



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 19 227 T2 2008.01.03**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 231 359 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 19 227.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 250 776.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **05.02.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.08.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **04.04.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.01.2008**

(51) Int Cl.⁸: **F01D 5/20 (2006.01)**
F01D 5/18 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
783279 09.02.2001 US

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

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

(72) Erfinder:
Lee, Ching-Pang, Cincinnati, Ohio 45243, US;
Prakash, Chander, Cincinnati, Ohio 45242, US

(74) Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(54) Bezeichnung: **Methode und Einrichtung zur Verminderung der Temperatur von Schaufelblattspitzen**

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 eingereicht, 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] Diese Anmeldung bezieht sich allgemein auf Gasturbinentreibwerksrotorschaufeln und im Speziellen auf Verfahren und Vorrichtungen zur Senkung von Temperaturen an Rotorschaufel spitzen.

[0002] Gasturbinentreibwerksrotorschaufeln enthalten typischerweise Schaufelblätter, die eine Vorder- bzw. Anström kante und eine Hinter- bzw. Abström kante, eine Druckseite und eine Saugseite aufweisen. Die Druckseite und die Saugseite sind an der Schaufelblattanström kante und -abström kante miteinander verbunden und erstrecken sich in radialer Spannweite zwischen dem Schaufelblattfuß und der Spitze. Um eine Reduktion von Verbrennungsgasleck verlusten zwischen den Schaufelblatt spitzen und stationären Statorkomponenten zu unterstützen, enthalten die Schaufelblätter einen Spitzenbereich, der sich radial nach außen von der Schaufelblattspitze erstreckt.

[0003] Die Schaufelblatt spitzenbereiche enthalten eine erste Spitzenwand, die sich von der Schaufelblattanström kante zu der Abström kante erstreckt, und eine zweite Spitzenwand, die sich ebenfalls von der Schaufelblattanström kante aus erstreckt, um an der Schaufelblattabström kante mit der ersten Spitzenwand verbunden zu sein. Der Spitzenbereich verhindert einen Schaden an dem Schaufelblatt, wenn das Rotorschaufelblatt an den Statorkomponenten reibt.

[0004] Im laufenden Betrieb übertragen auf die rotierenden Rotorschaufeln auftreffenden Verbrennungsgase Wärme auf die Schaufelblätter und Spitzenbereiche. Ein dauerhafter Betrieb bei höheren Temperaturen kann mit der Zeit an den Schaufelblatt spitzenbereichen zu thermischer Ermüdung führen. Zur Erleichterung der Betriebstemperatursenkung an Schaufelblatt spitzenbereichen enthalten zumindest einige bekannte Rotorschaufeln Schlitze innerhalb der Spitzenwände, um eine Strömung von Verbrennungsgasen mit einer niedrigen Temperatur durch die Spitzenbereiche zu ermöglichen.

[0005] Zur Förderung einer Minimierung von thermischer Ermüdung an den Rotorschaufelblatt spitzen enthalten zumindest einige bekannte Rotorschaufeln einen neben dem Spitzenbereich befindlichen Rand oder Absatz (vgl. EP 1016774). Der Rand bzw. Absatz ist so ausgebildet, dass er sich teilweise innerhalb der Druckseite des Schaufelblatts erstreckt, um, wenn die Rotorschaufeln rotieren, die Verbrennungsgasströmung aufzutrennen und auf diese Weise die Ausbildung einer Kühl luft filmschicht in einem Abschnitt der Schaufelblatt druckseite zu ermöglichen.

[0006] In einer beispielhaften Ausführungsform enthält eine Rotorschaufel für ein Gasturbinentreibwerk

einen Spitzenbereich, der eine Senkung von Betriebstemperaturen der Rotorschaufel unterstützt, ohne Einbuße des aerodynamischen Wirkungsgrads des Turbinentreibwerks zu erleiden. Der Spitzenbereich enthält eine erste Spitzenwand und eine zweite Spitzenwand, die sich radial nach außen von einer Schaufelblatt spitzenplatte aus erstrecken. Die erste Spitzenwand erstreckt sich von einer Vorder- bzw. Anström kante des Schaufelblatts bis zu einer Hinter- bzw. Abström kante des Schaufelblatts. Die zweite Spitzenwand erstreckt sich ebenfalls von der Schaufelblattanström kante aus und ist mit der ersten Spitzenwand an der Schaufelblattabström kante verbunden, um einen nach oben offenen Spitzenhohlraum zu bilden.

