



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 600 19 376 T2 2006.01.26

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 072 757 B1

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

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 19 376.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 306 243.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **21.07.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **31.01.2001**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **13.04.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **26.01.2006**

(30) Unionspriorität:
360923 26.07.1999 US

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

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

(72) Erfinder:
**Reddy, Bhanu Mahasamudram, Box Ford,
Massachusetts 01921, US**

(74) Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(54) Bezeichnung: **Staubbeständige 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 eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

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

Beschreibung

[0001] Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind allgemein Gasturbinentriebwerke und speziell die Turbinenschaufelkühlung.

[0002] In Gasturbinentriebwerken wird Luft von einem Kompressor komprimiert und mit Brennstoff gemischt sowie in einer Brennkammer zur Erzeugung heißer Brenngase gezündet. Stromabwärts strömen die Gase durch Turbinenstufen, die ihnen Leistung entziehen, um den Kompressor anzutreiben und Nutzarbeit zu leisten, wie beispielsweise zum Antrieb eines Bläsers für den Vortrieb eines Luftfahrzeugs während des Flugs.

[0003] Zu den Turbinenstatorleitschaufeln und den Rotorschäufeln gehören hohle Schaufeln, durch die als Kühlmittel Kompressorluft geleitet wird. Die Schaufeln können ein oder mehrere Kühlkanäle haben, die sich radial oder in Längsrichtung erstrecken, um das Kühlmittel zu leiten. Zur Erhöhung des Wärmeübergangs und effizienteren Kühlung der Schaufeln können verschiedene Maßnahmen getroffen werden.

[0004] Jede Schaufel weist eine im Wesentlichen konkav druckseitige Seitenwand und eine gegenüber liegende, im Wesentlichen konvexe saugseitige Seitenwand auf, die an einander axial gegenüber liegenden vorn und hinten liegenden Kanten miteinander verbunden sind. Die Brenngase strömen über die beiden Seitenwände in stromabwärtigen Richtung und belasten diese mit unterschiedlichem Wärmeeintrag oder -last. Entsprechend sind die inneren Kühlkanäle speziell eingerichtet, um dem unterschiedlichen Kühlbedarf der Schaufel Rechnung zu tragen und die Betriebseffizienz zu verbessern.

[0005] Das Kühlmittel wird von der Schaufel durch verschiedene Öffnungen, wie beispielsweise Filmkühllöcher, abgegeben, die in längs gerichteten Reihen oder Spalten entlang der druckseitigen oder saugseitigen Seitenwand angeordnet sind sowie durch eine Reihe von Öffnungen oder Schlitzten an der nacheilenden Kante. Diese verschiedenen Öffnungen weisen eine geringe Größe auf und sind dazu eingerichtet, die Schaufel in ihrer Nachbarschaft lokal zu kühlen. Beispiele von Turbinenschaufeln dieser Bauart sind in der US-A-3045965 und US-A-5503529 beschrieben.

[0006] Das Kühlmittel wird von den Öffnungen mit einer minimalen Rückflussrate abgegeben, um die Einsaugung von Verbrennungsgasen zu vermeiden und es wird an jeder Öffnung das entsprechende Blasverhältnis limitiert, um die unerwünschte Abgabe von Luftstrahlen aus diesen zu vermeiden.

[0007] Die Abgabe von Kühlmittel durch die Öffnun-

gen beeinträchtigt die Kühlfähigkeit sowie die Gesamteffizienz des Triebwerks, weil sich das Kühlmittel mit den über die Schaufel strömenden Gasen mischt, die nachfolgend den Motor verlassen. Unterschiedliche Richtungen und Geschwindigkeiten des abgegebenen Kühlmittels und der Verbrennungsgase verursachen unerwünschte Mischverluste, die minimiert werden sollten.

[0008] Außerdem kann das von dem Kompressor abgegebene Kühlmittel feine Staubpartikel enthalten, die mit dem Kühlmittel durch die Schaufel laufen und mit diesem durch die Öffnungen abgegeben werden. Weil die Öffnungen klein sind ist es nicht gewünscht, dass sich in diesen Staub ansammelt, der ihre Größe weiter reduzieren oder den Kühlmittelfluss durch sie unterbrechen würde, was die gewünschte Kühlung nachteilig beeinflusst.

