



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 26 367 T2** 2005.02.17

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 887 514 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 26 367.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 305 052.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **26.06.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **30.12.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **22.09.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.02.2005**

(51) Int Cl.⁷: **F01D 5/18**
F01D 25/32

(30) Unionspriorität:

883925 27.06.1997 US

(73) Patentinhaber:

**UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION,
Hartford, Conn., US**

(74) Vertreter:

Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80797 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

**Fukuda, Takao, East Hartford, Connecticut 06118,
US; Price, Francis R., Glastonbury, Connecticut
06033, US; Cook, Conan P., Tolland, Connecticut
06084, US; Hoff, Richard W., Glastonbury,
Connecticut 06033, US; Singer, Irwin D., West
Hartford, Connecticut 06117, US**

(54) Bezeichnung: **Schaufelkühlung**

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 betrifft generell Gasturbinenmaschinen und insbesondere ein kühlbares Strömungsprofil für den Turbinenabschnitt einer derartigen Maschine, welches Kühlfluid mit Teilchen benutzt und für das Abtrennen der Teilchen von dem Kühlfluid sorgt.

[0002] Eine Axialströmungsrotationsmaschine, beispielsweise eine Gasturbinenmaschine für ein Flugzeug, weist einen Verdichterabschnitt, einen Verbrennungsabschnitt und einen Turbinenabschnitt auf. Ein Strömungsweg für heiße Arbeitsmediumgase erstreckt sich axial durch die Maschine. Der Strömungsweg für heiße Gase ist generell von ringförmiger Gestalt.

[0003] Wenn Arbeitsmediumgase entlang des Strömungswegs strömen, werden die Gase in dem Verdichterabschnitt verdichtet, was die Temperatur und den Druck der Gase ansteigen lässt. Die heißen, druckbeaufschlagten Gase werden mit Brennstoff in dem Verbrennungsabschnitt verbrannt, um den Gasen Energie zuzuführen. Diese Gase lässt man durch den Turbinenabschnitt expandieren, um Nutzarbeit und Schub zu erzeugen.

[0004] Sowohl der Verdichterabschnitt als auch der Turbinenabschnitt weisen alternierende Reihen oder Stufen von rotierenden und stationären Strömungsprofilen auf. Jedes Strömungsprofil weist einen Strömungsprofilbereich mit einer Vorderkante und einer Hinterkante auf. Die rotierenden und stationären Strömungsprofile, die auch als Laufschaufeln bzw. Leitschaufeln bezeichnet werden, ragen axial nach außen, um Energie von den heißen Arbeitsmediumgasen aufzunehmen. Somit arbeiten die Bauteile der Turbine in einer besonders feindlichen Umgebung, die durch extrem hohe Temperaturen gekennzeichnet ist.

[0005] Die Temperatur der heißen Verbrennungsgase, welche in die Turbine gelangen, überschreiten generell die Schmelzpunktemperaturen der Legierungen, aus denen die Turbinenströmungsprofile hergestellt sind. Da die Strömungsprofile in den heißen Arbeitsmediumgasen während des Betriebs baden, kommt es zu Wärmebelastungen in den Strömungsprofilen. Diese Wärmebelastungen beeinflussen die strukturelle Integrität und die Nutzungsdauer der Strömungsprofile.

[0006] Somit müssen die Turbinenströmungsprofile gekühlt werden, um korrekt in den harschen Umgebungen in dem Turbinenabschnitt Leistung zu bringen. Die ersten Stufen der Turbinenströmungsprofile bedürfen deutlich mehr Kühlung als die nachfolgenden Stufen, weil die Temperatur und der Druck der gasförmigen Verbrennungsprodukte an dem Turbi-

neneintritt am höchsten sind und fortschreitend davon abnehmen. Außerdem benötigt jedes Strömungsprofil mehr Kühlung an der Vorderkante als an der Hinterkante, weil die Temperatur und der Druck der Verbrennungsprodukte an der Vorderkante des Strömungsprofils höher sind als an der Hinterkante.

[0007] Somit werden Strömungsprofile typischerweise gekühlt, um Wärmebelastungen zu verringern und so die Strömungsprofile mit zufriedenstellender struktureller Integrität und Nutzungsdauer zu versorgen. Ein Beispiel eines derartigen Strömungsprofils ist in dem US-Patent Nr. 5,498,126 gezeigt, welches den Titel "Airfoil with dual source cooling" trägt, Pighetti et al. erteilt wurde und der vorliegenden Anmelderin übertragen wurde. In Pighetti et al. werden die Strömungsprofile durch Kanalisieren von Verdichterzapfluft bei einem höheren Druck durch die Vorderkantenpassage des Strömungsprofils und Kanalisieren von Verdichterzapfluft bei einem niedrigeren Druck durch die Hinterkantenpassage des Strömungsprofils gekühlt. Der höhere Druck in der Vorderkantenpassage eines jeden Strömungsprofils unterbindet die Strömung von Verbrennungsprodukten von dem Arbeitsmediumströmungsweg in die internen Passagen des Strömungsprofils. Die Vorderkante wird durch Aufprallkühlung durch Abzapfen der Verdichterluft von den Hochdruckverdichterstufen gekühlt. Die Verwendung von Hochdruckverdichterluft statt einer Mischung von Hochdruck- und Niederdruckluft ist unerwünscht, weil sie direkt Luft von dem Verbrennungsprozess abzweigt und so die Gesamtleistung der Maschine verringert. Deshalb wird Hochdruckverdichterluft lediglich zum Kühlen des Vorderkantenbereichs des Strömungsprofils verwendet, während der Hinterkantenbereich durch Luft gekühlt wird, die von den Niederdruckstufen des Verdichters geliefert wird.

[0008] Jedoch hat die Hochdruckverdichterluft mehr Teilchen in sich eingefangen verglichen mit der Niederdruckverdichterluft, die zum Kühlen des Hinterkantenbereichs des Strömungsprofils verwendet wird. Die Hochdruckverdichterluft kann Teilchen aufweisen, beispielsweise Schmutzteilchen, Silikateilchen und Keramikbeschichtungsteilchen, die in dieser Quelle von Kühlluft gefangen sind. Diese Teilchen stammen primär von der äußeren Dichtung des Verdichters und vom Verschleiß des Verdichters. Im Gegensatz wird die Niederdruckverdichterluft zu dem Hinterkantenbereich der Turbinenströmungsprofile vor der Brenneinrichtung umgeleitet. In der Folge ist die Niederdruckverdichterluft relativ sauber und somit relativ frei von Teilchen.

