



(19)

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 892 150 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
20.01.1999 Patentblatt 1999/03

(51) Int. Cl.⁶: F01D 5/18

(21) Anmeldenummer: 97810475.0

(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

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

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

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

(72) Erfinder:
• Harasgama, Prith Dr.
5332 Rekingen (CH)

(54) Kühlsystem für den Hinterkantenbereich einer hohlen Gasturbinenschaufel

(57) Bei einem Kühlsystem für den Hinterkantenbereich 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 Hinterkante (5), der Saugseite (6) und der Druckseite (7) und von einem Steg (9) begrenzt ist, wobei die Innenwandungen der Saugseite und der Druckseite mit einer Mehrzahl von zumindest annähernd parallel verlaufenden Rippen (8) versehen sind. Die Rippen (8) verlaufen vom Steg (9) in Richtung Hinterkante (5) schräg und sind an zumindest einer der beiden Innenwandungen radial auswärts gerichtet. Über der Schaufelhöhe sind die saugseitigen Rippen und die druckseitigen Rippen gegeneinander versetzt. Das Verhältnis Höhe (h) der Rippen (8) zur örtlichen Höhe (H) des Kanals (4) ist über die Längserstreckung der Rippen konstant.

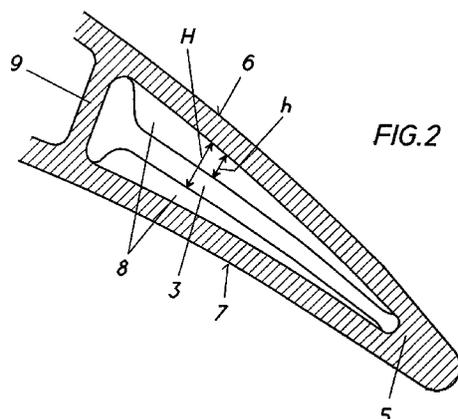
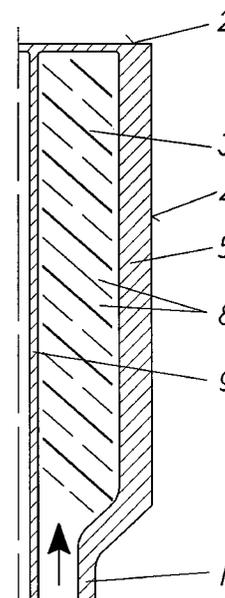


FIG. 2

FIG. 3



EP 0 892 150 A1

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Kühlsystem für den Hinterkantenbereich 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 Hinterkante, der Saugseite und der Druckseite mit einer Mehrzahl von zumindest annähernd parallel verlaufender Rippen versehen 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 Hinterkantenbereiches von solchen Schaufeln dar, die im geschlossenen Kreis vom Kühlmittel durchströmt sind. Die die Hinterkante bildenden Wandungen umfassen einen Engspalt, aus dem die Wärme abzuführen ist. Hierzu darf der Engspalt in seiner Breite aus Herstellungsgründen einen minimalen Wert nicht unterschreiten. Um eine Überhitzung der Hinterkante zu vermeiden, dürfen auch keine grossen Materialansammlungen vorhanden sein. Darüberhinaus darf die Wandstärke aus Festigkeitsgründen ein bestimmtes Mass nicht unterschreiten. Diese Vorgaben führen dazu, dass innengekühlte Schaufeln mit grossen Rundungsradien an der Hinterkante versehen sind, was sich ungünstig auf den Schaufelwirkungsgrad auswirkt.

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 Hinterkante bis hin zum Steg parallel zur Maschinenachse verlaufen. Sie sind zur Turbulenzauslösung und -förderung vorgesehen. Dabei weisen die Rippen eine gehörige Distanz zur eigentlichen Hinterkante auf, welche somit rippenfrei ausgeführt ist. Diese Rippen weisen in ihrer Axialersteckung eine gleichbleibende Höhe auf. Die wirksame Kühlung des eigentlichen Hinterkantenbereiches erfolgt durch Ausblasen des Kühlmittels über entsprechend konfigurierte Elemente.

Weitere Überlegungen, wie mittels Rippen die Wärmeübertragung in sogenannten Dreieckskanälen - wie sie der Hinterkantenbereich einer Gasturbinenschaufel 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.

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, während im spitzen Teil des Dreiecks nur eine geringe Menge Fluid, meist in laminarer Form, strömt. Dies kann zu den in der Folge erläuterten Unzulänglichkeiten führen.

