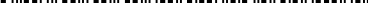




European Patent Office



EP 0 741 247 A2

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(51) Int. Cl.⁶: **F04D 29/56**, F01D 17/16

(22) Anmeldetag: 01.05.1996

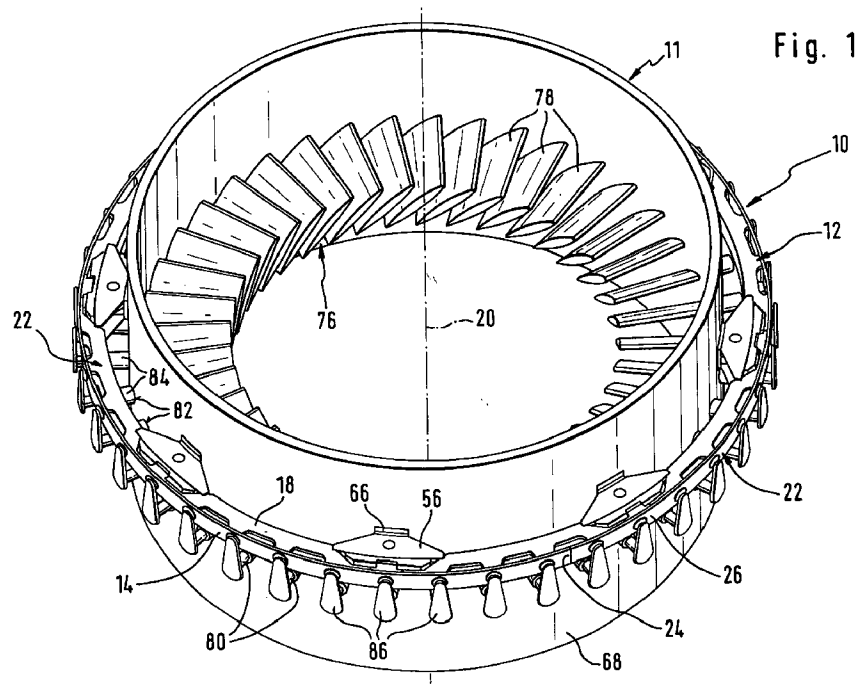
(72) Erfinder: **Kocian, Frank**
72666 Neckartailfingen (DE)

**(74) Vertreter: Hoeger, Stellrecht & Partner
Uhlandstrasse 14 c
70182 Stuttgart (DE)**

(71) Anmelder: **DEUTSCHE FORSCHUNGSANSTALT
FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT e.V.
53111 Bonn (DE)**

(57) Um einen Verstellring zur synchronen Änderung des Anstellwinkels von Leitschaukeln eines Verdichters, der mehrere Auflagerstellen zur Lagerung auf einem Verdichtergehäuse des Verdichters aufweist, zu schaffen, der zumindest teilweise aus Materialien mit geringem Wärmeausdehnungskoeffizienten gefertigt werden kann und dennoch zu einem metallischen Verdichtergehäuse temperaturkompatibel ist, wird vorge-

schlagen, daß der Verstellring jeweils zwischen zwei einander benachbarten Auflagerstellen angeordnete gekrümmte Ringsegmente umfaßt, deren Krümmung bei einer Erhöhung der Temperatur der Ringsegmente abnimmt, so daß die Auflagerstellen zwischen den Ringsegmenten in radialer Richtung nach außen verschoben werden.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Verstellring zur synchronen Änderung des Anstellwinkels von Leitschaufeln eines Verdichters, der mehrere Auflagerstellen zur Lagerung auf einem Gehäuse des Verdichters aufweist.

Solche Verstellringe dienen insbesondere in der Luftfahrttechnik dazu, den Verdichter durch Verstellung der Leitschaufeln an unterschiedliche Betriebsbedingungen anzupassen, um so einen optimalen Betrieb des Verdichters unter verschiedenen Anforderungsprofilen zu ermöglichen.

Bislang wurden solche Verstellringe, zumindest für den Heißbereich des Verdichters, vollständig aus Metall, beispielsweise Titan, hergestellt.

Um eine Reduktion der Herstellungskosten sowie eine erhebliche Gewichtsersparnis des Verstellrings erzielen zu können, wäre es wünschenswert, einen solchen Verstellring zumindest teilweise aus nichtmetallischen Werkstoffen zu fertigen, die bei vergleichbarer Festigkeit und Steifigkeit eine leichtere Konstruktion ermöglichen, als dies bei metallischen Werkstoffen der Fall ist.

Eine einfache Ersetzung der metallischen durch nichtmetallische Werkstoffe unter Beibehaltung des Konstruktionsprinzips des Verstellrings ist in der Regel jedoch, zumindest für den Heißbereich, nicht durchführbar, da die in Betracht kommenden nichtmetallischen Werkstoffe in der Regel deutlich geringere Wärmedehnungskoeffizienten als das metallische Verdichtergehäuse aufweisen und der Verstellring daher bei während des Betriebes des Verdichters auftretenden Temperaturerhöhungen auf das sich ausdehnende Verdichtergehäuse aufschumpfen würde, so daß der Verstellring nicht mehr relativ zum Verdichtergehäuse verschiebbar wäre und somit nicht mehr zur synchronen Änderung des Anstellwinkels der Leitschaufeln des Verdichters dienen könnte.

Der Erfindung lag daher die Aufgabe zugrunde, einen Verstellring zu schaffen, der zumindest teilweise aus Materialien mit geringem Wärmeausdehnungskoeffizienten gefertigt werden kann und dennoch zu einem metallischen Verdichtergehäuse temperaturkompatibel ist.

Diese Aufgabe wird bei einem Verstellring der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß der Verstellring jeweils zwischen zwei einander benachbarten Auflagerstellen angeordnete gekrümmte Ringsegmente umfaßt, deren Krümmung bei einer Erhöhung der Temperatur der Ringsegmente abnimmt, so daß die Auflagerstellen zwischen den Ringsegmenten in radialer Richtung nach außen verschoben werden.

Das erfindungsgemäße Konzept bietet den Vorteil, daß durch eine Änderung der Geometrie des Verstellrings die Auflagerstellen desselben weit genug in radialer Richtung nach außen verschoben werden, um ein Aufschumpfen des Verstellrings auf dem Verdichtergehäuse zu verhindern. Eine homogene Wärmedehnung

des Verstellrings ist für die Thermaldehnungskompatibilität zwischen dem Verstellring und dem Verdichtergehäuse nicht erforderlich, so daß der Verstellring mit der erforderlichen Struktursteifigkeit zumindest teilweise aus nichtmetallischen Werkstoffen mit sehr kleinem, verschwindendem oder gar negativem Wärmeausdehnungskoeffizienten und ausreichender Steifigkeit gefertigt werden kann.

Unter entsprechender Anwendung dieses Konzeptes ist es ganz allgemein möglich, die Thermaldehnungskompatibilität zwischen einem ring- oder rohrförmigen Träger und einem an Auflagerstellen auf dem Träger gelagerten, denselben umgebenden oder von demselben umgebenen ring- oder rohrförmigen getragenen Element, das ein Material mit geringerer Wärmedehnung als derjenige des Materials des Trägers umfaßt, dadurch herzustellen, daß das getragene Element längs seines Umfangs in jeweils zwischen zwei Auflagerstellen angeordnete Ring- oder Rohrsegmente unterteilt ist, deren Krümmung bei einer Erhöhung der Temperatur des getragenen Elements abnimmt, so daß die Auflagerstellen in radialer Richtung nach außen verschoben werden.

Umfaßt das getragene Element ein Material mit größerer Wärmedehnung als derjenigen des Materials des Trägers, so ist vorzusehen, daß die Krümmung der Ring- oder Rohrsegmente bei einer Erhöhung der Temperatur zunimmt, so daß die Auflagerstellen in radialer Richtung nach innen verschoben werden.

