



(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

(73) Patentinhaber:

General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(72) Erfinder:

**Lee, Ching-Pang, Cincinnati, Ohio 45243, US;
Prakash, Chander, Cincinnati, Ohio 45242, US**

(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 eingelegt, 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 Gasturbinentriebwerksrotorschaukeln und im Speziellen auf Verfahren und Vorrichtungen zur Senkung von Temperaturen an Rotorschaukelspitzen.

[0002] Gasturbinentriebwerksrotorschaukeln enthalten typischerweise Schaukelblätter, die eine Vorder- bzw. Anströmkannte und eine Hinter- bzw. Abströmkannte, eine Druckseite und eine Saugseite aufweisen. Die Druckseite und die Saugseite sind an der Schaukelblattanströmkannte und -abströmkannte miteinander verbunden und erstrecken sich in radialer Spannweite zwischen dem Schaukelblattfuß und der Spitze. Um eine Reduktion von Verbrennungsgasleckverlusten zwischen den Schaukelblattspitzen und stationären Statorkomponenten zu unterstützen, enthalten die Schaukelblätter einen Spitzenbereich, der sich radial nach außen von der Schaukelblattspitze erstreckt.

[0003] Die Schaukelblattspitzenbereiche enthalten eine erste Spitzenwand, die sich von der Schaukelblattanströmkannte zu der Abströmkannte erstreckt, und eine zweite Spitzenwand, die sich ebenfalls von der Schaukelblattanströmkannte aus erstreckt, um an der Schaukelblattabströmkannte mit der ersten Spitzenwand verbunden zu sein. Der Spitzenbereich verhindert einen Schaden an dem Schaukelblatt, wenn das Rotorschaukelblatt an den Statorkomponenten reibt.

[0004] Im laufenden Betrieb übertragen auf die rotierenden Rotorschaukeln auftreffenden Verbrennungsgase Wärme auf die Schaukelblätter und Spitzenbereiche. Ein dauerhafter Betrieb bei höheren Temperaturen kann mit der Zeit an den Schaukelblattspitzenbereichen zu thermischer Ermüdung führen. Zur Erleichterung der Betriebstemperatursenkung an Schaukelblattspitzenbereichen enthalten zumindest einige bekannte Rotorschaukeln 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 Rotorschaukelblattspitzen enthalten zumindest einige bekannte Rotorschaukeln 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 Schaukelblatts erstreckt, um, wenn die Rotorschaukeln rotieren, die Verbrennungsgasströmung aufzutrennen und auf diese Weise die Ausbildung einer Kühlluftfilmschicht in einem Abschnitt der Schaukelblattdruckseite zu ermöglichen.

[0006] In einer beispielhaften Ausführungsform enthält eine Rotorschaukel für ein Gasturbinentriebwerk

einen Spitzenbereich, der eine Senkung von Betriebstemperaturen der Rotorschaukel unterstützt, ohne Einbuße des aerodynamischen Wirkungsgrads des Turbinentriebwerks zu erleiden. Der Spitzenbereich enthält eine erste Spitzenwand und eine zweite Spitzenwand, die sich radial nach außen von einer Schaukelblattspitzenplatte aus erstrecken. Die erste Spitzenwand erstreckt sich von einer Vorder- bzw. Anströmkannte des Schaukelblatts bis zu einer Hinter- bzw. Abströmkannte des Schaukelblatts. Die zweite Spitzenwand erstreckt sich ebenfalls von der Schaukelblattanströmkannte aus und ist mit der ersten Spitzenwand an der Schaukelblattabströmkannte 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 Schaukelblattanström- und der -abströmkannte erstreckt.

