

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 825 332 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
25.02.1998 Patentblatt 1998/09

(51) Int Cl. 6: **F01D 5/18**

(21) Anmeldenummer: **97810493.3**

(22) Anmeldetag: **15.07.1997**

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

- Johnson, Bruce, Dr.
5405 Baden-Dättwil (CH)
- Weigand, Bernhard, Dr.
79761 Waldshut-Tiengen (DE)
- Wu, Shey, Dr.
5404 Baden-Dättwil (CH)

(30) Priorität: **23.08.1996 DE 19634238**

(71) Anmelder: **Asea Brown Boveri AG
5401 Baden (CH)**

(74) Vertreter: **Kaiser, Helmut et al
c/o Asea Brown Boveri AG,
Immaterialgüterrecht (TEI),
Postfach
5401 Baden (CH)**

(72) Erfinder:

- Hall, Kenneth
8805 Richterswil (CH)

(54) Kühlbare Schaufel

(57) Eine kühlbare Schaufel (10), besteht im wesentlichen aus einem Schaufelfuss (11) und einem Schaufelblatt (1), welches aus einer druckseitigen (6) und einer saugseitigen Wand (5) aufgebaut ist. Sie sind im wesentlichen über einen Hinterkantenbereich (4) und einen Vorderkantenbereich (3) so miteinander verbunden sind, dass mindestens ein als Kühlfluiddurchlass verwendeter Hohlraum (2) gebildet wird, in dem Rippen (7) angeordnet sind. Mindestens eine Rippe (7) ist so ausgestaltet, dass sie eine Spitze (9) und zwei Schenkel (14, 15) aufweist, wobei die Schenkel (14, 15) der Rippe in einem spitzen Winkel (8) gegenüber einer radialen Ebene (13) angewinkelt sind. Besonders vorteilhaft ist es, diese Rippen in einem doppelt dreieckig mit spitzwinkligen Dreiecks spitzen im Bereich der Vorder- und der Hinterkante ausgeformten Hohlraum anzuordnen.

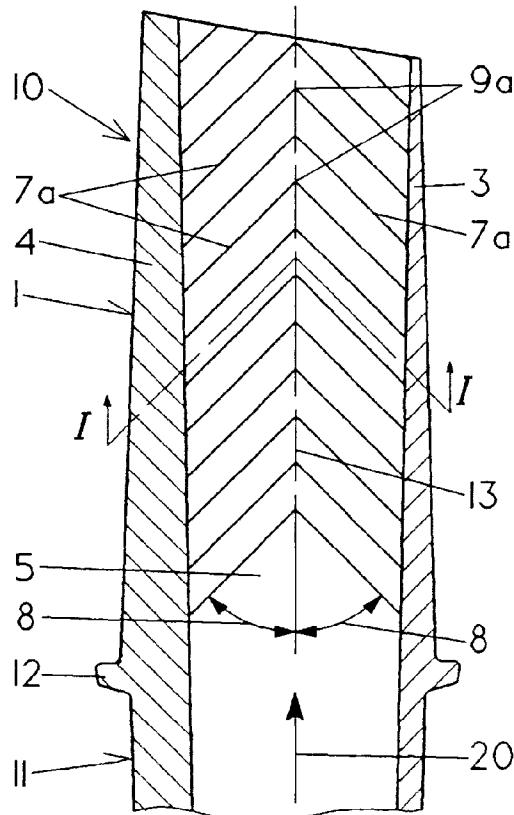


Fig.2

Beschreibung

Technisches Gebiet

5 Die Erfindung betrifft eine kühlbare Schaufel nach dem Oberbegriff des ersten Anspruches.

Stand der Technik

Derartige kühlbare Schaufeln sind beispielsweise bekannt aus DE 32 48 162. Dort wird eine kühlbare Schaufel 10 beschrieben, die in ihrem Vorderkantenbereich einen Kühlfluiddurchlass aufweist. Über die Breite des Kühlfluiddurchlasses erstrecken sich Rippen zur Turbulenzauslösung und -förderung, die in einem spitzen Winkel, ungefähr 30° , zu 15 der Innenseite der Vorderkantenwand schräg entgegen der Kühlfluidströmungsrichtung im Kühlfluiddurchlass angeordnet sind. Die Rippen sind somit so ausgerichtet, dass die Kühlluft zur Vorderkante der Schaufel geleitet wird. Die Rippenhöhe beträgt dabei zwischen 10 bis 33% der Höhe des Kühlfluiddurchlasses. Die Rippenhöhe ist dabei jeweils 20 konstant über die Breite des Kühlfluiddurchlasses und die Kühlanordnung ist nur für den Nasenkanal im Bereich der Vorderkante anwendbar.

