



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 11 027 T2** 2007.08.16

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 348 833 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 11 027.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 251 785.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **21.03.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **01.10.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **10.01.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **16.08.2007**

(51) Int Cl.⁸: **F01D 5/00** (2006.01)

B23P 6/00 (2006.01)

F01D 5/14 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

104757 21.03.2002 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:

**Marques, Marcio Lins Tinoco, Niteroi-RJ-
24210-320, BR; von Montfort, Andreas Martin,
Petropolis-RJ, BR; Messelling, William Gerald,
Mason, Ohio 45040, US; de Rezende, Tathiana
Cameiro, Rio de Janeiro-RJ, BR; Budinger, David
Edwin, Loveland, Ohio 45140, US**

(54) Bezeichnung: **Einstellung der engsten Querschnittsfläche eines Gasturbinenleitapparats und Methode zum Ändern der Leitschaufeln**

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 Erfindung betrifft Gasturbinenriebwerke, und insbesondere die stationäre Düsenleitschaufelkonstruktion der Gasturbine.

[0002] In einem Flugzeuggasturbinen-(Strahl)-Triebwerk wird Luft in den vorderen Abschnitt des Triebwerks angesaugt, durch einen auf einer Welle angebrachten Verdichter komprimiert und mit Brennstoff gemischt. Das Gemisch wird verbrannt, und die sich ergebenden heißen Verbrennungsgase werden durch eine auf derselben Welle angebrachte Gasturbine geleitet. Der Verbrennungsgasstrom versetzt die Gasturbine in Drehung, indem er mit einem Strömungsflächenabschnitt der Turbinenschaufel in Berührung kommt, wodurch die Welle drehend angetrieben wird und dem Verdichter Leistung liefert. Die heißen Abgase entströmen dem hinteren Abschnitt der Turbine, wobei sie diese und das Flugzeug vorwärts treiben. Außerdem kann ein Bypassbläser vorhanden sein, der, angetrieben durch eine sich von dem Turbinenabschnitt aus erstreckende Welle, die Luft um den zentralen Kern des Triebwerks lenkt.

[0003] Das aus der Brennkammer des Gasturbinenriebwerks strömende Verbrennungsgas tritt in eine stationäre (d.h. nicht rotierende) Düsenkonstruktion ein, die mehrere stationäre Düsenleitschaufeln aufweist, die sich radial um den Umfang des Verbrennungsgasströmungspfad des im Wesentlichen zylindrischen Gasturbinenriebwerks erstrecken. Die Gasturbinenleitschaufeln wirken als eine Düse, um den Verbrennungsgasstrom zu beschleunigen und geringfügig umzulenken, so dass er mit der geeigneten Geschwindigkeit und unter dem richtigen Winkel in die Turbine eintritt. Der umgelenkte Verbrennungsgasstrom trifft auf Turbinenschaufeln auf, die sich radial von einem um die Turbinenwelle drehbaren Turbinenrad weg erstrecken, versetzt dabei das Turbinenrad in Drehung und treibt auf diese Weise den Verdichter an.

[0004] Einer der wichtigen Betriebsparameter der Gasturbine ist der als Drosselquerschnitt bezeichnete von dem Verbrennungsgasstrom durchquerte Querschnitt der stationären Düsenleitschaufelkonstruktion. Der gesamte Drosselquerschnitt, der ein Konstruktionsentwurfparameter der Gasturbine ist, bestimmt die Turbinenströmungsfunktion, die wiederum das Verdichterdruckverhältnis und die Betriebskurve festlegt, und ist ein wichtiger Parameter zum Bestimmen der Verdichterströmungsabrisstoleranz. Wünschenswerterweise wird der paarweise Drosselquerschnitt zwischen jedem Paar Gasturbinenleitschaufeln in einem ausgewählten paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereich Soll-Drosselquerschnitt gehalten, und der gesamte Drosselquerschnitt für sämtliche Paare von Gasturbinenleitschaufeln wird eben-

falls innerhalb eines ausgewählten gesamte Drosselquerschnitt-Zielbereich gehalten.

[0005] Die Düsenleitschaufeln werden mit engen Bemessungstoleranzen hergestellt, allerdings sind die Abweichungen innerhalb der Fertigungs- und Montagetoleranzen möglicherweise so groß, dass benachbarte Paare von Gasturbinenleitschaufeln während des Zusammenbaus der Gasturbine nicht dem paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereich entsprechen, oder dass der gesamte Satz von Düsenleitschaufeln nicht dem gesamten Drosselquerschnitt-Zielbereich entspricht. Das Problem einer Abweichung von den Drosselquerschnitt-Zielbereichen wird sogar noch deutlicher, wenn das Gasturbinenriebwerk in Betrieb war, und die Abmessungen der Leitschaufeln aufgrund von Erosion, Verbrennen des Leitschaufelmateri als und sonstiger Effekte von Düsenleitschaufel zu Düsenleitschaufel unterschiedliche Änderungen erfahren haben. In diesem Fall umfasst die Instandsetzung der Gasturbine einen Austausch oder eine Reparatur der einzelnen Düsenleitschaufeln und ein anschließendes Auswählen der geeigneten Paarzusammenstellungen von Düsenleitschaufeln, um den paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereichen und dem gesamten Drosselquerschnitt-Zielbereich zu entsprechen.

[0006] Trotz der hohen Herstellungskosten jeder einzelnen Düsenleitschaufeln müssen viele der benutzten Düsenleitschaufeln anlässlich der Überholung der Gasturbine häufig verschrottet und durch fabrikneue Düsenleitschaufeln ersetzt werden, um den Drosselquerschnitt-Zielbereichen zu entsprechen. Es wurden Reparaturtechniken für die Düsenleitschaufeln vorgeschlagen, allerdings sind die verfügbaren Techniken nicht vollkommen zufriedenstellend, da sie möglicherweise unerwünschte Änderungen der Leistung der Leitschaufeln hervorrufen. Es besteht daher ein Bedarf nach einem verbesserten Ansatz für die Reparatur von Düsenleitschaufeln, so dass deren Leistung einwandfrei ist und diese außerdem den Drosselquerschnitt-Zielbereichen entsprechen. Die vorliegende Erfindung erfüllt diesen Bedarf und weist weitere damit verwandte Vorteile auf. Herkömmliche Vorschläge zum Instandsetzen von Turbinenleitschaufeldüsen finden sich in der US-A-5 193 736 und in der US-A-4 726 101. Die US-A-5 569 546 zeigt einen Verbundstoffschweißdraht, die WO 01/64964 zeigt eine Nickellegierung, während die EP-A-1 013 788 die Reparatur von Turbinenhauben zeigt.

[0007] Die vorliegende Erfindung schafft eine Technik zum Einrichten des Drosselquerschnitts der Gasturbinendüse und ein Reparaturverfahren für die einzelnen Düsenleitschaufeln. Der vorliegende Ansatz ermöglicht es, sowohl dem paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereich als auch dem gesamten Drosselquerschnitt-Zielbereich zu entsprechen. Das Repara-

turverfahren dient dazu, die einzelnen Düsenleitschaufeln mit den geeigneten Abmessungen zu versehen, so dass diese dem paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereich entsprechen, und anschließend werden die Paare von Düsenleitschaufeln kombiniert, so dass sie dem gesamte Drosselquerschnitt-Zielbereich entsprechen. Das Reparaturverfahren kann auch verwendet werden, um aus anderen Gründen die Abmessungen der Leitschaufeln zu verändern. Das Reparaturverfahren behält die Form der Strömungsfläche der Leitschaufeln im Wesentlichen bei.