[0009] Die Anwesenheit von Schmutz oder anderen Teilchen in der Kühlluft kann eine korrekte Kühlung unterbinden und schließlich eine vorzeitige Zerstörung der Turbinenströmungsprofile zur Folge haben. Kühlpassagen und Kühlöffnungen in den Turbinen-

strömungsprofilen haben extrem kleine Durchmesser. Teilchen lagern sich tendenziell in den Passagen oder in den Kühlöffnungen in den Strömungsprofilen ab und blockieren sie. Selbst Teilchen von Mikrometergröße können ziemlich schnell die Luftströmung verringern und den erforderlichen Wärmeübertrag für das Kühlen behindern. In der Folge ist die Menge an durch die Passagen strömender Kühlluft verringert und in manchen Fällen ist die Kühlluftströmung vollständig eingeschränkt, wenn die Passagen vollständig versperrt sind. Eine verringerte oder keine Kühlung hat einen zerstörerischen Effekt auf die Lebensdauer der Turbinenströmungsprofile während des Triebwerksbetriebs und ist somit eine direkte Ursache für hohe Wartungs- und Austauschkosten.

[0010] Obwohl normalerweise Mittel verwendet werden, um größere Schmutzteilchen zu entfernen, bevor die Luft in den Verdichter gelangt, verbleiben nichts desto trotz kleinere Teilchen in der Kühlluft, selbst nachdem sie eine beträchtliche Strecke von dem Verdichter zu der Turbine zurückgelegt hat. Es besteht auch die Möglichkeit, dass Teilchen, die von der Maschine selbst stammen, in die Kühlluft eingefangen werden.

[0011] Ein früherer Ansatz zum Entfernen von Teilchen aus einem Kühlluftstrom zugehörig zu dem Kühlsystem für Turbinenlaufschaufeln einer Gasturbinenmaschine ist im US-Patent Nr. 4,309,147 gezeigt, welches Koster et al. erteilt wurde und den Titel "Foreign Particle Separator" trägt. In Koster et al. ist eine Drehkammer in dem Strömungsweg angeordnet und daran angepasst, um die Mittellinie der Maschine zu rotieren. Kühlluft, die mit Fremtteilchenpartikeln, beispielsweise Sand verschmutzt ist, wird der Drehkammer zugeführt, wo der in der Kühlluft eingebundene Sand radial nach außen zentrifugiert wird. Saubere Kühlluft verlässt die Kammer an einem radialen Abstand, der geringer ist als der radiale Abstand der Einlässe in die Kammer von der Maschinenmittellinie. Diese saubere Kühlluft strömt dann, um die Turbinenlaufschaufeln zu kühlen.

[0012] Ein weiterer Ansatz zum Entfernen von Teilchen in einem kühlbaren Strömungsprofil ist in dem US-Patent Nr. 4,775,296 gezeigt, welches Schwarzmann et al. erteilt wurde und auf die vorliegende Anmelderin übertragen wurde. Bei Schwarzmann et al. befindet sich die Kühlpassage in dem Vorderkantenbereich in Strömungsverbindung mit dem Hinterkantenbereich durch eine Drehpassage und eine Öffnung, welche die Drehpassage mit dem Hinterkantenbereich zum Abgeben von Teilchenmaterie von der Kühlpassage verbindet. Somit ist die Nutzungsdauer des Strömungsprofils durch Entfernen von Teilchenmaterie von dem Spitzenbereich des Strömungsprofils durch eine Leitung, welche Kühlluft durch Niedrigströmungsbereiche des Strömungsprofils führt, verbessert.

[0013] US-A-4,820,122 beschreibt eine Schmutzentfernungseinrichtung für gekühlte Laufschaufeln.

[0014] US-A-4,527,387 beschreibt einen Einlass-Teilchenseparator für eine Gasturbinenmaschine.

[0015] Moderne Maschinen mit hohem Schub erfordern Kühlschemata, die reinere, unverschmutzte Kühlluft verwenden, als sie zuvor in Turbinenströmungsprofilen verwendet wurde, insbesondere für die Turbinenleitschaufeln der zweiten Stufe. Moderne Verdichter beinhalten zusätzliche Strömungsprofilstufen, was zu höheren Temperaturen und Drücken der Verbrennungsprodukte führt, die in die Turbine gelangen. Die Turbinenströmungsprofile benötigen mehr Kühlung als Strömungsprofile des Standes der Technik, um zerstörerisches Verbrennen der Strömungsprofilwände zu vermeiden. Insbesondere benötigt die Vorderkante der Strömungsprofile mehr Kühlung als die Hinterkante, weil die äußeren Drücke und Temperaturen an der Vorderkante höher sind. In der Folge benötigen modernen Maschinen höheren Schubs Verdichterkühlluft mit höherem Druck, um die Vorderkante zu kühlen, haben gewundene Passagen mit kleinen Öffnungen und benötigen reinere Luft als in der Vergangenheit.

[0016] Obwohl Kühlen mit Verdichterluft höheren Drucks für das Strömungsprofil erforderlich ist, um ein Verbrennen der Vorderkante zu vermeiden, verbleibt der Hauptnachteil der Verwendung von Luft höheren Drucks bei den eingefangenen Teilchen in der Kühlluft, welche die Kühlpassagen und -öffnungen in den Strömungsprofilen blockieren, wie vorangehend ausgeführt. Somit besteht ein Bedürfnis, für das Entfernen von Teilchen in kühlbaren Strömungsprofilen zu sorgen.

[0017] Folglich sind Wissenschaftler und Ingenieure, die unter der Anleitung der vorliegenden Anmelderin arbeiten, auf der Suche nach der Entwicklung von kühlbaren Strömungsprofilen für moderne Maschinen höheren Drucks, die Mittel zum Entfernen von Teilchen von der solchen Strömungsprofilen zugeführten Kühlluft haben.

[0018] Gemäß einem breiten Aspekt liefert die vorliegende Erfindung ein kühlbares Strömungsprofil nach Anspruch 1.

[0019] Somit weist gemäß der vorliegenden Erfindung ein kühlbares Strömungsprofil mit einer sich in Erstreckungsrichtung erstreckenden vorderen Passage und einer sich in Erstreckungsrichtung erstreckenden hinteren Passage zum Abgeben von in der Kühlluft gefangenen Teilchen einen sich in Profilleitungsrichtung erstreckenden Kanal auf, der sich an der vorderen Passage vorbei zu der hinteren Passage erstreckt, so dass Impulseffekte die Strömung eines

Teils der Kühlluft zu dem Eingang der vorderen Passage vorzugsweise zum Kühlen einer Kante des Strömungsprofils lenken und den Rest der Kühlluft und Teilchen in die hintere Passage lenken.

[0020] In einer speziellen Ausführungsform der Erfindung weist der Kanal eine sich in Profilsehnenrichtung erstreckende Einlasspassage und eine sich in Profilsehnenrichtung erstreckende Expansionskammer auf, die sich axial hinter der Einlasspassage befindet. Teilchen enthaltende Kühlluft strömt in die Expansionskammer und dann entweder in die vordere oder in die hintere sich in Erstreckungsrichtung erstreckende Passage, die sich in Strömungsverbindung mit der Expansionskammer befinden.

