



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 21 320 T2** 2005.10.27

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 086 298 B1**

(51) Int Cl.⁷: **F01D 5/14**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 21 320.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP99/03101**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 923 991.6**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/064725**

(86) PCT-Anmeldetag: **10.06.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **16.12.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.03.2001**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **20.10.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **27.10.2005**

(30) Unionspriorität:
16483398 12.06.1998 JP

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH, DE, FR, GB, IT, LI, NL

(73) Patentinhaber:
Ebara Corp., Tokio/Tokyo, JP

(72) Erfinder:
**WATANABE, Hiroyoshi, Fujisawa-shi, Kanagawa
251-8502, JP; HARADA, Hideomi, Fujisawa-shi,
Kanagawa 251-8502, JP**

(74) Vertreter:
**WAGNER & GEYER Partnerschaft Patent- und
Rechtsanwälte, 80538 München**

(54) Bezeichnung: **TURBINENSTATORSCHAUFEL**

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

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Turbinendüse und insbesondere bezieht sich die Erfindung auf eine Turbinendüse mit einer Anordnung von Düsenschaufeln, die umfangsmäßig in einem Ringdurchlass angeordnet sind, der zwischen einem Innenring und einem Außenring einer Membran definiert ist und zwar befestigt an den Innen- und Außenringen der Membran.

Technischer Hintergrund

[0002] In den letzten Jahren wurde erkannt, dass es wichtig ist, die Leistungsfähigkeit einer Turbine zu verbessern, um den Energieverbrauch beim mechanischen Betrieb zu optimieren oder um die Effizienz bei der Leistungserzeugung in einem Kraftwerk zu erhöhen.

[0003] Zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit einer Turbine ist es notwendig, die internen Verluste in jeder der Turbinenstufen zu reduzieren. Die internen Verluste in jeder der Turbinenstufen umfassen Schaufelprofilverlust, sekundären Strömungsverlust und einen Leckverlust.

[0004] Der Anteil des sekundären Strömungsverlustes ist in einer Turbinenstufe groß, wo ein Aspektverhältnis (Schaufelhöhe/Schaufelcord) klein ist, und eine Schaufelhöhe ebenfalls klein ist. Es ist daher effektiv, den sekundären Strömungsverlust zu reduzieren um dadurch die Leistungsfähigkeit oder Performance der Turbine zu verbessern.

[0005] Der Mechanismus zur Erzeugung der Sekundärströmung wird unten beschrieben.

[0006] Wie in [Fig. 15](#) der beigefügten Zeichnungen gezeigt, ist eine Strömung oder ein Fluss G, der zwischen den Düsenschaufeln **1** fließt oder strömt einer Kraft ausgesetzt, die durch einen Druckgradienten bewirkt wird und zwar aus einer Druckoberfläche F zu einer Saugoberfläche B in jeder der Düsenschaufeln **1**.

[0007] In einer von einer Turbinenendwand wegströmenden Hauptströmung befindet sich daher die Kraft hervorgerufen durch den Druckgradienten und eine Zentrifugalkraft, hervorgerufen durch das Drehen der Strömung im Gleichgewicht. Jedoch befindet sich eine Strömung in einer Grenzschicht nahe der Turbinenendwand, die einen geringen kinetischen Energiepegel besitzt, und wird somit von der Druckoberfläche F zu der Saugoberfläche B durch die Kraft geführt, die verursacht wird durch den Druckgradienten, wie dies durch die Pfeile J dargestellt ist. In der letzten Hälfte des Strömungsdurchlasses kollidiert

die Strömung mit der Saugoberfläche B und rollt nach oben, auf welche Weise eine Strömungsdurchlassvortex W gebildet wird. Die Strömungsdurchlassvortex W akkumuliert ein, eine niedrige Energie besitzendes Strömungsmittel in der Endwandgrenzschicht um dadurch eine nicht gleichförmige Energieverteilung stromabwärts von der Düsenschaufel zu erzeugen. Obwohl die nicht gleichförmige Energieverteilung stromabwärts gegenüber der Düsenschaufel vergleichförmig wird, wird während ihrer Vergleichförmung ein großer Energieverlust erzeugt. In [Fig. 15](#) repräsentiert E eine Radiallinie und L repräsentiert eine Nabenendwand.

[0008] Es wurden daher verschiedene Versuche unternommen, um die oben erwähnte Sekundärströmung zu unterdrücken.

[0009] Beispielsweise werden, wie in [Fig. 16](#) der beigefügten Zeichnungen gezeigt, die Schaufeln **1** mit einem Winkel θ zur Radiallinie E geneigt, um dadurch einen Schaufel-zu-Schaufel-Druckgradienten nach der Nabenendwand der Schaufel abzuschwächen. In [Fig. 16](#) repräsentiert das Bezugszeichen **2** einen Außenring und das Bezugszeichen **3** repräsentiert einen Innenring. Ferner sind, wie in den [Fig. 17](#) und [Fig. 18](#) der beigefügten Zeichnungen gezeigt, die Düsenschaufeln **1** an ihren entgegengesetzten Enden gekrümmt und kurvenförmig ausgebildet, um die Druckoberflächen F zur Endwand zu orientieren. In [Fig. 17](#) repräsentiert U eine Außendurchmesseroberfläche. In [Fig. 18](#) repräsentiert θ_t den Winkel zwischen der Tangente an der Schaufelstapellinie **1** und der spitzen Endwand und Radiallinie E, θ_r repräsentiert den Winkel zwischen der Tangente zur Schaufelstapellinie **1** an der Nabenendwand und Radiallinie E und h repräsentiert eine Schaufelhöhe. Gemäß konventioneller Versuche sind – während das gleiche Schaufelprofil verwendet wird – die Schaufelstapellinien gekrümmt oder geneigt, und zwar in einer Richtung zum Abschwächen des Schaufel-zu-Schaufel-Druckgradienten nahe den Endwänden, auf welche Weise die Sekundärströmung zur Verminderung des Verlustes gesteuert wird.

[0010] Eine weitere konventionelle Technologie umfasst eine geneigte oder kurvenförmige Oberfläche, die einer Düsenschaufel über ihre gesamte Höhe hinweg erteilt wird, um dadurch die Sekundärströmung zu steuern, wie dies in der Japanischen Offenlegungsschrift Nr. 10-77801 beschrieben ist.

[0011] Um den Druckgradienten mit den obigen konventionellen Maßnahmen zu steuern, muss die Düsenschaufel größtenteils geneigt oder gekrümmt sein, und infolgedessen bewirken Bemühungen dieses Erfordernis zu erfüllen, Probleme bei der Herstellung oder hinsichtlich der Erreichung der mechanischen Festigkeit der Düsenschaufeln.

[0012] Ferner ist bei derartigen gekrümmten oder geneigten Schaufeln eine Strömungsverteilung am Auslass der Schaufeln stark unterschiedlich von der Strömungsverteilung an den Schaufeln, die weder gekrümmt noch geneigt sind.

[0013] Beispielsweise zeigt [Fig. 19](#) der beigefügten Zeichnungen eine graphische Darstellung einer Horizontalachse repräsentativ für die Positionen entlang der Höhe einer Schaufel, die als ein dimensionsloses Verhältnis bezüglich der Höhe H dargestellt ist, und eine Vertikalachse repräsentiert die Umfangsgeschwindigkeiten V_t und die Meridionalgeschwindigkeit V_m , die als ein dimensionsloses Verhältnis bezüglich der absoluten Geschwindigkeit V ($= V_t^2 + V_m^2$)^{0.5}) ausgedrückt sind. Der Graph der [Fig. 19](#) zeigt, dass die Strömungsgeschwindigkeitsverteilungen einer üblichen Schaufel (angedeutet durch die ausgezogenen Kurven) und diejenigen einer gekrümmten Schaufel (angedeutet durch die gestrichelten Kurven) sich an den entgegengesetzten Enden der Schaufeln unterscheiden.

[0014] Wenn die Düsenschaufeln keine gekrümmte oder kurvenförmige Gestalt besitzen, und mit konventionellen Rotorschaufeln positioniert stromabwärts von den Düsenschaufeln positioniert sind, dann sind die Strömungen von den Düsenschaufeln nicht an die Rotorschaufeln angepasst und die gekrümmten Düsenschaufeln können nicht effektiv sein. In einem solchen Falle sind neue Rotorschaufeln erforderlich, die in der Lage sind, die Strömungen vom Auslass der gekrümmten Düsenschaufeln anzupassen, wobei auf diese Weise eine solche Anordnung nicht einen großen Bereich von Anwendungsfällen abdeckt.

[0015] Weiterhin sei auf EP-A-0833060 hingewiesen, wo eine Schaufel für eine Axialströmungsmittelmaschine gezeigt ist, und zwar zur Absenkung eines sekundären Strömungsverlustes, hervorgerufen dann, wenn eine Schaufelkaskade entlang der Axialrichtung einer drehbaren Welle angeordnet ist, wo hindurch ein Arbeitsströmungsmittel läuft, und zwar geschieht dies zur Verbesserung der Effizienz der Schaufelkaskade.

