



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 603 18 640 T2 2009.01.08

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 327 747 B1

(51) Int Cl.⁸: F01D 5/18 (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: 603 18 640.8

(96) Europäisches Aktenzeichen: 03 250 138.9

(96) Europäischer Anmeldetag: 09.01.2003

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 16.07.2003

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 16.01.2008

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 08.01.2009

(30) Unionspriorität:
44249 11.01.2002 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, ES, FR, GB, IT, SE

(73) Patentinhaber:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(72) Erfinder:
**Manning, Robert Francis, Newburyport,
Massachusetts 01950, US; Taslim, Mohammad
Esmail, Needham, Massachusetts 02492, US**

(74) Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(54) Bezeichnung: Prallkühlung für Hinterkanten einer Turbinenschaufel

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 eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft im Wesentlichen Gasturbinentreibwerke und insbesondere die Kühlung von Turbinenschaufeln in diesen.

[0002] In einem Gasturbinentreibwerk wird Luft in einem Verdichter komprimiert, in einer Brennkammer mit Brennstoff vermischt und zur Erzeugung heißer Verbrennungsgase gezündet. Den Verbrennungsgasen wird in stromabwärts dazu angeordneten Turbinen Energie entzogen. Bei einer typischen Anwendung eines Turbobläser-Flugzeugtriebwerks treibt eine Hochdruckturbine den Verdichter und eine Niederdruckturbine einen Bläser an.

[0003] Jede Turbinenstufe enthält einen feststehenden Leitapparat mit einer Reihe von Leitschaufeln, welche die Verbrennungsgase auf eine damit zusammenwirkende Reihe von Turbinenrotorlaufschaufeln leitet. Die Leitschaufeln und Laufschaufeln sind typischerweise hohl und werden mit aus dem Verdichter abgezweigter Luft zum Kühlen der Leitschaufeln und Laufschaufeln während des Betriebs versorgt.

[0004] Das Fachgebiet der Turbinenleitschaufel- und Laufschaufelkühlung ist ziemlich überfüllt, wobei unzählige Kühlkonfigurationen darin zu finden sind, die speziell für die Kühlung der Leitschaufeln und Laufschaufeln definierenden verschiedenen Abschnitte der Schaufelblätter konfiguriert sind. Jedes Schaufelblatt weist im Wesentlichen eine konkave Druckseite und eine gegenüberliegende im Wesentlichen konvexe Saugseite auf, welche sich axial zwischen Vorder- und Hinterkanten und radial in einer Spanne von einem Innenfuß zu einer Außenspitze erstrecken.

[0005] Angesicht der dreidimensionalen komplexen Verbrennungsgasströmungsverteilung über den Schaufelblättern sind deren unterschiedlichen Abschnitte unterschiedlichen Wärmebelastungen während des Betriebs unterworfen. Die Wärme erzeugt wiederum thermische Spannung in den Schaufelblättern, welche in geeigneter Weise beschränkt werden muss, um die Betriebslebensdauer des Schaufelblattes zu verlängern.

[0006] Die Schaufelblätter werden typischerweise aus Kobalt- oder Nickel-basierenden Superlegierungsmaterialien mit erhöhter Festigkeit im Hochtemperaturbetrieb hergestellt. Die Nutzungslebensdauer der Schaufelblätter ist durch die maximale Belastung bestimmt, welche darin unabhängig von ihrer spezifischen Lage in dem Schaufelblatt erfahren wird.

[0007] Demzufolge umfasst die herkömmliche Technik verschiedene Formen von internen Kühlkanälen mit verschiedenen Formen von Wärmeübertragung verstärkenden Verwirbelungsrippen oder Stif-

ten darin, um die verschiedenen Abschnitte des Schaufelblattes mit unterschiedlicher Effektivität zu kühlen.

[0008] Beispielsweise offenbart das dem vorliegenden Zessionar übertragene US Patent 6 174 134 – Lee et al. eine Mehrfachaufblas-Schaufelblattkühlkonfiguration zum Bewirken einer verbesserten Kühlung in dem Hinterkantenbereich einer Turbinenlaufschaufel. Dieses Turbinenschaufelblatt ist jedoch speziell für ein relativ großes Turbobläsertriebwerk konfiguriert und demzufolge ist das Turbinenschaufelblatt selbst relativ groß. Die in diesem Patent offenbarte Hinterkantenkühlungskonfiguration hat ihren spezifischen Nutzen in der großen Schaufelblattabmessung mit Reynolds-Zahlen größer als etwa 30000 für die Aufblasluft, die gegen die darin offenbarten Verwirbelungselemente der Druckseitenhinterkanten gerichtet ist.

[0009] Der Zessionar entwickelt gerade ein weiteres kleineres Gasturbinentreibwerk mit entsprechend kleineren Turbinenlaufschaufeln, welche nicht in die in dem Patent von Lee et al. offenbarten Kühlkonfigurationen eingeordnet werden können. Turbinenschaufelblatt-Kühlmerkmale können nicht einfach in der Abmessung von großen Turbinenlaufschaufeln auf kleine Turbinenlaufschaufeln angesichts der inhärenten Art der Wärmeübertragungseigenschaften maßstäblich verkleinert werden.

[0010] Beispielsweise würde der Versuch die Konfiguration des Patentes von Lee et al. auf ein kleineres Turbinenschaufelblatt maßstäblich zu verkleinern, zu einer Reynolds-Zahl für die Aufblaskühlluft in einem Hinterkantenhohlräum von erheblich weniger als der in dem großen Schaufelblatt erzielten Zahl von 30000 führen. Demzufolge würde eine unzureichende Wärmeübertragung für eine angemessene Kühlung des kleinen Schaufelblattes unter Anwendung der Konfiguration des größeren Schaufelblattes von Lee et al. zur Verfügung stehen.

[0011] Demzufolge möchte man eine verbesserte Aufblaskühlungskonfiguration für den Hinterkantenbereich von relativ kleinen Turbinenlaufschaufelblättern bereitstellen.

[0012] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Turbinenschaufelblatt mit den Merkmalen des Anspruches 1 offenbart.

