



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 31 077 T2** 2007.05.16

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 108 856 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 31 077.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 311 264.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **15.12.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **20.06.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **04.10.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **16.05.2007**

(51) Int Cl.⁸: **F01D 5/18** (2006.01)
F01D 9/02 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

466154 18.12.1999 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:

Manning, Robert Francis, Newburyport, MA 01950, US; Tsai, Gene Chen-Fu, Lexington, MA 02420, US; Dibello, Anthony Domenic, Ipswich, MA 01938, US

(54) Bezeichnung: **Turbinenschaufel mit unterschiedlich geneigten Filmkühlungsöffnungen**

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] Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf Gasturbinentriebwerke und konkreter auf Turbinendüsen darin.

[0002] In einem Gasturbinentriebwerk wird Luft in einem Verdichter verdichtet und in einer Brennkammer mit Brennstoff gemischt und gezündet, um heiße Verbrennungsgase zu erzeugen. Die Gase werden durch eine Hochdruckturbinendüse der ersten Stufe abgegeben, die Statorleitschaufeln aufweist, die die Gase auf eine Reihe von Turbinenrotorlaufschaufeln lenken, die sich von einer Trägerscheibe radial nach außen erstrecken.

[0003] Die Turbinenlaufschaufeln entziehen den Verbrennungsgasen Energie und treiben den Verdichter an. Die Gase werden danach zu einer Niederdruckturbine geführt, die typischerweise mehrere Stufen von Düsenleitschaufeln und Rotorlaufschaufeln enthält, die den Gasen zum Erzeugen einer Abgabeenergie, wie z.B. zum Antreiben eines Bläasers in einer Mantelstromausführung eines Flugzeugtriebwerks, weitere Energie entziehen.

[0004] Weil die Hochdruckturbinendüse die Verbrennungsgase aus der Brennkammer zuerst aufnimmt, muss sie gekühlt werden, um sich einer angemessenen nutzbaren Lebensdauer zu erfreuen. Eine typische Turbinendüse weist eine Reihe von Leitschaufeln auf, die in Umfangsrichtung voneinander beabstandet sind und sich radial in der Spanne zwischen einem äußeren und einem inneren ringförmigen Band erstrecken. Die Leitschaufeln sind hohl, um einen Teil der Verdichteraustrittsluft in sich aufzunehmen, die zum Kühlen der einzelnen Leitschaufeln verwendet wird.

[0005] In jeder Leitschaufel sind durch entsprechende, sich radial erstreckende Rippen oder Unterteilungen, die die sich in Umfangsrichtung gegenüberliegende Druck- und Saugseite der Leitschaufel einstückig miteinander verbinden, innere Kühlkanäle ausgebildet. Die Innenoberflächen der Leitschaufeln können kurze Turbulatoren aufweisen, die die darüber strömende Kühlluft während des Betriebs verwirbeln, um die Wärmeübertragungskühlung von dieser zu steigern.

[0006] Um die Außenoberfläche der Leitschaufeln vor den darüber strömenden heißen Verbrennungsgasen zu schützen, werden verschiedene radiale Reihen von Filmkühllöchern durch die Druck- und Saugseite der Leitschaufel hindurch geschaffen. Weil die Vorderkante der Leitschaufel die heißen Verbrennungsgase zuerst aufnimmt, weist sie typischerweise mehrere Reihen von Filmkühlungslöchern in einer duschkopffartigen Anordnung auf. Die von den Filmkühlungslöchern abgegebene Luft erzeugt eine Grenzschicht von Kühlluft entlang der Außenoberfläche der Leitschaufel, die von Reihe zu Reihe wieder mit weiterer Kühlluft gespeist wird. Die Filmkühlluft schafft eine Barriere, die das Metall der Leitschaufel während des Betriebs vor den heißen Verbrennungsgasen schützt.

[0007] Ein typisches Schaufelblatt einer Leitschaufel erweitert sich hinter der Vorderkante in der Dicke typischerweise innerhalb des ersten Drittels der Länge in Sehnenrichtung bis zu einer Maximaldicke und verjüngt und verengt sich dahinter in der Dicke bis zu einer relativ dünnen Hinterkante. Weil die Leitschaufel in der Nähe der Hinterkante dünn wird, wird die Fähigkeit zum Kühlen des Hinterkantenbereichs der Leitschaufel schwieriger. Die Hinterkante ist folglich ein weiterer Bereich der Leitschaufel, der während des Betriebs einer relativ hohen Temperatur ausgesetzt ist.

[0008] Die Hinterkante wird typischerweise durch eine Reihe von Hinterkantenaustrittslöchern gekühlt, die eine interne Konvektionskühlung der Hinterkante bewirken. Und es können eine oder mehrere Reihen von zusätzlichen Filmkühlungslöchern entlang der Druckseitenwand vorhanden sein, um die Druckseitenwand zu schützen und einen Kühlfilm zu erzeugen, der sich für den zusätzlichen Schutz der Hinterkante stromabwärts zu derselben erstreckt.

[0009] Die Saugseitenwand kann weiterhin auch mehrere Reihen von Filmkühlungsaustrittslöchern zwischen der Vorderkante und dem Bereich der maximalen Dicke aufweisen, die Kühlluftfilme zum Schutz der Saugseitenwand erzeugen, die für den zusätzlichen Schutz der Hinterkante zu dieser strömen.

[0010] Weil die Verbrennungsgase mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten über die Druck- und Saugseitenwand der Leitschaufel strömen, sind die verschiedenen Bereiche der Leitschaufel von der Vorder- bis zu der Hinterkante einem unterschiedlichen Ausmaß der Erhitzung derselben ausgesetzt und benötigen dementsprechend ein unterschiedliches Ausmaß an Kühlung. Weil jegliche, der Brennkammer zum Kühlen der Düsenleitschaufeln entzogene Luft die Gesamteffizienz des Triebwerks verringert, sollte die Menge derselben minimiert werden, wobei eine angemessene nutzbare Lebensdauer der Düsenleitschaufeln erreicht wird.

[0011] Die unterschiedliche Heizwirkung der Verbrennungsgase und die unterschiedliche Kühlwirkung der Kühlluft lassen die Gestaltung einer Leitschaukel noch komplizierter werden, weil Temperaturgradienten erzeugt werden. Temperaturgradienten bewirken eine unterschiedliche Expansion und Kontraktion des Leitschaukelmaterials, die ihrerseits eine thermisch induzierte Spannung und Beanspruchung hervorruft, die die Low-Cycle-Fatigue-Lebensdauer der Leitschaukel während des Betriebs beeinträchtigt.

