



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 18 977 T2** 2009.02.05

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 394 358 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 18 977.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 255 403.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **29.08.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.03.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **06.02.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.02.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F01D 5/08** (2006.01)  
**F01D 5/32** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**231420                      29.08.2002                      US**

(73) Patentinhaber:

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

(74) Vertreter:

**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**Dougherty, James Steven, Mason, Ohio 45040, US;  
Barrera, Domingo Resendez, Cincinnati, Ohio  
45241, US; Brown, Jeffrey Louis, Mason, Ohio  
45040, US**

(54) Bezeichnung: **Kühlung des Randes einer Gasturbinenrotorscheibe mit abgeschrägten Nuten**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

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

## Beschreibung

**[0001]** Diese Erfindung betrifft die Kühlung von Turbinenrotorscheiben und Schaufeln von Gasturbinentriebwerken bei denen Kühlluft zu einem Schwalbenschwanzschlitz befördert wird, der einen Schaufelfuß in einem Kranz einer rotierenden Turbinenscheibe aufnimmt, und insbesondere einen Kühlluftschlitz, der Kühlluft zu dem Schwalbenschwanzschlitz richtet.

**[0002]** In Gasturbinentriebwerken wird Brennstoff innerhalb einer Brennkammer verbrannt, um heiße Verbrennungsgase zu erzeugen. Die Gase expandieren innerhalb eines Turbinenabschnitts, wobei sie eine Gastströmung über alternierende Reihen von stationären Statorleitschaufeln und Turbinenrotorschaukeln erzeugen, um Nutzleistung zu erzeugen. Die Gastströmungstemperaturen an den Anfangsreihen von Leitschaufeln und Laufschaufeln übersteigen gewöhnlich 2000 Grad Fahrenheit. Die Leitschaufeln und Laufschaufeln, die für eine Beschädigung durch die heiße Gasströmung anfällig sind, werden durch stromaufwärts innerhalb des Triebwerks verdichtete und zu den Turbinenkomponenten geleitete Luft gekühlt. Ein Verfahren zur Kühlung rotierender Turbinenscheibenanordnungen, die an Scheibenkränze befestigte Laufschaufeln aufweisen, injiziert Kühlluft aus stationären Hohlräumen innerhalb des Triebwerks zu einer Scheibenanordnung, um sie im Innern der Turbinenlaufschaufeln zu verteilen. Eine Kühlluftinjektionsdüse ist eine allgemein bekannte Vorrichtung, die zur Aufnahme verdichteter Luft von einem Verdichter des Triebwerks und zur Injektion von Kühlluft durch in Umfangsrichtung in Abstand zueinander angeordnete Kanäle verwendet wird, die eine Verwirbelungsbewegung erteilen und einen injizierten Kühlluftstrom tangential zu der rotierenden Turbinenscheibenanordnung richten. Eine typische Turbinenscheibenanordnung weist Turbinenlaufschaufeln, die an den Kränzen der Laufscheibe angebracht sind, und eine Scheibenseitenplatte auf, die an einer vorderen oder hinteren Stirnfläche der Scheibe angebracht ist, so dass ein Kühlluftkanal zwischen der Platte und der Scheibe gebildet ist. Die Platte wird auch verwendet, um die Laufschaufeln in Schwalbenschwanzschlitzen in dem Kranz der Scheibe zu halten und um eine oder mehrere rotierende Dichtungen zu tragen. Um diese Funktionen zu erfüllen, ist die Seitenplatte gewöhnlich axial eingespannt und radial durch die Scheibe in der Nähe des Kranzes oder an einem Steg gestützt, wo die Spannungsfelder typischerweise hoch sind. Im Falle, wenn eine Scheibenseitenplatte innere und äußere rotierende Dichtungen trägt oder wenn der äußere Abschnitt der Scheibenseitenplatte eine größere radiale Abstützung erfordert, könnte ein Mittel zur axialen Halterung und radialen Stützung auch an einer niedrigeren radial inneren Stelle der Scheibe erforderlich sein.

**[0003]** Die Schwalbenschwanzschlitze sind zwischen Pfosten der Kränze in Umfangsrichtung angeordnet. Kühlluft strömt durch sich radial erstreckende Kühlluftschlitze in dem Kranz zwischen den Pfosten oder zwischen Schaufelhalterflanschen der Pfosten. Die Kühlluftschlitze erstrecken sich bis zu den Schwalbenschwanzschlitzen und leiten auf diese Weise Kühlluft in die Schwalbenschwanzschlitze hinein, durch welche die Kühlluftkanäle in den Turbinenlaufschaufeln die Kühlluft aufnehmen. Die Kühlluftschlitze sind gewöhnlich in dem Scheibenkranz und in einen Umfangsspannungspfad der Scheibe eingefräst. Spannungserhöhungen in diesem Bereich beeinflussen wesentlich die Gesamtlebensdauer des Teils aufgrund der Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl. Aufgrund der in diesem Bereich beobachteten hohen Spannungskonzentrationen, ist die Form des Kühlluftschlitzes extrem anfällig für kleine Schwankungen der Tiefe, des Radius, der Lage und seiner Gesamtanordnung in Bezug auf das Spannungsfeld.

