

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 690 206 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

03.01.1996 Patentblatt 1996/01

(51) Int Cl.⁶: F01D 25/30

(21) Anmeldenummer: 95810378.0

(22) Anmeldetag: 08.06.1995

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT(71) Anmelder: ABB Management AG
CH-5401 Baden (CH)

(30) Priorität: 29.06.1994 DE 4422700

(72) Erfinder: Kreitmeier, Franz
CH-5400 Baden (CH)

(54) Diffusor für Turbomaschine

(57) Bei einem Diffusor für eine axial durchströmte Dampfturbine mit axial/radialem Diffusor sind die Knickwinkel (α_N , α_Z) des Diffusoreintritts sowohl an der Nabe als auch am Zylinder der Turbomaschine ausschließlich zwecks Vergleichmässigung des Totaldruckprofils über der Kanalhöhe am Austritt der letzten Schaufelreihe (7A) festgelegt. Der Diffusor ist vom Eintritt bis zum Austritt mittels eines radial nach aussen gekrümmten

Leitbleches (60) in einen inneren (50) und einen äusseren (51) Kanal unterteilt. Innerhalb der Verzögerungszone des Diffusors sind im äusseren Kanal (51) radial durchströmte Strömungsrippen (70) und im inneren Kanal (50) diagonal durchströmte Strömungsrippen (71) angeordnet sind. Sie sind Mittel zur Drallwegnahme der drallbehafteten Strömung.

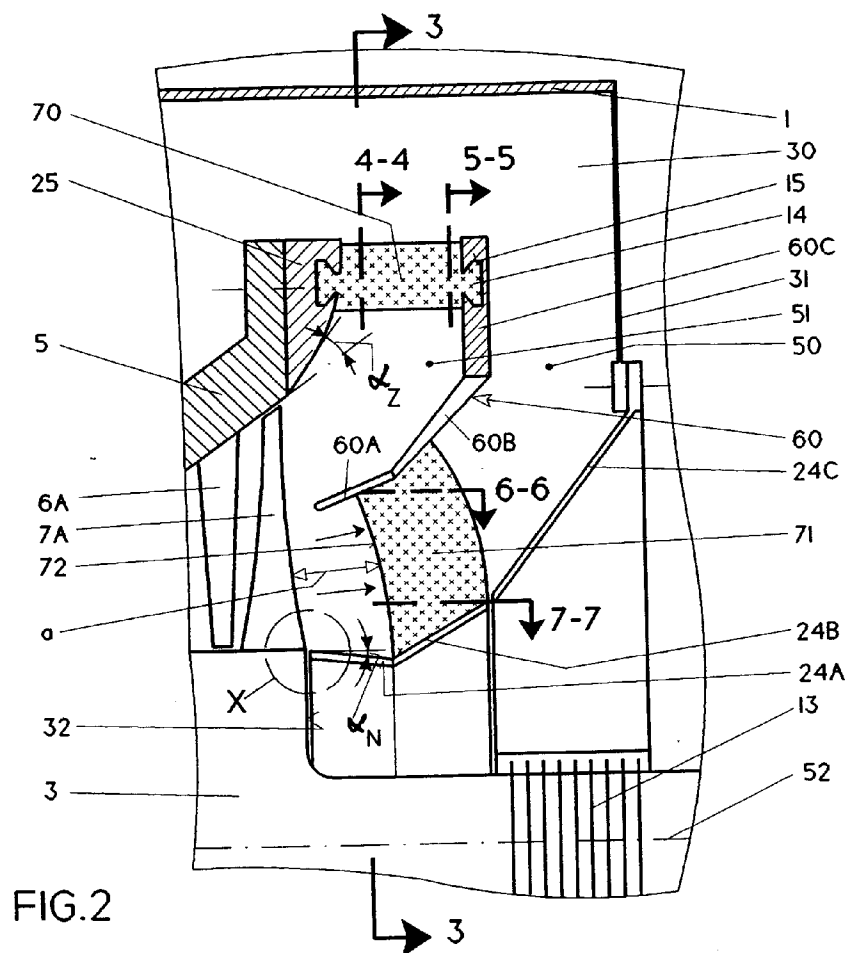


FIG. 2

EP 0 690 206 A2

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft einen Diffusor für eine axial durchströmte Turbomaschine,

- wobei die Knickwinkel des Diffusoreintritts sowohl an der Nabe als auch am Zylinder der Turbomaschine ausschliesslich zwecks Vergleichmässigung des Totaldruckprofils über der Kanalhöhe am Austritt der letzten Schaufelreihe festgelegt sind,
- wobei innerhalb der Verzögerungszone des Diffusors Mittel zur Drallwegnahme der drallbehafteten Strömung in Form von Strömungsrippen vorgesehen sind,
- und wobei mindestens ein strömungsführendes Leitblech den Diffusor unterteilt.

Stand der Technik

Derartige Diffusoren für Turbomaschinen sind bekannt aus der EP-B 265 633. Um der dortigen Forderung nach bestmöglichem Druckrückgewinn und drallfreier Diffusorabströmung bei Vollast und Teillast gerecht zu werden, ist innerhalb des Diffusors ein gleichrichtendes Gitter vorgesehen, das sich über die ganze Höhe des durchströmten Kanals erstreckt. Es handelt sich bei diesen Mitteln zur Drallwegnahme um gleichmässig über dem Umfang angeordnete zylindrische Strömungsrippen mit dicken geraden Profilen, die nach den Erkenntnissen des Strömungsmaschinenbaus ausgelegt sind und die gegen Schräganströmung möglichst unempfindlich sein sollen. Die angeströmte Vorderkante dieser Rippen befindet sich relativ weit hinter der Austrittskante der letzten Laufschaufeln, um eine durch das Druckfeld der Rippen verursachte Anregung der letzten Schaufelreihe zu vermeiden. Dieser Abstand ist so bemessen, dass sich die Vorderkante der Rippen in einer Ebene befindet, bei welcher ein Diffusorflächenverhältnis von vorzugsweise drei vorherrscht. Diese erste Diffusionszone zwischen der Beschaukelung und den Strömungsrippen soll damit infolge totaler Rotationssymmetrie ungestört bleiben. Die Tatsache, dass keine Interferenzeffekte zwischen Rippen und Beschaukelung zu erwarten sind, ist darauf zurückzuführen, dass die Rippen erst in einer Ebene wirksam werden, in der bereits ein relativ tiefes Geschwindigkeitsniveau vorherrscht.

Da bei üblichen hochbelasteten Beschaukelungen von Turbinen deren Öffnungswinkel jenen eines guten Diffusors weit überschreitet, ist der bekannte Diffusor zur Stützung der Strömung in radialer Richtung mittels strömungsführender Leitringe in mehrere Teildiffusoren unterteilt. Diese Leitringe erstrecken sich von einer Ebene unmittelbar am Austritt der Beschaukelung bis hin zu einer Ebene, bei welcher ein Diffusionsverhältnis von drei

erreicht ist, d.h. über die gesamte erste Diffusionszone. Aus Schwingungsgründen sind diese Leitringe vorzugsweise einteilig auszubilden. Dies führt zu einer aus Montagegründen nachteiligen Lösung ohne Trennebene. Darüberhinaus führen die Leitringe bei grossen Maschinen zu grossen Durchmessern, so dass sich Transportprobleme ergeben können.

