

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 825 333 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

25.02.1998 Patentblatt 1998/09

(51) Int Cl.<sup>6</sup>: F01D 5/18

(21) Anmeldenummer: 97810561.7

(22) Anmeldetag: 08.08.1997

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE

• Weigand, Bernhard, Dr.

79761 Waldshut-Tiengen (DE)

(30) Priorität: 23.08.1996 DE 19634237

(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 Turbinenschaufel

(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, dass mindestens ein als Kühlfluiddurchlass verwendeter Hohlraum (2) gebildet wird. Im Hinterkantenbereich (4) ist ein im wesentlichen radial verlaufender, divergierender Kühlkanal (7) angeordnet.

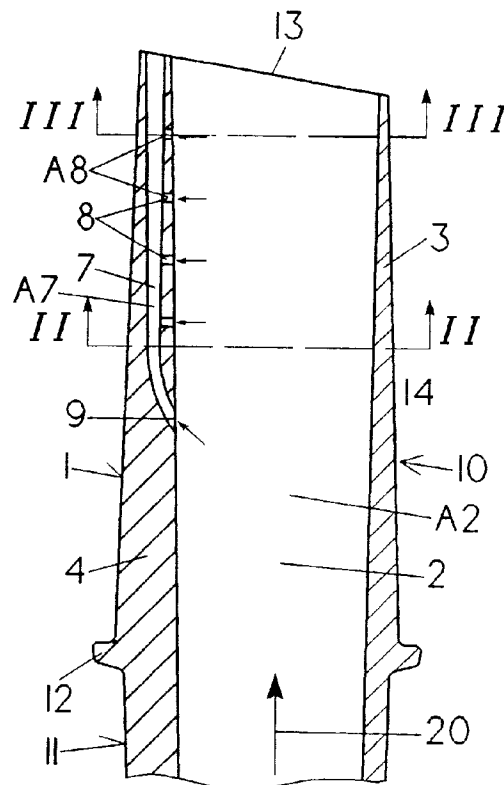


Fig.1

EP 0 825 333 A1

## Beschreibung

### Technisches Gebiet

Die Erfindung geht aus von einer kühlbaren Schaufel nach dem Oberbegriff des ersten Anspruchs.

### Stand der Technik

Derartige kühlbare Schaufel sind bekannt aus GB 2 165 315. Dort wird Kühlfluid über durch Trennwände gebildete Windungen vom Hinterkantenbereich der Schaufel zum Vorderkantenbereich geleitet und dann über Öffnungen im Schaufelkopf ausgeblasen. Um den Hinterkantenbereich der Schaufel ausreichend zu kühlen, bläst man Luft aus der Hinterkante der Schaufel aus. Diese Methode kann jedoch bei Hinterkanten mit kleinen Radii aus Fertigungsgründen nicht angewendet werden. Um eine Kühlung der Hinterkante zu erreichen, ist zudem eine grosse Anzahl von Filmkühlungslochern notwendig, was die Herstellung der Schaufel sehr aufwendig macht. Weiter kann die Hinterkantenausblasung zu einer Verringerung des aerodynamischen Wirkungsgrades der Schaufel führen, da ein grösserer Hinterkantenradius benötigt wird.

Aus der DE 1 601 627 ist ebenfalls eine gekühlte Schaufel bekannt, die an ihrem Hinterkantenbereich einen radial verlaufenden, zur Schaufelspitze hin divergierenden Kühlkanal aufweist. Ueber eine grössere Eintrittsöffnung wird der Kühlkanal mit Kühlluft gespeist. Die Querschnittsfläche dieses Kühlkanales ist dabei in der Schaufelmitte ungefähr gleich gross wie derjenige des Hauptkanales, im Bereich der Schaufelspitze sogar grösser als derjenige des Hauptkanales. Die Wärmeübertragungsraten im Hinterkantenbereich der Schaufel sind deshalb nicht besser als diejenigen im Mittelteil der Schaufel und eine genügende Kühlung der Hinterkantenbereiche der Schaufel lässt sich bei einer thermisch stark belasteten Schaufel nicht mehr gewährleisten.

### Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einer kühlbaren Schaufel der eingangs genannten Art die Kühlung des Hinterkantenbereiches der Schaufel zu verbessern und einen hohen aerodynamischen Wirkungsgrad der Schaufel zu erzielen.

Erfindungsgemäss wird dies durch die Merkmale des ersten Anspruchs erreicht.

Kern der Erfindung ist es also, dass im Hinterkantenbereich ein im wesentlichen radial verlaufender, mit wachsendem Radius in der Fläche sich vergrössernder Kühlkanal angeordnet ist, der über eine Eintrittsöffnung mit dem Hohlraum verbunden ist und dass der Kühlkanal mit dem Hohlraum über mindestens einen Verbindungskanal verbunden ist.

Die Vorteile der Erfindung sind unter anderem darin

zu sehen, dass das durch den Kühlkanal geleitete Kühlfluid im Bereich des Schaufelkopfes aus der Schaufel ausgeblasen wird und somit keinen Einfluss auf die Aerodynamik der Schaufel nimmt. Weiter lassen sich kleine Hinterkantenradien verwirklichen, da nicht an der Hinterkante der Schaufel ausgeblasen werden muss. Durch die divergente Ausgestaltung des Kühlkanales wird eine effektive Kühlung des Hinterkantenbereiches der Schaufel erzielt. Durch die Ausgestaltung des divergenten Kanals lässt sich die Kühlung lokaler Gebiete gut einstellen. Zudem kann bei Laufschaufeln mit Deckplatten der stark kriechegefährdete obere Bereich zum Schaufelkopf hin besonders gut gekühlt werden.

Unter Verwendung des divergierenden Kühlkanales wird deutlich weniger Kühlluft benötigt als beispielsweise bei einer Filmkühlung der Hinterkante. Schaufeln mit dem divergierenden Kühlkanal können zudem im Gussverfahren hergestellt werden.

Es ist vorteilhaft, den Kühlkanal mit dem Hohlraum über mindestens einen Verbindungskanal zu verbinden. Die Verbindungskanäle zwischen dem Hohlraum und dem Kühlkanal wirken als Absaugstellen für Kühlluft aus dem Hohlraum und intensivieren die Wärmeübertragung im Hinterkantenbereich des Hohlraumes. Durch die Verbindungskanäle tritt das Kühlfluid strahlförmig in den Kühlkanal ein und erzeugt extrem hohe Wärmeübergangszahlen.

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

### Kurze Beschreibung der Zeichnung

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

Es zeigen:

- Fig. 1 einen Teillängsschnitt durch die Schaufel;
- Fig. 2 einen Teilquerschnitt durch die Schaufel entlang der Linie II-II in Fig. 1
- Fig. 3 einen Teilquerschnitt durch die Schaufel entlang der Linie III-III in Fig. 1
- Fig. 4 einen Teillängsschnitt durch eine weitere erfindungsgemässe Schaufel;
- Fig. 5 einen Teillängsschnitt durch eine weitere erfindungsgemässe Schaufel.

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

### Weg zur Ausführung der Erfindung

In Fig. 1 und 2 ist eine Schaufel 10 einer Strömungsmaschine dargestellt, bestehend aus einem Schaufelblatt 1 und einem 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 Schau-

felblatt umströmenden Fluiden abschirmt. 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, wodurch ein Hohlraum 2 mit einer Querschnittsfläche A2 gebildet wird. Der Vorderkantenbereich 3 wird jeweils von den das Schaufelblatt 1 umströmenden Fluiden zuerst beaufschlagt. Der Hohlraum 2 verläuft im wesentlichen in radialer Richtung durch die Schaufel 10 und dient als Kühlfluiddurchlass für ein Kühlfluid 20.

