

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 892 149 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
22.01.2003 Patentblatt 2003/04

(51) Int Cl.7: **F01D 5/18**

(21) Anmeldenummer: **97810474.3**

(22) Anmeldetag: **14.07.1997**

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

Cooling system for the leading edge of a hollow blade for a gas turbine engine

Système de refroidissement pour le bord d'attac d'une aube creuse pour turbine à gaz

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
20.01.1999 Patentblatt 1999/03

(73) Patentinhaber: **ALSTOM (Switzerland) Ltd**
5401 Baden (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)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 230 917 **EP-A- 0 527 554**
GB-A- 2 112 467 **GB-A- 2 159 585**

EP 0 892 149 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] 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.

[0002] 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

[0003] 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.

[0004] 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 verlaufen. 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.

[0005] Weitere Überlegungen, wie mittels Rippen die Wärmeübertragung in sogenannten Dreieckskanälen - wie sie der Vorderkantenbereich einer Gasturbinen-

schaufel darstellt - verbessert werden kann, sind in der Zeitschrift "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.

[0006] 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

[0007] 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.

[0008] Erfindungsgemäss wird dies mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1 erreicht.

[0009] 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.

[0010] 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.

[0011] Weitere sinnvolle Ausbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0012] 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 Vorderkantenbereich.

Fig. 5 eine schematische Abwicklung der Schaufelberippung im Vorderkantenbereich.

[0013] 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

[0014] 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.

[0015] In der Vorderkammer a gibt es zwei Problem-bereiche. 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.

[0016] 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.

[0017] 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.

[0018] 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 eine Ausrichtung senkrecht zur Hauptströmungsrichtung über. Diese Umlenkung der Rippen von der Schrägen in eine Ausrichtung senkrecht zur Hauptströmungsrichtung erfolgt mit kleinstmöglichem Radius. Es ist auch möglich, dass die Rippen schräg in die Vorderkante laufen und dabei umlenken. Dies bedeutet, dass dann die 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:

[0019] 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.

[0020] Weiterhin sind die umgelenkten 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:

[0021] 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.

[0022] 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 Kühl-

passage 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.

[0023] 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.

[0024] 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.

[0025] 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.

[0026] 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.

[0027] 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

[0028]

5	a, b, c	Innenkammern der Schaufel
	W	Schaufelwand
	1	Schaufelfuss
	2	Schaufelspitze
	3	längsdurchströmter Kanal
10	4	Schaufelblatt
	5	Vorderkante
	6	Saugseite
	7	Druckseite
	8	Steg
15	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 sich senkrecht zur Hauptströmungsrichtung ausrichten 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,**

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

Claims

1. Cooling system for the leading-edge region of a hollow gas-turbine blade, in which a duct (3), through which flow occurs longitudinally, extends from the blade root (1) up to the blade tip (2) and is defined in the region of the blade body (4) on the one hand by the inner walls of the leading edge (5), the suction side (6) and the pressure side (7) and on the other hand by a web (8) connecting the pressure side to the suction side, the inner walls of the suction side and the pressure side being provided with a plurality of ribs (9), which run slantwise and at least approximately in parallel, and the suction-side ribs and the pressure-side ribs being offset from one another by half a spacing over the blade height, **characterized in that** the ribs (9) run radially inward from the web (8) in the direction of the leading edge (5), are aligned perpendicularly with respect to the main direction of flow in the region of the leading edge and are led around the leading edge.
2. Cooling system according to Claim 1, **characterized in that** the deviation of the ribs (9) from the slant into the radial is effected with the smallest possible radius.
3. Cooling system according to Claim 1, **characterized in that** the distance (d) from the leading edge (5) to the location of the deviation is between 0% and 15% of the length of the duct (3).
4. Cooling system according to Claim 1, **characterized in that** the height (h) of the ribs (9) increases from the leading edge (5) in the direction of the web (8).
5. Cooling system according to Claim 1, **characterized in that** the ratio of the height (h) of the ribs (9) to the local height (H) of the duct (3) is constant over the longitudinal extent of the ribs.

6. Cooling system according to Claim 1, **characterized in that** the height (h) of the ribs (9) decreases in the region of the web (8).

7. Cooling system according to Claim 1, **characterized in that** the height (h) of the ribs (9) is variable over the blade height.