Eine zweite Diffusionszone erstreckt sich von der Vorderkante der dicken Strömungsrippen bis zur grössten Profildicke der Rippen. In dieser zweiten Zone soll die Entdrallung der Strömung grösstenteils vorgenommen werden und zwar weitgehend verzögerungsfrei. In einer dritten anschliessenden Diffusionszone in Form eines geraden Diffusors erfolgt eine weitere Verzögerung der zu dem Zeitpunkt nahezu drallfreien Strömung.

Mit all diesen Massnahmen soll neben einem maximalen Druckrückgewinn insbesondere bei Teillast auch eine Verkürzung der Baulänge der Anlage erreicht werden.

In üblichen Gasturbinen wird der Diffusor bei Leerlauf unter einem Geschwindigkeitsverhältnis c_t/c_n von etwa 1,2 angeströmt, wobei c_t die Tangentialgeschwindigkeit und c_n die Axialgeschwindigkeit des Mediums bedeutet. Diese schräge Anströmung führt zu einem Abfall im Druckrückgewinn C_p .

Bei andern Maschinentypen, wie beispielsweise Dampfturbinen kommt es durchaus vor, dass der Volumenstrom bis auf 40% reduziert wird und damit c_t/c_n Verhältnisse bis zu 3 vorliegen. Bei solchen Maschinentypen bietet sich eine feste Diffusorgeometrie nicht an, da der Druckrückgewinn sogar negativ werden könnte. Dies gilt selbst für den Fall, bei dem das Verhältnis Teilung zu Sehne der Strömungsrippen 0,5 beträgt. Strömungsrippen mit Teilung/Sehne-Verhältnissen von etwa 1, welche bei Vollast, d.h. $c_t/c_n = \text{ca. } 0$, zwar einen etwas grösseren Druckrückgewinn ergeben würden, sind bei derartigen Maschinen überhaupt nicht anwendbar.

Der grosse Abfall im Druckrückgewinn ist darauf zurückzuführen, dass sich bei den genannten extremen Verhältnissen ein starker Wirbel zwischen Austritts-laufschaufeln und Strömungsrippen ausbildet. Der Wirbel wird durch die Strömungsrippen begrenzt, an denen die Tangentialkomponente der Geschwindigkeit dissipiert wird. Werden an der sich einstellenden Rückströmung feste Partikel, bspw. Wassertröpfchen in Dampfturbinen mitgeführt, so kann eine akute Gefahr der Fusserosion an den Schaufeln der letzten Laufreihe entstehen.

Darstellung der Erfindung

Unter Zugrundelegung einer 3D-Optimierung mit Navier-Stokes Rechenmethoden liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, bei einem Diffusor der eingangs genannten Art bei vorgegebenem Diffusor-Flächenverhältnis, worunter das Verhältnis der Strömungsquerschnitte am Austritt zum Eintritt des Diffusors verstanden wird, bei drallfreier Abströmung den physikalisch grösstmöglichen Druckrückgewinn zu erzielen.

Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht,

- dass der Diffusor einen axialen Eintritt und einen radialen Austritt aufweist,
- dass der Diffusor mittels eines radial nach aussen gekrümmten Leitbleches in einen inneren und einen äusseren Kanal unterteilt ist,
- dass im äusseren Kanal des Diffusors radial durchströmte Strömungsrippen und im inneren Kanal diagonal durchströmte Strömungsrippen angeordnet sind.

Zwar sind bereits aus der EP-A 581 978 axial-radiale Diffusoren bekannt, bei denen die Knickwinkel-Idee verwirklicht ist. Jedoch handelt es sich dabei um mehrzonige Diffusoren von Gasturbinen, wie sie in der dortigen Fig. 4 dargestellt sind. Eine erste einkanalige Diffusionszone weist hier Glockenform auf. Eine zweite Diffusionszone, welche mittels 2 Leitringen in drei Teildiffusoren unterteilt ist, mündet in eine dritte Diffusionszone, welche bei nur geringer Verzögerung stark umlenkt. Diese starke Umlenkung wird durch die Anordnung der sich in die Diffusionszone fortsetzenden Leitringe stark begünstigt. Diese Massnahme bewirkt eine günstige Steigerung des auf die Kanalhöhe bezogenen mittleren Krümmungsradius der dritten Diffusionszone.

Weiter ist es bereits bei axial durchströmten Niederdruckteilen von Dampfturbinen mit radialem Abdampf bekannt, die Diffusorströmung mittels radial nach aussen gekrümmten Leitblechen zu unterstützen. Bei einer solchen - in Fig. 1 dargestellten und später beschriebenen - Maschine sind die zwei Leitbleche aus konstruktiven Gründen in axialer Richtung so gestaffelt, dass sie in unterschiedlichen Ebenen wirksam werden. Nachteilig bei dieser Lösung sind insbesondere die nur lokale Wirkung dieser Umlenkhilfen und die vielen Befestigungsstreben, die zum Abstützen der Leitbleche erforderlich sind. Sie beeinträchtigen die Diffusorströmung ganz erheblich. Zur Information sei noch erwähnt, dass deshalb Diffusoren zum heutigen Zeitpunkt in der Regel ohne jede Augmentation ausgeführt werden. Dies bedingt hohe Strömungsverluste.

Die vorliegende Erfindung, ausgehend von einer Anlage, bei welcher am Austritt einer Beschaukelung eine stark divergente Strömung vorliegt, mit Gegendrall an der Nabe, Mitdrall am Zylinder und wesentlich höherer Strömungsenergie in der radial äusseren Zone, weist den Vorteil auf, erstmals die Knickwinkelidee, deren Ziel eine geringstmögliche Totaldruck-Inhomogenität über der Schaufelhöhe ist, bei einem zweikanaligen Diffusor mit axial/radialer Umlenkung mit Erfolg anzuwenden. Durch die gezielte Anordnung eines gekrümmten durchgehenden Leitbleches zur Stützung der Diffusorströmung während der meridionalen Umlenkung und einer strömungsorientierten Nachleitreihe in beiden Teilkanälen in Form von profilierten Rippen wird eine verlustarme

Umwandlung der drallbehafteten Strömungsenergie in Druckenergie erreicht. Die Strömungsrippen übernehmen auch die mechanische Abstützung des Leitbleches, wodurch auf die verlustreichen bisherigen Streben verzichtet werden kann.

Wenn das Leitblech mit den inneren und äusseren Strömungsrippen und den zugehörigen inneren und äusseren Diffusorringen als selbsttragende Halbschalen mit horizontaler Trennebene ausgebildet sind, so erleichtert die derart erzielte mechanische Integrität des Leitbleches eine einfache Montage/Demontage des Diffusors und den Zugang zu der Beschaukelung.

Es ist sinnvoll, wenn zur weitgehenden Vermeidung von Interferenzen mit der letzten Laufreihe der Beschaukelung im inneren Kanal das Verhältnis Rippenabstand a vom Austritt der Beschaukelung zu Rippenteilung t mindestens 0,5 beträgt. Diese Massnahme ergibt zudem eine vollständige Ausnutzung der Arbeitsfähigkeit des Strömungsmittels.