Im Bereich der Hinterkante 4 ist ein radial verlaufender Kühlkanal 7 mit einer Querschnittsfläche A7 angeordnet, der in Strömungsrichtung zu einem Schaufelkopf 13 der Schaufel 10 hin divergiert, der jedoch insbesondere im Bereich des Schaufelkopfes auch parallel verlaufen kann. Der Kühlkanal 7 kann dabei insbesondere als Diffusor ausgestaltet sein. Der Kühlkanal 7 ist über Verbindungskanäle 8 mit einer Querschnittsfläche A8 und eine Eintrittsöffnung 9 in einem Schaufelblattmittelenbereich 14 mit dem Hohlraum 2 verbunden. Nicht dargestellt ist, dass die Eintrittsöffnung 9 des Kühlkanales auch an beliebigen Orten angeordnet werden kann, beispielsweise näher beim Schaufelfuss oder im Schaufelfuss. Üblicherweise wird der Kühlkanal 7 jedoch im stromabwärtigen Teil der Schaufel ungefähr ab der Mitte 14 des Schaufelblattes angeordnet, da dort die Belastung und Kriechgefährdung am grössten ist.

Kühlfluid 20 strömt durch den Hohlraum 20 und über die Eintrittsöffnung 9 und die Verbindungskanäle 8 in den Kühlkanal 7. Dadurch wird die Strömungszirkulation im Bereich der Hinterkante im Hohlraum 2 angeregt. Erhitztes Kühlfluid, welches die Tendenz hat im Bereich der Hinterkante wegen der örtlich erhöhten Reibung hängenzubleiben, wird dadurch mit kühlerem Kühlfluid gemischt, speziell auch mit dem in den Kühlkanal 7 eintretenden Kühlfluid.

Der Hinterkantenbereich wird durch das durch den Kühlkanal 7 geleitete Kühlfluid gekühlt, wobei der Wärmeübergangskoeffizient im Kühlkanal 7 von der Schaufelblattmitte zum Schaufelkopf hin zunimmt. Dies ist bedingt durch den ansteigenden Kühlfluidmassenfluss im Kühlkanal 7, der durch die weitere Einspeisung von Kühlfluid über die Verbindungskanäle 8 bewirkt wird. Dies verbessert die Kühlung des Schaufelblattkopfes 13.

Durch die Auslegung des Kühlkanales, der Eintrittsöffnung sowie der Verbindungskanäle kann die Strömungszirkulation im Hinterkantenbereich des Hohlraumes sowie die Kühlleistung des Hinterkantenbereiches eingestellt werden. Zudem wird der Divergenzwinkel des Kühlkanales mit der Anzahl der Verbindungskanäle vom Hohlraum so angepasst, dass die Kühlung der Schaufel optimal ist.

Die Querschnittsfläche A8 der Verbindungskanäle 8 ist dabei kleiner als die Querschnittsfläche A7 des Kühlkanales 7 und diese wiederum ist viel kleiner als die Quer-

schnittsfläche A2 des Hohlraumes 2 ( $A8 < A7 \ll A2$ ). A8 zu A2 beträgt dabei vorzugsweise einige Prozent, insbesondere 1 - 5%, A8 zu A7 beträgt dabei vorzugsweise mehrere Zehntel, insbesondere 30 - 100%, A7 zu A2 beträgt dabei vorzugsweise einige Prozent, insbesondere 1 - 10%.

Die Strömungsgeschwindigkeit der Fluide durch die Verbindungskanäle als auch im Diffusorkanal 7 ist durch die gewählte Geometrie viel grösser als diejenige im Kühlkanal A2.

Durch entsprechende Auslegung der Querschnitte A8, A7 und A2 wird erreicht, dass die Strömungsgeschwindigkeit der Fluide im Kühlkanal 7 ungefähr gleich schnell bleibt oder mit wachsendem Radius leicht ansteigt.

In Fig. 3 ist die Zunahme der Querschnittsfläche des Kühlkanales 7 zum Schaufelkopf 13 hin sowie der Verbindungskanal 8 dargestellt.

Eine Nusselt-Zahl Nu ist definiert als das Verhältnis der konvektiv abgeführten zur geleiteten Wärmemenge. Die Nusselt-Zahl des Kühlkanales  $Nu_{\text{Kühlkanal}}$  ist hierbei um ein mehrfaches höher als die Nusselt-Zahl in einem glatten Hohlraum (A2)  $Nu_{\text{Hohlraum}}$ . So wurde beispielsweise experimentell festgestellt, dass  $Nu_{\text{Kühlkanal}} / Nu_{\text{Hohlraum}} = 10 - 15$  beträgt.