**[0004]** Der Luftschlitz wird typischerweise durch Fräsen eines geraden Schlitzes in der radialen Richtung hergestellt. Solch eine Kühlluftschlitzkonstruktion weist Spitzenspannungen in einer Übergangsfläche, an oberen und unteren Durchbruchstellen und an einer Bruchkante des Schwalbenschwanzschlitzbodens auf. Es ist unerwünscht, Spitzenspannungen in der Übergangsfläche oder an den Durchbruchstellen zu haben, weil diese Stellen während des Herstellungsprozesses schwer zu vermessen und zu steuern sind. Dies kann zu einer unstabilen Konstruktion führen, weil sie sehr empfindlich auf geringe Herstellungsschwankungen reagiert. Ferner führt die hohe Spitzenspannung in diesen Bereichen aufgrund der Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl zu einer geringen Lebensdauer.

**[0005]** In einigen Triebwerken kann der Kühlluftschlitz das die Lebensdauer begrenzende Merkmal des Teils bilden. Beispielsweise weisen die Triebwerksmodelle CFM56 -5B, -5C und -7 einige berechnete die Lebensdauer begrenzende Merkmale in der HDT-Scheibe auf. Es besteht der Wunsch, die Lebensobergrenze in einem solchen Triebwerk auf vielleicht 20000 Zyklen oder mehr zu erhöhen. Es ist sehr wünschenswert, eine Kühlluftschlitzkonstruktion mit verbesserter Dauerhaftigkeit zu haben und eine, die eine wesentliche Verlängerung der Gesamtlebensdauer des Schlitzes bewirkt und die Anfälligkeit für die Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl reduziert.

**[0006]** EP 0 814 233 beschreibt eine Rotorscheibe eines Gasturbinentriebwerks mit Kanälen zur Zuführung von Kühlluft.

**[0007]** US 5 816 776 beschreibt eine Labyrinth-scheibe mit einer eingebauten Versteifungseinrichtung für einen Turbomaschinenrotor.

**[0008]** Gemäß der vorliegenden Erfindung enthält eine Gasturbinentriebwerks-Rotorscheibenanordnung eine Scheibe, die eine einer Mittellinie umschriebene ringförmige Nabe aufweist, wie dies in beigefügtem Anspruch 1 definiert ist. Die Scheibe weist einen sich radial von der Nabe aus nach außen erstreckenden ringförmigen Steg und einen auf dem radial äußeren Ende des Steges angeordneten ringförmigen Kranz auf. Mehrere Schwalbenschwanzschlitze erstrecken sich im Wesentlichen axial durch den Kranz hindurch. Mehrere Kühlluftschlitze erstrecken sich im Wesentlichen radial durch den Kranz hindurch und sind in Umfangsrichtung in Bezug auf die Mittellinie schräg und axial nach hinten gerichtet in Bezug auf einen Normalradius (NR) senkrecht zu der Mittellinie geneigt.

**[0009]** In der hierin dargestellten beispielhaften Ausführungsform weist jeder Kühlluftschlitz parallele Seitenwände, die in Umfangsrichtung in Bezug auf die Mittellinie schräg verlaufen, und eine Rückwand auf, die sich zwischen den Seitenwänden erstreckt und axial nach hinten gerichtet in Bezug auf den senkrecht zu der Mittellinie verlaufenden Normalradius (NR) geneigt ist. Es ist ein Übergang zwischen jeder der Seitenwände und der Rückwand ausgebildet. Jeder Übergang weist einen Übergangkrümmungsradius auf. Die Rückwand ist gekrümmt und weist einen Wandkrümmungsradius auf. Der Wandkrümmungsradius ist in etwa gleich einer Breite des Kühlluftschlitzes zwischen den Seitenwänden. Der Wandkrümmungsradius ist ungefähr vier Mal größer als der Übergangkrümmungsradius. Die Seitenwände sind in Umfangsrichtung in etwa um 5° in Bezug auf die Mittellinie schräg ausgerichtet, und die Rückwand ist axial nach hinten gerichtet um etwa 18° in Bezug auf den zur Mittellinie senkrecht verlaufenden Normalradius geneigt.