Wenn das Verhältnis Rippensehne s zu Rippenteilung t mindestens 1 beträgt, wird sichergestellt, dass die empfindliche Diffusorströmung ablösungsfrei in die drallfreie Abströmrichtung umgelenkt wird und dass ein Beitrag zur gewünschten Verzögerung geleistet wird.

Sofern das Verhältnis von grösster Profildicke $d_{\max}$ der Strömungsrippen zu Rippensehne s höchstens 0,15 beträgt und über der Rippenhöhe weitgehend konstant ist, werden dadurch Übergeschwindigkeiten, lokale Machzahlprobleme und unterschiedliche Verdrängungswirkungen minimiert.

Es ist zudem angebracht, wenn die Vorderkanten der Rippen über der Rippenhöhe so orientiert werden, dass sie von den Stromlinien senkrecht geschnitten werden. Zusammen mit der Massnahme $d_{\max}/s = \text{konstant}$ wird hierdurch sichergestellt, dass die Strömung nicht nach aussen abgedrängt wird und sich eine Ablösung ausbildet.

Mit Vorteil ist die Krümmung der Sklettlinie der Rippen hinsichtlich eines stossfreien Eintritts und einer axialen Abströmung gewählt. Dies garantiert den angestrebten hohen Druckrückgewinn sowie eine gewisse Unempfindlichkeit bei Teillast.

Im Fall einer horizontalen Trennebene in der Diffusionszone ist eine gerade Anzahl Rippen vorgesehen, wobei Rippen in der Vertikalebene, nicht jedoch in der Horizontalebene angeordnet sind.

Es ist zweckmässig, wenn die radialen Strömungsrippen an ihren beiden Enden mit Fussplatten versehen sind, mit denen sie in ringförmigen Eindrehungen im Schaufelträger und im Leitblech eingeschaufelt sind. Besonders günstig ist es, wenn beide Fussplatten an ihren bogenförmigen Umfangsflächen mit Ringnuten versehen sind, in welche Zacken der Eindrehungen eingreifen. Neben der eindeutigen Führung der Strömungsrippen können dadurch auch Zugkräfte über die Strömungsrippen in den Leitschaufelträger eingeleitet werden. Bei einem eventuellen erosiven Angriff der Strömungsrippen können diese auf einfachste Weise ausge-

tauscht werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung schematisch und vereinfacht dargestellt. Es zeigen:

- Fig. 1 eine doppelflutige Niederdruck-Teilturbine im Axialschnitt mit einem zum Stand der Technik zählenden Diffusor;
- Fig. 2 einen Teillängsschnitt durch einen erfindungsgemässen Diffusor;
- Fig. 3 einen Teilquerschnitt durch den Diffusor nach Schnittlinie 3-3 in Fig. 2;
- Fig. 4 einen Teilquerschnitt durch die Strömungsrippen nach Schnittlinie 6-6 und 7-7 in Fig. 2;
- Fig. 5 einen Teilquerschnitt durch die Strömungsrippen nach Schnittlinie 4-4 und 5-5 in Fig. 2;
- Fig. 6 das Detail 8 gemäss Fig. 2 in vergrößerstem Massstab;

Die Strömungsrichtung des Arbeitsmittels ist mit Pfeilen bezeichnet.

Weg zur Ausführung der Erfindung

In der in Fig. 1 gezeigten Dampfturbine mit axial/radialen Abdampfdiffusor sind nur die für das Verständnis der Wirkungsweise wesentlichen Elemente mit Bezugszeichen versehen. Die Hauptkomponenten sind das Aussengehäuse 1, das Innengehäuse 2 und der Läufer 3. Das Aussengehäuse besteht aus mehreren, nicht näher bezeichneten Teilen, die in der Regel erst am Errichtungsort miteinander verschraubt bzw. verschweisst werden. Das Innengehäuse besteht aus dem Zuströmgehäuse 4 in Form eines Torus und den nachgeschalteten Leitschaufelträgern 5, die mit den Leitschaufeln 6 bestückt sind. Aussengehäuse, Innengehäuse und Schaufelträger sind horizontal geteilt und an Trennflanschen 41 (Fig. 3) miteinander verschraubt. In der Ebene dieser Trennflansche ist das Innengehäuse mittels Tragarmen im Aussengehäuse abgestützt.

Der mit den Laufschaufeln 7 bestückte Läufer 3 ist aus Wellenscheiben und Wellenenden mit integrierten Kupplungsflanschen zusammengeschweisst. Er ist mittels nicht dargestellten Gleitlagern in Lagergehäusen abgestützt.

Der Weg des Dampfes führt von einer Zudampfleitung über die Dampfdurchführung im Aussengehäuse 1 in das Innengehäuse 2. Der Torus sorgt dafür, dass der

Dampf gut geführt zu den beiden Fluten der Beschauflung gelangt. Nach Abgabe der Energie an den Läufer 3 gelangt der Dampf über einen ringförmigen Diffusor 11 in den Abdampfraum 30 des Aussengehäuses 1, bevor er nach unten (in der Zeichnung) zum Kondensator abströmt. Axial durchströmte Wellendichtungen 13 an der Läuferdurchführung im Aussengehäuse verhindern das Eintreten von Luft in den Abdampf. Bei dieser bekannten Maschine ist aufgrund der Diffusorform ersichtlich, dass die Knickwinkelidee hier nicht verwirklicht ist. Am Diffusoreintritt wird der Öffnungswinkel der Beschauflung stark reduziert. Zur lediglich lokalen Stützung der Umlenkung sind zwei axial gestaffelte Leitbleche erkennbar, die mit den oben erwähnten nachteiligen Streben an den Diffusor-Innenwandungen und -Aussenwandungen befestigt sein müssen.

In den Fig. 2 und 3 sind die funktionsgleichen Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen wie in Fig. 1. Von der Beschauflung ist lediglich die letzte Stufe in Form der Leitreihe mit den Leitschaufeln 6A und die Laufreihe mit den Endschaufeln 7A.

Die strömungsbegrenzenden Aussenwandungen des Diffusors werden gebildet durch den Diffusoraussenring 25 und den Diffusorinnenring 24. Ersterer ist mit dem Schaufelträger 3 (wie angedeutet) verschraubt. Letzterer ist mehrteilig ausgebildet. Der Beschauflung am nächsten ist ein zumindest annähernd in axialer Richtung verlaufender Ringteil 24A. Daran schliesst sich ein umlenkender Ringteil 24B an, der in einen noch stärker umleitenden Ringteil 24C übergeht. Die Teile 24A und 24B sind miteinander verschweisst. Zwischen den Teilen 24B und 24C ist ein axiales Spiel vorgesehen. Am Ringteil 24C ist das Gehäuse der Wellendichtung 13 befestigt. Stromabwärts ist der Ringteil 24C über einen Flansch mit der rückwärtigen, im wesentlichen senkrecht verlaufenden Prallwand 31 verbunden. Die Prallwand ist ihrerseits dampfdicht mit dem Aussengehäuse 1 verbunden.

Der Diffusor wird mittels eines umlenkenden Leitbleches 60 in zwei Teilkanäle unterteilt, einen Innenkanal 50 und einen Aussenkanal 51. Aus Fertigungsgründen ist dieses Leitblech ebenfalls dreiteilig ausgeführt; ein erster Teil 60A, ein stark umlenkender mittlerer Teil 60B und ein vertikal verlaufender Teil 60C. Die drei Teile sind zu einem Ganzen zusammengeschweisst.