In Fig. 4 sind im Hohlraum 2 an der saugseitigen Wand 5 V-förmige Rippen 30 mit einer Spitze 31 und Schenkeln 32, 33 angeordnet. Die Schenkel der Rippen sind dabei in einem Winkel 34 zur Hauptströmungsrichtung des Kühlfluides 20 angewinkelt. Der Winkel 34 beträgt dabei 30 bis 60°, vorzugsweise 40 bis 50° und insbesondere 45°. Das Verhältnis von Rippenhöhe zu Hohlraumhöhe ist an jeder Stelle der Rippe im wesentlichen gleich und liegt zwischen 5 bis 50%. Die Spitze der Rippe 30 ist an der Stelle angeordnet, wo die Rippenhöhe maximal ist. In den Bereichen wo der Hohlraum 2 in den Vorder- und Hinterkantenbereich übergeht, verjüngt sich die Rippe 30, um den Durchtritt des Kühlfluides in diesen Bereichen nicht zu hemmen.

Die nicht dargestellten, auf der Innenseite der druckseitigen Wand 6 angeordneten Rippen sind ebenfalls V-förmig. Die Spitze liegt ebenfalls an der Stelle wo die Rippenhöhe maximal ist. Die Rippen sind auf der druck- und der saugseitigen Wand gegeneinander in Strömungsrichtung versetzt angeordnet, so dass die Strömung nacheinander auf eine Rippe 30 der Saugseite 5 und eine Rippe der Druckseite trifft. Vorteilhafterweise werden die Rippen jeweils in der Mitte zwischen den Rippen der gegenüberliegenden Wand angeordnet. Durch die Rippen in Kombination mit dem Kühlkanal 7 wird eine Kühlung der Schaufel gewährleistet, die zu einer gleichmässigen Wandtemperaturverteilung führt.

In Fig. 5 ist eine weitere mögliche Ausgestaltung des Hohlraumes 2 dargestellt, wie sie beispielsweise aus der eingangs erwähnten GB 2 165 315 bekannt ist. Das Kühlfluid 20 wird hier über durch Trennwände 40, 41 gebildete Windungen vom Hinterkantenbereich der Schaufel zum Vorderkantenbereich geleitet und dann über eine Öffnung 42 im Schaufelkopf 13 ausgebla-

sen. Auch hier ist im Hinterkantenbereich ein divergierender Kühlkanal 7 zur Kühlung des Hinterkantenbereiches angeordnet.

Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf das gezeigte und beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt. Die Ausgestaltung des Hohlraumes und damit des Kühlfluiddurchlasses kann auch anders erfolgen als dargestellt, beispielsweise als mehrere einzelne Kühlkanäle. Wesentlich ist die Ausbildung des divergierenden Kühlkanales in Verbindung mit den Verbindungskanälen zwischen Diffusor und Hauptkanal. Die Querschnittsflächen A2, A7 und A8 werden jeweils senkrecht zur Strömungsrichtung der die Hohlräume durchströmenden Fluide gemessen.

#### Bezugszeichenliste

1	Schaufelblatt	
2	Hohlraum	
3	Vorderkantenbereich	
4	Hinterkantenbereich	
5	saugseitige Wand	
6	druckseitige Wand	
7	Kühlkanal	
8	Verbindungskanal	25
9	Eintrittsöffnung	
10	Schaufel	
11	Schaufelfuss	
12	Plattform	
13	Schaufelkopf	30
14	Schaufelblattmittenbereich	
20	Kühlfluid	
30	Rippe	
31	Spitze	
32, 33	Schenkel	35
34	Anstellwinkel	
40, 41	Trennwand	
42	Oeffnung	
A2	Querschnittsfläche Hohlraum	
A7	Querschnittsfläche Kühlkanal	40
A8	Querschnittsfläche Verbindungskanal	

#### Patentansprüche

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 verwendeter Hohlraum (2) gebildet wird, dadurch gekennzeichnet, dass im Hinterkantenbereich (4) ein im wesentlichen radial verlaufender, divergierender Kühlkanal (7) angeordnet ist, der über eine Eintrittsöffnung (9)

mit dem Hohlraum (2) verbunden ist und dass der Kühlkanal (7) mit dem Hohlraum (2) über mindestens einen Verbindungskanal (8) verbunden ist.

