen Schutzschicht und der Metallwand und unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten platzen keramische Wärmedämmschichten vorzeitig von der Metallwand ab. Hieran schließt sich dann ein Versagen der Schaufel an. Dies wird erfindungsgemäß dadurch verhindert, daß die Dicke der Metallwand nach Maßgabe der Wärmeübergangskoeffizienten eingestellt ist und der Temperaturschwellenwert und der Temperaturgradient zwischen der Außenseite und der Innenseite der Metallwand vorbestimmte Werte nicht übersteigen. Diese Werte sind nach den entsprechenden Anforderungen der Schutzschicht bzw. der Grenzschicht zwischen Schutzschicht und Metallwand ausgelegt. Somit reicht es, eine im Vergleich zu üblichen Schutzschichtdicken sehr viel dünnere Schutzschicht auf die Metallwand aufzubringen. Die dünnere Ausbildung der Schicht verbessert zusätzlich die Haftung der Schutzschicht auf der Schaufeloberfläche und verhindert ein lokales Abplatzen, weil sich die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungen der Materialien aufgrund der geringen Schichtdicke nicht mehr so stark auswirken. Zugleich ist diese dünne Schicht wesentlich einfacher aufzubringen, unter anderem auch deshalb, weil an sie geringere Anforderungen bezüglich der Homogenität gestellt werden müssen. Dies verringert die Herstellungskosten und erhöht zugleich die Lebensdauer der Schaufel.

Wenn der Temperaturschwellenwert an der gesamten Außenwand und/oder vorbestimmte Temperaturgradienten über der gesamten Außenwand nicht überschritten werden, sind besonders gute Be-

dingungen für eine geringe thermische oder spannungsmäßige Belastung einer Turbinenschaufel gegeben. Dies ist besonders bei beschichteten Turbinenschaufeln wichtig. Durch eine gleichmäßigere, niedrigere Temperatur der Außenwand aufgrund der erfindungsgemäßen Einstellung der Dicke der Außenwand ist eine gute Haftung der keramischen Schutzschicht auf der Metallwand gewährleistet, ohne daß weitere fertigungstechnische Maßnahmen ergriffen werden müßten oder die Heißgastemperatur gesenkt werden müßte, was den Wirkungsgrad herabsetzen würde.

Aus thermischen Gründen ist es möglich, die keramische Schutzschicht vollständig wegzulassen, wenn der Temperaturschwellenwert und der Temperaturgradient kritischen werkstoffabhängigen Werten entsprechen. Eine eventuelle Schutzschicht dient in diesem Fall im wesentlichen noch zur Verhinderung von Korrosions- bzw. Oxydationsangriffen und kann somit zumindest dünner als übliche keramische Schutzschichten ausgebildet sein. Dies verringert die Herstellungskosten und erhöht die Lebensdauer der Schaufel.

Vorteilhaft ist es dann insbesondere, wenn die Außenwand einschichtig ist und aus Metall besteht. Das Metall ist auch bei relativ hohen Temperaturen noch stabil und leitet zugleich die Wärme gut ab, so daß durch die Kühlung im Inneren und die angepaßten Dicken der Außenwand die Temperaturschwellenwerte und die Temperaturgradienten eingehalten werden können.

Um insbesondere bei dünnen Metallwandabschnitten erhöhten Spannungen in der Außenwand, beispielsweise durch aufgrund eines hohen Innendrucks erhöhten Primärspannungen, zu begegnen, wird vorgeschlagen, daß im Hohlraum ein Feld aus Rippen dort vorgesehen ist, wo ein Außenwandbereich geringerer Dicke vorliegt. Auf diese Weise werden dünnere Bereiche der Außenwand so gestärkt, daß sie annähernd dieselbe Stabilität aufweisen, wie dickere Bereiche. Hierdurch läßt sich eine homogene Beanspruchung der Turbinenschaufelaußenwand und eine gleichmäßige Werkstoffausnutzung erzielen. Durch die homogene

Spannungs- und Dehnungsverteilung wird eine bessere Langzeit-
haftung der keramischen Schutzschicht auf dem Grundmaterial
erreicht, was zu einer Verlängerung der Schaufellebensdauer
führt. Durch die Begrenzung der innendruckbedingten Primär-
5 spannungen durch Anbringen von wanddickenabhängigen Rippen-
feldern im Hohlraum sowie Begrenzung der Wärmespannungen
durch Einhaltung eines Grenzwerts für den Temperaturgradien-
ten wird eine Schädigung des Werkstoffs durch zu hohe Zyklen-
10 zahlen der sich einstellenden gesamten von Mises-Vergleichs-
spannung, die die Primärspannung, die Wärmespannung sowie
weitere Spannungen umfaßt, zuverlässig verhindert. Bei Leit-
und Laufschaufeln erfolgt die Berechnung der thermischen
Leitwerte, d.h. der Dickenvariation in etwa gleich. Für die
Auslegung der Rippenfelder ist bei Laufschaufeln zu berück-
15 sichtigen, daß noch fliehkraftbedingte Spannungen hinzukom-
men, sowie zusätzliche Sekundärströmungen.

Diese vorgenannten Vorteile werden insbesondere dadurch er-
reicht, daß die Rippen des Felds nach Maßgabe der Dicke der
20 Außenwand, des Temperaturschwellenwerts und/oder des Tempera-
turgradienten und/oder der von Mises-Vergleichsspannung vor-
bestimmte Maße, Abstände und räumliche Anordnungen aufweisen.
Eine optimale Parameterkombination ermöglicht in weiten Be-
reichen eine Einhaltung der Temperaturzielgrößen, so daß eine
25 homogene Beanspruchung des Materials und eine gleichmäßige
Werkstoffausnutzung erzielt werden kann. Eine Begrenzung der
Wärmespannungen erfolgt im wesentlichen bereits durch die
Einhaltung des vorbestimmten Temperaturgradienten durch Ein-
stellung der Dicke der Metallwand und somit der Außenwand.
30 Die Begrenzung der Primärspannung erfolgt durch die ange-
brachten wanddickenabhängigen Rippenfelder auf der Innenseite
der Außenwand. Werden vorbestimmte Abstände zwischen den Rip-
pen eingehalten, kann somit einerseits eine optimale Kühlwir-
kung, zugleich jedoch auch eine optimale Stabilität des Mate-
35 rials erreicht werden. Weitere Parameter sind die Höhe und
die Breite der Rippen, sowie ihre räumliche Anordnung. Durch
eine bestimmte Anordnung von Rippen in Rippenfeldern ist es

möglich, dünne und zugleich haltbare Außenwände für eine optimale thermische Wandauslegung mit oder auch ohne keramische Schutzschichten herzustellen. Diese Maßnahmen können in der Regel sowohl für Leit- wie auch für Laufschaufeln eingesetzt werden.

Wenn insbesondere das Feld der Rippen zumindest abschnittsweise quer zur Strömung des Kühlfluids verläuft, wird die Turbulenz des Kühlfluids erhöht, was die Kühlwirkung verbessert, ohne daß zusätzliche Turbulatoren eingesetzt werden müßten. Durch die quer zur Strömungsrichtung des Kühlfluids angeordneten Rippenfelder wird gerade in den Bereichen mit dünner Wandstärke, wo eine höhere interne Wärmeübergangszahl benötigt wird, eine erwünschte höhere Kühlwirkung erreicht. Zur Erzielung der gewünschten Verwirbelung ist darauf zu achten, daß die Rippen weder zu eng noch zu weit voneinander beabstandet angeordnet werden, weil sonst entweder keine ausreichende Verwirbelung oder eine zu geringe Stabilität erzielt werden.

Weisen die Rippen Queröffnungen auf, wird das Kühlfluid bei dem Durchströmen des Innenraums turbulenter. Dies verbessert wiederum die Kühlwirkung. Die Öffnungen sind so ausgelegt, daß sie die Stabilität der Rippen nicht beeinflussen.

Es ist vorteilhaft, wenn der Hohlraum von der Druckseite zur Saugseite in Längsrichtung der Turbinenschaufel von Innenwänden durchzogen ist, wobei die Innenwände an die druckseitige bzw. saugseitige Außenwand unter kontinuierlichem Verlauf an den kontinuierlichen Verlauf der Dicke der Außenwand angeschlossen sind. Durch die Einteilung des Hohlraums von der Druckseite zur Saugseite wird sichergestellt, daß die Stabilität der Turbinenschaufel erhalten bleibt bzw. verbessert wird. Zugleich wird der Hohlraum in mehrere Kammern aufgeteilt. Die Form und Anzahl der hierzu eingesetzten Innenwände wird je nach Kühlungsart und Kühlfluideigenschaften so gewählt, daß ein möglichst einfacher Aufbau des Hohlraums re-

sultiert. Dies bedeutet, daß eine kostengünstige, herkömmliche Feingußtechnik angewandt werden kann. Wenn die Innenwände an die druckseitige bzw. saugseitige Außenwand unter kontinuierlichem Verlauf an den kontinuierlichen Verlauf der Dicke der Außenwand angeschlossen sind, werden Spannungsspitzen in der Außenwand werden reduziert. Die Innenwände verstärken die Außenwandbereiche und fangen somit Spannungen auf, die durch eine sich verändernde Dicke, und unterschiedlichen Temperaturen in der Außenwand und damit unterschiedlichen Wärmetransport entstehen. Darüber hinaus wird berücksichtigt, daß sich überall ein optimales Geschwindigkeitsniveau des Kühlfluids und somit eine optimale interne Wärmeübergangszahl ergibt. Durch die Aufteilung des Hohlraums treten lediglich geringe Druckverluste auf. Es ist deshalb ein hoher Anteil an Energie aus dem erwärmten Kühlfluid rückgewinnbar.

Eine zusätzliche Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit ist dadurch gegeben, daß der Hohlraum mit einer Aluminisierungsschicht versehen ist, insbesondere die dampfbenetzten Innenflächen.

Der Wirkungsgrad der Turbine wird durch das Kühlfluid kaum bzw. lediglich minimal verringert, wenn das Kühlfluid in einem geschlossenen Kreislauf durch die Turbinenschaufel geführt wird. Die Führung in einem Kreislauf kann auch weitere Turbinenschaufeln umfassen, wodurch zusätzlich Kühlfluid eingespart wird. Dadurch, daß keine abkühlende Mischung durch in das Aktionsfluid austretendes Kühlfluid entsteht, bleibt der Wirkungsgrad und damit die Leistung der Turbine erhalten. Es wird kein Kühlfluid verbraucht, was die Betriebskosten der Turbine senkt. Die vom Kühlfluid innerhalb der Turbinenschaufel aufgenommene Wärme kann weitgehend wiederverwendet werden. Dies verbessert die Energieausnutzung und erhöht den Wirkungsgrad.

Eine vorteilhafte räumliche Anordnung des Hohlraums der Turbinenschaufel wird dadurch unterstützt, daß der Einlaß und

der Auslaß des Kühlfluids im Fußbereich angeordnet sind. Vom Fußbereich aus wird das Kühlfluid dann in die verschiedenen anderen Kühlbereiche geleitet. Der Fußbereich ist für Zuleitungen des Kühlfluids leichter zugänglich.

5

Eine sparsame Verwendung des Kühlfluids ist dadurch gegeben, daß der Kopf- und Fußbereich der Turbinenschaufel zugleich mit dem Kühlfluid des Schaufelblattbereichs gekühlt wird. Hierdurch ist der Aufbau des Kopf-, Fuß- und Schaufelblattbereichs und insbesondere der Übergänge zwischen den Bereichen vereinfacht.