Bei den hinteren Stufen einer modernen Gasturbine erfordert die hohe Außentemperatur ebenfalls eine Kühlung 25 der Schaufel, wobei hier die Schaufel aus aerodynamischen Gründen jedoch sehr schlank geformt wird. Dadurch entsteht ein im wesentlichen doppelt dreieckig geformter Kühlkanal (engl.: double triangular-shaped coolant passage) mit spitzwinkligen Dreieckspitzen im Bereich der Vorder- und der Hinterkante der Schaufel. Im Bereich der spitzwinkligen Dreieckspitzen ist der Strömungswiderstand sehr hoch und somit findet in diesen Bereichen praktisch keine Kühlung mehr statt.

Darstellung der Erfindung

25 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einer kühlbaren Schaufel der eingangs genannten Art die Kühlung der Schaufel zu verbessern und die Lebensdauer der Schaufel zu erhöhen.

Erfindungsgemäß wird dies durch die Merkmale des ersten Anspruches erreicht.

Kern der Erfindung ist es also, dass mindestens eine Rippe so ausgestaltet ist, dass sie eine Spitze und zwei 30 Schenkel aufweist und dass die Schenkel der Rippe in einem spitzen Winkel gegenüber einer radialen Ebene angewinkelt sind.

Die Vorteile der Erfindung sind unter anderem darin zu sehen, dass die Schaufel durch die Ausgestaltung der Rippen mit Spitze und zwei Schenken gleichmäßig gekühlt wird und der Kühlfluidverbrauch gesenkt werden kann. Dies erfolgt im wesentlichen durch eine Vermeidung von Totwassergebieten im Bereich der Vorder- und der Hinterkante 35 des Kühlkanals der Schaufel. Durch die Kühlung der Schaufel wird die Oberflächentemperatur vergleichsmässigt und die thermischen Spannungen in der Schaufel werden vermindert, womit die Lebensdauer der Schaufel erhöht wird. Durch den gesenkten Kühlfluidverbrauch kann der Wirkungsgrad der Turbine erhöht werden. Je nach der äusseren 40 Wärmebelastung der Schaufel lässt sich die Rippengeometrie im Kühlfluiddurchlass anpassen und somit eine gleichmässige Oberflächentemperatur der Schaufel erzielen. Schaufeln mit im Hohlraum angeordneten Rippen sind zudem gusstechnisch einfach herzustellen.

Es ist besonders vorteilhaft, die Rippen mit Spitze und zwei Schenken in einem doppelt dreieckig mit spitzwinkligen Dreieckspitzen im Bereich der Vorder- und der Hinterkante ausgeformten Hohlraum anzuordnen. Dadurch wird es möglich auch sehr schlank geformte Schaufelprofile, welche einen hohen aerodynamischen Wirkungsgrad aufweisen, mit einem doppelt dreieckig geformtem Kühlkanal effektiv zu kühlen.

45 Es ist vorteilhaft, das Verhältnis von lokaler Rippenhöhe zu lokaler Hohlraumhöhe konstant zu halten. Dadurch wird die lokale Rippenhöhe im Bereich der Vorder- und Hinterkante im Vergleich zur lokalen Rippenhöhe im Bereich der Hohlraummitte verkleinert, wodurch die Sekundärströmung intensiviert wird.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Unteransprüchen.

50 Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer schematischen Darstellung einer Schaufel einer Strömungsmaschine dargestellt.

55 Es zeigen:

Fig. 1 einen Teilquerschnitt durch ein Schaufelblatt der Schaufel;

Fig. 2 einen Teillängsschnitt durch die Schaufel entlang der Linie II-II in Fig. 1;

- Fig. 3 einen Teillängsschnitt durch die Schaufel entlang der Linie III-III in Fig. 1 ;
 Fig. 4 einen Teillängsschnitt durch die Schaufel parallel versetzt zur Linie II-II in Fig. 1 ;
 Fig. 5 einen Teillängsschnitt durch die Schaufel entlang der Linie V-V in Fig. 1 ;
 Fig. 6 einen Teillängsschnitt durch die Schaufel parallel versetzt zur Linie V-V in Fig. 1 ;

5

Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt.