[0021] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die sich in Profilsehnenrichtung erstreckende Einlasspassage in Erstreckungsrichtung mit einem Winkel weg von der sich in Erstreckungsrichtung erstreckenden vorderen und hinteren Passage angeordnet.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die dem Profilsehnenmittenbereich des Strömungsprofils benachbarte Expansionskammer dem Hinterkantenbereich benachbart durch eine Wand begrenzt, die bezogen auf die ankommende Kühlluftströmung und in Richtung zu dem Eingang der hinteren Passage mit einem Winkel angeordnet ist, so dass ein Teil der Kühlluftströmung und Teilchen durch die mit Winkel angeordnete Wand in Richtung zu dem Eingang der hinteren Passage gedrängt werden.

[0023] Somit ist ein Merkmal der vorliegenden Erfindung ein kühlbares Strömungsprofil mit einem sich in Profilsehnenrichtung erstreckenden Kanal. Ein weiteres Merkmal ist eine sich in Erstreckungsrichtung erstreckende vordere Versorgungspassage. Ein weiteres Merkmal ist eine sich in Erstreckungsrichtung erstreckende hintere Passage. Vorzugsweise ist die vordere Versorgungspassage in Strömungsverbindung mit einem gewundenen Passagenweg vorzugsweise in dem Vorderkantenbereich. Der gewundene Passagenweg hat Kühlluftöffnungen. Ein weiteres bevorzugtes Merkmal ist, dass die hintere Passage in Strömungsverbindung mit dem Äußeren des Strömungsprofils über eine Spülöffnung und Kühlluftöffnungen ist. Die Spülöffnung hat vorzugsweise einen größeren Querschnittsströmungsquerschnitt als die Kühlluftöffnungen in der Spülpassage und in dem gewundenen Passagenweg. In einer detaillierten Ausführungsform hat der Kanal eine sich in Profilsehnenrichtung erstreckende Einlasspassage und eine sich in Profilsehnenrichtung erstreckende Expansionskammer axial hinter der Einlasspassage. Die Expansionskammer ist dem Profilsehnenmittenbereich des Strömungsprofils benachbart. Die Expansionskammer hat zwei Auslässe. In einer detaillierten Ausführ-

ungsform ist die sich in Profilsehnenrichtung erstreckende Einlasspassage in Erstreckungsrichtung weg von der sich in Erstreckungsrichtung erstreckenden vorderen und hinteren Passage mit einem Winkel angeordnet. In einer detaillierten Ausführungsform ist die Expansionskammer dem Hinterkantenbereich durch eine Wand begrenzt, die in Richtung zu dem Eingang der hinteren Passage mit einem Winkel angeordnet ist.

[0024] Vorzugsweise erstreckt sich die Einlasspassage zu etwa fünfundsechzig Prozent der Profilsehnenlänge (gemessen bei Erstreckungsmitte) des Strömungsprofils.

[0025] Ein Hauptvorteil der vorliegenden Erfindung zumindest in ihren bevorzugten Ausführungsformen ist das Niveau der Haltbarkeit und der Nutzungsdauer, die sich aus dem Kühlen des Strömungsprofils mit sauberer Kühlluft ergeben, wenn die Teilchen von dem Eingang in den Vorderkantenbereich weg abgelenkt werden. Diese Teilchen könnten die inneren Kühlpassagen und Kühlöffnungen blockieren. Ein weiterer Vorteil ist die Einfachheit der Wartung und der Reparierbarkeit der Strömungsprofile, welche sich daraus ergeben, dass eine Passage mit einer relativ großen Spülöffnung vorgesehen ist, um Reinigungsfluide während Wartungsaktivitäten zu spülen.

[0026] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird nun nur beispielhaft mit Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, für die gilt:

[0027] Fig. 1 eine schematische Seitenansicht einer Gasturbinenmaschine, wobei Bereiche zur Klarheit weggebrochen sind;

[0028] Fig. 2 ist eine vergrößerte Schnittansicht eines Teils einer Turbine der Gasturbinenmaschine von Fig. 1, die ein Strömungsprofil gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0029] Fig. 3 ist eine vergrößerte Seitenansicht, zur Klarheit zum Teil weggebrochen, des in Fig. 2 gezeigten Strömungsprofils;

[0030] Fig. 4 ist eine Querschnittsansicht, die entlang der Linie 4-4 des in Fig. 3 gezeigten Strömungsprofils genommen ist; und

[0031] Fig. 5 ist eine vergrößerte Ansicht eines Teils des in Fig. 3 gezeigten Strömungsprofils.

[0032] Es wird auf die Fig. 1 Bezug genommen. Eine Gasturbinenmaschine 10 weist einen Verdichterabschnitt 12, einen Verbrennungsabschnitt 14 und einen Turbinenabschnitt 16 auf. Arbeitsmediumgase 18 strömen axial durch die Abschnitte 12, 14 und 16

der Maschine **10**. Der Verdichter **12** weist eine Mehrzahl von alternierenden Reihen oder Stufen von rotierenden bzw. stationären Strömungsprofilen **20**, **22** auf. Die Turbine **16** weist auch alternierende Stufen von stationären bzw. rotierenden Strömungsprofilen **24**, **26** auf.

[0033] Es wird auf die **Fig. 2** Bezug genommen. Ein erstes Plenum **30** wird mit einer Quelle von relativ konstanter Hochdruckluft druckbeaufschlagt, die von einer Hochdruckstufe des Verdichterabschnitts **12** abgezapft wird und den Brenner **14** umströmt. Ein zweites Plenum **32** erhält eine Quelle von relativ konstanter Luft niedrigeren Drucks, die von einer Niederdruckstufe des Verdichterabschnitts **12** strömungsaufwärts von der höheren Stufe zu dem ersten Plenum **30** gezapfter Verdichterluft gezapft wird.

[0034] Die erste Stufe von Strömungsprofilen an dem Turbineneingang weist eine Mehrzahl von Leitschaufeln **38** der ersten Stufe gefolgt von rotationsfähigen Laufschaufeln **40** der ersten Stufe, gefolgt von Leitschaufeln **42** der zweiten Stufe und Laufschaufeln **44** der zweiten Stufe auf. Die Leitschaufel **38** der ersten Stufe weist einen Strömungsprofilbereich **46** auf. Die Leitschaufel der ersten Stufe hat eine innere Plattform **48** und eine äußere Plattform **50**. Die äußere Plattform **50** ist von dem Gehäuse radial nach innen beabstandet, um das erste Plenum **30** dazwischen zu lassen. Die Leitschaufel **42** der zweiten Stufe weist einen Strömungsprofilbereich **52** auf. Die Leitschaufel der zweiten Stufe hat eine innere Plattform **54** und eine äußere Plattform **56**. Die äußere Plattform **56** ist von dem Gehäuse radial nach innen beabstandet, um das zweite Plenum **32** dazwischen zu lassen.