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 Hinterkantenbereich und weiterer Massnahmen eine beträchtliche Erhöhung des Wärmeübergangskoeffizienten erzielt werden kann und die Wärmeableitung insbesondere aus dem bestehenden Engspalt verbessert wird.

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

Die neue Massnahme erlaubt u.a. eine Ausbildung der Schaufelhinterkante ohne Ausblasung und ermöglicht somit die Verwendung von Dampf oder anderer Medien zur Kühlung der Schaufel.

Besonders zweckmässig ist es, wenn das Verhältnis Höhe der Rippen zur örtlichen Höhe des Kanals von der Hinterkante in Richtung Steg zunimmt oder über die Längserstreckung der Rippen konstant ist. Mit dieser Massnahme kann in jeder Radialebene von der Hinterkante 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 Hinterkante 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. Weiterhin wird durch die Rippenkonfiguration mit konstanter lokaler Kanalhöhe erreicht, dass Fluid in die Eckbereiche des Kanals gelangt und dort eine turbulente Strömung vorherrscht. Die Rippen mit konstanter lokaler Kanalhöhe gewährleisten überdies, dass eine sehr starke Sekundärströmung einsetzt, welche durch die grosse Rippenhöhe im freien Kanalquerschnitt gesteuert wird. Diese Sekundärströmung nimmt warmes Fluid aus den Eckenbereichen heraus und unterstützt die turbulente Vermischung in diesen Bereichen.

Eine weitere Entlastung des Stegbereiches wird dann erreicht, wenn die Höhe der Rippen im Bereich des Steges frühzeitig so reduziert wird, dass die Rippe nicht bis zum Steg reicht oder aber mit einer nur niedrigen Höhe an den Steg angrenzt. Die dann in diesem Bereich fehlende Turbulenz bewirkt eine vorteilhafte verminderte Kühlung des Steges im Verbindungsbe-

reich.

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 Hinterkantenbereich der Schaufel nach Fig. 1;
 Fig. 3 einen Längsschnitt durch den Hinterkantenbereich;
 Fig. 4 eine Variante der Rippenanordnung;
 Fig. 5 das Detail z aus Fig. 1 mit einer zum Stand der Technik zählenden Hinterkante.

Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Insbesondere ist nicht dargestellt, wie das Kühlmedium in den Strömungskanal im Bereich der Hinterkante gelangt und an der Schaufelspitze aus der Schaufel abgezogen wird. 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, 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. 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 Hinterkammer c gibt es zwei Problembereiche. Zum einen die eigentliche dünnwandige Hinterkante, die von den heissen Gasen umströmt wird und einer besonders sorgfältigen Kühlung bedarf, da dort keine Filmkühlung durch Ausblasen vorgesehen ist und zum andern die Verbindungsstellen des Steges 9 mit den Innenwandungen der Saugseite 6 sowie der Druckseite 7, welche auf keinen Fall zu stark gekühlt werden sollen.

Die Problematik mit der eigentlichen Hinterkanten-geometrie ist anhand von Fig. 5 erläutert. Der von den Wänden gebildete Enspalt E muss eine minimale

Grösse haben, um genügend Kühlmittel zur Abfuhr der anfallenden Wärme aufnehmen zu können. Die innere Kantenabrundung ist deshalb mit dem Durchmesser d auszubilden. Dieser minimale Durchmesser wird in der Regel durch das Herstellungsverfahren bestimmt, beispielsweise Giessen. Aus Festigkeitsgründen kann ebenfalls eine minimale Wandstärke T nicht unterschritten werden. Um eine Überhitzung der Hinterkante zu vermeiden, darf es dort zu keiner grossen Materialansammlung kommen. Das Mass L_a entspricht demnach in der Regel der Wandstärke T. All dies führt dazu, dass die äussere Kantenabrundung mit einem relativ grossen Durchmesser D_a auszuführen ist. Soweit sind gekühlte Hinterkanten bekannt.

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 Hinterkantenbereich einer hohlen Gasturbinenschaufel. Vom Schaufelfuss 1 bis zur Schaufelspitze 2 erstreckt sich ein längsdurchströmter Kanal 3, welcher der Kammer c in Fig. 1 entspricht. Im Bereich des Schaufelblattes 4 ist dieser Kanal von den Innenwandungen der Hinterkante 5, der Saugseite 6 und der Druckseite 7 sowie von einem die Druckseite mit der Saugseite verbindenden Steg 9 begrenzt. Die Innenwandungen der Saugseite und der Druckseite sind mit einer Mehrzahl schräg und zumindest annähernd parallel verlaufender Rippen 8 versehen, die über der Schaufelhöhe gestaffelt angeordnet sind. Die saugseitigen Rippen und die druckseitigen Rippen sind über der Schaufelhöhe um eine halbe Teilung gegeneinander versetzt.