Vorteilhafterweise umfaßt der Verstellring mindestens drei Ringsegmente, um eine ausreichende Anzahl von Auflagerstellen für die Lagerung des Verstellrings auf dem Verdichtergehäuse zu erhalten.

Andererseits nimmt der Geometrieänderungseffekt mit einer wachsenden Anzahl von Ringsegmenten, in die der Verstellring unterteilt wird, ab, während die Herstellungskosten des Verstellrings ansteigen, so daß es von Vorteil ist, wenn der Verstellring höchstens 16 Ringsegmente umfaßt.

Besonders bevorzugt werden Ausführungsformen des Verstellrings mit sechs bis zehn Ringsegmenten.

Die Entkrümmung der Ringsegmente bei Temperaturerhöhung läßt sich vorteilhafterweise dadurch erreichen, daß die Ringsegmente jeweils ein an der Außenseite des Verstellrings angeordnetes Umfangsteil, das einen ersten Wärmeausdehnungskoeffizienten in Umfangsrichtung des Verstellrings aufweist, und einen an der Innenseite des Verstellrings angeordneten Unterzug, der einen zweiten Wärmeausdehnungskoeffizienten in Umfangsrichtung des Verstellrings aufweist, umfassen, wobei der zweite Wärmeausdehnungskoeffizient größer ist als der erste Wärmeausdehnungskoeffizient und das Umfangsteil und der Unterzug jeden Ringsegmentes so aneinander festgelegt sind, daß bei einer Erhöhung der Temperatur der Ringsegmente die Krümmung derselben abnimmt. Die erforderliche Geometrieänderung des Verstellrings wird hierbei durch einen dem von Temperaturmeßstreifen her bekannten Bimetalleffekt ähnlichen Effekt bei einer

Temperaturerhöhung der Ringsegmente bewirkte. Zumindest die Umfangsteile der Ringsegmente können aus einem nichtmetallischen Werkstoff gefertigt werden.

Um eine Zunahme der Krümmung der Ringsegmente bei Temperaturerhöhung zu erreichen, müßten die Unterzüge an der Außenstatt an der Innenseite des Verstellrings angeordnet werden.

Zur Erzielung einer erheblichen Gewichtseinsparung unter Beibehaltung einer für eine exakte Verstellung der Leitschaukeln erforderlichen Struktursteifigkeit des Verstellrings ist es ferner günstig, wenn die Umfangsteile zumindest teilweise aus einem Faserverbundwerkstoff bestehen.

Dieser Verbundwerkstoff kann beispielsweise ein Kohlenstoffaserverbundwerkstoff oder Glasfaserverbundwerkstoff sein.

Besonders günstig ist es, wenn die Fasern des Faserverbundwerkstoffes im wesentlichen in Umfangsrichtung des Verstellrings ausgerichtet sind. Dadurch wird eine besonders hohe Steifigkeit und Festigkeit des Verstellrings in Umfangsrichtung erreicht.

Als Material für die Unterzüge kommt jedes Material in Frage, das einen deutlich größeren Wärmeausdehnungskoeffizienten als das Material der Umfangsteile aufweist, insbesondere auch ein Faserverbundwerkstoff mit entsprechendem Wärmeausdehnungskoeffizienten.

Aus Gründen der Gewichtseinsparung wird eine Ausführungsform des Verstellrings besonders bevorzugt, bei der die Unterzüge zumindest teilweise aus Aluminium, insbesondere einer Aluminiumpulverlegung, bestehen.

Die Umfangsteile jeden Ringsegmentes des Verstellrings können als Einzelteile gefertigt und erst beim Zusammenbau des Verstellrings aneinandergesetzt werden.

Für die Vereinfachung der Herstellung des Verstellrings sowie zur Erhöhung der Steifigkeit desselben ist es jedoch von Vorteil, wenn die Umfangsteile mehrerer einander benachbarter Ringsegmente einstückig miteinander ausgebildet sind.

Günstig ist es, wenn die Umfangsteile der Ringsegmente als zwei Umfangshalbbringe ausgebildet sind, da auf diese Weise ein vorteilhafter Kompromiß zwischen Montage- und Herstellungsaufwand erreicht wird.

Besonders günstig ist es, wenn die Umfangsteile aller Ringsegmente einstückig miteinander ausgebildet sind.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung betrifft einen Verdichter mit einem Verdichtergehäuse, Leitschaukeln und einem Verstellring zur synchronen Veränderung der Anstellwinkel der Leitschaukeln, bei dem der Verstellring ein Verstellring nach einem der Ansprüche 1 bis 12 ist.

Um den Verstellring ohne großen Kraftaufwand längs seines Umfangs relativ zu dem Verdichtergehäuse bewegen zu können, ist es von Vorteil, wenn der Verdichter Gleitschuhe umfaßt, auf denen der Verstell-

ring gelagert ist und die jeweils eine Gleitfläche zum Gleiten auf dem Verdichtergehäuse aufweisen.

Auch diese Gleitschuhe können zur Erzielung einer Gewichtseinsparung vorteilhafterweise aus einem Faserverbundwerkstoff bestehen.

Ferner ist es günstig, wenn die Relativbewegung zwischen dem Verstellring und dem Verdichtergehäuse dadurch erleichtert wird, daß das Verdichtergehäuse Verstellringträger umfaßt, die jeweils eine Gleitfläche aufweisen.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Verdichter sowohl Gleitschuhe als auch Verstellringträger umfaßt, wobei die Gleitflächen der Gleitschuhe auf den Gleitflächen der Verstellringträger abgleiten können.

Ferner bestehen die Verstellringträger günstigerweise aus einem Faserverbundwerkstoff, um weiteres Gewicht einzusparen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Verstellringträger weisen diese eine Schichtstruktur auf, bei der in einer axialen Richtung des Verdichters dichte Gewebelagen und weniger dichte Abstandslagen aufeinanderfolgen. Durch in den Abstandslagen enthaltene Hohlräume wird dabei das Gewicht der Verstellringträger in besonders effektiver Weise reduziert.

Günstig ist es, wenn die Gewebelagen einen negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten in der radialen Richtung des Verdichters aufweisen. In diesem Fall verkürzen sich die Verstellringträger bei einer Temperaturerhöhung in der radialen Richtung des Verdichters und kompensieren so teilweise die Ausdehnung des Verdichtergehäuses. Dadurch genügt bereits eine geringere Verschiebung der Auflagerstellen des Verstellrings in radialer Richtung nach außen, um die Thermaldehnungskompatibilität zwischen dem Verstellring und dem Verdichtergehäuse zu gewährleisten.

Ein betragsmäßig besonders großer negativer Wärmeausdehnungskoeffizient der Gewebelagen in radialer Richtung läßt sich erreichen, wenn die Gewebelagen Fasern, die unter einem Winkel von ungefähr plus 30° gegen die radiale Richtung des Verdichters ausgerichtet sind, und Fasern, die unter einem Winkel von ungefähr minus 30° gegen die radiale Richtung des Verdichters ausgerichtet sind, umfassen.

Zur Minimierung der thermischen Belastung des Verstellrings ist es ferner von Vorteil, wenn jeweils eine Wärmeisolationsschicht zwischen dem Verdichtergehäuse und jedem der Verstellringträger angeordnet ist.

Günstig ist es, wenn die Wärmeausdehnungskoeffizienten von Umfangsteilen und Unterzügen der Ringsegmente so aufeinander und auf die Länge und die Krümmung der Ringsegmente abgestimmt sind, daß die Auflagerstellen des Verstellrings bei einer Temperaturerhöhung im wesentlichen um dieselbe Strecke radial nach außen verschoben werden wie die Verstellringträger. Dadurch kann das Spiel während eines Betriebszyklus (Erwärmung auf Betriebstemperatur und Abkühlung des Verdichters) an den Auflagerstellen des Verstellrings klein gehalten werden, so daß die Lage des Verstellrings genau definiert ist und die Anstellwin-

kel der Leitschaukeln des Verdichters exakt eingestellt werden können. Dazu ist es erforderlich, daß die effektive spezifische Wärmedehnung des Verstellrings an den Auflagerstellen größer ist als die spezifische Wärmedehnung des Verdichtergehäuses, da der Verstellring im Betriebszustand eine geringere Temperatur als das Verdichtergehäuse aufweist.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung und zeichnerischen Darstellung eines Ausführungsbeispiels.