[0012] Unterteilungen oder Rippen erstrecken sich z.B. zwischen der Druck- und der Saugseite der Leitschaukel, um darin entsprechende Kühlkanäle zu definieren, und die Unterteilungen oder Rippen sind inhärent relativ kalt, weil sie innerhalb der Leitschaukel geschützt sind und durch die an ihnen entlang geleitete Luft gekühlt werden. Die Rippen sind im Vergleich zu der relativ heißen Druck- und Saugseitenwand der Leitschaukel relativ kalt, und zwischen ihnen wird ein erheblicher Temperaturgradient erzeugt. Darüber hinaus werden in einem unterschiedlichen Ausmaß entlang der Druck- und der Saugseite auch Temperaturgradienten zwischen der Vorder- und der Hinterkante der Leitschaukel erzeugt.

[0013] Dementsprechend ist der Stand der Technik dicht besetzt mit vielfältigen Anordnungen zum Kühlen von Turbinendüsenleitschaukeln mit unterschiedlicher Komplexität und unterschiedlichen Graden an Wirksamkeit und mit unterschiedlichen nutzbaren Lebensdauern. Ein solches Beispiel ist in US-A-4 616 976 offenbart.

[0014] General Electric Company hat z.B. ein Mantelstrom-Flugzeuggasturbinentriebwerk hergestellt und verkauft, das als das Modell CF34 bezeichnet wird, das sich Jahrzehnten des kommerziellen Erfolgs und der kommerziellen Nutzung erfreut hat. Die Hochdruckturbinendüse dieses Triebwerks weist filmgekühlte Leitschaukeln auf, die eine erhebliche nutzbare Lebensdauer haben. Jahrzehnte der kommerziellen Nutzung dieses Triebwerks haben tausende von Stunden Praxiserfahrung zum Auswerten der Dauerhaftigkeit und der Lebensdauer der Turbinendüsen darin geliefert.

[0015] Eine solche Praxiserfahrung in Verbindung mit einer ausgedehnten Analyse dieser Düsenausführung kann nun verwendet werden, um die Dauerhaftigkeit und Lebensdauer der Turbinendüse zu verbessern, ohne die Menge der dafür benötigten Kühlluft zu vergrößern.

[0016] Dementsprechend ist es erwünscht, eine verbesserte Turbinendüse auf der Grundlage umfassender Praxiserfahrung und Analyse zu schaffen, die eine verbesserte Dauerhaftigkeit aufweist, ohne zusätzliche Kühlluftströmung zu benötigen.

[0017] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird eine Turbinendüse geschaffen, die aufweist: mehrere Leitschaukeln, die an gegenüberliegenden Enden einstückig mit einem inneren und einem äußeren Band verbunden sind, wobei jede der Leitschaukeln gegenüberliegend eine Druck- und eine Saugseitenwand aufweist, die sich in der Spanne in Längsrichtung zwischen den Bändern und in Sehnenrichtung zwischen einer Vorder- und einer Hinterkante erstrecken; wobei die Seitenwände zwischen der Vorder- und der Hinterkante voneinander beabstandet sind und weiterhin eine erste Rippe, die von der Vorderkante beabstandet und einstückig mit den Seitenwänden verbunden ist, um einen ersten Kanal zur Führung von Kühlluft zu bilden, und eine zweite Rippe aufweisen, die von der ersten Rippe beabstandet und einstückig mit den Seitenwänden verbunden ist, um einen zweiten Kanal zur Führung von Kühlluft zu bilden, und wobei die zweite Rippe von der Hinterkante beabstandet ist, um einen dritten Kanal zur Führung von Kühlluft zu bilden; und wobei sich mehrere Reihen von Filmkühlungsflankenlöchern in Strömungsbeziehung mit dem zweiten und dem dritten Kanal durch die Druckseitenwand hindurch erstrecken und entlang der Spanne mit unterschiedlichen Neigungen geneigt angeordnet sind.

[0018] Die zweite Rippe kann geneigt sein, und eine erste der Flankenreihen kann eine dazu im Wesentlichen gleiche Neigung aufweisen und mündet in den zweiten Kanal.

[0019] Eine zweite der Flankenreihen kann eine kleinere Neigung als die Neigung der ersten Reihe aufweisen und in den dritten Kanal münden.

[0020] Eine dritte der Flankenreihen kann eine kleinere Neigung als die Neigung der zweiten Reihe aufweisen und hinter der zweiten Flankenreihe in den dritten Kanal münden.

[0021] Die Neigungen der ersten und dritten Reihe können einen Neigungsmittelwert bilden, und die Neigung der zweiten Reihe kann im Wesentlichen gleich dem Neigungsmittelwert sein.

[0022] Die Filmkühlungslöcher in der ersten, zweiten und dritten Flankenreihe können im Wesentlichen glei-

che Durchmesser aufweisen.

[0023] Die Erfindung wird nun im Wege eines Beispiels unter Bezug auf die Zeichnungen genauer beschrieben:

[0024] [Fig. 1](#) zeigt eine isometrische Ansicht eines bogenförmigen Segmentes einer ringförmigen Hochdruckturbinendüse eines Gasturbinentriebwerks gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0025] [Fig. 2](#) zeigt eine radiale Schnittansicht durch eine der in [Fig. 1](#) dargestellten Düsenleitschaufeln, wobei die Ansicht entlang der Linie 2-2 aufgenommen ist.

[0026] [Fig. 3](#) zeigt eine axiale Aufrissansicht durch die in [Fig. 1](#) dargestellte Düsenleitschaufel, wobei die Ansicht im Wesentlichen entlang der gekrümmten Linie 3-3 aufgenommen ist.

[0027] In [Fig. 1](#) ist ein Abschnitt einer Hochdruckturbinendüse **14** der ersten Stufe eines Mantelstromgasturbinentriebwerks dargestellt, das zum Antrieb eines Flugzeugs beim Flug eingerichtet ist. Das Triebwerk enthält in serieller Strömungsbeziehung einen Bläser, einen mehrstufigen Verdichter und eine (nicht gezeigte) Brennkammer, die Brennstoff mit verdichteter Luft aus dem Verdichter mischt, um heiße Verbrennungsgase **16** zu erzeugen, die durch die Düse abgegeben werden.