[0013] Die Erfindung gemäß bevorzugten und exemplarischen Ausführungsformen zusammen mit weiteren Aufgaben und Vorteilen davon wird detaillierter in der nachstehenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen beschrieben, in welchen:

[0014] [Fig. 1](#) eine isometrische, teilweise aufge-

schnittene Ansicht einer exemplarischen Turbinenrotorlaufschaufel eines Gasturbinentriebwerks mit einer Kühlkonfiguration gemäß einer exemplarischen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

[0015] [Fig. 2](#) eine radiale Schnittansicht durch das in [Fig. 1](#) dargestellte Schaufelblatt der Turbinenlaufschaufel und entlang der Linie 2-2 ist.

[0016] [Fig. 3](#) eine vergrößerte radiale Schnittansicht des Hinterkantenbereichs des in [Fig. 2](#) dargestellten Schaufelblattes ist.

[0017] [Fig. 4](#) eine Längsschnittansicht des eines Abschnittes Hinterkantenbereichs des in [Fig. 2](#) dargestellten Schaufelblattes und entlang der Linie 4-4 ist.

[0018] [Fig. 5](#) eine vergrößerte radiale Schnittansicht durch einen Abschnitt des in [Fig. 4](#) dargestellten Hinterkantenbereichs und entlang der Linie 5-5 ist.

[0019] [Fig. 6](#) eine radiale Schnittansicht wie [Fig. 3](#) des Hinterkantenbereichs gemäß einer alternativen Ausführungsform ist.

[0020] [Fig. 7](#) eine radiale Schnittansicht wie [Fig. 3](#) des Hinterkantenbereichs gemäß einer alternativen Ausführungsform ist.

[0021] [Fig. 8](#) eine radiale Schnittansicht wie [Fig. 3](#) des Hinterkantenbereichs gemäß einer alternativen Ausführungsform ist.

[0022] In [Fig. 1](#) ist eine exemplarische Turbinenrotorlaufschaufel **10** einer ersten Stufe eines Gasturbinentriebwerks, wie zum Beispiel eines Turbobläserflugzeugtriebwerks, das für den Antrieb eines Flugzeugs im Flug konfiguriert ist, dargestellt. Die Laufschaufel enthält ein hohles Schaufelblatt **12** und einen integrierten Schwabenschwanz **14**, welcher in herkömmlicher Weise für die Befestigung der Laufschaufel in einem entsprechenden Schwabenschwanzschlitz in dem Umfang eines (nicht dargestellten) Turbinenrotors konfiguriert ist.

[0023] Das Schaufelblatt ist in herkömmlicher Weise für den Entzug von Energie aus heißen Verbrennungsgasen **16** konfiguriert, welche darüber während des Betriebs geleitet werden, um wiederum den Rotor für den Antrieb des Verdichters zu drehen. Das Schaufelblatt ist hohl und nimmt einen Teil der Verdichterluft **18** durch den Schwabenschwanz hindurch zur Kühlung des Schaufelblattes während des Betriebs und zur Erzielung einer langen Nutzungs- dauer während des Betriebs auf.

[0024] Das in [Fig. 1](#) dargestellte Schaufelblatt **12** enthält im Wesentlichen eine konkave erste oder

Druckseitenwand **20** und eine in Umfangsrichtung gegenüberliegende im Wesentlichen konvexe zweite oder Saugseitenwand **22**. Die zwei Seitenwände sind miteinander an axial oder in Sehnenrichtung gegenüberliegenden Vorder- und Hinterkanten **24**, **26** verbunden, welche sich radial oder in Längsrichtung entlang der radialen Spannenachse der Laufschaufel im Inneren der Turbine erstrecken. Das Schaufelblatt weist einen radial inneren Fuß an dem Übergang zu einer Plattform auf, die in einem Stück mit dem Schwabenschwanz typischerweise in einem einteiligen Gussteil damit verbunden ist. Das Schaufelblatt enthält auch eine radial äußere Spitze **30**.

[0025] Wie es zusätzlich in [Fig. 2](#) dargestellt ist, sind die zwei Seitenwände in Abstand angeordnet, um erste und zweite sich in Längsrichtung oder radial erstreckende Strömungskanäle **32**, **34** zu definieren, welche durch eine langgestreckte Scheidewand oder einen hinteren Steg **36** getrennt sind, der in dem Hinterkantenbereich des Schaufelblattes angeordnet ist. In der in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellten exemplarischen Ausführungsform sind zusätzliche Längsströmungskanäle zwischen den zwei Seitenwänden **20**, **22** vor den ersten und zweiten Strömungskanälen **32**, **34** angeordnet, und definieren dementsprechend vordere und hintere Serpentinenströmungskanäle **38**, **40** mit entsprechenden Einlässen in dem in [Fig. 1](#) dargestellten Schwabenschwanz.

[0026] Der in [Fig. 1](#) dargestellte vordere Serpentinenkreis **38** enthält drei Durchgänge oder Strömungskanalabschenkel, die nahe an der Mitte des Schaufelblattes beginnen und sich zu der Schaufelblattvorderkante hin winden, welche einen speziellen Vorderkantenströmungskanal **42** direkt hinter der Vorderkante enthält. Die die Kanäle des vorderen Serpentinenkreis definierenden entsprechenden Radialstege sind mit Ausnahme des vordersten Steges nicht perforiert, welcher eine Reihe von Aufblaslöchern für die Ausgabe von Kühlluft aus dem letzten Durchgang der vorderen Serpentine in den Vorderkanten-Kühlkanal **42** enthält.

[0027] Der hintere Serpentinenkreis **40** ist ebenfalls ein Kreis mit drei Durchgängen, in welchen dessen Schenkel oder Strömungskanäle ebenfalls durch dicht perforierte radiale Stege definiert sind, wobei der erste Durchgang der hinteren Serpentine in ähnlicher Weise seine Einlassluft in der Nähe der Mitte des Schaufelblattes durch den Schwabenschwanz hindurch aufnimmt.