Weg zur Ausführung der Erfindung

10 In Fig. 1 ist ein Schaufelblatt 1 einer Strömungsmaschine mit einem Hohlraum 2 im Querschnitt dargestellt, wobei der Hohlraum als Kühlfluiddurchlass dient. Das Schaufelblatt 1 weist einen Vorderkantenbereich 3, einen Hinterkantenbereich 4, eine saugseitige Wand 5 und eine druckseitige Wand 6 auf, wobei die saugseitige und die druckseitige Wand im Bereich der Vorderkante 3 und der Hinterkante 4 miteinander verbunden sind. Dadurch entsteht ein im wesentlichen doppelt dreieckig geformter Kühlkanal mit spitzwinkligen Dreieckspitzen im Bereich der Vorder- 3 und der Hinterkante 4 der Schaufel. An der druckseitigen Wand 6 ist eine V-förmige Rippe 7 mit einer Spitze 9 und Schenkeln 14, 15 angeordnet. Die V-förmige Rippe 7 kann dabei gleichschenklig ausgelegt sein, je nach Anordnung der Rippen spitze 9 im Hohlraum sind jedoch auch Rippenkonfigurationen mit ungleich langen Schenkeln möglich. Ein Verhältnis einer Höhe h_1 der Rippe 7 zu einer lokalen Höhe H_1 des Hohlraumes 2 ist dabei gleich gross wie ein Verhältnis einer Höhe h_2 der Rippe 7 zu einer lokalen Höhe H_2 des Hohlraumes 2. Das Verhältnis von Rippenhöhe h zu Hohlraumhöhe H ist somit an jeder Stelle der Rippe im wesentlichen gleich. In den Bereichen wo der Hohlraum 2 in den Vorder- und Hinterkantenbereich übergeht, verjüngt sich die Rippe 9, um den Durchtritt des Kühlfluides in diesen Bereichen nicht zu hemmen.

25 Fig. 2 zeigt die Innenseite der saugseitigen Wand 5 mit geschnittenem Vorderkantenbereich 3 und Hinterkantenbereich 4. Eine Schaufel 10 einer Strömungsmaschine besteht dabei aus dem Schaufelblatt 1 und dem Schaufelfuss 11, mit dem die Schaufel 10 montiert werden kann. Zwischen Schaufelblatt 1 und Schaufelfuss 11 ist üblicherweise eine Plattform 12 angeordnet, welche den Schaufelfuss von den das Schaufelblatt umströmenden Fluiden abschirmt. An der saugseitigen Wand sind ebenfalls V-förmige Rippen 7a angeordnet, wobei hier eine Spitze 9a der Rippen auf einer Ebene 13 des Hohlraumes 2 angeordnet ist und die Spitze 9a stromabwärts liegt. Die Ebene 13 verläuft radial zur Schaufel und senkrecht zu den Innenseiten der Wände 5 und 6 der Schaufel und ist an der breitesten Stelle des Hohlraumes 2 angeordnet. Die Spitze 9a liegt somit an der Stelle wo die lokale Rippenhöhe h maximal ist.

30 Durch den Hohlraum 2 wird ausgehend vom Schaufelfuss ein Kühlfluid 20 geleitet. Die Rippen sind dabei in einem Winkel 8 zur Hauptströmungsrichtung des Kühlfluides 20 angewinkelt, wobei die Hauptströmungsrichtung im wesentlichen parallel zur Ebene 13 verläuft. Der Winkel 8 beträgt dabei 30 bis 60°, vorzugsweise 40 bis 50° und insbesondere 45°. Stromabwärts der V-förmigen Rippen entstehen Wirbel und Rezirkulationszonen, welche den Wärmeübergangskoeffizienten erhöhen.