[0016] Vorstehende Schaufelteile, die kontinuierlich von einer vorderen Kante sich vorwölben, sind an einem Wurzel- oder Fußteil und einem Spitzenteil der Schaufel gebildet. Die vorstehenden Schaufelteile sind durch Achsenbezugslinien geformt, die sich von dem Fußteil und dem Spitzenteil der Schaufel zu der Hauptströmungsseite erstrecken, und Achsenbezugslinien besitzen bogenförmig gekrümmte Oberflächen, die mit der Vorderkante der Schaufel verbunden sind. Insbesondere wölben sich die vorstehenden Schaufelteile von der Vorderkante zu der stromaufwärts gelegenen Seite, aber nicht zur Innenseite des Strömungsdurchlasses.

[0017] EP-A-0661413 zeigt eine Axialkaskade zur Verbesserung der Effizienzskala einer Turbine. Rotorschaufeln sind dargestellt, die konkav gegenüber der Strömungsrichtung gekrümmt sind.

[0018] Gemäß der Erfindung wird eine Turbinendüse nach Anspruch 1 vorgesehen. Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beansprucht.

Offenbarung der Erfindung

[0019] Es ist daher ein Ziel der vorliegenden Erfindung eine Turbinendüse vorzusehen, die in der Lage ist, einen sekundären Strömungsverlust zu reduzieren und die eine Auslassströmung erzeugt, die die gleiche ist wie eine Auslassströmung von üblichen Schaufeln, wobei die Rotorschaufeln positioniert stromabwärts gegenüber der Turbinendüse nicht nachteilig beeinflusst werden.

[0020] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine Turbinendüse vorgesehen, die Folgendes aufweist: eine Anordnung von Düsenschaufeln **1**, angeordnet umfangsmäßig in einem Ringdurchlass **4**, definiert zwischen Innen- und Außenringen einer Membran und befestigt an den Innen- und Außenringen der Membran; und einen Strömungsdurchlass, definiert zwischen einer Druckoberfläche (F) und einer Saugoberfläche (B) von benachbarten Düsenschaufeln, wobei ein Querschnitt des Strömungsdurchlasses einschließlich vorbestimmter Bereiche sich entlang einer Schaufelhöhe erstreckt, und zwar von Innen- und Außendurchmesserflächen (Nabe und Spitzenendwände), und zwar ferner definiert durch eine gekrümmte Linie, und wobei ferner ein weiterer Bereich durch eine im Wesentlichen gerade Linie definiert wird.

[0021] Da der Querschnitt des Strömungsdurchlasses in den vorbestimmten Bereichen der Druckoberfläche und der Saugoberfläche eine Region oder Zone aufweist, die durch die gekrümmte Linie definiert ist, und eine Region oder Zone, definiert durch die im Wesentlichen gerade Linie, unterscheidet sich die Turbinendüse gemäß der vorliegenden Erfindung deutlich in ihrer Struktur von der Düsenschaufel, die in der Japanischen Offenlegungsschrift Nr. 10-77801 offenbart ist.

[0022] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist auch eine Turbinendüse vorgesehen, die Folgendes aufweist: eine Anordnung von Düsenschaufeln **1**, angeordnet umfangsmäßig in einem Ringdurchlass **4**, definiert zwischen inneren und äußeren Ringen einer Membran und befestigt an den Innen- und Außenringen der Membran; eine Druckoberfläche F in jeder Düsenschaufel, hinweisend zur Spitzenendwand der Turbinenmembran in einem vorbestimmten Bereich in der Meridionalrichtung der

Düsenschaufel und in einem vorbestimmten Bereich zwischen der Spitzenendwand und einer Mittelspanne der Schaufel, und wobei ferner die Druckoberfläche zu der Nabenendwand der Turbinenmembran hinweist, und zwar in einem vorbestimmten Bereich zwischen der Nabenendwand und der Mittelspanne der Schaufel; eine Saugoberfläche B in jeder der Düsenschaufeln zu der Nabenendwand der Turbinenmembran in einem vorbestimmten Bereich in Meridionalrichtung der Düsenschaufel hinweisend und zwar in einem vorbestimmten Bereich zwischen der Spitzenendwand und einer Mittelspanne der Schaufel, und wobei ferner die Saugoberfläche zu der Spitzenendwand der Membran in einem vorbestimmten Bereich hinweist, und zwar zwischen der Nabenendwand und der Mittelspanne der Schaufel.

[0023] Der vorbestimmte Bereich kann hier einen Bereich umfassen, der mindestens 30% der Meridionalbreite Cx der Düsenschaufel von einer Vorderkante **1f** der Düsenschaufel in einer Meridionalrichtung X entspricht. Der vorbestimmte Bereich kann einen Bereich aufweisen entsprechend 20 bis 40% der Schaufelhöhe h von der Nabenendwand L der Düsenschaufel **1** und einen Bereich entsprechend 20 bis 40% der Schaufelhöhe h von einer Spitzenendwand U der Düsenschaufel **1**.

[0024] In den oben genannten vorbestimmten Bereichen ist die Druckoberfläche F der Düsenschaufel **1** derart angeordnet, dass sie zu der Spitzenendwand an der Spitzenendwandseite hinweist, d. h. sie ist gekrümmt, um zu der Spitzenendwand hinzuweisen, und derart angeordnet, um zur Nabenendwand an der Nabenendwandseite hinzuweisen, d. h. sie ist gekrümmt, um zur Nabenendwand hinzuweisen und die Saugoberfläche B der Düse **1** ist derart angeordnet, dass sie zur Nabenendwand an der Spitzenendwandseite hinweist, d. h. sie ist gekrümmt, um zu der Nabenendwand hinzuweisen und derart angeordnet, um zur Spitzenendwand an der Nabenendwandseite hinzuweisen, sie ist gekrümmt, um zur Spitzenendwand hinzuweisen.

[0025] Eine Linie **1p** auf der Druckoberfläche und eine Linie **1s** auf der Saugoberfläche entlang der Höhe der Düsenschaufel **1** besitzen Mittelteile S, die vorzugsweise durch im Wesentlichen gerade Linien definiert sind, und zwar mit Ausnahme des Bereichs C1, entsprechend 20 bis 40% der Nabenendwand L, entlang der Höhe h der Düsenschaufel **1** und des Bereichs C2 entsprechend 20 bis 40% von der Spitzenendwand U entlang der Höhe h der Düsenschaufel **1**. Speziell verlaufen eine Linie auf der Druckoberfläche F und eine Linie auf der Saugoberfläche B in dem Querschnitt des Strömungsdurchlasses in einer willkürlichen Meridionalposition in einem Bereich von mindestens 30% von einer Vorderkante **1f** der Düsenschaufel entlang einer meridionalen Breite Cx der Düsenschaufel und haben Mittelteile, die vorzugs-

weise durch im Wesentlichen gerade Linien definiert sind, mit der Ausnahme des Bereichs C1, entsprechend 20 bis 40% der Nabenendwand L, entlang der Höhe h der Düsenschaufel **1** und des Bereichs C2 entsprechend 20 bis 40% der Spitzenendwand U entlang der Höhe h der Düsenschaufel **1**.

[0026] Der Querschnitt des Strömungsdurchlasses wird durch eine Linie auf der Druckoberfläche F und eine Linie auf der Saugoberfläche B in einer Meridionalposition innerhalb des Bereichs von mindestens 30% von einer Vorderkante **1f** der Düse **1**, entlang einer meridionalen Breite Cx der Düsenschaufel **1** definiert, wobei jede der Linien eine im Wesentlichen gerade Linie in einem Mittelbereich der Düsenschaufel aufweist.

[0027] Der Abstand Sh von einem Schnitt Pt1 zwischen der Linie C1 auf der Druckoberfläche oder der Saugoberfläche und der Nabenendwand L zu einem Schnitt Pc1 zwischen einer Verlängerung SE1 des Mittelteils S auf der Druckoberfläche oder Saugoberfläche, definiert durch die im Wesentlichen gerade Linie und die Nabenendwand L und der Abstand St von einem Schnitt Pt2 zwischen der Linie C2 auf der Druckoberfläche oder der Saugoberfläche und der Spitzenendwand U zu einem Schnitt Pc2 zwischen einer Verlängerung SE2 des Mittelteils S und der Spitzenendwand U haben einen Maximalwert an der Vorderkante **1f** der Düsenschaufel und mindestens 4% der Schaufelhöhe h in einer Position bei 30% des meridionalen Breites von der Vorderkante der Düsenschaufel.

[0028] Der Maximalwert der Abstände Sh, St an der Vorderkante **1f** der Düsenschaufel **1** sollte vorzugsweise in einem Bereich von 5 bis 15% der Schaufelhöhe h liegen.

[0029] Wenn der Abstand zwischen den Schnitten von der Vorderkante **1f** der Düsenschaufel zu einer Position bei 55 – 65% der meridionalen Breite durch Sh oder St repräsentiert wird, so wird die Düsenschaufelhöhe h repräsentiert und das Verhältnis des meridionalen Abstandes von der Vorderkante **1f** der Düsenschaufel zur Schaufelbreite Cx wird repräsentiert durch Δ , wobei dann die folgende Gleichung vorzugsweise erfüllt sein sollte:

$$St/h, Sh/h = \sum a_n \cdot \Delta^n$$

wobei An einen Koeffizienten repräsentiert und n eine ganze Zahl von 0 oder größer ist.