10

Eine genauere Anpassung an die wirklich benötigte Kühlung ist dadurch gegeben, daß die Turbinenschaufel eine Laufschaufel ist und die Wanddicke von Kühlkammern im Hohlraum nach Maßgabe einer lokalen Wärmeübergangszahl lokal variiert. Durch die Rotationsbewegung der Laufschaufel wird das Kühlfluid in manchen Bereichen der Kühlkammern stärker gegen die Innenwände bzw. gegen die Außenwände gepreßt. Dies verursacht einen inhomogenen internen Wärmeübergangskoeffizienten. Dies wird durch die Änderung der Wanddicken der Innenwände bzw. der Außenwand erfindungsgemäß wieder ausgeglichen. Durch die Anpassung der Wanddicken wird lediglich die unbedingt benötigte Materialmenge eingesetzt und zugleich ein genauer angepaßter Kühlmittelverbrauch erreicht. Hierdurch wird der Wirkungsgrad der Turbine erhöht und zugleich eine in allen Bereichen der Schaufel ausreichende Kühlung sichergestellt.

15

20

25

Vorteilhaft ist es, wenn im Mittelbereich des Schaufelblattbereichs von Innenwänden gebildete Mittelkühlkammern vorgesehen sind, die seriell vom Kühlfluid durchströmt sind. Die Mittelkühlkanäle befinden sich in dem mit am stärksten durch hohen Wärmeeintrag belasteten Bereichen der Turbinenschaufel. Sie tragen somit einen großen Anteil der eingetragenen Wärme in sich. Die serielle Durchströmung gewährleistet einen langen, mäanderförmigen Weg des Kühlfluids durch die Turbinenschaufel und somit eine gute Ausnutzung der Wärmekapazität

30

35

des Kühlfluids. Insbesondere an Umlenkstellen wird das Kühlfluid stark verwirbelt und somit die Kühlwirkung verbessert. Die benötigte Kühlfluidmenge wird reduziert.

- 5 Ein schnelles Fließen des Kühlfluids und damit ein verbesserter Wärmeabtransport ist dadurch gegeben, daß im Mittelbereich des Schaufelblattbereichs von Innenwänden gebildete Mittelkühlkammern vorgesehen sind, die parallel vom Kühlfluid durchströmt sind. Zugleich ist hierdurch der Aufbau des Hohl-
10 raums in dem sich die Kühlkammern befinden, vereinfacht und somit ein ausschlußärmerer Guß bei der Herstellung ermöglicht.

- Die Strömungsgeschwindigkeit des Kühlfluids kurz vor dem Aufprall auf die Außenwand wird erhöht, wenn zumindest eine der
15 Mittelkühlkammern einen Prallkühleinsatz mit nach außen gerichteten Prallkühlbohrungen aufweist, die mit Abstand von der Innenseite der Außenwand angeordnet und die vom Kühlfluid durchströmt sind. Durch die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit des auf die Innenseite der Außenwand aufprallenden Kühlfluids
20 wird die Kühlwirkung deutlich verbessert. Hierdurch ist es möglich, auch mittels eines Kühlmittels mit niedrigem Druck eine gute Kühlwirkung zu erzielen, ohne die Außenwand durch hohe Primärspannungen durch den Innendruck zu belasten.

- 25 Eine einfache, sichere und kostengünstige Art der Halterung des Prallkühleinsatzes ist gegeben, wenn der Prallkühleinsatz von auf der Innenseite der Außenwand und/oder von auf der Innenwand und/oder von auf Rippen angebrachten Abstandshaltern gehalten ist.

30

- Eine weitere Verbesserung der Kühlung ist dadurch gegeben, daß an der Hinterkante der Turbinenschaufel eine Zusatzkühlung vorhanden ist. Dies ist besonders vorteilhaft, weil dort Außenwände enger zusammenlaufen und somit eine Verbindung zu
35 den übrigen Kühlkammern häufig schwierig ist.

Insbesondere handelt es sich dabei um eine separate, geschlossene Dampfkühlung.

5 Wenn an der Hinterkante der Turbinenschaufel alternativ eine offene Luftkühlung mit freiem Austritt vorhanden ist wird keine Rückleitung mehr benötigt. Die eingesetzte Luft wird frei in den Aktionsfluidraum eingeleitet. Da es sich nur um eine relativ geringe Menge Kühlluft handelt, wird der Wirkungsgrad der Turbine hierdurchwenig gemindert.

10

Zur Erzielung einer höheren internen Wärmeübergangszahl ist es vorteilhaft, wenn das Kühlfluid Dampf ist. Die knappe, für niedrige Schadstoffemissionen bei pulsationsfreiem Betrieb benötigte Verdichterluft muß nicht eingesetzt werden. Eine geschlossene Luftkühlung benötigt sehr viel Luft und bewirkt hohe Druckverluste. Bei Verwendung von Dampf als Kühlfluid sind gegenüber Luft 1,5 bis dreifach höhere interne Wärmeübergangszahlen erzielbar. Der Einsatz von Dampf ermöglicht somit den Betrieb der Turbine mit einem heißeren Aktionsfluid, was wiederum den Wirkungsgrad heraufsetzt. Wenn Kühlluft in das Aktionsfluid eingeleitet wird, entstehen hohe Wirkungsgradverluste. Bei Beibehaltung der Temperatur des Aktionsfluids ist es durch den Einsatz von Kühleddampf möglich, die Turbinenschaufelaußenwand dicker auszubilden, was die Stabilität der Schaufel erhöht und die Anforderungen an die Rippenfelder herabsetzt. Es sind auch Lösungen ohne Rippenfelder möglich. Kühleddampf besitzt gegenüber Luft zugleich noch eine höhere Wärmekapazität, was zu einem verbesserten Wärmeabtransport aus der Turbinenschaufel führt.

30

Bei Einsatz eines Niederdruckdampfes ist eine Ausgestaltung des Hohlraums mit wenigen Kühlkammern im Blattbereich möglich. Dieser Niederdruckdampf ist gekennzeichnet durch einen Eintrittsdruck von 15 bar oder eine Eintrittstemperatur von ungefähr 250°C. Durch den niedrigen Druck ist die Belastung der Außenwand durch innendruckbedingte Primärspannungen vermindert und es werden weniger Rippen zur Stabilisierung der

35

Außenwand benötigt. Der Innenraum kann beispielsweise so ausgestaltet sein, daß zwei von einer Innenwand gebildete Kühlkammern seriell von Kühlfluid durchströmt sind. Vorteilhafterweise befindet sich zumindest in einer der Kühlkammern ein

5 Prallkühleinsatz, der Prallkühlbohrungen aufweist, die vom Kühlfluid durchströmt sind, und der von auf der Innenseite der Außenwand und/oder auf der Innenwand und/oder auf einigen der Rippen angebrachten Stegen gehalten wird. Durch den Einsatz von Prallkühlbohrungen wird der Kühleampf lokal stark

10 beschleunigt und somit seine Kühlwirkung erhöht. Die Beschleunigung erfolgt durch die Prallkühlbohrungen auf die Innenseite der Außenwand, und erhöht somit die interne Wärmeübergangszahl.

15 Besonders gute Kühleigenschaften hat der Dampf, wenn er ein Mitteldruckdampf ist. Mitteldruckdampf ist gekennzeichnet durch Eintrittsdaten von ungefähr 30 bar Druck und 350°C Eintrittstemperatur. Zugleich ist der Innendruckspannungspegel noch nicht sehr hoch, so daß die entstehenden Spannungen noch

20 beherrschbar sind. Der Mitteldruckdampf ist in modernen GUD-Kraftwerken direkt verfügbar und muß nicht unter Energieverlust zusätzlich bereitgestellt werden. Durch den höheren Dampfdruck entstehen gegenüber einem Niederdruckdampf höhere Wärmeübergangszahlen und ein besserer Wärmetransport. Unter

25 Gewährleistung gleichbleibender Kühlwirkung ist die Wanddicke der Turbinenschaufel somit dicker ausbildbar, wodurch die Stabilität der Turbinenschaufel erhöht wird und die Wand den durch den hohen Druck des Mitteldruckdampfes erhöhten Primärspannungen besser standhält. Zudem weist der Hohlraum bei

30 Verwendung eines Mitteldruckkühldampfes lediglich Kühlkammern auf. Auf Prallkühleinsätze kann verzichtet werden. Dies vereinfacht die Herstellung und reduziert die Kosten.

Die Außenkontur der Turbinenschaufel entspricht vorteilhaft dem

35 Verlauf einer aerodynamisch vorgegebenen Form, wobei die Dicke der Außenwand zum Hohlraum hin variiert. Die Form weist somit den Vorteil der Einhaltung der Temperaturschwellenwerte

auf und weicht zugleich von ihrer äußeren Form nicht von den üblichen Profilen ab, so daß die Turbinenschaufel in üblichen Turbinen eingesetzt werden kann und die bereits bekannten Strömungseigenschaften aufweist.

5

Die auf das Verfahren zur Herstellung bezogene Unteraufgabe wird dadurch gelöst, daß die Gußform so angeordnet wird, daß der Profilverlauf der Außenkontur des Gußkerns der Differenz zwischen einem aerodynamisch vorgegebenen, insbesondere äußeren Profilverlauf eines Turbinenschaufelblatts und einer Funktion entspricht, die nach Maßgabe des Verlaufs der externen Wärmeübergangszahl an der Außenseite der Außenwand der Turbinenschaufel und des Verlaufs der internen Wärmeübergangszahl an der Innenseite der Außenwand der Turbinenschaufel kontinuierlich so verläuft, daß zumindest an vorbestimmten Stellen der Außenwand vorbestimmte Temperaturschwellenwerte und/oder vorbestimmte Temperaturgradienten zwischen vorbestimmten Stellen der Außenwand nicht überschritten werden. Insbesondere entspricht der äußere Profilverlauf dabei einem genormten Profilverlauf.

Es wird also lediglich ein Gußkern eingesetzt, dessen Außenwölbung bzw. Geometrie mit der variablen Dicke der Außenwand sowie u.U. mit den Geometrien zugehöriger Rippenfelder entsprechend relativ zu einer umgebenden Gußform bzw. Außenkontur veränderlich ist. Dieser Gußkern ist kompakt, besitzt eine einfach herzustellende Form, die leicht abgestützt werden kann und keinen exzessiv engen Toleranzanforderungen unterliegt. Damit sind sowohl konventionelle Feingußverfahren, als auch Verfahren mit gerichteter Erstarrung oder Einkristallerstarrung ohne Mehrkosten durchführbar. Die Turbinenschaufel kann in ihrem Schaufelblattbereich einstückig gegossen werden. Der Ausschuß beim Guß ist durch die einfache Form vermindert. Durch die Außenwölbungen wird die Außenwand des Gußprodukts der Turbinenschaufel unterschiedlich dick ausgebildet, wobei im wesentlichen keine Nachbearbeitung nötig ist. Durch die einfache Maßnahme der unterschiedlich dick

ausgebildeten Außenwände können Temperaturgrenzwerte eingehalten werden, ohne daß aufwendige Beschichtungen vorgenommen werden müßten, die zudem leicht wieder abplatzen.

- 5 Sowohl für Niederdruck- wie auch für Mitteldruckdampfkonstruktionen kommen gängige, ausschußarme Verfahren zum Einsatz, da die minimalen Außenwanddicken mit annähernd 1 bis 2 mm im Vergleich zu sonst üblichen Außenwanddicken von dampfgekühlten Turbinenschaufeln fast doppelt so groß sind und die
10 Gußtoleranzen bei annähernd 0,15 mm liegen, was in einem für übliche Gußverfahren problemlosen Bereich liegt. Dies vereinfacht die Herstellung und verringert die Herstellungskosten beträchtlich.
- 15 Die Erfindung wird anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Es zeigen:

- Fig.1 einen Querschnitt durch eine niederdruckdampfgekühlte Turbinenleitschaufel mit variierender Außenwanddicke,
20 Fig.2 eine schematische Ausschnittsvergrößerung der Außenwand zur Darstellung des Wärmeübertragungsmechanismus in der Außenwand,
Fig.3 einen schematischen Schnitt durch einen Schaufelblattbereich und einen Fußbereich einer niederdruckdampfgekühlten Turbinenleitschaufel von Fig.1,
25 Fig.4 ein Fließschema des Kühldampfes durch eine niederdruckdampfgekühlte Turbinenleitschaufel im Längsschnitt von Fig.1,
Fig.5 einen Schnitt durch ein Rippenfeld,
30 Fig.6 Queröffnungen der Rippen,
Fig.7 einen Querschnitt durch eine mitteldruckdampfgekühlte Turbinenleitschaufel,
Fig.8 einen schematischen Schnitt durch einen Schaufelblattbereich und einen Fußbereich einer mitteldruckdampfgekühlten Turbinenleitschaufel von Fig.7,
35 Fig.9 ein Fließschema des Kühldampfes einer niederdruckdampfgekühlten Turbinenleitschaufel im Längsschnitt von Fig.7,

Fig.10 ein Fließschema mit Fließwiderständen der Schaufel,
Fig.11 einen schematischen Schnitt durch eine mitteldruck-
dampfgekühlte Turbinenleitschaufel und
Fig.12 ein Fließschema der Turbinenleitschaufel von Fig.11.