2. Kühlbare Schaufel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der divergierende Kühlkanal (7) ein Diffusor ist..
3. Kühlbare Schaufel nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Kühlkanal (7) mindestens von einem Mittenbereich (14) des Schaufelblattes (1) bis zu einem Schaufelkopf (13) erstreckt.
4. Kühlbare Schaufel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Hohlraum (2) mindestens eine Rippe (30) so ausgestaltet ist, dass sie eine Spitze (31) und zwei Schenkel (32, 33) aufweist und dass die Schenkel der Rippe in einem spitzen Winkel (34) gegenüber der Hauptströmungsrichtung eines Kühlfluides (20) angewinkelt sind.

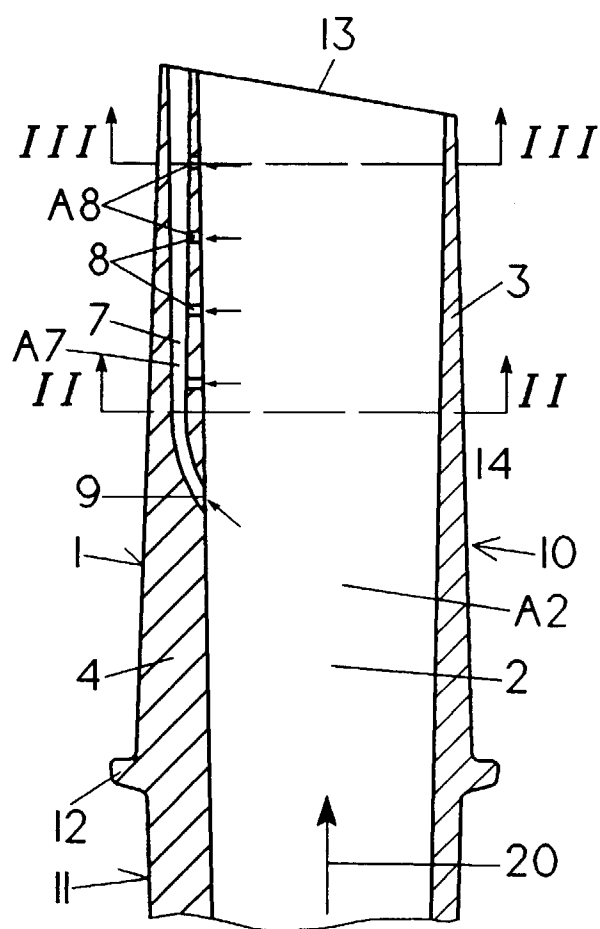


Fig.1

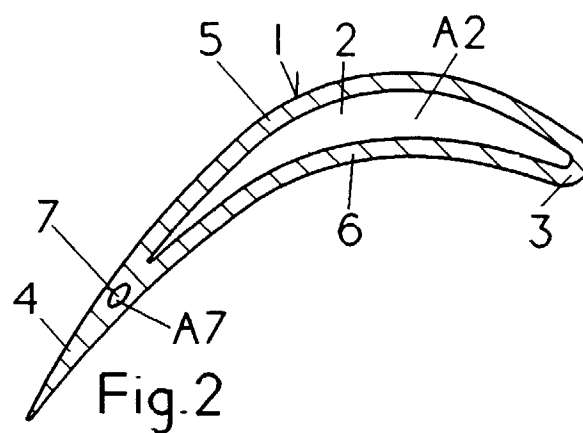


Fig.2

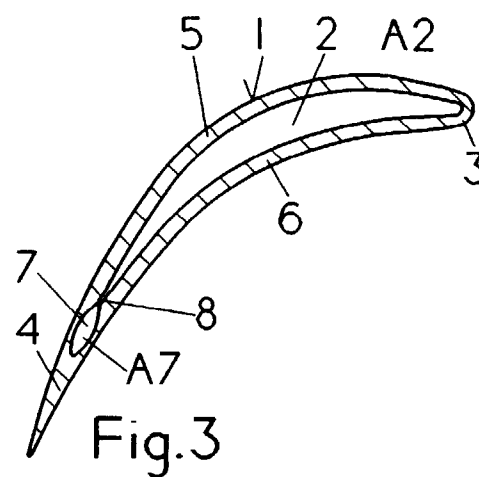