[0030] In der obigen Gleichung ist ein Term höherer Ordnung, der im Wesentlichen Null ist, vernachlässigbar. Anders ausgedrückt, ist n eine ganze Zahl von 0 oder größer, ein numerischer Wert einschließlich aller Ausdrücke höherer Ordnung, die nicht vernachlässigbar klein sind.

[0031] Die obigen und weitere Ziele und Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der vorliegenden Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen in denen ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert ist.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0032] [Fig. 1](#) ist eine perspektivische Ansicht einer Turbinendüse gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0033] [Fig. 2](#) ist eine Querschnittsansicht eines Strömungsdurchlasses in der Turbinendüse gemäß [Fig. 1](#);

[0034] [Fig. 3](#) ist ein Diagramm, welches eine meridionale Verteilung der Abstände Sh , St der Düsen-schaufeln gemäß der Erfindung zeigt;

[0035] [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4D](#) sind Diagramme, die darstellen, wie der Querschnitt eines Strömungsdurchlasses sich in der meridionalen Richtung der Düsen-schaufeln einer konventionellen Turbinendüse ändert;

[0036] [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5D](#) sind Diagramme, die darstellen, wie der Querschnitt eines Strömungsdurchlasses sich in der meridionalen Richtung der Düsen-schaufeln der Turbinendüse gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung ändert;

[0037] [Fig. 6](#) ist ein Graph, der die Beziehung zwischen den Abständen Sh , St bis $x/Cx = 0,3$ und dem Verlust zeigt;

[0038] [Fig. 7](#) ist ein Graph, der die Beziehung zwischen den Höhen Lh , Lt und dem Verlust zeigt;

[0039] [Fig. 8](#) ist ein Diagramm, welches eine meridionale Verteilung der Abstände Sh , St der Düsen-schaufeln gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung darstellt;

[0040] [Fig. 9](#) ist ein Graph, der die Beziehung zwischen den Abständen Sh , St an der Vorderkante darstellt und zwar abhängig von dem Verlust;

[0041] [Fig. 10](#) ist ein Graph, der die Verlustverteilungen am Auslass der konventionellen Schaufel und der Schaufel gemäß der vorliegenden Erfindung zu Vergleichszwecken zeigt;

[0042] [Fig. 11](#) ist ein Graph, der die Verteilung der statischen Drücke auf einer Schaufeloberfläche an der Mittelspanne der Schaufel zeigt;

[0043] [Fig. 12](#) ist ein Graph, der die Verteilung des statischen Druckes auf der Schaufeloberfläche an einer Nabenendwand der Turbinenmembran zeigt;

[0044] [Fig. 13](#) ist ein Graph, der die Verteilung der Geschwindigkeiten an einem Schaufelauslass zeigt;

[0045] [Fig. 14A](#) und [Fig. 14B](#) sind Diagramme, welche die Verteilungen der Konturlinien der statischen Drücke im Querschnitt eines Strömungsdurchlasses auf einer konventionellen Düsen-schaufel und der Düsen-schaufel gemäß der vorliegenden Erfindung für Vergleichszwecke zeigen;

[0046] [Fig. 15](#) ist eine perspektivische Teilansicht, welche eine Strömung in einer konventionellen Turbinendüse veranschaulicht;

[0047] [Fig. 16](#) ist eine Teilvorderansicht einer konventionellen Düse mit geneigten Schaufeln, zum Reduzieren eines sekundären Strömungsverlustes;

[0048] [Fig. 17](#) ist eine perspektivische Teilansicht einer konventionellen Düse mit gekrümmten oder kurvenförmigen Schaufeln zum Reduzieren eines sekundären Strömungsverlustes;

[0049] [Fig. 18](#) ist eine Teilvorderansicht der Düse gemäß [Fig. 17](#); und

[0050] [Fig. 19](#) ist ein Graph, der die Strömungsgeschwindigkeitsverteilungen einer üblichen Schaufel und diejenigen einer gekrümmten Schaufel aus Gründen des Vergleichs zeigt.

Beste Art und Weise zur Durchführung der Erfindung

[0051] Eine Turbinendüse gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird nunmehr unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben.

[0052] Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, weist eine Turbinendüse gemäß der vorliegenden Erfindung Folgendes auf: eine Anordnung von Düsen-schaufeln **1** in einer Umfangsrichtung y in einem Ringdurchlass **4**, definiert zwischen einem Innenring **3** und einem Außenring **2** einer Membran. Die Düsen-schaufeln **1** besitzen Naben und Spitzenendwände L , U an ihren entgegengesetzten Enden, die jeweils an einer Außendurchmesser-oberfläche (Spitzenendwand) des Innenrings und an einer Innendurchmesser-oberfläche (Nabenendwand) des Außenrings **2** befestigt sind. Die Turbinendüse ist in [Fig. 1](#) perspektivisch dargestellt, und wird von einer Position stromaufwärts gegenüber der Turbinenschaufel gesehen. Jede der Düsen-schaufeln **1** besitzt einen Schaufelprofilabschnitt und eine Druck-oberfläche F und eine Saugoberfläche B .

[0053] Ein zwischen der Druckoberfläche F und der Saugoberfläche B von benachbarten Schaufeln der Düsen-schaufeln **1** definiert einen Strömungsdurchlass mit einem Querschnitt **4a** in einer willkürlichen Meridionalposition. Der Querschnitt **4a** besitzt eine

Seitenkante, definiert durch eine Linie **1p** auf der Druckoberfläche F und eine entgegengesetzt liegende Seitenkante, definiert durch eine Linie **1s** auf der Saugoberfläche B. Jede Düsenschaufel **1** besitzt eine Breite C_x in ihrer meridionalen Richtung x . In [Fig. 1](#) repräsentiert z die Radialrichtung.

[0054] Auf jeder Düsenschaufel **1**, in einer Zone oder Region von einer vorderen Kante **1f** zu einer Position von mindestens 30% der Breite C_x in meridionaler Richtung x und in Bereichen L_h , L_t (vgl. [Fig. 2](#)) entsprechend 20 bis 40% einer Schaufelhöhe h , nach innen gegenüber der Nabe und den Spitzenendwänden L , U (d. h. in einer Richtung von der Nabenendwand L zur Spitzenendwand U und in einer Richtung von der Spitzenendwand U zur Nabenendwand L), sind die Linie **1p** auf der Druckoberfläche F und die Linie **1s** auf der Saugoberfläche B, die den Querschnitt **4a** bilden, zusammengesetzt oder gebildet aus geraden oder gekrümmten Linien C_1 , C_2 , die zur Nabenendwand L bzw. der Spitzenendwand U hinweisen. Andere Teile der Linien **1p**, **1s** als die Bereiche L_h , L_t , d. h. zentrale oder mittige Teile der Linien **1p**, **1s** sind aus einer geraden Linie aufgebaut.

[0055] Daher sind, wie in [Fig. 2](#) gezeigt, in dem Strömungsdurchlass **4a** zwischen der Druckoberfläche F und der Saugoberfläche B der benachbarten Düsenschaufeln **1**, die Bereiche L_h , L_t entsprechend 20 bis 40% der Schaufelhöhe h nach innen von Naben- und Spitzenendwänden L , U durch die gerade oder kurvenförmige Linie C (C_1 , C_2 : Parabeln im dargestellten Ausführungsbeispiel) definiert, und zwar geneigt von der Druckoberfläche F zu der Saugoberfläche B zu den Enden L , U .

[0056] Die Versetzungen gegenüber den geraden Teilen S auf den Naben- und Spitzenendwänden L , U , d. h. der Abstand Sh von einem Schnitt Pt_1 zwischen der geneigten Linie C_1 und der Nabenendwand L zu einem Schnitt Pc_1 zwischen einer Verlängerung SE_1 (angedeutet durch eine gestrichelte Linie in [Fig. 2](#)) des geraden Teils S und der Nabenendwand L , und der Abstand St von einem Schnitt Pt_2 zwischen der geneigten Linie C_2 und der Spitzenendwand U zu einem Schnitt Pc_2 zwischen einer Verlängerung SE_2 (dargestellt durch eine gestrichelte Linie in [Fig. 2](#)) des geraden Teils S und der Außendurchmesser-oberfläche U , besitzen einen Maximalwert an der Vorderkante **1f** der Düsenschaufel und sind progressiv vermindert zu der nachteiligen Kante der Düsenschaufel hin.

[0057] Der Effekt des meridionalen Bereichs in dem die geneigten Teile C_1 , C_2 addiert werden, wird unten beschrieben.

[0058] In [Fig. 3](#) sind verschiedene Beispiele und Änderungen der Abstände St , Sh zur meridionalen Richtung x durch Kennlinienkurven a , b , c , d , e und f

gezeigt. In [Fig. 3](#) repräsentiert die Horizontalachse x/C_x und die Vertikalachse repräsentiert Sh/h , St/h . Somit ist x/C_x definiert als Meridionalabstand von der Vorderkante und zwar nicht-dimensionalisiert durch die Schaufelmeridionalbreite C_x . In dem durch die charakteristischen Kurven $a - f$ gezeigten Beispielen wird das Verhältnis des Abstandes Sh ($= St$) zur Schaufelhöhe h an der vorderen Kante **1f** mit $Sh/h = 0,09$ ausgewählt, mit einer Ausnahme für das Beispiel, gezeigt durch die Kennlinienkurve a . Die Verhältnisse der Bereiche L_h , L_t zur Schaufelhöhe h werden wie folgt ausgewählt: $L_h/h = L_t/h = 0,25$.