**[0010]** Der axial zurückgeschnittene und in Umfangsrichtung geneigte Kühlluftschlitz verringert die Spannung in dem Luftschlitz, um die Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl zu verringern und die Gesamtlebensdauer der Scheibe zu verbessern. Der axial zurückgeschnittene und in Umfangsrichtung geneigte Kühlluftschlitz kann aufgrund einer Verringerung der Anfälligkeit für Herstellungsschwankungen durch Verlagerung der Spitzenspannung zu der hinteren Wand des Luftschlitzes eine robustere Konstruktion ergeben.

**[0011]** Die vorstehend genannten Aspekte und weitere Merkmale der Erfindung sind in der folgenden Beschreibung erläutert, die in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen angegeben ist:

**[0012]** [Fig. 1](#) zeigt eine ausschnittsweise axiale Querschnittsansicht eines Teils des Turbinenabschnitts eines Gasturbinentriebwerks, das eine beispielhafte Ausführungsform einer Turbinenscheibe

mit in Umfangsrichtung schräg und axial nach hinten geneigten Kühlluftschlitzen aufweist.

**[0013]** [Fig. 2](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines in [Fig. 1](#) dargestellten Abschnitts der Turbinenscheibe.

**[0014]** [Fig. 3](#) zeigt eine radial nach innen gerichtete perspektivische Ansicht eines Teils eines Kranzes des in [Fig. 2](#) dargestellten Abschnitts der Turbinenscheibe.

**[0015]** [Fig. 4](#) zeigt eine vergrößerte axiale Querschnittsansicht des Kranzes der in [Fig. 1](#) dargestellten Turbinenscheibe.

**[0016]** [Fig. 5](#) zeigt eine radial nach innen gerichtete Draufsicht auf einen der in [Fig. 3](#) dargestellten Kühlluftschlitze.

**[0017]** In [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist eine beispielhafte Ausführungsform einer Scheibe **12** in einer Gasturbinentriebwerks-Rotorscheibenanordnung **10** dargestellt. Die Scheibe **12** enthält eine einer Mittellinie **16** umschriebene ringförmige Nabe **14**. Ein ringförmiger Steg **18** erstreckt sich radial von der Nabe **14** aus nach außen, und ein ringförmiger Kranz **22** ist auf einem radial äußeren Ende **24** des Stegs angeordnet. Der Kranz **22** erstreckt sich axial nach hinten und nach vorne über den Steg **18** hinaus. Mehrere Schwalbenschwanzschlitze **30** erstrecken sich im Wesentlichen axial durch den Kranz **22** hindurch, wobei sie zwischen einander Scheibenpfosten **23** bilden. Mehrere Kühlluftschlitze **32** erstrecken sich im Wesentlichen radial durch den Kranz **22** hindurch vor dem Steg **18** und sind in Umfangsrichtung in Bezug auf die Mittellinie **16**, wie in den [Fig. 3](#) und [Fig. 5](#) dargestellt, schräg und axial nach hinten gerichtet in Bezug auf einen Normalradius NR senkrecht zu der Mittellinie **16**, wie in [Fig. 4](#) dargestellt, geneigt.

**[0018]** In [Fig. 3](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) ist eine beispielhafte Ausführungsform eines der Kühlluftschlitze **32** dargestellt, der parallele Seitenwände **36** aufweist, die in Umfangsrichtung in Bezug auf die Mittellinie **16** geneigt sind, wie dies durch den Neigungswinkel **100** zwischen einer Mittellinie **94** des Kühlluftschlitzes **32** und der Mittellinie **16** veranschaulicht ist. Eine sich zwischen den Seitenwänden erstreckende Rückwand **38** ist axial nach hinten gerichtet in Bezug auf den Normalradius NR geneigt, der senkrecht zu der Mittellinie ausgerichtet ist, wie dies durch einen Neigungswinkel **102** zwischen der Rückwand **38** und dem Normalradius NR veranschaulicht ist, wie er in [Fig. 4](#) veranschaulicht ist. Ein Übergang **42** ist zwischen jeder Seitenwand **36** und der Rückwand **38** ausgebildet. Jeder Übergang weist einen Übergangkrümmungsradius FR auf. Die Rückwand **38** ist gekrümmt und weist einen Wandkrümmungsradius WR auf.

[0019] In der hierin dargestellten beispielhaften Ausführungsform sind die Kühlluftschlitze **32** und die Seitenwände **36** in Umfangsrichtung in etwa um  $5^\circ$ , den Wert des Neigungswinkels **100**, in Bezug auf die Mittellinie **16** schräg angeordnet, und die Rückwand **38** ist axial nach hinten gerichtet um etwa  $18^\circ$ , den Wert des Neigungswinkels **102**, in Bezug auf den senkrecht zur Mittellinie **16** verlaufenden Normalradius NR geneigt ausgerichtet. Der Wandradius WR ist in etwa gleich einer Weite W des Kühlluftschlitzes **32** zwischen den Seitenwänden **36**. Der Wandkrümmungsradius WR ist ungefähr vier Mal größer als der Übergangkrümmungsradius FR.