[0028] Die vorderen und hinteren Serpentinenkreise und der Vorderkanten-Kühlkanal können jede herkömmliche Konfiguration und Merkmale, wie zum Beispiel Verwirbelungsrippen darin aufweisen, wie sie für die Erhöhung des Wärmeübertragungswirkungsgrades der durch sie hindurchgeföhrten Kühl- luft gewünscht sind. Die Druck- und Saugseitenwän-

de des Schaufelblattes enthalten typischerweise verschiedene Reihen von Kühllöchern **44**, durch welche entsprechende Anteile der Kühlung während des Betriebs zur Erzeugung eines kühlenden Luftfilms um die Außenoberfläche des Schaufelblattes für einen zusätzlichen Schutz gegen die heißen Verbrennungsgase in einer herkömmlichen Weise ausgegeben werden.

[0029] In der in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellten bevorzugten Ausführungsform endet der hintere Serpentinenkreis **40** mit seinem letzten Strömungskanal, der den ersten Strömungskanal **32** für die Kühlung des Hinterkantenbereichs des Schaufelblattes definiert, wobei die Luft aus dem ersten Kanal **32** wiederum in den zweiten Strömungskanal **34** dieses Hinterkantenkühlkreises geleitet oder ausgegeben wird.

[0030] Insbesondere ist der Hinterkantenkühlkreis detaillierter in den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) dargestellt und enthält eine Anordnung oder Reihe von Einlasslöchern **46**, die sich durch den hinteren Steg **36** erstrecken, um eine Strömungsverbindung zwischen den ersten und zweiten Kanälen **32, 34** bereitzustellen.

[0031] Eine Reihe von Auslasslöchern **48** erstreckt sich aus dem zweiten Kanal **34** zwischen den zwei Seitenwänden **20, 22** welche in einem Stück miteinander entlang der Hinterkante verbunden sind, wobei sich die Auslasslöcher nach hinten zu der Hinterkante erstrecken um dort zu enden.

[0032] Eine Reihe erster Verwirbelungsrippen **50a** ist innerhalb des zweiten Kanals entlang der Innenoberfläche der Druckseitenwand **20** angeordnet und ist von der gegenüberliegenden Innenoberfläche der Saugseitenwand in Abstand angeordnet. Die ersten Rippen **50a** sind in Längsrichtung gemäß Darstellung in [Fig. 4](#) langgestreckt oder länger als sie in der Breitentrichtung entlang der radialen oder Spannenachse des Schaufelblattes sind, und sind im Wesentlichen in einer im Wesentlichen geradlinigen radialen Reihe davon kolinear. Die einzelnen ersten Rippen **50a** sind in der radialen Spanne ausgerichtet und liegen entsprechenden Einlasslöchern **46** gegenüber, um eine Queraufblas kühlung des Schaufelblattes an deren Stelle durch die während des Betriebs gegen die Rippen und darüber geleitete Kühlung **18** zu bewirken.

[0033] Wie es zusätzlich in [Fig. 4](#) dargestellt ist, ist jede von den ersten Rippen **50a** radial im Wesentlichen parallel zu dem hinteren Steg **38** orientiert und ist in radialer Höhe zu einem entsprechenden von den Einlasslöchern **46** ausgerichtet, um entsprechend durch die daraus geleitete Luft aufblasgekühlt zu werden.

[0034] Jede von den ersten Rippen **50a** erstreckt sich in Längsrichtung im Inneren des zweiten Kanals **34** bevorzugt ohne signifikante Neigung darin, um die

entsprechenden ebenen Seiten davon im Wesentlichen rechtwinklig zu entsprechenden von den Einlasslöchern zum Maximieren der Wärmeübertragungsfähigkeit der Kühlung zu orientieren. Die einzelnen ersten Rippen **50a** erstrecken sich bevorzugt radial ohne Neigung im Inneren des zweiten Strömungskanals und im Wesentlichen parallel zu dem hinteren Steg **36**, obwohl sie eine leichte Neigung von bis zu plus oder minus 7 Grad in Bezug darauf aufweisen können, ohne signifikant ihr Wärmeübertragungsverhalten zu reduzieren.

[0035] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es nicht erwünscht, die Verwirbelungsrippen um irgendeinen deutlichen Betrag aus ihrer radialen Orientierung zu neigen, was insbesondere die erhebliche Neigung von 45 bis 60° der Verwirbelungselemente in dem vorstehend offenbarten Patent von Lee et al. beinhaltet. Da die Konfiguration von Lee et al. in der Abmessung für kleine Turbinenschaufelblätter, für welche die vorliegende Erfindung eine spezielle Anwendung hat, maßstäblich verkleinert werden kann, funktioniert die radiale Orientierung der Verwirbelungsrippen gemäß der vorliegenden Erfindung anders mit einer erheblichen Zunahme in der Wärmeübertragungsfähigkeit gemäß Bestätigung durch Komponententests.

[0036] [Fig. 5](#) stellt eine vergrößerte radiale Schnittansicht einer bevorzugten Orientierung und Lage der ersten Rippen **50a** innerhalb der zweiten Kanals **34** dar. In dieser Konfiguration sind die Einlasslöcher **46** durch die radiale Ebene des hinteren Stegs **36** zu der Reihe der ersten Rippen **50a** mit einem Neigungswinkel A von etwa 6 Grad geneigt. Die entsprechenden ersten Rippen **50a** präsentieren stromaufwärts befindliche Seiten, welche entsprechenden Einlasslöchern **46** gegenüberliegen, und dazu ausgerichtet sind, um die Kühlung **18** daraus aufblasend aufzunehmen. Die einzelnen Einlasslöcher **46** können so bemessen sein, dass sie einen Ausgabeverteilungswinkel von etwa 7 Grad haben, um die einzelnen Verwirbelungsrippen um ihren Projektionsquerschnitt voll einzutauchen.

[0037] In ähnlicher Weise sind die in den [Fig. 3](#) und [Fig. 5](#) dargestellten Auslasslöcher **48** auch durch die Druckseitenwand **20** hindurch zu der Hinterkante **26** hin geneigt, um eine Auslassöffnung oder einen Schlitz entlang der Außenoberfläche der Druckseitenwand stromaufwärts von der Hinterkante und im Wesentlichen dort endend zu erzeugen.

[0038] In der in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 5](#) dargestellten bevorzugten Ausführungsform arbeitet die erste Reihe der ersten Verwirbelungsrippen **50a** mit einer zweiten Reihe von zweiten Verwirbelungsrippen **50b** zusammen, die in den zweiten Strömungskanal **34** ebenfalls entlang der Innenoberfläche der Druckseitenwand **20** und in ähnlichem Abstand von der Saug-

seitenwand 22 angeordnet sind.