[0059] Bezüglich der Kennlinienkurve a sei bemerkt: die Abstände Sh , St sind $Sh = 0$, $St = 0$ innerhalb der gesamten Düsenschaufel auf welche Weise das konventionelle Düsenschaufelprofil dargestellt ist.

[0060] Änderungen im Querschnitt des Strömungsdurchlasses in der Meridionalrichtung bezüglich der konventionellen Düsenschaufel (repräsentiert durch die charakteristische Kurve a) sind in den [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4D](#) gezeigt. Änderungen des Querschnitts des Strömungsdurchlasses in der Meridionalrichtung bezüglich einer erfindungsgemäßen Düsenschaufel (repräsentiert durch die Kennlinie e) sind in den [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5D](#) gezeigt.

[0061] [Fig. 6](#) zeigt zu Vergleichszwecken die Gesamtdruckverluste, berechnet durch eine Analyse der viskosen Strömung der Düsenschaufeln, repräsentiert durch die Kennlinien a bis f , und zwar bezüglich des Abstandes Sh an dem meridionalen Abstand $x/C_x = 0,3$.

[0062] Ein Studium der [Fig. 6](#) zeigt, dass der Abstand Sh bei $x/C_x = 0,3$ ansteigt, der Verlust nimmt bis auf $Sh/h = 0,046$ ab, und verbleibt im Wesentlichen ungeändert für die Kennlinien d , e , und f von $Sh/h > 0,046$.

[0063] Wenn die Einfachheit oder die Leichtigkeit der Herstellung ins Auge gefasst wird, dann sind die Düsenschaufeln wo der Abstand Sh auf im Wesentlichen Null bei $x/C_x = 0,6$ abnimmt, wie in [Fig. 3](#) gezeigt, und wie durch die Kennlinien d , e angedeutet ist, gegenüber der Düsenschaufel zu bevorzugen, wo der Abstand Sh über die gesamte Längsbreite hinweg konstant ist und die geneigten Teile C_1 , C_2 über die Gesamtheit der meridionalen Breite vorhanden sind, wie dies durch die Kennlinie f angedeutet ist, da der Strömungsdurchlass eine einfache Konfiguration besitzt.

[0064] Der Effekt der Bereiche L_h , L_t in der Schaufelhöhe in dem die geneigten Teile C_1 , C_2 addiert werden, wird unten beschrieben.

[0065] [Fig. 7](#) zeigt den Effekt der Bereiche L_h , L_t in

der Schaufelhöhe in der die geneigten Teile C1, C2 addiert wurden, und zwar hinsichtlich des Verlustes bezüglich der Düsenschaufeln, wo die Verteilung der Abstände Sh , St auf im Wesentlichen Null bei $x/Cx = 0,6$ abnimmt und Sh/h gleich $0,09$ an der Vorderkante der Düsenschaufel ist, wie dies durch die Kennlinien b, c, d und e in [Fig. 3](#) dargestellt ist.

[0066] Aus [Fig. 7](#) erkennt man, dass die Düsenschaufeln gemäß der Erfindung kleinere Verluste als die konventionelle Düsenschaufel erleiden, und zwar unabhängig von den Größen der Bereiche Lh , Lt und insbesondere ist der Verlust minimal in den Bereichen von $0,2 < Lh/h$, $Lt/h < 0,4$.

[0067] Der Effekt der Abstände Sh , St an der Vorderkante der Düsenschaufel wird nunmehr beschrieben.

[0068] [Fig. 8](#) zeigt die Düsenschaufeln, repräsentiert durch die Kennlinien a – e und zwar mit unterschiedlichen Abständen Sh , St an der Vorderkante davon, und [Fig. 9](#) zeigt die Gesamtdruckverluste, berechnet durch eine viskose Strömungsanalyse von diesen Düsenschaufeln. Die Horizontalachse in [Fig. 9](#) gibt Sh/h ($= St/h$) am Einlass der Düsenschaufel an.

[0069] Wie man aus [Fig. 8](#) erkennt, nimmt die Verteilung der Abstände Sh , St in der meridionalen Richtung jeder der Düsenschaufeln, repräsentiert durch die Kennlinien b – e auf im Wesentlichen Null bei $x/Cx = 0,6$ ab.

[0070] Wie man aus [Fig. 9](#) entnehmen kann, erleiden die Düsenschaufeln, dargestellt durch die Kennlinien b – e, wo Sh/h bis zu ungefähr $0,16$ an der Vorderkante davon ist, kleinere Verluste als die konventionellen Düsenschaufeln. Die durch die Kennlinien b – d dargestellten Düsenschaufeln sind bevorzugt, da der Verlust minimal ist, insbesondere in den Bereichen von $0,05 < Sh/h < 0,15$.

[0071] Die [Fig. 10](#) bis [Fig. 13](#) zeigen detaillierte Ergebnisse von analytischen Berechnungen der konventionellen üblichen Düsenschaufel und der Düsenschaufel gemäß der Erfindung.

[0072] [Fig. 10](#) zeigt zu Vergleichszwecken die Verlustverteilungen, berechnet durch eine viskose Strömungsanalyse (Analyse der viskosen Strömung) an den Querschnitten der Schaufelauslässe der konventionellen Düsenschaufel und der Düsenschaufel gemäß der vorliegenden Erfindung, wo $Sh/h = 0,09$, $St/h = 0,106$, $Lh/h = Lt/h = 0,25$ an der Vorderkante ist, und die Verteilung der Abstände Sh , St in der meridionalen Richtung im Wesentlichen auf Null bei $x/Cx = 0,6$ abnimmt. In [Fig. 10](#) repräsentiert die Horizontalachse z/h und die Vertikalachse repräsentiert den Gesamtdruckverlust.

[0073] Wie man aus [Fig. 10](#) entnehmen kann, tritt bei der üblichen Düsenschaufel (durch eine ausgezogene Kurve dargestellt) eine Verlustspitze, hervorgerufen durch eine Sekundärströmung nahe den Naben- und Spitzenendwänden auf, was nicht gleichförmige Strömungen zur Folge hat, die einen großen Verlust dann verursachen, wenn sie stromabwärts der Schaufel gemischt und diffundiert werden, und ferner erkennt man, dass die erfindungsgemäße Schaufel (dargestellt durch die gestrichelte Kurve) eine Verlustspitze, hervorgerufen durch eine Sekundärströmung nahe der Nabenendwand aufweist, die ungefähr 30% kleiner ist als die bei der üblichen Düsenschaufel.

[0074] [Fig. 11](#) zeigt eine Verteilung der statischen Drücke an einer Schaufeloberfläche an der Mittelspanne der Schaufel und [Fig. 12](#) zeigt eine Verteilung der statischen Drücke an einer Schaufeloberfläche an der Nabenendwand der Turbinenmembran. In den [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) repräsentiert die Horizontalachse x/Cx und die Vertikalachse repräsentiert P/PsO (Oberflächendruck nicht dimensionalisiert durch statischen Druck an dem Düseneinlass). Aus den [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) entnimmt man, dass die statischen Drücke an der erfindungsgemäßen Schaufel (dargestellt durch die gestrichelte Kurve) und der üblichen Schaufel (dargestellt durch die ausgezogene Kurve) die gleichen sind an der Mittelspanne der Schaufel, dass aber die Schaufelbelastung (Druckdifferenz zwischen der Druckoberfläche und der Saugoberfläche) bei der erfindungsgemäßen Schaufel an der Nabenendwand kleiner ist als an der Schaufeleinlassseite.

[0075] Eine derartige Änderung der Belastungsverteilung der Schaufel, d. h. die Tatsache, dass die Schaufelbelastung der erfindungsgemäßen Schaufel kleiner ist an der Schaufeleinlassseite als das bei der konventionellen Schaufel der Fall ist, wird unten hinsichtlich oder mit Ausdrücken einer Änderung der statischen Druckverteilung im Querschnitt **4a** des Strömungsdurchlasses in der Düse beschrieben.

[0076] Konturlinien der statischen Drücke im Querschnitt **4a** des Strömungsdurchlasses bei der konventionellen Düsenschaufel und bei der erfindungsgemäßen Düsenschaufel sind in den [Fig. 14A](#) und [Fig. 14B](#) gezeigt. Bei der -konventionellen Düsenschaufel sind die Konturlinien der statischen Drücke im Wesentlichen parallel mit der Linie **1p** auf der Druckoberfläche F verteilt und die Linie **1s** ist auf der Saugoberfläche B . In der Nähe der Linie **1s** auf der Saugoberfläche B sind der statische Druck an der Mitte der Schaufelhöhe und die statischen Drücke an den Naben- und Spitzenendwänden L , U im Wesentlichen die gleichen.

[0077] Bei der erfindungsgemäßen Düsenschaufel ist die Verteilung der statischen Drücke über die

Schaufelhöhe nahe der Linie **1s** auf der Saugoberfläche B größer durch Sh, St, als die an der Mitte der Schaufelhöhe (die Zone des geraden Teils S gezeigt in [Fig. 2](#)) und zwar in der Nähe der Nabenendwand L und der Spitzenendwand U. Daher nimmt die Schaufelbelastung ab, da der statische Druck nahe der Linie **1s** auf der Saugoberfläche B in der Nähe der Nabenendwand L und der Spitzenendwand U ansteigt.