5

Fig.1 zeigt einen Querschnitt durch einen Schaufelblattbe-
reich 7 einer niederdruckdampfgekühlten Turbinenleitschaufel
1 mit variierender Außenwanddicke 34. Die Turbinenschaufel 1
wird an der Außenseite 9 der Außenwand 4 von einem heißen Ak-
tionsfluid 2, insbesondere einem Heißgas angeströmt. Zur Küh-
lung ist die Turbinenschaufel 1 in ihrem innenliegenden, im
allgemeinen mehrteiligen Hohlraum 5, der von der Außenwand 4
umgeben ist, von einem Kühltampf 6, nämlich einem Nieder-
druckkühltampf, durchströmt. Der Hohlraum 5 ist in Längsrich-
tung der Turbinenschaufel 1 von Innenwänden 20 durchzogen,
welche das Schaufelprofil in Richtung von der Druckseite 46
zur Saugseite 45 so durchziehen, daß mehrere Mittelkühlkam-
mern 21 entstehen, in diesem Fall zwei, wobei die Innenwände
20 an die druckseitige bzw. saugseitige Außenwand 4 unter
kontinuierlichem Verlauf an den kontinuierlichen Verlauf der
Dicke 34 der Außenwand 4 angeschlossen sind. Die Mittelkühl-
kammern 21 weisen Prallkühleinsätze 22 auf, deren Wände von
einer Vielzahl kleiner Prallkühlbohrungen 23 durchbrochen
sind. Der Niederdruckkühltampf wird durch die Prallkühlboh-
rungen 23 hindurchgepreßt und auf die Innenseite 13 der
Außenwand 4 zu beschleunigt. Durch den schnellen Aufprall
wird die Innenseite 13 der Außenwand 4 dann gleichmäßig in-
tensiv gekühlt. Im Anströmkantenbereich 32 weist der Hohlraum
5 zwei Vorderkühlkammern 31 auf, durch die ebenfalls
Kühltampf hindurchströmt und die Innenseite 13 der Außenwand
4 gekühlt wird. Die Kühlung erfolgt hier konvektiv.

Die Außenwand 4 ist gegebenenfalls mehrschichtig aufgebaut
und weist eine Metallwand 3, außen bedarfsweise eine kerami-
sche Schutzschicht 15 und innenliegend eine Aluminiumlegie-
rungsschicht 54 auf, wie in Fig.2 dargestellt. Die Metallwand
3, besitzt entlang eines Querschnitts durch den Schaufel-

35

blattbereich 7 unterschiedliche Dicken 8. Die Dicke 8 der Metallwand 3 variiert kontinuierlich, d.h. ohne Sprünge bzw. stetig um keine Spannungsspitzen hervorzurufen, nach Maßgabe der externen Wärmeübergangszahl W_{ex} an der Außenseite 9 der Außenwand 4. Die Dicke 33 der keramischen Schutzschicht 15 ist annähernd konstant. Die Dicke 34 der Außenwand 4 variiert also ebenfalls mit der Dicke 8 der Metallwand 3. Die externe Wärmeübergangszahl W_{ex} ist durch die Größe des Wärmeübergangs vom Heißgas 2 in die Außenwand 4 gegeben. Das Prinzip der Wärmeübertragung durch die Außenwand 4 ist in Fig.2 verdeutlicht. Der externe Wärmeübergang erfolgt mit einer lokal unterschiedlichen, durch die externe Wärmeübergangszahl W_{ex} angegebenen Größe, woran die Dicke 8 der Metallwand 3 bzw. die Dicke 34 der Außenwand 4 angepaßt ist.

Die Dicke 34 der Außenwand 4 bzw. der Dicke 8 der Metallwand 3 ist erfindungsgemäß zudem auch nach Maßgabe der internen Wärmeübergangszahl W_{int} an der Innenseite 13 der Außenwand 4 eingestellt. Auf die interne Wärmeübergangszahl W_{int} haben die Art und die physikalischen Parameter des Kühlfluids 6 einen entscheidenden Einfluß. Auch durch den Aufbau des Hohlraums 5 an der Innenseite 13 der Außenwand 4, beispielsweise durch Rippen 16, kann die interne Wärmeübergangszahl W_{int} verändert werden.

Der Hohlraum 5 weist Rippen 16 in den Bereichen 14 der Außenwand 4 auf, die besonders dünn sind oder die besonders starken Belastungen unterworfen sind und somit stabilisiert werden müssen. Rippen 16 sind beispielsweise auf beiden Innenseiten 13 der Außenwand 4 einer mit Prallkühleinsätzen 22 versehenen Mittelkühlkammer 21 quer zur Strömung 18 des Kühlfluids 6 verlaufend angebracht. Die mittlere Mittelkühlkammer 21 weist lediglich auf der Innenseite 13 der Außenwand 4 an der Saugseite 45 der Turbinenleitschaufel 1 Rippen 16 auf, an der Druckseite 46 hingegen nur Abstandshalter 44, die den Prallkühleinsatz 22 in Position halten. An einigen der Rippen

16 sind ebenfalls Abstandshalter 44 für die Positionierung des Prallkühleinsatzes 22 vorhanden.

Die Rippen 16 weisen vorbestimmte Maße auf, wie die Dicke 37, die Höhe 41, ihren Fußradius 39, ihren Kopfradius 40, ihre mittragende Breite 38 sowie räumliche Anordnungen, die besonders geeignet sind, zur Verwirbelung der Kühlfluidströmung 18 beizutragen beziehungsweise eine ausreichende Kühloberfläche an der Innenseite 13 der Außenwand 4 zu liefern. Eine Darstellung findet sich in Fig.5 bzw. 6. Eine gute Verwirbelung ist insbesondere dann gegeben, wenn die Rippen 16, die in Rippenfeldern angeordnet sind, die quer zur Strömungsrichtung 18 des Kühlfluids 6 liegen.

Die Dicke 8 der Metallwand 3 bzw. die Dicke 34 der Außenwand 4 bewegt sich zwischen annähernd 0,6 mm bis 1,0 mm im Hinterkantenbereich 36 bis zu annähernd 2 mm im Druckbereich 46. Die Änderungen zwischen den einzelnen Dickenbereichen, die durch Innenwände 20 abgegrenzt sind, weisen zur Verminderung von Spannungsspitzen kontinuierliche Übergänge 10 auf, berechnet beispielsweise mittels einer linearen Interpolation zwischen den unterschiedlichen Solldicken.

Fig.2 zeigt schematisch die Wärmeübertragung von einem Aktionsfluid 2 auf eine Kühlfluid 6 über eine Außenwand 4 und ein schematisches Profil der Temperatur T. Die Außenwand 4 der Dicke 34 ist mehrschichtig aufgebaut. Sie weist eine außenliegende keramische Schutzschicht 15 der Dicke 33, eine tragende Metallwand 3 der Dicke 8 auf. Im Hohlraum 5 und insbesondere an der Innenseite 13 der Außenwand 4 ist optional eine Aluminisierungsschicht 54 gegen Korrosion vorgesehen. Die Beschichtung 54 kann sehr dünn ausgebildet sein. Ist die Beschichtung 54 nicht angebracht, liegt die Innenseite 13 der Außenwand 4 gleich mit der Innenseite 12 der Metallwand.

Das außen anströmende heiße Aktionsfluid 2 besitzt eine gegenüber der Außenwand 4 erhöhte Temperatur T. An der Außen-

seite 9 der keramischen Schutzschicht 15 findet ein Wärme-
übergang auf die Außenwand 4 statt. Der externe Wärmeübergang
ist gekennzeichnet durch die externe Wärmeübergangszahl W_{ex} ,
deren Größe angibt, wie stark Wärme auf die Außenwand 4 über-
5 geht. Der lokale Wärmeübergang zwischen Aktionsfluid 2 und
der Außenwand 4 weist für verschiedene Außenwandabschnitte 14
des Schaufelblattbereichs 7 der Turbinenschaufel 1 verschie-
dene externe Wärmeübergangskoeffizienten W_{ex} auf und somit
unterschiedliche Dicken 8 der Metallwand 3.

10 Nach Eintritt der Wärme in die Außenwand 4 erfolgt zunächst
eine Wärmeleitung durch die keramische Schutzschicht 15 und
daraufhin durch die Metallwand 3. Die Wärmeleitung der kera-
mischen Schutzschicht 15 ist anders als die der Metallwand 3.
15 Somit weist der Temperaturverlauf T am Übergang von der In-
nenseite 35 der keramischen Schutzschicht 15 auf die Außen-
seite 11 der Metallwand 3 eine Unstetigkeit auf. An der In-
nenseite 12 der Metallwand 3, die in diesem Fall mit der In-
nenseite 13 der Außenwand 4 übereinstimmt, tritt die Wärme
20 aus der Außenwand 4 aus, was durch den internen Wärmeüber-
gangskoeffizienten W_{int} beschrieben wird. An der Innenseite 13
nimmt das innen vorbeiströmende Kühlfluid 6 die Wärme mit.
Der Temperaturverlauf T zeigt in diesem Bereich einen starken
Abfall.

25 In dem Bereich des Übergangs von der keramischen Schutz-
schicht 15 auf die Metallwand 3 ist ein Temperaturschwellen-
wert T_M definiert, der charakteristisch für die Temperaturbe-
ständigkeit der Außenwandmaterials ist, u.a. für die Haftqua-
30 lität der keramischen Schutzschicht 15 auf der Metallwand 3.
Zwischen der maximalen Metalltemperatur $\leq T_M$ und der Tempe-
ratur an der Innenseite 12 der Metallwand 3 ist ein Tempera-
turgradient ΔT_M definiert. Er ist ein Maß für Temperatur-
unterschiede und somit auch für die Spannungsbelastung der
35 Außenwand 4. Durch die erfindungsgemäße Einstellung der Dicke
8 der Metallwand 3 wird erreicht, daß zumindest an vorbe-
stimmten Stellen der Außenwand 4 vorbestimmte Temperatur-

schwollenwerte T_M und/oder vorbestimmte Temperaturgradienten ΔT_M zwischen der Außenseite 11 der Metallwand 3 und der Innenseite 12 der Metallwand 3, also vorbestimmten Stellen der Außenwand 4, nicht überschritten werden. Dies stellt sicher, daß die Außenwand 4 der Turbinenschaufel 1 nicht übermäßig belastet wird, die keramische Schutzschicht 15 besser auf der Metallwand 3 haftet, keine Oxidation auftritt und somit ein dauerhafter Einsatz der Turbinenschaufel 1 möglich ist. Für eine Ziellebensdauer der Schaufel von mindestens 25000 äquivalenten Betriebsstunden oder zirka 1000 Normallastzyklen gilt für aktuelle Schaufelwerkstoffe bzw. Betriebs-Lastkollektive, daß der vorbestimmte Temperaturschwellenwert T_M bei annähernd 930 °C bis 950 °C liegt und der vorbestimmte Temperaturgradient ΔT_M bei annähernd 200 bis 220 °C bzw. bei annähernd 260 bis 290 °C über der Metallwanddicke 8 beträgt.