[0035] Es wird auf die **Fig. 3** Bezug genommen. Der Strömungsprofilbereich **52** der Leitschaufel **42** der zweiten Stufe weist eine Vorderkante **60** und eine Hinterkante **62** auf. Das Strömungsprofil weist auch ein erstes Ende **64** und ein zweites Ende **66** auf. Eine Sogseitenwand **67** und eine Druckseitenwand **68** sind an der Vorderkante und der Hinterkante verbunden. Die Druckseitenwand **68** ist von der Sogseitenwand **67** beabstandet, um einen Hohlraum dazwischen zu bilden. Ein Vorderkantenbereich **69** erstreckt sich in Profilsehnenrichtung von der Vorderkante **60** nach hinten. Der Vorderkantenbereich **69** hat eine erste Rippe **70**, die in Erstreckungsrichtung ragt und nach hinten von der Vorderkante **60** beabstandet ist, um eine erste Kammer **71** dazwischen zu bilden. Die erste Rippe **70** ist in Erstreckungsrichtung von dem zweiten Ende **66** beabstandet, um einen Einlass **72** in den Vorderkantenbereich **69** zu lassen. Eine zweite Rippe **74** erstreckt sich in Erstreckungsrichtung in dem Vorderkantenbereich **69**. Die zweite Rippe **74** ist in Profilsehnenrichtung von der ersten Rippe **70** nach vorne beabstandet und lässt eine erste Passage **76** dazwischen. Die zweite Rippe **74** ist in

Erstreckungsrichtung von dem ersten Ende **64** beabstandet, um eine Drehpassage **78** dazwischen zu lassen. Diese Drehpassage **78** befindet sich in Strömungsverbindung mit der ersten Passage **76**. Der Vorderkantenbereich **69** hat ferner eine dritte Rippe **80**, die in Erstreckungsrichtung ragt und in Profilsehnenrichtung von der zweiten Rippe **74** nach vorne beabstandet ist und eine zweite Passage **82** dazwischen lässt. Die Rippe **80** ist in Profilsehnenrichtung von der Vorderkante **60** nach hinten beabstandet und definiert eine dritte Passage **84** dazwischen. Die dritte Rippe **80** hat eine Mehrzahl von Aufprallöffnungen **86**.

[0036] Das Strömungsprofil hat einen Profilsehnenmittelenbereich **87** benachbart zu dem Vorderkantenbereich **69**. Eine vierte Rippe **88** erstreckt sich in Erstreckungsrichtung in den Profilsehnenmittelenbereich **87**. Die vierte Rippe **88** ist von der ersten Rippe **70** nach hinten beabstandet und bildet eine zweite Kammer **89** dazwischen. Eine fünfte Rippe **90** ist in der zweiten Kammer **89** angeordnet und erstreckt sich in Erstreckungsrichtung, um die zweite Kammer **89** in zwei Passagen **92**, **94** zu teilen. Die erste Versorgungspassage **92** befindet sich in Strömungsverbindung mit dem Einlass **72** in den Vorderkantenbereich. Eine zweite Spülpassage **94** hat eine Spülöffnung **96** an dem zweiten Ende **66**, was es erlaubt, dass das Strömungsprofil **52** in Strömungsverbindung mit dem Äußeren des Strömungsprofils ist.

[0037] Das Strömungsprofil hat einen Hinterkantenbereich **97**, der dem Profilsehnenmittelenbereich nach hinten benachbart ist. Dieser Bereich hat eine Einlasspassage **98** zum Liefern von Kühlluft zu dem Hinterkantenbereich **97**. Die Einlasspassage **98** in dem Hinterkantenbereich befindet sich in Strömungsverbindung mit den internen Kühlkammern in dem Hinterkantenbereich **97**.

[0038] Das Strömungsprofil **52** hat auch einen Kanal **100**, der sich in der Profilsehnenrichtung in dem ersten Ende **64** erstreckt. Der Kanal **100** erstreckt sich vorzugsweise über etwa 65% der Profilsehnenlänge bei Erstreckungsmittle des Strömungsprofils. Der Kanal **100** hat eine Einlasspassage **102**, welche sich in Profilsehnenrichtung in dem Vorderkantenbereich **69** erstreckt. Diese Einlasspassage **102** macht das Strömungsprofil **52** daran angepasst, Kühlluft von einer Quelle von Kühlluft zu erhalten. Der Kanal hat auch eine Expansionskammer **108**, welche sich in Profilsehnenrichtung erstreckt und dem Profilsehnenmittelenbereich **87** benachbart ist.

[0039] **Fig. 4** ist eine Schnittansicht, die entlang der Linien 4-4 des Strömungsprofils, welches in der **Fig. 2** gezeigt ist, genommen ist. Die Ansicht zeigt die erste Passage **76**, die zweite Passage **82** und die dritte Passage **84** in dem Vorderkantenbereich **69**. Die dritte Passage **84** ist in Strömungsverbindung mit

dem Äußeren des Strömungsprofils durch die Kühlfilmöffnungen **114**.

[0040] Außerdem zeigt die Ansicht die erste Versorgungspassage **92** und die zweite Spülpassage **94** in dem Profilsehenmittenbereich **87** des Strömungsprofils **52**. Die zweite Spülpassage befindet sich in Strömungsverbindung mit dem Äußeren des Strömungsprofils über die Spülöffnung **96**. Die zweite Spülpassage **94** hat auch eine Mehrzahl von Kühlfilmöffnungen **116** entlang der Druckseitenwand **68**. Der Querschnittsströmungsquerschnitt der Spülöffnung **96** ist größer als der Querschnittsströmungsquerschnitt einer Kühlluftöffnung **116**.

[0041] Fig. 5 ist eine vergrößerte Ansicht eines Teils des Strömungsprofils, insbesondere des Kanals **100**, welcher in Fig. 3 gezeigt ist. Die Einlasspassage **102** in den Kanal **100** ist durch eine erste Wand **104** in dem ersten Ende **64** und eine zweite Wand **106**, die in Erstreckungsrichtung weg von der ersten Wand **104** beabstandet ist, begrenzt. Die erste und die zweite Wand **104**, **106** sind in Erstreckungsrichtung weg von der sich in Erstreckungsrichtung erstreckenden ersten Versorgungspassage **92** und der zweiten Spülpassage **94** mit einem Winkel angeordnet. Die Expansionskammer **108** ist dem Hinterkantenbereich **87** benachbart durch eine Wand **118** begrenzt, welche mit einem Winkel in Richtung zu dem Eingang der zweiten Spülpassage **94** angeordnet ist. Die Expansionskammer **108** ist auch dem ersten Ende **64** benachbart durch eine sich in Profilsehenrichtung erstreckende Wand **120** begrenzt. Außerdem hat die Expansionskammer **108** zwei Auslässe. Der erste Auslass **110** befindet sich in Strömungsverbindung mit der ersten Versorgungspassage **92**, und ein zweiter Auslass **112** ist in Strömungsverbindung mit der zweiten Spülpassage **94**. Außerdem ist der obere Bereich **122** der fünften Rippe **90** weg von dem Eingang der zweiten Spülpassage **94** mit einem Winkel angeordnet.