Die Rippen verlaufen vom Steg 9 Richtung Hinterkante radial auswärts unter einem Winkel von 45° . Es ist zu erwarten, dass Anstellwinkel zwischen 15° und 75° geeignet sind. Die Wirkung dieser schräg angestellten Rippen ist - neben der inherenten, an sich bekannten Funktion als Wirbelerzeuger - folgende:

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

Die versetzte Anordnung der Rippen auf der Saugseite 6 und der Druckseite 7 bewirkt folgendes:

Gegenüber einer nichtversetzten Anordnung wird hierdurch eine sehr gute Anfachung der Wärmeübertragung erreicht durch eine Turbulenzintensivierung bei kleinem Druckverlust. Die Strömung wird andauernd gezwungen, den Hindernissen, welche die Rippen darstellen, auf Druck- und Saugseite auszuweichen, was in einem intensiven Wärmeübergang resultiert.

Das Verhältnis Höhe h der Rippen zur örtlichen Höhe H des Kanals 3 nimmt von der Hinterkante 5 in Richtung Steg 9 zu. Diese Höhenzunahme wird im Beispielsfall so gewählt, dass zwischen Hinterkante 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 Hinterkantenbereich 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 Hinterkante in den vorderen Kanalbereich schafft. Die hohen Rippen im vorderen 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 9 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 bei geringer Rippenhöhe die erforderliche Temperaturdifferenz zwischen zu kühlender Wand und Kühlmittel zum angestrebten Wärmeaustausch nicht mehr 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.

In Fig. 4 ist eine Variante dargestellt, bei welcher die in Richtung Steg ebenfalls verbreiterten Rippen 8 an der Druckseite 7 vom Steg 9 in Richtung Hinterkante 5 radial auswärts gerichtet und die Rippen 8' an der Saugseite 6 vom Steg in Richtung Hinterkante radial einwärts gerichtet sind. Dieser Variante liegt die Überlegung zugrunde, dass an der thermisch höher belasteten Schaufelseite mehr Wärme abgeführt werden muss,

wenn man im Hinterkantenbereich gleichmässige Metalltemperaturen über dem Profulumfang anstrebt.

Bei gegebenen Bedingungen - d.h. Geometrie und Wandstärke der Hinterkante und der seitlichen Wandungen; Geometrie der vom Kühlmittel zu durchströmenden Kammer c ; Wärmebelastung der Schaufelhinterkante; 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.

Messungen haben ergeben, dass der Wärmeübergangskoeffizient mit den neuen schräggestellten Rippen mit lokal veränderlicher Höhe um ein Mehrfaches höher ist als mit den bekannten in axialer Richtung verlaufenden Rippen.

20 Bezugszeichenliste

| | |
|-------|------------------------------|
| a,b,c | Innenkammern der Schaufel |
| W | Schaufelwand |
| E | Engspalt |
| L | Länge der Materialansammlung |
| T | Wandstärke |
| d | innere Kantenabrundung |
| D | äussere Kantenabrundung |
| 1 | Schaufelfuss |
| 2 | Schaufelspitze |
| 3 | längsdurchströmter Kanal |
| 4 | Schaufelblatt |
| 5 | Hinterkante |
| 6 | Saugseite |
| 7 | Druckseite |
| 8,8' | Rippe |
| 9 | Steg |
| h | Höhe der Rippe |
| H | örtliche Breite des Kanals 3 |

40 Patentansprüche

1. Kühlsystem für den Hinterkantenbereich 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 Hinterkante (5), der Saugseite (6) und der Druckseite (7) und andererseits von einem die Druckseite mit der Saugseite verbindenden Steg (9) begrenzt ist, wobei die Innenwandungen der Saugseite und der Druckseite mit einer Mehrzahl von zumindest annähernd parallel verlaufenden Rippen (8) versehen sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Rippen (8) vom Steg (9) in Richtung Hinterkante (5) schräg verlaufen und an zumindest einer der beiden Innenwandungen radial auswärts gerichtet sind.

2. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass über der Schaufelhöhe die saugseitigen Rippen und die druckseitigen Rippen (um eine halbe Teilung) gegeneinander versetzt sind. 5
3. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe (h) der Rippen (8) von der Hinterkante (5) in Richtung Steg (9) zunimmt. 10
4. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis Höhe (h) der Rippen (8) zur örtlichen Höhe (H) des Kanals (4) über die Längserstreckung der Rippen konstant ist. 15
5. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe (h) der Rippen (8) im Bereich des Steges (9) abnimmt. 20
6. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe h der Rippen (8) über der Schaufelhöhe variabel ist. 25
7. Kühlsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilung der Rippen (8) zueinander über der Schaufelhöhe variabel ist. 30
8. Kühlsystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Rippen (8) an der Druckseite (7) vom Steg (9) in Richtung Hinterkante (5) radial auswärts gerichtet und die Rippen (8') an der Saugseite (6) vom Steg (9) in Richtung Hinterkante (5) radial einwärts gerichtet sind oder umgekehrt. 35

40

45

50

55

5

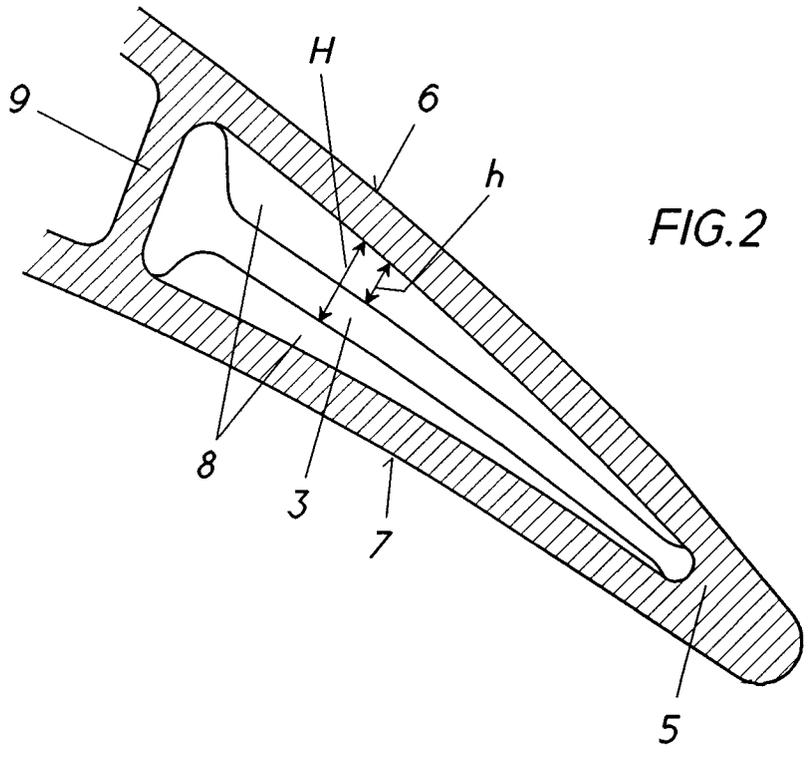
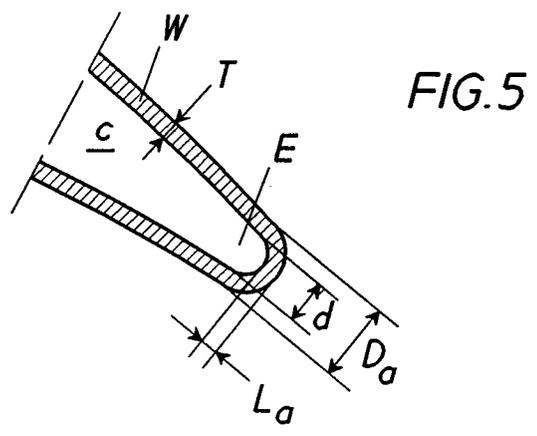
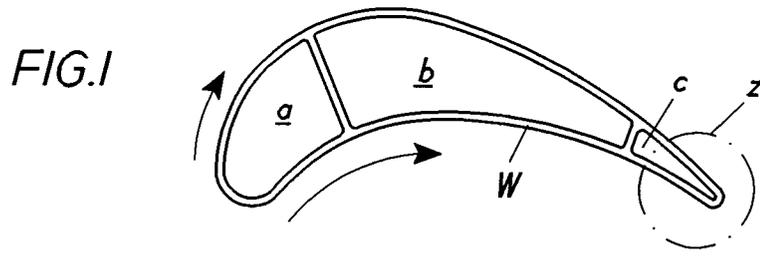