[0008] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Verlängern einer Hinterkante eine Gasturbinenleitschaufel geschaffen, mit den Schritten: Bereitstellen einer Gasturbinenleitschaufel, die eine Hinterkante aufweist, die sich längs zwischen einem Fuss und einer Spitze der Gasturbinenleitschaufel erstreckt; Befestigen eines sich längs der Hinterkante erstreckenden Verlängerungsdrahtes an der Hinterkante; gekennzeichnet durch Aufbringen eines Hartlotmaterials auf den Verlängerungsdraht und die Hinterkante, wobei die Hinterkante abgerundet ist und der Schritt des Aufbringens des Hartlotmaterials die Schritte einschließt: Aufbringen einer ersten Schicht einer hochschmelzenden Füllstofflegierung in einer Spaltregion zwischen dem Verlängerungsdraht und der Hinterkante, und danach Aufbringen einer zweiten Schicht aus einer Hartlot-Zusammensetzung auf der ersten Schicht und Erhitzen des Hartlotmaterials auf eine Hartlöt-Temperatur, um zumindest einen Teil des Hartlotmaterials zu schmelzen und, nach dem Abkühlen, den Verlängerungsdraht und das Hartlotmaterial an die Hinterkante zu binden.

[0009] Die Gasturbinenleitschaufel kann aus einer Leitschaufel-Superlegierung auf Nickelbasis hergestellt sein, und der Verlängerungsdraht kann aus einer Verlängerungsdraht-Superlegierung auf Nickelbasis hergestellt sein.

[0010] Die Verlängerungsdraht-Superlegierung auf Nickelbasis kann eine nominale Zusammensetzung in Gew.-% von etwa 12,0% Cobalt, etwa 6,8% Chrom, etwa 1,5% Molybdän, etwa 4,9% Wolfram, etwa 2,8% Rhenium, etwa 6,35% Tantal, etwa 6,15% Aluminium, etwa 1,5% Hafnium, etwa 0,12% Kohlenstoff, etwa 0,015% Bor, Rest Nickel und unbedeutende Elemente aufweisen.

[0011] Die erste Schicht kann eine Erstscht-Superlegierung auf Nickelbasis sein, deren Schmelzpunkt höher als die Hartlöt-Temperatur ist.

[0012] Die Erstscht-Superlegierung auf Nickelbasis kann aus ausgewählt sein aus der Gruppe, die aus einer ersten Superlegierung auf Nickelbasis, die eine nominale Zusammensetzung in Gew.-% von etwa 7,5% Cobalt, etwa 9,75% Chrom, etwa 1,5%

Molybdän, etwa 6,0% Wolfram, etwa 4,8% Tantal, etwa 4,2% Aluminium, etwa 3,45% Titan, etwa 0,15% Hafnium, etwa 0,05% Kohlenstoff, etwa 0,004% Bor, etwa 0,5% Niob, Rest Nickel und unbedeutende Elemente, aufweist, und einer zweiten Superlegierung auf Nickelbasis besteht, die eine nominale Zusammensetzung in Gew.-% von etwa 12,0% Kobalt, etwa 6,8% Chrom, etwa 1,5% Molybdän, etwa 4,9% Wolfram, etwa 2,8% Rhenium, etwa 6,35% Tantal, etwa 6,15% Aluminium, etwa 1,5% Hafnium, etwa 0,12% Kohlenstoff, etwa 0,015% Bor, Rest Nickel und unbedeutende Elemente aufweist.

[0013] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Einrichten eines endgültigen Drosselquerschnittes einer Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur geschaffen, mit den Schritten: Bereitstellen eines endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereiches; Bereitstellen von mindestens zwei Gasturbinenleitschaufeln; danach Bestimmen eines anfänglichen paarweisen Drosselquerschnittbereiches zwischen jedem Paar von Gasturbinenleitschaufeln, deren anfänglicher paarweiser Drosselquerschnittbereich nicht innerhalb des endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereiches liegt; Verlängern einer Hinterkante mindestens einer der Gasturbinenleitschaufeln als Reaktion des Schrittes des Bestimmens des anfänglichen paarweisen Drosselquerschnittbereiches, so dass der endgültige paarweise Drosselquerschnittbereich innerhalb des endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereiches liegt, wobei der Schritt des Verlängerns gekennzeichnet ist durch die Schritte: Bereitstellen einer der Gasturbinenleitschaufeln mit einer abgerundeten Hinterkante, die sich längs zwischen einem Fuss und einer Spitze der Gasturbinenleitschaufel erstreckt; Befestigen eines sich längs der Hinterkante erstreckenden Verlängerungsdrahtes an der Hinterkante; Aufbringen eines Hartlotmaterials auf den Verlängerungsdraht und die Hinterkante und Hartlöten des Hartlotmaterials an den Verlängerungsdraht und die Hinterkante.

[0014] Der Schritt des Bereitstellens kann den Schritt des Bereitstellens mehrerer Paare von Gasturbinenleitschaufeln beinhalten, die zusammen die Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur bilden.

[0015] Zu dem Verfahren können zusätzlich die Schritte gehören: Bereitstellen eines endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereiches und Auswählens mehrerer Paare von Gasturbinenleitschaufeln, die zusammen die Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur bilden, wobei eine Summe ihrer endgültigen paarweisen Drosselräume innerhalb des endgültigen gesamten Drosselquerschnitt-Zielbereiches liegt.

[0016] Die Erfindung wird nun anhand von Beispielen mit Bezug auf die Zeichnungen eingehender be-

schrieben:

[0017] [Fig. 1](#) zeigt in einer schematischen Draufsicht einen Verdichter, eine Brennkammer, eine Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur und eine Gasturbine;

[0018] [Fig. 2](#) zeigt die Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur in einer vergrößerten Draufsicht;

[0019] [Fig. 3](#) zeigt in einer radial nach außen gerichteten Ansicht ein Paar Düsenleitschaufeln, genommen entlang der Schnittlinie 3-3 in [Fig. 2](#);

[0020] [Fig. 4](#) veranschaulicht in einer perspektivischen Ansicht isoliert eine der Leitschaufeln;

[0021] [Fig. 5](#) zeigt isoliert in einer schematischen Draufsicht drei Düsenleitschaufeln, die zwei Paare Düsenleitschaufeln bilden;

[0022] [Fig. 6](#) zeigt in einem Blockschaltbild ein bevorzugtes Verfahren zum Verwirklichen des vorliegenden Ansatzes; und

[0023] [Fig. 7–Fig. 12](#) zeigt in einer Reihe von vergrößerten schematischen geschnittenen Ausschnittsansichten senkrecht zu der Längsrichtung der Leitschaufel das in [Fig. 6](#) dargestellte Verfahren in unterschiedlichen Stadien.