Die Flächenverhältnisse der beiden Teilkanäle 50, 51 werden unter Berücksichtigung des Totaldruckprofils beziehungsweise den Strömungsenergien hinter der letzten Laufschaufel 7A festgelegt. Ein grösseres Flächenverhältnis wird gewählt, wenn beispielsweise grosse kinetische Energien umgesetzt werden müssen, was im äusseren Kanal der Fall sein kann; dementsprechend wird eine kleinere Fläche gewählt für den inneren Kanal, wenn dort kleinere Energien umzusetzen sind. Im vorliegenden Fall sind für Aussenkanal 50 und Innenkanal 51 die gleichen Flächen vorgesehen und zwar vom Diffusoreintritt bis zum Diffusoraustritt. Damit sind die verschiedenen Anstellwinkel für den Leitblechteil 60B und

den Diffusorinnenring 24B, 24C gegeben. Der Leitblechteil 60A ist so angestellt, dass er stossfrei angeströmt wird. Selbstverständlich können in Abweichung zu den gezeigten Lösungen der Diffusorinnenring 24 und das Leitblech 60 auch mit stetiger Krümmung ausgeführt werden.

Massgebend für die gewünschte Funktionsweise des Diffusors ist nunmehr der Knickwinkel seiner beiden Begrenzungswände 24 und 25 unmittelbar am Austritt der Beschaukelung. Bei dieser handelt es sich um eine hochbelastete Reaktionsbeschaukelung mit grossem Öffnungswinkel. Die letzte Laufschaufelreihe 7A wird mit hoher Machzahl durchströmt. Die Kanalkontur am Schaufelfuss ist zylindrisch, jene an der Schaufelspitze verläuft schräg unter einem Winkel von bis zu 40°. Würde man diese Konizität im Diffusor weiterführen, so wäre der genannte Winkel von 40° völlig ungeeignet, um die Strömung zu verzögern und den gewünschten Druckanstieg zu erzielen. Die Strömung würde von den Wandungen ablösen. Rein konstruktive Überlegungen würden nun in der Regel dazu führen, den Diffusorwinkel von 40° auf ca. 7° zu reduzieren. Die dadurch bewirkte Umlenkung der Stromlinien an den Knickstellen des Diffusoreintritts und der damit verbundene schädliche Druckaufbau reduziert indes das Gefälle, d.h. die Dampfarbeit über der Beschaukelung. Daraus resultiert eine geringere Leistung. Die nicht verwertete Energie führt am Diffusoraustritt lokal zu Übergeschwindigkeiten und dissipiert in der Folge im Abdampfgehäuse.

Der Diffusor wird deshalb einzig und allein nach strömungstechnischen Gesichtspunkten ausgelegt. Die Überlegungen müssen dahin führen, ein möglichst homogenes Totaldruckprofil über der ganzen Kanalhöhe. Die beiden Knickwinkel werden demnach bestimmt aufgrund der gesamten Strömung in der Beschaukelung und im Diffusor.

Die Gleichung für das radiale Gleichgewicht lehrt, dass in erster Linie die Meridiankrümmung der Stromlinien verantwortlich ist für das Ausmass der oben erwähnten Druckerhöhung. Diese muss also primär beeinflusst werden durch Anpassen des Knickwinkels, um eine homogene Totaldruckverteilung zu erzielen. Mit dieser Überlegung ist der Knickwinkel α_N (Fig. 2 + 6) der inneren Begrenzungswand 24 am Diffusoreintritt im Prinzip festgelegt. Im vorliegenden Fall führt dies zu einem Winkel α_N , der von der Horizontalen in negativer Richtung abfällt und zwar um nahezu 10°.

Aus alledem ist zu erkennen, dass ein willkürliches, z.B. zylindrisches Weiterführen der inneren Begrenzungswand des Diffusors auf jeden Fall ungeeignet wäre, um die typischen Abströmmängel auszugleichen. Mit der neuen Massnahme wird jedoch überschüssige Energie abgebaut, indem die Wellenarbeit gesteigert wird. Andernfalls würde sie als Restenergie nach dem Diffusor dissipieren.

Im gezeigten Beispiel gemäss Fig. 6 erfolgt die Realisierung des Knickwinkels α_N an der Nabe durch einen in geeigneter Weise am Läufer 3 angeordneten Kragen

80. Der Knickwinkel erstreckt sich über die axiale Länge des zuerst angeströmten Diffusorinnenringes 24A. Zwischen Kragende und Diffusorinnenringes 24A wird ein schräg verlaufender Ringkanal 81 gebildet. Hierzu werden Kragenunterseite und Vorderkante des Diffusorinnenringes 24A entsprechend konfiguriert. Diese Massnahme hat den Vorteil, die Abströmung im Schaufelfussbereich vor schädlichen Querströmeffekten abzusichern. Derartige Querströmungen werden beim zum Stand der Technik zählenden Maschinen durch die in der Regel durch die Pumpwirkung der Rotorseitenwand 32, den Sperrdampf, sowie durch die Rotationsunsymmetrie des Aussengehäuses 1 getrieben.

Die gleichen Überlegungen sind nun auch bezüglich des Knickwinkels α_Z am Zylinder, d.h. an der äusseren Begrenzungswand 25, anzustellen. Hier gilt es allerdings zu berücksichtigen, dass die Strömung infolge des Spaltstromes zwischen Schaufelspitze und Schaufelträger 2 sehr energiereich ist. Ausserdem weist sie einen starken Mitdrall auf. Eine homogene Energieverteilung lässt sich hier nur dann erzielen, wenn der Knickwinkel α_Z am Zylinder gegenüber der Schrägen des Beschaukelungskanals in jedem Fall nach aussen öffnet. Im Beispielsfall geschieht dies um zusätzliche 10-15°.

Im Ergebnis zeigt sich, dass der Gesamtöffnungswinkel des Diffusors deutlich grösser ist als der Öffnungswinkel der Beschaukelung. Keinesfalls nimmt er jedoch einen Wert an, welcher rein konstruktiven Überlegungen entsprechen würde.

Damit sind die Bedingungen geschaffen, dass im nachfolgenden Diffusor die Druckumsetzung so erfolgt, dass an dessen Austritt eine homogene, drallfreie Abströmung vorliegt.

Nun ist indes klar, dass ein Diffusor mit insgesamt ca. 60 Öffnungswinkel ungeeignet ist, um die Strömung zu verzögern. Bei dem eingangs erwähnten bekannten Diffusor wird der Kanal deshalb in radialer Richtung mittels strömungsführender Leitringe in mehrere Teildiffusoren unterteilt, welche nach den bekannten Regeln für einen geraden Diffusor dimensioniert sind.