[0009] Entsprechend ist es gewünscht, eine Turbinenschaufel zu schaffen, deren Kühlung unempfindlich gegen Staubansammlung in den Kühlöffnungen ist.

[0010] Erfindungsgemäß ist eine Turbinenschaufel geschaffen, die erste und zweite an einer voreilenden und einer nacheilenden Kante miteinander verbundene Seitenwände aufweist, die sich von dem Fuß zu der Spitze in Längsrichtung erstrecken. Zwischen den Seitenwänden ist ein innerer Kühlkanal gebildet, um darin ein Kühlmittel zu leiten. Entlang der nacheilenden Kante erstreckt sich durch die erste Seitenwand eine Reihe in Längsrichtung voneinander beabstandeter Ejektionsschlitz, die mit dem Kühlkanal in Fluidverbindung stehen, um das Kühlmittel auf die nacheilende Kante zu ausströmen zu lassen. Einige der Schlitzte sind zwischen einer Steigungslinie und der Spitze angeordnet und in unterschiedlichen positiven und spitzen Ejektionswinkeln in Bezug auf die Steigungs- oder Anstelllinie geneigt. Außerdem sind einige der Schlitzte zwischen der Anstelllinie und dem Fuß angeordnet und in Bezug auf die Anstelllinie in einem Winkel von 0° oder einem positiven Winkel geneigt.

[0011] Die Erfindung ist gemeinsam mit bevorzugten und exemplarischen Ausführungsformen sowie in Verbindung mit weiteren Aufgaben und Vorzügen detaillierter, in der nachfolgenden detaillierten Beschreibung beschrieben, die in Verbindung mit den zugehörigen Zeichnungen zu verstehen ist, in denen:

[0012] [Fig. 1](#) eine ausschnittsweise Schnittdarstellung einer exemplarischen Gasturbinenrotorschäufel veranschaulicht, die Schaufelejektionsschlitz gemäß einer exemplarischen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung aufweist.

[0013] [Fig. 2](#) ist eine Radialschnittansicht durch die in [Fig. 1](#) veranschaulichte Schaufel, geschnitten ent-

lang der Linie 2-2.

[0014] [Fig. 3](#) ist eine vergrößerte ausschnittsweise Schnittdarstellung eines exemplarischen Ejektions-schlitzes, wie in [Fig. 1](#) veranschaulicht.

[0015] In [Fig. 1](#) ist eine Turbinenrotorschaufel **10** für eine Gasturbine exemplarisch veranschaulicht. Zu der Schaufel gehört ein Schaufelblatt **12**, das mit einer Plattform **14** und einem Schwalbenschwanz **16** in herkömmlicher Weise in Form eines Gussteils verbunden sind. Der Schwalbenschwanz **16** hält die Schaufel in einem komplementären Schwalbenschwanzschlitz, der an dem Umfang einer Rotscheibe ausgebildet ist.

[0016] Während des Betriebs wird Luft **18** in einem (nicht veranschaulichten) Kompressor anfangs verdichtet und mit Brennstoff gemischt sowie in einer (nicht veranschaulichten) Brennkammer gezündet, um heiße Brenngase **20** zu erzeugen, die stromabwärts in Turbinenstufen fließen, zu denen eine Reihe der Schaufeln **10** gehört. Die Schaufel ist hohl und nimmt einen Teil der verdichteten Luft **18** als Kühlmittel zur Kühlung der Schaufel während des Betriebs auf. Das Kühlmittel **18** wird auf geeignete Weise an die Unterseite des Schwalbenschwanzes geleitet und fließt dann radial durch diesen nach außen.

[0017] Wie in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) veranschaulicht, gehört zu der Schaufel **12** eine erste oder druckseitige Seitenwand **22**, die im Wesentlichen konkav ausgebildet ist und eine in Seiten- bzw. Umfangsrichtung gegenüber liegende zweite oder saugseitige Seitenwand **24**, die im Wesentlichen konvex ausgebildet ist, wobei sie miteinander an in Axialrichtung oder Sehnenrichtung einander gegenüber liegenden vorderen und hinteren Kanten **26**, **28** verbunden sind.