[0042] Während des Betriebs der Gasturbinenmaschine werden Arbeitsmediumgase **18** in dem Verdichter **12** verdichtet, wobei deren Temperatur und Druck ansteigen, wenn die Gase durch eine Mehrzahl von alternierenden Reihen oder Stufen von rotierenden bzw. stationären Strömungsprofilen **20**, **22** strömen. Die verdichteten Gase werden mit Brennstoff vermischt und in dem Brenner **14** verbrannt. Die Verbrennungsprodukte, welche den Brenner verlassen, sind bei höchster Temperatur und höchstem Druck, wenn sie in die Turbine **16** gelangen, welche alternierende Stufen von stationären bzw. rotierenden Strömungsprofilen **24**, **26** aufweist. Wenn die Arbeitsmediumgase in der Turbine **16** expandieren, nehmen Temperatur und Druck der Verbrennungsprodukte allmählich ab. Die heißen Gase erzeugen Vortriebsschub und treiben die Turbine **16** um ihre Rotationsachse A, an, was wiederum den Verdichter

12 antreibt.

[0043] Man lässt Kühlluft von dem Sammelraum **30** zu dem Kanal **100** in dem ersten Ende **64** des Strömungsprofils **52** strömen. Kühlluft gelangt in das Strömungsprofil durch die Einlasspassage **102** in dem ersten Ende. Diese Kühlluft hat darin eingebundenen Teilchen verschiedener Größen. Die Strömung von Kühlluft und die durch die gewinkelten Wände **104**, **106** definierte Geometrie der Kanalwand drängt diese Teilchen in Richtung zu der zweiten Wand **106** in der Einlasspassage **102**. Die Teilchen treffen auf die zweite Wand **106** in dieser Einlasspassage **102** und werden weg von dem Eingang **110** in die erste Zuführpassage **92** und in Richtung zu der Expansionskammer **108** hinter der Einlasspassage **102** gelenkt. In der Expansionskammer **108** prallen die in der Kühlluft eingebundenen Teilchen von den Wänden **118**, **120**, welche die Expansionskammer **108** begrenzen, ab. Außerdem prallen die Teilchen auch von dem oberen Bereich **122** der in der Fig. 5 in dem Profilsehenmittenbereich **87** gezeigten fünften Rippe **90** ab. Somit werden die in die Kühlluft eingebundenen Teilchen gelenkt, dass sie in die hintere Spülpassage **94** strömen. Impulseffekte und Effekte des Aufprallens auf die Expansionskammerwände **118**, **122** und den oberen Bereich **122** der fünften Rippe **90** drängen die Bewegung einer Vielzahl von Teilchen in die hintere Passage **94**. Somit wird ein Teil der Kühlluft mit darin eingebundenen Teilchen von dem Strömungsprofil **52** durch die Spülöffnung **96** in die Spülpassage **94** abgegeben.

[0044] Ein größerer Teil der Kühlluft strömt in die vordere Versorgungspassage **92** und liefert in den Vorderkantenbereich **69** des Strömungsprofils **52** Kühlluft. Als Folge ist die Luft in der vorderen Zuführpassage **92** relativ frei von Teilchen und ist somit sauber.

[0045] In einer speziellen Ausführungsform der Erfindung ist das Strömungsprofil derart konfiguriert, dass etwa sechzig Prozent (60 %), das ist ein Bereich von achtundfünfzig bis zweiundsechzig Prozent (58 bis 62 %), der Kühlluft in die erste Versorgungspassage **92** geleitet werden, während vierzig Prozent (40 %), d.h. ein Bereich von achtunddreißig bis zweiundvierzig Prozent (38 bis 42 %) der Kühlluft mit Teilchen in die zweite Spülpassage **84** als Spülkühlluftströmung geleitet werden.

[0046] Außerdem ist in einer speziellen Ausführungsform der Erfindung die Spülöffnung **96** in der Spülpassage **94** derart bemessen, dass etwa sechzig Prozent (60 %) der Spülkühlluftströmung das Strömungsprofil durch die Spülöffnung **96** verlassen. Die verbleibende Spülkühlluftströmung, etwa vierzig Prozent (40 %), verlässt das Strömungsprofil **52** durch die Kühlfilmöffnungen **116**, die entlang der Druckseitenwand **68** vorhanden sind und schafft so

einem größeren Oberflächenbereich des Äußeren des Strömungsprofils eine weitere Kühlung.

[0047] Außerdem ist bei einer speziellen Ausführungsform der Erfindung die Kanalwandgeometrie und die Spülöffnung bemessen, um eine maximale Teilchenseparation zu erzielen. Eine Teilchenseparationseffizienzcharakteristik ist folgendermaßen definiert:

$$\eta_{\text{sep}} = \frac{\text{Gewicht der abgetrennten Teilchen}}{\text{Gesamtgewicht der Teilchen}}$$

[0048] Etwa fünfundneunzig Prozent (95 %) der Teilchen, definiert als ein Bereich zwischen dreiundneunzig Prozent (93 %) und siebenundneunzig Prozent (97 %), der in der Kühlluft eingebundenen Teilchen werden von dem Strömungsprofil durch die Spülpassage **94** abgegeben. Die verbleibenden etwa fünf Prozent (5 %) von Teilchen gelangen zusammen mit Kühlluft in die erste Versorgungspassage **92**.

[0049] Ein spezieller Vorteil dieser Konstruktion zumindest in den bevorzugten Ausführungsformen ist, dass die Mehrzahl der in der Kühlluft eingebundenen Teilchen das Strömungsprofil durch die zweite Spülpassage verlässt. Diese Teilchen könnten interne Kühlpassagen und Kühloffnungen blockieren. Eine relativ saubere Kühlluft wird dem Vorderkantenbereich zugeführt und sorgt für das Kühlen der Vorderkante. Somit ist das Niveau an Haltbarkeit und Lebensdauer, welches sich aus dem Kühlen des Strömungsprofils mit sauberer Kühlluft ergibt, verbessert. Ein weiterer Vorteil ist die Einfachheit der Wartung und der Reparierbarkeit der Strömungsprofile, welche sich daraus ergeben, dass eine Passage mit einer relativ großen Spülöffnung vorgesehen ist, um Reinigungsfluide während Wartungsaktivitäten zu spülen.