[0024] [Fig. 1](#) veranschaulicht schematisch die Komponenten eines Gasturbinentriebwerks **20**, die für die vorliegende Erörterung von Bedeutung sind. Ein Strom verdichteter Luft **21** aus einem Axialströmungsverdichter **22** und Brennstoff werden einer Brennkammer **24** zugeführt, die sich ringförmig um eine Mittellinie der Gasturbine **20** erstreckt. Der Brennstoff wird mit der verdichteten Luft **21** vermischt und in der Brennkammer **24** verbrannt, wobei ein Verbrennungsgasstrom **26** entsteht. Der Verbrennungsgasstrom **26** durchquert eine Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur **28**, in der seine Geschwindigkeit und Strömungsrichtung verändert werden, um bei der Durchquerung einer Gasturbine **30** die geeignete Geschwindigkeit und Orientierung aufzuweisen. Der Verbrennungsgasstrom **26** trifft auf Turbinenschaufeln **32** auf, die sich radial von einer Turbinenscheibe **34** der Gasturbine **30** weg erstrecken. Die Turbinenscheibe **34** ist an einer Welle **36** angebracht und dreht sich aufgrund der Kraft, die auf die Turbinenschaufeln **32** durch das Auftreffen des Verbrennungsgasstroms **26** ausgeübt wird. Die Welle **36** erstreckt sich nach vorne in Richtung des Verdichters **22**, der an der Welle **36** geeignet angebracht ist, um sich zusammen mit der Turbinenscheibe **34** und der Welle **36** zu drehen. Die Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur **28** ist nicht an der Welle **36** angebracht und ist in dem Sinne stationär, dass sie sich nicht mit der Welle **36** dreht. Nachdem der Verbrennungsgasstrom

26 die Gasturbine **30** durchquert hat, entströmt er der Rückseite der Gasturbine **20**, um einen Vorwärtsschub zu erzeugen. In einem tatsächlichen Gasturbinentriebwerk befinden sich in dem Verdichter **22** mehrere Verdichterstufen in dem Luftstrom in Reihe geschaltet, und es sind mehrere aufeinanderfolgende Paare von Gasturbinenleitapparat-Umfangsstrukturen **28** und Gasturbinen **30** längs des Verbrennungsgasstroms **26** vorhanden, so dass der Verbrennungsgasstrom **26** die Paare nacheinander durchquert. Der veranschaulichte Abschnitt der Gasturbine **20** ist um eine Drehachse **38** der als eine Mittellinie dienenden Welle **36** im Wesentlichen zylindersymmetrisch.

[0025] [Fig. 2](#) veranschaulicht die Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur **28** eingehender. Die Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur **28** enthält eine Düsenhalterungsstruktur **40** und mehrere Düsenleitschaufeln **42**, die sich an einem Umfang **44** der Düsenhalterungsstruktur **40** radial erstrecken. Der Verbrennungsgasstrom **26** verläuft senkrecht zu der Zeichenebene in [Fig. 2](#).

[0026] Ein Paar **45** der Leitschaufeln **42** ist in [Fig. 3](#) veranschaulicht, die eine radiale nach außen gerichtete Ansicht der Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur **28** in der Nähe des Umfangs **44** darstellt. Jede Düsenleitschaufel **42** weist gegenüberliegende Schaufeloberflächen **46** auf, die eine gekrümmte Strömungsfläche definieren. Jede Düsenleitschaufel **42** weist eine abgerundete Vorderkante **48** und eine abgerundete Hinterkante **50** auf, die auf jeder Seite in die Schaufeloberflächen **44** übergehen. Diese Elemente sind auch in der perspektivischen Ansicht nach [Fig. 4](#) dargestellt. Die Düsenleitschaufel **42** kann als ein Element beschrieben sein, das einen Fuß **52** und eine Spitze **54** und eine Länge L zwischen dem Fuß **52** und der Spitze **54** aufweist. Die Hinterkante **50** erstreckt sich zwischen dem Fuß **52** und der Spitze **54** und verläuft im Wesentlichen parallel zu einer Längsrichtung **56**. Eine gekrümmte Düsenleitschaufelmittellinie **58** erstreckt sich von der Vorderkante **48** zu der Hinterkante **50** und unterteilt die Dicke der Leitschaufel **42** in zwei Hälften.

[0027] [Fig. 5](#) veranschaulicht drei der Leitschaufeln **60**, **62** und **64**. Die Düsenleitschaufeln **60** und **62** bilden ein erstes Paar Düsenleitschaufeln, und die Düsenleitschaufeln **62** und **64** bilden ein zweites Paar Düsenleitschaufeln. Eine Drosselbreite D_0 ist der Abstandswert der größten Annäherung zwischen den beiden Düsenleitschaufeln jeden Paares. Die Drosselbreite D_0 ist gewöhnlich der Abstand zwischen der Hinterkante **50** einer Düsenleitschaufel und dem nächstbenachbarten Punkt auf der gegenüberliegenden Schaufeloberfläche **46** der benachbarten Düsenleitschaufel. Beispielsweise ist die Drosselbreite D_{01} der Abstand zwischen der Hinterkante **50** der Leitschaufel **62** und dem nächstbenachbarten Punkt auf

der Schaufeloberfläche **46** der Leitschaufel **60**; und die Drosselbreite D_{02} ist als der Abstand zwischen der Hinterkante **50** der Leitschaufel **64** und dem nächsten benachbarten Punkt auf der Schaufeloberfläche **46** der Leitschaufel **62** definiert. Der Drosselquerschnitt TA ist das Produkt der Drosselbreite D_0 und der parallel zu der Längsrichtung **56** gemessenen Länge L des Schaufelblattes (siehe [Fig. 4](#)).

[0028] Ein endgültiger paarweiser Drosselquerschnitt-Zielbereich ist ein Konstruktionszielbereich für den Drosselquerschnitt TA jeden Paares von Düsenleitschaufeln **42**, wie z.B. des Paares Düsenleitschaufeln **60** und **62** und/oder des Paares Düsenleitschaufeln **62** und **64**. Beispielsweise beträgt ein derartiger endgültiger paarweiser Zielbereich D_0L einer Drossel in einem typischen Gasturbinentriebwerk $9,1 \pm 0,01 \text{ cm}^2$ ($1,41 \pm 0,01$ Quadratzoll). Ein endgültiger gesamter Drosselquerschnitt-Zielbereich ist ein Konstruktionszielbereich für eine Summe TTA der Werte von TA, aufsummiert über sämtliche Paare **45** von Düsenleitschaufeln **42** auf der Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur **28**. Der endgültige paarweise Drosselquerschnitt-Zielbereich und der endgültige gesamte Drosselquerschnitt-Zielbereich sind Parameter, die von Triebwerkskonstrukteuren ausgewählt werden, um die Leistung der Gasturbine **20** zu optimieren, und deren spezielle Werte sind nicht Teil des vorliegenden Ansatzes. Der vorliegende Ansatz betrifft u. a. das Bereitstellen einer Technik zum Einrichten der Abmessungen der Leitschaufeln **42**, so dass diese Parameter erzielt werden.

[0029] [Fig. 6](#) zeigt in einem Blockschaltbild einen Ansatz zum Einrichten des endgültigen Drosselquerschnitts der Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur, und [Fig. 7–Fig. 12](#) zeigen Ansichten des Bereichs der Hinterkante **50** der Leitschaufel **42**, bei der die Hinterkante verlängert wird. Weiter sind in den [Fig. 7–Fig. 12](#) die Schaufeloberflächen **46** dargestellt.

[0030] In Schritt **70** wird ein endgültiger paarweiser Drosselquerschnitt-Zielbereich angegeben. Wie oben erörtert, ist dies ein Eingabewert für das vorliegende Verfahren; der von den Triebwerkskonstrukteuren angegeben wird.