[0028] Stromabwärts von der Düse ist eine Reihe von (nicht gezeigten) Turbinenrotorlaufschaufeln der ersten Stufe angeordnet, denen ihrerseits eine (nicht gezeigte) Niederdruckturbine folgt, die während des Betriebs den Bläser antreibt.

[0029] Die in [Fig. 1](#) teilweise gezeigte Turbinendüse ist um eine axiale Zentralachse herum achsensymmetrisch und weist mehrere Düsenleitschaufeln **18** auf, die an gegenüberliegenden radialen Enden in einem Stück mit einem zugehörigen radial inneren Band **20** und einem zugehörigen radial äußeren Band **22** verbunden sind. Die Bänder sind teilweise gezeigt und typischerweise in bogenförmigen Segmenten ausgebildet, die pro Segment zwei oder mehr Leitschaufeln aufweisen. Um die Leitschaufeln während des Betriebs gegen die heißen Verbrennungsgase **16** zu kühlen, wird in geeigneter Weise von dem Austrittsende des Verdichters Kühlluft **24** abgezweigt und typischerweise durch das äußere Band **22** hindurch den einzelnen Leitschaufeln zugeführt.

[0030] Wie in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigt weist jede Leitschaufel **18** eine im Wesentlichen konkave Druckseitenwand **26** und eine in Umfangsrichtung gegenüberliegende, im Wesentlichen konvexe Saugseitenwand **28** auf. Wie in [Fig. 3](#) gezeigt erstrecken sich die zwei Seitenwände in Längsrichtung in der Spanne entlang einer radialen Achse der Düse zwischen den zwei Bändern **20**, **22**, wobei ein Fuß **30** mit dem ersten und eine Spitze **32** mit dem zweiten verbunden ist. Die zwei Seitenwände erstrecken sich auch in Sehnen- oder Axialrichtung zwischen einer Vorderkante **34** und einer Hinterkante **36**, die einander gegenüberliegen.

[0031] Wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt sind die zwei Leitschaufelseitenwände zwischen der Vorder- und Hinterkante in Umfangsrichtung voneinander beabstandet, und sie weisen innere Rippen oder Unterteilungen auf, die eistückig mit den Wänden, typischerweise in einem gemeinsamen Gussstück ausgebildet sind. Eine erste Rippe **38** ist hinter der Vorderkante beabstandet angeordnet, und eine zweite Rippe **40** ist hinter der ersten Rippe und vor der Hinterkante beabstandet angeordnet.

[0032] Die erste Rippe definiert mit dem Vorderkantenbereich der Leitschaufel einen ersten oder Vorderkantenkanal **42** zur Führung der Kühlluft **24** innerhalb der Leitschaufel. Die zweite Rippe **40** ist von der ersten Rippe mit Abstand angeordnet, um einen zweiten oder in Sehnenrichtung mittleren Kanal **44** zu definieren, der auch einen Teil der Kühlluft führt. Die zweite Rippe **40** ist auch von der Hinterkante beabstandet, um dazwischen einen dritten oder Hinterkantenkanal **46** zum Führen noch eines weiteren Teils der Kühlluft während des Betriebs zu definieren. Die Kühlluft kann den drei Kanälen durch entsprechende Einlässe in dem äußeren Band **22** in geeigneter Weise zugeführt werden, wie es in den [Fig. 1](#) und [Fig. 3](#) gezeigt ist.

[0033] Wie zu Anfang in [Fig. 2](#) gezeigt weist jede Leitschaufel **18** mehrere Reihen von zugehörigen, mit **1-13** bezeichneten Filmkühlungslöchern auf, die sich in einer Strömungsbeziehung mit einem jeweiligen der drei Kanäle **42**, **44**, **46** durch die Druck- bzw. Saugseitenwand erstrecken, um gemäß der vorliegenden Erfindung eine verbesserte Filmkühlung zu bewirken, um die Leitschaufeltemperatur und die thermischen Gradienten zum Zwecke einer wesentlichen Erhöhung der Dauerhaftigkeit und Lebensdauer der Turbinendüsen zu verringern. Die verschiedenen Filmkühlungslöcher erstrecken sich im Wesentlichen in geraden Linien entlang der Span-

nen der Leitschaufeln in der radialen Richtung.

[0034] Abgesehen von dem verbesserten Muster und der verbesserten Anordnung der Filmlöcher **1–13**, die in den [Fig. 1–Fig. 3](#) dargestellt sind, ist die darin dargestellte Turbinendüse konventionell und repräsentativ für die Hochdruckturbinendüse, die in dem oben bezeichneten Triebwerk CF34 zu finden ist. Wie oben angemerkt hat die umfassende Praxiserfahrung mit diesem Triebwerk eine lokalisierte thermische Beanspruchung in der Turbinendüse infolge des Musters und der Anordnung der darin vorhandenen Filmkühlungslöcher offenbart. Aus dieser Praxiserfahrung und einer umfassenden Analyse derselben ist ein verbessertes Muster und eine verbesserte Anordnung der Filmlöcher als eine wesentliche Verbesserung gegenüber der vorhandenen Düsenausführung entdeckt worden, um die Dauerhaftigkeit und die Lebensdauer derselben auf etwa das Dreifache zu steigern.

[0035] Wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellt erstreckt sich die erste Unterteilungsrippe **38** von dem inneren Band **20** radial nach außen und endet kurz vor dem Lufteinlass durch das äußere Band **22**. Die erste Rippe **38** ist ohne eine wesentliche Schräge oder Neigung radial ausgerichtet.

[0036] Die zweite Unterteilungsrippe **40** erstreckt sich von den Lufteinlässen an dem äußeren Band **22** radial nach innen und endet kurz vor dem inneren Band **20**. Die zweite Rippe **40** ist bezogen auf die radiale Achse unter einem Neigungswinkel A geneigt, wobei das innere Ende der Rippe weiter hinten als das äußere Ende der Rippe angeordnet ist. In dieser Anordnung trennt die erste Rippe **38** den ersten und zweiten Luftkanal **42, 44**, die die Kühlluft **24** aus einem gemeinsamen Einlass in dem äußeren Band aufnehmen.

[0037] Das innere des ersten Kanals **42** ist vorzugsweise glatt, um die Kühlluft ohne Hindernis durch ihn hindurch zu leiten. Das innere des zweiten Kanals **44** ist vorzugsweise auch glatt mit Ausnahme einer Reihe von kurzen, linienförmigen Turbulatoren **48**, wie sie in [Fig. 2](#) gezeigt sind, die zum Verbessern der Wärmeübertragungskühlung in diesem Bereich der Druckseitenwand **26** die Kühlluft verwirbeln, wenn sie radial nach innen strömt.