In der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1 eine perspektivische Darstellung eines auf einem Verdichtergehäuse gelagerten erfindungsgemäßen Verstellrings zur synchronen Änderung des Anstellwinkels von Leitschaukeln des Verdichters;
- Fig. 2 eine Draufsicht auf zwei einander benachbarte Ringsegmente des Verstellrings aus Fig. 1 mit einer dazwischen liegenden Auflagerstelle;
- Fig. 3 einen Schnitt durch den Verstellring längs der Mittelebene desselben im Bereich I der Fig. 2;
- Fig. 4 einen Schnitt durch den Verstellring und das Verdichtergehäuse längs der Mittelebene des Verstellrings im Bereich II der Fig. 2;
- Fig. 5 eine schematische perspektivische, teilweise aufgebrochene Darstellung eines Verstellringträgers (Centralizers);
- Fig. 6 eine stark schematisierte Draufsicht auf einen erfindungsgemäßen Verstellring bei einer Ruhetemperatur; und
- Fig. 7 eine stark schematisierte Draufsicht auf den Verstellring aus Fig. 3 bei einer oberhalb der Ruhetemperatur liegenden Betriebstemperatur.

Gleiche oder funktional äquivalente Elemente sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

Ein in Fig. 1 dargestellter erfindungsgemäßer Verstellring 10 eines als Ganzes mit 11 bezeichneten Verdichters umfaßt mehrere, beispielsweise acht im wesentlichen kreisbogenförmige Ringsegmente 12, von denen zwei einander benachbarte Ringsegmente 12 in Fig. 2 vergrößert dargestellt sind.

Jedes der Ringsegmente 12 umfaßt ein an der Außenseite des Verstellrings 10 angeordnetes Umfangsteil 14 in Form eines Kreisringabschnittes sowie einen an der Innenseite des Umfangsteils 14, beispielsweise an vier Auflageflächen 16, festgelegten

Unterzug 18, der von der Innenseite des Umfangsteils 14 zu einer Achse 20 des Verstellrings 10 hin absteht.

Die Umfangsteile 14 bestehen aus einem solchen Material, daß sie längs der Umfangsrichtung des Verstellrings 10 einen kleinen, verschwindenden oder sogar negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen.

Dies läßt sich beispielsweise dadurch erreichen, daß die Umfangsteile 14 aus einem Kohlenstoffaserverbundwerkstoff gefertigt werden, wobei die Kohlenstoffasern parallel zur Umfangsrichtung des Verstellrings 10 ausgerichtet sind. In diesem Fall verschwindet der Wärmeausdehnungskoeffizient für die Ausdehnung längs des Ringumfangs praktisch vollständig.

Alternativ oder ergänzend zu einem Kohlenstoffaserverbundwerkstoff können die Umfangsteile 14 auch aus einem Glasfaserverbundwerkstoff gefertigt werden. In diesem Fall liegt der Wärmeausdehnungskoeffizient für die Ausdehnung längs des Ringumfangs zwar deutlich im positiven Bereich, beträgt jedoch immer noch nur rund die Hälfte des Wärmeausdehnungskoeffizienten des metallischen Verdichtergehäuses.

In dem in den Fig. 1 bis 5 dargestellten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verstellrings sind jeweils vier einander benachbarte Umfangsteile 14 einstückig miteinander ausgebildet und bilden einen Umfangshalbring 22. Die beiden so entstandenen Umfangshalbringe 22 sind an zwei Verbindungsstellen 24 (von denen in Fig. 1 nur eine zu sehen ist) aneinander festgelegt und bilden so einen vollständigen, geschlossenen Umfangsring 26.

Jeder der Unterzüge 18 weist im wesentlichen die Form eines Abschnitts eines hohlen Ringprofils mit rechteckigem Querschnitt auf, wobei die dem jeweiligen Umfangsteil 14 zugewandte Seitenwand des Profils dieselbe Höhe wie das Umfangsteil 14 aufweist und mit demselben bündig ist. Jeder Unterzug 18 ist an beiden Enden abgeschrägt und weist zur Gewichtsersparnis beispielsweise drei zwischen den Auflageflächen 16 angeordnete Ausnehmungen 28 auf.

Jeder Unterzug 18 weist im Bereich jeder seiner, beispielsweise vier, Auflageflächen 16 jeweils eine radiale Durchgangsbohrung 30 auf, die jeweils mit einer entsprechenden radialen Durchgangsbohrung 32 im zugehörigen Umfangsteil 14 fluchtet, wie in Fig. 3 dargestellt.

An der in radialer Richtung innen liegenden Mündungsöffnung jeder Durchgangsbohrung 30 in jedem der Unterzüge 18 ist ein mit einem Innengewinde versehener Gewindeeinsatz 34 angeordnet, in den eine mit einem Außengewinde versehene hohlzylindrische Führungsbuchse 36 eingeschraubt ist, die die Durchgangsbohrungen 30 und 32 im Unterzug 18 bzw. im zugehörigen Umfangsteil 14 durchsetzt und an ihrem in radialer Richtung außen liegenden Ende einen Kranz 38 trägt, der auf der Außenseite des Umfangsteils 14 aufliegt. Durch die Führungsbuchsen 36 in Verbindung mit jeweils einem Gewindeeinsatz 34 sind die Unter-

züge 18 an den zugehörigen Umfangsteilen 14 festgelegt.

Die Unterzüge 18 sind aus einem Material gefertigt, das zumindest in Umfangsrichtung des Verstellrings 10 einen hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist.

Beispielsweise kann eine Aluminiumpulververlegung verwendet werden, welche überdies eine ausreichende Biegesteifigkeit der Ringsegmente 12 auch bei hohen Temperaturen gewährleistet.

Die Durchgangsbohrungen 32 in den Umfangsteilen 14 sind längs des Umfangs der Umfangsteile 14 äquidistant zueinander angeordnet.

Ferner ist an jeder der zwischen jeweils zwei Unterzügen 18 liegenden Stellen, an denen zwei benachbarte Ringsegmente 12 aneinandergrenzen, jeweils eine weitere radiale Durchgangsbohrung 40 im Umfangsring 26 vorgesehen, die von den ihr benachbarten Durchgangsbohrungen 32 jeweils denselben Abstand aufweist wie zwei einander unmittelbar benachbarte Durchgangsbohrungen 32.

Jeweils ein im wesentlichen quaderförmiger Auflagerblock 42 ist so an der Innenseite des Umfangsringes 26 angeordnet, daß eine den Auflagerblock 42 in radialer Richtung des Verdichters 11 mittig durchsetzende Gewindebohrung 44 mit der Durchgangsbohrung 40 im Umfangsring 26 fluchtet, wie in Fig. 4 dargestellt.

Ferner weist jeder Auflagerblock 42 jeweils zwei Vorsprünge 45 auf, die in einander entgegengesetzte Richtungen von dem Auflagerblock 42 in Umfangsrichtung des Verstellrings 10 abstehen und sowohl an der Innenseite jeweils eines Umfangsteils 14 als auch an jeweils einem Unterzug 18 anliegen.

In die Gewindebohrung 44 ist eine mit einem Außengewinde versehene hohlzylindrische Führungsbuchse 36 eingeschraubt, die die Durchgangsbohrung 40 im Umfangsring 26 durchsetzt und mit ihrem Kranz 38 auf der Außenseite des Umfangsringes 26 aufliegt.