[0007] Zumindest ein Abschnitt der zweiten Spitzenwand ist ausgespart, um einen Spitzenrand bzw. -absatz zu definieren, der sich zwischen der Schaufelblattanström- und der -abström kante erstreckt.

[0008] Im Betrieb, wenn die Rotorschaufel rotiert, ziehen Verbrennungsgase mit höherer Temperatur in der Nähe einer Teillinie jeder Rotorschaufel zu dem Schaufelblatt spitzenbereich und in Richtung der Rotorschaufelblattabström kante fort. Weil sich die Spitzenwände von dem Schaufelblatt aus erstrecken, ist zwischen der Rotorschaufel und stationären Struktur komponenten ein enger Spalt definiert, der eine Reduktion der Verbrennungsgasleckverluste durch ihn hindurch ermöglicht. Wenn es zwischen den stationären Struktur komponenten und den Rotorschaufeln zum Anstreifen kommt, berühren die Spitzenwände die stationären Komponenten, und das Schaufelblatt bleibt intakt. Wenn die Rotorschaufel rotiert, strömen Verbrennungsgase mit niedrigeren Temperaturen in der Nähe der Anström kante des Spitzenbereichs an dem Schaufelblatt spitzenrand vorbei. Der Spitzenrand unterbricht die radiale Strömung der Verbrennungsgase, wodurch er die Verbrennungsgase veranlasst, sich von der Schaufelblattseitenwand zu lösen und auf diese Weise eine Senkung des Wärme übertrags auf sie unterstützt. In Folge dessen ermöglicht der Spitzenrand eine Senkung der Betriebstemperaturen der Rotorschaufel innerhalb des Spitzenbereichs, aber ohne zusätzliche Kühl luft zu verbrauchen, so dass er den Turbinenwirkungsgrad verbessert.

[0009] Die Erfindung ist in den Ansprüchen 1 und 4 sowie in den abhängigen Ansprüchen definiert und wird nun detaillierter anhand von Beispielen unter Bezug auf die Zeichnungen beschrieben, in denen zeigen:

[0010] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines Gasturbinentreibwerks und

[0011] [Fig. 2](#) eine partielle perspektivische Ansicht einer Rotorschaufel, die mit dem in [Fig. 1](#) veran-

schaulichten Gasturbinentreibwerk verwendet werden kann.

[0012] [Fig. 1](#) zeigt eine schematisierte Darstellung eines Gasturbinentreibwerks **10**, das eine Bläseranordnung **12**, einen Hochdruckverdichter **14** und eine Brennkammer **16** enthält. Das Triebwerk **10** enthält ferner eine Hochdruckturbine **18**, eine Niederdruckturbine **20** und ein Zusatztriebwerk (einen Booster) **22**. Die Bläseranordnung **12** enthält eine Anordnung von Bläserlaufschaufeln **24**, die sich radial nach außen von einer Rotorscheibe **26** erstrecken. Das Triebwerk **10** weist eine Einlassseite **28** und eine Auslassseite **30** auf.

[0013] Im Betrieb strömt Luft durch die Bläseranordnung **12**, und komprimierte Luft wird zu dem Hochdruckverdichter **14** geliefert. Die hoch komprimierte Luft wird zu der Brennkammer **16** geliefert. Die (in [Fig. 1](#) nicht veranschaulichte) Luftströmung aus der Brennkammer **16** treibt die Turbinen **18** und **20** an, während die Turbine **20** die Bläseranordnung **12** antriebt.

[0014] [Fig. 2](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines Rotorschaufelblatts **40**, das in Zusammenhang mit einem Gasturbinentreibwerk, bspw. dem in [Fig. 1](#) veranschaulichten) Gasturbinentreibwerk **10** verwendet werden kann. In einer Ausführungsform bilden mehrere Rotorschaufeln **40** eine (nicht veranschaulichte) Rotorlaufschaufelstufe der Hochdruckturbine des Gasturbinentreibwerks **10**. Jede Rotorlaufschaufel **40** enthält ein hohles Schaufelblatt **42** und einen (nicht dargestellten) integralen Schwabenschwanz, der zur Montage des Schaufelblatts **42** an eine (nicht dargestellte) Rotorscheibe auf eine bekannte Weise verwendet wird.