Im vorliegenden Fall ist das bereits beschriebene einzige Leitblech 60 vorgesehen, welches den durchströmten Kanal in zwei Teildiffusoren unterteilt. Die strömungsführenden Teile dieser Diffusionszone sind in Fig. 2 dargestellt. Die beiden Teildiffusoren sind als Glockendiffusoren (bell shaped diffuser) ausgebildet. Dies bedeutet, dass der äquivalente Öffnungswinkel Θ der Meridiankonturen stromabwärts der nach obigen Kriterien festgelegten Knickwinkel α_Z und α_N zur Vermeidung von Strömungsablösung reduziert wird. Dies geschieht zunächst in stärkerem Masse und anschliessend in schwächerem Masse, was zu einer der Glockenform äquivalenten Form führt. Unter äquivalentem Öffnungswinkel Θ wird hier verstanden:

$$\tan \Theta/2 = \frac{1}{U} \cdot \frac{dA}{ds}$$

worin

U = der lokale Umfang des Strömungsquerschnittes;

dA = die lokale Änderung des Strömungsquerschnittes;
 ds = die lokale Änderung des Strömungsweges entlang des Teildiffusors.

Gemäss der Erfindung sind nunmehr im äusseren Kanal 51 des Diffusors radial durchströmte Strömungsrippen 70 und im inneren Kanal 50 diagonal durchströmte Strömungsrippen 71 angeordnet.

Fig. 2 zeigt, dass die inneren Strömungsrippen 71 mit dem Diffusorinnenring 24B und mit dem vorderen Leitblechteil 60A verbunden sind, beispielsweise durch Schweissung. Gezeigt ist auch, wie die radial durchströmten Strömungsrippen 71 im Aussenkanal 51 befestigt sind. Gezeigt ist eine Einhängvariante, die für die Aufnahme sowohl von Zugkräften als auch von Druckkräften geeignet ist. An beiden Seiten der Strömungsrippen sind hier jeweils gleiche Fussplatten 14 vorgesehen, welche auf die an sich bekannte Hammerkopffart oder Schwalbenschwanzart in entsprechenden Eindrehungen des Diffusoraussenringes 25 und des vertikal verlaufendes Teiles 60C des Leitbleches geführt sind. Hierzu sind die bogenförmigen Umfangsflächen sowohl der inneren als auch der äusseren Plattenseiten mit Nuten versehen, in die entsprechend bemessene Zacken der Eindrehung 15 eingreifen.

Auf diese Weise bildet das System Leitblech 60 A,B,C mit den inneren und äusseren Strömungsrippen 71, 70 und den zugehörigen inneren (24A,B) und äusseren (25) Diffusorringen eine selbsttragende Einheit. Aus Montagegründen sind diese Einheiten als Halbschalen mit horizontaler Trennebene ausgebildet. Mit einanderverschraubt sind diese Halbschalen in der Trennebene über Innenflansche 26 (Fig. 3). Die Trennebene 26 liegt auf der Höhe der Maschinenachse. Die untere Halbschale kann (nicht dargestellt) am Gehäuse der Wellendichtung 13 befestigt sein.

Diese Ausbildung erleichtert den Zugang zur Beschaukelung. Ist z.B. eine Endschaukel 7A auszubauen, so wird folgendermassen vorgegangen: Zunächst wird die Abdampfhäube (Teil des Aussengehäuses 1) zusammen mit der oberen Gehäuse der Wellendichtung 13 abgehoben. Danach kann nach dem Lösen der Flanschschrauben des Diffusorinnenringes und der Verschraubung des Diffusoraussenringes die obere Halbschale der selbsttragenden Baueinheit als Ganzes abgehoben werden.

Es versteht sich, dass ein derartiger Diffusoreinsatz vorzüglich für die Nachrüstung von bestehenden Anlagen geeignet ist. Um in solchem Fall die erforderliche Diffusorgeometrie - worunter die Knickwinkel, die Flächenverhältnisse der Teilkanäle und die Geometrie der Strömungsrippen zu verstehen ist - punktgenau auszuliegen, empfiehlt sich eine vorgängige Ausmessung der Strömung unmittelbar nach der letzten Laufreihe 7A. Die erforderliche Diffusorgeometrie wird dann gemäss inversen Auslegungsprinzipien bestimmt. Bei neu zu konzipierenden Anlagen sollte der Diffusoreinsatz anhand der Garantiepunkte oder des massgeblichen Betriebsbereiches ausgelegt werden.

Die Anzahl der radial durchströmten äusseren Strömungsrippen 70 beträgt im vorliegenden Fall fünfzig (50) Stück. Diese gerade Anzahl hat gemäss Fig. 3 den Vorteil, dass in der horizontalen Trennebene keine Rippen sind. Die grosse Stückzahl an Strömungsrippen 70 ist unter anderem auch vorteilhaft, weil dadurch eine geringe radiale Bauhöhe bzw. ein geringer Einfluss auf den Bauraum für Diffusor und Abdampf erzielt wird.

Die Anzahl der inneren Strömungsrippen 71 beträgt im vorliegenden Fall achtzehn (18) Stück. Wie Fig. 3 zeigt, sind auch bei dieser geraden Anzahl in der horizontalen Trennebene keine Rippen vorhanden. Dieser Anzahl sowie der strömungstechnischen Ausbildung der Rippen 70, 71 liegen nunmehr folgende Überlegungen zugrunde:

Zunächst wird der Abstand a der Vorderkante 72 der inneren Strömungsrippen 71 zum Austritt der Beschaukelung ins Verhältnis zur Rippenteilung t - welches Mass für die Rippenanzahl ist - gesetzt. Beträgt dieses Verhältnis mindestens 0,5, so können Interferenzen mit der letzten Laufreihe 7A der Beschaukelung weitgehend vermieden werden.

Bei der Bestimmung der Sehnenlänge der Strömungsrippe gilt es im vorliegenden Fall zweierlei zu berücksichtigen. Die Strömungsrippen haben eine Tragfunktion, somit ist ein minimaler Querschnitt nicht zu unterschreiten. Bezüglich der Umlenkung der Strömungsrippe - mit ihrer Hilfe soll die drallbehaftete Strömung gleichgerichtet werden - ist ebenfalls eine Minimalsehnenlänge nicht zu unterschreiten. Beträgt nun das Verhältnis Rippensehne s zu Rippenteilung t mindestens 1 und das später zu beschreibende Verhältnis von grösster Profildicke $d_{\max}$ der Strömungsrippen zu Rippensehne s ca. 0,15, so können beide Aufgaben wahrgenommen werden.

Die Anordnung der Strömungsrippen unterliegt nunmehr folgenden Kriterien: Um den Zugang zur Beschaukelung zu ermöglichen, ist die Diffusionszone mit einer horizontalen Trennebene versehen, d.h. der Diffusorinnenring, der Diffusoraussenring und das Leitblech sind geteilt ausgeführt.

In diese horizontale Trennebene werden vorzugsweise keine Strömungsrippen verlegt, um eine Teilung der Rippen zu vermeiden. Andererseits bietet es sich an, in der Vertikalebene Strömungsrippen anzuordnen. Die für vorliegende Zwecke bestgeeignete Anzahl Rippen beträgt 18.

Das Verhältnis von grösster Profildicke $d_{\max}$ der Strömungsrippen zu Rippensehne s soll höchstens 0,15 betragen und ist über der Rippenhöhe weitgehend konstant gehalten. Diese - wiederum im Gegensatz zu den Strömungsrippen im eingangs erwähnten Diffusor - relativ dünnen Rippen vermeiden lokale Machzahlprobleme und minimieren unterschiedliche Verdrängungswirkungen über der Rippenhöhe.