[0039] Wie die ersten Rippen 50a sind die zweiten Rippen 50b in Längsrichtung langgestreckt und im Wesentlichen in radialer Ausrichtung entlang der Spanne des Schaufelblattes kolinear und in Sehnenrichtung von der ersten Reihe der Verwirbelungsrippen in Abstand angeordnet.

[0040] Gemäß Darstellung in [Fig. 4](#) erstreckt sich jede von den zweiten Rippen 50b bevorzugt in Längsrichtung innerhalb des zweiten Strömungskanals 34 im Wesentlichen parallel zu der ersten Reihe der ersten Verwirbelungsrippen 50a.

[0041] Die in [Fig. 4](#) dargestellten zwei Reihen von Verwirbelungsrippen 50a, b sind in ähnlicher Weise in geraden radialen Reihen konfiguriert, wobei die Rippen in jeder Reihe radial in Abstand voneinander angeordnet sind. Die ersten Rippen 50a sind somit in Längsrichtung in dem zweiten Strömungskanal voneinander in Abstand angeordnet, wobei die zweiten Verwirbelungsrippen 50b in ähnlicher Weise in Längsrichtung in dem zweiten Strömungskanal in Abstand angeordnet sind. Ferner sind die zweiten Rippen 50b bevorzugt in Längsrichtung zu entsprechenden von den ersten Rippen 50a versetzt, um einen Serpentineströmungspfad dazwischen und um die zwei Reihen der Verwirbelungsrippen aus den Einlasslöchern 46 zu den Auslasslöchern 48 zu erzeugen.

[0042] Gemäß Darstellung in [Fig. 5](#) sind die zwei Reihen der ersten und zweiten Rippen 50a, b bevorzugt in dem zweiten Strömungskanal mit im Wesentlichen gleichem Sehnenabstand zwischen den Reihen und den vorderen und hinteren Enden des zweiten Kanals zwischen den Einlass- und Auslasslöchern angeordnet. Auf diese Weise sind die ersten und zweiten Reihen der Verwirbelungsrippen bei etwa einem Drittel und zwei Dritteln des Sehnenabstandes im Inneren des Strömungskanals 34 angeordnet, um zu ermöglichen, dass die Kühlluft zuerst auf die ersten Rippen 50a auftrifft und dann über und um diese Rippen zwischen den Längsabständen dazwischen strömt, um dann über und um die zweiten Rippen 50b vor der Ausgabe durch die Auslasslöcher 48 zu strömen.

[0043] Beide Reihen der Verwirbelungsrippen 50a, b sind somit im Wesentlichen parallel zu dem hinteren Steg 36 angeordnet, durch welche die Einlasslöcher 46 die Kühlluft ausgeben. Die Luft durchquert dann den Strömungskanal 34 mit einer Kombination einer Serpentine- und Aufblasbewegung über den vorstehenden Spitzen der Verwirbelungsrippen und seitlich um deren Seiten zwischen den Längsabständen dazwischen. Die kolinearen Verwirbelungsrippen bewirken somit eine wesentlich verbesserte Zirkulation der Kühlluft in dem relativ kleinen und begrenzten

Volumen des zweiten Strömungskanals 34 zur Maximierung des Wärmeübertragungswirkungsgrades der Kühlfläche mit besonderen Nutzen für kleine Turbinenlaufschaufern mit entsprechend niedriger Reynolds-Zahl für die Kühlung.

[0044] Die in den [Fig. 1](#) und [Fig. 5](#) dargestellten Einlasslöcher 46 sind bevorzugt oval und in der radialen Richtung länger als in der Umfangsrichtung zwischen den gegenüberliegenden Seitenwänden breit. Beispielsweise kann jedes Einlassloch eine Längshöhe von etwa 1,14 mm (45 mils) und eine Umfangsbreite von etwa 0,66 mm (26 mils) haben.

[0045] Dementsprechend können die einzelnen Verwirbelungsrippen 50a, b eine Längshöhe von etwa 1,78 mm (70 mils) mit einem im Wesentlichen quadratischen Querschnittsprofil von etwa 0,51 mm (20 mils) auf jeder Seite haben. Und der Längsabstand zwischen den Rippen in jeder Reihe kann etwa 0,51 mm (20 mils) betragen.

[0046] In der in [Fig. 4](#) dargestellten bevorzugten Ausführungsform haben die Einlasslöcher 46 einen Rasterabstand von Mittellinie zu Mittellinie in der Längsrichtung in Bezug auf ihre Längshöhe entlang des hinteren Steges 36 mit einem Verhältnis in dem Bereich von etwa 1,5 bis etwa 3. Und in einer bevorzugten Ausführungsform ist dieses Raster/Höhen-Verhältnis etwa 2 gemäß Komponententest der Erfindung, was zu einem Wärmeübertragungskoeffizient von etwa dem Doppelten führte, den man in der Mehrfachaufblas-Kühlkonfiguration des Patentes von Lee et al. findet.

[0047] Dieses ist insbesondere für kleine Schaufelblätter wichtig, wobei die ersten und zweiten Kanäle 32, 34 und die Einlasslöcher 46 so bemessen sind, dass sie eine Reynolds-Zahl von kleiner als etwa 20000 für die Kühlung bewirken, die durch die Einlasslöcher ausgegeben wird, im Vergleich zu einer Reynolds-Zahl von mehr als etwa 30000 für die Aufblasluft in der Mehrfach-Aufblas-Kühlkonfiguration der großen Laufschaufel des Patentes von Lee et al.

[0048] Ein doppelter Wärmeübertragungskoeffizient mit einer wesentlich niedrigeren Reynolds-Zahl stellt eine bemerkenswerte Zunahme in dem Kühlungswirkungsgrad der beschränkten Kühlung für eine entsprechende Steigerung der Kühlung des Hinterkanternbereich des relativ kleinen Turbinenschaufelblattes der vorliegenden Erfindung dar. Die Erfindung kann jedoch auch, falls praktisch einsetzbar auf größere Schaufelblätter angewendet werden, und bei den Tests deren Wirkungsgrad im Gegensatz zur Verwendung der Mehrfach-Aufblas-Kühlkonfiguration des Patentes von Lee et al. zeigen.