Fig.3 zeigt eine Aufsicht auf den Fußbereich 26 einer Turbinenschaufel entsprechend Fig.1. Der Fußbereich 26 weist einen Einlaß 27 und einen Auslaß 28 für das Kühlfluid 6 auf. Schematisch ist die Lage des Schaufelblattbereichs 7 relativ zum Fußbereich 26 der Turbinenschaufel 1 angedeutet. Das Kühlfluid 6 durchströmt die Turbinenschaufel 1 in Mittelkühlkammern 21 mit Prallkühleinsätzen 22 und konvektiv in Vorderkühlkammern 31 im Anströmkantenbereich 32. An der Hinterkante 36 der Turbinenschaufel 1 ist eine Zusatzkühlung 56 vorgesehen, bei der es sich vorzugsweise um eine separate, geschlossene Dampfkühlung handelt.

Fig.4 zeigt eine Seitenansicht mit einem Fließschema des Kühlfluids 6. Nach dem Einlaß 27 des Kühlfluids 6 in den Fußbereich 26 der Turbinenschaufel 1 durchströmt das Kühlfluid 6 in einem abgezweigten Kühlfluidteilstrom 47 den Hinterkantenbereich 36 der Turbinenschaufel 1. Ein anderer abgezweigter Kühlfluidteilstrom 48 durchströmt eine Vorderkühlkammer 31 im Anströmkantenbereich 32. Nach Verlassen des Schaufelblattbereichs 7 durchläuft das Kühlfluid 6 den Kopfbereich 25 der Turbinenschaufel 1. Daraufhin durchströmt es zunächst die auf

der Saugseite 45 liegende Vorderkühlkammer 31 und nach einer Umleitung die auf der Druckseite liegende, benachbarte Vorderkühlkammer 31 bis zum Auslaß 28 im Fußbereich 26.

- 5 Ein weiterer, vom zugeführten Kühlfluid 6 abgezwiegtter Kühlfluidteilstrom 49 durchströmt eine erste Mittelkühlkammer 21, die einen Prallkühleinsatz 22 aufweist. Nach Durchgang durch den Kopfbereich 25 durchströmt das Kühlfluid 6 seriell die zweite Kühlkammer 21, die ebenfalls einen Prallkühleinsatz 22
10 aufweist, in umgekehrter Richtung wie die erste. Nach Erreichen des Fußbereichs 26 der Turbinenschaufel 1 werden die verschiedenen Ströme zusammengeleitet und durch den Auslaß 28 aus der Turbinenschaufel 1 entlassen. Das Kühlfluid 6 wird zugleich zum Durchströmen des Schaufelblattbereichs 7 und des
15 Kopf- 25 und des Fußbereichs 26 benutzt. Es ist lediglich ein einziger geschlossener Kreislauf für das Kühlfluid 6 notwendig, was die Handhabung vereinfacht und die Herstellungskosten verringert.
- 20 Der Kopf- 25 und der Fußbereich 26 sind mittels einfacher Schweiß- oder Lötverbindungen 24 an dem Schaufelblattbereich 7 der Turbinenschaufel 1 befestigt bzw. mit Abschlußplatten 17 verschlossen. Diese einfache Art der Befestigung ist aufgrund des einfachen Aufbaus des Hohlraums 5 möglich. In dem Kopf-
25 25 und Fußbereich 26 können zur Unterstützung der Kühlwirkung des Kühlfluids 6 Prallkühleinsätze 22 untergebracht sein, was nicht dargestellt ist.

- Fig.5 zeigt in einem vergrößernden Schnitt schematisch Rippen
30 16, die zur Verstärkung der ausgedünnten Bereiche der Außenwand 4 eingesetzt sind. Die Aufsicht auf die Rippen 16 aus Fig.1 erfolgt in Querrichtung, so daß nur Rippen 16 quer zur Strömungsrichtung des Kühlfluids 6 sichtbar sind. Entlang einer Rippe 16 sind Rippenqueröffnungen 19 vorbestimmter Maße
35 und Abstände angebracht, wie in Fig. 1 und Fig.7 dargestellt. Sie dienen dem Queraustausch und der zusätzlichen Verwirbelung des Kühlfluids 6, wodurch die Kühlwirkung des Kühlfluids

6 verbessert wird. Variiert werden kann hierbei beispielsweise die Höhe 42 der Rippenqueröffnungen 19 sowie ihr Abstand 52 vom Kopf 50 der Rippe 16, s. Fig.6, wie auch der Abstand 43 der Rippenqueröffnungen 19. Bei der Abstimmung des
5 Rippenfeldes auf die Anforderungen aufgrund der eingestellten Dicke 34 der Außenwand 4 können die oben genannten Maße, Abstände und räumlichen Anordnungen in bestimmten Grenzen verändert werden. Die Grenzen sind einerseits dadurch bestimmt, daß eine gute Kühlung erhalten werden muß, andererseits soll
10 eine ausreichende Stabilität der nach Maßgabe der Wärmeübergangszahlen lokal mit einer geringen Dicke ausgebildeten Außenwand 4 gegeben sein. Für letztere ist es notwendig, die Rippen 16 enger anzuordnen, andererseits dürfen sie nicht zu eng sein, so daß das Kühlfluid 6 nicht lediglich über sie
15 hinwegströmt und möglicherweise nicht verwirbelt wird. Die Höhe 41 der Rippen 16 beträgt ungefähr das Ein- bis Zweifache der Außenwanddicke 34. Die mittragende Breite 38 der Rippen 16 beträgt ungefähr das Vierfache der Dicke 34 der Außenwand 4. In den Bereichen der Anströmkante 32 befinden sich vorzugsweise keine Rippen beziehungsweise nur konventionelle
20 Turbulatoren wie auch im Hinterkantenbereich 36.

Fig.6 zeigt eine beispielhafte Anordnung von Rippenqueröffnungen 19. Sie weisen eine längliche ovale Form auf. Sie be-
25 wirken einen Queraustausch und eine Verwirbelung der vorbeiströmenden Kühlfluids 6, wobei sie jedoch so beabstandet angeordnet sind, daß sie die Stabilität der Rippen 16 nicht beeinträchtigen, die zur Stabilisierung der dünnen Außenwandbereiche 14 dienen.

30

Fig.7 zeigt einen Schnitt durch einen Schaufelblattbereich 7 einer mitteldruckdampfgekühlten Turbinenleitschaufel 1 mit variierender Außenwanddicke 34. Der von der Außenwand 4 umgebene Hohlraum 5 weist sechs Kühlkammern 21 auf, zwei Vorder-
35 kühlkammern 31 im Bereich der Anströmkante 32 sowie eine Hinterkühlkammern 53 im Hinterkantenbereich 36. Die sechs Mittelkühlkammern 21 sind durch Innenwände 20 voneinander ge-

trennt. Die Mittelkühlkammern 21 weisen etwa gleiche Strömungsquerschnitte auf. Sie sind nach einem in Fig.3 dargestellten Fließschema seriell von dem Kühltampf 6 durchströmt. Die Wanddicke 8 der Metallwand 3 variiert über den Umfang von annähernd 1 bis 2,2 mm, nach demselben Prinzip, wie bereits bei der niederdruckdampfgeköhlten Turbinenleitschaufel beschrieben, d.h. zum Ausgleich der sich über der Querschnitt des Schaufelblatts 7 ändernden Wärmeübergangszahlen W_{ex} , W_{int} . Die Übergänge zwischen Bereichen 14 unterschiedlichen Wanddicken 8 sind jeweils kontinuierlich, entsprechend den Bereichen 10, ausgeführt, das heißt stetig, vorzugsweise linear oder mittels anderer Funktionen interpoliert.

Die Turbinenschaufel 1 weist an der gesamten Innenseite 13 der Außenwand 4, ausgenommen dem Hinterkantenbereich 36, Rippenfelder auf, die zur Unterstützung der ausgedünnten Außenwand 4 dienen. Der Mitteldruckdampf weist gegenüber dem Niederdruckdampf einen nahezu doppelt so großen Druck auf (annähernd 30 bar gegenüber annähernd 15 bar). Somit ist die Innendruckbelastung der Außenwand 4 wesentlich stärker und ein Hinzufügen von weiteren Rippenfeldern vonnöten. Vorteilhaft ist dabei jedoch, daß der Mitteldruckdampf einen verbesserten Wärmeabtransport und damit günstigere interne Wärmeübergangszahlen W_{int} gewährleistet. Die Rippen 16 weisen wiederum vorbestimmte Abstände und Dimensionen auf und sind mit Querströmungsöffnungen 19 ausgestattet. Die Rippen 16 liegen im wesentlichen quer zur Strömungsrichtung 18, die parallel zur radialen Achse des Schaufelblatts 7 erfolgt.

Der Kühlmassenfluß kann durch Hinzufügen oder Weglassen von Strömungswiderständen 51, die in Fig. 4 nur schematisch angedeutet sind, so eingestellt werden, daß ein gewünschter Kühlstrom und ein interner Wärmeübergang bzw. Wärmeübergangszahl W_{int} eintritt, der an die variierende Wanddicke 34 der Außenwand 4 angepaßt ist.

Fig.8 zeigt eine Aufsicht auf einen Fußbereich 26 einer mitteldruckdampfgekühlten Turbinenschaufel aus Fig.7 mit einem Einlaß 27 und einem Auslaß 28 für das Kühlfluid 6.

5 Fig.9 zeigt einen Längsschnitt einer mitteldruckdampfgekühlten Turbinenschaufel nach Fig.7 mit einem Fuß- 26, einem Schaufelblatt- 7 und einem Kopfbereich 25 und ein Fließschema des Mitteldruckkühldampfes. Die Mittelkühlkammern 21 werden
10 seriell und die Vorder- 31 und die Hinterkühlkammer teilweise parallel vom Kühlfluid 6 durchströmt. Der Fuß- 26 und der Kopfbereich 25 sind an den Schaufelblattbereich 7 angeschweißt oder angelötet. Sie werden durch einen geschlossenen Kreislauf mit demselben Kühlfluid 6 gekühlt wie der Schaufelblattbereich 7. Dies verringert die benötigte Kühlmittelmenge
15 und vereinfacht den Aufbau des Hohlraums 5 beziehungsweise der Innenräume des Kopf- 25 und Fußbereichs 26.

Fig.10 zeigt eine Schemazeichnung des Kühlmittelflusses durch eine mitteldruckdampfgekühlte Turbinenschaufel aus Fig.7. In
20 dem Einlaßbereich 27 können verschiedene Strömungswiderstände 51 in unterschiedliche Kühlkammern 21 gelegt werden, so daß der Teilmassenströme des Kühlfluids 6 eingestellt werden können. Ein vergrößerter Massenstrom bewirkt eine vergrößerte Kühlwirkung, aber auch erhöhte Druckverluste.

25 Fig.11 zeigt eine Schemazeichnung einer mitteldruckdampfgekühlten Turbinenleitschaufel. Der Hohlraum 5 weist fünf Mittelkühlkammern 21, der vordere Bereich 32 zwei Vorderkühlkammern 31 und der hintere Bereich 36 eine Hinterkühlkammer
30 53 auf. Die Mittelkühlkammern 21 haben etwa gleiche Strömungsquerschnitte, die Wanddicke 8 der Außenwand 4 ist nahezu konstant. Aufgrund der ausreichenden Versteifung durch die Innenwände 20 sind keine Rippen 16 notwendig.

35 Fig.12 zeigt ein Fließschema der Turbinenschaufel aus Fig. 11.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (1), insbesondere Gasturbinenschaufel,
die eine von einem heißen Aktionsfluid (2) angeströmte
Außenwand (4) hat, die einen gegebenenfalls mehrteiligen
Hohlraum (5) umgibt, der von einem Kühlfluid (6) durch-
strömt ist, wobei die Außenwand (4) über den Umfang des
Schaufelblattbereichs (7) der Turbinenschaufel (1) unter-
schiedlich dick ist,

dadurch gekennzeichnet, daß die
Dicke (34) der Außenwand (4) zumindest über einen Teilum-
fang des Schaufelblattbereichs (7) nach Maßgabe des Ver-
laufs der externen Wärmeübergangszahl (W_{ex}) an der Außen-
seite (9) der Außenwand (4) und des Verlaufs der internen
Wärmeübergangszahl (W_{int}) an der Innenseite (13) der Außen-
wand (4) kontinuierlich so verläuft, daß vorbestimmte Tem-
peraturschwellenwerte (T_M) an der Außenwand (4) und/oder
vorbestimmte Temperaturgradienten (ΔT_M) über der Außenwand
(4) zwischen vorbestimmten Stellen der Außenwand (4) nicht
überschritten werden.