[0031] In Schritt **72** werden wenigstens zwei Gasturbinenleitschaufeln **42** bereitgestellt, wobei von deren Hinterkantenbereichen **50** einer in [Fig. 7](#) gezeigt ist. Die Gasturbinenleitschaufeln **42** weisen die oben erörterte Form auf und sind gewöhnlich aus einer Leitschaufel-Superlegierung auf Nickelbasis hergestellt, die das Basismetall der Leitschaufeln **42** bildet. Ein Legierung auf Nickelbasis ist eine Legierung, die mehr Nickel als sonstige Elemente enthält, und eine Superlegierung auf Nickelbasis ist eine Legierung auf Nickelbasis, die durch die Ausscheidung von Gamma-Prime oder einer verwandten Phase verstärkt ist.

Ein Beispiel einer Nickelbasis-Superlegierung, die als die Leitschaufel-Superlegierung auf Nickelbasis zur Herstellung der Gasturbinenleitschaufeln **42** verwendet wird, ist Rene^R **142**, das eine nominale Zusammensetzung in Gew.-% von etwa 12,0% Kobalt, etwa 6,8% Chrom, etwa 1,5% Molybdän, etwa 4,9% Wolfram, etwa 2,8% Rhenium, etwa 6,35% Tantal, etwa 6,15% Aluminium, etwa 1,5% Hafnium, etwa 0,12% Kohlenstoff, etwa 0,015% Bor, Rest Nickel und unbedeutende Elemente aufweist. Die Gasturbinenleitschaufeln **42** können statt dessen aus einer Legierung auf Kobaltbasis hergestellt sein, die mehr Kobalt als sonstige Elemente aufweist. Ein Beispiel einer zur Herstellung der Gasturbinenleitschaufeln **42** verwendeten Kobaltbasis-Legierung, ist eine Legierung X-40, die eine nominale Zusammensetzung in Gew.-% von etwa 0,5% Kohlenstoff, etwa 1% Mangan, etwa 1% Silizium, etwa 25% Chrom, etwa 2% Eisen, etwa 10,5% Nickel, etwa 7,5% Wolfram, Rest Kobalt und unbedeutende Elemente aufweist. Diese Legierungen sind bevorzugt, jedoch ist die Verwendung der vorliegenden Erfindung nicht auf diese Legierungen beschränkt, die zur Herstellung der Düsenleitschaufeln **42** verwendet werden.

[0032] In Schritt **74** wird ein paarweiser anfänglicher Drosselquerschnitt zwischen jedem Paar Gasturbinenleitschaufeln **42** ermittelt, indem gewöhnlich das Paar Gasturbinenleitschaufeln in ihrem montierten und abgestützten Zustand, wie in [Fig. 3](#) gezeigt, räumlich vermessen wird. Falls der anfängliche Drosselquerschnitt innerhalb des endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereichs liegt, ist das Paar Düsenleitschaufeln brauchbar und wird in Schritt **76** zur endgültigen Bearbeitung weitergeleitet. (Falls der anfängliche Drosselquerschnitt kleiner als der endgültige paarweise Drosselquerschnitt-Zielbereich ist, kann eine geringe Menge von Material von der entsprechenden Hinterkante **50** beispielsweise durch Schleifen entfernt werden, und das Paar Gasturbinenleitschaufeln kann in Schritt **76** der endgültigen Bearbeitung übergeben werden. Diese Situation tritt in der Praxis selten auf.)

[0033] Für jedes Paar Gasturbinenleitschaufeln, deren paarweiser anfänglicher Drosselquerschnitt nicht in dem endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereich liegt, und deren Istwert unterhalb des endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereichs liegt, wird in Schritt **80** in Reaktion auf den Schritt **74** eines Ermittels des anfänglichen paarweisen Drosselquerschnitts die Hinterkante **50** wenigstens einer der Gasturbinenleitschaufeln **42** verlängert, so dass der endgültige paarweise Drosselquerschnitt jenes Paares Gasturbinenleitschaufeln **42** innerhalb des endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereiches liegt.

[0034] Um die Hinterkante **50** zu verlängern, wird in Schritt **82** ein Verlängerungsdraht **100** an der abge-

rundeten Hinterkante **50** befestigt, der sich parallel zu der Längsrichtung **56** längs der Hinterkante **50** erstreckt. Der Verlängerungsdraht **100** weist vorzugsweise einen runden Querschnitt auf, kann jedoch auch andere Querschnittsformen aufweisen. Der Verlängerungsdraht **100** ist mit einem Durchmesser bemessen, der ausreicht, um die Hinterkante **50** um den gewünschten Betrag zu verlängern. In einem bevorzugten Ansatz weist der Verlängerungsdraht **100** einen Durchmesser von etwa 0,114 cm (0,045 Zoll) auf. Der Verlängerungsdraht **100** ist aus einem Material hergestellt, das eine Hochtemperatureignung aufweist, die mit derjenigen der Leitschaufel **42** selbst vergleichbar ist. In einem bevorzugten Fall ist der Verlängerungsdraht **100** aus einer Verlängerungsdraht-Superlegierung auf Nickelbasis hergestellt, beispielsweise aus der Legierung Rene^R **142**. Der Verlängerungsdraht **100** wird vorzugsweise, wie in [Fig. 8](#) gezeigt, durch Punktschweißnähte **102** an der Hinterkante **50** befestigt, wobei er sich von der Düsenleitschaufel **42** nach außen und von den Schaufeloberflächen **46** weg erstreckt, so dass er auf einer äußeren Verlängerung der Düsenleitschaufelmittellinie **58** liegt. Die Haftschweißnähte **102** sind nicht das hauptsächlichste Befestigungsmittel, das im Betrieb für die gewünschte Festigkeit des Halts des Verlängerungsdrahts **100** an der Hinterkante **50** sorgt, sondern müssen lediglich ausreichend fest sein, um den Verlängerungsdraht **100** in dem nachfolgenden Hartlötvorgang benachbart zu der Hinterkante **50** an Ort und Stelle zu halten.

[0035] In Schritt **84** wird ein Hartlotmaterial **104** aufgebracht, das über dem Verlängerungsdraht **100** und der Hinterkante **50** zu liegen kommt. Das Hartlotmaterial kann als eine einzelne Schicht oder in mehreren Schichten aufgetragen werden. Der bevorzugte Ansatz verwendet zwei Schichten. Zunächst wird, wie in [Fig. 9](#) gezeigt, eine erste Schicht **106** aufgebracht. Die bevorzugte erste Schicht **106** ist vorzugsweise eine hochschmelzende Füllstofflegierung, die gute Eigenschaften für den Einsatz unter hohen Temperaturen aufweist. Die erste Schicht **106** ist vorzugsweise ein Schlamm aus Pulverpartikeln einer Superlegierung auf Nickelbasis aus demselben Material wie das Basismetall der Leitschaufel, in dem bevorzugten Fall beispielsweise Rene^R **142**. Die erste Schicht **106** kann statt dessen auch ein Schlamm einer anderen Legierungsart sein, z.B. aus der Nickelbasis-Superlegierung Rene^R N4, die eine nominale Zusammensetzung in Gew.-% von etwa 7,5% Kobalt, etwa 9,75% Chrom, etwa 1,5% Molybdän, etwa 6,0% Wolfram, etwa 4,8% Tantal, etwa 4,2% Aluminium, etwa 3,45% Titan, etwa 0,15% Hafnium, etwa 0,05% Kohlenstoff, etwa 0,004% Bor, etwa 0,5% Niob, Rest Nickel und unbedeutende Elemente aufweist. Die erste Schicht **106** wird vorzugsweise aus einem Metall hergestellt, das einen Erstsicht-Schmelzpunkt aufweist, der höher ist als die weiter unten erörterte Hartlöttemperatur. Die Pulverpartikel der ersten

