

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 0 892 149 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
20.01.1999 Patentblatt 1999/03

(51) Int. Cl.⁶: **F01D 5/18**

(21) Anmeldenummer: **97810474.3**

(22) Anmeldetag: **14.07.1997**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV RO SI

(71) Anmelder: **ABB RESEARCH LTD.**
8050 Zürich (CH)

(72) Erfinder:
• **Beeck, Alexander, Dr.**
79790 Küssaberg (DE)

• **Johnson, Bruce, Dr.**
5417 Untersiggenthal (CH)
• **Weigand, Bernhard, Dr.**
79761 Waldshut-Tiengen (DE)
• **Wu, Pey-Shey, Dr.**
Chiayi, Taiwan 600 (TW)

(74) Vertreter: **Klein, Ernest et al**
Asea Brown Boveri AG
Immaterialgüterrecht(TEI)
Haselstrasse 16/699 I
5401 Baden (CH)

(54) **Kühlsystem für den Vorderkantenbereich einer hohlen Gasturbinenschaufel**

(57) Bei einem Kühlsystem für den Vorderkantenbereich einer hohlen Gasturbinenschaufel erstreckt sich vom Schaufelfuss (1) bis zur Schaufelspitze (2) ein längsdurchströmter Kanal (3), welcher im Bereich des Schaufelblattes (4) von den Innenwandungen der Vorderkante (5), der Saugseite (6) und der Druckseite (7) und von einem Steg (8) begrenzt ist. Die Innenwandungen der Saugseite und der Druckseite sind mit einer Mehrzahl schräg und zumindest annähernd parallel verlaufender Rippen (9) versehen. Über der Schaufelhöhe sind die saugseitigen Rippen und die druckseitigen Rippen gegeneinander versetzt. Die Rippen (9) verlaufen vom Steg (8) in Richtung Vorderkante (5) radial einwärts, gehen im Bereich der Vorderkante in die Radiale über und sind um die Vorderkante herumgeführt. Die Umlenkung der Rippen (9) von der Schrägen in die Radiale erfolgt mit kleinstmöglichem Radius. Das Verhältnis Höhe (h) der Rippen (9) zur örtlichen Höhe (H) des Kanals (4) ist über die Längserstreckung der Rippen konstant.

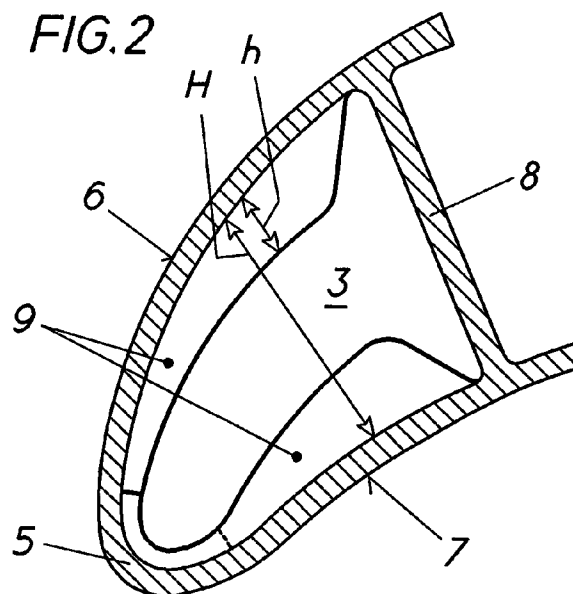
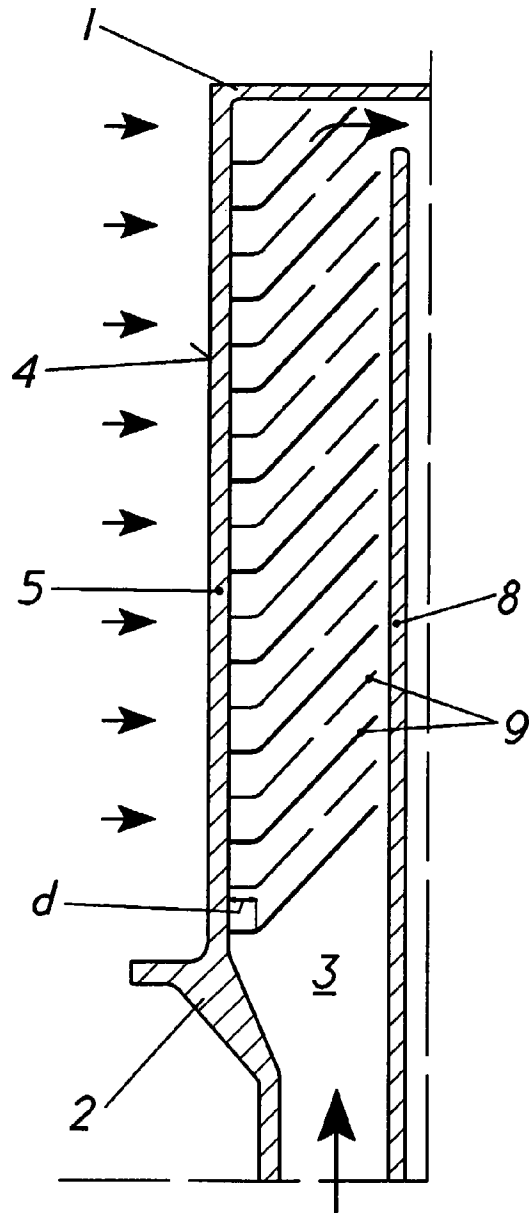