[0015] Das Schaufelblatt **42** enthält eine erste Seitenwand **44** und eine zweite Seitenwand **46**. Die erste Seitenwand **44** ist konvex und definiert eine Saugseite des Schaufelblatts **42**, und die zweite Seitenwand **46** ist konkav und definiert eine Druckseite des Schaufelblatts **42**. Die Seitenwände **44** und **46** sind an einer Vorder- bzw. Anströmkante **48** und an einer sich in axialer Richtung im Abstand befindenden Hinter- bzw. Abströmkante **50** des Schaufelblatts **42** miteinander verbunden, die sich stromab von der Anströmkante **48** befindet.

[0016] Die erste und die zweite Seitenwand **44** bzw. **46** erstrecken sich in Längsrichtung oder radial nach außen, um sich über die Spanne von einem (nicht veranschaulichten) Schaufelfuß, der neben dem Schwabenschwanz positioniert ist, bis zu einer Spitzenplatte **54** zu erstrecken, die eine radial äußere Begrenzung einer (nicht veranschaulichten) inneren Kühlkammer definiert. Die Kühlkammer ist innerhalb des Schaufelblatts **42** zwischen den Seitenwänden **44** und **46** ausgebildet. Eine innere Kühlung von

Schaufelblättern **42** ist in der Technik bekannt. In einer Ausführungsform enthält die Kühlkammer einen serpentinenartigen Durchgang, der mit Verdichterzapfluft gekühlt wird. In einer weiteren Ausführungsform enthalten die Seitenwände **44** und **46** mehrere (nicht gezeigte) Filmkühlöffnungen, die sich durch sie hindurch erstrecken, um eine zusätzliche Kühlung der Kühlkammer zu ermöglichen. In einer noch weiteren Ausführungsform enthält das Schaufelblatt **42** mehrere (nicht veranschaulichte) Abströmkantenöffnungen, die zum Auslass von Kühlluft aus der Kühlkammer verwendet werden.

[0017] Eine Spitzenregion **60** des Schaufelblatts **42** ist manchmal als Anstreifspitze bekannt und enthält eine erste Spitzenwand **62** und eine zweite Spitzenwand **64**, die mit dem Schaufelblatt **42** integral ausgebildet sind. Die erste Spitzenwand **62** erstreckt sich von der benachbarten Schaufelblattanströmkante **48** entlang der ersten Seitenwand **44** des Schaufelblatts bis zu der Schaufelblattabströmkante **50**. Insbesondere erstreckt sich die erste Spitzenwand **62** über eine Höhe **66** hinweg von der Spitzenplatte **54** bis zu einem äußeren Rand **65**. Die Höhe **66** der ersten Spitzenwand ist entlang der ersten Spitzenwand **62** im Wesentlichen konstant.

[0018] Die zweite Spitzenwand **64** erstreckt sich von der Schaufelblattanströmkante **48** entlang der zweiten Seitenwand **46**, um an der Schaufelblattabströmkante **50** mit der ersten Spitzenwand **62** verbunden zu sein. Genauer gesagt, ist die zweite Spitzenwand **64** in Seitenrichtung zu der ersten Spitzenwand **62** im Abstand angeordnet, so dass ein nach oben offener Hohlraum **70** gemeinsam mit den Spitzenwänden **62** und **64** und der Spitzenplatte **54** definiert ist. Die zweite Spitzenwand **64** erstreckt sich ferner in der Höhe **74** von der Spitzenplatte **54** radial nach außen zu einem äußeren Rand **72**. In der beispielhaften Ausführungsform ist die Höhe **74** der zweiten Spitzenwand mit der Höhe **66** der ersten Spitzenwand gleich. Alternativ entspricht die Höhe **74** der zweiten Spitzenwand nicht der Höhe **66** der ersten Spitzenwand.

[0019] Die zweite Spitzenwand **64** ist zumindest teilweise von der zweiten Seitenwand **46** aus ausgespart. Genauer gesagt, ist die zweite Spitzenwand **64** von der zweiten Seitenwand **46** des Schaufelblatts aus in Richtung der ersten Spitzenwand **62** ausgespart, um einen radial nach außen weisenden Spitzenrand oder -absatz **90** zu definieren, der sich im Wesentlichen zwischen der Anströmkante **48** und der Abströmkante **50** des Schaufelblatts erstreckt. Genauer gesagt, enthält der Spitzenrand **90** eine vordere Kante **94** und eine hintere Kante **96**. Die Schaufelblattanströmkante **48** enthält einen Stagnations- bzw. Neutralpunkt **100**, und die vordere Kante **94** des Spitzenrandes ist von der zweiten Seitenwand **46** des Schaufelblatts aus über den Neutralpunkt **100** der

Anströmkante hinweg verlängert und geht fluchtend oder bündig in die erste Seitenwand **44** über. Der Spitzenrand **90** erstreckt sich von der Schaufelblattanströmkante **48** nach hinten zu der Schaufelblatt-abströmkante **50**, so dass die hintere Kante **96** des Spitzenrandes im Wesentlichen koplanar zu der Schaufelblattabströmkante **50** angeordnet ist.