Schicht **106** sind gewöhnlich in einer Polyethylenoxid-(PEO)-Trägerflüssigkeit aufgeschlämmt, wobei der Schlamm eine ausreichende Viskosität aufweist, um sich in eine V-förmige Spaltregion **108** ([Fig. 8](#)) eintragen zu lassen. Die erste Schicht **106** wird in die (wie in [Fig. 9](#) gezeigt, jeweils zu beiden Seiten der Leitschaufel **46** vorhandenen) V-förmigen Spaltregionen **108** zwischen dem Verlängerungsdraht **100** und der Hinterkante **50** in ausreichender Menge eingetragen, um die Spaltregionen auszufüllen. Die erste Schicht **106** wird geglättet, um einen sanften Übergang der Form des Verlängerungsdrahtes **100** in die Schaufeloberflächen **46** zu schaffen. Dem Schlamm wird durch partielle Verdunstung des Trägerstoffs erlaubt an Ort und Stelle zu trocknen. Ein vollständige Verdunstung des Trägerstoffs findet in dem nachfolgenden Wärmebehandlungsschritt statt.

[0036] Wie in [Fig. 10](#) gezeigt, wird eine zweite Schicht **110** einer Hartlotzusammensetzung aufgebracht, die über der ersten Schicht **106** angeordnet ist. Die zweite Schicht **110** ist vorzugsweise eine Zweitschicht-Nickelbasis-Superlegierung, die für wenigstens eine Komponente einen Zweitschicht-Nickelbasis-Superlegierungsschmelzpunkt aufweist, der geringer ist als die Hartlöttemperatur. Die zweite Schicht **110** enthält vorzugsweise mindestens zwei Komponenten, und zwar eine erste Komponente mit einem Erstkompontenschmelzpunkt, der höher als die Hartlöttemperatur ist, und eine zweite Komponente mit einem Zweitkomponentenschmelzpunkt, der niedriger als die Hartlöttemperatur ist. Eine am meisten bevorzugte Zweitschicht-Superlegierung auf Nickelbasis ist eine Zweikomponentenmischung aus 60 Gew.-% Nickelbasis-Superlegierungspulver Rene^R **142** und 40 Gew.-% Nickelbasis-Superlegierungspulver Rene^R **80**, das durch das Hinzufügen von Silizium und durch optionales Hinzufügen von Bor modifiziert ist, um dessen Schmelzpunkt zu senken. Dieses modifizierte, auf Rene^R **80** basierende Material weist eine nominale Zusammensetzung in Gew.-% von etwa 0,16% Kohlenstoff, etwa 4,5% Silizium, etwa 14,0% Chrom, etwa 9,5% Kobalt, etwa 4,9% Titan, etwa 4,0% Molybdän, etwa 4,0% Wolfram, etwa 3,0% Aluminium, etwa 0,65% Bor, etwa 0,03% Zirkonium, Rest Nickel und unbedeutende Elemente auf. Die zweite Schicht **110** weist eine beliebige geeignete Dicke auf, die jedoch gewöhnlich im Bereich von etwa 0,0508 cm (0,020 Zoll) bis ungefähr 0,127 cm (0,050 Zoll) liegt. Dieses Hartlotmaterial wurde aufgrund seiner um ein Vielfaches verbesserten unbeschichteten Korrosionsbeständigkeit ausgewählt, die es im Vergleich zu früheren Hartlotmaterialien, wie dem in dem US-Patent 4 830 934 dargelegten Material, aufweist, und das im Falle einer Beschichtung mit Aluminid eine bis zu zehnmal höhere Beständigkeit aufweist.

[0037] Ein Alternativmaterial für die zweite Schicht **110** ist eine Legierung SA650, die eine nominale Zusammensetzung in Gew.-% von etwa 22–28% Ko-

balt, etwa 16,5–20% Chrom, etwa 3,8–4,4% Titan, etwa 2,2–2,8% Aluminium, etwa 1,9–2,4% Tantal, etwa 0,6–1,3% Niob, etwa 0,4–0,65% Molybdän, etwa 1,9–2,25% Wolfram, etwa 0,95–1,25% Bor, etwa 0,03–0,08% Hafnium, 0,030% maximalem Sauerstoff, 0,030% maximalem Stickstoff, Rest Nickel und unbedeutende Elemente aufweist.

[0038] Das Hartlotmaterial **104**, das die Schichten **106** und **110** umfasst, wird in Schritt **86** auf eine Hartlöttemperatur erwärmt, um wenigstens einen Teil des Hartlotmaterials zu schmelzen, und zwar in dem bevorzugten Fall die den niedrigeren Schmelzpunkt aufweisende Komponente der zweiten Schicht **110**. Typischerweise wird die gesamte auf der Leitschaukel **42**, dem Verlängerungsdraht **100** und dem Hartlotmaterial **104** basierende Konstruktion in einem Ofen auf die Hartlöttemperatur erwärmt. Die Hartlöttemperatur ist höher als der Schmelzpunkt der den niedrigeren Schmelzpunkt aufweisenden Komponente der zweiten Schicht **110** und geringer als der Schmelzpunkt des Basismetalls der Leitschaukel **42** und des Verlängerungsdrahts **100**, und außerdem gewöhnlich niedriger als der Schmelzpunkt der ersten Schicht **106**. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel liegt die Hartlöttemperatur in einem Bereich von ungefähr 1199°C (2190°F) bis ungefähr 1227°C (2240°F). Während die Anordnung eine Temperatur aufweist, die oberhalb der Hartlöttemperatur liegt, schmilzt die Rene^R **80** Pulverkomponente der zweiten Schicht **110** (wobei das Rene^R **142** Pulver ungeschmolzen bleibt), dringt in die Pulvermasse der ersten Schicht **106** ein, benetzt die Pulverpartikel der ersten Schicht **106** und benetzt die Hinterkante **50** und den Verlängerungsdraht **100**. Nach Abkühlung auf eine Temperatur, die geringer ist als die Hartlöttemperatur, und zuletzt auf Raumtemperatur verfestigt sich die geschmolzene Komponente und bindet den Verlängerungsdraht **100** und das Hartlotmaterial **104** durch das Medium des endgültigen Hartlotmetalls **104**, wie in [Fig. 11](#) gezeigt, an die Hinterkante, und bildet dabei die Hinterkantenverlängerung **112**. Falls sich nach dem beschriebenen Vorgehen eine Hinterkantenverlängerung **112** ergibt, die zu lang ist, kann eine angemessene Menge, beispielsweise durch Schleifen, entfernt werden.

[0039] Aufgrund der Krümmung der Leitschaukeln **42** reduziert die Verlängerung der Hinterkante **50** die Abmessung D_0 und verringert dadurch den paarweisen Drosselquerschnitt der beiden benachbarten Düsenleitschaukeln **42**.