[0038] Der dritte Kanal **46** weist ein Feld von in Längs- und in Sehnenrichtung voneinander beabstandeten Stiften **50** auf, die sich in einem Stück zwischen der Druck- und der Saugseitenwand **26, 28**, die einander gegenüberliegen, erstrecken, um die Kühleffizienz der Luft entlang des sich verjüngenden Hinterkantenbereiches der Leitschaufel, der mit Kühlluft durch den dritten Kanal **46** gespeist wird, zu steigern.

[0039] Die Rippen **38, 40** und die Kanäle **42–46** sind die gleichen wie diejenigen, die in der vorhandenen CF34-Düse zu finden sind.

[0040] Die Filmlöcher in jeder Leitschaufel **18** sind entsprechend den verschiedenen Kühlanforderungen der flügelartigen Druck- und Saugseitenwand zwischen der Vorder- und der Hinterkante in verschiedenen Gruppen angeordnet. Eine erste Gruppe umfasst vier Reihen von Filmkühlflüssigkeitsaustrittslöchern **1, 2, 3, 12**, die sich in Strömungsbeziehung mit einem jeweiligen von dem ersten und zweiten Kanal **42, 44** durch die Saugseitenwand **28** hindurch erstrecken. Wie in den [Fig. 1](#) und [Fig. 3](#) gezeigt erstrecken sich die vier Austrittslochreihen entlang der Spanne der Leitschaufel entlang der ersten Rippe **38** in geraden Linien.

[0041] Die vier in [Fig. 2](#) dargestellten Austrittslochreihen sind entlang der Saugseitenwand in Sehnenrichtung von kurz hinter der Vorderkante bis zu der maximalen Dicke der Leitschaufel beabstandet angeordnet. Eine einzige Austrittslochreihe **1** ist kurz hinter der ersten Rippe **38** zum Aufnehmen von Kühlluft in Strömungsbeziehung mit dem zweiten Kanal **44** verbunden. Und drei Reihen **2, 3, 12** sind stromaufwärts von oder vor der ersten Rippe **38** zum Aufnehmen von Kühlluft aus dem ersten Kanal **42** in Strömungsbeziehung mit diesem Kanal verbunden.

[0042] Wie in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigt weist jede Leitschaufel auch vier Reihen von Filmkühlungslöchern auf, die in der Art eines Duschkopfes angeordnet sind und sich an der Vorderkante **34** in geraden Linien entlang der Spanne der Leitschaufel erstrecken. Die vier Duschkopf reihen **4, 5, 6, 7** sind an der Vorderkante entlang sowohl der Druck- als auch der Saugseitenwand um die Vorderkante herum seitlich voneinander beabstandet.

[0043] Wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt umfassen die Filmlöcher eine weitere Gruppe von vier Reihen von Filmkühlungsflankenlöchern **8, 9, 10, 13**, die sich in Strömungsbeziehung mit einem jeweiligen von dem ersten, zweiten und dritten Kanal **42, 44, 46** durch die Druckseitenwand **26** hindurch erstrecken.

[0044] Die in Sehnenrichtung mittlere Reihe der Flankenlöcher **8** ist in Strömungsbeziehung mit dem zweiten Kanal **44** verbunden, um Luft aus diesem aufzunehmen. Die zwei hinteren Reihen der Flankenlöcher **9**, **10** sind in Strömungsbeziehung mit dem dritten Kanal **46** verbunden, um Kühlluft aus diesem aufzunehmen. Und die vordere Reihe der Flankenlöcher **13** ist in Strömungsbeziehung mit dem ersten Kanal **42** verbunden, um Kühlluft aus diesem aufzunehmen.

[0045] Wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt weist jede Leitschaufel auch eine Reihe von Hinterkantenlöchern **11** auf, die sich entlang der Hinterkante **36** erstrecken und in Strömungsbeziehung mit dem dritten Kanal **46** verbunden sind, um Kühlluft aus diesem aufzunehmen. Die Hinterkantenlöcher **11** erstrecken sich zwischen der Druck- und der Saugseite, die einander gegenüberliegen, in Axialrichtung und weisen Auslässe auf, die vor der Hinterkante **36** gering beabstandet angeordnet sind, um an dieser entlang einen letzten Film von Kühlluft abzugeben.

[0046] Wie oben angemerkt sind die Leitschaufeln infolge der Flügelform der Leitschaufeln Gegenstand der Erhitzung durch die Verbrennungsgase, die um den Umfang der Leitschaufel herum unterschiedlich wirkt. Dementsprechend müssen die Filmkühlungslöcher genau eingerichtet und positioniert sein, um während des Betriebs unerwünschte Temperaturgradienten zu reduzieren und die Temperatur von lokalen heißen Stellen zu minimieren, um die Dauerhaftigkeit der Leitschaufeln während des Betriebs zu erhöhen.

[0047] Insbesondere sind die drei Reihen von Flankenlöchern **8**, **9**, **10** vorzugsweise entlang der Spanne jeder Leitschaufel mit unterschiedlichen Steigungen oder Neigungswinkeln B, C geneigt. Die verbesserte Anordnung der drei Reihen von Flankenlöchern **8**, **9**, **10** verringert den axialen Temperaturgradienten entlang der Druckseitenwand zu der Hinterkante, um die Dauerhaftigkeit zu erhöhen.

[0048] Wie in [Fig. 3](#) gezeigt ist die zweite Rippe **40** unter einem Neigungswinkel A geneigt, und die in Sehnenrichtung mittlere Reihe von Flankenlöchern **8** mündet gleich oberhalb der zweiten Rippe in den zweiten Kanal **44** und weist eine Neigung B auf, die vorzugsweise gleich der Neigung A der zweiten Rippe ist, um entlang der zweiten Rippe die Kühlluft in einem Film über der Druckseitenwand abzugeben.

[0049] Die Flankenlöcher **8** wirken mit der stromabwärtigen Reihe von Flankenlöchern **9** zusammen, die in Radialrichtung mit einer Neigung C ausgerichtet sind, die kleiner als die Neigung B der stromaufwärtigen Reihe von Flankenlöchern **8** ist und auch kleiner als die Neigung A der zweiten Rippe **40** ist. In [Fig. 3](#) sind die verschiedenen Reihen von Filmkühlungslöchern radial in im Wesentlichen geraden Linien ausgerichtet, die gestrichelt eingezeichnet sind.