Tabelle 1:

Mittlere Nusselt-Zahl abhängig von der Rippenhöhe der V-förmigen Rippe (aus experimentellen Daten)				
Verhältnis Rippenhöhe / Hohlraumhöhe [%]	0	18	31	44
Nu / Nu _{glatt}	1	2 - 4	5 - 7	9 - 12

40 Die Nusselt-Zahl Nu ist definiert als das Verhältnis der konvektiv abgeföhrten zur geleiteten Wärmemenge. In Tabelle 1 wird die mittlere Nusselt-Zahl Nu für verschiedene Rippenhöhen verglichen mit der Nusselt-Zahl Nu_{glatt} eines Kanales ohne Rippen, wobei die Spitzen der V-förmigen Rippen stromabwärts angeordnet sind. Aus der Tabelle 1 ist deutlich ersichtlich, dass die mittlere Nusselt-Zahl mit erhöhter Rippenhöhe stark zunimmt. Das Verhältnis von lokaler Rippenhöhe zu lokaler Hohlraumhöhe sollte somit zwischen 5 bis 50%, vorzugsweise zwischen 20 bis 40% liegen.

45 Da die Kühlfluidtemperatur in Strömungsrichtung durch Aufnahme von Wärmeenergie zunimmt und damit der Unterschied zwischen Wandtemperatur und Kühlfluid abnimmt, kann das Verhältnis zwischen lokaler Rippenhöhe h und lokaler Hohlraumhöhe H in Strömungsrichtung kontinuierlich erhöht werden, womit gemäss der vorstehenden Tabelle 1 die Nusselt-Zahl erhöht und damit der Wärmeübergang verbessert wird. Dadurch wird die vom Kühlfluid aufgenommene Wärmeenergie an die äussere Wärmelast der Schaufel angepasst. Dies führt zu einer zusätzlichen Vergleichsmässigung der Temperaturverteilung in radialer Richtung der Schaufel und damit zu deutlich niedrigeren Spannungen.

50 Fig. 3 zeigt die Innenseite der druckseitigen Wand 6 mit geschnittenem Vorderkantenbereich 3 und Hinterkantenbereich 4. Die auf der Innenseite der druckseitigen Wand 6 angeordneten Rippen 7b sind ebenfalls V-förmig, wobei ihre Spitze 9b auf der Ebene 13 des Hohlraumes 2 angeordnet ist. Die Spitze 9b liegt somit an der Stelle wo die lokale

Rippenhöhe h maximal ist. Wie man aus Fig. 3 ersehen kann sind die Rippen auf Saug- und Druckseite zueinander in Strömungsrichtung versetzt angeordnet.

Aus der Fig. 4 wird die gegenseitige Anordnung der Rippen 7a und 7b ersichtlich. Die Rippen sind gegeneinander in Strömungsrichtung versetzt, so dass die Strömung nacheinander auf eine Rippe 7a der Saugseite 5 und eine Rippe 7b der Druckseite 6 trifft. Vorteilhaftweise werden die Rippen jeweils in der Mitte zwischen den Rippen der gegenüberliegenden Wand angeordnet.

Durch die Anordnung nach Fig. 4 wird die Strömung in die spitzwinkligen Bereiche der Vorder- und Hinterkante geleitet wodurch eine deutlich höhere lokale Nusselt-Zahl erreicht wird, als die in der Tabelle 1 angegebenen mittleren Nusselt-Zahlen. Es werden somit sehr hohe Wärmeübergangszahlen im Bereich der Vorder- und der Hinterkante der Schaufel erzielt, während im Bereich der Kanalmitte niedrigere Wärmeübergangszahlen auftreten.

Fig. 5 zeigt die Innenseite der druckseitigen Wand 6 mit geschnittenem Vorderkantenbereich 3 und Hinterkantenbereich 4 der Schaufel 10, die aus dem Schaufelblatt 1 und dem Schaufelfuss 11 besteht. Die Rippen 7c der druckseitigen Wand sind im Gegensatz zur Fig. 3 so angeordnet, dass ihre Spitze 9c zuerst von der Strömung beaufschlagt wird. Die Rippen sind dabei ebenfalls im Winkel 8 zur Hauptströmungsrichtung des Kühlfluides 20 angewinkelt.

Fig. 6 zeigt die saugseitige Wand mit Rippen 7a und angedeuteten Rippen 7c wobei die Rippen 7a entsprechend Fig. 2 an der Saugseite angeordnet sind. Aus konstruktionstechnischen Gründen ist hier natürlich das Verhältnis lokale Rippenhöhe zu lokaler Hohlraumhöhe immer kleiner 50%.