8. Cooling system according to Claim 1, **characterized in that** the spacing between the ribs (9) is variable over the blade height.

Revendications

1. Système de refroidissement pour le bord d'attaque d'une aube creuse pour turbine à gaz, dans laquelle un canal parcouru en longueur (3) s'étend du pied de l'aube (1) jusqu'à la pointe de l'aube (2), et est délimité dans la région de la pale (4) d'une part par les parois intérieures du bord d'attaque (5), le côté d'aspiration (6) et le côté de refoulement (7), et d'autre part par une aile (8) reliant le côté de refoulement au côté d'aspiration, dans lequel les parois intérieures du côté d'aspiration et du côté de refoulement sont pourvues d'une pluralité de nervures (9) orientées en oblique et au moins approximativement parallèlement, et dans lequel les nervures du côté d'aspiration et les nervures du côté de refoulement sont décalées d'un demi-pas l'une par rapport à l'autre sur la hauteur de l'aube, **caractérisé en ce que** les nervures (9) sont orientées radialement vers l'intérieur à partir de l'aile (8) en direction du bord d'attaque (5), sont alignées perpendiculairement à la direction principale d'écoulement dans la région du bord d'attaque, et sont menées autour du bord d'attaque.
2. Système de refroidissement suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** la déviation des nervures (9) de la direction oblique à la direction radiale est effectuée avec le plus petit rayon possible.
3. Système de refroidissement suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** la distance (d) du bord d'attaque (5) à l'endroit de la déviation vaut entre 0 % et 15 % de la longueur du canal (3).
4. Système de refroidissement suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** la hauteur (h) des nervures (9) augmente du bord d'attaque (5) en direction de l'aile (8).
5. Système de refroidissement suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** le rapport de la hauteur (h) des nervures (9) à la hauteur locale (H) du canal (4) est constant sur la longueur des nervures.

6. Système de refroidissement suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** la hauteur (h) des nervures (9) diminue dans la région de l'aile (8).
7. Système de refroidissement suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** la hauteur (h) des nervures (9) est variable sur la hauteur de l'aube. 5
8. Système de refroidissement suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** le pas des nervures (9) est variable de l'une à l'autre sur la hauteur de l'aube. 10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG.5