Wiederum im Gegensatz zu den Strömungsrippen im eingangs erwähnten Diffusor sind die Strömungsrippen gekrümmt ausgebildet. Die Krümmung der Sklettli-

nie der Rippen ist dabei hinsichtlich eines stossfreien Eintritts und einer axialen Abströmung gewählt, was zu einer im Regelfall variablen Krümmung über der Rippenhöhe führt.

Die diagonal durchströmten Innenrippen 71 können eine grundsätzliche Konizität aufweisen. Dem liegt der Gedanke eines der Umlenkaufgabe angepassten Verhältnisses von Sehne zu Teilung (s/t) zugrunde. Diese Konfiguration bildet die Ausgangslage, die anschliessend schnittweise über der Rippenhöhe an die tatsächliche Strömung angepasst wird. Die Vorderkanten 72 der Rippen werden hierzu über der Rippenhöhe so orientiert, dass sie von den Stromlinien senkrecht geschnitten werden. Dies führt zu Vorderkanten, die keineswegs radial beziehungsweise axial ausgerichtet sein müssen.

Die neue Massnahme ermöglicht es auch, am Austritt aus den letzten Laufschaufeln 7A einen gewissen Gegendrall zuzulassen, da stromabwärts im Diffusor eine axiale Ausrichtung durch die Strömungsrippen stattfindet. Dieser Gegendrall bietet die folgenden Vorteile:

- Die Stufenarbeit kann gesteigert werden bei gleichbleibendem Wirkungsgrad oder
- der Wirkungsgrad kann gesteigert werden bei gleichbleibender Stufenarbeit;
- die Schaufeln der letzten Laufreihe können weniger verwunden ausgebildet werden, was zu einer Verbilligung führt;
- die Umlenkung in der letzten Turbinenleitreihe kann reduziert werden, was wegen der Partikelseparation insbesondere bei Nassdampfturbinen zum Tragen kommt.

Nach alldem ist erkennbar, dass der neue Diffusoreinsatz ein grosses Wirkungsgrad-Potential aufweist; es sind Druckrückgewinn-Koeffizienten bis 60% möglich. Die Knickwinkel-Idee zusammen mit den strömungsorientierten Rippen zur verlustarmen Umwandlung der Drallenergie in Druckenergie und die drallfreie Abströmung der beiden Rippenreihen stellt ein Minimum an Restenergie sicher. Zudem werden die vorhandenen symmetrischen Strömungsräume im Abdampf, und dies vor allem in der Trennebene, bestmöglichst genutzt hinsichtlich eines tiefstmöglichen Geschwindigkeitsniveaus. Bei der gezeigten Konfiguration ist anzumerken, dass der innere Kanal 50 nur zum Teil für den eigentlichen Diffusionsprozess benötigt wird. Der stromabwärtige Teil im Bereich der Prallwand 31 erhöht den freien Querschnitt in der Trennebene und dient somit zum Abbau der schädlichen Rotations-Unsymmetrie.

Bezugszeichenliste

1 Aussengehäuse

2

3

5 4

5

6

10

6A

7

15 7A

11

13

20

14

15

25 24,A,B,C

25

26

30

30

31

35 32

41

50

40

51

52

45

60,A,B,C

70

50

71

72

80

55

81

a

Innengehäuse

Läufer

Zuströmgehäuse

Leitschaufelträger

Leitschaufel

Leitschaufel der letzten Stufe

Laufschaufel

Austrittslaufschaufel

Diffusor

Wellendichtung

Fussplatte

Eindrehung

Diffusorinnenring

Diffusoraussenring

Trennflansch Diffusorinnenring

Abdampfraum

Prallwand

Rotorseitenwand

Trennflansch Aussengehäuse

innener Diffusorkanal

äusserer Diffusorkanal

Maschinenachse = horizontale Trennebene

Leitblech

äussere Strömungsrippe

innere Strömungsrippe

Vorderkante von 71

Kragen am Läufer

Ringkanal

Abstand von 7A zu 71

$d_{\max}$	grösste Profildicke von 70,71
s	Sehne von 70,71
t	Teilung von 70,71
α_Z	Knickwinkel an 25
α_N	Knickwinkel an 24A

Patentansprüche

1. Diffusor für eine axial durchströmte Turbomaschine,

- wobei die Knickwinkel (α_N , α_Z) des Diffusoreintritts sowohl an der Nabe als auch am Zylinder der Turbomaschine ausschliesslich zwecks Vergleichsmässigung des Totaldruckprofils über der Kanalhöhe am Austritt der letzten Laufschaufelreihe (7A) festgelegt sind,
- wobei innerhalb der Verzögerungszone des Diffusors (50, 51) Mittel zur Drallwegnahme der drallbehafteten Strömung in Form von Strömungsrippen (70, 71) vorgesehen sind,
- und wobei mindestens ein strömungsführendes Leitblech (60) den Diffusor unterteilt,

dadurch gekennzeichnet,

- dass der Diffusor (50, 51) einen axialen Eintritt und einen radialen Austritt aufweist,
- dass der Diffusor vom Eintritt bis zum Austritt mittels eines radial nach aussen gekrümmten Leitblech (60) in einen inneren (50) und einen äusseren (51) Kanal unterteilt ist,
- dass im äusseren Kanal (51) des Diffusors radial durchströmte Strömungsrippen (70) und im inneren Kanal (50) diagonal durchströmte Strömungsrippen (71) angeordnet sind.

2. Diffusor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur weitgehenden Vermeidung von Interferenzen mit der letzten Laufreihe (7A) der Beschaukelung im inneren Kanal (50) das Verhältnis Rippenabstand (a) vom Austritt der Beschaukelung zu Rippenteilung (t) mindestens 0,5 beträgt.

3. Diffusor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Wahrnehmung der Umlenkungsaufgabe das Verhältnis Rippensehne (s) zu Rippenteilung (t) mindestens 1 beträgt und über der Rippenhöhe in Abhängigkeit von der Umlenkungsaufgabe gewählt ist.

4. Diffusor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis von grösster Profildicke ($d_{\max}$) der Strömungsrippen zu Rippensehne (s) höchstens 0,15 beträgt und über der Rippenhöhe weitgehend konstant ist.

5. Diffusor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorderkanten (72) der Strömungsrippen über der Rippenhöhe so orientiert sind, dass sie von den Stromlinien senkrecht geschnitten werden.

6. Diffusor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweilige Krümmung der Sklettlinie der Strömungsrippen hinsichtlich eines stossfreien Eintritts und einer drallfreien Abströmung über der gesamten Rippenhöhe gewählt ist.

7. Diffusor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass am nabenseitigen Diffusoreintritt zwischen Läufer (3) und Diffusorinnenring (24A) ein in Strömungsrichtung schräg verlaufender Ringkanal (81) vorgesehen ist, über den Sperrmittel in die Hauptströmung einführbar sind.

8. Diffusor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Leitblech (60 A,B,C) mit den inneren und äusseren Strömungsrippen (71, 70) und den zugehörigen inneren (24A,B) und äusseren (25 Diffusorringen als selbsttragende Halbschalen mit horizontaler Trennebene ausgebildet sind.