Durch die Anordnung nach Fig. 6 werden ebenfalls sehr hohe Wärmeübergangszahlen erzielt, welche jedoch gleichförmiger verteilt sind als bei der Anordnung gemäss Fig. 4. Die Wärmeübergangszahlen einer Schaufel gemäss Fig. 6 sind jedoch unterschiedlich an der Druck- und der Saugseite, wodurch diese Anordnung bei unterschiedlicher Wärmefbelastung auf der Druck- und der Saugseite angewendet wird.

Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf das gezeigte und beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt. Die V-förmigen Rippen können auch in Schaufeln mit mehreren Kühlluftdurchlässen angeordnet werden, falls in den Randzonen der Kühlluftdurchlässe ein hoher Strömungswiderstand vorherrscht.

Bezugszeichenliste

1	Schaufelblatt
2	Hohlraum
30 3	Vorderkantenbereich
4	Hinterkantenbereich
5	saugseitige Wand
6	druckseitige Wand
7	Rippe
35 7a, 7c	Rippe saugseitige Wand
7b	Rippe druckseitige Wand
8	Anstellwinkel Rippe
9, 9a, 9b	Rippenspitze
10	Schaufel
40 11	Schaufelfuss
12	Plattform
13	Ebene
14,15	Schenkel der V-förmigen Rippen
20	Kühlfluid
45 h, h1, h2	lokale Rippenhöhe
H, H1, H2	lokale Hohlraumhöhe

Patentansprüche

- 50 1. Kühlbare Schaufel (10), im wesentlichen bestehend aus einem Schaufelfuss (11) und einem Schaufelblatt (1), welches aus einer druckseitigen (6) und einer saugseitigen Wand (5) aufgebaut ist, die im wesentlichen über einen Hinterkantenbereich (4) und einen Vorderkantenbereich (3) so miteinander verbunden sind, dass mindestens ein als Kühlfluiddurchlass verwandeter Hohlraum (2) gebildet wird, in dem Rippen (7) angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet,
- dass mindestens eine Rippe (7) so ausgestaltet ist, dass sie eine Spitze (9) und zwei Schenkel (14, 15) aufweist und dass die Schenkel (14, 15) der Rippe in einem spitzen Winkel (8) gegenüber einer radialen Ebene (13) angewinkelt sind.

2. Kühlbare Schaufel nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Hohlraum (2) doppelt dreieckig mit spitzwinkligen Dreieckspitzen im Bereich der Vorder- (3) und der Hinterkante (4) ausgeformt ist.

5

3. Kühlbare Schaufel nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Verhältnis einer lokalen Rippenhöhe (h) zu einer lokalen Hohlraumhöhe (H) im wesentlichen an jedem Punkt der Rippe (7) konstant ist.

10

4. Kühlbare Schaufel nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Spitze (9) der Rippe (7) im Bereich der grössten lokalen Höhe (h) der Rippe angeordnet ist.

15

5. Kühlbare Schaufel nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Verhältnis von lokaler Rippenhöhe (h) zu lokaler Hohlraumhöhe (H) 5 - 50% beträgt.

20

6. Kühlbare Schaufel nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Verhältnis von lokaler Rippenhöhe (h) zu lokaler Hohlraumhöhe (H) für nacheinander in Strömungsrichtung angeordnete Rippen (7) zunimmt.

25

7. Kühlbare Schaufel nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Spitzen (9) der Rippen (7) auf der saugseitigen (5) und druckseitigen Wand (6) stromabwärts liegen.

30

8. Kühlbare Schaufel nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Spitzen (9) der Rippen (7) auf der saugseitigen (5) oder druckseitigen Wand (6) stromabwärts liegen und auf der gegenüberliegenden Wand (5, 6) stromaufwärts liegen.

35

9. Kühlbare Schaufel nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Schenkel (14, 15) der Rippen in einem Winkel (8) von 30 bis 60° gegenüber der Ebene (13) angewinkelt sind.