[0078] In den [Fig. 14A](#) und [Fig. 14B](#) zeigen die gestrichelten Pfeile SF1, SF2 sekundäre Strömungen an und zwar nahe beider Endwände, gerichtet von der Linie **1p** auf der Druckoberfläche F zur Linie **1s** auf der Saugoberfläche B im Querschnitte **4a** des Strömungsdurchlasses.

[0079] Die sekundären Strömungen SF1, SF2, werden durch die Druckdifferenz (die Schaufelbelastung) zwischen der Druckoberfläche F und der Saugoberfläche B in der Nähe der Nabenendwand L und der Spitzenendwand U erzeugt, und die Intensität der sekundären Strömungen SF1, SF2 ist proportional zur Größe der Schaufelbelastung. Daher ist die erfindungsgemäße Düsenschaufel in der Lage, die Schaufelbelastung kleiner zu machen in der Nähe der Nabenendwand L und der Spitzenendwand U, als dies bei der konventionellen Düsenschaufel der Fall ist, die Sekundärströmung wird mehr unterdrückt als bei der konventionellen Düsenschaufel, und somit kann der durch die Sekundärströmung verursachte Verlust reduziert werden.

[0080] Ferner gilt Folgendes: bei der konventionellen Sekundärflusssteuerungsdüse gemäß den [Fig. 15](#) bis [Fig. 18](#) ist die Verteilung der Geschwindigkeiten am Düsenauslass einer großen Veränderung unterworfen, wie dies in [Fig. 19](#) gezeigt ist.

[0081] Bei der erfindungsgemäßen Düsenschaufel jedoch bleibt die Verteilung der Geschwindigkeiten an dem Schaufelauslass (Umfangsgeschwindigkeiten V_t und Meridionalgeschwindigkeiten V_m , die ausgedrückt sind als ein dimensionsloses Verhältnis bezüglich der absoluten Geschwindigkeit $V = (V_t^2 + V_m^2)^{0.5}$) im Wesentlichen die gleiche wie die bei der normalen Düsenschaufel wie dies in [Fig. 13](#) gezeigt ist.

[0082] Infolgedessen gilt: selbst wenn nur die Düsenschaufeln in einer konventionellen Turbinenstufe mit den Düsenschaufeln gemäß der Erfindung ersetzt werden, beeinflusst die Turbinendüse die Rotor-schaufeln, positioniert stromabwärts von der Turbinenstufe, nicht nachteilig.

[0083] Wie oben beschrieben, ist die Turbinendüse gemäß der Erfindung in der Lage, eine Sekundärströmung an den Enden der Düsenschaufel zu unterdrücken, wodurch der Verlust, hervorgerufen durch die Sekundärströmung, reduziert wird. Ferner sieht die

Turbinendüse gemäß der vorliegenden Erfindung eine Geschwindigkeitsverteilung am Düsenauslass vor, die die gleiche ist wie die bei üblichen Düsenschaufeln, und auf diese Weise werden die Rotor-schaufeln positioniert stromabwärts gegenüber der Turbinendüse nicht nachteilig beeinflusst.

[0084] Obwohl ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung im Einzelnen gezeigt und beschrieben wurde, ist doch klar, dass verschiedene Änderungen und Modifikationen vorgenommen werden können, ohne den Rahmen der beigefügten Ansprüche zu verlassen.

Industrielle Anwendbarkeit

[0085] Die vorliegende Erfindung ist geeignet für eine Turbine, die dazu verwendet wird, verschiedene Maschinen anzutreiben, wie beispielsweise einen elektrischen Generator in einem Kraftwerk.

Patentansprüche

1. Eine Turbinendüse, die Folgendes aufweist: eine Anordnung aus Düsenschaufeln (**1**) umfangsmäßig in einem Ringdurchlass (**4**) angeordnet, der zwischen einer Nabenendwand (L) eines Innenrings (**3**) und einer Außen- oder Spitzenendwand (U) eines Außenrings (**2**) definiert ist und zwar befestigt an den Naben- und Außenendwänden (L, U); ein Strömungsdurchlass definiert zwischen einer Druckoberfläche (F) und einer Saugoberfläche (B) von benachbarten Düsenschaufeln, der erwähnten Schaufeln (**1**), wobei ein Querschnitt (**4a**), des erwähnten Strömungsdurchlasses innerhalb einer vorbestimmten Region von einer Vorderkante, der Düsenschaufel (**1**) in Meridianrichtung (x) eine gekrümmte oder gekurvte Linie (C1, C2) auf jeder Druckoberfläche und/oder der Saugoberfläche (B) aufweist und zwar in einem vorbestimmten Bereich (Lh, Lt), der Schaufelhöhe (h) nach innen gegenüber den Naben und Außenendwänden (L, U) und einer wesentlichen geraden Linie (S) auf der Druckoberfläche (F) und/oder der Saugoberfläche (B) in einem anderen Bereich **dadurch gekennzeichnet**, dass der vorbestimmte Bereich (Lh, Lt) einem Bereich entsprechen 20 bis 40% der Schaufelhöhe (h) nach innen gegenüber den Naben- und Außenendwänden (L, U) aufweist.

2. Eine Turbinendüse nach Anspruch 1, wobei die erwähnte vorbestimmte Region oder Zone (Lh, Lt) eine Region oder Zone aufweist und zwar von der vorderen Kante der Düsenschaufel (**1**) zu einer Position von mindesten 30% der Schaufelbreite (Cx) in der Meridianrichtung (x).

3. Eine Turbinendüse nach Anspruch 1, wobei der erwähnte Querschnitt (**4a**) des Strömungsdurchlasses innerhalb eines Bereichs von der Vorderkante

der Düsenschaufel (1) zu einer Position von mindestens 30% der Schaufelbreite (Cx) in Meridianrichtung (x) durch eine Linie (1p) auf der erwähnten Druckoberfläche (F) und eine Linie (1s) auf der erwähnten Saugoberfläche (B) definiert ist, wobei jede der Linien (1p, 1s) eine im Wesentlichen gerade Linie (S) in einem Mittelteil aufweist, der einen Bereich entsprechend 20 bis 40% der Schaufelhöhe nach innen gegenüber den Naben- und Außenendwänden (L, U) nicht einschließt.

4. Eine Turbinendüse nach Anspruch 3, wobei der Abstand von einem Schnitt zwischen der Linie (1p, 1s) auf der Druckoberfläche (F) oder der Saugoberfläche (B) oder der Nabenendwand (L) zu einem Schnitt zwischen einer Verlängerung der erwähnten im Wesentlichen geraden Linie und der Nabenendwand (L) und der Abstand von einem Schnitt zwischen der Linie auf der Druckoberfläche (F) oder der Saugoberfläche (B) und der Außenendwand (U) zu einem Schnitt zwischen einer Verlängerung der erwähnten im Wesentlichen geraden Linie und der Außenendwand (U) einen Maximalwert an der Vorderkante der Düsenschaufel aufweisen.

5. Eine Turbinendüse nach Anspruch 4, wobei der Maximalwert im Bereich von 5 bis 15% der Schaufelhöhe (h) liegt.

6. Eine Turbinendüse nach Anspruch 4, wobei die Abstände an der Vorderkante der Düsenschaufel im Bereich von 5 bis 15% der Schaufelhöhe (h) liegen und mindestens 4% der Schaufelhöhe (h) innerhalb einer Region oder Zone sind und zwar von der Vorderkante der Düsenschaufel zu einer Position von mindestens 30% der Schaufelbreite (Cx) in der Meridianrichtung.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