2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1

dadurch gekennzeichnet, daß die
Außenwand (4) mehrschichtig aufgebaut ist und außen an der
Außenwand (4) eine dünne keramische Schutzschicht (15) und
innen eine Metallwand (3) aufweist und daß derjenige Tem-
peraturgradient (ΔT_M) maßgeblich ist, der zwischen der
Außenseite (11) und der Innenseite (12) der Metallwand (3)
anliegt.

3. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 3

dadurch gekennzeichnet, daß der
Temperaturschwellenwert (T_M) an der gesamten Außenwand (4)
und/oder vorbestimmte Temperaturgradienten (ΔT_M) über der
gesamten Außenwand (4) nicht überschritten werden.

4. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 4
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der
Temperaturschwellenwert (T_M) und der Temperaturgradient
(ΔT_M) kritischen, werkstoff- und spannungsabhängigen Wer-
5 ten entsprechen.
5. Turbinenschaufel nach Anspruch 3 oder 4
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die
Außenwand einschichtig ist und aus Metall besteht.
10
6. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß im
Hohlraum (5) ein Feld aus Rippen (16) dort vorgesehen ist,
wo ein Außenwandbereich (14) geringerer Dicke (34) vor-
15 liegt.
7. Turbinenschaufel nach Anspruch 6
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die
Rippen (16) des Felds nach Maßgabe der Dicke (34) der
20 Außenwand (4), des Temperaturschwellenwerts (T_M) und/oder
des Temperaturgradienten (ΔT_M) und der von Mises-Ver-
gleichsspannung vorbestimmte Maße, Abstände und räumliche
Anordnungen aufweisen.
- 25 8. Turbinenschaufel nach Anspruch 6 oder 7,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das
Feld der Rippen (16) zumindest abschnittsweise quer zur
Strömung (18) des Kühlfluids (6) verläuft.
- 30 9. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die
Rippen (16) Queröffnungen (19) aufweisen.
10. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der
Hohlraum (5) von der Druckseite (46) zur Saugseite (45) in
Längsrichtung der Turbinenschaufel (1) von Innenwänden

(20) durchzogen ist, wobei die Innenwände (20) an die druckseitige bzw. saugseitige Außenwand (4) unter kontinuierlichem Verlauf an den kontinuierlichen Verlauf der Dicke (34) der Außenwand (4) angeschlossen sind.

5

11. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Hohlraum (5) mit einer Aluminisierungsschicht (54) versehen ist.

10

12. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Kühlfluid (6) in einem geschlossenen Kreislauf durch die Turbinenschaufel (1) geführt wird.

15

13. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Einlaß (27) und der Auslaß (28) des Kühlfluids (6) im Fußbereich (26) angeordnet sind.

20

14. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Kopf- (25) und Fußbereich (26) der Turbinenschaufel (1) zugleich mit dem Kühlfluid (6) des Schaufelblattbereichs (7) gekühlt wird.

25

15. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Turbinenschaufel (1) eine Laufschaufel ist und die Wanddicken (30) der Innenwände (20) im Hohlraum (5) nach Maßgabe einer lokalen Wärmeübergangszahl lokal variieren.

30

16. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß im Mittelbereich (55) des Schaufelblattbereichs (7) von Innenwänden (20) gebildete Mittelkühlkammern (21) vorgesehen sind, die seriell vom Kühlfluid (6) durchströmt sind.

35

17. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß im
Mittelbereich (55) des Schaufelblattbereichs (7) von In-
5 nenwänden (20) gebildete Mittelkühlkammern (21) vorgesehen
sind, die parallel vom Kühlfluid (6) durchströmt sind.

18. Turbinenschaufel nach Anspruch 16 oder 17,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß zu-
10 mindest eine der Mittelkühlkammern (21) einen Prallkühl-
einsatz (22) mit nach außen gerichteten Prallkühlbohrungen
(23) aufweist, die mit Abstand von der Innenseite (13) der
Außenwand (4) angeordnet und die vom Kühlfluid (6) durch-
strömt sind.

15 19. Turbinenschaufel nach Anspruch 18,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der
Prallkühleinsatz (22) von auf der Innenseite (13) der
Außenwand (4) und/oder von auf der Innenwand (20) und/oder
20 von auf Rippen (16) angebrachten Abstandshaltern (44) ge-
halten ist.

20. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 19,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß an
25 der Hinterkante (36) der Turbinenschaufel (1) eine Zusatz-
kühlung (56) vorhanden ist.

21. Turbinenschaufel nach Anspruch 20,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die
30 Zusatzkühlung (56) eine separate, geschlossene Dampfküh-
lung ist.

22. Turbinenschaufel nach Anspruch 20
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die
35 Zusatzkühlung (56) eine Luftkühlung mit freiem Austritt
ist.

23. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 22,
dadurch gekennzeichnet, daß das
Kühlfluid (6) Dampf ist.
- 5 24. Turbinenschaufel nach Anspruch 23
dadurch gekennzeichnet, daß der
Dampf ein Niederdruckdampf ist.
25. Turbinenschaufel nach Anspruch 23
10 dadurch gekennzeichnet, daß der
Dampf ein Mitteldruckdampf ist.
26. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 25,
dadurch gekennzeichnet, daß die
15 Außenkontur der Turbinenschaufel (1) dem Verlauf einer
aerodynamisch vorgegebenen Form entspricht und daß die
Dicke (34) der Außenwand (4) zum Hohlraum (5) hin vari-
iert.
- 20 27. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel, insbe-
sondere einer Gasturbinenschaufel, mit einer Außenwand
(4), die entlang eines Querschnitts durch den Schaufel-
blattbereich (7) der Turbinenschaufel (1) unterschiedlich
dick ist, und mit den weiteren Merkmalen eines der Ansprü-
25 che 1 bis 26, wobei das Verfahren ein Gußverfahren umfaßt,
bei dem eine Gußform verwendet wird, die einen Gußkern
enthält, zur Herstellung einer Turbinenschaufel nach den
Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 26,
dadurch gekennzeichnet, daß die
30 Gußform so angeordnet wird, daß der Profilverlauf der
Außenkontur des Gußkerns der Differenz zwischen einem
aerodynamisch vorgegebenen äußeren Profilverlauf eines
Turbinenschaufelblatts (7) und einer Funktion entspricht,
die nach Maßgabe des Verlaufs der externen Wärmeübergangs-
35 zahl (W_{ex}) an der Außenseite (9) der Außenwand (4) der Tur-
binenschaufel (1) und des Verlaufs der internen Wärmeüber-
gangszahl (W_{int}) an der Innenseite (13) der Außenwand (4)

der Turbinenschaufel (1) kontinuierlich so verläuft, daß
zumindest an vorbestimmten Stellen der Außenwand (4) vor-
bestimmte Temperaturschwellenwerte (T_M) und/oder vorbe-
stimmte Temperaturgradienten (ΔT_M) nicht überschritten
5 werden.