40

45

50

55

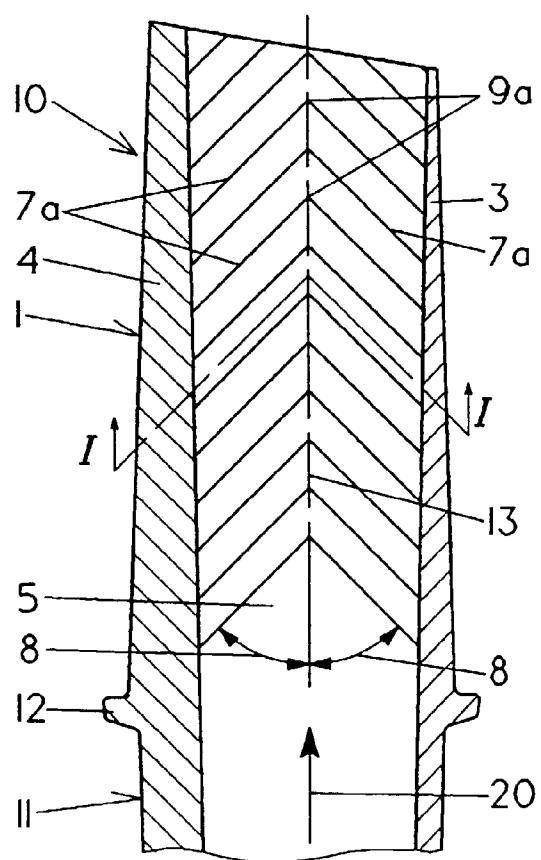
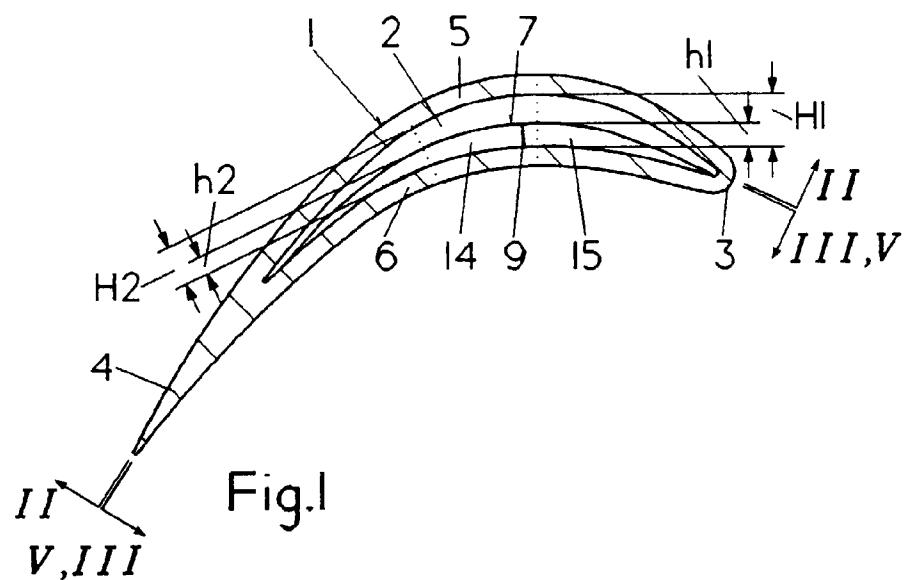