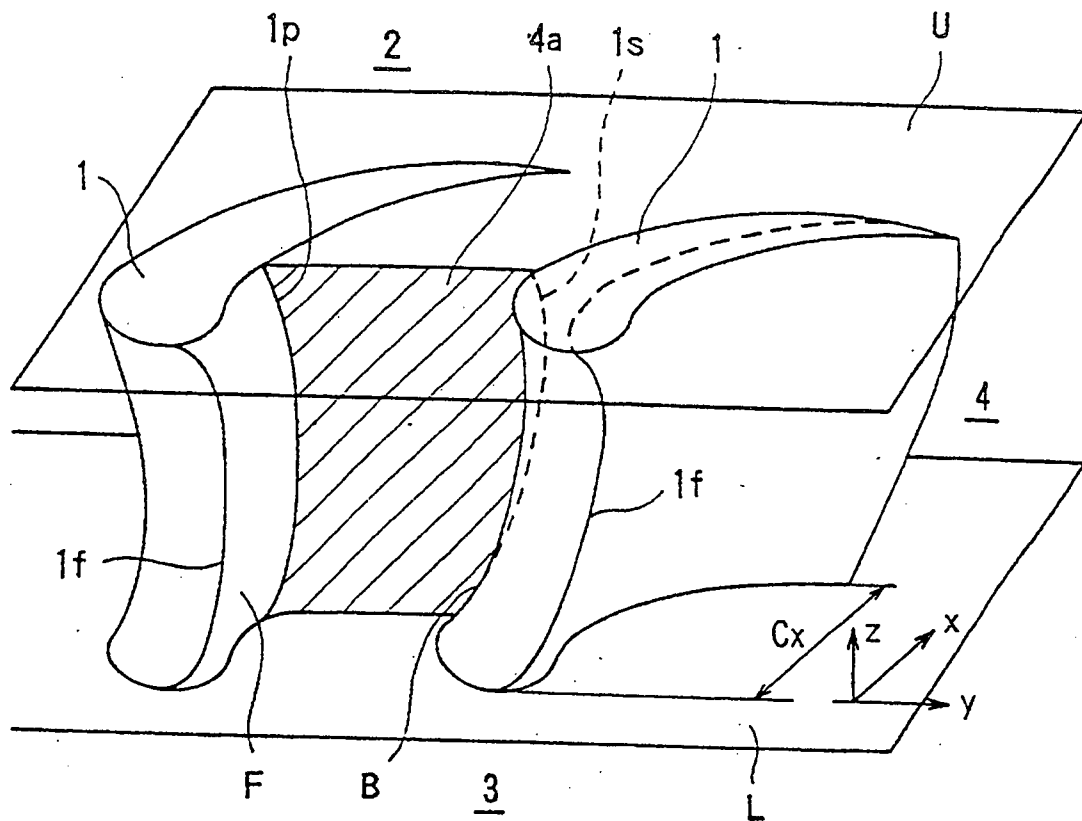


FIG. 2

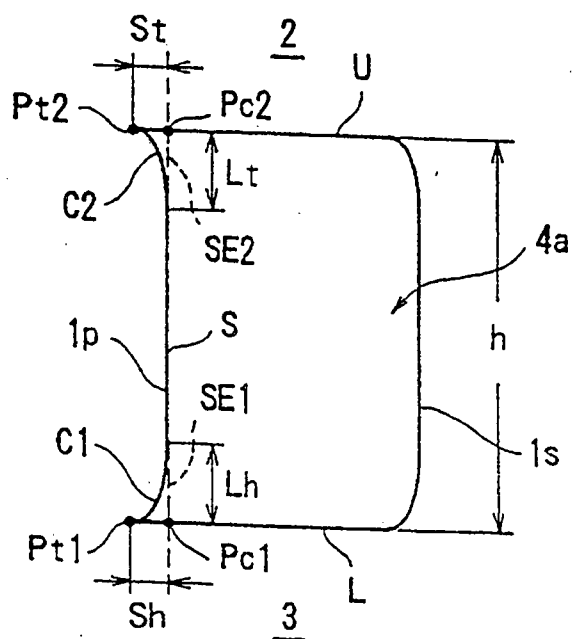


FIG. 3

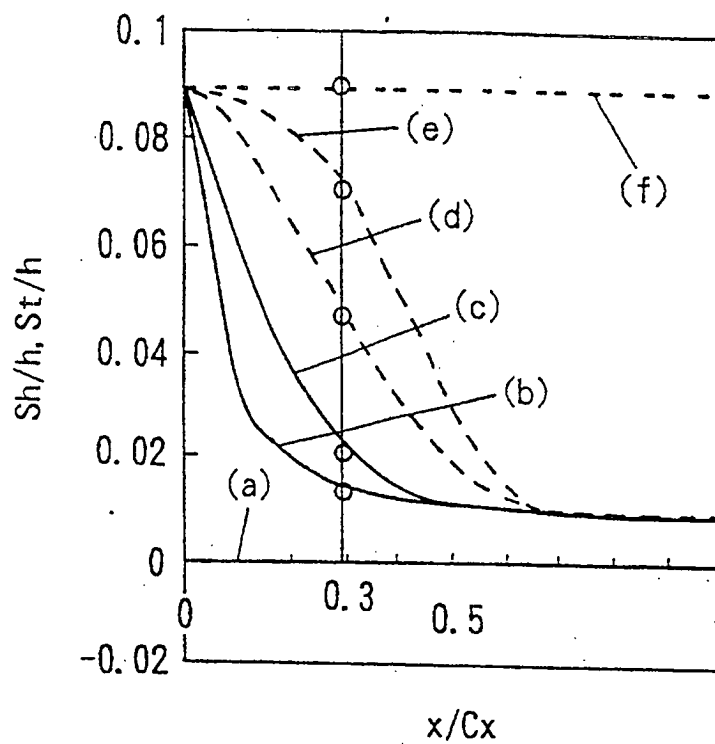


FIG. 4A FIG. 4B FIG. 4C FIG. 4D

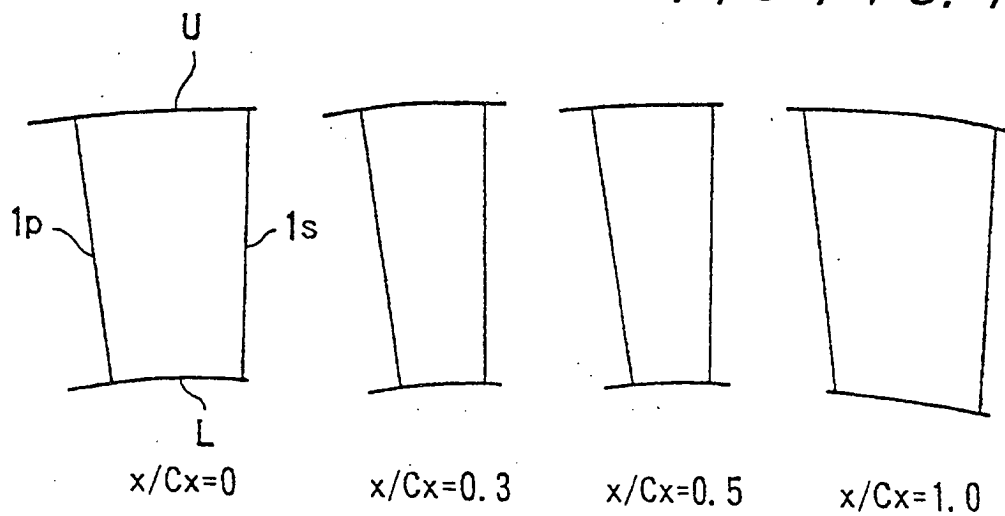


FIG. 5A FIG. 5B FIG. 5C FIG. 5D

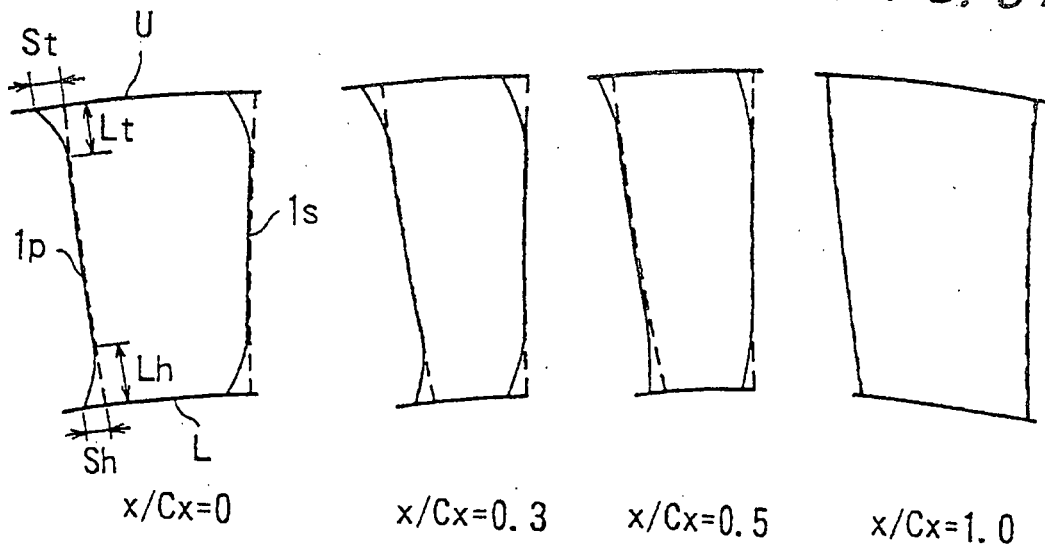


FIG. 6

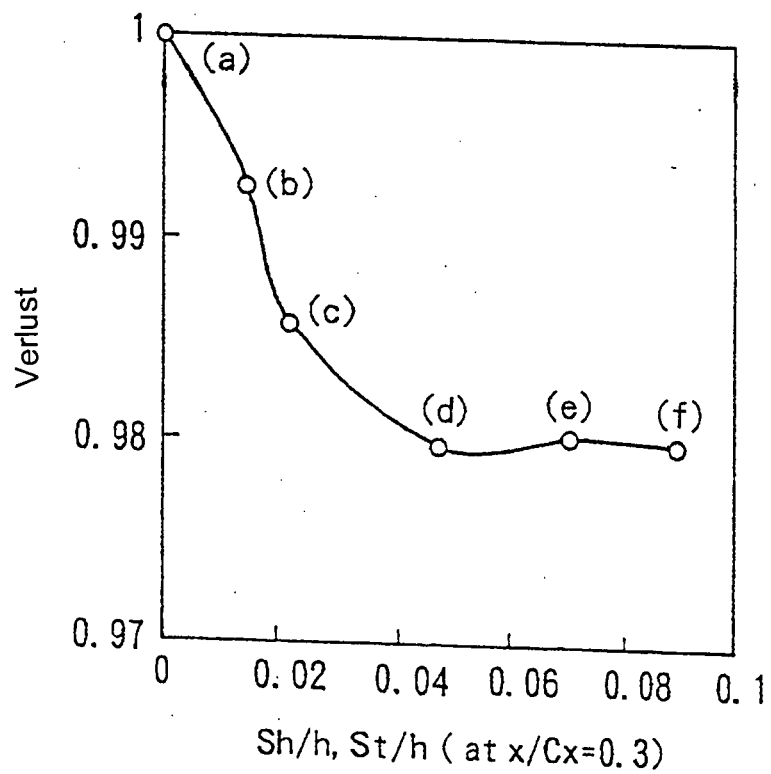