[0040] Optional kann in Schritt **88** die Hinterkantenverlängerung **112** mit einer Schutzschicht **114** beschichtet werden. Der Beschichtungsschritt **88** wird gewöhnlich gemeinsam mit dem Anbringen derselben Schutzschicht **114** auf der restlichen Oberfläche der Leitschaukel **42** durchgeführt. Die Schutzschicht **114** kann von einem beliebigen geeigneten Typ sein,

beispielsweise eine Diffusions- oder Aluminiumdeckbeschichtung des Typs, wie er aus dem Stand der Technik bekannt ist, und optional in Verbindung mit dem Abringen einer Wärmebarrierenbeschichtung des aus dem Stand der Technik bekannten Typs erfolgen.

[0041] Die Verlängerung der Hinterkante **50** in Schritt **80** nach [Fig. 6](#) ist hier als Teil des Gesamtverfahrens zum Erreichen der gewünschten endgültigen Drosselquerschnitte beschrieben. Allerdings kann das Verlängerungsverfahren **80** aus anderen Gründen auch für sich genommen durchgeführt werden.

[0042] In Schritt **90** werden die Schritte **72–88** für ein weiteres Paar Düsenleitschaukeln **42** wiederholt, bis sämtliche der Paare Düsenleitschaukeln geeignet mit den gewünschten Abmessungen versehen sind, um in jedem Fall den gewünschten endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereich (TA) zu erzielen.

[0043] Der endgültige gesamte Drosselquerschnitt-Zielbereich wird in Schritt **92** als ein Eingabeparameter angegeben. Aus dem Paar Düsenleitschaukeln **42**, die bereits eingerichtet sind, um ihre endgültigen Drosselquerschnitte aufzuweisen, die innerhalb des endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereichs liegen, wird in Schritt **94** eine Anzahl von Gasturbinenleitschaukelpaaren ausgewählt, die gemeinsam die Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur **28** bilden. Das Auswahlkriterium ist, dass eine Summe ihrer endgültigen paarweisen Drosselquerschnitte innerhalb des endgültigen gesamten Drosselquerschnitt-Zielbereichs (TTA) liegen muss.

[0044] Der Ansatz nach [Fig. 6](#) wurde auf tatsächliche Sätze von Düsenleitschaukeln mit guten Ergebnissen angewandt. Die endgültigen Drosselquerschnitte, und zwar sowohl die paarweisen als auch der gesamte, liegen innerhalb der gewünschten Drosselquerschnitt-Zielbereiche.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verlängern einer Hinterkante (**50**) einer Gasturbinenleitschaukel (**42**), umfassend die Stufen
Bereitstellen einer Gasturbinenleitschaukel (**42**), die eine Hinterkante (**50**) aufweist, die sich längs zwischen einem Fuß (**52**) und einer Spitze (**54**) der Gasturbinenleitschaukel (**42**) erstreckt;
Befestigen eines sich längs der Hinterkante (**50**) erstreckenden Verlängerungsdrahtes (**100**) an der Hinterkante (**50**), gekennzeichnet durch Aufbringen eines Hartlotmaterials (**104**) auf den Verlängerungsdraht (**100**) und die Hinterkante (**50**), wobei die Hinterkante (**50**) abgerundet ist und die Stufe des Aufbringens des Hartlotmaterials (**104**) die Stufen einschließt:

Aufbringen einer ersten Schicht (106) einer hochschmelzenden Füllstofflegierung in einer Spaltregion zwischen dem Verlängerungsdraht (100) und der Hinterkante (50) und danach

Aufbringen einer zweiten Schicht (110) aus einer Hartlot-Zusammensetzung auf der ersten Schicht (106) und Erhitzen des Hartlotmaterials (104) auf eine Hartlöt-Temperatur, um zumindest einen Teil des Hartlotmaterials zu schmelzen und, nach dem Abkühlen, den Verlängerungsdraht (100) und das Hartlotmaterial (104) an die Hinterkante (50) zu binden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, worin die Gasturbinenleitschaufel (42) aus einer Leitschaufel-Superlegierung auf Nickelbasis hergestellt ist und der Verlängerungsdraht aus einer Verlängerungsdraht-Superlegierung auf Nickelbasis hergestellt ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, worin die Verlängerungsdraht-Superlegierung auf Nickelbasis eine nominelle Zusammensetzung in Gew.-% von etwa 12,0% Cobalt, etwa 6,8% Chrom, etwa 1,5% Molybdän, etwa 4,9% Wolfram, etwa 2,8% Rhenium, etwa 6,35% Tantal, etwa 6,15% Aluminium, etwa 1,5% Hafnium, etwa 0,12% Kohlenstoff, etwa 0,015% Bor, Rest Nickel und unbedeutende Elemente, aufweist.

4. Verfahren nach einem vorhergehenden Anspruch, worin die erste Schicht (106) eine Erstsicht-Superlegierung auf Nickelbasis ist, deren Schmelzpunkt höher als die Hartlöt-Temperatur ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, worin die Erstsicht-Superlegierung auf Nickelbasis ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus einer ersten Superlegierung auf Nickelbasis, die eine nominelle Zusammensetzung, in Gew.-%, von etwa 7,5% Cobalt, etwa 9,75% Chrom, etwa 1,5% Molybdän, etwa 6,0% Wolfram, etwa 4,8% Tantal, etwa 4,2% Aluminium, etwa 3,45% Titan, etwa 0,15% Hafnium, etwa 0,05% Kohlenstoff, etwa 0,004% Bor, etwa 0,5% Niob, Rest Nickel und unbedeutende Elemente, aufweist und einer zweiten Superlegierung auf Nickelbasis, die eine nominelle Zusammensetzung, in Gew.-%, von etwa 12,0% Cobalt, etwa 6,8% Chrom, etwa 1,5% Molybdän, etwa 4,9% Wolfram, etwa 2,8% Rhenium, etwa 6,35% Tantal, etwa 6,15% Aluminium, etwa 1,5% Hafnium, etwa 0,12% Kohlenstoff, etwa 0,015% Bor, Rest Nickel und unbedeutende Elemente, aufweist.

6. Verfahren zum Einrichten eines endgültigen Drosselquerschnittes einer Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur umfassend die Stufen:
Bereitstellen eines endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereiches;
Bereitstellen von mindestens zwei Gasturbinenleitschaufeln (42); danach
Bestimmen eines anfänglichen paarweisen Drossel-

querschnittbereiches zwischen jedem Paar von Gasturbinenleitschaufeln (42), deren anfänglicher paarweiser Drosselquerschnittbereich nicht innerhalb des endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereiches liegt;

Verlängern einer Hinterkante (50) mindestens einer der Gasturbinenleitschaufeln (42) als Reaktion der Stufe des Bestimmens des anfänglichen paarweisen Drosselquerschnittbereiches, so dass der endgültige paarweise Drosselquerschnittbereich innerhalb des endgültigen paarweisen Drosselquerschnitt-Zielbereiches liegt, wobei die Stufe des Verlängerns gekennzeichnet ist durch die Stufen:

Bereitstellen einer der Gasturbinenleitschaufeln (42) mit einer abgerundeten Hinterkante (50), die sich längs zwischen einem Fuß (52) und einer Spitze (54) der Gasturbinenleitschaufel (42) erstreckt;

Befestigen eines sich längs der Hinterkante (50) erstreckenden Verlängerungsdrahtes (100) an der Hinterkante (50);

Aufbringen eines Hartlotmaterials (104) auf den Verlängerungsdraht (100) und die Hinterkante (50) und Hartlöten des Hartlotmaterials (104) an den Verlängerungsdraht (100) und die Hinterkante (50).