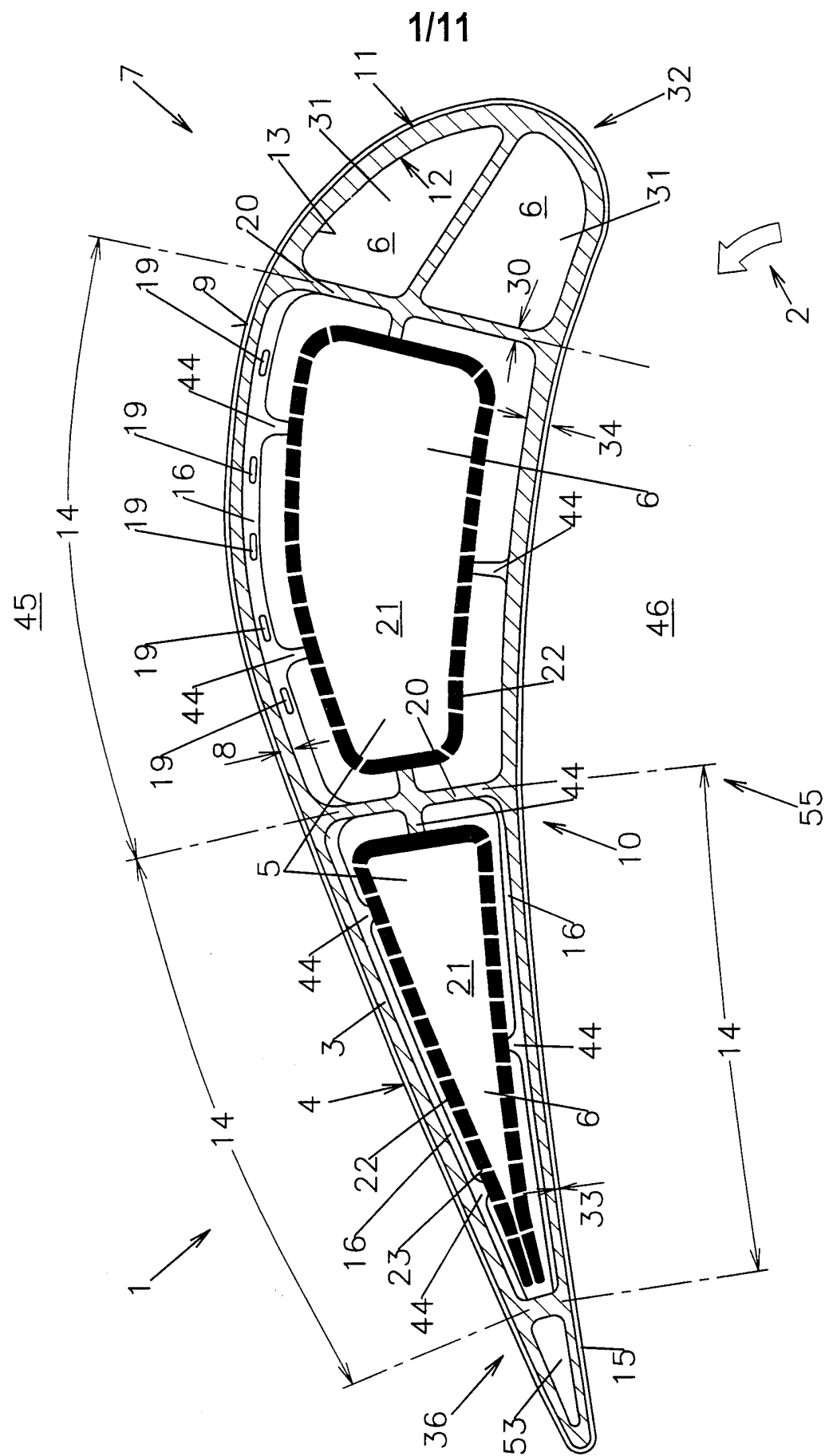


Fig. 1

2/11

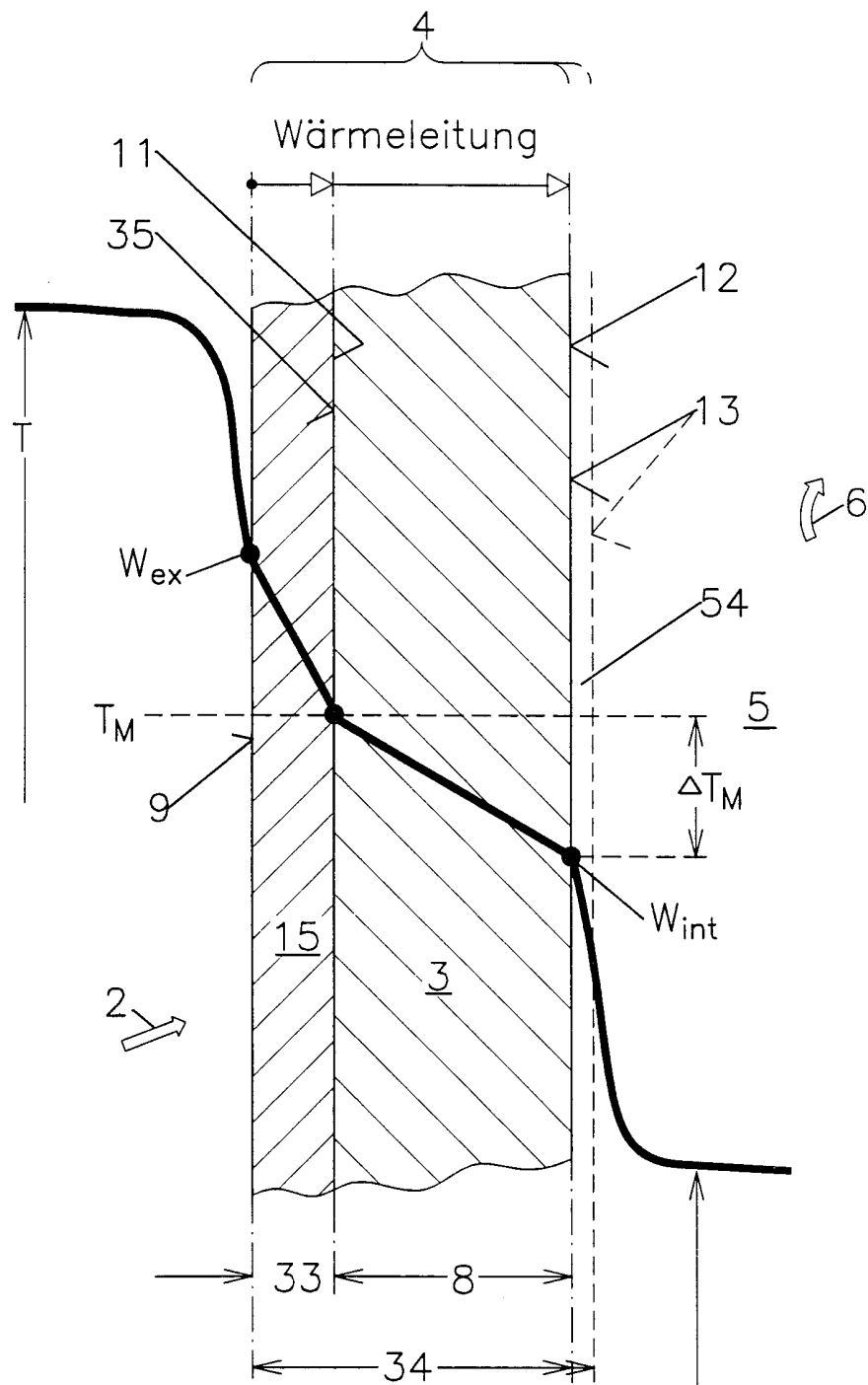


Fig.2

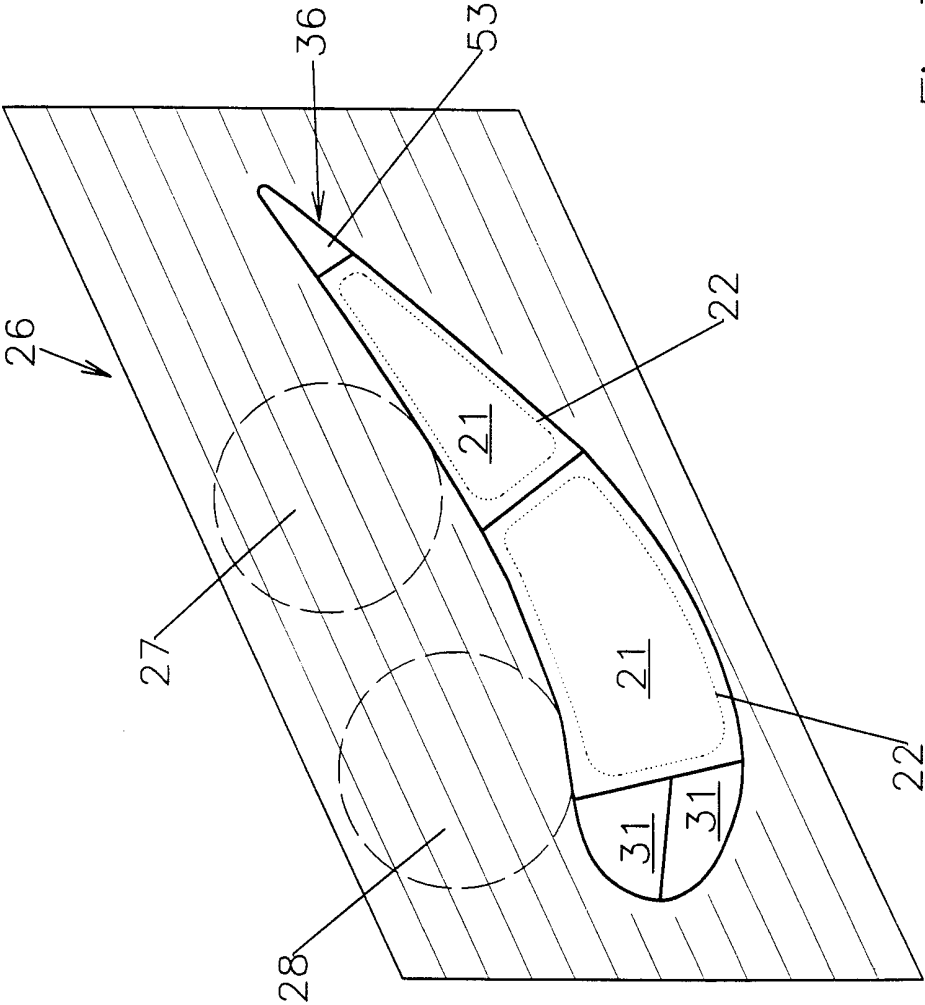


Fig.3

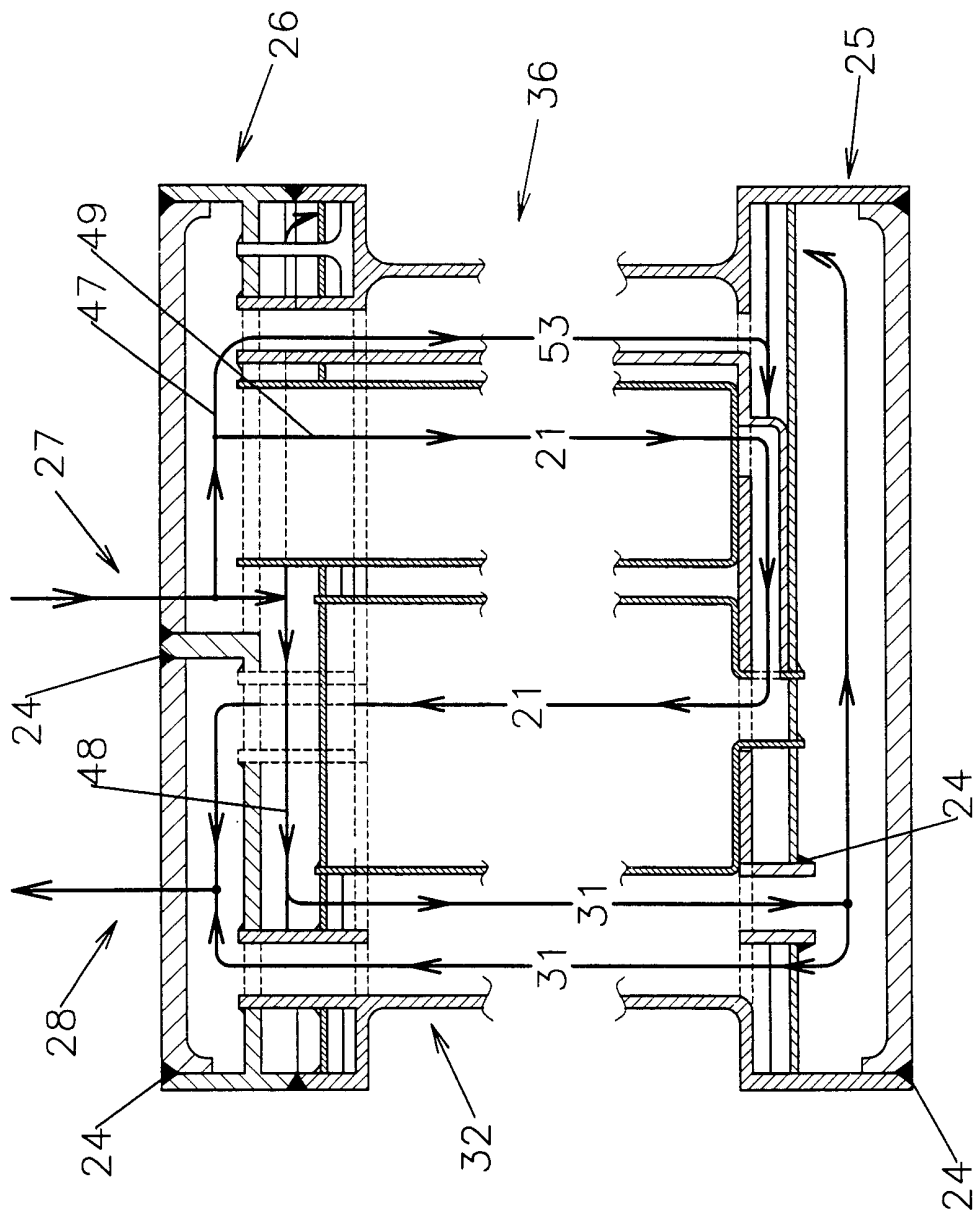


Fig. 4

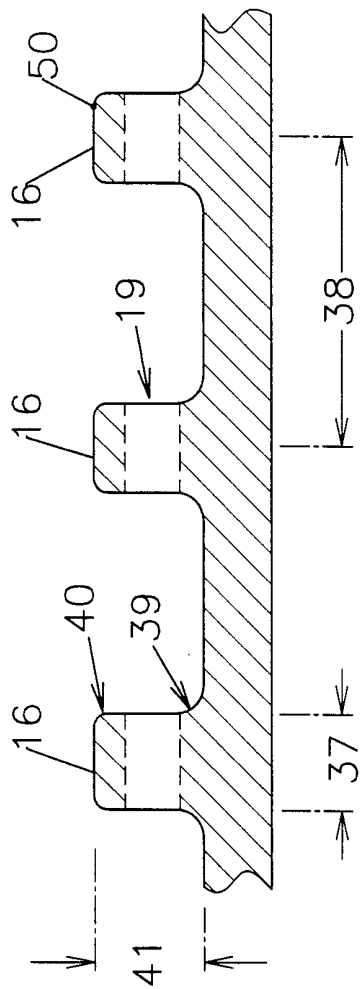