[0049] Obwohl die in [Fig. 5](#) dargestellte bevorzugte Ausführungsform zwei Reihen der Verwirbelungsrip-

pen **50a, b** enthält, kann nur eine Reihe der Verwirbelungsrippen **50a** in dem zweiten Strömungskanal **34** gemäß Darstellung in der alternativen Ausführungsform von [Fig. 6](#) angeordnet sein. Da die Größe des zweiten Strömungskanals **34** mit den relativ kleinen Turbinenschaufelblättern abnimmt, kann nur eine Reihe der Verwirbelungsrippen für eine effektive Kühlung des Hinterkantenbereichs des Schaufelblattes verwendet werden, wobei diese eine Reihe ansonsten in Konfiguration und Orientierung mit der ersten Reihe von Verwirbelungsrippen **50a** identisch ist, die in der ersten Ausführungsform offenbart und in den verschiedenen [Fig. 1](#) bis [Fig. 5](#) dargestellt ist.

[0050] [Fig. 7](#) stellt noch eine weitere Ausführungsform der Erfindung dar, die zwei Reihen von Verwirbelungsrippen **50a, d** enthält. In dieser Ausführungsform ist die zweite Reihe der zweiten Verwirbelungsrippen **50d** innerhalb des zweiten Strömungskanals **34** entlang der Innenoberfläche der Saugseitenwand **22** und in Abstand von der Innenoberfläche der Druckseitenwand **20** in einer Konfiguration entgegengesetzt zu der in [Fig. 5](#) dargestellten angeordnet.

[0051] Jedoch können die zweiten Rippen **50d** ansonsten im Wesentlichen in Konfiguration, Orientierung und Abmessung mit den in [Fig. 5](#) dargestellten zweiten Verwirbelungselementen **50d** identisch sein, und sind daher in Längsrichtung länglich und im Wesentlichen in derselben Weise kolinear.

[0052] In der Ausführungsform von [Fig. 7](#) der Erfindung sind die zweiten Rippen **50d** in Sehnenrichtung von der ersten Reihe der Rippen **50a** in Abstand angeordnet, erzeugen aber ein anderes Verhalten, wenn der zweite Strömungskanal **34** zwischen den zwei Seiten des Schaufelblattes zu der Hinterkante **26** konvergiert. Da sich der Strömungskanal **34** zwischen den Einlass- und Auslasslöchern **46, 48** verengt, steht weniger Raum für die Einführung der Verwirbelungsrippen zur Verfügung, und ein Verhaltenvorteil kann bewirkt werden, indem man die Kühlluft **18** über die zwei Reihen von Verwirbelungsrippen auf gegenüberliegenden Seitenwänden zirkulieren lässt.

[0053] Die zweiten Verwirbelungsrippen **50d** in der Ausführungsform von [Fig. 7](#) sind in einer identischen Weise wie der in [Fig. 4](#) dargestellten in Längsrichtung parallel zu den ersten Rippen **50a** darin, wobei die zweiten Rippen **50d** in Längsrichtung zu entsprechenden von den ersten Rippen **50a** versetzt sind. In beiden in den [Fig. 4](#) und [Fig. 7](#) dargestellten Ausführungsformen sind die zweiten Verwirbelungsrippen **50b, d** bevorzugt in Längsrichtung zu den entsprechenden Längsabständen oder Räumen zwischen den ersten Verwirbelungsrippen **50a** in der stromabwärts liegenden Reihe zentriert. Auf diese Weise wird die durch die Abstände zwischen den ersten Verwirbelungsrippen geführte Luft im Wesentlichen gleichmäßig umgelenkt, um die entsprechenden stromab-

wärts liegenden Verwirbelungsrippen zu umströmen, um die Längsabstände dazwischen zu passieren.

[0054] [Fig. 8](#) stellt noch eine weitere Ausführungsform der Erfindung dar, welche eine dritte Reihe von dritten Verwirbelungsrippen **50c** enthält, die in Sehnenrichtung zwischen den zweiten Rippen **50b** und den Auslasslöchern **48** in Abstand angeordnet ist. Die drei Reihen von Verwirbelungsrippen **50a, b, c** sind in Sehnenrichtung voneinander im Inneren des zweiten Strömungskanals **34** alle entlang der Innenoberfläche der Druckseitenwand **20** in Abstand angeordnet. Jede von den drei Reihen einschließlich der zusätzlichen Reihe der dritten Verwirbelungsrippen **50c** weist in Längsrichtung längliche Rippen darin auf, welche im Wesentlichen kolinear zueinander sind, um drei gerade Reihen von Verwirbelungsrippen zu erzeugen, wobei jede Reihe Längsabstände zwischen ihren Rippen besitzt, wobei die entsprechenden Abstände in jeder Reihe bevorzugt zu den entsprechenden stromauf liegenden Verwirbelungsrippen zentriert ist.

[0055] Die vorstehend offenbarten radial kolinearen Verwirbelungsrippen belegen relativ wenig Platz in dem zweiten Strömungskanal und sind im Wesentlichen parallel zu dem hinteren Steg angeordnet, um in einer Aufblasströmung die Kühlluft aufzunehmen, die von den Einlasslöchern (**46**) normal oder senkrecht auf die entsprechenden Verwirbelungsrippen ausgegeben wird. Die Aufblaskühlung der Verwirbelungsrippen wird zusammen mit einer zusätzlichen Konvektionskühlung bewirkt, da die Aufblasluft seitlich durch die Längsspalte zwischen den Verwirbelungsrippen umgeleitet wird.

[0056] Eine oder mehrere stromabwärts liegende Reihen der kolinearen Verwirbelungsrippen können ebenfalls in Zusammenwirken mit der ersten oder stromaufwärts liegenden Reihe eingesetzt werden, um einen zusätzlichen Verwirbelungseffekt in der Kühlluft zu erzeugen, sobald diese stromabwärts durch den Strömungskanal strömt, wobei die Kühlluft ebenfalls seitlich zwischen den Längsabständen der Verwirbelungsrippen in den stromabwärts liegenden Reihen umgeleitet wird.