[0020] Erneut Bezug nehmend auf [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist die Scheibe **12** zur Verwendung in einer Gasturbinentriebwerks-Rotorscheibenanordnung **10** konstruiert, die die Scheibe und eine ringförmige Abdeckplatte **40** enthält, die axial vor dem Steg **18** angeordnet ist. Die ringförmige Abdeckplatte **40** steht mit der Scheibe **12** in Eingriff und dichtet gegen die Scheibe **12** an radial voneinander beabstandeten radial inneren und äußeren Stellen **44** und **46** der Anordnung ab, wobei sie einen ringförmigen Strömungskanal **50** zwischen der Scheibe und der Platte zwischen den Stellen bildet. Kühlluft **54** tritt in den Strömungskanal **50** durch die Löcher **56** in der Platte **40** ein und strömt radial nach außen in Richtung des Kranzes **22**. Eine Bajonettkombi-Verbindung **58** sichert die Platte **40** an der Scheibe **12** an der äußeren Stelle **46**. Eine verschraubte Verbindung **60**, die durch die Schraubenlöcher **63** in der Platte **40** und einen Flansch **65** eines Fortsatzes **67** der Scheibe **12** angezeigt ist, sichert die Platte **40** an der Scheibe **12** an der inneren Stelle **44**.

[0021] Die Bajonettkombi-Verbindung **58** enthält Kranzvorsprünge **64** (siehe auch [Fig. 4](#)), die in Umfangsrichtung um den Kranz **22** herum angeordnet sind und sich von einem vorderen Ende **66** des Kranzes axial nach innen erstrecken. Die Kühlluftschlitze **32** erstrecken sich zwischen wenigstens einigen von den Randvorsprüngen **64**. Plattenvorsprünge **68** erstrecken sich von der Platte **40** aus an der äußeren Stelle **46** radial nach außen. Während der Montage wird die Platte **40** gedreht, wobei die Plattenvorsprünge **68** mit den Randvorsprüngen **64** in Eingriff kommen und die Platte an der Scheibe **12** sichern. Radial innere und äußere Dichtungsverzahnungen **90** und **92** erstrecken sich radial nach innen von Stellen radial innen und außen von den Löchern **56** in der Platte **40** aus.

[0022] Die Kühlluftschlitze **32** schaffen einen Fluidkanal für die Leitung der Kühlluft **54** von dem ringförmigen Strömungskanal **50** zu den Schwalbenschwanzschlitzen **30**, von wo aus sie zu den Turbinenschaufeln **57** befördert wird, die quer durch einen Turbinenströmungspfad **62** angeordnet sind. Die Turbinenlaufschaufeln **57** sind mit Schwalbenschwanz-

füßen **59** in den Schwalbenschwanzschlitzen **30** montiert. Die Kühlluftschlitze **32** erzielen ein radiales Pumpen der Kühlluft aufgrund der Zentrifugalkraft von dem ringförmigen Strömungskanal **50** zu den Schwalbenschwanzschlitzen **30**. Die Kühlluft **54** strömt von den Schwalbenschwanzschlitzen **30** durch Kühlluftkanäle **61** in den Laufschaufeln **57** und wird in den Turbinenströmungspfad ausgelassen. Ein Druckunterschied zwischen dem Kühlluftkanal **61** und dem Turbinenströmungspfad **62**, über dem die Laufschaufeln **57** angeordnet sind, liefert eine zusätzliche Strömung der Kühlluft **54** von dem ringförmigen Strömungskanal **50** zu den Schwalbenschwanzschlitzen **30**.

[0023] Der axial hinterschnittene und in Umfangsrichtung geneigte Kühlluftschlitz mindert die Spannung in dem Luftschlitz, um die Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl zu reduzieren und die Gesamtlebensdauer der Scheibe zu verbessern. Der axial zurück geschnittene und in Umfangsrichtung geneigte Kühlluftschlitz kann aufgrund einer Verringerung der Anfälligkeit für Herstellungsschwankungen durch Verschiebung der Spitzenspannung zu der Rückwand des Luftschlitzes eine widerstandsfähigere Konstruktion schaffen. Die untere Stelle des Schwalbenschwanzschlitzes stellt ferner eine leichter zu vermessende Stelle an dem Luftschlitz dar und wird deshalb weniger wahrscheinlich bei einer Maßhaltigkeitsprüfung übersehen.