Fig. 5

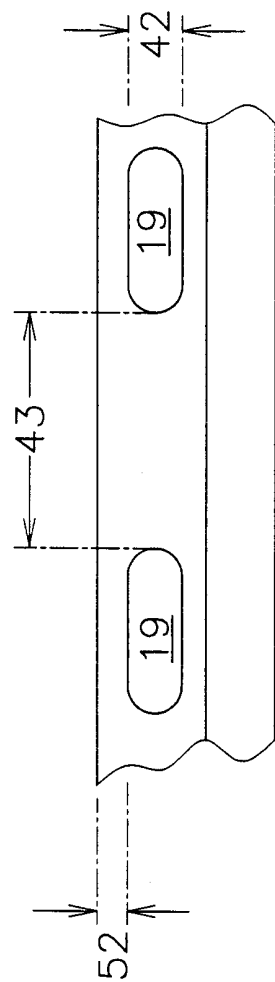


Fig. 6

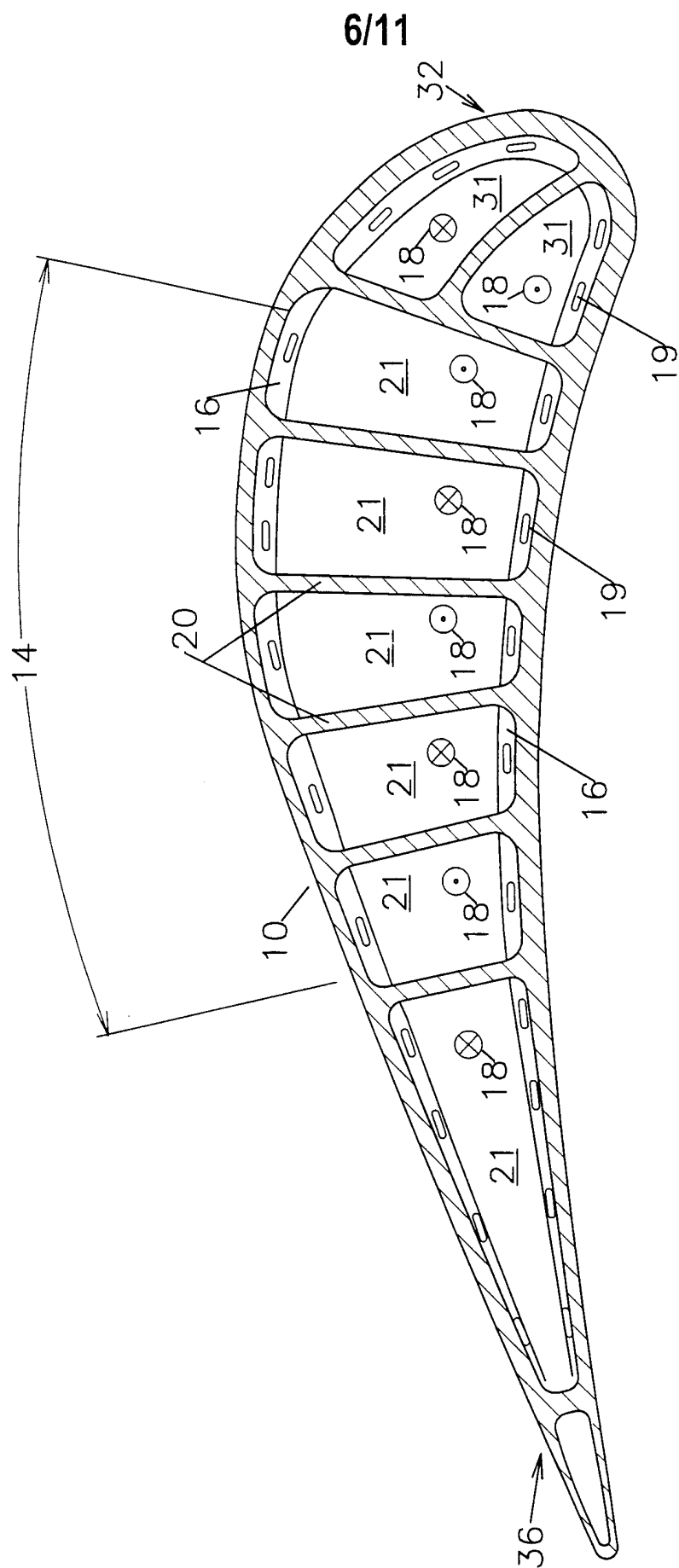


Fig. 7

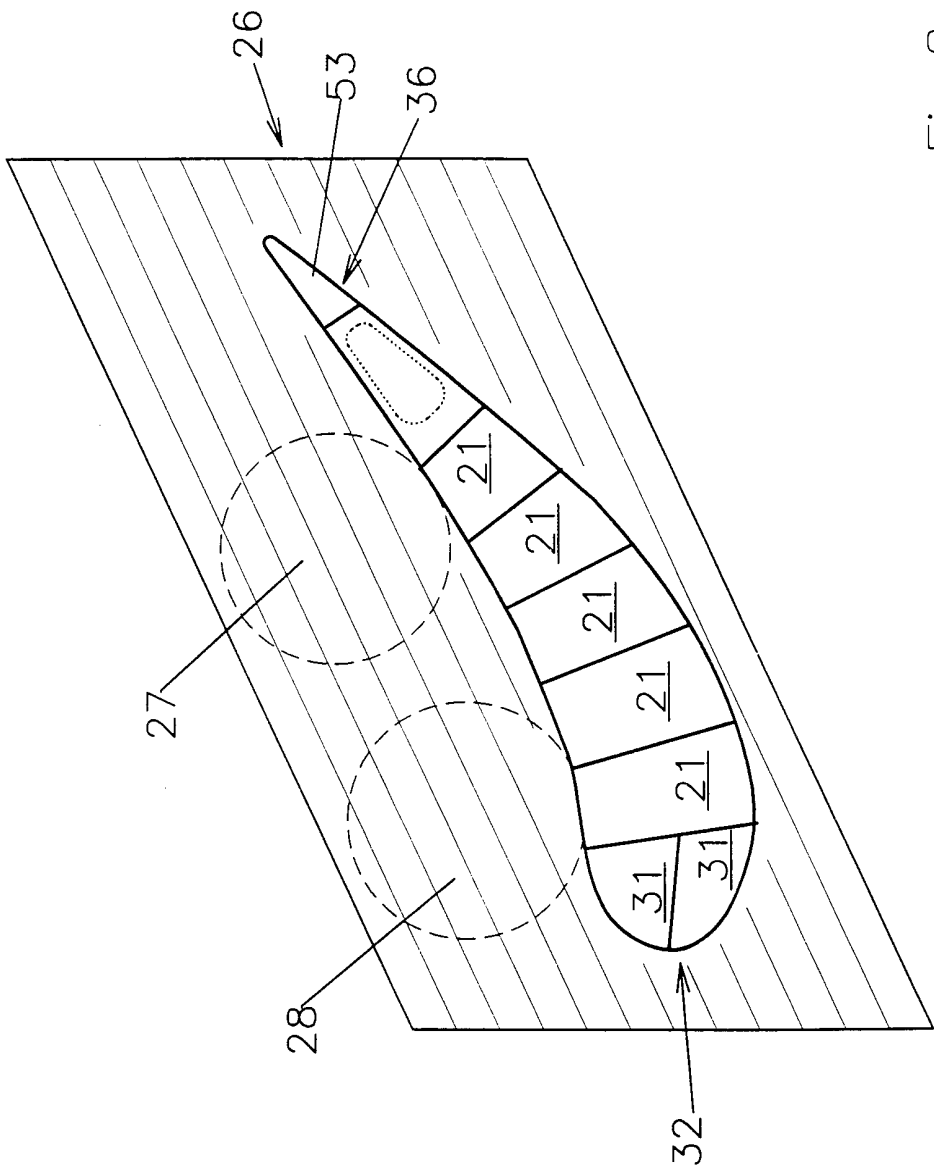


Fig. 8

8/11

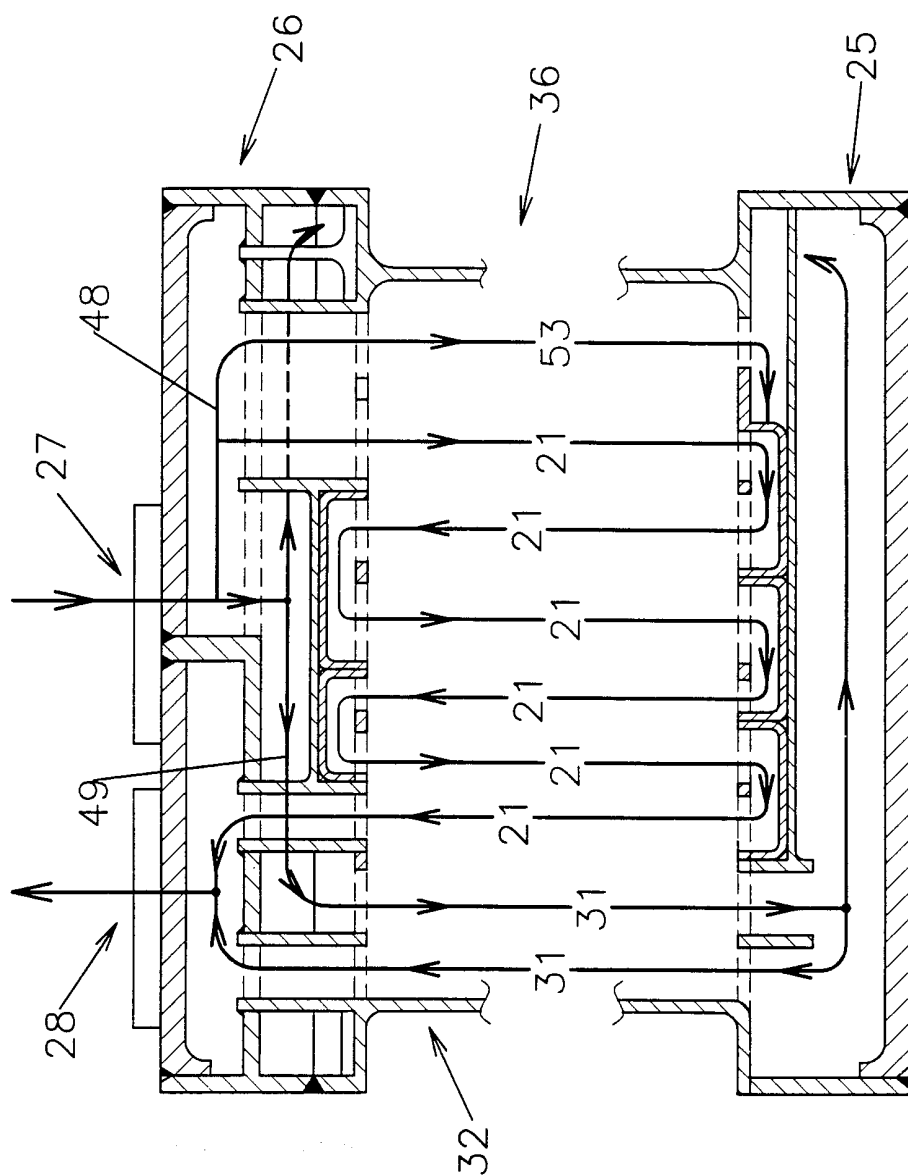
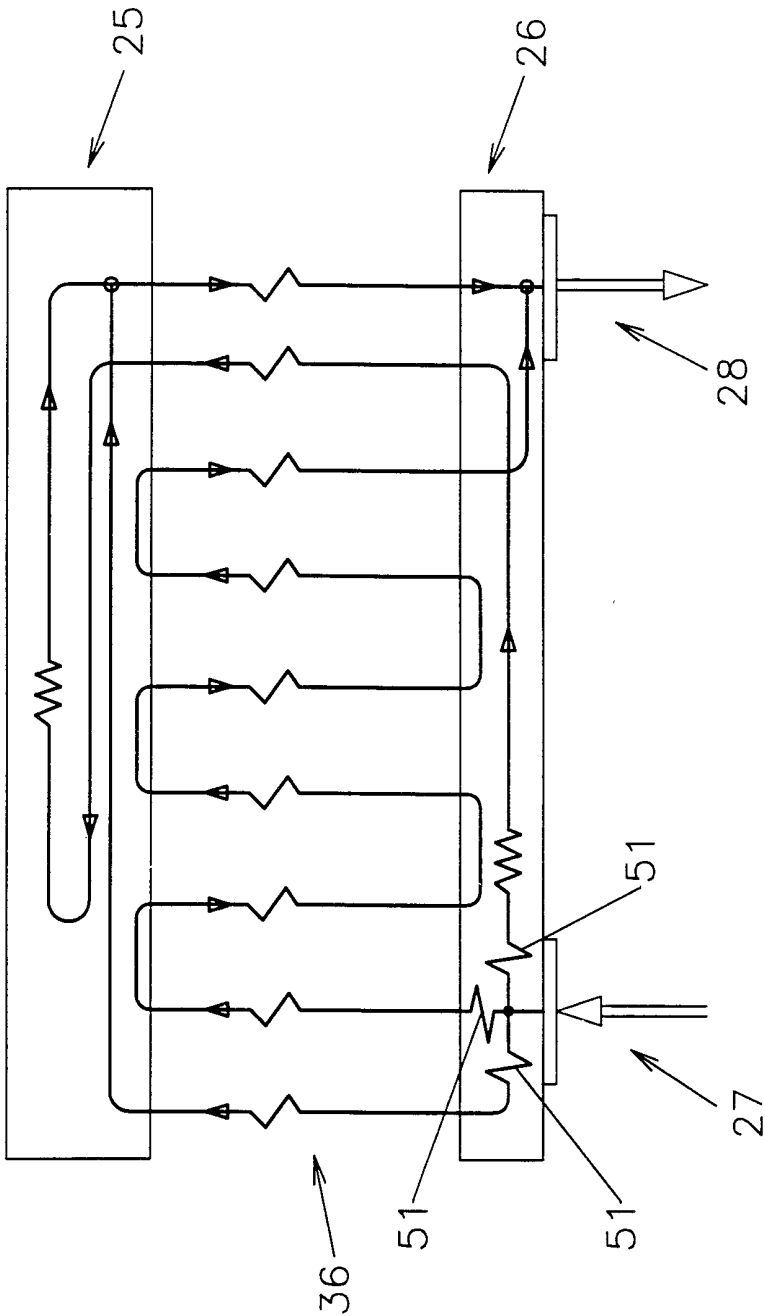