[0018] Die Schaufel weist eine Längs- oder Radialachse **30** auf, wobei sich die Schaufel entlang dieser von einem Fuß **32** zu einer Spitze **34** erstreckt. Die Plattform **14** definiert einen Teil eines radial inneren Strömungswegs für die Verbrennungsgase **20**, die während des Betriebs über die Schaufel strömen, wobei die Schaufel spitze **34** einem stationären Turbinenanstreifring (nicht dargestellt) benachbart angeordnet ist, der die aus den Schaufeln gebildete Reihe umgibt.

[0019] Die in [Fig. 1](#) veranschaulichte Schaufel enthält eine Steigungslinie **36**, die als der zwischen Fuß und Spitze mittlere Radialschnitt der Schaufel definiert ist, der rechtwinklig oder normal zu der Längsachse **30** gerichtet ist. Exemplarische Stromlinien des Verbrennungsgases **20** sind in [Fig. 1](#) über der druckseitigen Seitenwand **22** als, wenn sie außerhalb der Steigungslinie liegen, radial oder in Längsrichtung nach außen gerichtet und innerhalb der Steigungslinie als zu dem Fuß hin gerichtet dargestellt,

wenn sie im Wesentlichen in stromabwärtigen Richtung fließen.

[0020] Wie in der Draufsicht in [Fig. 1](#) und dem Schnitt in [Fig. 2](#) veranschaulicht, sind die beiden Seitenwände **22**, **24** zwischen der vorderen und der hinteren Kante seitlich voneinander beabstandet, wobei entsprechende Rippen oder Brücken zwischen ihnen ausgebildet sind, um einen inneren Kühlkanal oder Kreislauf **38** auszubilden, um die Kompressorzapfluft **18** als Kühlmittel zur Kühlung der Schaufel während des Betriebs zu kanalisieren.

[0021] Gemäß der vorliegenden Erfindung erstrecken sich eine Anzahl in Längsrichtung voneinander beabstandeter Ejektionsöffnungen oder -schlitze **40** in Sehnenrichtung durch die druckseitige Seitenwand **22** und einer bevorzugten Ausführungsform entlang der stromabwärtigen Kante. Die Ejektionsschlitz können jede geeignete Form haben, wie die flächen gleichen ovalen und in größerer Einzelheit in [Fig. 3](#) veranschaulichten Schlitz. Die Ejektionsschlitz stehen in Fluidverbindung mit dem internen Kühlkanal **38** zur Ausgabe von Kühlmittel auf die stromabwärtige Kante hin.

[0022] Jeder der in den [Fig. 1](#) und [Fig. 3](#) veranschaulichten Ejektionsschlitz **40** ist in Bezug auf die Steigungslinie **36** oder die Normale zu der Längsachse **30** mit einem Ejektionswinkel E geneigt, der die Richtung der Kühlmittelabgabe aus dem Ejektionsschlitz festlegt.

[0023] Wie in [Fig. 1](#) dargestellt, wandern die stellvertretend dargestellten Verbrennungsgasstromlinien in Bezug auf die Steigungslinie **36** radial nach außen und nach innen. Entsprechend sind einige der Ejektionsschlitz **40** zwischen der Steigungslinie **36** und der Schaufelblattspitze **34** in dem außen liegenden Teil der Schaufel angeordnet und in positivem Sinne in entsprechenden unterschiedlichen Ejektionswinkeln bezogen auf die Längsrichtung außerhalb der Steigungslinie **36** angeordnet. Bei der bevorzugten Ausführungsform sind die Ejektionswinkel für die außen liegenden Schlitz **40** spitz und im Wesentlichen an die Auswanderwinkel oder Neigungswinkel der Verbrennungsgasstromlinien entlang der druckseitigen Seitenwand angepasst, um Mischverluste zu vermeiden, wenn das abgegebene Kühlmittel **18** auf die an der Außenseite der Schaufel entlang fließenden Verbrennungsgase trifft.

[0024] Jedoch wandern die Verbrennungsgasstromlinien zwischen der Teilungslinie **30** und dem Schaufelfuß **32** in dem innenliegenden Bereich der Schaufel radial nach innen. Obwohl die innenliegenden Ejektionsschlitz **40** zur Anpassung an solche Stromlinien und zur Reduktion der Mischverluste geneigt sein könnten, ist dies im Hinblick auf Staub **42** unerwünscht, der mit der durch die Kühlkanäle geleit

teten Kühlluft mitgeführt werden könnte.