[0020] Die ausgesparte zweite Spitzenwand **64** und der Spitzenrand **90** definieren zwischen einander eine im Wesentlichen L-förmige Rinne bzw. Vertiefung **102**. In der beispielhaften Ausführungsform ist die Spitzenplatte **54** im Wesentlichen unperforiert und enthält lediglich mehrere Öffnungen **106**, die sich an dem Spitzenrand **90** durch die Spitzenplatte **54** hindurch erstrecken. Die Öffnungen **106** sind in axialer Richtung entlang des Spitzenrandes **90** zwischen der Schaufelblattanström- und -abströmkante **48** und **50** im Abstand zueinander angeordnet und stehen zwischen der Vertiefung **102** und der inneren Schaufelblattkühlkammer in Strömungsverbindung. In einer Ausführungsform sind der Spitzenbereich **60** und das Schaufelblatt **42** mit einer Wärmeschutzbeschichtung beschichtet.

[0021] Im Betrieb sind die Anstreifspitzenwände **62** und **64** in enger Nähe zu einem (nicht veranschaulichten) herkömmlichen stationären Statormantel positioniert und bilden dazwischen einen (nicht veranschaulichten) engen Zwischenraum bzw. Spalt, der eine Reduktion einer Verbrennungsgasleckage durch diesen ermöglicht. Die Spitzenwände **62** und **64** erstrecken sich von dem Schaufelblatt **42** aus radial nach außen. Dementsprechend kommen, wenn es zwischen den Rotorschaufelblättern **40** und dem Statormantel zu einem Anstreifen kommt, lediglich die Spitzenwände **62** und **64** mit dem Mantel in Berührung, und das Schaufelblatt **42** bleibt unversehrt.

[0022] Weil Verbrennungsgase bei ihrer Strömung durch einen Turbinenströmungspfad an der Anströmkante **48** des Schaufelblattspitzenbereichs ein parabolisches Profil annehmen, wiesen Verbrennungsgase in der Nähe des Spitzenbereichs **60** der Turbinenschaufel eine niedrigere Temperatur auf als Gase in der Nähe einer (nicht dargestellten) Schaufelteillinie der Turbinenlaufschaufeln **40**. Wenn Verbrennungsgase von der Anströmkante **48** des Schaufelblattspitzenbereichs in Richtung der Abströmkante **50** der Schaufel strömen, ziehen wärmere Gase in der Nähe der Teillinie aufgrund der Schaufelblattrotation radial in Richtung eines Spitzenbereichs **60** der Rotorschaufeln **40** fort. Deshalb sind in dem Spitzenbereich **60** die Gase in der Nähe der Anströmkante **48** kühler als Gase an der Abströmkante **50**. Wenn Verbrennungsgase in radialer Richtung an dem Schaufelblattspitzenrand **90** vorbei strömen, stellt die Vertiefung **102** eine Diskontinuität in der Schaufelblattdruckseite **46** dar, die die heißen Verbrennungsgase veranlasst, sich von der zweiten Seitenwand **46** des

Schaufelblatts zu lösen, und auf diese Weise eine Reduktion des von ihnen ausgehenden Wärmeübergangs ermöglicht. Zusätzlich stellt die Vertiefung **102** einen Bereich zur Verfügung, in dem sich Kühlluft anammeln und einen Film an der Seitenwand **46** bilden kann. Die Spitzenrandlöcher **106** lassen Kühlluft aus der inneren Schaufelblattkühlkammer ausströmen, um eine Filmkühlschicht an dem Spitzenbereich **60** auszubilden. In Folge dessen unterstützt der Spitzenrand **90** eine Verbesserung der Kühleffektivität des Films zur Senkung der Betriebstemperaturen der Seitenwände **46**.