[0050] Die letzte stromabwärtige Reihe der Flankenlöcher **10** weist eine Neigung auf, die kleiner als die Neigung C der dazwischen liegenden Reihe der Flankenlöcher **9** ist, und mündet direkt hinter den dazwischen liegenden Flankenlöchern **9** in den dritten Kanal **46**. Die Neigung der letzten Flankenreihe **10** ist vorzugsweise Null, was eine Längsausrichtung derselben an einer radialen Achse der Düse bedeutet.

[0051] Weil die in [Fig. 3](#) dargestellte kalte Rippe **40** bezogen auf die radiale Achse sowie bezogen auf die im Wesentlichen radial ausgerichtete Hinterkante **36** geneigt ist, ist es wünschenswert, die relative Ausrichtung oder die Neigungen der drei Reihen von Flankenlöchern **8**, **9**, **10** zum besseren Verteilen der Filmkühlluft zu variieren, um die Temperaturgradienten axial entlang der Druckseitenflanke der Leitschaufel zu reduzieren, die verglichen mit der relativ kalten zweiten Rippe **40** relativ heiß ist. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Neigung C der dazwischen liegenden Reihe von Flankenlöchern **9** vorzugsweise der Mittelwert aus den Neigungen der nächsten stromaufwärtigen Reihe von Flankenlöchern **8** und der nächsten stromabwärtigen Reihe von Flankenlöchern **10**.

[0052] Im Hinblick auf die Neigung der in Sehnenrichtung mittleren Reihe der Flankenlöcher **8** ist die vierte Reihe von Flankenlöchern **13** stromaufwärts davon in Strömungsbeziehung mit dem ersten Kanal **42** entlang der ersten Rippe **38** angeordnet. Die stromaufwärtige Reihe der Flankenlöcher **13** ist vorzugsweise im Wesentlichen zu der ersten Rippe **38** parallel und weist im Wesentlichen eine Neigung von Null auf.

[0053] Das Muster und die Anordnung der **13** Reihen von Filmkühlungslöchern **1–13**, die in den Figuren dargestellt sind, können im Vergleich zu der früheren CF34-Düsenausführung bewertet werden, die über Jahre der kommerziellen Nutzung die thermische Beanspruchung in einer großen Anzahl von Triebwerken zeigt, die während dieser Zeit verkauft und betrieben worden sind.

[0054] Die folgende Tabelle listet weitere Unterschiede zwischen der früheren CF34-Ausführung und der ver-

besserten, aufgewerteten Ausführung gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung auf. In der Tabelle sind für jede Filmlochreihe die Anzahl der Löcher pro Reihe und ihr Durchmesser in Millizoll (mils) und Millimeter angegeben.

| <u>Filmloch-</u> <u>reihe</u> | <u>Frühere CF34-Ausführung</u> | <u>Aufgewerte</u> <u>Leitschaufel 18</u> |
|----------------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 7 à 20 mils (0,51 mm) | 10 à 20 mils |
| 2 | 14 à 23 mils (0,58 mm) | 14 à 23 mils |
| 3 | 14 à 23 mils | 14 à 23 mils |
| 12 | keine | 15 à 18 mils (0,46 mm) |
| 4 | 13 à 20 mils | 16 à 18 mils |
| 5 | 14 à 20 mils | 15 à 18 mils |
| 6 | 14 à 20 mils | 15 à 18 mils |
| 7 | 16 à 20 mils | 16 à 18 mils |
| 13 | keine | 16 à 18 mils |
| 8 | 11 à 31,5 mils (0,8 mm) | 16 à 18 mils |
| 9 | 10 à 20 mils | 12 à 18 mils |
| 10 | 11 à 17 mils (0,43 mm) | 11 à 18 mils |
| 11 | Schlitzlöcher | Keine Änderung |

[0055] Wie in der Tabelle aufgelistet ist zwischen der Vorderkante und den drei stromabwärtigen Reihen von Austrittslöchern **1–3** zur besseren Kühlung und zum Verringern der Temperaturgradienten an der Leitschaufel-saugseite hinter der Vorderkante die vierte Reihe von Austrittslöchern **12** hinzugefügt worden.

[0056] Die Austrittslöchern **12** der ersten stromaufwärtigen Reihe sind im Durchmesser kleiner als die größeren Austrittslöcher **1–3** stromabwärts davon. Die Größe und die Anzahl der Austrittslöcher **2, 3** sind konventionell, wobei die Reihe der Austrittslöcher **3** nach vorne zu der Vorderkante hin verschoben worden ist, um besser mit der hinzugefügten Reihe von Austrittslöchern **12** zusammenzuwirken. Die hintere Reihe von Austrittslöchern **1** ist im Hinblick auf die verbesserte Kühlung, die von den drei stromaufwärtigen Reihen von Austrittslöchern bewirkt wird, von der ersten Rippe leicht nach hinten verschoben worden.

[0057] Die Anzahl der Austrittslöcher **1** wird nahe dem Leitschaufelfuß leicht erhöht, um die Filmschicht auszuweiten. Diese Ausweitung der Reihe der Austrittslöcher **1** zu dem Fuß der Leitschaufel hin bewirkt eine zusätzliche Kühlung, um die Lebensdauer der Leitschaufelhinterkante zu verlängern. Durch eine Verbesserung der Dauerhaftigkeit der Hinterkante wird auch eine Verschlechterung der Leistungsfähigkeit des Triebwerks verringert.

[0058] Der Durchmesser der Duschkopflöcher **4–7** ist verkleinert worden, um die Menge der aus denselben abgegebenen Kühlluft zu verringern, wobei die Duschkopflöcher im Wesentlichen gleiche Durchmesser wie die vier Reihen der Flankenlöcher **8–10, 13** aufweisen. Die Duschkopflöcher **4–7** weisen einen radial nach innen gerichteten, in [Fig. 3](#) gezeigten Neigungswinkel D auf, der etwa 20° beträgt, um wesentlich steiler als in der früheren Ausführung mit Winkeln von etwa 45° zu sein.