FIG.3



Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Kühlsystem für den Vorderkantenbereich einer hohlen Gasturbinenschaufel, bei welcher sich vom Schaufelfuss bis zur Schaufelspitze ein längsdurchströmter Kanal erstreckt, welcher im Bereich des Schaufelblattes einerseits von den Innenwandungen der Vorderkante, der Saugseite und der Druckseite und andererseits von einem die Druckseite mit der Saugseite verbindenden Steg begrenzt ist, wobei die Innenwandungen der Saugseite und der Druckseite mit einer Mehrzahl schräg und zumindest annähernd parallel verlaufender Rippen versehen sind, und wobei über der Schaufelhöhe die saugseitigen Rippen und die druckseitigen Rippen gegeneinander versetzt sind.

Die Erfindung bezieht sich somit ganz allgemein auf ein System zum Kühlen einer gekrümmten Wand, welche an einer Seite von einem heissen Medium und an ihrer anderen Seite von einem Kühlmittel umströmt ist.

Stand der Technik

Hohle, innengekühlte Turbinenschaufeln mit Flüssigkeit, Dampf oder Luft als Kühlmittel sind hinlänglich bekannt. Ein Problem stellt insbesondere die Kühlung des Vorderkantenbereiches von solchen Schaufeln dar.

Ein Kühlsystem der eingangs genannten Art ist bekannt aus der DE-C2 32 48 162. Der betrachtete Bereich ist an seinen Innenwandungen mit Rippen bestückt, die von der Vorderkante bis hin zum Steg radial auswärts vertaufen. Diese Rippen weisen eine Höhe auf, die an jeder Stelle zwischen 10% und 33% der örtlichen Höhe des Kühlmittelkanals beträgt. Damit soll auch bei einem schmalen Kanal der Vorderkantenbereich wirksam gekühlt werden. Hierbei sind die Rippen zur Turbulenzauslösung und -förderung vorgesehen, und das Kühlfluid soll ohne grossen Widerstand durch die Schaufel geleitet werden. Durch die schräge Anordnung der Rippen in einer definierten Richtung sollen an den Rippen Wirbel entstehen, die eine Geschwindigkeitskomponente zur Vorderkante hin aufweisen. Dies soll dazu führen, dass das Kühlmittel insgesamt zum Vorderkantenbereich abgelenkt wird, womit dieser Bereich auch ohne Filmkühlung wirksam gekühlt wird. Dazu ist die eigentliche Vorderkante rippenfrei ausgeführt. Sie weist an der Innenseite eine zylindrische Form auf mit einem Radius, der etwa der Höhe der anschliessenden Rippen entspricht. Der Abstand der Rippen zur Vorderkante hat einen Wert zwischen einfacher bis fünffacher Rippenhöhe.

Weitere Überlegungen, wie mittels Rippen die Wärmeübertragung in sogenannten Dreieckskanälen - wie sie der Vorderkantenbereich einer Gasturbinenschaufel darstellt - verbessert werden kann, sind in der Zeit-

schrift "Journal of Thermophysics and Heat Transfer", Vol. 8, No. 3, July-Sept. 1994 auf den Seiten 574-579 in einem Artikel von Zhang et al dargelegt.