[0057] Diese kompakte und effiziente Kombination von Merkmalen erhöht den Wärmeübertragungskoeffizienten für die Kühlluft und verbessert dadurch deren Kühlungswirkungsgrad, was insbesondere für relativ kleine Turbinenlaufschaufeln mit niedrigen Reynolds-Zahlen für die Aufblaskühlluft wichtig ist. Die Konfiguration bewirkt auch eine gleichmäßige Kühlung sowohl in Längsrichtung als auch in Sehnenrichtung in dem Hinterkantenbereich des Schaufelblattes, in welchem sich die Verwirbelungsrippen befinden.

[0058] Die Erhöhung in der Wärmeübertra-

gungs-Kühlfähigkeit der Kühlluft kann vorteilhaft genutzt werden, um die lokale Temperatur des Turbinenschaufelblattes in dem Hinterkantenbereich zu reduzieren; oder es kann eine entsprechende Reduzierung des KühlLuftstroms bewirkt werden, um das Turbinenschaufelblatt mit einer herkömmlichen Temperaturgrenze zu betreiben.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufelblatt (12), aufweisend:
gegenüberliegende Druck- und Seitenwände (20, 22), die aneinander an sich in Längsrichtung erstreckenden vorderen und hinteren Kanten (24, 26) verbunden und voneinander in Abstand angeordnet sind, so dass sie erste und zweite durch einen Steg (36) getrennte Strömungskanäle (32, 34) definieren; eine Reihe von sich durch den Steg hindurch erstreckenden Einlasslöchern (46);
eine Reihe von sich aus dem zweiten Kanal zwischen den Seitenwänden zu der Hinterkante hin erstreckenden Auslasslöchern (48); und
eine Reihe von Verwirbelungsrippen (50), die in dem zweiten Kanal (34) entlang der Druckseitenwand (20) angeordnet und von der Saugseitenwand in Abstand angeordnet sind,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rippen (50) in Längsrichtung langgestreckt und im Wesentlichen kolinear im Wesentlichen parallel zu dem Steg (36) ohne deutliche Neigung darin sind, um ihre entsprechenden ebenen Seiten im Wesentlichen senkrecht zu ihren entsprechenden Einlasslöchern (46) und entsprechenden Auslasslöchern (48) zur Queraufblaskühlung des Schaufelblattes (42) dort mittels dagegen geleiteter Luft gegenüberliegend zu orientieren.

2. Schaufelblatt nach Anspruch 1, wobei jede von den Rippen (50) zu einem entsprechenden Einlassloch (46) für eine Aufblaskühlung durch die daraus geleitete Luft ausgerichtet ist.

3. Schaufelblatt nach Anspruch 2, wobei sich jede Rippe (50) in Längsrichtung in dem zweiten Kanal (34) im Wesentlichen senkrecht zu entsprechenden Einlasslöchern (46) erstreckt.

4. Schaufelblatt nach Anspruch 3, wobei die Einlasslöcher (46) durch den Steg (36) hindurch zu den Rippen (50) hin geneigt und die Auslasslöcher (48) in ähnlicher Weise durch die Druckseitenwand (20) hindurch zu der Hinterkante hin geneigt sind.

5. Schaufelblatt nach Anspruch 3, welches ferner eine Reihe zweiter Verwirbelungsrippen (50b) aufweist, die in dem zweiten Kanal (34) entlang der Druckseitenwand (20) und in Abstand von der Saugseitenwand (22) angeordnet sind, und wobei die zweiten Rippen in Längsrichtung langgestreckt und im Wesentlichen kolinear und in Sehnenrichtung von

der anderen die ersten Rippen (50a) definierenden Reihe in Abstand angeordnet sind.

6. Schaufelblatt nach Anspruch 3, welche nur eine einzige Reihe der in dem zweiten Kanal (34) angeordneten Rippen (50a) aufweist.

7. Schaufelblatt nach Anspruch 3, welches ferner eine Reihe in dem zweiten Kanal (34) entlang der Druckseitenwand (20) und in Abstand von der Saugseitenwand (22) angeordneter zweiter Verwirbelungsrippen (50d) aufweist und wobei die zweiten Rippen in Längsrichtung langgestreckt und im Wesentlichen kolinear und in Sehnenrichtung von der anderen die ersten Rippen (50a) definierenden Reihe in Abstand angeordnet sind und der zweite Kanal (34) zu der Hinterkante hin konvergiert.

8. Schaufelblatt nach Anspruch 3, welches ferner drei Reihen von den Verwirbelungsrippen (50a, b, c) in Sehnenrichtung in Abstand voneinander in dem zweiten Kanal angeordnet entlang der Druckseitenwand (20) aufweist, wobei jede von den Reihen in Längsrichtung langgestreckte und im Wesentlichen kolineare Rippen besitzt.

9. Schaufelblatt nach Anspruch 5, wobei:
sich jede von den ersten Rippen (50a) in Längsrichtung in dem zweiten Kanal (34) im Wesentlichen senkrecht zu entsprechenden Einlasslöchern (46) erstreckt; und
sich jede von den zweiten Rippen (50b) in Längsrichtung in dem zweiten Kanal (34) im Wesentlichen parallel zu der Reihe der ersten Rippen (50a) erstreckt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