[0059] Die Abwandlung der Duschkopflöcher **4–7** bewirkt im Vergleich zu der früheren Ausführung gleichwertige Metalltemperaturen, wobei die Kühlluftströmung durch sie hindurch verringert wird. Der verringerte Durchmesser der Duschkopflöcher und der steilere Oberflächenwinkel derselben steigert die Kühlungseffizienz, so

dass dafür weniger Kühlluft benötigt wird, wobei die Kühlluft zu den anderen Filmlöchern geleitet wird. Die anderen Löcher sind entsprechend bemessen, so dass die Gesamtmenge der für alle Filmkühlungsreihen in jeder Leitschaukel benötigten Kühlluft im Wesentlichen die gleiche wie bei der früheren Ausführung ist.

[0060] Wie in der Tabelle gezeigt sind die drei Reihen von Flankenlöchern **8, 9, 10** im Durchmesser erheblich verkleinert worden, um die Kühlluftströmung durch sie hindurch zu reduzieren, was mit den bevorzugten Neigungen dieser drei Reihen zusammenwirkt. Und die vordere Reihe von Flankenlöchern **13** ist hinzugefügt worden, um mit den drei stromabwärtigen Flankenreihen zusammenzuwirken, um den Temperaturgradienten entlang der Druckseitenwand des Schaufelblatts zu verringern.

[0061] Die Filmkühlungsflankenlöcher **8, 9, 10** sind im Vergleich zu der früheren Ausführung im Durchmesser erheblich verkleinert worden und sind nun im Durchmesser im Wesentlichen gleich und sind im Durchmesser auch gleich den Flankenlöchern **13** der hinzugefügten Reihe.

[0062] Die vier Reihen von Flankenlöchern **8–10, 13** wirken nun mit der Druckseitenwand **26** und den relativ kalten Rippen **38, 40** und den Stiften **50** zusammen, um den Temperaturgradienten entlang der Druckseitenwand erheblich zu verringern, um die Dauerhaftigkeit der Leitschaukel zu erhöhen. Die vorderen und hinteren Reihen der Flankenlöcher **13, 10** sind in der Leitschaukel im Wesentlichen radial ausgerichtet, wohingegen die dazwischen liegenden Reihen der Flankenlöcher **8, 9** geneigt sind, um mit der geneigten zweiten Rippe **40** zusammenzuwirken.

[0063] Die in Sehnenrichtung mittlere Reihe von Flankenlöchern **8** passt in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel zu der Neigung der zweiten Rippe, wobei die Neigung der nächsten stromabwärtigen Reihe von Flankenlöchern **9** einen Mittelwert aus der stromaufwärtigen und der stromabwärtigen Reihe von Flankenlöchern aufweist.

[0064] Wenn es erwünscht ist, können eine oder mehrere weitere Reihen von Filmkühlungsflankenlöchern hinzugefügt werden, und sie würden vorzugsweise dazwischen liegende Neigungen aufweisen. Bei den drei Reihen **8, 9, 10** ist die Neigung der mittleren Reihe einfach die durchschnittliche Neigung der zwei benachbarten Reihen. Und bei (nicht gezeigten) vier Reihen von Flankenlöchern würde sich die Neigung der zweiten Zwischenreihe von der ersten Reihe um ein Drittel der Summe der Neigungen der zwei äußeren Reihen unterscheiden, wobei sich die dritte Reihe in der Neigung auch von der vierten Reihe um ein Drittel des Wertes der Neigungssumme unterscheidet.

[0065] Die verbesserte Düsenleitschaukel **18** erfreut sich einer erhöhten Dauerhaftigkeit und verlängerten Lebensdauer durch die sorgfältige Kombination von Filmkühlungslöchern, die durch umfassende Praxiserfahrung und Analyse möglich gemacht worden ist.

Patentansprüche

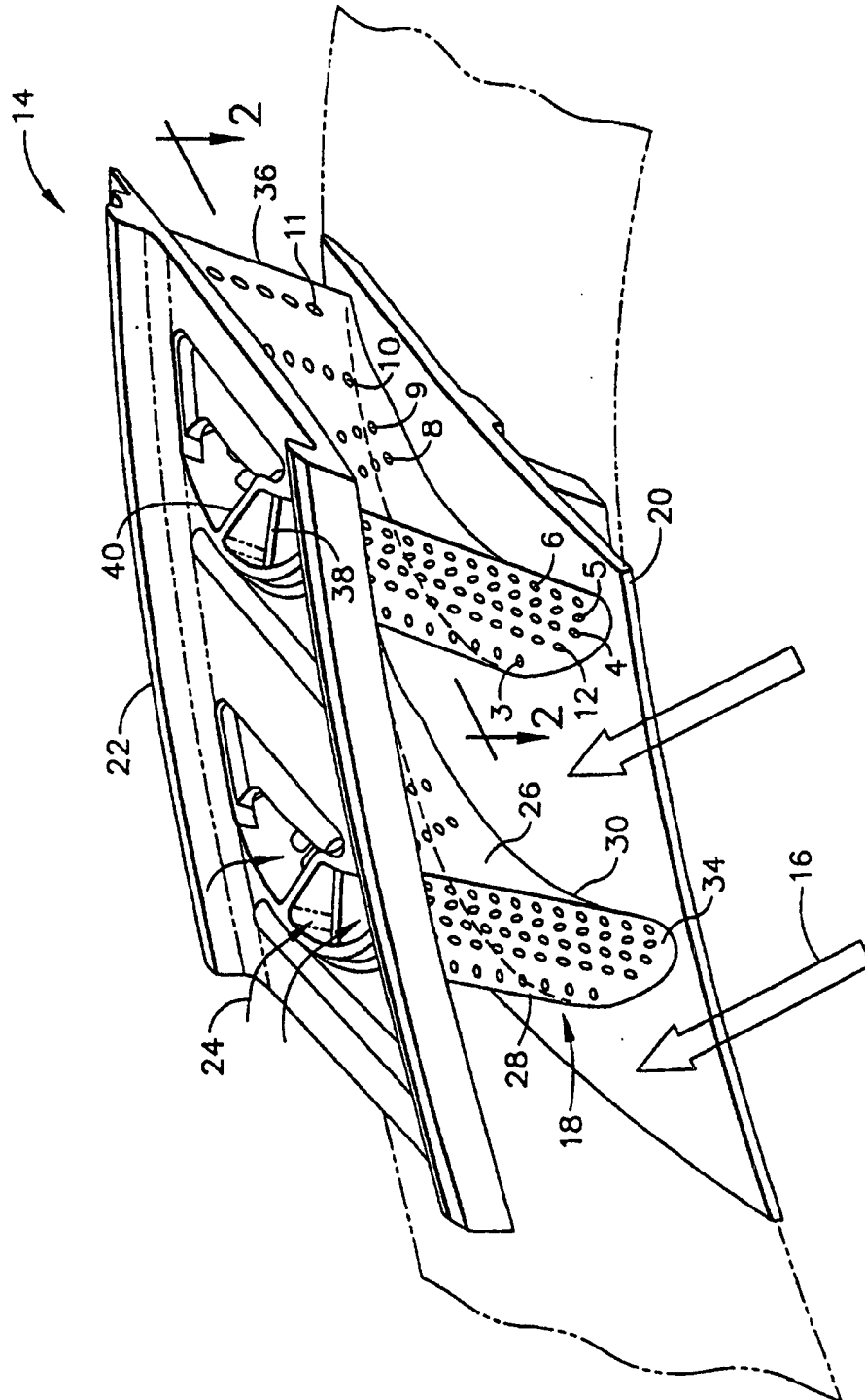
1. Turbinendüse (**14**), aufweisend:

