

(19)



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Économie

(11)

N° de publication :

LU500057

(12)

BREVET D'INVENTION**B1**

(21)

N° de dépôt: LU500057

(51)

Int. Cl.:

F16H 49/00

(22)

Date de dépôt: 19/04/2021

(30)

Priorité:

(72)

Inventeur(s):

(43)

Date de mise à disposition du public: 19/10/2022

(74)

Mandataire(s):

ARROBA GBR – 65307 Bad Schwalbach (Allemagne)

(47)

Date de délivrance: 19/10/2022

(73)

Titulaire(s):

OVALO GMBH – 65555 Limburg (Allemagne)

(54)

SPANNUNGSWELLENGETRIEBE.

(57)

Die Erfindung betrifft ein Spannungswellengetriebe mit einem Wellengenerator, der mittels eines radialflexiblen Wälzlagers relativ zu einem Flexspline rotierbar gelagert ist. Das radialflexible Wälzlager weist mehrere Wälzkörper auf, die keine Kugeln sind und deren Wälzflächen über ihre axiale Länge keinen zylindrischen Anteil aufweisen.

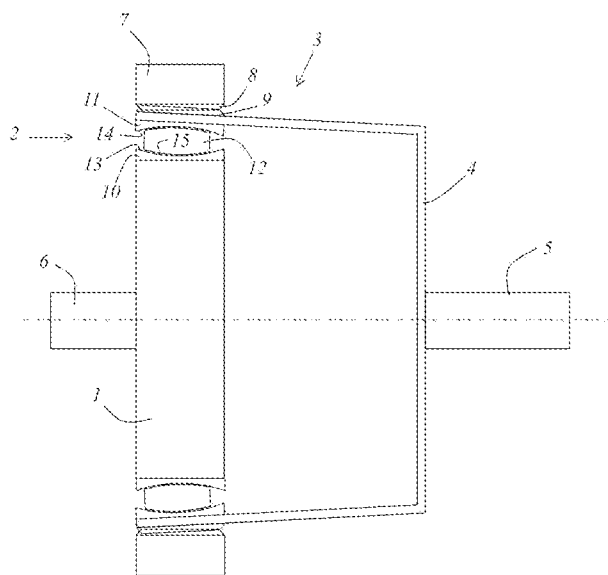


Fig. 1

Beschreibung

Titel: Spannungswellengetriebe

- 5 Die Erfindung betrifft ein Spannungswellengetriebe mit einem Wellengenerator, der mittels eines radialflexiblen Wälzlagers relativ zu einem Flexspline rotierbar gelagert ist.

- Ein Spannungswellengetriebe besitzt zumeist ein starres, in einem
- 10 Querschnitt senkrecht zur Axialrichtung kreisförmiges, innenverzahntes Zahnrad, das auch Circularspline genannt wird, und ein flexibles außenverzahntes Zahnrad, das auch Flexspline genannt wird und in dem von dem starren, innenverzahnten Zahnrad umgebenen Raumvolumen angeordnet ist. In dem außenverzahnten Zahnrad ist ein zumeist
- 15 elliptischer Wellengenerator rotierbar angeordnet, dessen Außenumfang einen Lagersitz für ein radialflexibles Wälzlager aufweist. Über das radialflexible Wälzlager steht der Wellengenerator mit dem radialflexiblen, außenverzahnten Zahnrad in Kontakt. Das radialflexible Wälzlager ermöglicht es, den Wellengenerator relativ zu dem radialflexiblen, außenverzahnten Zahnrad rotieren zu können. Der Wellengenerator biegt das radialflexible Wälzlager und das radialflexible, außenverzahnte
- 20 Zahnrad zu einer elliptischen Form, um die Verzahnungen des innenverzahnten Zahnrades und des flexiblen außenverzahnten Zahnrades an jedem Ende der Ellipsen-Hauptachse (Hochachse) miteinander in Eingriff zu bringen. Bei dem radialflexiblen Wälzlager handelt es sich zumeist um ein Wälzlager mit Wälzkörpern, die als Kugeln ausgebildet sind.
- 25

- Das radialflexible, außenverzahnte Zahnrad weist zumeist eine geringere
- 30 Anzahl von Zähnen auf, als das starre, innenverzahnte Zahnrad. Wenn der Wellengenerator rotiert, wälzt die Außenseite des außenverzahnten Zahnrades auf der Innenseite des innenverzahnten, starren Zahnrades ab,

wobei die Zähne des flexiblen außenverzahnten Zahnrades an gegenüberliegenden Seiten umlaufend in und außer Eingriff mit den Zähnen des starren innenverzahnten Zahnrades gelangen. Aufgrund des Unterschiedes der Zähnezahlen kommt es zu einer Relativdrehung des radialflexiblen, außenverzahnten Zahnrades relativ zu dem starren, innenverzahnten Zahnrad, wenn der Wellengenerator rotiert wird. Der Wellengenerator muss nicht zwingend elliptisch ausgebildet sein. Vielmehr ist jede von der Kreisform abweichende Form möglich, die im Ergebnis den beschriebenen Eingriff der Verzahnung des flexiblen, außenverzahnten Zahnrades in die Verzahnung des innenverzahnten Zahnrades bewirkt. Auch ist es möglich, den Wellengenerator derart auszubilden, dass die Verzahnung des radialflexiblen, außenverzahnten Zahnrades an drei oder mehr Stellen in die Verzahnung des innenverzahnten Zahnrades eingreift.

Es gibt Spannungswellengetriebe in Ringbauweise, die zwei starre, jeweils im Querschnitt kreisförmige, innenverzahnte Zahnräder mit unterschiedlicher Zähneanzahl aufweisen, die auch Circularspline und Dynamicspline genannt werden.