[0023] Die vorstehend beschriebene Rotorlaufschaufel ist kosteneffizient und arbeitet sehr zuverlässig. Die Rotorschaufel enthält einen Spitzenrand bzw. -absatz, der sich von der Schaufelblattanströmkante bis zur Schaufelblattabströmkante erstreckt. Der Spitzenrand trennt Verbrennungsgase, die an dem Schaufelblatt vorbei strömen auf, um die Ausbildung einer Kühlschicht an dem Spitzenrand zu fördern. In Folge dessen unterstützen kühtere Betriebstemperaturen innerhalb der Rotorschaufel eine Verlängerung der Nutzungsdauer der Rotorschaufeln auf eine kosteneffiziente und zuverlässige Weise.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Fertigung einer Rotorschaufel (**40**) für ein Gasturbinentriebwerk (**10**), um die Senkung der Betriebstemperaturen eines Spitzenbereichs (**60**) der Rotorschaufel zu ermöglichen, wobei die Rotorschaufel eine Anströmkante (**48**), eine Abströmkante (**50**), eine erste konvexe Seitenwand (**44**) und eine zweite konkave Seitenwand (**46**) aufweist, und die erste und zweite Seitenwand an der Anström- und Abströmkante in Axialrichtung verbunden sind und sich radial zwischen einem Rotorschaufelfuß und einer Rotorschaufel spitzenplatte (**54**) erstrecken, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:
Ausbilden einer ersten Spitzenwand (**62**), die sich von der Rotorschaufel spitzenplatte (**54**) entlang der ersten konkaven Seitenwand erstreckt;
Ausbilden einer zweiten Spitzenwand (**64**), die sich von der Rotorschaufel spitzenplatte entlang der zweiten konkaven Seitenwand erstreckt, so dass die erste Spitzenwand an der Abströmkante der Rotorschaufel mit der zweiten Spitzenwand verbunden ist, wobei wenigstens ein Bereich der zweiten Spitzenwand wenigstens teilweise in Bezug zu der zweiten konkaven Seitenwand der Rotorschaufel ausgespart ist und einen Spitzenrand (**90**) definiert, der sich von der Schaufelblattanströmkante zu der Schaufelblatt-abströmkante erstreckt, wobei der Spitzenrand eine vordere Kante (**94**) aufweist und die vordere Kante sich von der zweiten konkaven Seitenwand durch einen Neutralpunkt (**100**) der Anströmkante erstreckt und fluchtend in die erste konvexe Seitenwand übergeht, bevor sie die Schaufelblattabströmkante erreicht, dadurch gekennzeichnet, dass der Spitzen-

rand eine hintere Kante (96) aufweist und der Spitzenrand sich von der Schaufelblattanströmkante nach hinten zu der Abströmkante erstreckt, sodass die hintere Kante des Spitzenrandes im Wesentlichen koplanar zu der Schaufelblattabströmkante angeordnet ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt zum Ausbilden einer zweiten Spitzenwand (64) ferner den Schritt umfasst, die zweite Spitzenwand so auszubilden, dass sie sich von einer Spitzenplatte an der konkaven Seite des Schaufelblatts erstreckt, und wobei die erste Seitenwand eine konvexe Schaufelblattseitenwand ist und die zweite Seitenwand eine konkave Schaufelblattseitenwand ist.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 oder 2, wobei der Schritt zum Ausbilden einer zweiten Spitzenwand (64) ferner den Schritt umfasst, mehrere Filmkühlungsöffnungen (106) auszubilden, die sich in den Spitzenrand (90) hinein erstrecken.