[0008] Im Betrieb, wenn die Rotorschaukel rotiert, ziehen Verbrennungsgase mit höherer Temperatur in der Nähe einer Teillinie jeder Rotorschaukel zu dem Schaukelblattspitzenbereich und in Richtung der Rotorschaukelblattabströmkannte fort. Weil sich die Spitzenwände von dem Schaukelblatt aus erstrecken, ist zwischen der Rotorschaukel und stationären Strukturkomponenten ein enger Spalt definiert, der eine Reduktion der Verbrennungsgasleckverluste durch ihn hindurch ermöglicht. Wenn es zwischen den stationären Strukturkomponenten und den Rotorschaukeln zum Anstreifen kommt, berühren die Spitzenwände die stationären Komponenten, und das Schaukelblatt bleibt intakt. Wenn die Rotorschaukel rotiert, strömen Verbrennungsgase mit niedrigeren Temperaturen in der Nähe der Anströmkannte des Spitzenbereichs an dem Schaukelblattspitzenrand vorbei. Der Spitzenrand unterbricht die radiale Strömung der Verbrennungsgase, wodurch er die Verbrennungsgase veranlasst, sich von der Schaukelblattseitenwand zu lösen und auf diese Weise eine Senkung des Wärmeübertrags auf sie unterstützt. In Folge dessen ermöglicht der Spitzenrand eine Senkung der Betriebstemperaturen der Rotorschaukel innerhalb des Spitzenbereichs, aber ohne zusätzliche Kühlluft 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 Gasturbinentriebwerks und

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

schaulichten Gasturbinentriebwerk verwendet werden kann.

[0012] [Fig. 1](#) zeigt eine schematisierte Darstellung eines Gasturbinentriebwerks **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 Bläserlaufschaukeln **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** antreibt.

[0014] [Fig. 2](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines Rotorschaukelblatts **40**, das in Zusammenhang mit einem Gasturbinentriebwerk, bspw. dem in [Fig. 1](#) veranschaulichten) Gasturbinentriebwerk **10** verwendet werden kann. In einer Ausführungsform bilden mehrere Rotorschaukeln **40** eine (nicht veranschaulichte) Rotorlaufschaukelstufe der Hochdruckturbine des Gasturbinentriebwerks **10**. Jede Rotorlaufschaukel **40** enthält ein hohles Schaukelblatt **42** und einen (nicht dargestellten) integralen Schwalbenschwanz, der zur Montage des Schaukelblatts **42** an eine (nicht dargestellte) Rotorscheibe auf eine bekannte Weise verwendet wird.

[0015] Das Schaukelblatt **42** enthält eine erste Seitenwand **44** und eine zweite Seitenwand **46**. Die erste Seitenwand **44** ist konvex und definiert eine Saugseite des Schaukelblatts **42**, und die zweite Seitenwand **46** ist konkav und definiert eine Druckseite des Schaukelblatts **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 Schaukelblatts **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) Schaukelfuß, der neben dem Schwalbenschwanz 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 Schaukelblatts **42** zwischen den Seitenwänden **44** und **46** ausgebildet. Eine innere Kühlung von

Schaukelblättern **42** ist in der Technik bekannt. In einer Ausführungsform enthält die Kühlkammer einen serpentinartigen Durchgang, der mit Verdichterpapflut 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 Schaukelblatt **42** mehrere (nicht veranschaulichte) Abströmkantenöffnungen, die zum Auslass von Kühlluft aus der Kühlkammer verwendet werden.

[0017] Eine Spitzenregion **60** des Schaukelblatts **42** ist manchmal als Anstreifspitze bekannt und enthält eine erste Spitzenwand **62** und eine zweite Spitzenwand **64**, die mit dem Schaukelblatt **42** integral ausgebildet sind. Die erste Spitzenwand **62** erstreckt sich von der benachbarten Schaukelblattanströmkante **48** entlang der ersten Seitenwand **44** des Schaukelblatts bis zu der Schaukelblattabströmkante **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 Schaukelblattanströmkante **48** entlang der zweiten Seitenwand **46**, um an der Schaukelblattabströmkante **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 Schaukelblatts 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 Anström- und der Abströmkante **48** und **50** des Schaukelblatts erstreckt. Genauer gesagt, enthält der Spitzenrand **90** eine vordere Kante **94** und eine hintere Kante **96**. Die Schaukelblattanströmkante **48** enthält einen Stagnations- bzw. Neutralpunkt **100**, und die vordere Kante **94** des Spitzenrandes ist von der zweiten Seitenwand **46** des Schaukelblatts 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 Schaufelblattabströmkante **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 Rotorschaukelblättern **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 Rotorschaukeln **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 ansammeln 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 Rotorschaukel 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 kühlere Betriebstemperaturen innerhalb der Rotorschaukel eine Verlängerung der Nutzungsdauer der Rotorschaukeln auf eine kosteneffiziente und zuverlässige Weise.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Fertigung einer Rotorschaukel (**40**) für ein Gasturbinenriebwerk (**10**), um die Senkung der Betriebstemperaturen eines Spitzenbereichs (**60**) der Rotorschaukel zu ermöglichen, wobei die Rotorschaukel 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 Rotorschaukel Fuß und einer Rotorschaukelspitzenplatte (**54**) erstrecken, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:
Ausbilden einer ersten Spitzenwand (**62**), die sich von der Rotorschaukelspitzenplatte (**54**) entlang der ersten konkaven Seitenwand erstreckt;
Ausbilden einer zweiten Spitzenwand (**64**), die sich von der Rotorschaukelspitzenplatte entlang der zweiten konkaven Seitenwand erstreckt, so dass die erste Spitzenwand an der Abströmkante der Rotorschaukel mit der zweiten Spitzenwand verbunden ist, wobei wenigstens ein Bereich der zweiten Spitzenwand wenigstens teilweise in Bezug zu der zweiten konkaven Seitenwand der Rotorschaukel ausgespart ist und einen Spitzenrand (**90**) definiert, der sich von der Schaufelblattanströmkante zu der Schaufelblattabströmkante 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 Rotor-schaufel 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