9. Diffusor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Halbschalen in der Trennebene mit radial einwärts gerichteten Flanschen (26) versehen sind.

10. Diffusor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine gerade Anzahl Strömungsrippen (70,71) vorgesehen ist, wobei Rippen in der Vertikalebene, nicht jedoch in der Horizontalebene angeordnet sind.

11. Diffusor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass im äusseren Kanal (51) fünfzig Strömungsrippen (70) und im inneren Kanal (50) achtzehn Strömungsrippen (71) vorgesehen sind.

12. Diffusor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die radialen Strömungsrippen (70) an ihren beiden Enden mit Fussplatten (14) versehen sind, mit denen sie in ringförmigen Eindrehungen (15) im Diffusorausserenring (25) und im Leitblech (60C) eingeschaufelt sind.

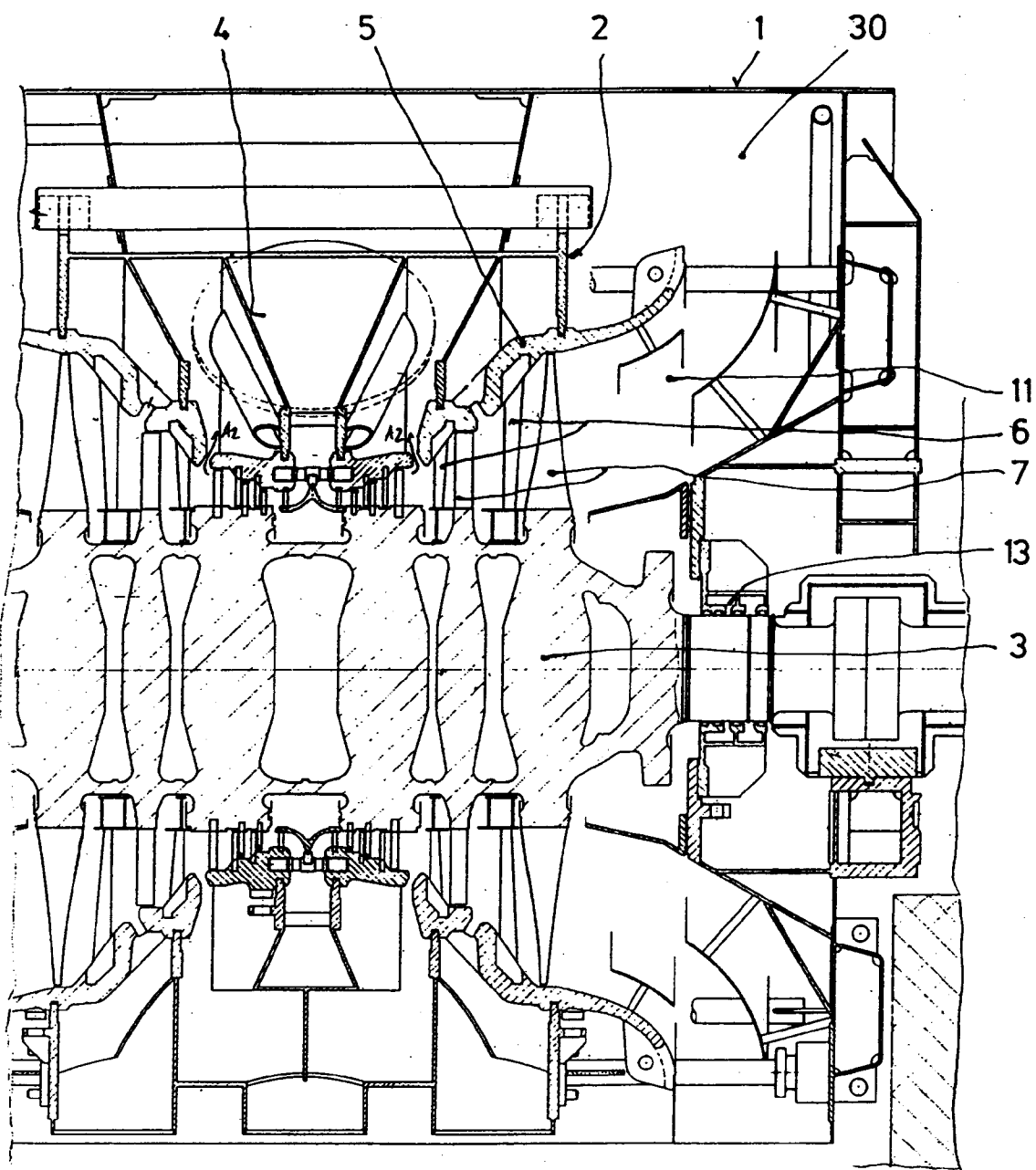


FIG. 1

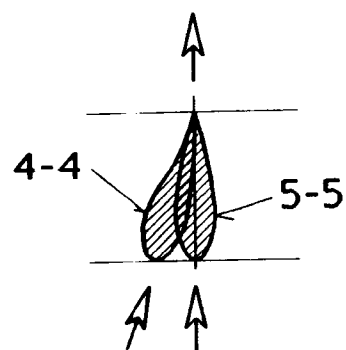
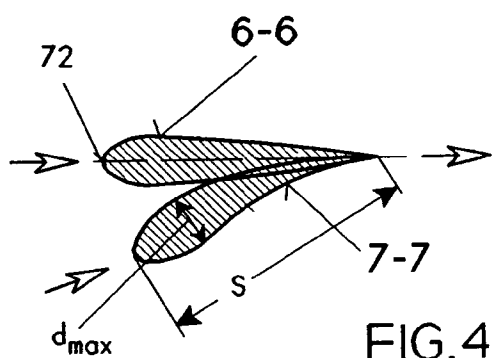
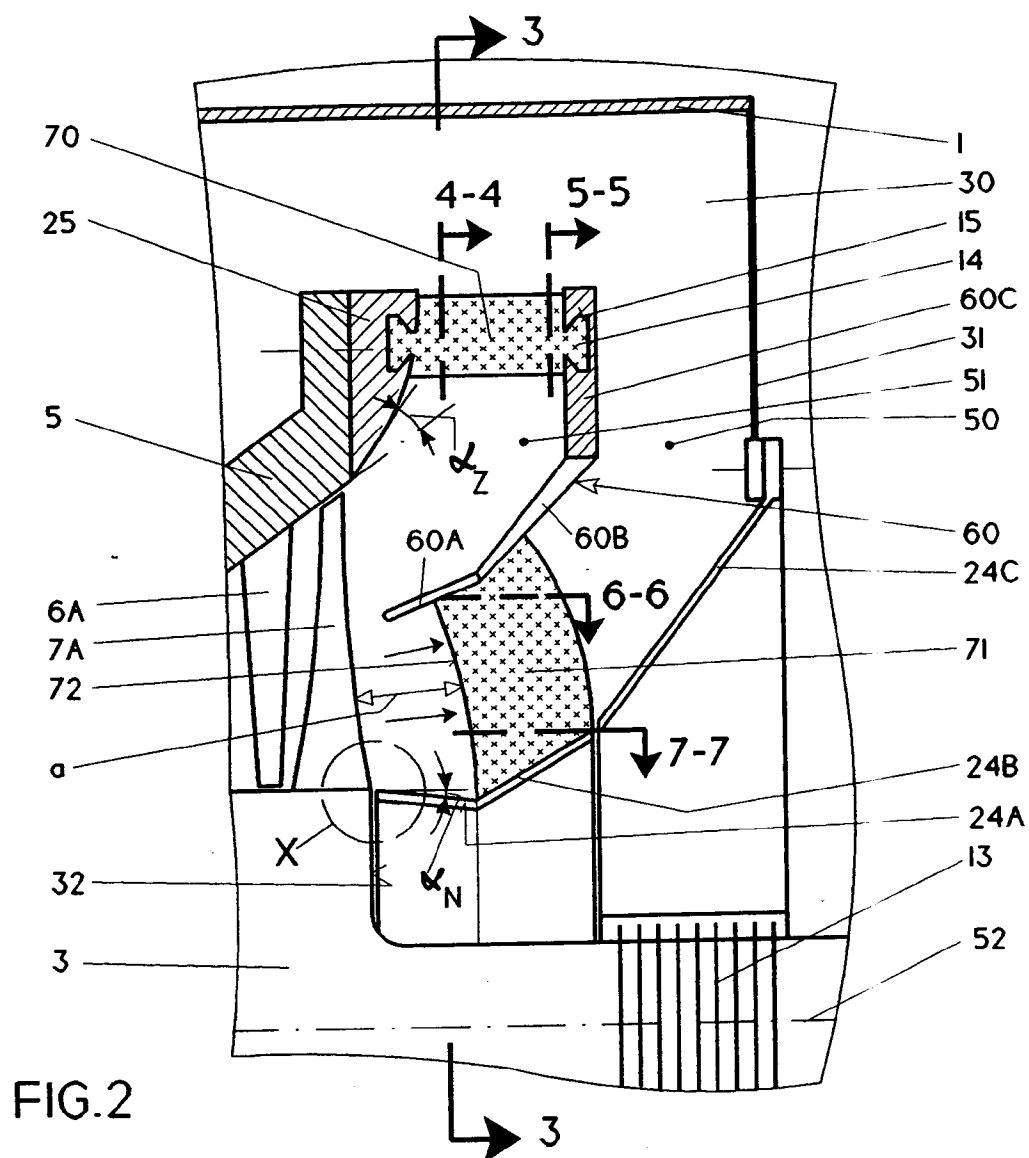