FIG.3

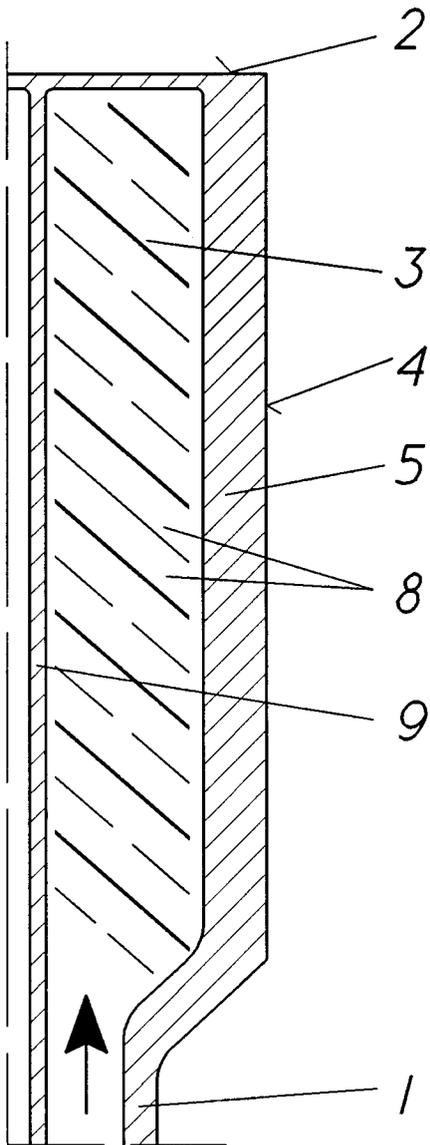
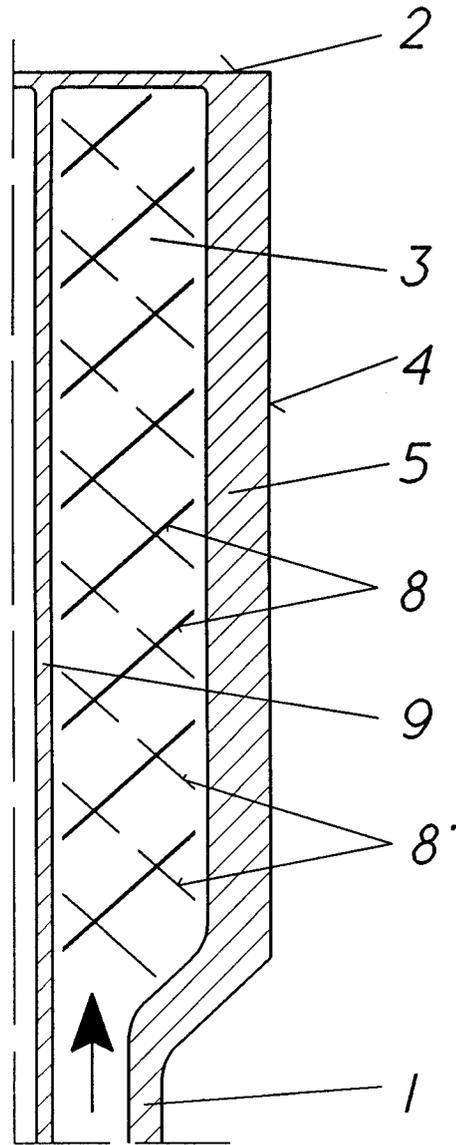


FIG.4





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 97 81 0475

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE | | |
|---|--|---|
| Kategorie | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile | Betrifft Anspruch |
| X | US 5 634 766 A (CUNHA FRANCISCO J ET AL) * Spalte 12, Zeile 16 - Zeile 28; Abbildung 14 * --- | 1,2 |
| X | EP 0 130 038 A (GEN ELECTRIC) * Abbildungen 6,7 * ----- | 1,2 |
| | | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6) |
| | | F01D5/18 |
| | | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6) |
| | | F01D |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt | | |
| Recherchenort | Abschlußdatum der Recherche | Prüfer |
| DEN HAAG | 10.Dezember 1997 | Argentini, A |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE | | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze |
| X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet | | E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist |
| Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie | | D : in der Anmeldung angeführtes Dokument |
| A : technologischer Hintergrund | | L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument |
| O : nichtschriftliche Offenbarung | | |
| P : Zwischenliteratur | | & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |

EPO FORM 1503 03 82 (F04C03)