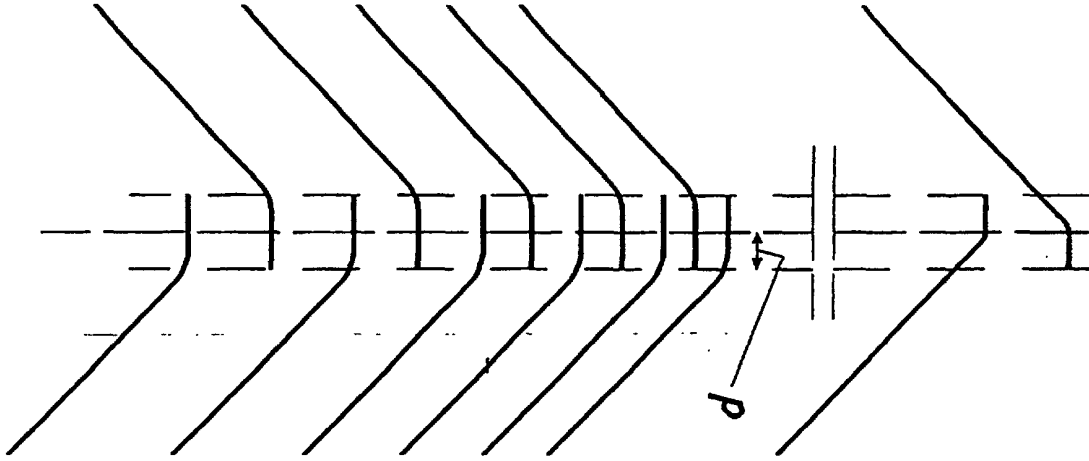


FIG.1

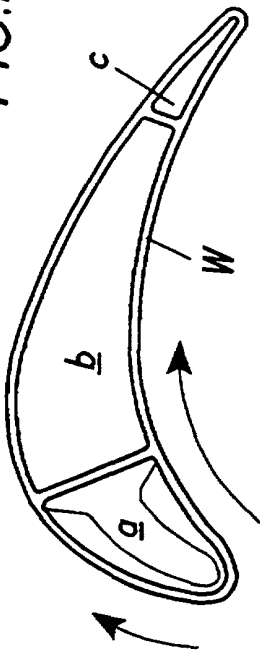


FIG.2

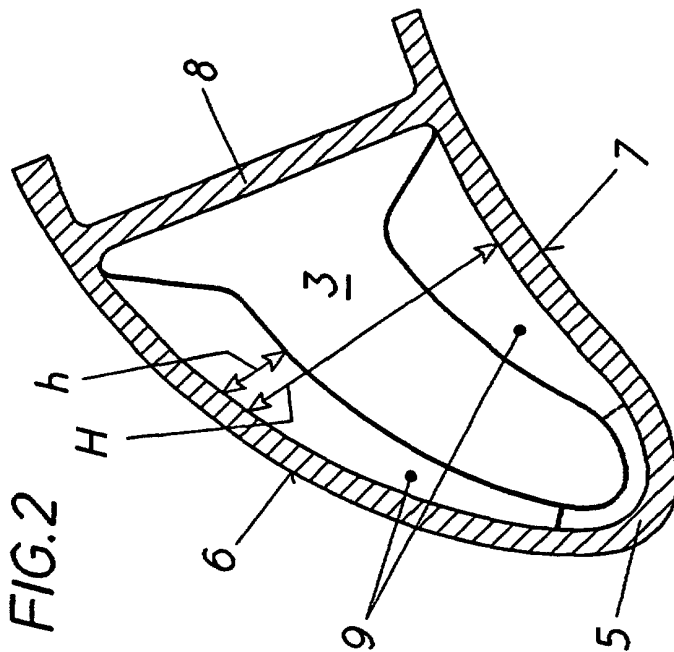


FIG.3

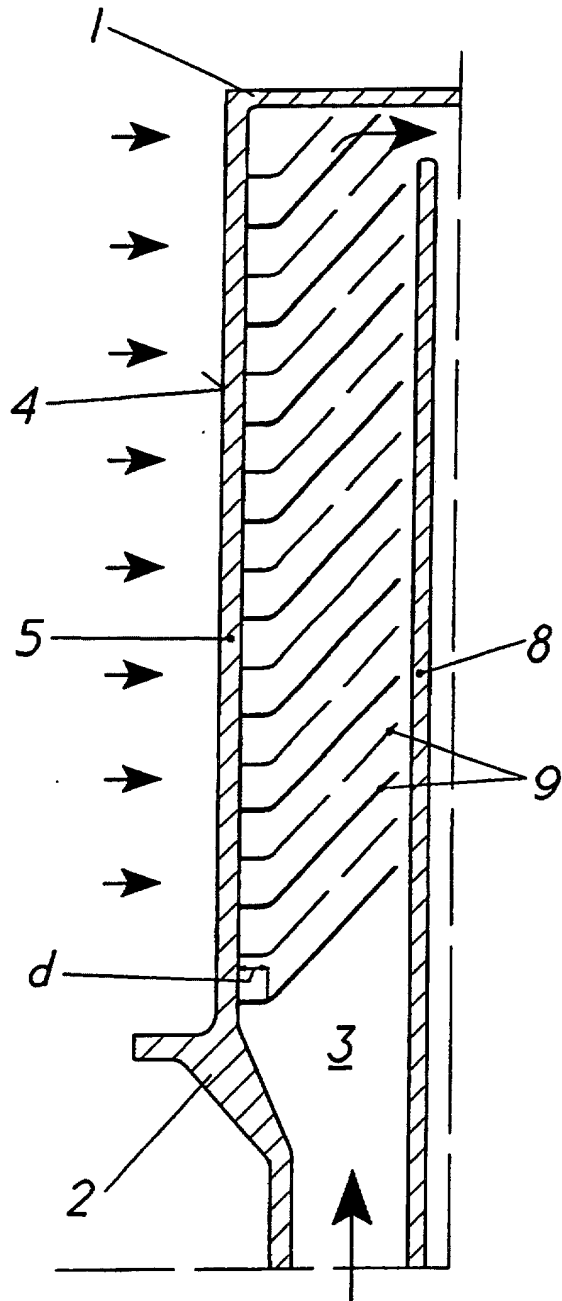


FIG.4