4. Schaufelblatt (42) für ein Gasturbinentriebwerk (10), wobei das Schaufelblatt Folgendes umfasst:
 eine Anströmkante (48);
 eine Abströmkante (50);
 eine Spitzenplatte (54);
 eine konvexe Seitenwand (44), die sich in radialer Spannweite zwischen einem Schaufelblattfuß und der Spitzenplatte erstreckt;
 eine an der Anströmkante und der Abströmkante mit der ersten Seitenwand verbundene konkave Seitenwand (46), die sich in radialer Spannweite zwischen einem Schaufelblattfuß und der Spitzenplatte erstreckt;
 eine konvexe Spitzenwand (62), die sich von der Spitzenplatte entlang der konvexen Seitenwand radial nach außen erstreckt; und
 eine konkave Spitzenwand (64), die sich von der Spitzenplatte entlang der konkaven Seitenwand radial nach außen erstreckt, wobei die konvexe Spitzenwand an der Abströmkante mit der konkaven Spitzenwand verbunden ist, und
 wobei die konkave Spitzenwand wenigstens teilweise in Bezug zu der konkaven Seitenwand der Rotschaufel ausgespart ist, um einen Spitzenrand (90) zu definieren, der sich von der Schaufelblattanströmkante zu der Schaufelblattabströmkante erstreckt, wobei der Spitzenrand eine vordere Kante (94) aufweist und die vordere Kante sich von der konkaven Seitenwand durch einen Neutralpunkt (100) der Anströmkante erstreckt und fluchtend in die konvexe Seitenwand übergeht, bevor sie die Schaufelblattabströmkante erreicht, dadurch gekennzeichnet, dass der Spitzenrand eine hintere Kante (96) aufweist und dass der Spitzenrand sich von der Schaufelblattanströmkante nach hinten zu der Abströmkante erstreckt, sodass die hintere Kante des Spitzenrandes im Wesentlichen koplanar zu der Schaufelblattabströmkante angeordnet ist.

5. Schaufelblatt (42) nach Anspruch 4, wobei die konvexe Spitzenwand (62) und die konkave Spitzenwand (64) im Wesentlichen die gleiche Höhe (66, 74) aufweisen.

6. Schaufelblatt (42) nach Anspruch 5 oder 6, wobei die konvexe Spitzenwand (62) sich in einem ersten Abstand von der Spitzenplatte (54) erstreckt und die konkave Spitzenwand (64) sich in einem zweiten Abstand von der Spitzenplatte erstreckt.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