[0050] Obwohl die Erfindung mit Bezugnahme auf detaillierte Ausführungsformen davon gezeigt und beschrieben wurde, sollte der Fachmann verstehen, dass verschiedene Änderungen in deren Form und Detail vorgenommen werden können, ohne von dem Umfang der beanspruchten Erfindung abzuweichen.

Patentansprüche

1. Kühlbares Strömungsprofil (**52**) zur Verwendung in einer Gasturbinenmaschine, wobei das Strömungsprofil aufweist:

ein erstes Ende (**64**), ein zweites Ende (**66**), eine Vorderkante (**60**), die zwischen dem ersten Ende (**64**) und dem zweiten Ende (**66**) angeordnet ist, eine Hinterkante (**62**), die zwischen dem ersten Ende (**64**) und dem zweiten Ende (**66**) angeordnet ist, eine Sogseitenwand (**67**), welche sich von der Vorderkante (**60**) zu der Hinterkante (**62**) erstreckt, eine Druckseitenwand (**68**), die mit der Sogseitenwand (**67**) an

der Vorderkante (**60**) und der Hinterkante (**62**) verbunden ist und von der Sogseitenwand (**67**) beabstandet ist, um einen Hohlraum dazwischen zu bilden, einen Vorderkantenbereich (**69**), der sich in Profilschwenkrichtung von der Vorderkante (**60**) nach hinten erstreckt, einen Profilschwenkmittenbereich (**87**), dem Vorderkantenbereich (**69**) nach hinten benachbart, einen Hinterkantenbereich (**97**) dem Profilschwenkmittenbereich (**87**) nach hinten benachbart, eine erste Passage (**92**), welche sich in Erstreckungsrichtung in den Profilschwenkmittenbereich (**87**) erstreckt, wobei die Passage in Strömungsverbindung mit einem der Kantenbereiche ist, eine zweite Passage (**94**), hinter der ersten Passage und sich in Erstreckungsrichtung in dem Profilschwenkmittenbereich (**87**) erstreckend, wobei die zweite Passage eine Spülöffnung (**96**) in dem zweiten Ende (**66**) in Strömungsverbindung mit dem Äußeren des Strömungsprofils hat, einen Kanal (**100**), der sich in der Profilschwenkrichtung in dem ersten Ende (**64**) erstreckt, zum Aufnehmen von Kühlluftströmung von einer Quelle von Kühlluft, wobei der Kanal (**100**) in Fluidverbindung mit der ersten und der zweiten Passage ist, wobei unter Betriebsbedingungen der Kanal das Strömungsprofil daran angepasst macht, Kühlluft mit Teilchen verschiedener Größen aufzunehmen und die Strömung in Profilschwenkrichtung lenkt, **dadurch gekennzeichnet**, dass Impulseffekte die Strömung von einem ersten Teil von Kühlluft und Teilchen an der ersten Passage (**92**) vorbei in die hintere Spülpassage (**94**) und durch die Spülöffnung (**96**) nach außen lenken.

2. Strömungsprofil nach Anspruch 1, welches derart konfiguriert ist, dass mehr Kühlluft in die erste Passage (**92**) als in die zweite (**94**) gelenkt wird.

3. Strömungsprofil (**52**) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Kanal (**100**) eine Einlasspassage (**102**) hat, die sich in dem Vorderkantenbereich (**69**) in Profilschwenkrichtung erstreckt, und eine Expansionskammer (**108**) hat, die sich in Profilschwenkrichtung dem Profilschwenkmittenbereich (**87**) benachbart erstreckt, wobei die Expansionskammer (**108**) einen ersten Auslass (**110**) in Strömungsverbindung mit der ersten Passage (**92**) und einen zweiten Auslass (**112**) in Strömungsverbindung mit der zweiten Passage (**94**) hat.

4. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Passage (**92**) in Strömungsverbindung mit dem Vorderkantenbereich (**69**) ist.

5. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Einlasspassage (**102**) Wände (**104**, **106**) hat, die in Erstreckungsrichtung weg von der sich in Erstreckungsrichtung erstreckenden ersten (**92**) und zwei-

ten (94) Passage mit Winkel angeordnet ist.

6. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Expansionskammer (108) dem ersten Ende (64) benachbart durch eine sich in Profilschwenkrichtung erstreckende Wand (102) und dem Hinterkantenbereich benachbart durch eine Wand (118) begrenzt ist, die in Richtung zum Eingang der zweiten Passage (94) mit einem Winkel angeordnet ist, so dass Teilchen von den Expansionskammerwänden abprallen und in die zweite Passage (94) gelenkt werden.

7. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste (92) und die zweite (94) Passage eine Rippe (90) dazwischen haben, welche die erste und die zweite Passage trennt, wobei die Rippe einen oberen Bereich (122) hat, der von dem Eingang der zweiten Passage (94) weg mit einem Winkel angeordnet ist, so dass Teilchen, die von dem Expansionskammerwänden (118, 120) abprallen, auf den mit Winkel angeordneten oberen Bereich der Rippe treffen und in die zweite Passage (94) gelenkt werden.

8. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Einlasskanal sich über etwa fünfundsechzig Prozent (65 %) der Profilschwenklänge bei Erstreckungsmitte des Strömungsprofils erstreckt.

9. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Strömungsprofil derart konfiguriert ist, dass etwa sechzig Prozent (60 %) der Kühlluft in die erste Passage (92) gelenkt werden und etwa vierzig Prozent (40 %) der Kühlluft mit Teilchen in die zweite Passage (94) gelenkt werden.

10. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Passage (94) eine Mehrzahl von Kühlluftöffnungen (116) entlang der Druckseitenwand (68) und eine Spülöffnung (96) in dem zweiten Ende (66) hat, wobei jede Kühlluftöffnung einen ersten Querschnittsströmungsquerschnitt und die Spülöffnung einen zweiten Querschnittsströmungsquerschnitt hat, wobei der zweite Querschnittsströmungsquerschnitt größer ist als der erste Querschnittsströmungsquerschnitt, so dass Impulseffekte die Strömung von in der Kühlluft eingebundenen Teilchen zu der Spülöffnung (96) lenken, während Kühlluft durch die Kühlluftöffnungen (116) in der zweiten Passage (94) austritt.

11. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass etwa sechzig Prozent der Kühlluftströmung mit Teilchen in der zweiten Passage (94) das Strömungsprofil durch die Spülöffnung (96) verlassen.

12. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, welches konfiguriert ist, dass es eine Teilchenseparationseffizienz hat, wobei etwa fünfundneunzig Prozent (95 %) der Teilchen in der Kühlluftströmung durch die Spülöffnung (96) abgegeben werden, während nur etwa fünf Prozent (5 %) von Teilchen in der Kühlluft in die erste Passage (92) gelangen.