mehrere Leitschaukeln (**18**), die in einem Stück an gegenüberliegenden Enden mit einem inneren und einem äußeren Band (**20, 22**) verbunden sind;
wobei jede von den Leitschaukeln (**18**) gegenüberliegend eine Druck- und eine Saugseitenwand (**26, 28**) enthält, die sich in der Spanne in Längsrichtung zwischen den Bändern und in Sehnenrichtung zwischen einer Vorder- und einer Hinterkante (**34, 36**) erstrecken; und
wobei die Seitenwände (**26, 28**) zwischen der Vorder- und der Hinterkante (**34, 36**) in Abstand angeordnet sind, und ferner eine erste Rippe (**38**), die von der Vorderkante (**34**) in Abstand angeordnet und in einem Stück mit den Seitenwänden (**26, 28**) verbunden ist, um einen ersten Kanal (**42**) zur Führung von Kühlluft (**24**) zu definieren, und eine zweite Rippe (**40**) enthalten, die von der ersten Rippe (**38**) in Abstand angeordnet und in einem Stück mit den Seitenwänden (**26, 28**) verbunden ist, um einen zweiten Kanal (**44**) zur Führung von Kühlluft zu definieren, und die zweite Rippe (**40**) von der Hinterkante in Abstand angeordnet ist, um einen dritten Kanal (**46**) zur Führung von Kühlluft zu definieren, gekennzeichnet durch:
mehrere Reihen von Filmkühlungsflankenlöchern (**8–10**), die sich durch die Druckseitenwand (**26**) in Strömungsverbindung mit dem zweiten und dritten Kanal (**44, 46**) erstrecken und entlang der Spanne in unterschiedlichen Neigungen angeordnet sind.

2. Düse nach Anspruch 1, wobei die zweite Rippe (**40**) geneigt ist, und eine erste von den Flankenreihen (**8**) eine im Wesentlichen gleiche Neigung dazu aufweist und in den zweiten Kanal (**44**) mündet.

3. Düse nach Anspruch 2, wobei eine zweite von den Flankenreihen (**9**) eine kleinere Neigung als die Neigung der ersten Reihe aufweist und in den dritten Kanal (**46**) mündet.
4. Düse nach Anspruch 3, wobei eine dritte von den Flankenreihen (**10**) eine kleinere Neigung als die Neigung der zweiten Reihe aufweist und in den dritten Kanal (**46**) hinter der zweiten Flankenreihe (**9**) mündet.
5. Düse nach Anspruch 4, wobei die Neigungen der ersten und dritten Reihe einen Neigungsmittelwert bilden, und die Neigung der zweiten Reihe im Wesentlichen gleich dem Neigungsmittelwert ist.
6. Düse nach Anspruch 4, wobei die Filmkühlungslöcher in der ersten, zweiten und dritten Flankenreihe (**8**, **9**, **10**) im Wesentlichen gleiche Durchmesser haben.
7. Düse nach Anspruch 4, wobei jede von den Leitschaufeln (**18**) ferner eine Reihe von Filmkühlungsflankenlöchern (**13**) aufweist, die sich durch die Druckseitenwand (**26**) in Strömungsverbindung mit dem ersten Kanal (**42**) und entlang der ersten Rippe (**38**) erstrecken.
8. Düse nach Anspruch 7, wobei die Flankenreihe der ersten Rippe im Wesentlichen parallel zu der ersten Rippe (**38**) ist, und deren Löcher im Durchmesser im Wesentlichen gleich zu den Löchern der ersten, zweiten und dritten Flankenreihe (**8**, **9**, **10**) sind.
9. Düse nach Anspruch 4, wobei jede von den Leitschaufeln (**18**) ferner mehrere Reihen (**4**, **5**, **6**, **7**) von Filmkühlungslöchern aufweist, die in einem Duschkopf angeordnet sind, der sich in der Spanne entlang der Vorderkante erstreckt.
10. Düse nach Anspruch 9, wobei die Duschkopflöcher vier Reihen umfassen, die um die Vorderkante (**34**) herum sowohl entlang der Druck- als auch der Saugseitenwand (**24**, **26**) in Abstand angeordnet sind.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen



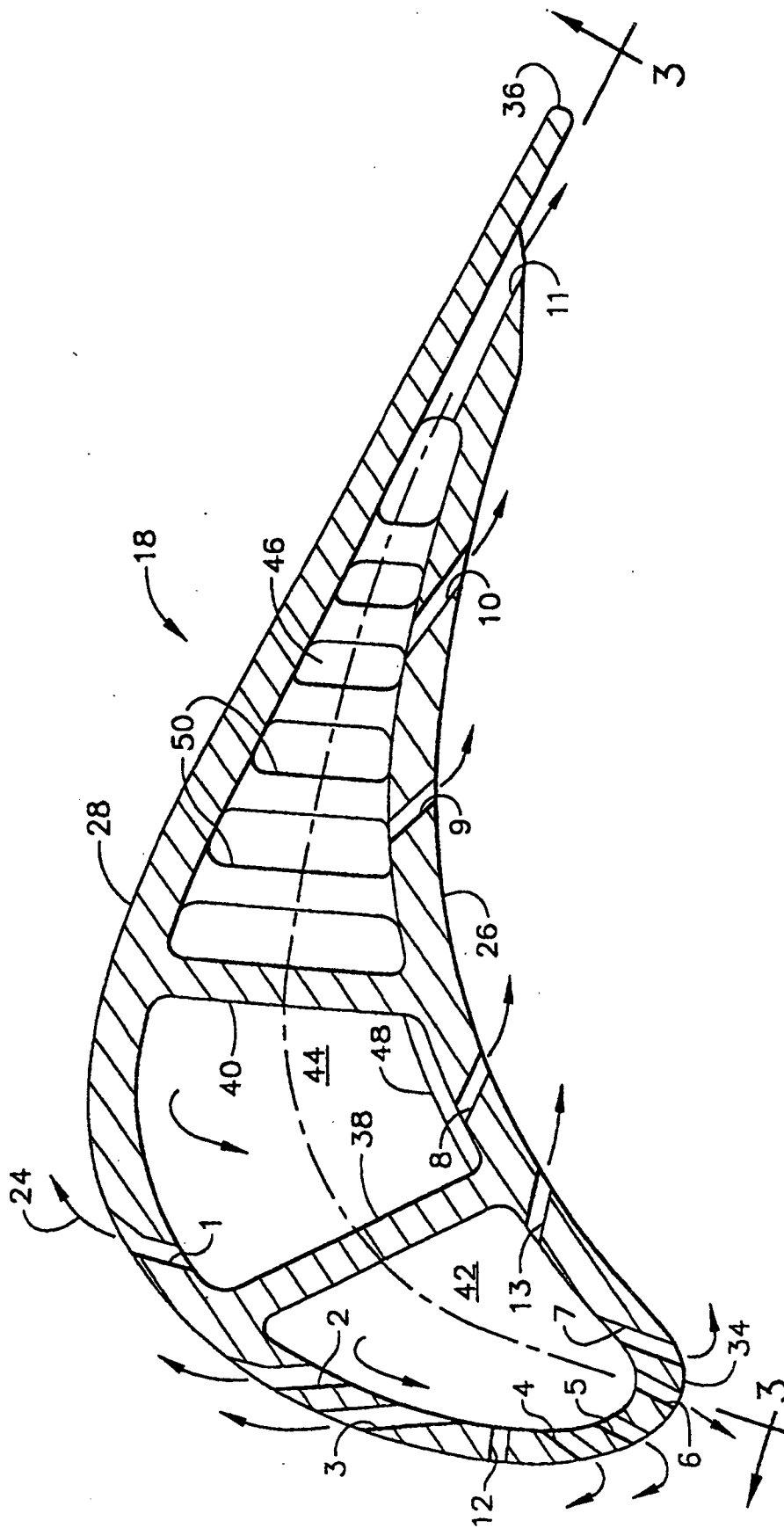


FIG. 2

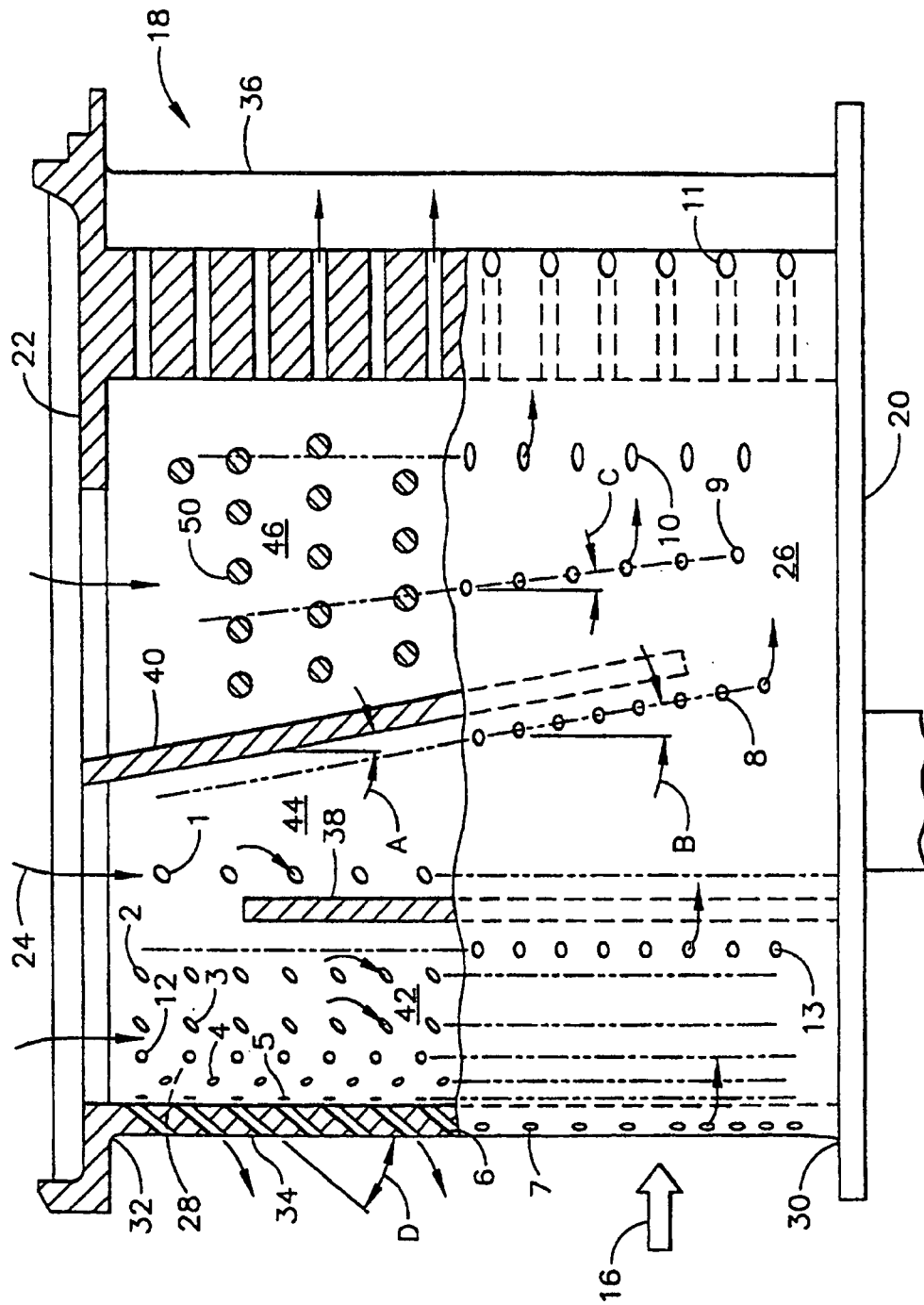


FIG. 3