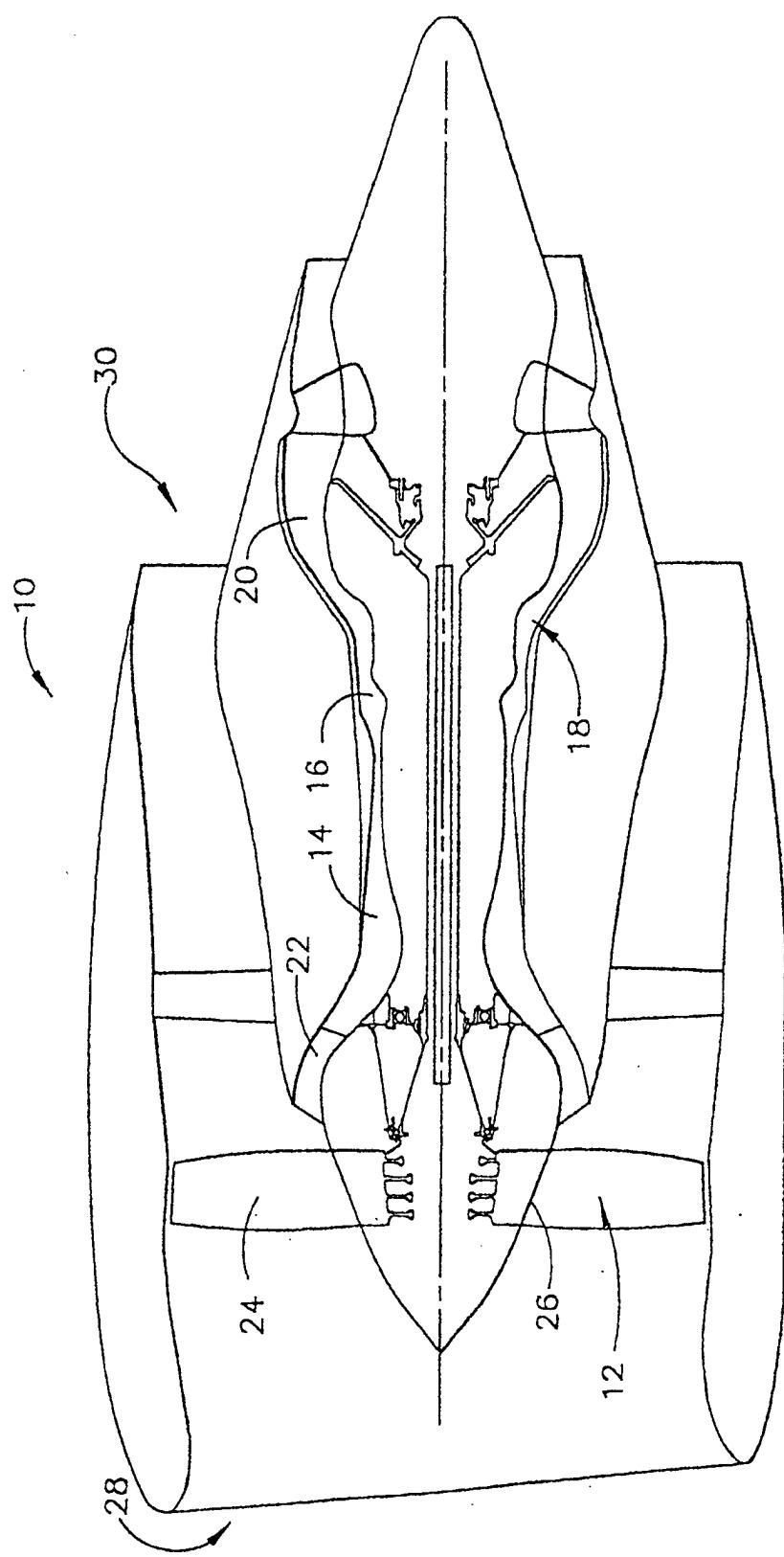


FIG. 1

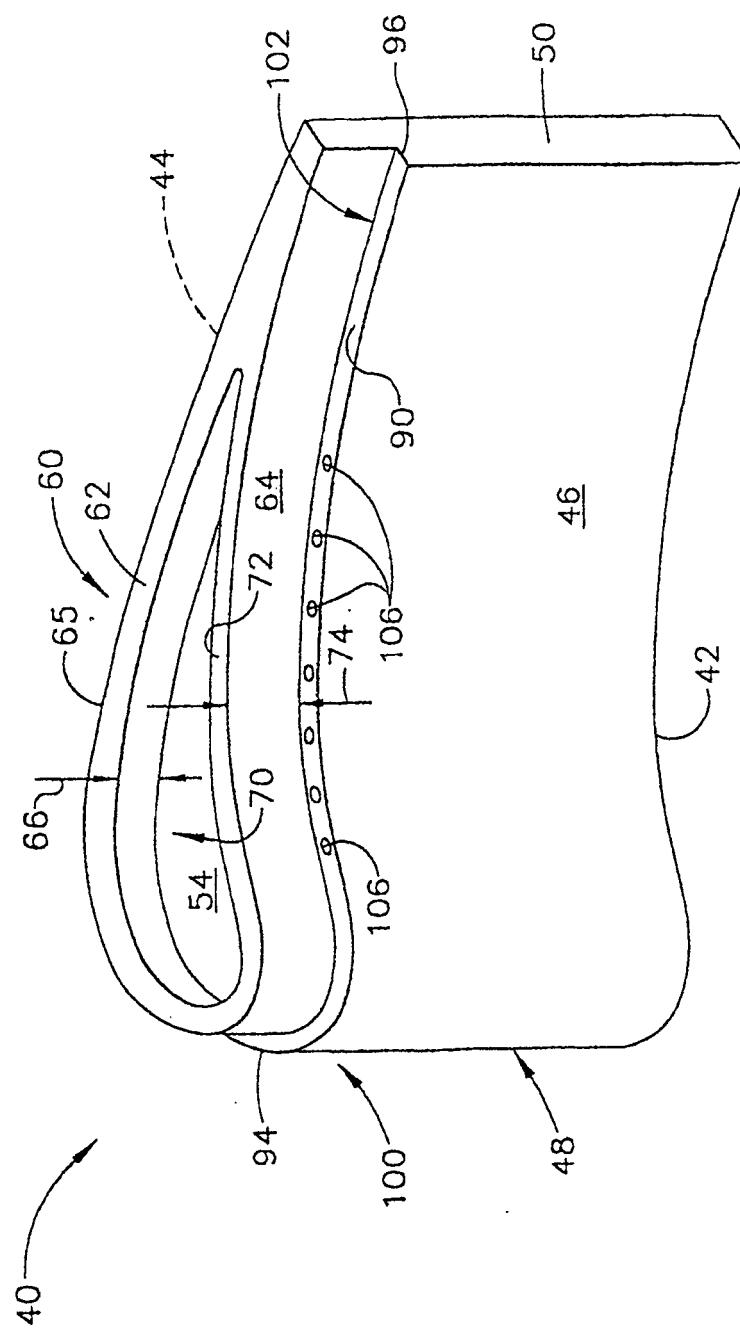


FIG. 2