Fig. 9

9/11

Fig.10



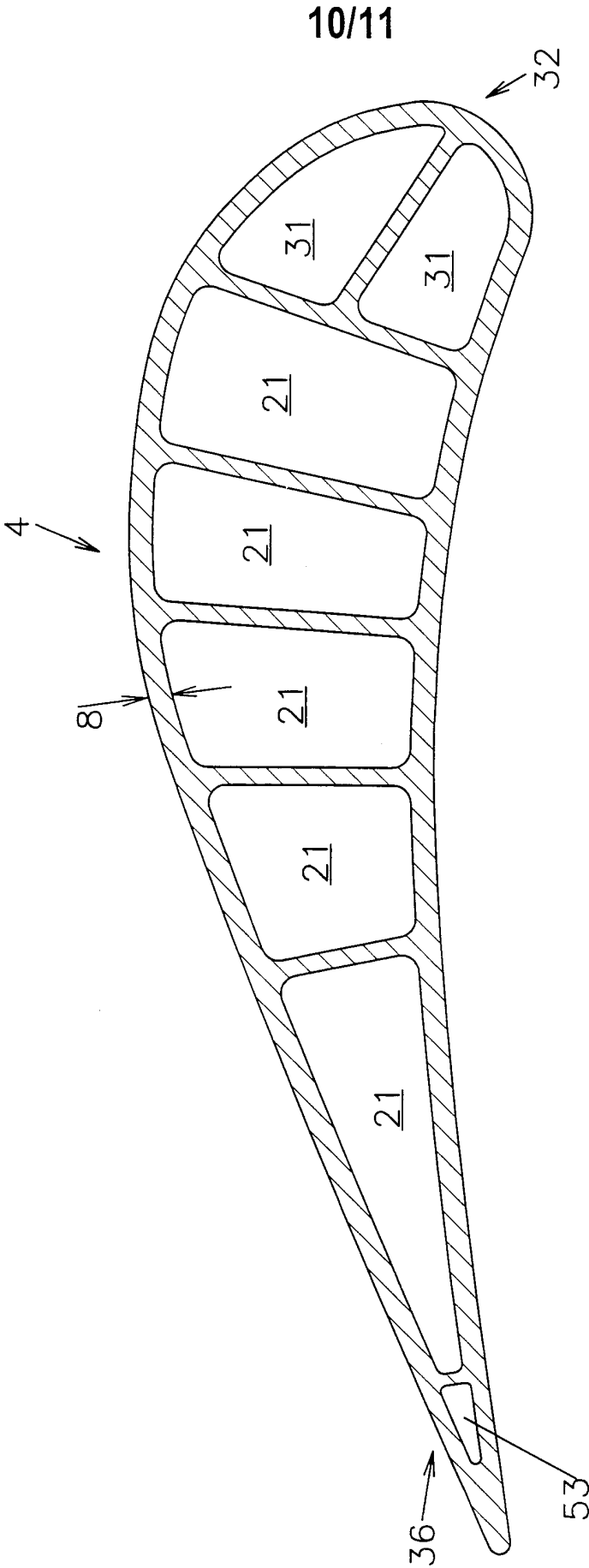


Fig. 11

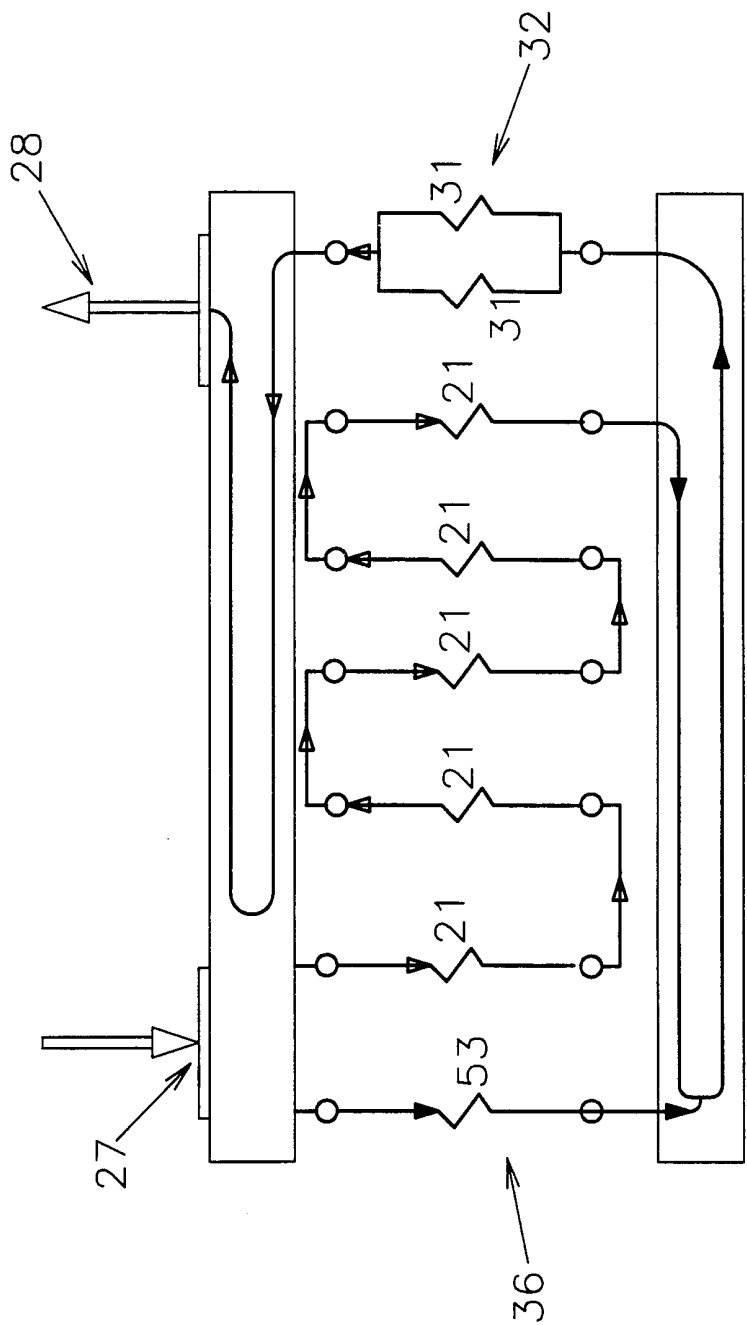


Fig.12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/10947

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F01D5/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 3 836 283 A (MATSUKI M ET AL) 17 September 1974 (1974-09-17)	1,3-5, 10,15, 18,20, 22,26
Y	the whole document	2,6-8, 12-14,23
X	DE 892 698 C (DECHER) 8 October 1953 (1953-10-08) the whole document	1,3-5
Y	US 5 472 316 A (TASLIM MOHAMMAD E ET AL) 5 December 1995 (1995-12-05)	6-8,10, 14
A	abstract; figures 2,5	1
Y	FR 981 719 A (ESCHER WYSS) 30 May 1951 (1951-05-30)	2
A	the whole document	1
-/--		

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 January 2001

Date of mailing of the international search report

05/02/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Iverus, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/10947

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 392 664 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO) 17 October 1990 (1990-10-17)	10, 12-14, 18-20, 22,23
A	the whole document ----	1
Y	US 5 536 143 A (JACALA ARIEL ET AL) 16 July 1996 (1996-07-16)	6-8,10, 12-14, 18-20, 22,23
A	the whole document ----	1-5,16, 25
A	EP 0 814 234 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 29 December 1997 (1997-12-29) -----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 00/10947

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3836283 A	17-09-1974	JP 881717 C JP 49006310 A JP 52007482 B FR 2184261 A	13-09-1977 21-01-1974 02-03-1977 21-12-1973
DE 892698 C		NONE	
US 5472316 A	05-12-1995	NONE	
FR 981719 A	30-05-1951	BE 487558 A CH 265293 A	30-11-1949
EP 0392664 A	17-10-1990	JP 2241902 A DE 69017493 D DE 69017493 T US 5120192 A	26-09-1990 13-04-1995 21-09-1995 09-06-1992
US 5536143 A	16-07-1996	EP 0735240 A JP 8319803 A	02-10-1996 03-12-1996
EP 0814234 A	29-12-1997	JP 2971386 B JP 9189203 A US 5954475 A CA 2214826 A WO 9725522 A	02-11-1999 22-07-1997 21-09-1999 17-07-1997 17-07-1997

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. nationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/10947

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F01D5/18

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 F01D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^o	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 3 836 283 A (MATSUKI M ET AL) 17. September 1974 (1974-09-17)	1,3-5, 10,15, 18,20, 22,26
Y	das ganze Dokument	2,6-8, 12-14,23
X	DE 892 698 C (DECHER) 8. Oktober 1953 (1953-10-08) das ganze Dokument	1,3-5
Y	US 5 472 316 A (TASLIM MOHAMMAD E ET AL) 5. Dezember 1995 (1995-12-05)	6-8,10, 14
A	Zusammenfassung; Abbildungen 2,5	1
Y	FR 981 719 A (ESCHER WYSS) 30. Mai 1951 (1951-05-30)	2
A	das ganze Dokument	1
	--- -/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

^o Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. Januar 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

05/02/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Iverus, D

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/10947

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 392 664 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO) 17. Oktober 1990 (1990-10-17)	10, 12-14, 18-20, 22,23
A	das ganze Dokument ----	1
Y	US 5 536 143 A (JACALA ARIEL ET AL) 16. Juli 1996 (1996-07-16)	6-8,10, 12-14, 18-20, 22,23
A	das ganze Dokument ----	1-5,16, 25
A	EP 0 814 234 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 29. Dezember 1997 (1997-12-29) -----	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Intern. ales Aktenzeichen

PCT/EP 00/10947

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3836283 A	17-09-1974	JP 881717 C	13-09-1977
		JP 49006310 A	21-01-1974
		JP 52007482 B	02-03-1977
		FR 2184261 A	21-12-1973
DE 892698 C		KEINE	
US 5472316 A	05-12-1995	KEINE	
FR 981719 A	30-05-1951	BE 487558 A	
		CH 265293 A	30-11-1949
EP 0392664 A	17-10-1990	JP 2241902 A	26-09-1990
		DE 69017493 D	13-04-1995
		DE 69017493 T	21-09-1995
		US 5120192 A	09-06-1992
US 5536143 A	16-07-1996	EP 0735240 A	02-10-1996
		JP 8319803 A	03-12-1996
EP 0814234 A	29-12-1997	JP 2971386 B	02-11-1999
		JP 9189203 A	22-07-1997
		US 5954475 A	21-09-1999
		CA 2214826 A	17-07-1997
		WO 9725522 A	17-07-1997