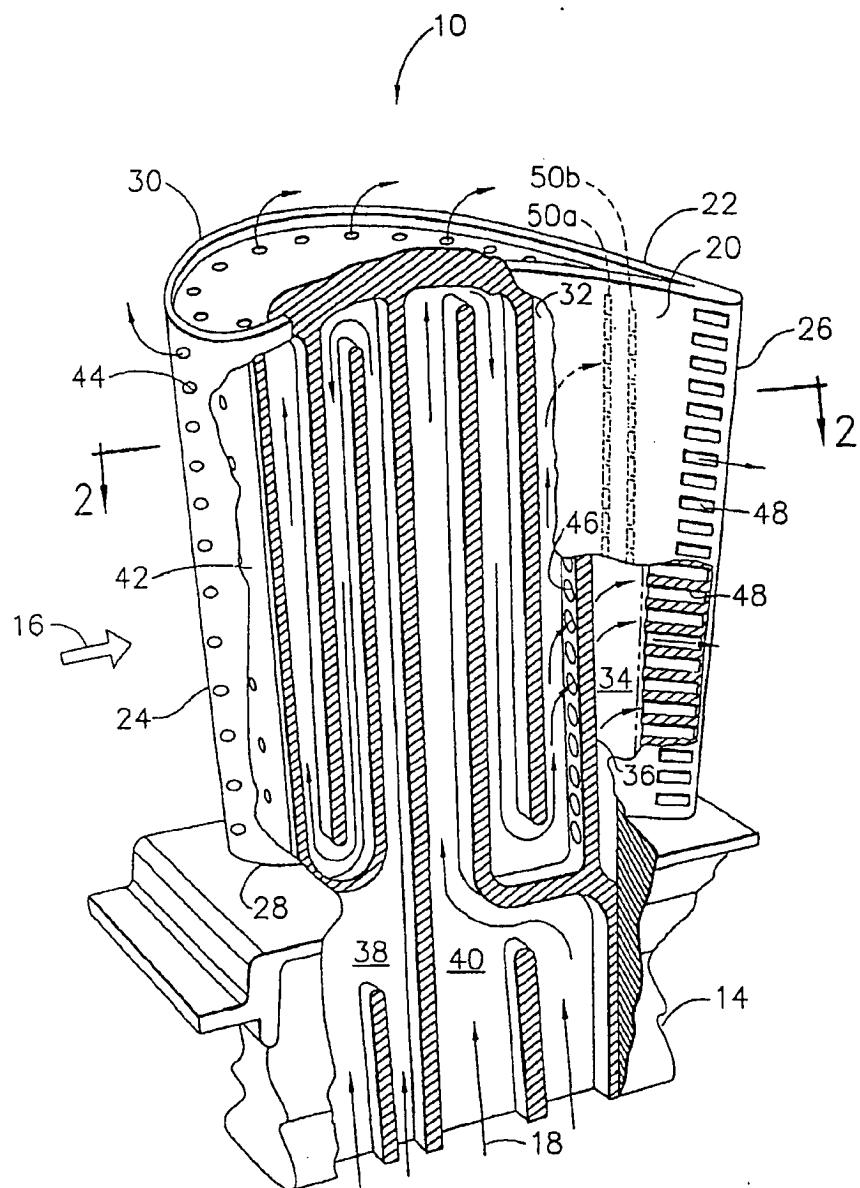
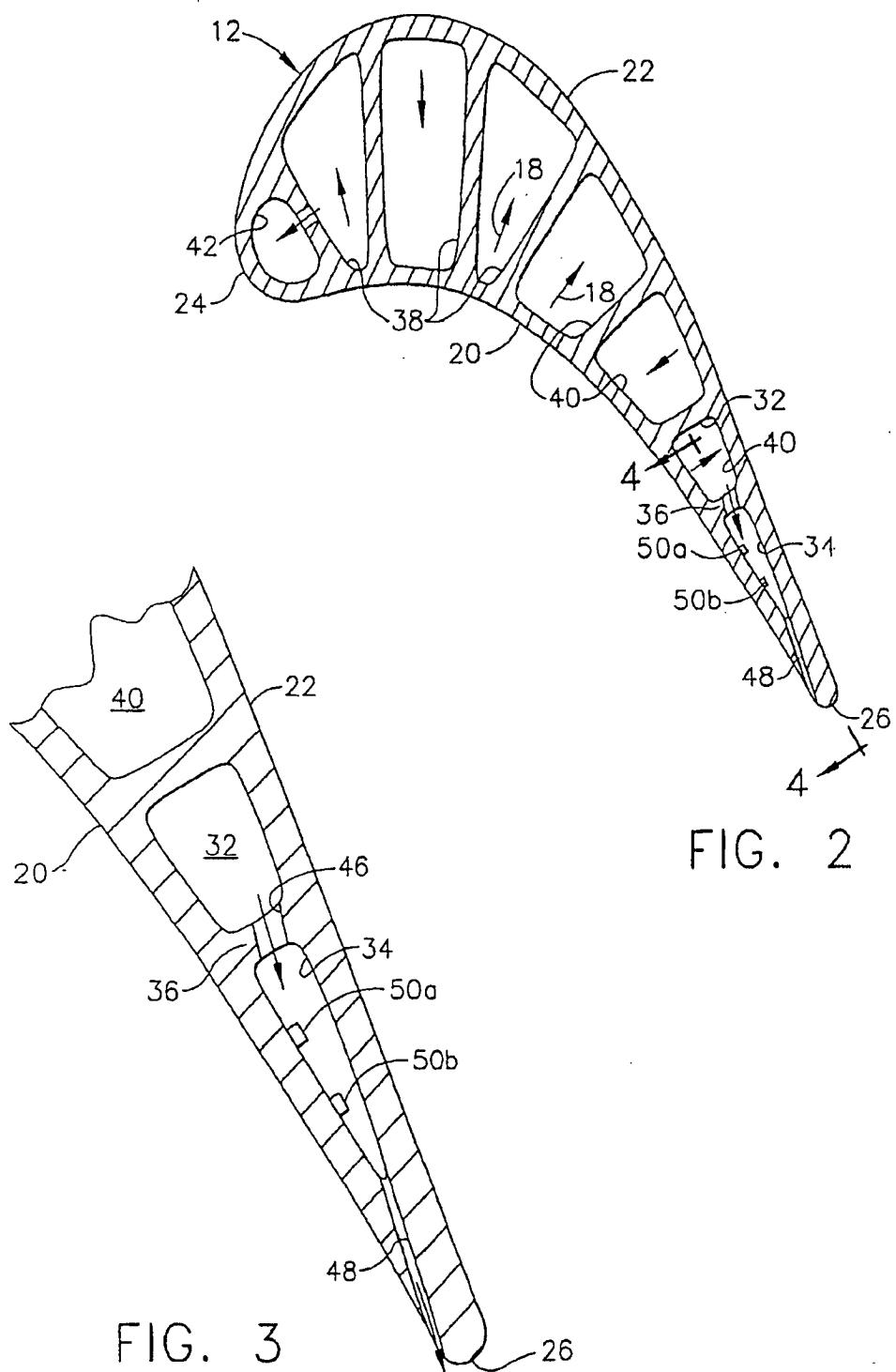