[0025] Spezieller sind die in größerer Einzelheit in [Fig. 3](#) veranschaulichten Ejektionsschlitz **40** relativ kleine Löcher, durch die das Kühlmittel **18** entlang der stromabwärtigen Kante abgegeben wird. Wenn die inneren Ejektionsschlitz **40** bezogen auf die Längsrichtung nach innen mit entsprechend negativem Ejektionswinkel **E** geneigt wären, könnte der mitgeführte Staub **42** sich in den Schlitz **40** ansammeln und deren Wirksamkeit reduzieren.

[0026] Entsprechend haben die in [Fig. 1](#) veranschaulichten, außerhalb liegenden Ejektionsschlitz positive Ejektionswinkel, während die innenliegenden, zwischen der Steigungslinie und dem Fuß angeordneten innenliegenden Ejektionsschlitz vorzugsweise wenigstens parallel, d.h. mit 0° zu der Steigungslinie und ohne bezüglich der Längsrichtung nach innen gerichteten Neigung oder negativen Ejektionswinkel gerichtet sind. Beispielsweise sind die innenliegenden Ejektionsschlitzwinkel vorzugsweise nicht größer als 10° , um deren Neigung radial nach innen zu verhindern.

[0027] Auf diese Weise kann jeder mit dem Kühlmittel mitgeführte Staub dem vorherrschenden Pfad durch den Kühlkanal und die Ejektionsschlitz folgen und er wird mit der Zentrifugalkraft, die durch die Drehung des Blatts erzeugt wird, durch die Ejektionsschlitz getrieben, wobei sich nichts oder wenig ablagert.

[0028] Wie in [Fig. 1](#) veranschaulicht, vermindern sich die Größen der Ejektionswinkel der Ejektionsschlitz **40** von der Spitze **34** zu der Steigungslinie **36**, um sich im Wesentlichen an die entsprechend verminderte Neigung der Bewegungsrichtung der Verbrennungsgasstromlinien anzupassen. Entsprechend haben die Ejektionswinkel der Schlitz zwischen der Steigungslinie und dem Fuß vorzugsweise kleinere Maße als die Ejektionswinkel außerhalb der Steigungslinie. Auf diese Weise können die Mischverluste der innenliegenden Ejektionsschlitz reduziert werden, wobei die staubunempfindliche Kühlfähigkeit mit reduzierter Staubablagerung beibehalten wird.

[0029] Bei einer bevorzugten Ausführungsform vermindert sich die Größe des Ejektionswinkels der Ejektionsschlitz **40** umgekehrt von der Spitze **34** zu der Steigungslinie **36** und dann zu dem Fuß **32**. Die Ejektionswinkelverminderung ist von Schlitz zu Schlitz vorzugsweise einheitlich, um die Mischverluste zu reduzieren während eine Widerstandsfähigkeit gegen Staubablagerung erhalten wird und um die Möglichkeit der Gussherstellung der anderweitigen Herstellung der Ejektionsschlitz an der stromabwärtigen Kante der Schaufel zu verbessern.

[0030] Außerdem hat bei einer bevorzugten Ausführungsform der Fußejektionsschlitz **40**, der dem Fuß **32** unmittelbar benachbart ist, einen minimalen Ejektionswinkel, wobei der Spitzenejektionsschlitz, der der Spitze **34** benachbart ist, einen maximalen Ejektionswinkel aufweist. Der minimale Ejektionswinkel ist vorzugsweise spitz und positiv, um den an innerster Stelle liegenden Ejektionsschlitz **40** von dem Fuß weg in Längsrichtung nach außen zu richten, um die Staubunempfindlichkeit ohne signifikante Mischverluste sicher zu stellen.

[0031] In der in [Fig. 1](#) veranschaulichten speziellen Ausführungsform beträgt der maximale Ejektionswinkel an dem äußersten Ejektionsschlitz an der Schaufel spitze ungefähr 10° und der minimale Ejektionswinkel an dem innersten Ejektionsschlitz beträgt ungefähr 2° . Außerdem vermindern sich die Ejektionswinkel von Schlitz zu Schlitz zwischen Spitze und Fuß um ungefähr 1° , wobei insgesamt neun entsprechende Ejektionsschlitz vorhanden sind.