7. Verfahren nach Anspruch 6, worin die Stufe des Bereitstellens die Stufe des Bereitstellens mehrerer Paare von Gasturbinenleitschaufeln (42) einschließt, die zusammen die Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur bilden.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, das eine zusätzliche Stufe des Bereitstellens eines endgültigen gesamten Drosselquerschnitt-Zielbereiches; und Auswählens mehrerer Paare von Gasturbinenleitschaufeln (42) einschließt, die zusammen die Gasturbinenleitapparat-Umfangsstruktur bilden, wobei eine Summe ihrer endgültigen paarweisen Drosselräume innerhalb des endgültigen gesamten Drosselquerschnitt-Zielbereiches liegt.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

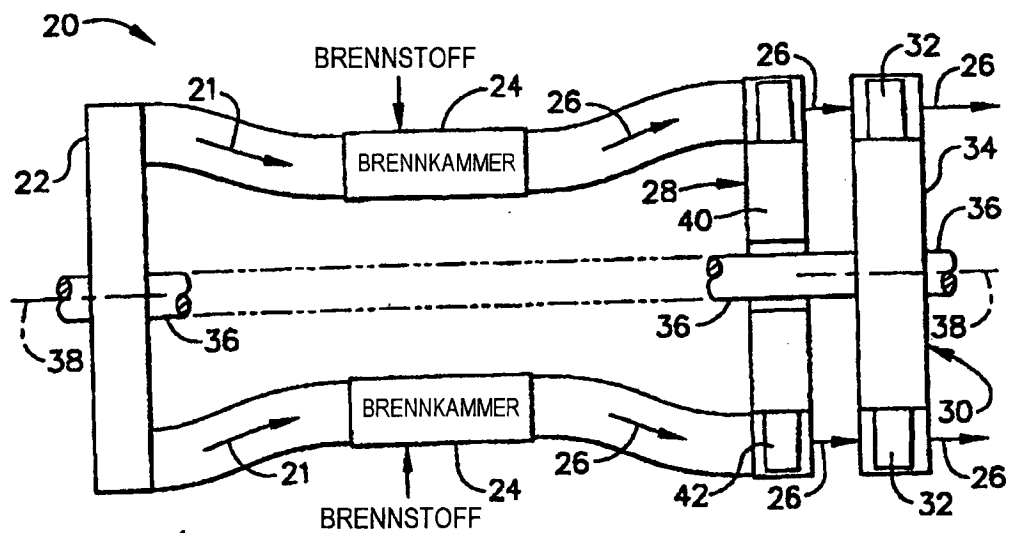


FIG. 1

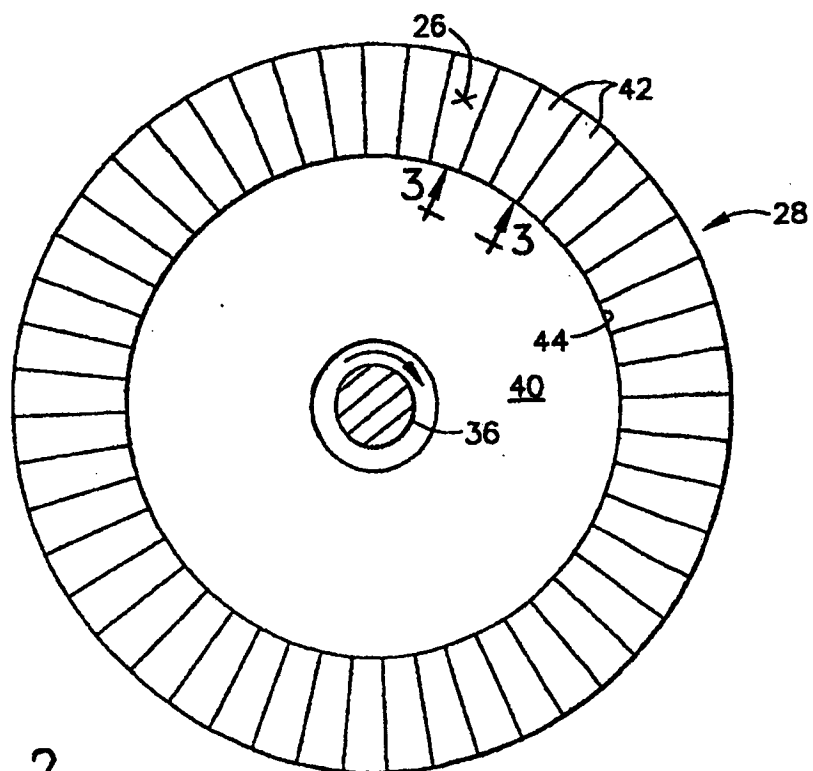


FIG. 2

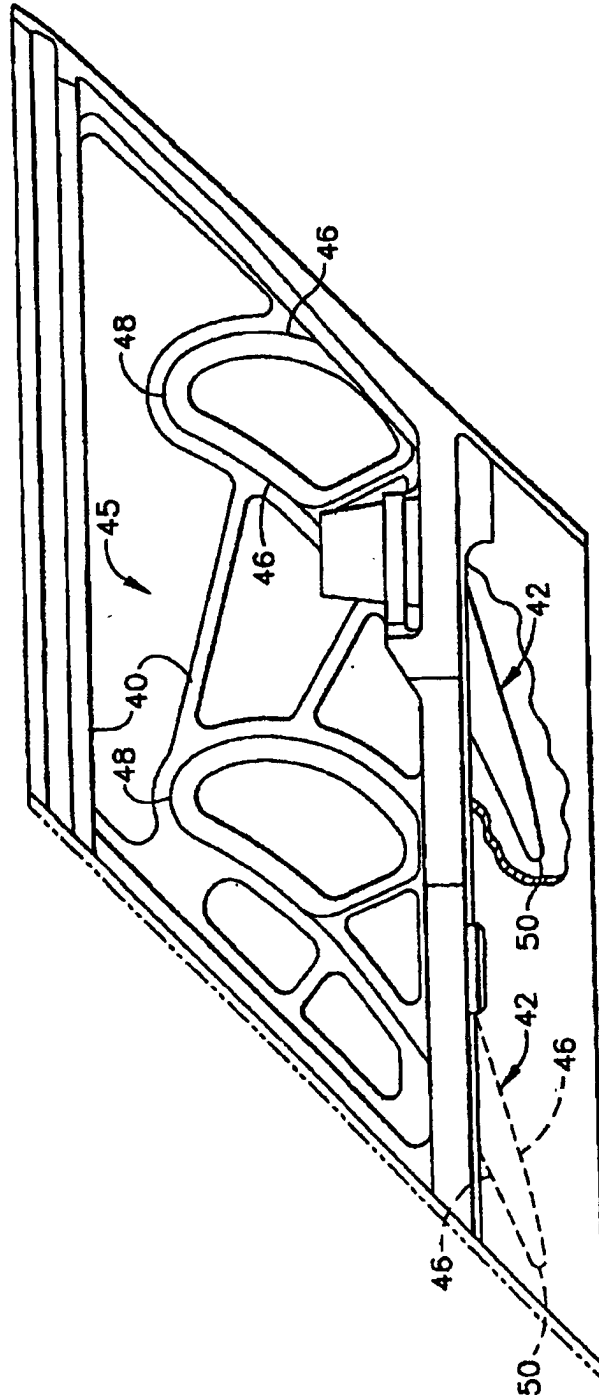


FIG. 3

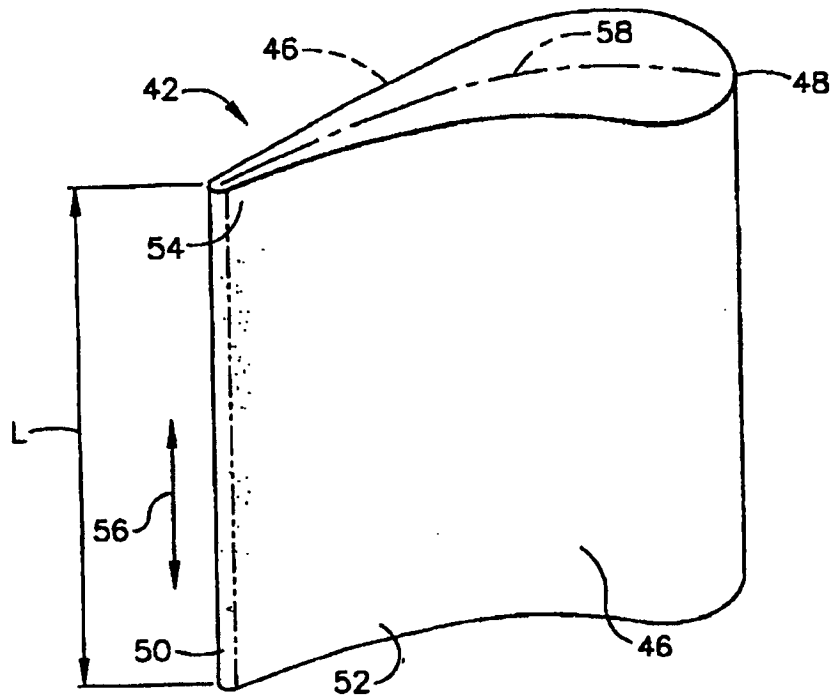


FIG. 4

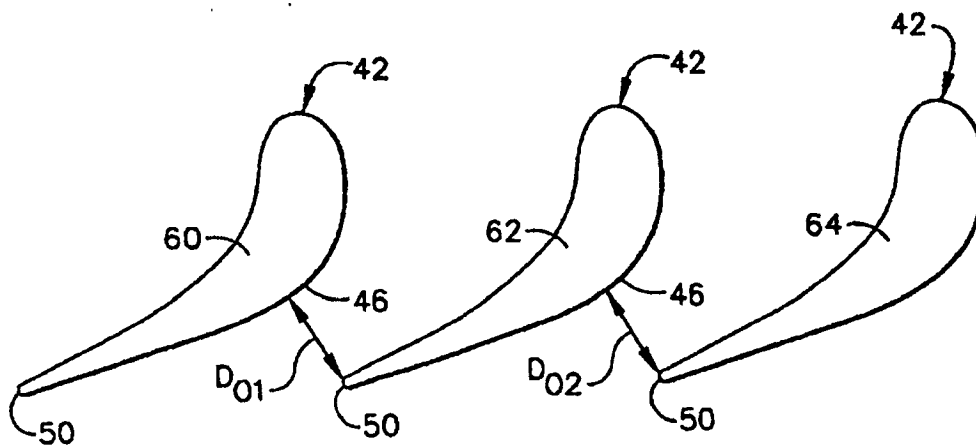


FIG. 5

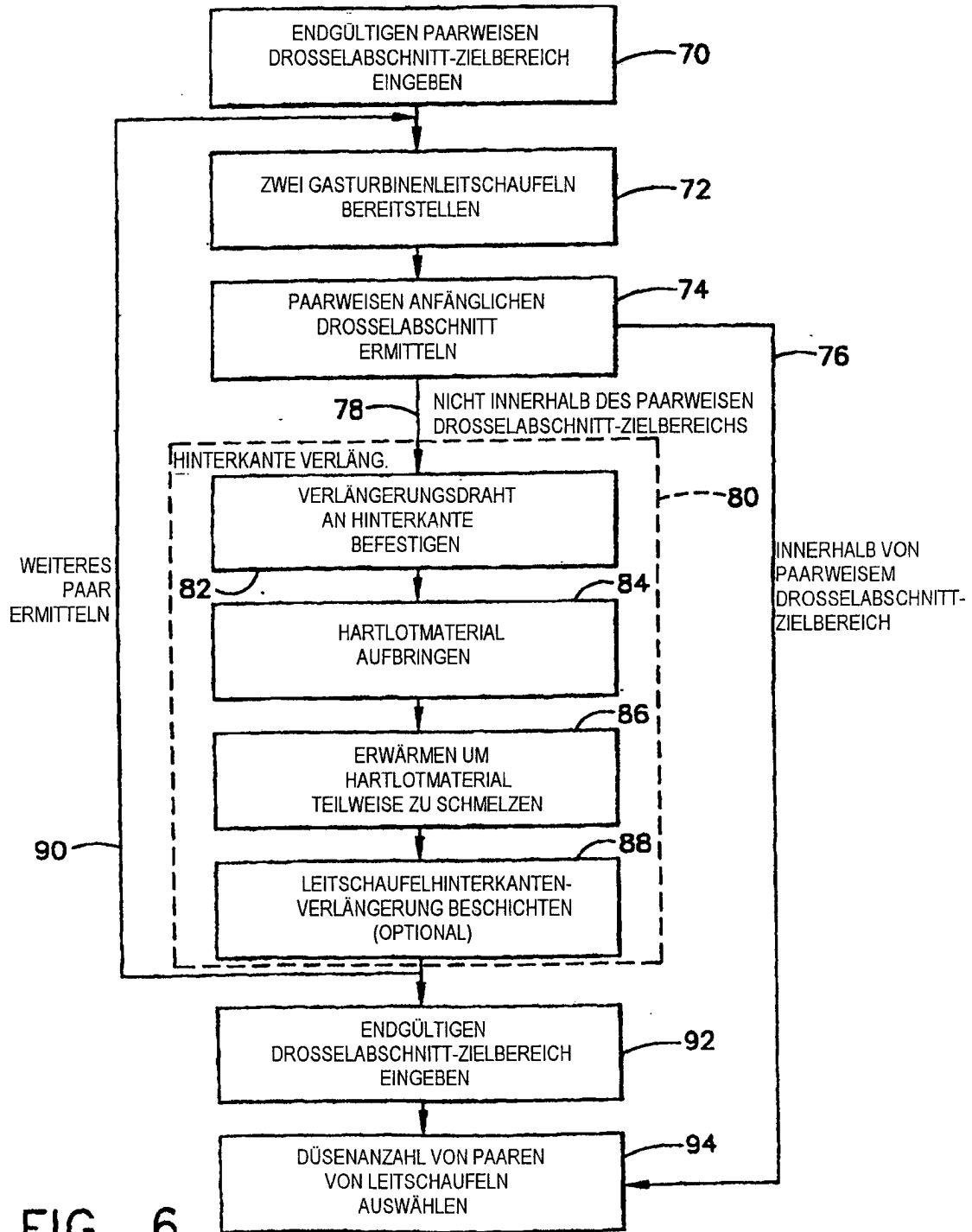


FIG. 6