Der in radialer Richtung innen liegende Bereich des Auflagerblocks 42 ist in einer im wesentlichen quaderförmigen Ausnehmung 46 eines Gleitschuhs 48 mit geringem Spiel in radialer Richtung verschiebbar geführt.

An den in radialer Richtung des Verdichters ausgerichteten Außenflächen der Auflagerblöcke 42 stützt sich der Verstellring 10 auf dem Gleitschuh 48 ab. Die Auflagerblöcke 42 stellen somit Auflagerstellen des Verstellrings 10 dar.

Eine dem Auflagerblock 42 abgewandte, in radialer Richtung innen liegende konkave Gleitfläche 50 des Gleitschuhs 48 weist die Form eines Ausschnitts aus einer Kreisringfläche auf, ist mit einer Gleitbeschichtung versehen und liegt auf einer entsprechend gekrümmten konvexen Gleitfläche 52 eines als Centralizer 54 bezeichneten Verstellringträgers auf. Da Betrag und Richtung der Krümmungen der konkaven Gleitfläche 50 des Gleitschuhs 48 einerseits und der konvexen Gleitfläche 52 des Centralizers 54 miteinander übereinstimmen, kann jeder Gleitschuh 48 auf dem zugehörigen

Centralizer 54 in Umfangsrichtung des Verstellrings 10 abgleiten.

Jeder Centralizer 54 weist eine obere und eine untere, jeweils im wesentlichen trapezförmige Führungsplatte 56 auf, zwischen denen die Unterzüge 18 der dem jeweiligen Centralizer 54 benachbarten Ringsegmente 12 bei einer Bewegung des Verstellrings 10 längs dessen Umfangs geführt werden. Dabei ist der lichte Abstand zwischen den beiden Führungsplatten 56 jeden Centralizers etwas größer als die Höhe der Unterzüge 18.

Ferner weist jeder der Centralizer 54 eine gestufte, mittige radiale Durchgangsbohrung 58 auf, die einen in radialer Richtung außen liegenden weiteren Abschnitt 60 und einen in radialer Richtung innen liegenden engeren Abschnitt 62 umfaßt.

Der engere Abschnitt 62 der gestuften Durchgangsbohrung 58 mündet auf einer in radialer Richtung innen liegenden Grundfläche 64 des Centralizers 54, die auf einem im wesentlichen quaderförmigen Isolationsblock 66 ruht, der seinerseits von einem im wesentlichen hohlzylindrischen, coaxial zu dem Verstellring 10 angeordneten Verdichtergehäuse 68 getragen wird.

Der Centralizer 54 wird senkrecht zu den Führungsplatten 56 von einer weiteren Durchgangsbohrung 69 durchsetzt, welche die gestufte Durchgangsbohrung 58 schneidet und in welche ein zylindrischer Stift 70 so eingesetzt ist, daß eine mittige radiale Durchgangsbohrung desselben mit dem engeren Abschnitt 62 der gestuften Durchgangsbohrung 58 fluchtet.

Jeder Centralizer 54 ist mittels einer Schraube 71, die die Durchgangsbohrung im Stift 70, den engeren Abschnitt 62 der gestuften Durchgangsbohrung 58 und eine damit fluchtende Durchgangsbohrung im Isolationsblock 66 durchsetzt, in ein radiales Gewindeloch 72 im Verdichtergehäuse 68 eingeschraubt ist und mit ihrem Kopf an dem Stift 70 anliegt, festgelegt. Durch den Stift 70 wird eine gute Krafteinkopplung in den Centralizer 54 erreicht.

Die Centralizer 54 können aus Kohlenstoffaserverbundwerkstoff gefertigt sein, so daß sie einen geringen positiven, einen verschwindenden oder einen negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen.

Eine zur Erzielung eines negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten in radialer Richtung sowie eines geringen Gewichtes vorteilhafte Schichtstruktur des Centralizer-Materials ist in Fig. 5 dargestellt.

Bei dieser Schichtstruktur folgen in axialer Richtung des Verdichters dichte Gewebelagen 73 und weniger dichte Abstandslagen 74, die quer zu den Gewebelagen 73 ausgerichtete Stege 75 aus Abstandsgewebe umfassen, aufeinander.

Die Gewebelagen 73 umfassen Fasern, die unter einem Winkel von ungefähr plus 30° gegen die radiale Richtung des Verdichters angeordnet sind, und Fasern, die unter einem Winkel von ungefähr minus 30° gegen die radiale Richtung des Verdichters ausgerichtet sind, um einen betragsmäßig möglichst großen negativen

Wärmeausdehnungskoeffizienten des Centralizers 54 in radialer Richtung des Verdichters zu erhalten.

In Fig. 5 sind die radiale Richtung des Verdichters durch den Pfeil 73a und die Richtungen, in denen die Fasern der Gewebelagen 73 ausgerichtet sind, durch die Pfeile 73b und 73c dargestellt.

Die Isolationsblöcke 66 können aus einem hochtemperaturbeständigen Kunststoff gefertigt sein, der einen hohen Wärmewiderstand aufweist, so daß die vom Verdichtergehäuse 68 während des Betriebes des Verdichters über die Centralizer 54 auf den Verstellring 10 übertragene Wärmemenge und damit die thermische Belastung des Verstellrings 10 möglichst gering gehalten wird.

Längs der Innenwand des hohlzylindrischen Verdichtergehäuses 68 ist ein Leitschaukelgitter 76 aus (bei der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform) vierzig Leitschaukeln 78 angeordnet, die alle in bezug auf die gemeinsame Achse 20 des Verstellrings 10 und des Verdichtergehäuses 68 unter demselben Anstellwinkel ausgerichtet sind. Jede der Leitschaukeln 78 weist eine in radialer Richtung nach außen abstehende Verstellwelle 80 auf, die jeweils eine radiale Durchgangsbohrung 82 im Verdichtergehäuse 68 und jeweils eine auf der Außenwand des Verdichtergehäuses 68 angeordnete, zu der Verstellwelle 80 koaxiale Lagerbuchse 84 durchsetzt und an ihrem freien Ende drehfest mit einem senkrecht zur Achse der Verstellwelle 80 ausgerichteten Verstellarm 86 verbunden ist.

An seinem freien Ende trägt jeder der Verstellarme 86 einen in radialer Richtung nach innen abstehenden Anlenkbolzen 88, der in jeweils einer der Führungsbuchsen 36 des Umfangsrings 26 gelagert ist. Dadurch wird eine gelenkige Verbindung zwischen dem Verstellring 10 einerseits und dem Leitschaukelgitter 76 andererseits hergestellt.

Diese gelenkige Verbindung erlaubt es, den Anstellwinkel aller Leitschaukeln 78 des Leitschaukelgitters 76 exakt synchron zu verändern.

In einer in Fig. 1 dargestellten Ruhestellung des Verstellrings 10 sind die Unterzüge 18 des Verstellrings 10 mittig zwischen zwei einander benachbarten Centralizern 54 angeordnet, und die Verstellarme 86 sind parallel zur Achse 20 des Verstellrings 10 und des Verdichtergehäuses 68 ausgerichtet. In dieser Stellung des Verstellrings 10 sind die Leitschaukeln 78 unter einem Ruhe-Anstellwinkel gegen die Achse 20 ausgerichtet.

Wird nun der Verstellring 10 von oben gesehen im Uhrzeigersinn durch einen (nicht dargestellten) Bewegungsmechanismus längs seines Umfangs gegenüber dem Verdichtergehäuse 68 verdreht, so folgen die Anlenkbolzen 88 in den Führungsbuchsen 36 dieser Bewegung des Verstellrings 10, wodurch die Verstellarme 86 eine schräge Stellung gegenüber der Achse 20 einnehmen. Die drehfest mit den Verstellarmen 86 verbundenen Verstellwellen 80 drehen sich entsprechend, in radialer Richtung nach innen gesehen im Gegenuehrzeigersinn. Dadurch wiederum verringert sich der

Anstellwinkel zwischen den Leitschaukeln 78 und der Achse 20 des Verstellrings 10 und des Verdichtergehäuses 68.