[0032] Außerdem ist der Kühlkanal **38** bei der in [Fig. 1](#) veranschaulichten bevorzugten Ausführungsform serpentinartig ausgebildet und enthält wenigstens einen Durchgang oder Zweig, der sich in Längsrichtung der stromabwärtigen Kante **28** benachbart nach außen erstreckt, um das Kühlmittel **18** direkt und parallel an die Reihe der Ejektionsschlitz **40** zu liefern. Der Serpentinakanal **38** enthält zusätzliche erste und zweite Durchgänge oder Zweige, die vor dem letzten oder dritten Zweig angeordnet sind. Der erste Zweig ist vorzugsweise direkt hinter der stromaufwärtigen Kante **26** der Schaufel angeordnet, wobei eine Wendestelle an der Spitze der Schaufel ausgebildet ist, um die Strömung durch den zweiten Zweig radial nach innen zu leiten, der sich entlang der Mittellinie radial nach innen erstreckt. Eine Umkehrstelle an der Plattform lenkt dann das Kühlmittel radial nach außen in den dritten und letzten Serpentinenzweig um.

[0033] Weil der Staub **42** eine Masse aufweist, unterliegt er nicht nur an den Umkehrstellen zwischen den verschiedenen Zweigen der Serpentine sondern auch in Folge der Drehung der Schaufel während des Betriebs einer Zentrifugalkraft. Das Kühlmittel **18**, das somit den dritten Serpentinenzweig nahe der stromabwärtigen Kante an dem Plattfuß erreicht und radial nach außen fließt, wird mit jedem darin enthaltenen Staub **42** zentrifugiert. Durch die Neigung der Ejektionsschlitz bezogen auf die Längsrichtung nach außen kann die Zentrifugalkraft dazu genutzt werden, den Vortrieb des mitgenommenen Staubs durch die Ejektionsschlitz ohne Stau in diesen zu fördern, um die Staubansammlung während des Betriebs zu vermindern. Durch Vermeidung negativer Ejektionswinkel an den innenliegenden Ejektionsschlitz **40** wird das Kühlmittel und jeder mitgenommene Staub an einer Umkehr der vorherrschenden

Richtung gehindert, wenn er durch die Ejektionsschlitzeströmt, wodurch die Staubansammlung darin gemindert wird.

[0034] Wie in [Fig. 1](#) allgemein und spezieller in [Fig. 3](#) veranschaulicht ist, wirkt jeder Ejektionsschlitz **40** mit einem entsprechenden Trog **44** zusammen, wobei diese unmittelbar der stromabwärtigen Kante benachbart in einer Reihe oder Säule angeordnet sind. Die Säule der Tröge ist in der druckseitigen Seitenwand **22** entlang der stromabwärtigen Kante angeordnet. Jeder Trog weist eine Vorderwand maximaler Tiefe auf, durch die sich das auslassseitige Ende des entsprechenden Ejektionsschlitzes erstreckt, wobei sich der Einlass des Ejektionsschlitzes durch das Schaufelblatt nach innen zu dem Kühlkanal **38** erstreckt. Jeder Trog **44** weist Seitenwände mit abnehmender Tiefe auf, um die Tröge stromabwärtig in die stromabwärtige Kante **38** übergehen zu lassen. Die Seitenwände jedes Trogs divergieren bezogen auf die Radialrichtung von einander, um das von den einzelnen Ejektionsschlitzten **40** abgegebene Kühlmittel zu verteilen.

[0035] Die Tröge **44** können jede konventionelle Form aufweisen, die mit den entsprechenden Ejektionsschlitzten **40** zusammenwirkt. Die Ejektionsschlitzte und Tröge sind vorzugsweise in der druckseitigen Seitenwand **22** der Schaufel angeordnet, weil die Wärmebelastung der Verbrennungsgase typischerweise an der druckseitigen Seitenwand größer ist als an der saugseitigen Seitenwand.