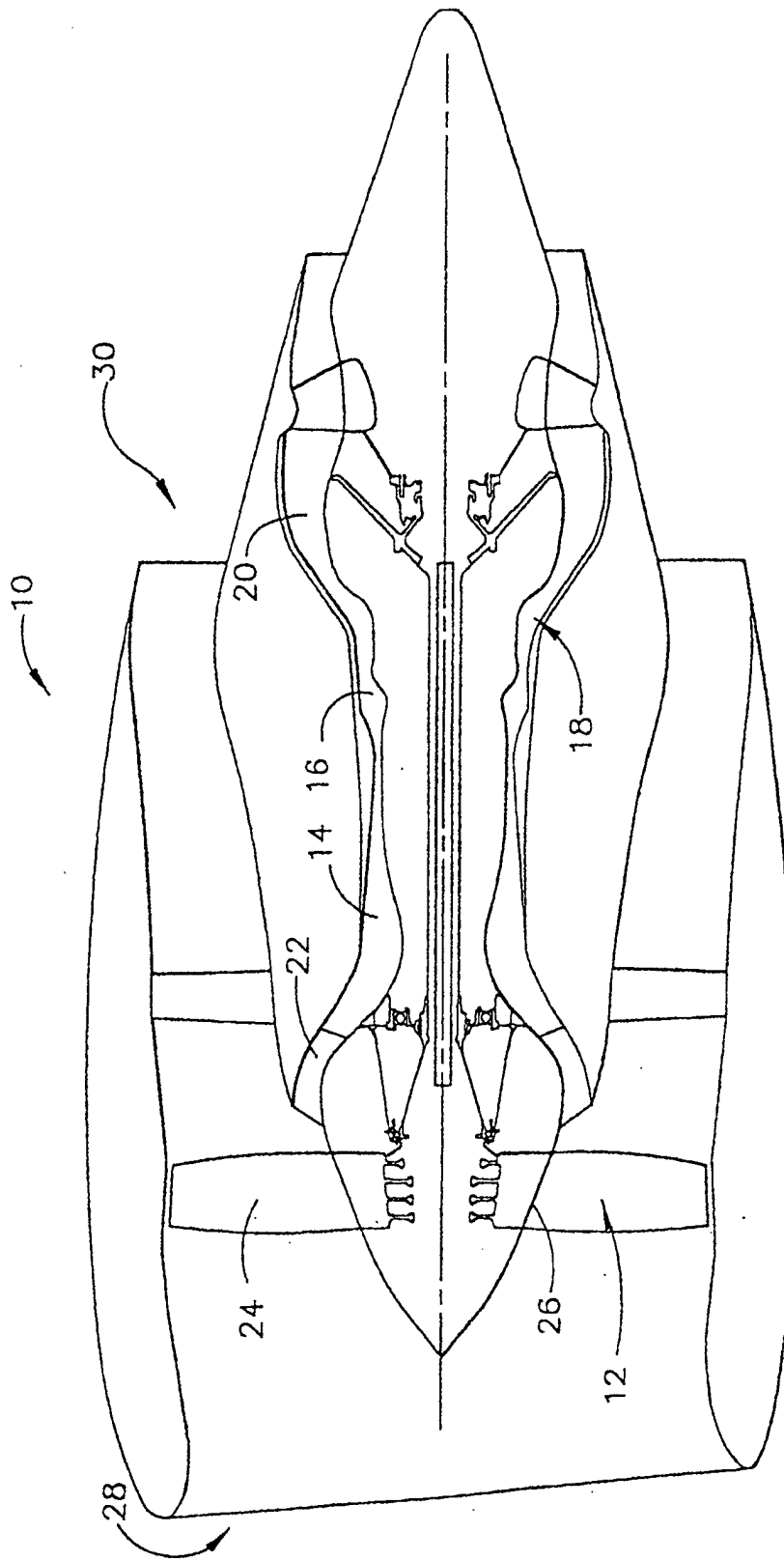


FIG. 1