Das Problem bei den mit Rippen gleicher Höhe bestückten Dreieckskanälen besteht indes darin, dass durch den grossen Querschnitt an der Basis des Dreiecks infolge des geringeren Widerstandes dort eine zu grosse Menge Kühlmittel durchströmt, was zu den in der Folge erläuterten Unzulänglichkeiten führen kann.

Darstellung der Erfindung

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Kühlsystem der eingangs genannten Art zu schaffen, bei der durch Steigerung der Turbulenz im Vorderkantenbereich und weiterer Massnahmen eine beträchtliche Erhöhung des Wärmeübergangskoeffizienten erzielt werden kann.

Erfindungsgemäss wird dies mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1 erreicht.

Besonders zweckmässig ist es, wenn das Verhältnis Höhe der Rippen zur örtlichen Höhe des Kanals von der Vorderkante in Richtung Steg zunimmt oder über die Längserstreckung der Rippen konstant ist. Mit dieser Massnahme kann in jeder Radialebene von der Vorderkante bis zum Steg ein Querschnitt mit zumindest annähernd gleicher Sperrung und somit gleichmässiger Strömungsverteilung erreicht werden. Dies hat den Vorteil, dass gegenüber dem eingangs erwähnten Stand der Technik die Vorderkante stärker beaufschlagt wird und gleichzeitig der Steg entlastet wird. Letzteres ist wichtig, um zu hohe Spannungen an den beidseitigen Verbindungsstellen des kühlen Steges mit den heissen Schaufelwandungen zu vermeiden.

Eine weitere Entlastung des Stegbereiches wird dann erreicht, wenn - wiederum im Gegensatz zum eingangs erwähnten Stand der Technik - die Höhe der Rippen im Bereich des Steges frühzeitig so reduziert wird, dass die Rippe nicht bis zum Steg reicht. Die dann in diesem Bereich fehlende Turbulenz bewirkt eine vorteilhafte verminderte Kühlung des Steges im Verbindungsbereich.

Weitere sinnvolle Ausbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer innengekühlten Gasturbinenschaufel vereinfacht dargestellt. Darin zeigen:

- Fig. 1 eine Schaufel im Querschnitt;
- Fig. 2 den Vorderkantenbereich der Schaufel nach Fig. 1;
- Fig. 3 einen Längsschnitt durch den Vorderkantenbereich;
- Fig. 4 eine perspektivische schematische Vorderansicht der Schaufelberippung im Vorder-

kantenbereich.

Fig. 5 eine schematische Abwicklung der Schaufelberippung im Vorderkantenbereich.

Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Die Strömungsrichtung der beteiligten Medien ist mit Pfeilen bezeichnet.

Weg zur Ausführung der Erfindung

Die in Fig. 1 dargestellte, gegossene Schaufel weist drei Innenkammern a, b, und c auf, die von einem Kühlmittel, beispielsweise Dampf oder Luft, senkrecht zur Zeichnungsebene durchströmt sind. Dabei werden die Innenseiten der die Schaufelkontur bildenden Wand W - die aussen beidseitig von heissen Gasen umströmt ist - vom Kühlmittel umströmt und geben ihre Wärme an das Kühlmittel ab. In der Regel sind zumindest in den zwei vorderen Kammern a, b zahlreiche hier nicht gezeigte Hilfsmittel wie Leitrippen, Strömungskanäle, Einsätze für Prallkühlung und dergleichen zur Verbesserung der Wandkühlung vorgesehen sein können. Im Beispielsfall zirkuliert das Kühlmittel im geschlossenen Kreis, worunter verstanden wird, dass weder an der Vorderkante, der Saugseite, der Druckseite noch im Bereich der Hinterkante ein Ausblasen von Kühlmittel in den Strömungskanal erfolgt.

In der Vorderkammer a gibt es zwei Problembereiche. Zum einen die eigentliche Vorderkante, die von den heissen Gasen direkt angeströmt wird und deshalb einer besonders sorgfältigen Kühlung bedarf und zum andern die Verbindungsstellen des Steges 8 mit den Innenwandungen der Saugseite 6 sowie der Druckseite 7, welche auf keinen Fall zu stark gekühlt werden sollen.

Unter Zuhilfenahme der an sich bekannten, mit der Schaufel vergossenen Rippen, indes in neuer Anordnung und Geometrie, löst die Erfindung mit ein und derselben Massnahme die vorherrschenden Probleme in beiden Bereichen.