### Patentansprüche

1. Gasturbinentriebwerks-Rotorscheibe (**12**), aufweisend:  
eine einer Mittellinie (**16**) umschriebene ringförmige Nabe (**14**);  
einen sich radial von der Nabe (**14**) nach außen erstreckenden ringförmigen Steg (**18**);  
einen auf dem radial äußeren Ende (**24**) des Steges (**18**) angeordneten ringförmigen Kranz (**22**);  
mehrere sich im Wesentlichen axial durch den Kranz (**22**) hindurch erstreckende Schwalbenschwanzschlitze (**30**);  
mehrere sich im Wesentlichen radial durch den Kranz (**22**) hindurch erstreckende Kühlluftschlitze (**32**);  
und **dadurch gekennzeichnet**, dass:  
die Kühlluftschlitze (**32**) in Umfangsrichtung in Bezug auf die Mittellinie (**16**) schräg und axial nach hinten gerichtet in Bezug auf einen Normalradius (NR) senkrecht zu der Mittellinie (**16**) geneigt sind.

2. Scheibe (**12**) nach Anspruch 1, wobei jeder von den Kühlluftschlitzen (**32**) parallele Seitenwände (**36**), die in Umfangsrichtung in Bezug auf die Mittellinie (**16**) schräg sind, und eine Rückwand (**38**) enthält, die sich zwischen den Seitenwänden (**36**) erstreckt und axial nach hinten gerichtet in Bezug auf den Normalradius (NR) zu der Mittellinie (**16**) geneigt ist.

3. Scheibe (12) nach Anspruch 2, ferner aufweisend:  
einen Übergang (42) zwischen jeder von den Seitenwänden (36) und der Rückwand (38), wobei jeder Übergang (42) einen Übergangkrümmungsradius (FR) besitzt,  
wobei die Rückwand (38) gekrümmt ist und einen Wandkrümmungsradius (WR) besitzt und  
der Wandradius (WR) in etwa gleich einer Breite (W) des Kühlluftschlitzes (32) zwischen den Seitenwänden (36) ist.

4. Scheibe (12) nach Anspruch 2, wobei die Seitenwände (36) in Umfangsrichtung in etwa 5° in Bezug auf die Mittellinie (16) schräg sind und die Rückwand (38) axial nach hinten gerichtet etwa 18° in Bezug auf den Normalradius (MR) zur Mittellinie (16) geneigt ist.

5. Scheibe (12) nach Anspruch 2, ferner aufweisend:  
Kranzvorsprünge (64), die in Umfangsrichtung um den Kranz herum angeordnet sind und sich radial nach innen gerichtet von einem vorderen Ende (66) des Kranzes aus erstrecken, und wobei sich die Kühlluftschlitze (32) zwischen wenigstens einigen von den Kranzvorsprüngen (64) erstrecken.

6. Gasturbinentriebwerks-Rotorscheibenanordnung (10), aufweisend:  
eine Gasturbinentriebwerks-Rotorscheibe (12) nach Anspruch 1; und  
eine ringförmige Abdeckplatte (40), die axial vor dem Steg (18) angeordnet ist und mit der Scheibe (12) an radial beabstandeten radial inneren und äußeren Stellen (44 und 46) der Anordnung in Eingriff stehend einen ringförmigen Strömungskanal (50) zwischen der Scheibe und der Platte zwischen den Stellen ausbildet.

7. Anordnung (10) nach Anspruch 6, welche ferner eine Bajonettverbindung (58) zwischen der Scheibe und der Platte an der äußeren Stelle aufweist.