Wird andererseits der Verstellring 10 durch die (nicht dargestellte) Bewegungseinrichtung im Gegenuehrzeigersinn gegen das Verdichtergehäuse 68 längs seines Umfangs verdreht, so führt dies in entsprechender Weise zu einer entgegengesetzten Drehung der Leitschaukeln 78 um die radial ausgerichteten Verstellwellen 80, so daß sich der Anstellwinkel zwischen den Leitschaukeln 78 und der Achse 20 vergrößert.

Auf die beschriebene Weise läßt sich der Anstellwinkel der Leitschaukeln 78 des Verdichters synchron den jeweiligen Betriebsbedingungen anpassen. Aufgrund des Umfangsrings 26 aus Kohlefaserverbundwerkstoff weist der Verstellring 10 eine hohe Steifigkeit und Festigkeit in Umfangsrichtung auf, während die Unterzüge 18 aus Aluminium eine hohe Biegesteifigkeit des Verstellrings 10 gewährleisten.

Durch die hohe Struktursteifigkeit des Verstellrings 10 wird der Anstellwinkel aller Leitschaukeln 78 des Leitschaukelgitters 76 synchron in exakt gleicher Weise verändert.

Die Betriebstemperatur des Verdichters liegt erheblich oberhalb der Raumtemperatur. Das Verdichtergehäuse 68 dehnt sich daher bis zum Erreichen der Betriebstemperatur aus, wodurch die am Umfang des Verdichtergehäuses 68 angeordneten Centralizer 54 und die auf den konvexen Gleitflächen 52 der Centralizer 54 aufliegenden Gleitschuhe 48 in radialer Richtung nach außen verschoben werden. Die Auflagerstellen für den Verstellring 10 bildenden Auflagerblöcke 42 müssen um eine entsprechende Strecke in radialer Richtung nach außen wandern, um zu verhindern, daß die Gleitschuhe 48 zu stark gegen die konvexen Gleitflächen 52 der Centralizer 54 gepreßt werden, so daß ein Abgleiten der konkaven Gleitflächen 50 auf den konvexen Gleitflächen 52 und damit ein Verdrehen des Verstellrings 10 in Umfangsrichtung erschwert oder gar unmöglich gemacht wird.

Eine solche Thermaldehnungskompatibilität zwischen dem Verdichtergehäuse 68 und dem Verstellring 10 wäre bei einem ausschließlich aus Faserverbundwerkstoffen gefertigten Verstellring 10 nicht erreichbar, da Faserverbundwerkstoffe in Richtung ihrer Fasern, die zweckmäßigerweise in Umfangsrichtung des Verstellrings 10 ausgerichtet sind, sehr viel geringere Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen als die üblicherweise metallischen Werkstoffe, aus denen das Verdichtergehäuse 68 besteht.

Bei dem in den Fig. 1 bis 5 dargestellten Ausführungsbeispiel wird die erforderliche Thermaldehnungskompatibilität durch das Zusammenwirken der Unterzüge 18 mit vergleichsweise großem Wärmeausdehnungskoeffizienten in Umfangsrichtung des Verstellrings 10 mit den Umfangsteilen 14, die einen kleinen oder verschwindenden Wärmeausdehnungskoeffizienten in Umfangsrichtung aufweisen, erreicht.

Bei einer Temperaturerhöhung nimmt nämlich die Krümmung der Ringsegmente 12 ab, da sich die innen liegenden Unterzüge 18 stärker strecken als die an den Auflageflächen 16 an den Unterzügen 18 festgelegten Umfangsteile 14.

Ein ähnlicher Effekt ist beispielsweise von den zur Temperaturmessung verwendeten Bimetallstreifen her bekannt.

Durch die Entkrümmung oder Begradigung der Ringsegmente 12 nimmt der Abstand zwischen den beiden Enden jeden Ringsegmentes 12 und damit der Abstand einander benachbarter Auflagerblöcke 42 zu. Aufgrund dieser Zunahme der Abstände werden die Auflagerblöcke 42 und damit die Stützstellen des Verstellrings 10 zwangsläufig in radialer Richtung nach außen verschoben.

Die Fig. 6 und 7 dienen zur Verdeutlichung dieses Effektes.

Fig. 6 zeigt eine stark schematisierte und vereinfachte Draufsicht auf den erfindungsgemäßen Verstellring 10, der aus acht Ringsegmenten 12 zusammengesetzt ist, wobei jeweils zwei benachbarte Ringsegmente 12 an einer Auflagerstelle 90 aneinander grenzen.

Bei einer Ruhetemperatur von beispielsweise 20°C weisen die acht Ringsegmente 12 jeweils im wesentlichen die Form eines Achtelkreises mit einem Radius R_1 auf. Folglich ist der Verstellring 10 bei dieser Temperatur ein Kreis mit dem Radius R_1 , von dessen Mittelpunkt 92 die Auflagerstellen 90 jeweils den Abstand R_1 aufweisen.

Fig. 7 zeigt den stark schematisierten Verstellring 10 aus Fig. 6 bei einer deutlich oberhalb der Ruhetemperatur liegenden Betriebstemperatur.

Durch die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der Unterzüge 18 und der Umfangsteile 14 sind die Ringsegmente 12 bei der Betriebstemperatur weniger stark gekrümmt. Zur Verdeutlichung der Entkrümmung der Ringsegmente 12 sind diese in Fig. 7 als gerade Strecken dargestellt, was stark übertrieben ist, jedoch den maßgeblichen Geometrieänderungseffekt am deutlichsten zeigt.

Durch die Entkrümmung der Ringsegmente 12 entspricht der Verstellring 10 nicht mehr einem exakten Kreis mit Radius R_1 , sondern ist der Verstellring 10 zu einem Achteck verformt, dessen Ecken von den Auflagerstellen 90 zwischen den Ringsegmenten 12 gebildet werden.

Bei den in Fig. 6 dargestellten Verhältnissen bei der Ruhetemperatur war der Abstand zwischen zwei benachbarten Auflagerstellen 90 aufgrund der Krümmung der Ringsegmente 12 kleiner als die Länge der Ringsegmente 12.

Durch die Entkrümmung der Ringsegmente 12 nähert sich bei einer Temperaturerhöhung der Abstand zwischen den Auflagerstellen 90 immer mehr der Länge der Ringsegmente 12 an, welche jeweils der Länge der sich nur wenig ausdehnenden Umfangsteile 14 entspricht und darum im wesentlichen temperaturunab-

hängig ist. Folglich nimmt der Abstand zwischen einander benachbarten Auflagerstellen 90 mit zunehmender Temperatur ebenfalls zu, was zwangsläufig zur Folge hat, daß die Auflagerstellen 90 vom Mittelpunkt 92 des Verstellrings 10 weg radial nach außen verschoben werden, bis sie bei den in Fig. 7 dargestellten Verhältnissen schließlich einen Abstand R_2 vom Mittelpunkt 92 des Verstellrings 10 aufweisen, der größer ist als der Abstand R_1 bei der Ruhetemperatur.

Wie bereits erwähnt, ist die Entkrümmung der Ringsegmente 12 und damit die Änderung der Abstände der Auflagerstellen 90 vom Mittelpunkt 92 des Verstellrings 10 in Fig. 7 stark übertrieben dargestellt, um den Effekt besser zu veranschaulichen. Realistisch ist eine Erhöhung von $R_1 \approx 300$ mm auf $R_2 \approx 300,5$ mm bei einer um 80 K oberhalb der Ruhetemperatur liegenden Betriebstemperatur.