FIG. 7

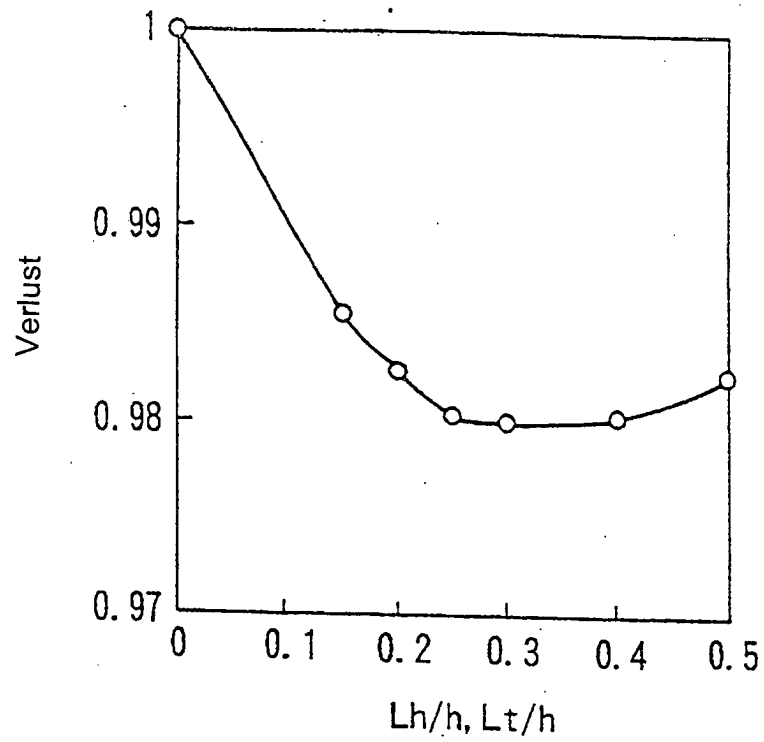


FIG. 8

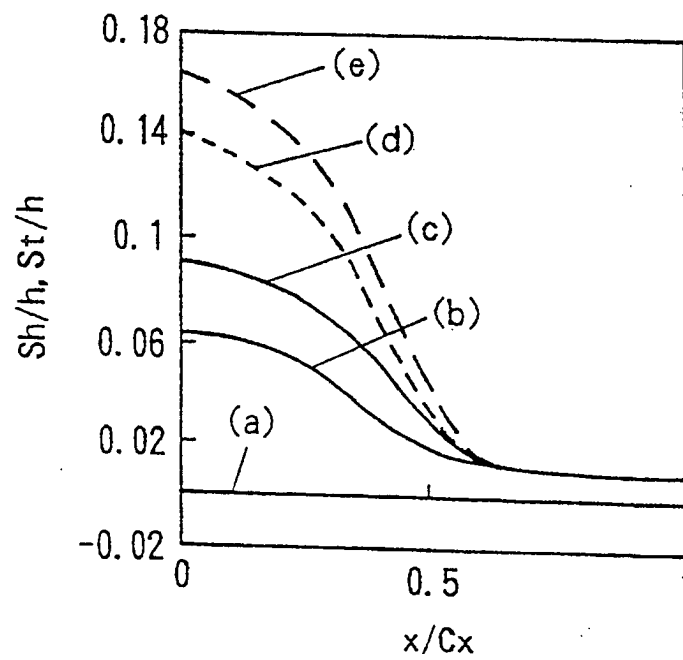


FIG. 9

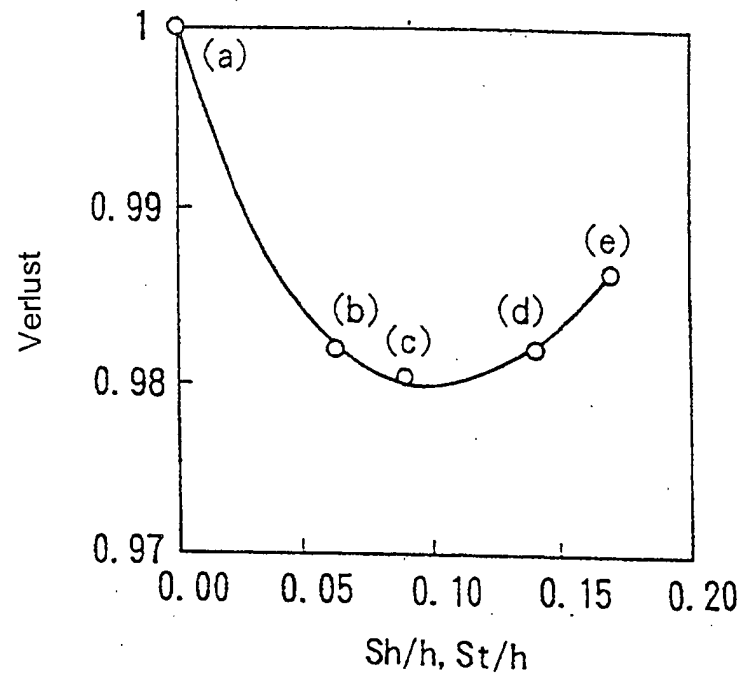


FIG. 10

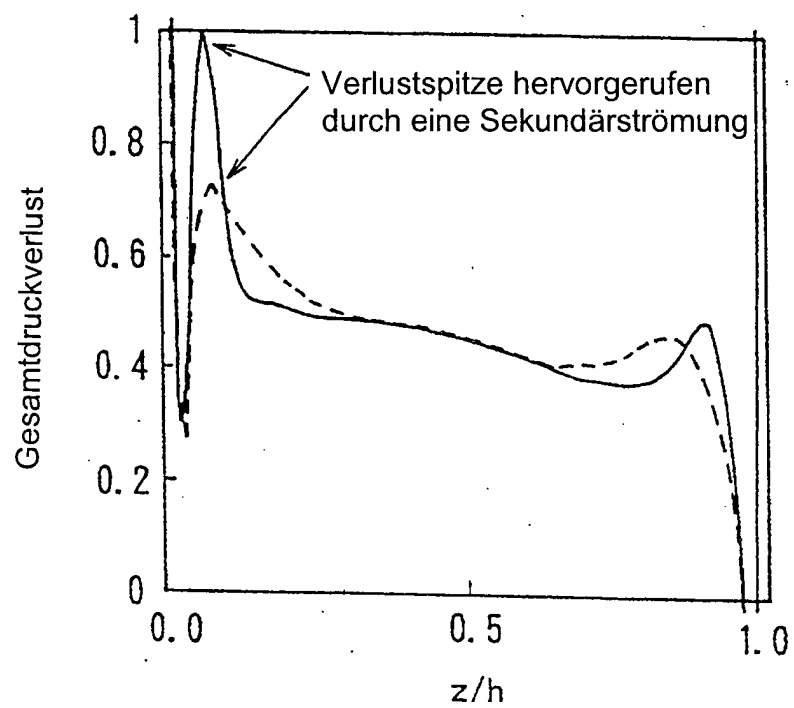


FIG. 11

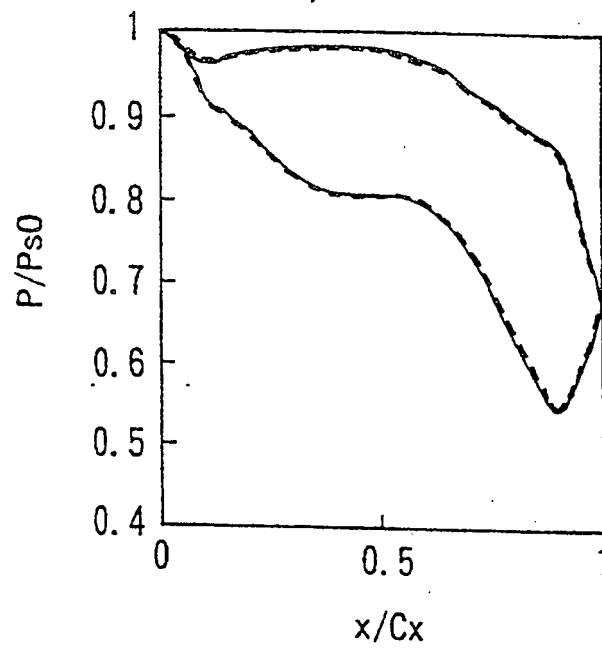


FIG. 12

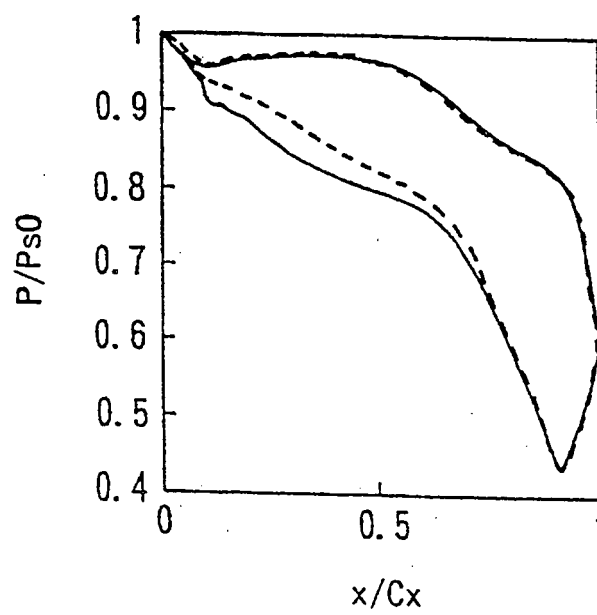


FIG. 13

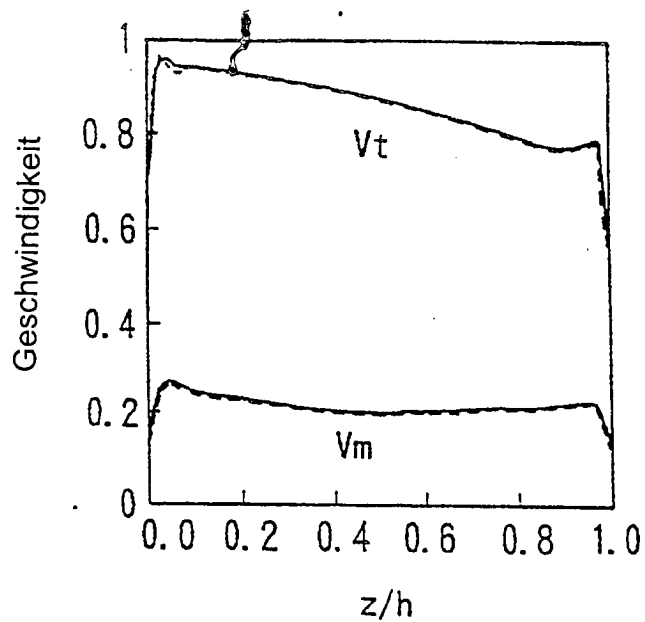