[0036] Die oben geoffneten Ejektionsschlitzte können dazu genutzt werden, den Ejektionswinkel des Kühlmittels, das von ihnen abgegeben wird, besser an die lokale Neigung der Verbrennungsgaststromlinien anzupassen, um Mischverluste zu vermindern. Die Ejektionswinkel variieren vorzugsweise nicht nur, um an die Winkel der Stromlinien angepasst zu werden sondern auch, um die Staubansammlung in den Ejektionsschlitzten zu vermindern. Im Hinblick auf die oben geoffneten spezielle Geometrie sind negative Ejektionswinkel im Hinblick auf Staubansammlung unerwünscht. Die oben beschriebene Einführung individuell unterschiedlicher Ejektionswinkel von der Spitze zu dem Fuß reduziert Mischverluste bei Verbesserung der Staubunempfindlichkeit.

[0037] Die individuell geneigten Ejektionswinkel können bei anderen Typen von Turbinenschaufeln mit unterschiedlich konfigurierten inneren Kühlkanälen angewendet werden. Außerdem können die Ejektionsschlitzte bei stationären Turbinenleitschaufeln vorteilhaft verwendet werden, obwohl solche Schaufeln keinen Fliehkräften in Folge von Rotation unterworfen sind.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (**12**) enthaltend: erste und zweite Seitenwände (**22**, **24**), die an den Vorder- und Hinterkanten (**26**, **28**) miteinander verbunden sind und sich longitudinal von einem Fuss (**32**) zur Spitze (**34**) mit einer Steigungslinie (**36**) dazwischen erstrecken, wobei die Seitenwände zwischen den Vorder- und Hinterkanten im Abstand angeordnet sind, um dazwischen einen internen Kühlkreis (**38**) zum Leiten eines Kühlmittels zu bilden, und eine Spalte von longitudinal im Abstand angeordneten Ejektionsschlitzten (**40**), die sich entlang der Hinterkante durch die erste Seitenwand (**22**) erstrecken und in Strömungsverbindung mit dem Kühlkreis angeordnet sind, um das Kühlmittel in Richtung auf die Hinterkante abzugeben, wobei einige der Schlitzte (**40**) zwischen der Steigungslinie (**40**) und der Spitze (**34**) angeordnet sind und in unterschiedlichen positiven und spitzen Winkeln (**E**) in Bezug auf die Steigungslinie geneigt sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass einige der Schlitzte zwischen der Steigungslinie und der Fuss angeordnet sind und unter einem Null- oder positiven Winkel (**E**) in Bezug auf die Steigungslinie geneigt sind.

2. Schaufel nach Anspruch 1, wobei die Schlitzte (**40**) von der Spitze (**34**) bis zur Steigungslinie (**36**) im Ejektionswinkel abnehmen.

3. Schaufel nach Anspruch 2, wobei die Ejektionswinkel zwischen der Steigungslinie (**36**) und dem Fuss (**32**) kleiner sind als die Ejektionswinkel aussen von der Steigungslinie.

4. Schaufel nach Anspruch 3, wobei die Schlitzte (**40**) von der Spitze (**34**) bis zum Fuss (**32**) der Reihe nach im Ejektionswinkel abnehmen.

5. Schaufel nach Anspruch 4, wobei die Ejektionswinkel der Reihe nach von Schlitz zu Schlitz gleichförmig abnehmen.

6. Schaufel nach Anspruch 3, wobei jeder Ejektionsschlitz (**40**) neben dem Fuss (**32**) einen minimalen Ejektionswinkel hat, und der Schlitz neben der Spitze (**34**) einen maximalen Ejektionswinkel hat.

7. Schaufel nach Anspruch 6, wobei der minimale Ejektionswinkel spitz ist, um den Schlitz (**40**) von dem Fuss (**32**) longitudinal nach aussen zu neigen.

8. Schaufel nach Anspruch 7, wobei der maximale Ejektionswinkel 10° beträgt und der minimale Ejektionswinkel 2° beträgt und die Ejektionswinkel um 1° von der Spitze (**34**) bis zum Fuss (**32**) abnehmen.

9. Schaufel nach Anspruch 3, wobei der Kühlkreis (**38**) serpentinenförmig ist und einen letzten

Gang neben der Hinterkante (**28**) hat, um das Kühlmittel in die Injektionsschlitz (**40**) einzuführen, und zusätzliche Gänge davor angeordnet sind.

10. Schaufel nach Anspruch 9, wobei ferner eine Spalte von divergenten Wannen (**44**) vorgesehen ist, die in der ersten Seitenwand (**22**) entlang der Hinterkante (**28**) angeordnet sind, und entsprechende Ejektionsschlitz in Strömungsverbindung damit angeordnet sind, um Kühlmittel in diese abzugeben.