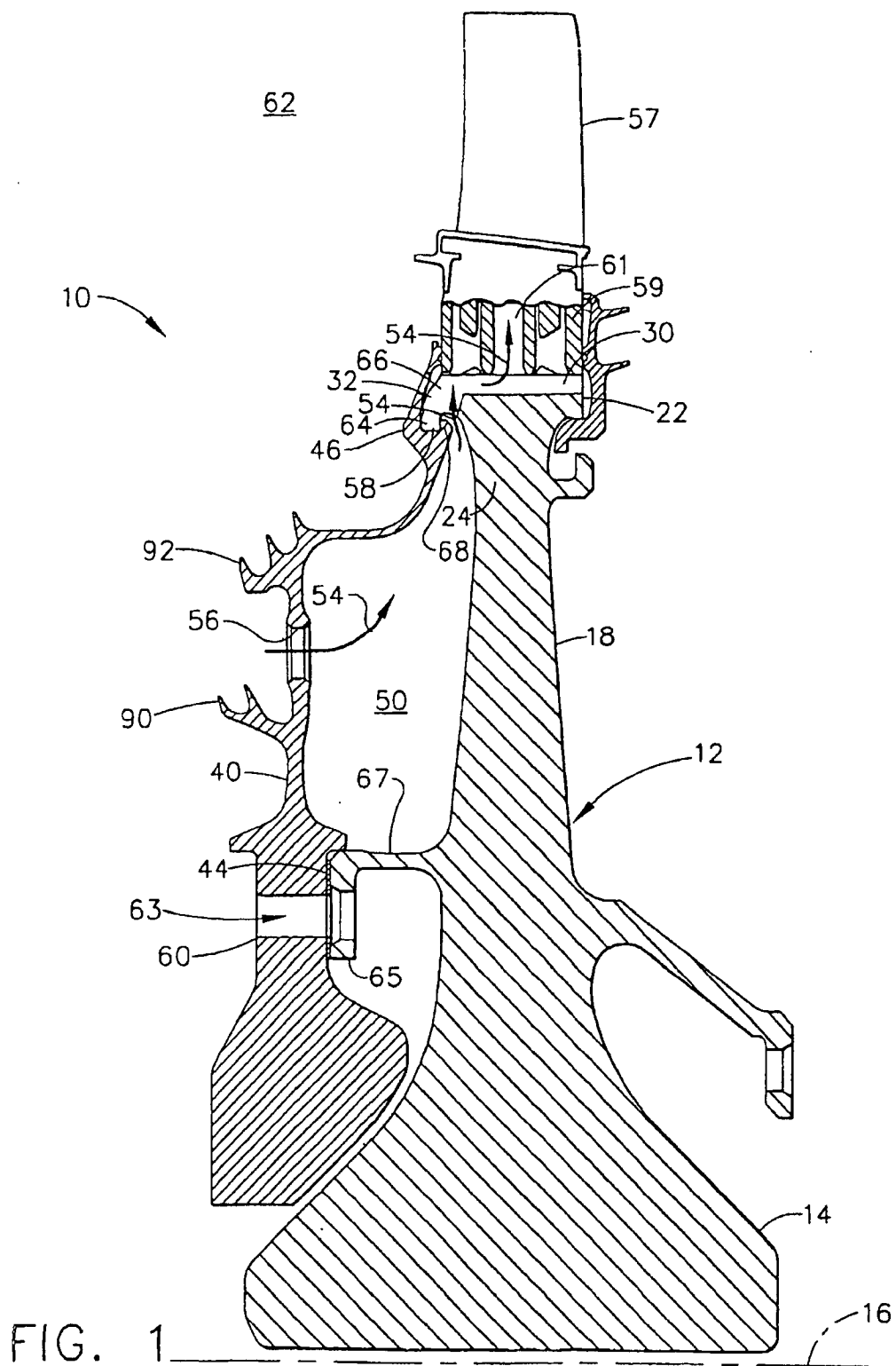
8. Anordnung (10) nach Anspruch 7, welche ferner eine geschraubte Verbindung (60) zwischen der Scheibe und der Platte an der inneren Stelle aufweist.