Fig. 2

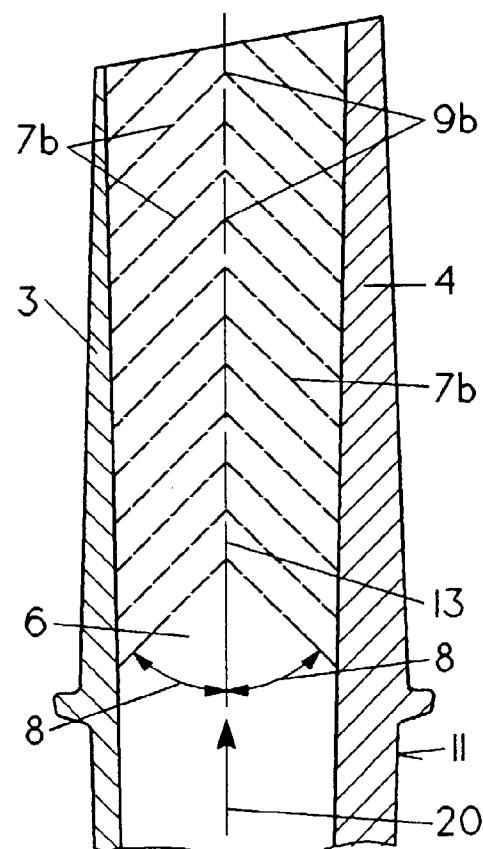


Fig. 3

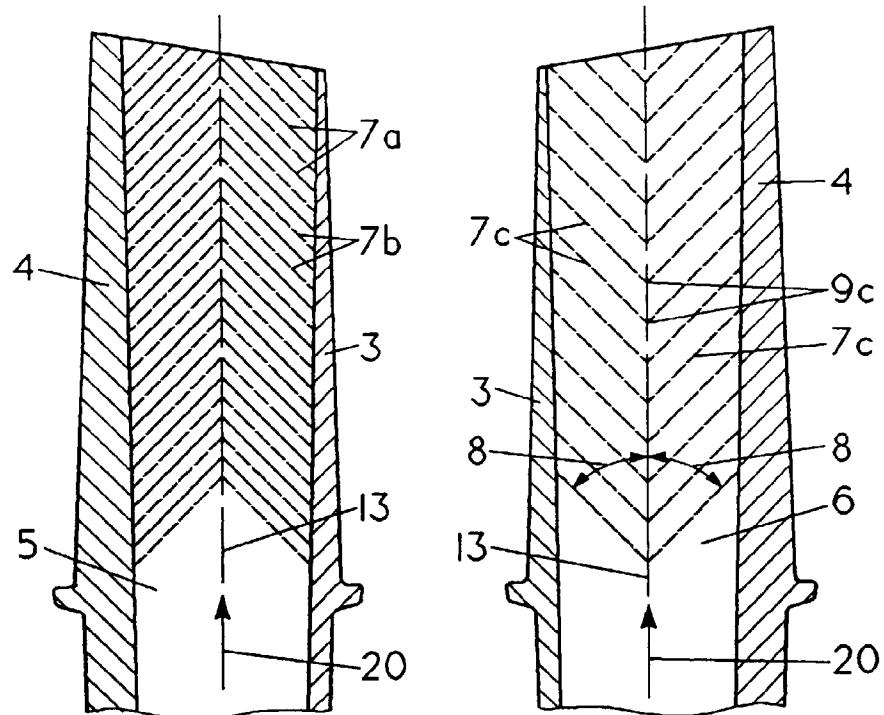


Fig.4

Fig.5

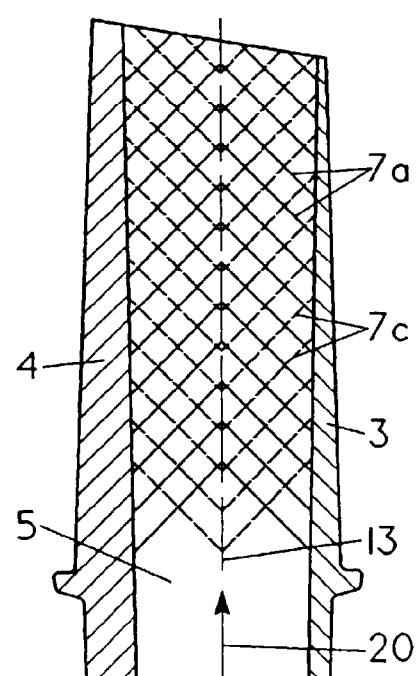


Fig.6



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 97 81 0493

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE					
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrieft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)		
X, P	DE 195 26 917 A (FIEBIG MARTIN PROF DR ING) * das ganze Dokument *	1	F01D5/18		
X	US 3 171 631 A (R.H. ASPINWALL) * Abbildung 8 *	1			
X	EP 0 457 712 A (PRATT & WHITNEY CANADA) * Abbildungen 3,5 *	1			
A	US 5 536 143 A (JACALA ARIEL ET AL) * Zusammenfassung *	1			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int.Cl.6)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">F01D</td> </tr> </table>				RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int.Cl.6)	F01D
RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int.Cl.6)					
F01D					
<p>Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt</p>					
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche			
DEN HAAG		18.November 1997			
		Prüfer			
		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 : nichtschriftliche 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 I : aus anderen Gründen angeführtes Dokument S : Mitglied der gleichen Patentfamilie übereinstimmendes Dokument					