Die Fig. 2 und 3 zeigen das Kühlsystem für den Vorderkantenbereich einer hohlen Gasturbinenschaufel. Vom Schaufelfuss 1 bis zur Schaufelspitze 2 erstreckt sich ein längsdurchströmter Kanal 3, welcher der Kammer a in Fig. 1 entspricht. Im Bereich des Schaufelblattes 4 ist dieser Kanal von den Innenwandungen der Vorderkante, der Saugseite 6 und der Druckseite 7 sowie von einem die Druckseite mit der Saugseite verbindenden Steg 8 begrenzt. Die Innenwandungen der Saugseite und der Druckseite sind mit einer Mehrzahl schräg und zumindest annähernd parallel verlaufender Rippen 9 versehen, die über der Schaufelhöhe gestaffelt angeordnet sind. Wie aus der schematischen Darstellung in Fig. 3 erkennbar, sind über der Schaufelhöhe die saugseitigen Rippen und die druckseitigen Rippen um eine halbe Teilung gegeneinander versetzt.

Soweit sind berippte Kühlsysteme an sich bekannt.

Gemäss der Erfindung verlaufen die Rippen nun jedoch vom Steg 8 Richtung Vorderkante radial einwärts unter einem Winkel von 45°. Es ist zu erwarten, dass Anstellwinkel zwischen 15° und 60° geeignet sind. Darüberhinaus gehen die Rippen im Bereich der Vorderkante in die Radiale über. Diese Umlenkung der Rippen von der Schrägen in die Radiale erfolgt mit kleinstmöglichem Radius. Es ist auch möglich dass die Rippen schräg in die Vorderkante läuft und dabei umlenkt. Dies bedeutet, dass dann die Form der Rippen aus gusstechnischen Gründen nicht mehr überall den gleichen Querschnittsverlauf aufweisen, sondern im Bereich der stark gekrümmten Vorderkantenwand "verwunden" sind. Daraus folgt, dass der Abstand d von der Vorderkante bis zum Ort der Umlenkung zwischen 0% und 15% der Länge des Kanals 3 sein kann. Die Wirkung dieser schräg angestellten Rippen und ihrer Umlenkung ist folgende:

Die Rippenstruktur verursacht eine Sekundärströmung im Kanal, die warme Luft aus dem unmittelbaren Bereich der Vorderkante in die Mitte des Kanals befördert. Diese warme Luft wird durch kältere Luft aus der Kanalmitte ersetzt.

Weiterhin sind die ungelenkten Rippen ganz um die Vorderkante herumgeführt, wie dies in den Fig. 2 und 4 erkennbar ist. Diese Lösung zusammen mit der versetzten Anordnung der Rippen auf der Saugseite 6 und der Druckseite 7 bewirkt folgendes:

Es entsteht eine engere Staffelung der Rippen im Vorderkantenbereich als im Mittelbereich des Kanals. Dies führt zu einer sehr starken Anfachung der Wärmeübertragung in diesem Gebiet durch eine Steigerung der Turbulenz und durch die Erzeugung von Anlagepunkten der Strömung hinter Rezirkulationsgebieten, die hinter den Rippen entstehen.

Das Verhältnis Höhe h der Rippen zur örtlichen Höhe H des Kanals 3 nimmt von der Vorderkante 5 in Richtung Steg 8 zu. Diese Höhenzunahme wird im Beispielsfall so gewählt, dass zwischen Vorderkante und Steg in jeder Axialebene ein frei durchströmter Kanal etwa gleicher Breite entsteht. Mit dieser Massnahme wird eine gleichmässige Kühlmittelverteilung über dem gesamten durchströmten Querschnitt erreicht. Erst durch das Einführen einer ortsabhängigen Rippenhöhe werden die beiden vorher genannten Mechanismen zur Erhöhung der Wärmeübertragung besonders wirksam. Die lokal ortsabhängige Rippenhöhe schafft im Kanal eine Strömung, die auch in den engen Vorderkantenbereich strömt, da hier die Strömungswiderstände nun etwa gleich gross sind wie im restlichen Kanal. Weiterhin wirkt sich die Gestaltung der neuen Rippen in der Kühlpassage sehr positiv und unterstützend auf die oben erwähnte Sekundärströmung im Kanal aus, welche die Luft aus der Vorderkante in den hinteren Kanalbereich schafft. Die hohen Rippen im hinteren Kanalbereich induzieren hierbei eine sehr starke Sekundärströmung.