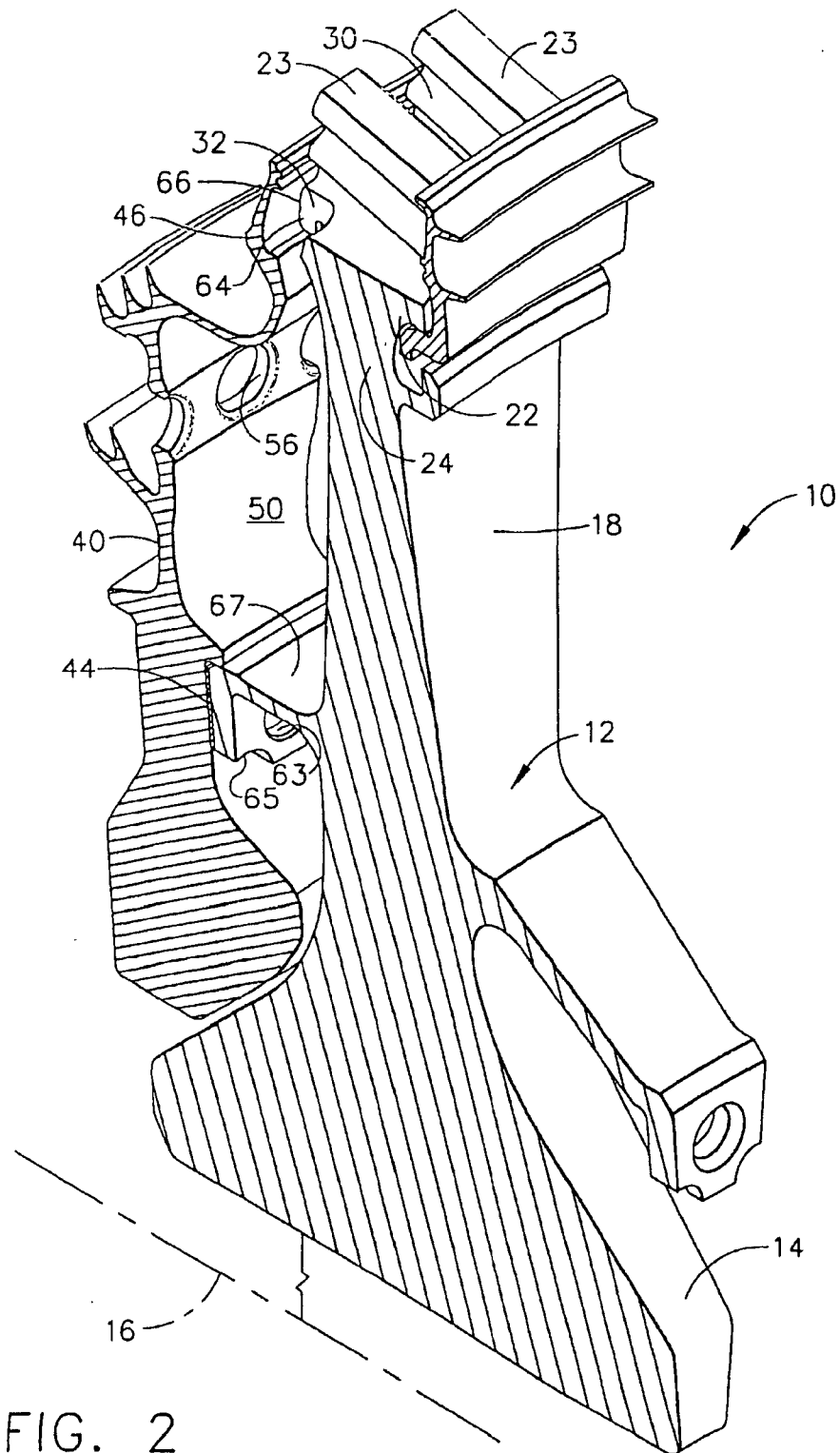
9. Anordnung (10) nach Anspruch 8, ferner aufweisend:  
Kranzvorsprünge (64), die in Umfangsrichtung um den Kranz herum angeordnet sind und sich radial von einem vorderen Ende (66) des Kranzes (22) aus nach innen erstrecken,  
wobei sich die Kühlluftschlitze (32) zwischen wenigstens einigen von den Randvorsprüngen (64) erstrecken und  
sich Plattenvorsprünge (68) radial von der Platte (40)

aus an der äußeren Stelle nach außen erstrecken.

10. Anordnung (10) nach Anspruch 8, wobei jeder von den Kühlluftschlitzen (32) ferner parallele Seitenwände (36), die in Umfangsrichtung in Bezug auf die Mittellinie (16) schräg sind, und eine Rückwand (38) enthält, die sich zwischen den Seitenwänden (36) erstreckt und axial nach hinten gerichtet in Bezug auf den Normalradius (MR) der Mittellinie (16) geneigt ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen





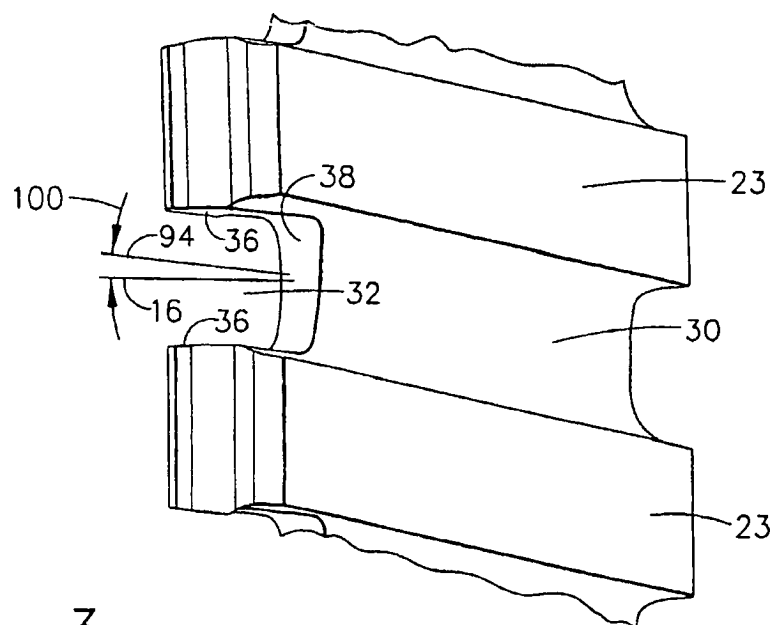


FIG. 3

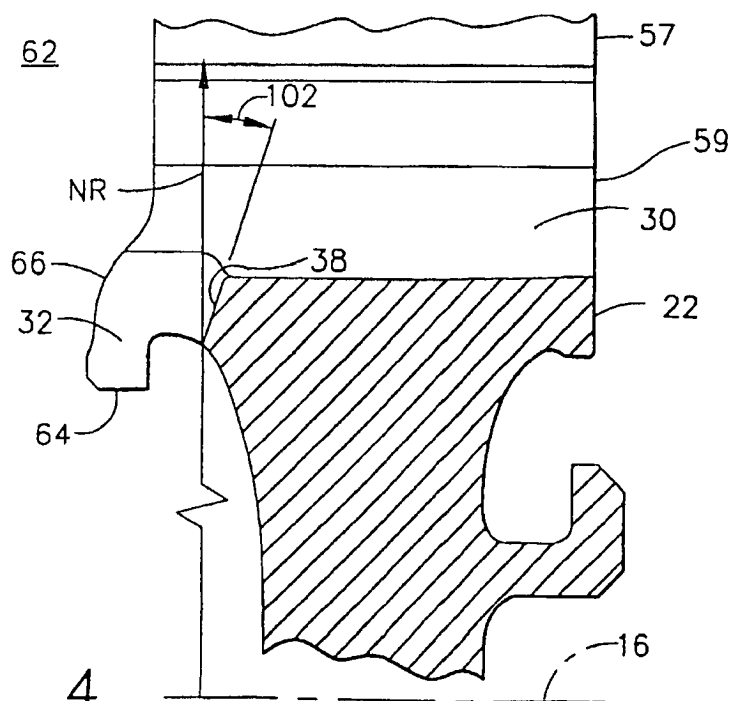


FIG. 4



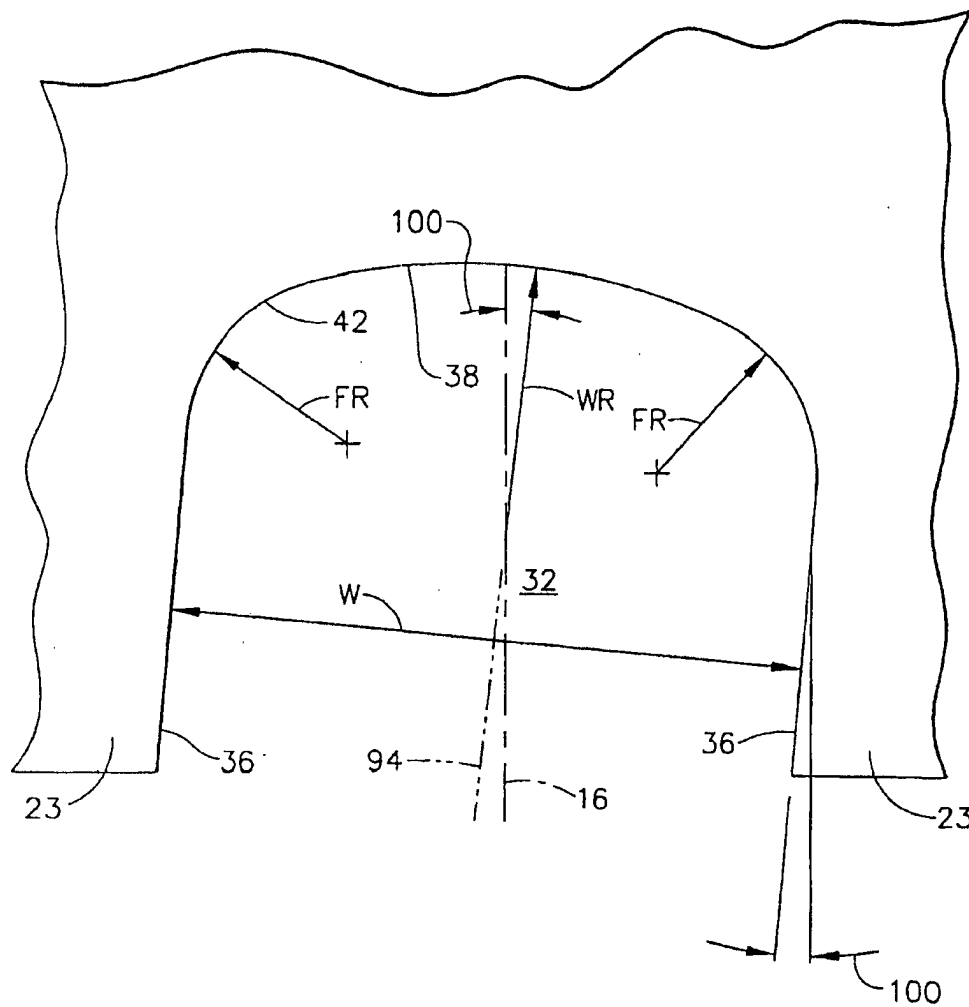


FIG. 5