13. Strömungsprofil nach Anspruch 1, wobei der Vorderkantenbereich (69) hat:

eine erste Rippe (70), welche sich in Erstreckungsrichtung erstreckt und nach hinten von der Vorderkante beabstandet ist, um eine erste Kammer (71) zu bilden, wobei die erste Rippe in Erstreckungsrichtung von dem zweiten Ende (66) beabstandet ist, um einen Einlass (72) in den Vorderkantenbereich zu lassen,

eine zweite Rippe (74), welche sich in Erstreckungsrichtung erstreckt und in Profilschwenkrichtung vor der ersten Rippe (70) beabstandet ist und eine Passage (76) dazwischen lässt, wobei die zweite Rippe (74) in Erstreckungsrichtung von dem ersten Ende (64) beabstandet ist, um eine Drehpassage (78) dazwischen zu lassen, welche in Strömungsverbindung mit der Passage (76) ist,

eine dritte Rippe (80), die sich in Erstreckungsrichtung erstreckt und in Profilschwenkrichtung vor der zweiten Rippe (74) beabstandet ist und eine weitere Passage (82) dazwischen lässt, wobei die dritte Rippe (80) in Profilschwenkrichtung von der Vorderkante nach hinten beabstandet ist und eine dritte Passage (84) dazwischen definiert, wobei die dritte Rippe (80) eine Mehrzahl von Aufprallöffnungen (86) dadurch aufweist zur Strömungsverbindung zwischen der weiteren Passage (82) und der dritten Passage (84), wobei der Profilschwenkmittenbereich (87) dem Vorderkantenbereich nach hinten benachbart hat, eine vierte Rippe (88), die sich in Erstreckungsrichtung erstreckt und von der ersten Rippe (70) nach hinten beabstandet ist, um eine zweite Kammer (89) dazwischen zu bilden,

eine fünfte Rippe (90), die in der zweiten Kammer angeordnet ist und sich in Erstreckungsrichtung erstreckt, um die zweite Kammer in die erste Passage (92) in Strömungsverbindung mit dem Einlass in den Vorderkantenbereich (89) und die zweite Passage (94) zu teilen, wobei die zweite Passage (94) eine Mehrzahl von Kühlluftöffnungen (116) entlang der Druckseitenwand (68) hat, wobei jede Kühlluftöffnung (116) einen ersten Querschnittsströmungsquerschnitt hat und die Spülöffnung (96) einen zweiten Querschnittsströmungsquerschnitt hat, der größer ist als der erste Querschnittsströmungsquerschnitt, wobei der Hinterkantenbereich (97) dem Profilschwenkmittenbereich des Strömungsprofils nach hinten benachbart eine Einlasspassage (98) zum Liefern von Kühlluft in den Hinterkantenbereich hat, wobei die Einlasspassage (98) in Strömungsverbindung mit einer Mehrzahl von internen Kühlkammern ist,

wobei der Kanal (100), der sich in Profilschienenrichtung in dem ersten Ende (64) erstreckt zum Zuführen von Kühlluft zu der Vorderkante (60) und dem Profilschienenmittenbereich (87) des Strömungsprofils hat: eine Einlasspassage (102), welche sich in Profilschienenrichtung in dem Vorderkantenbereich erstreckt und das Strömungsprofil daran angepasst macht, Kühlluftströmung von einer Quelle von Kühlluft aufzunehmen, wobei die Einlasspassage (102) durch eine erste Wand (104) in dem ersten Ende (64) und eine zweite Wand (106), die in Erstreckungsrichtung weg von dem ersten Ende (64) beabstandet ist, begrenzt ist,

eine Expansionskammer (108), welche sich in Profilschienenrichtung dem Profilschienenmittenbereich benachbart erstreckt und einen ersten Auslass in Strömungsverbindung mit der ersten Passage (92), die sich in Erstreckungsrichtung in dem Profilschienenmittenbereich erstreckt, und einen zweiten Auslass in Strömungsverbindung mit der zweiten Passage (94) hat, der sich in Erstreckungsrichtung in dem Profilschienenmittenbereich erstreckt,

wobei die erste und die zweite Wand (104, 106) der Einlasspassage (102) zu der Expansionskammer (108) in Erstreckungsrichtung weg von der sich in Erstreckungsrichtung erstreckenden ersten und zweiten Passage (92, 94) mit Winkel angeordnet sind und daran angepasst sind, Kühlluft von einer Quelle von Kühlluft bei einem ersten Druck zu erhalten,

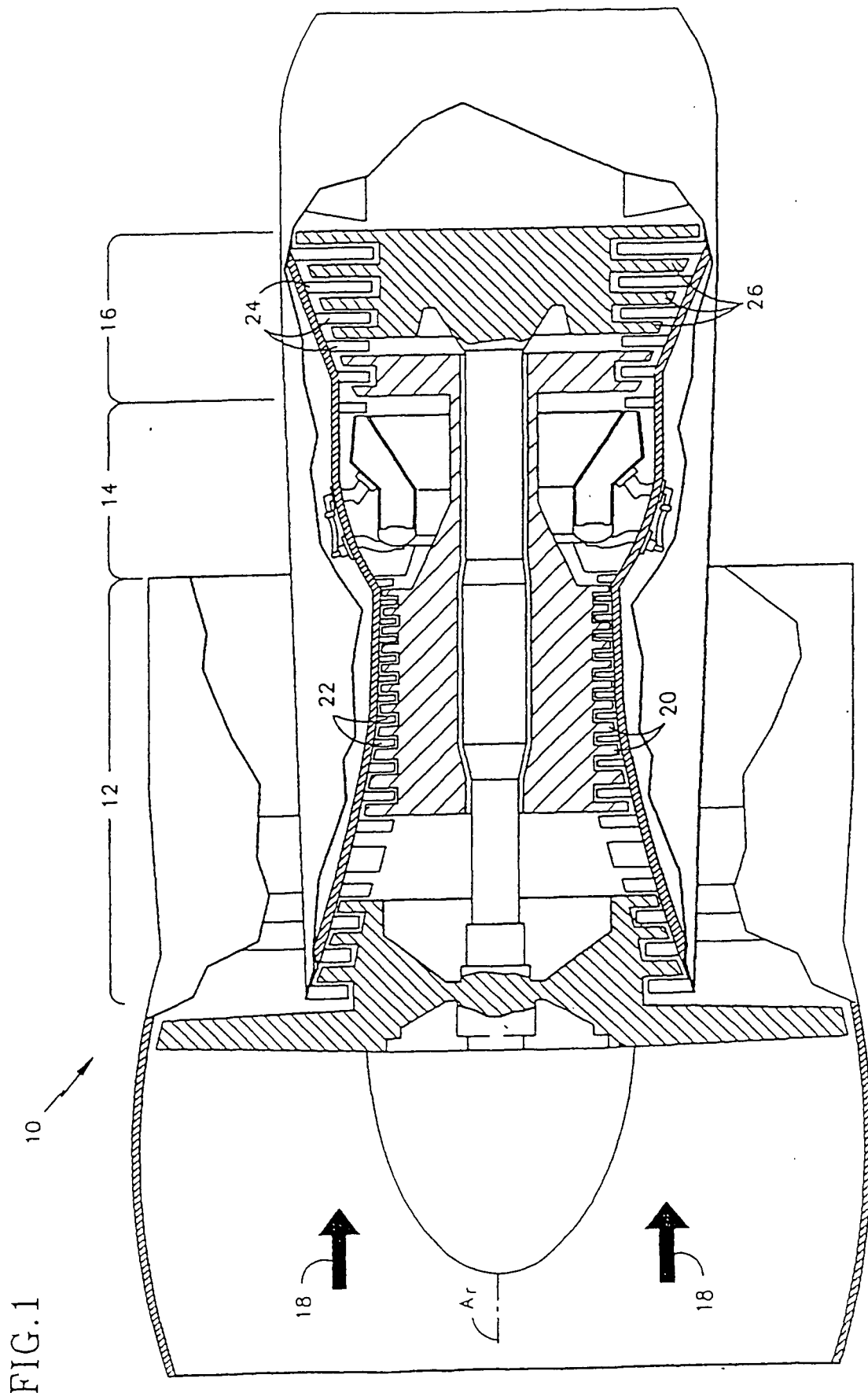
wobei die Einlasspassage (98) zu der Hinterkante (62) daran angepasst ist, Kühlluft von einer Quelle von Kühlluft bei einem zweiten Druck aufzunehmen, wobei die Expansionskammer (108) dem ersten Ende benachbart durch eine sich in Profilschienenrichtung erstreckende Wand (118) begrenzt ist, und dem Hinterkantenbereich benachbart durch eine Wand (120) begrenzt ist, die in Richtung zum Eingang der zweiten Passage (94) mit einem Winkel angeordnet ist,