Bei bestimmten Verhältnissen ist es günstig, wie

experimentell nachgewiesen wurde, wenn das Verhältnis Höhe h der Rippen zur örtlichen Höhe H des Kanals über die Längserstreckung der Rippen konstant ist.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich, nimmt die Höhe h der Rippen im Bereich des Steges 8 stetig gegen null ab. Es versteht sich, dass herstellungsbedingt scharfkantige Verbindungen kaum möglich sind. Wie bereits erwähnt, hat diese Konfiguration den Vorteil, dass an der Verbindungsstelle des Steges mit den Innenwandungen das Kühlmittel nahezu störungsfrei an den Wandungen entlang strömt und damit weniger Kühlwirkung entwickelt. Selbstverständlich darf der Zwischensteg 8 niemals zu heiss werden. Sollte aufgrund der gewählten Konfiguration dieser Fall eintreten können, so besteht ohne weiteres die Möglichkeit, die Rippen bis zum Steg mit einer angepassten Höhe weiterzuführen, d.h. mit gleicher oder reduzierter Höhe.

Die Höhe h der einzelnen über der Schaufelhöhe gestaffelten Rippen kann selbstverständlich der lokal vorliegenden Wärmebelastung angepasst sein. Eine Vergrößerung der Rippen gegen die Schaufelspitze hin ist insbesondere dann angebracht, wenn das Kühlmittel sich im Verlauf seines Weges durch den Kanal bereits stark erwärmt hat, so dass die erforderliche Temperaturdifferenz zwischen zu kühlender Wand und Kühlmittel zum angestrebten Wärmeaustausch kleiner wird.

Eine ähnliche Wirkung kann erzielt werden, indem der Abstand der Rippen über der Schaufelhöhe variabel gestaltet wird. Selbstverständlich können auch beide Massnahmen kombiniert werden. Ein derartig variabler Abstand ist schematisch in Fig. 5 illustriert. Im oberen Teil wird der Abstand der Rippen zur Schaufelspitze hin zunehmend grösser. Im unteren Teil ist die Lösung dargestellt, bei welcher die Schräge direkt in die Vorderkante verläuft, d.h. der erwähnte Abstand d beträgt hier 0.

Bei gegebenen Bedingungen - d.h. Geometrie und Wandstärke der Vorderkante und der seitlichen Wandungen; Geometrie der vom Kühlmittel zu durchströmenden Kammer a ; Wärmebelastung der Schaufelvorderkante; Art, Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmittels - sind demnach die Wahl des Rippen-Anstellwinkels, die lokale Höhe der in den durchströmten Kanal hineinragenden Rippen, die Anzahl und die Teilung der in der Radialen über der Schaufelhöhe gestaffelten Rippen massgebend für konstante Metalltemperaturen über der Blatthöhe.

Bezugszeichenliste

a, b, c	Innenkammern der Schaufel
W	Schaufelwand
1	Schaufelfuss
2	Schaufelspitze
3	längsdurchströmter Kanal
4	Schaufelblatt
5	Vorderkante
6	Saugseite

7	Druckseite
8	Steg
9	Rippe
h	Höhe der Rippe
H	örtliche Breite des Kanals 3
d	Abstand zwischen 5 und Umlenkung

Patentansprüche

1. Kühlsystem für den Vorderkantenbereich einer hohlen Gasturbinenschaufel, bei welcher sich vom Schaufelfuss (1) bis zur Schaufelspitze (2) ein längsdurchströmter Kanal (3) erstreckt, welcher im Bereich des Schaufelblattes (4) einerseits von den Innenwandungen der Vorderkante (5), der Saugseite (6) und der Druckseite (7) und andererseits von einem die Druckseite mit der Saugseite verbindenden Steg (8) begrenzt ist, wobei die Innenwandungen der Saugseite und der Druckseite mit einer Mehrzahl schräg und zumindest annähernd parallel verlaufender Rippen (9) versehen sind, und wobei über der Schaufelhöhe die saugseitigen Rippen und die druckseitigen Rippen (um eine halbe Teilung) gegeneinander versetzt sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Rippen (9) vom Steg (8) in Richtung Vorderkante (5) radial einwärts verlaufen, im Bereich der Vorderkante in die Radiale übergehen und um die Vorderkante herumgeführt sind.
2. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkung der Rippen (9) von der Schrägen in die Radiale mit kleinstmöglichem Radius erfolgt.
3. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (d) von der Vorderkante (5) zum Ort der Umlenkung zwischen 0% und 15% der Länge des Kanals (3) beträgt.
4. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe (h) der Rippen (9) von der Vorderkante (5) in Richtung Steg (8) zunimmt.
5. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis Höhe (h) der Rippen (9) zur örtlichen Höhe (H) des Kanals (4) über die Längserstreckung der Rippen konstant ist.
6. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe (h) der Rippen (9) im Bereich des Steges (8) abnimmt.
7. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe h der Rippen (9) über der Schaufelhöhe variabel ist.
8. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, dass die Teilung der Rippen (9) zueinander über der Schaufelhöhe variabel ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG.5