FIG. 1



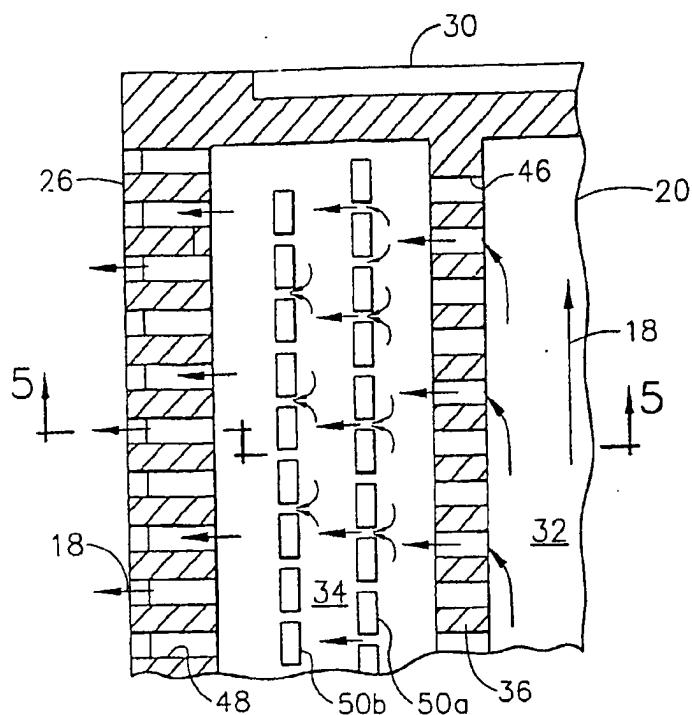


FIG. 4

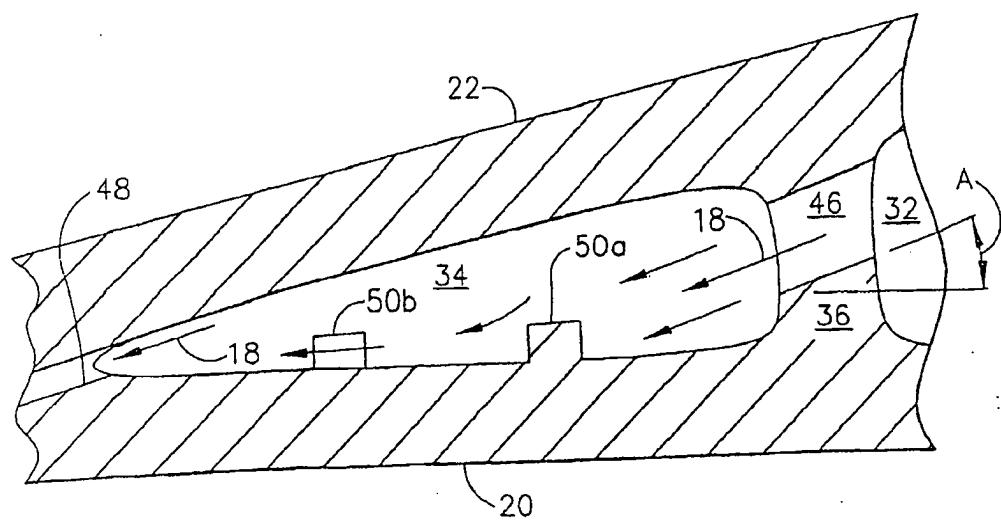


FIG. 5

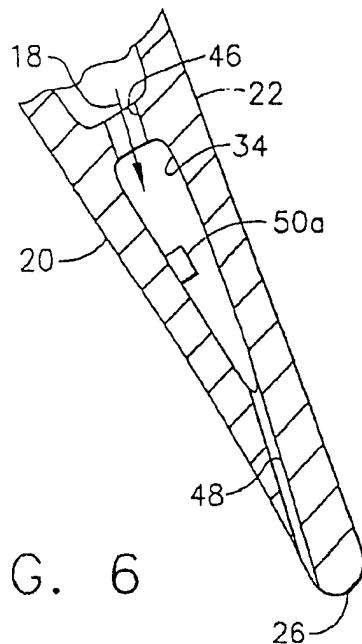


FIG. 6

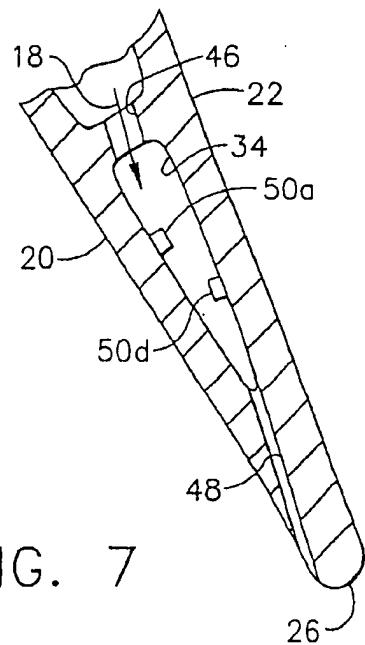


FIG. 7

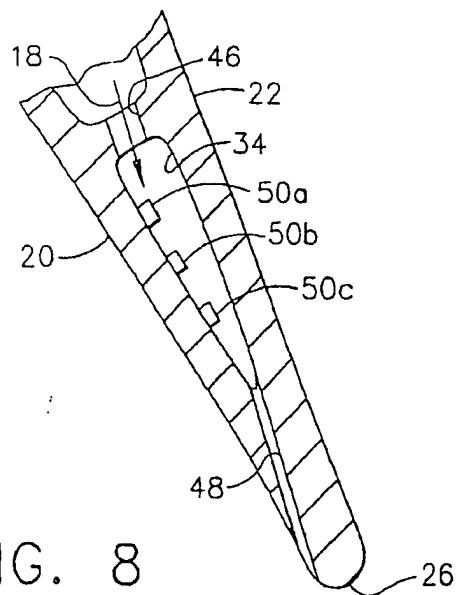


FIG. 8