FIG. 14A

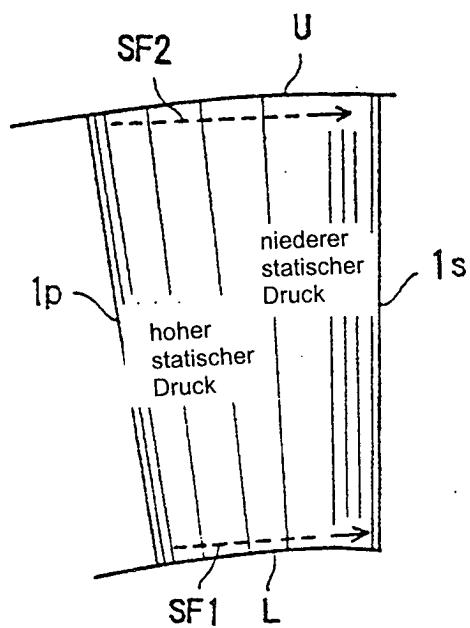


FIG. 14B

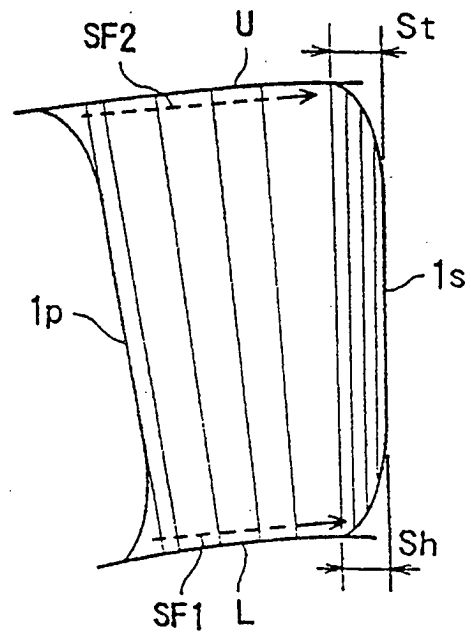


FIG. 15

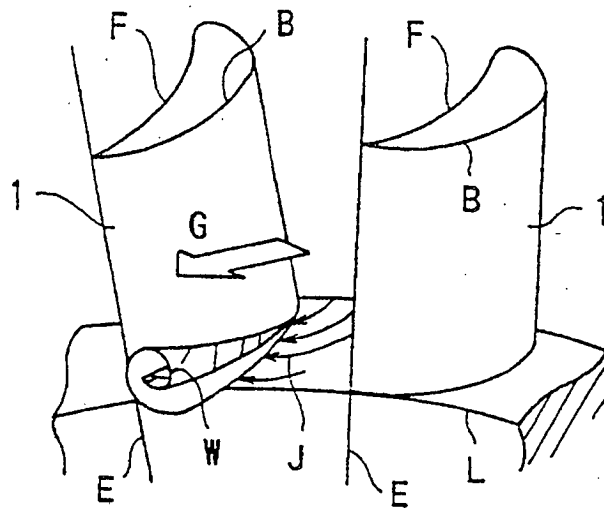


FIG. 16

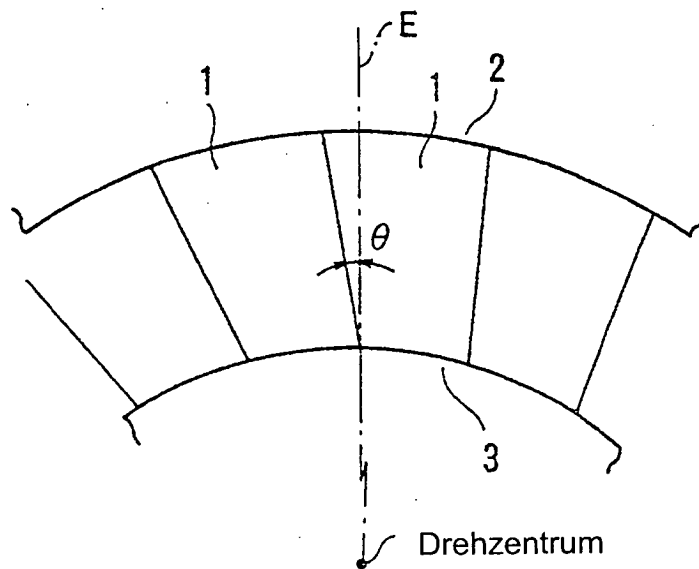


FIG. 17

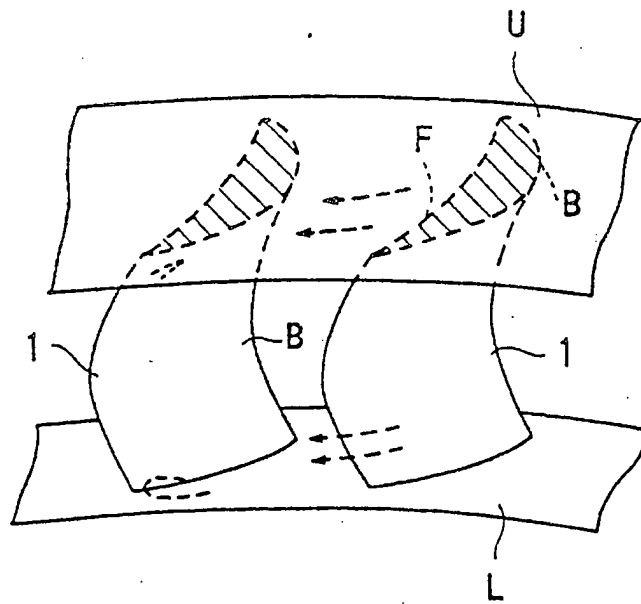


FIG. 18

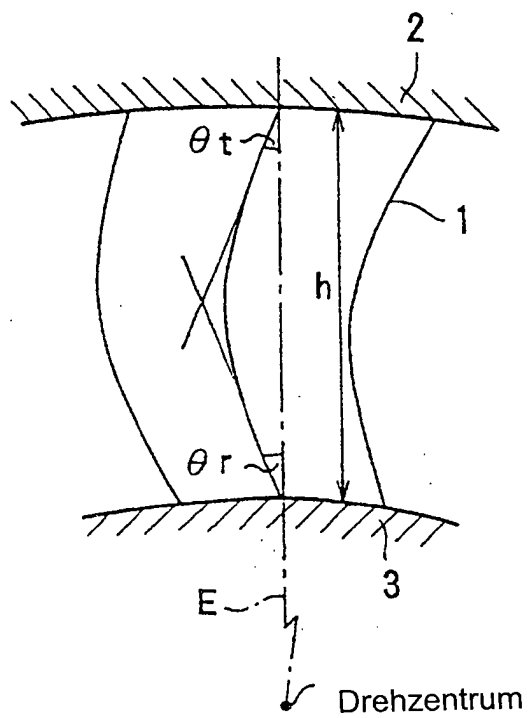


FIG. 19