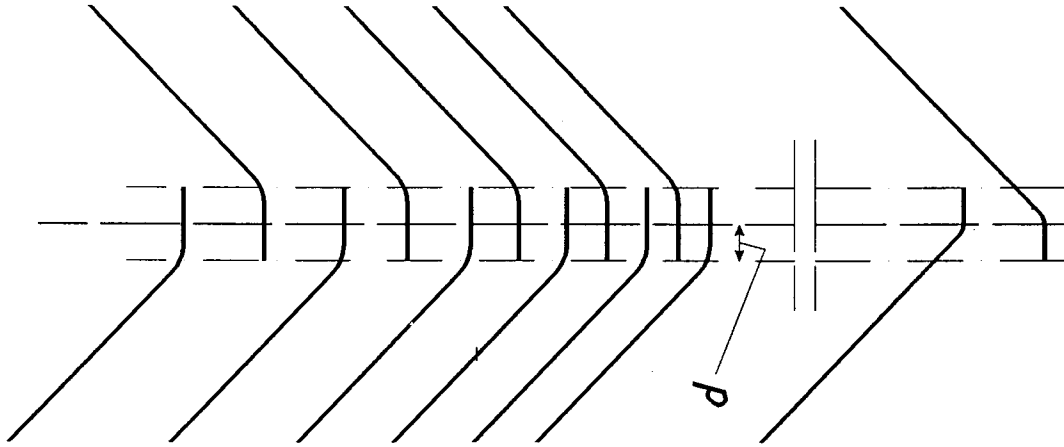


FIG.1

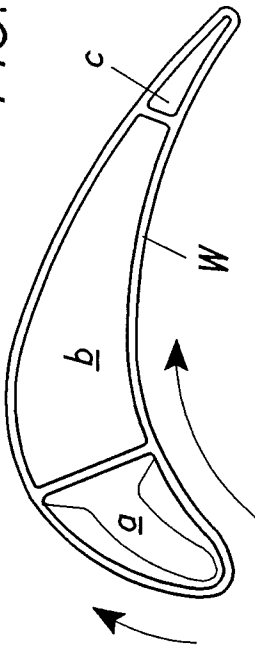


FIG.2

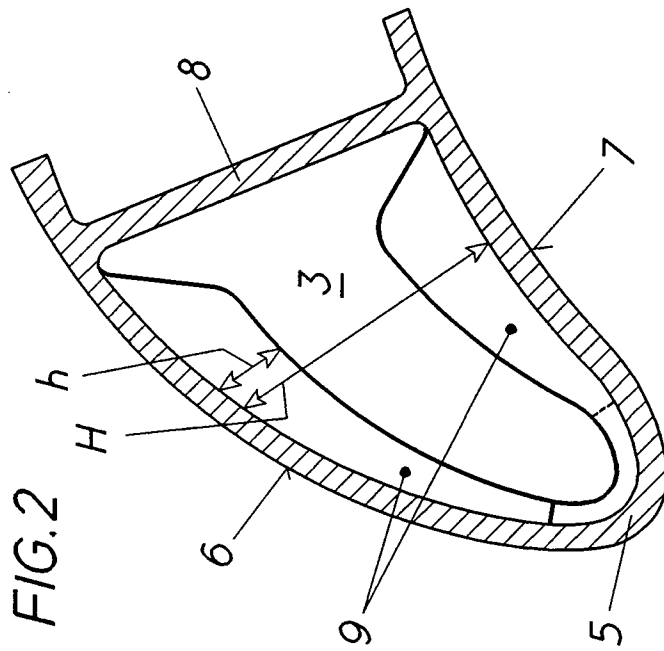


FIG. 3

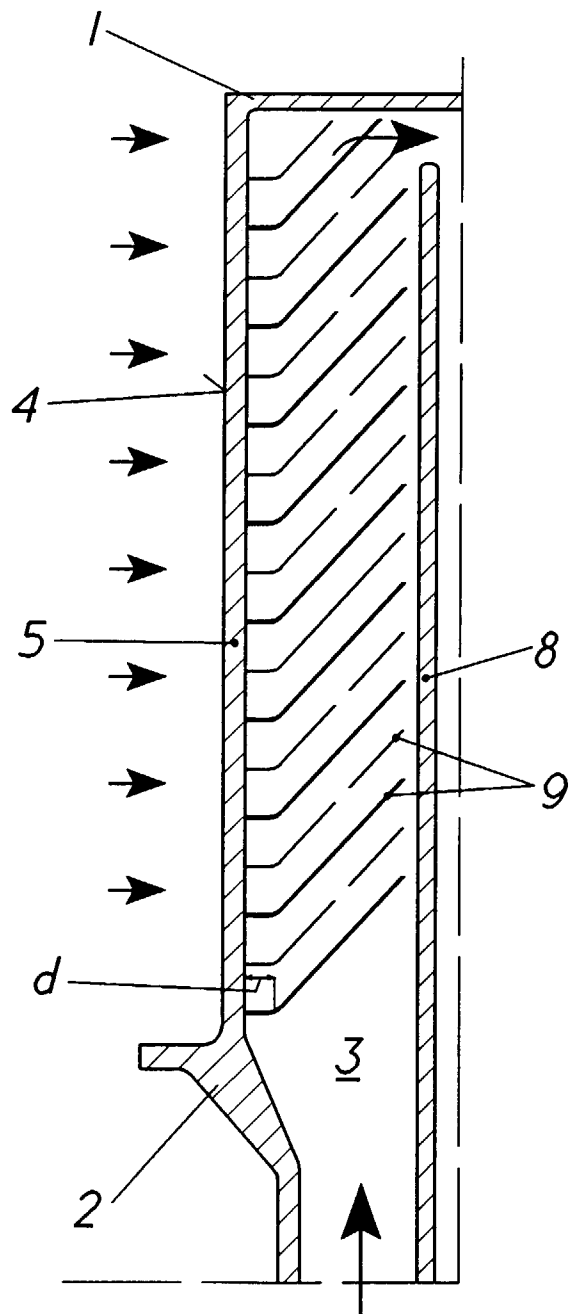
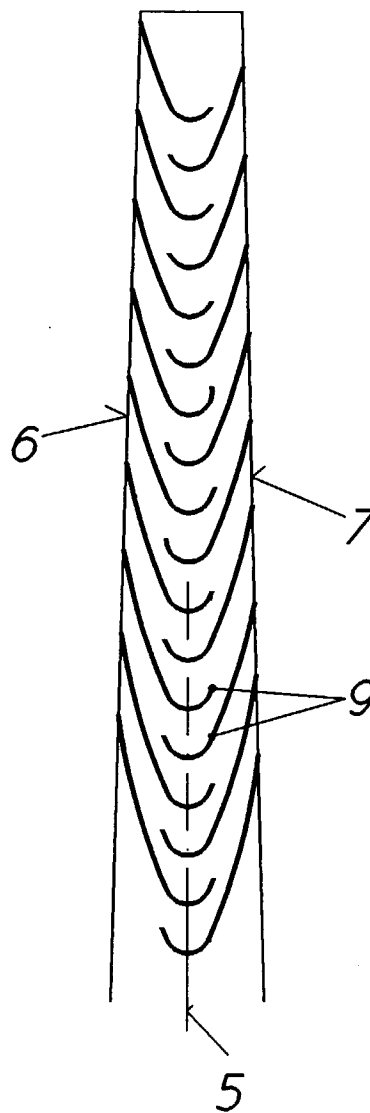


FIG. 4





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 97 81 0474

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	EP 0 230 917 A (HITACHI LTD) * Abbildungen *	1,2	F01D5/18
X,D	GB 2 112 467 A (UNITED TECHNOLOGIES CORP) * Abbildungen *	1	
X	EP 0 527 554 A (HITACHI LTD) * Abbildungen *	1,2	
X	GB 2 159 585 A (GEN ELECTRIC) * Abbildungen *	1	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			F01D
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
DEN HAAG		18.November 1997	Argentini, A
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03 82 (P/MC03)