11. Schaufel nach Anspruch 10, wobei die erste Seitenwand (**22**) eine im allgemeinen konkave Druckseitenwand ist und die zweite Seitenwand (**24**) eine im allgemeinen konvexe Saugseitenwand ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

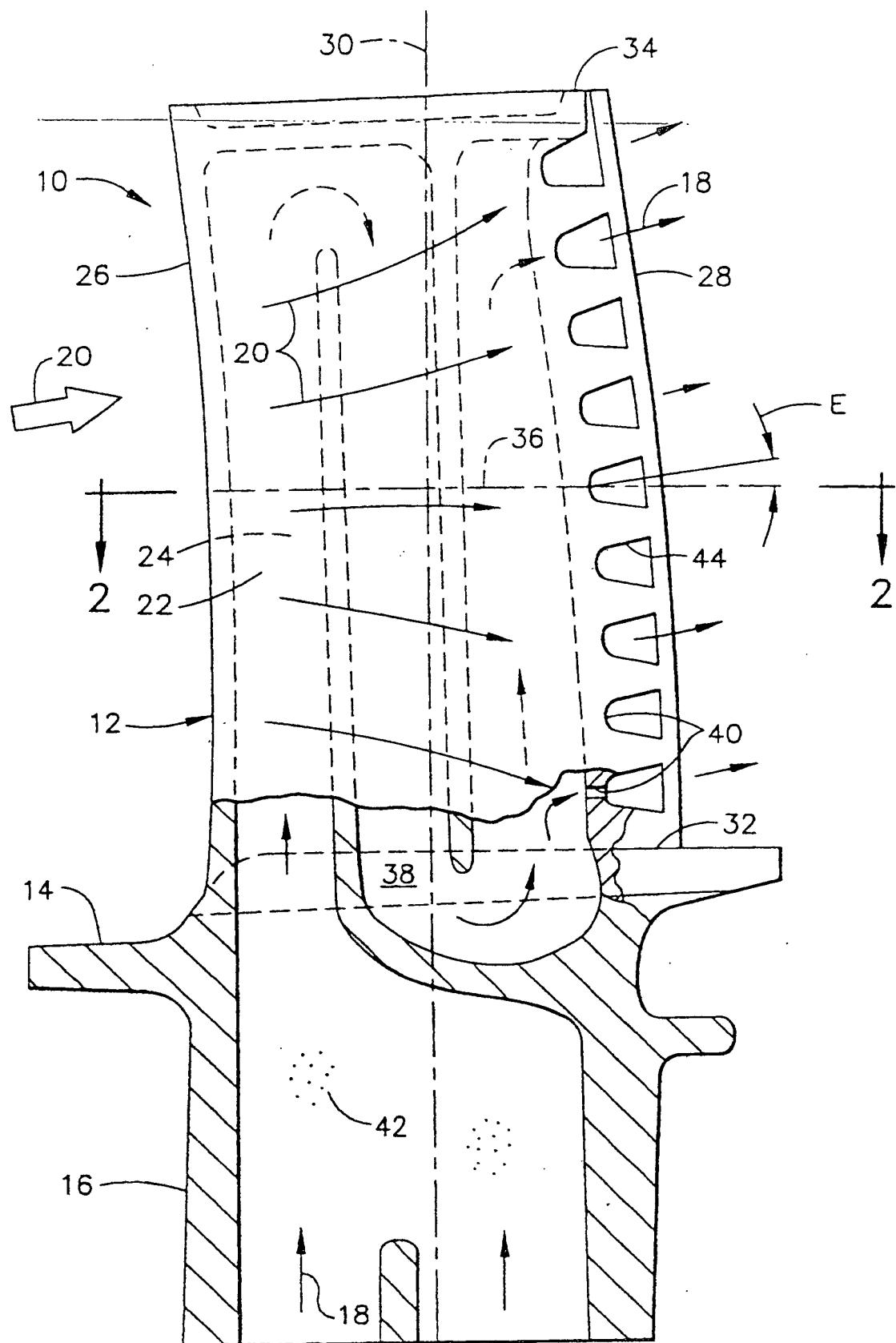


FIG. 1