Durch geeignete Auswahl des Materials der Unterzüge 18 und der Umfangsteile 14 sowie durch geeignete Dimensionierung derselben kann erreicht werden, daß die Auflagerstellen 90 (die Auflagerblöcke 42) im wesentlichen um denselben Betrag in radialer Richtung nach außen verschoben werden wie die Gleitschuhe 48, wodurch die Thermaldehnungskompatibilität zwischen dem Verstellring 10 und dem Verdichtergehäuse 68 gewährleistet ist.

Das Erreichen der erwünschten Thermaldehnungskompatibilität wird erleichtert, wenn die Centralizer 54 einen negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten in radialer Richtung aufweisen und somit die Ausdehnung des Verdichtergehäuses 68 teilweise kompensieren.

Infolge der Thermaldehnungskompatibilität kann der Verstellring 10 sowohl bei Ruhe- als auch bei der maximalen Betriebstemperatur und bei allen dazwischen liegenden Temperaturen leicht durch Abgleiten der konkaven Gleitflächen 50 der Gleitschuhe 48 auf den konvexen Gleitflächen 52 der Centralizer 54 längs seines Umfangs gegenüber dem Verdichtergehäuse 68 verdreht werden, so daß in jedem Betriebszustand eine exakt synchrone Änderung des Anstellwinkels der Leitschaukeln 78 möglich ist.

Patentansprüche

1. Verstellring zur synchronen Änderung des Anstellwinkels von Leitschaukeln eines Verdichters, der mehrere Auflagerstellen zur Lagerung auf einem Verdichtergehäuse des Verdichters aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Verstellring (10) jeweils zwischen zwei einander benachbarten Auflagerstellen (42, 90) angeordnete gekrümmte Ringsegmente (12) umfaßt, deren Krümmung bei einer Erhöhung der Temperatur der Ringsegmente (12) abnimmt, so daß die Auflagerstellen (42, 90) zwischen den Ringsegmenten (12) in radialer Richtung nach außen verschoben werden.

2. Verstellring nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstellring (10) mindestens drei Ringsegmente (12) umfaßt.
3. Verstellring nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstellring (10) höchstens sechzehn Ringsegmente umfaßt.
4. Verstellring nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ringsegmente (12) jeweils ein an der Außenseite des Verstellrings (10) angeordnetes Umfangsteil (14), das einen ersten Wärmeausdehnungskoeffizienten in Umfangsrichtung des Verstellrings (10) aufweist, und einen an der Innenseite des Verstellrings (10) angeordneten Unterzug (18), der einen zweiten Wärmeausdehnungskoeffizienten in Umfangsrichtung des Verstellrings (10) aufweist, umfassen, wobei der zweite Wärmeausdehnungskoeffizient größer ist als der erste Wärmeausdehnungskoeffizient und das Umfangsteil (14) und der Unterzug (18) jeden Ringsegmentes (12) so aneinander festgelegt sind, daß bei einer Erhöhung der Temperatur der Ringsegmente (12) die Krümmung derselben abnimmt.
5. Verstellring nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Umfangsteile (14) zumindest teilweise aus einem Faserverbundwerkstoff bestehen.
6. Verstellring nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Umfangsteile (14) zumindest teilweise aus einem kohlenstoffaserverbundwerkstoff bestehen.
7. Verstellring nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Umfangsteile (14) zumindest teilweise aus einem Glasfaserverbundwerkstoff bestehen.
8. Verstellring nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Fasern des Faserverbundwerkstoffes im wesentlichen in Umfangsrichtung des Verstellrings (10) ausgerichtet sind.
9. Verstellring nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Unterzüge (18) zumindest teilweise aus Aluminium bestehen.
10. Verstellring nach einem der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Umfangsteile (14) mehrerer einander benachbarter Ringsegmente (12) einstückig miteinander ausgebildet sind.
11. Verstellring nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Umfangsteile (14) der Ringsegmente (12) als zwei Umfangshalbringe (22) ausgebildet sind.
12. Verstellring nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Umfangsteile (14) aller Ringsegmente (12) einstückig miteinander ausgebildet sind.
13. Verdichter mit einem Verdichtergehäuse, Leitschaukeln und einem Verstellring zur synchronen Veränderung der Anstellwinkel der Leitschaukeln, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstellring (10) ein Verstellring (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 12 ist.
14. Verdichter nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Verdichter (11) Gleitschuhe (48) umfaßt, auf denen der Verstellring (10) gelagert ist und die jeweils eine Gleitfläche (50) zum Gleiten auf dem Verdichtergehäuse (68) aufweisen.
15. Verdichter nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Gleitschuhe (48) aus einem Faserverbundwerkstoff bestehen.
16. Verdichter nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Verdichtergehäuse (68) Verstellringträger (54) umfaßt, die jeweils eine Gleitfläche (52) aufweisen.
17. Verdichter nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstellringträger (54) aus einem Faserverbundwerkstoff bestehen.
18. Verdichter nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstellringträger (54) eine Schichtstruktur aufweisen, bei der in einer radialen Richtung des Verdichters (11) dichte Gewebelagen (73) und weniger dichte Abstandslagen (74) aufeinanderfolgen.
19. Verdichter nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Gewebelagen (73) einen negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten in der radialen Richtung des Verdichters (11) aufweisen.
20. Verdichter nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Gewebelagen (73) Fasern, die unter einem Winkel von ungefähr plus 30° gegen die radiale Richtung des Verdichters (11) ausgerichtet sind, und Fasern, die unter einem Winkel von ungefähr minus 30° gegen die radiale Richtung des Verdichters (11) ausgerichtet sind, umfassen.
21. Verdichter nach einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils eine Wärmeisolationsschicht (66) zwischen dem Verdichtergehäuse (68) und jedem der Verstellringträger (54) angeordnet ist.

22. Verdichter nach einem der Ansprüche 16 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstellring (10) ein Verstellring (10) nach einem der Ansprüche 4 bis 12 ist und daß die Wärmeausdehnungskoeffizienten der Umfangsteile (14) und der Unterzüge (18) so aufeinander und auf die Länge und die Krümmung der Ringsegmente (12) abgestimmt sind, daß die Auflagerstellen (42, 90) des Verstellrings (10) bei einer Temperaturerhöhung im wesentlichen um dieselbe Strecke radial nach außen verschoben werden wie die Verstellringträger (54).