wobei die fünfte Rippe (90) einen oberen Bereich (122) hat, der weg von dem Eingang der zweiten Passage (94) mit Winkel angeordnet ist,

wobei die Anordnung derart ist, dass unter Betriebsbedingungen der Kanal das Strömungsprofil angepasst macht, Kühlluft mit Teilchen unterschiedlicher Größen zu empfangen und die Strömung in Profilschienenrichtung lenkt, wobei die Strömung von Kühlluft die Teilchen in Richtung der zweiten Wand (106) in der Einlasspassage (102) drängt, um so auf die zweite Wand zu prallen und in Richtung zu der Expansionskammer gelenkt werden, wobei die Teilchen von den Wänden, welche die Expansionskammer (108) begrenzen, und dem oberen Bereich (122) der fünften Rippe (90) abprallen, so dass Impulseffekte die Strömung eines ersten Teils der Kühlluft und Teilchen an der vorderen Passage (92) vorbei lenken, in die zweite Passage (94) und durch die Spülöffnung (96) nach außen, während eine größere Strömung von Kühlluft in die vordere Passage (92) eingelassen wird, um Kühlluft in den Vorderkantenbereich (89)

des Strömungsprofils zu liefern.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen



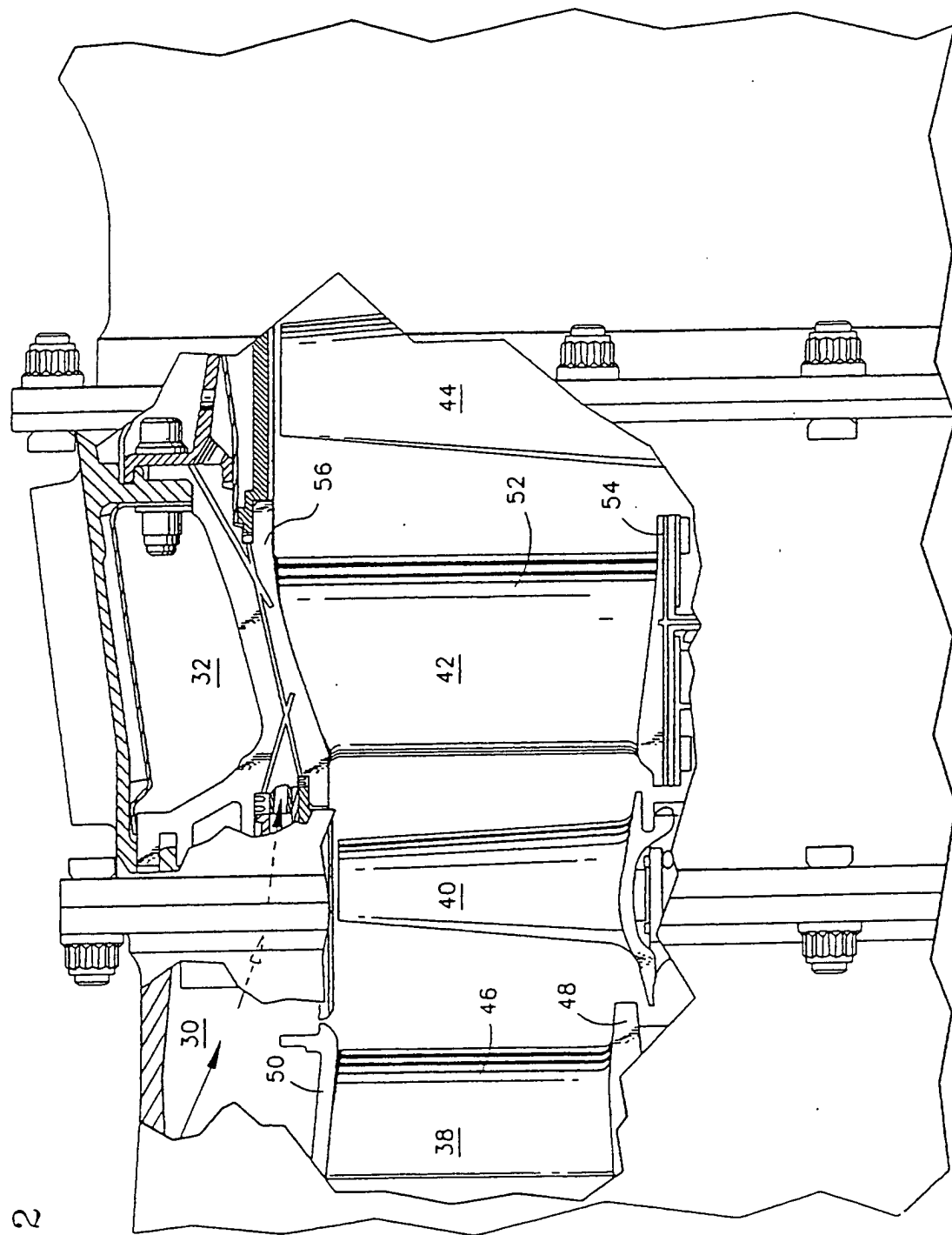


FIG. 2