FIG.3

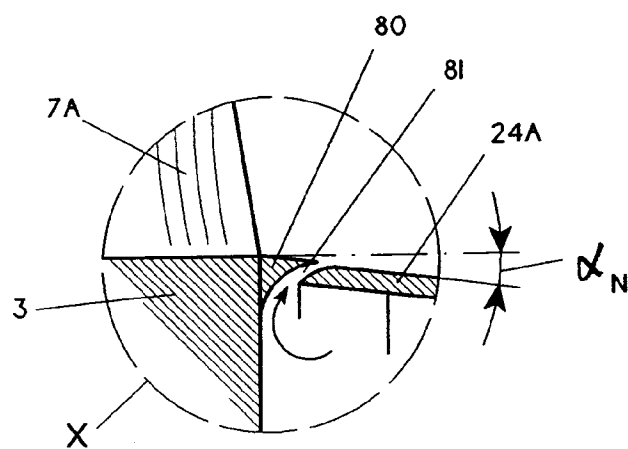
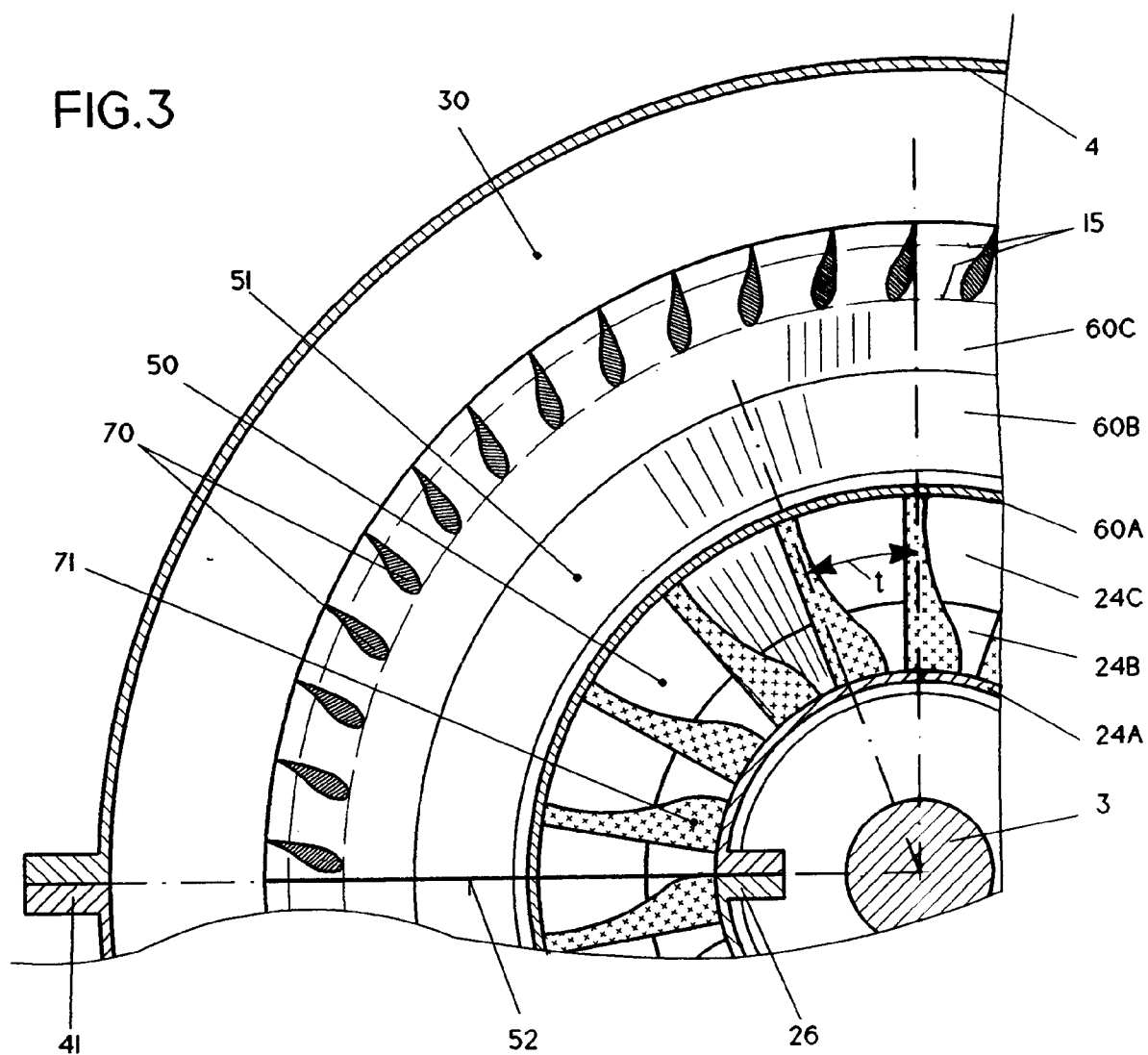


FIG.6