Fig.3

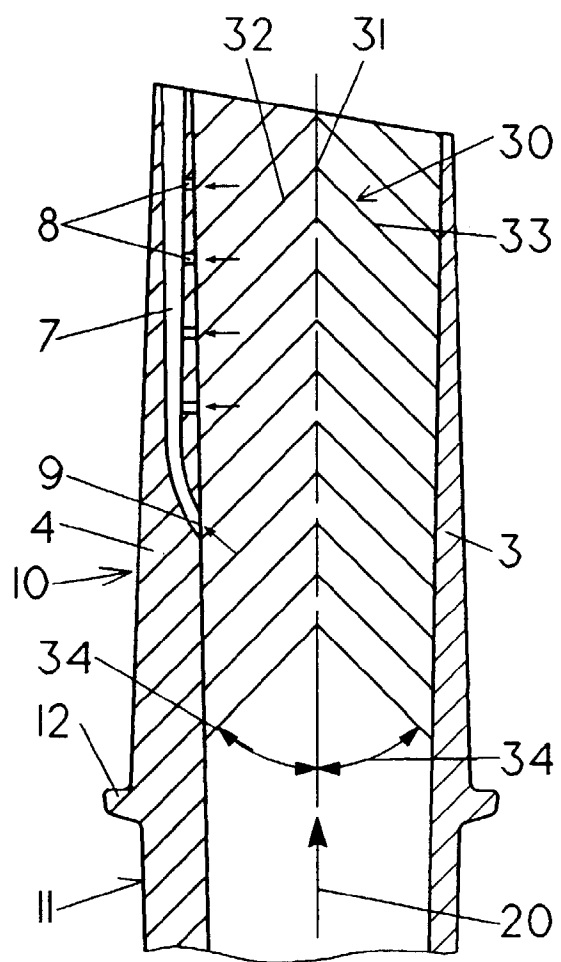


Fig. 4

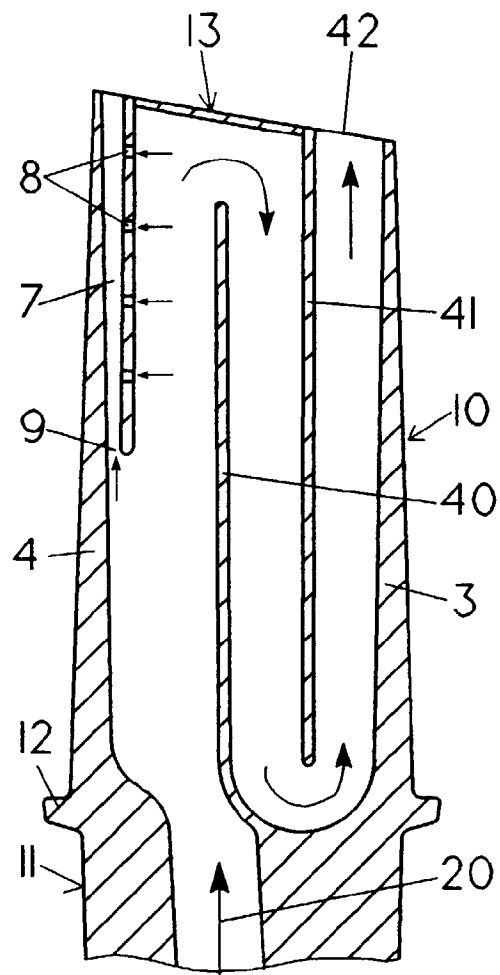


Fig. 5



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 97 81 0561

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	WO 86 02406 A (PAUL MARIUS A) * Abbildungen 11,12 *	1	F01D5/18
A	US 5 122 033 A (PAUL MARIUS A) * Zusammenfassung *	1	
A	US 4 820 123 A (HALL KENNETH B) * Zusammenfassung *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort: <b>DEN HAAG</b>		Abschlußdatum der Recherche: <b>5.November 1997</b>	
		Prüfer: <b>Argentini, A</b>	
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>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</p> <p>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  &amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)