15

20

25

30

35

40

45

50

55

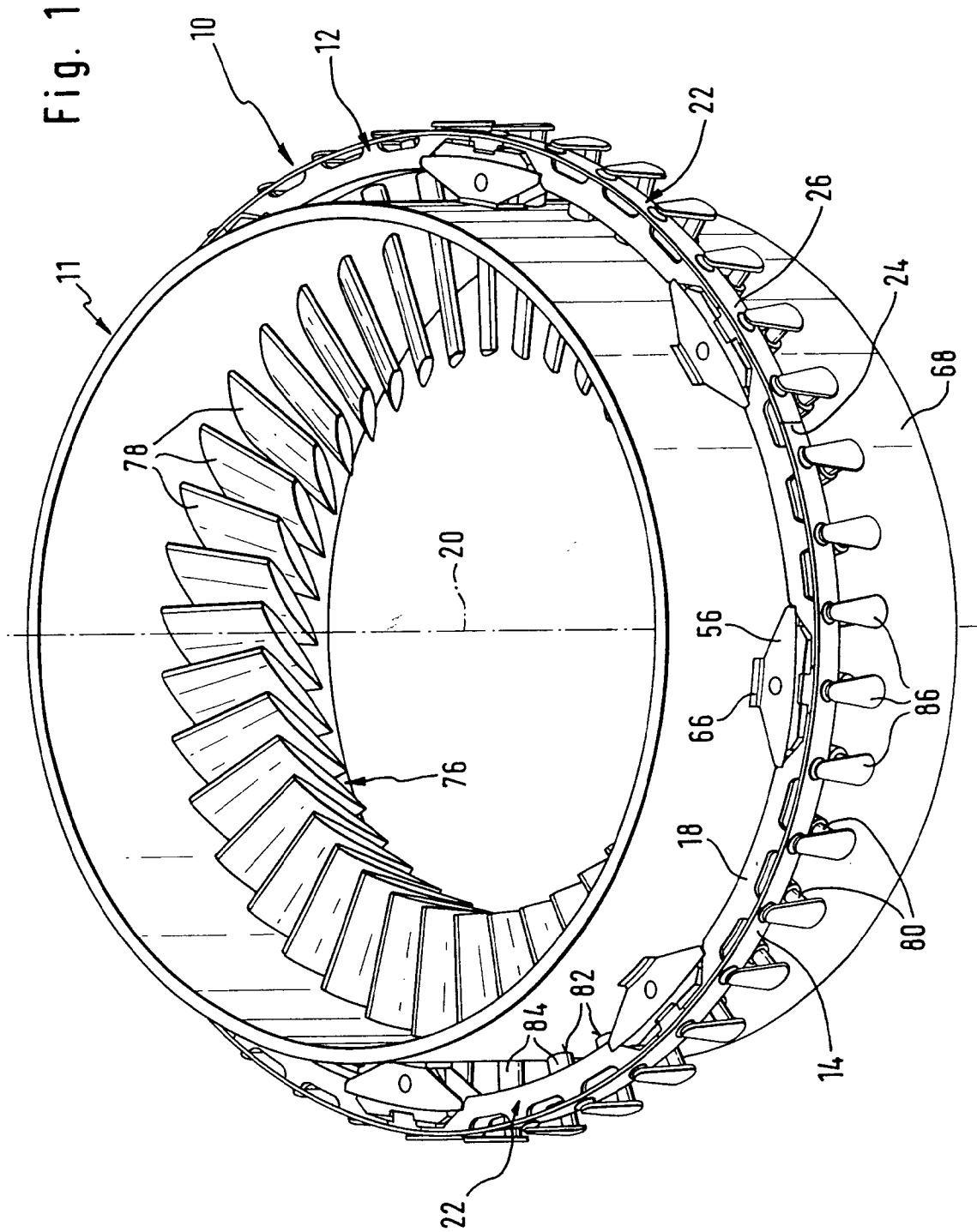
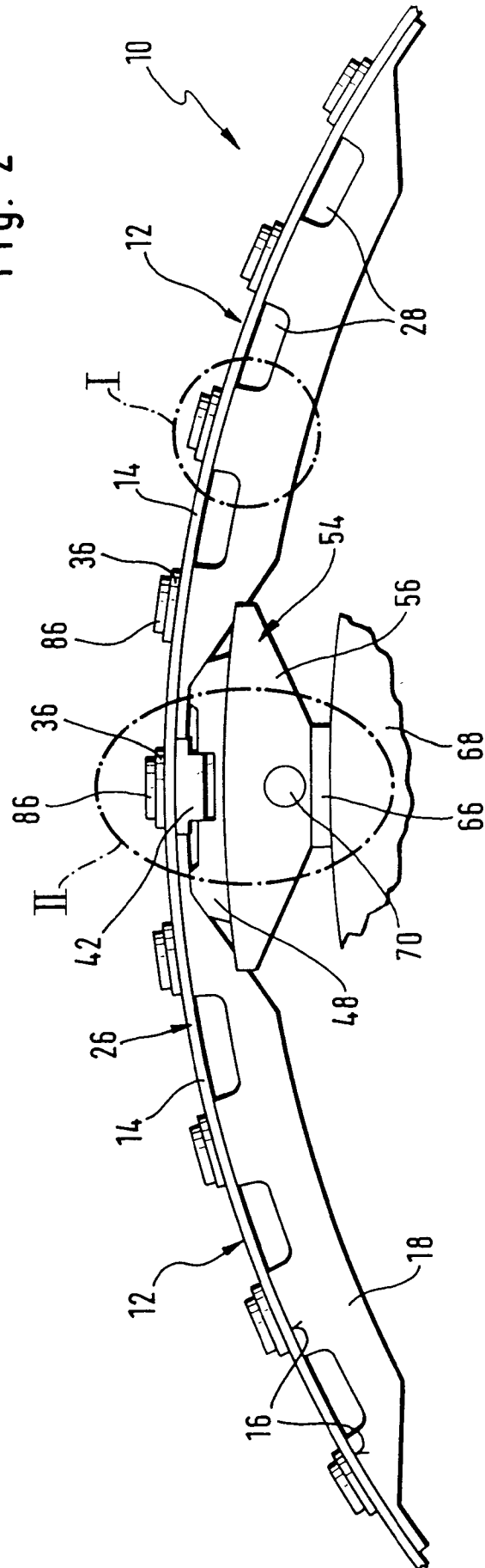


Fig. 2



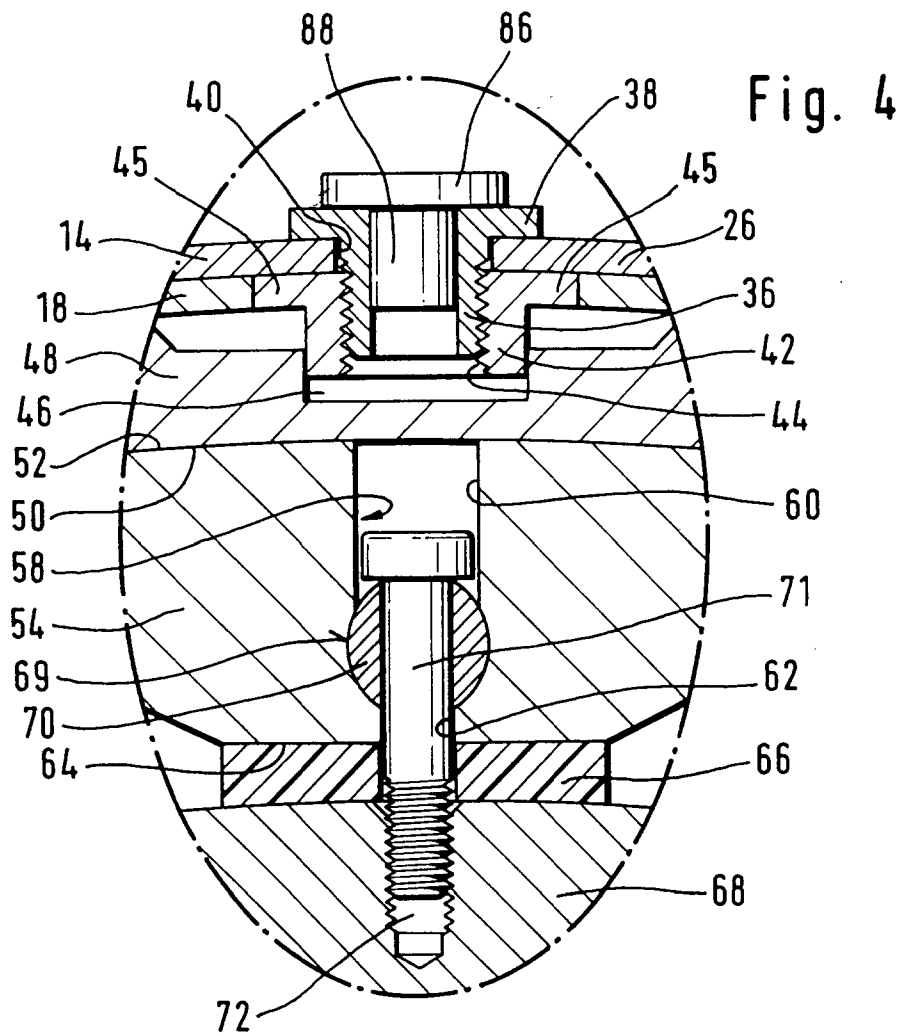
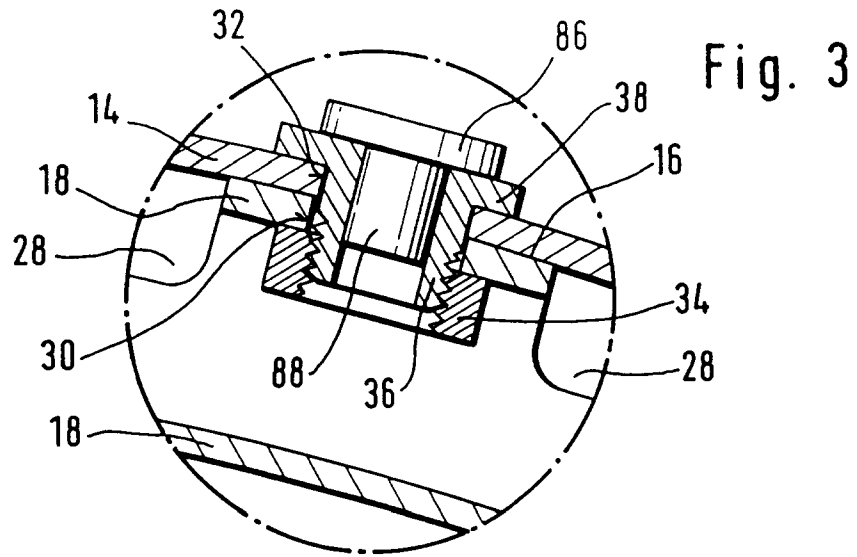