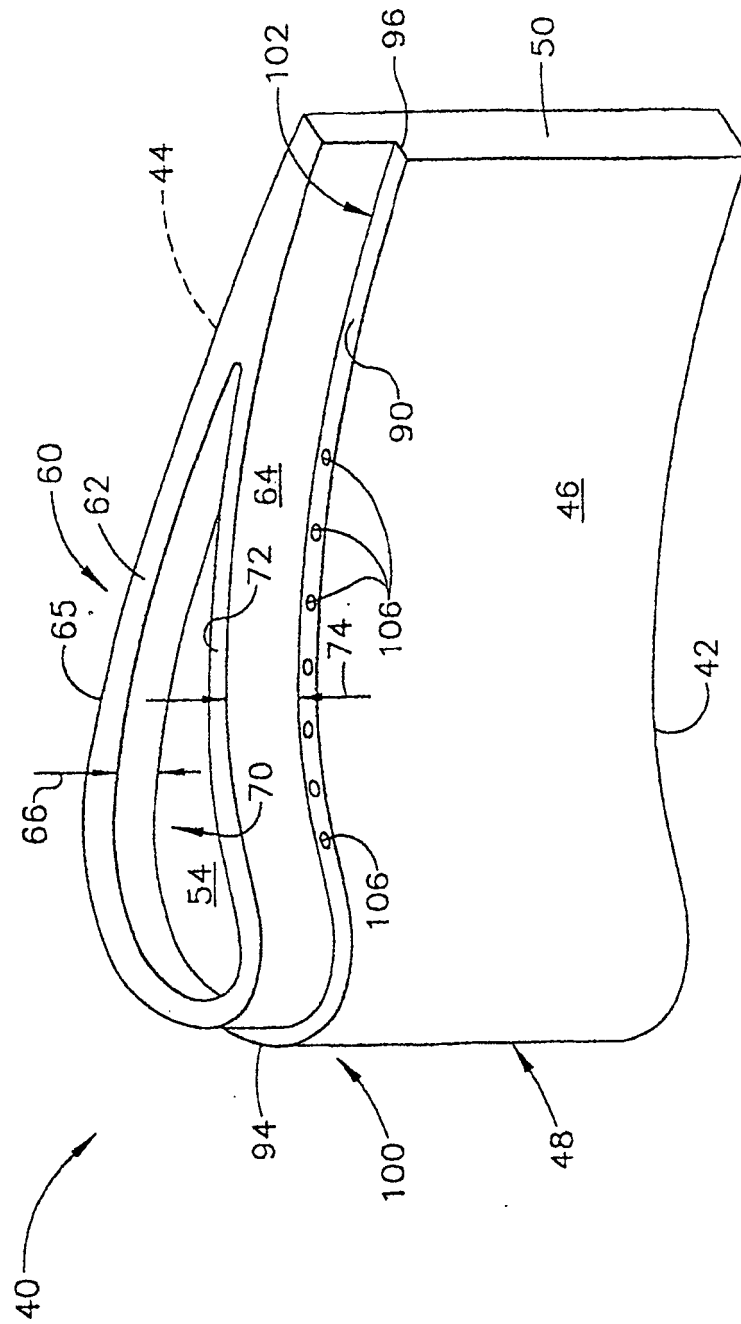


FIG. 2