Fig. 5

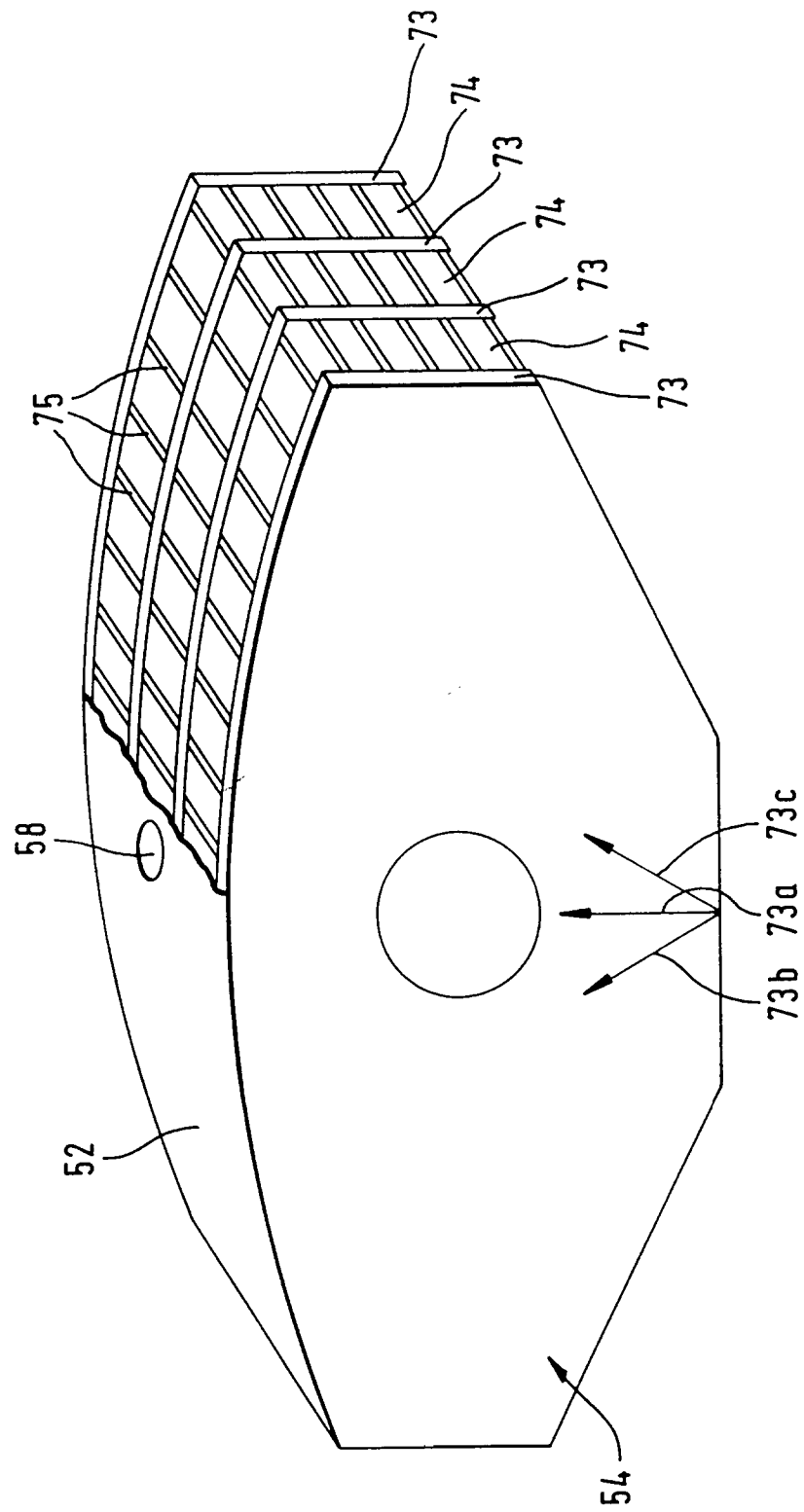


Fig. 6

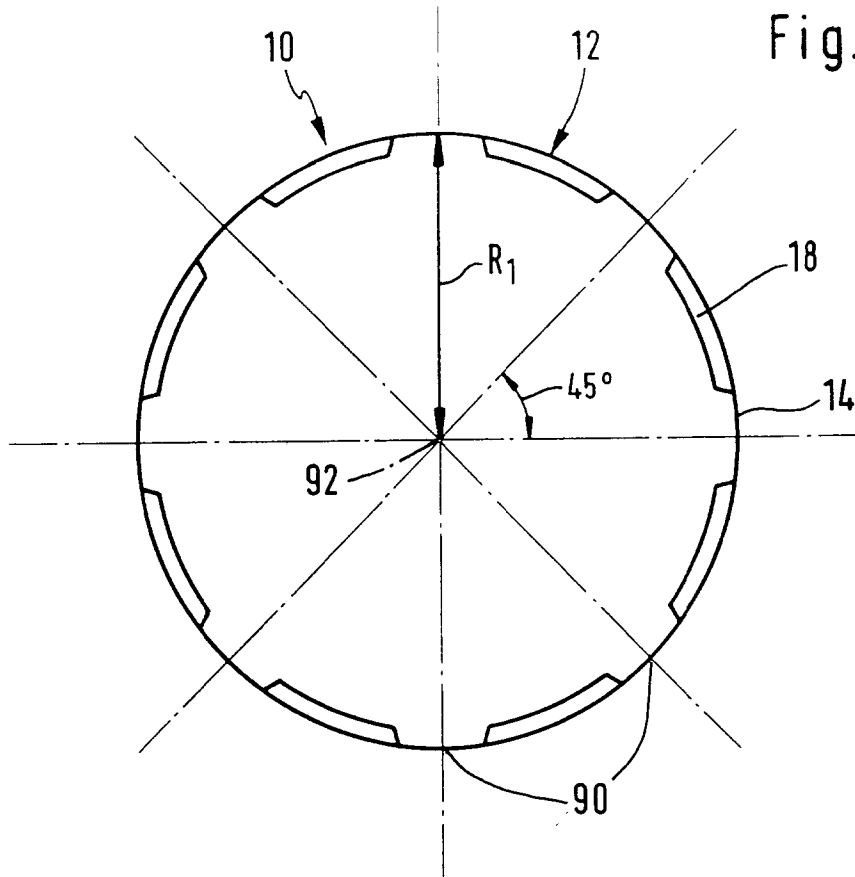


Fig. 7