Aus DE 11 2013 001 496 T5 ist ein Ringgetriebe bekannt, dessen radialflexibles Wälzlager als Nadellager ausgebildet ist.

Aus EP 3 492 775 B1 ist ein Spannungswellengetriebe mit einem Wälzlager bekannt, dessen Wälzkörper als hohle Walzen ausgebildet sind.

Aus WO 2020/234945 ist ein Spannungswellengetriebe mit einem Wälzlager bekannt, dessen Wälzkörper als zylindrische Rollen ausgebildet sind.

Aus DE 10 2017 106 712 A1 ist ein Spannungswellengetriebe bekannt, das einen Wellengenerator aufweist, der in einer radialflexiblen,

außenverzahnten Hülse rotierbar gelagert ist, und das ein erstes starres, innenverzahntes Hohlrad aufweist, dessen Verzahnung mit der Außenverzahnung der radialflexiblen, außenverzahnten Hülse in Zahneingriff steht und ein zweites starres, innenverzahntes Hohlrad aufweist, dessen Verzahnung ebenfalls mit der Außenverzahnung der radialflexiblen, außenverzahnten Hülse in Zahneingriff steht. Das Spannungswellengetriebe zeichnet sich dadurch aus, dass der Wellengenerator mittels eines einzigen radialflexiblen Wälzlagers relativ zu der radialflexiblen, außenverzahnten Hülse rotierbar gelagert ist, das eine erste Wälzkörperreihe mit ersten Wälzkugeln und wenigstens eine axial zu der ersten Wälzkörperreihe versetzte, zweite Wälzkörperreihe mit zweiten Wälzkugeln aufweist.

Aus EP 2 676 049 B1 ist ein Spannungswellengetriebe bekannt, dessen radialflexibles Wälzlager zwei Reihen von Wälzkörpern aufweist, wobei die Wälzkörper in axialer Richtung überlappen.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Spannungswellengetriebe anzugeben, das bei gleicher Baugröße eine größere Leistungsfähigkeit und Lebensdauer aufweist.

Die Aufgabe wird durch ein Spannungswellengetriebe gelöst, das dadurch gekennzeichnet ist, dass das radialflexible Wälzlager mehrere Wälzkörper aufweist, die keine Kugeln sind und deren Wälzflächen über ihre axiale Länge keinen zylindrischen Anteil aufweisen.

In erfindungsgemäßer Weise wurde erkannt, dass insbesondere die Lebensdauer und Belastbarkeit des radialflexiblen Wälzlagers zwei wichtige Faktoren für die Lebensdauer und Leistungsfähigkeit eines Spannungswellengetriebes sind. Das radialflexible Wälzlager hat, wie eingangs geschildert, die Aufgabe, die Generatorfunktion umlaufend auf den Flexspline zu übertragen und für den Zahneingriff zu sorgen. Neben

den radialen Zahneingriffskräften wird das radialflexible Wälzlager noch durch die ovale, insbesondere elliptische Vordeformation, und die sogenannten Coningkräfte im Topf- oder Hutgetriebe belastet. Das bei einem Spannungswellengetriebe in Topfbauweise oder in Hutbauweise auftretende „Coning“ des Flexsplines ist darauf zurückzuführen, dass das die Verzahnung aufweisende Ende des Flextopfes (bzw. Flexhutes) in der radialen Ebene der Hochachse des Wellengenerators radial nach außen gebogen wird, mit der Folge, dass die in der Ebene der Hochachse liegenden Teile der Flextopfwandung zum Topfboden hin (bzw. zur Hutkrempe hin) konisch aufeinander zu verlaufen, und dass das die Verzahnung aufweisende Ende des Flextopfes in der radialen Ebene der Niedrigachse des Wellengenerators radial nach innen gebogen wird, mit der Folge, dass die in der Ebene der Niedrigachse liegenden Teile der Flextopfwandung zum Topfboden hin (bzw. zur Hutkrempe hin) konisch auseinander laufen. In erfindungsgemäßer Weise wurde außerdem erkannt, dass die Druckwinkel im Wälzlager durch das Coning nachteiliger Weise fortlaufend verändert werden und insbesondere axiale Kräfte induziert werden. Insbesondere durch das Coning kommt es in nachteiliger Weise zum Kantentragen und Kantenpressungen, was sich negativ auf die Belastbarkeit und die Lebensdauer auswirkt.

Ein weiterer Nachteil von Kugellagern resultiert (unabhängig von der Bauform eines herkömmlichen Spannungswellengetriebes) aus einer nachteiligen Kugelkinematik. Eine Kugel kann sich im Kugellager in alle drei Raumrichtungen bewegen und erfährt durch den Punktkontakt mit den Laufflächen neben einem reinen Abrollen an den Laufflächen auch ein Gleiten und ein Rutschen. Dieser Effekt verstärkt sich durch sich fortlaufend ändernde Druckwinkel ganz besonders und beeinflusst das sogenannte Spin/Roll-Verhältnis nachteilig, was erheblich für Verschleißerscheinungen und eine diesbezüglich nachteilige Erwärmung des Wälzlagers verantwortlich ist. Vor allem wenn nachteilige Schmierstoffbedingungen vorliegen, kann dies zu exponentiellem

Verschleiß führen und das Wälzlager frühzeitig ausfallen lassen, beispielsweise weil das Lagerspiel zu groß wird und gestörte Zahneingriffsverhältnisse resultieren.

- 5 In erfindungsgemäßer Weise wurde darüber hinaus erkannt, dass eine erhöhte Lebensdauer und Belastbarkeit des radialflexiblen Wälzlagers erreicht werden kann, indem Wälzkörper verwendet werden, die nicht als Kugeln ausgebildet sind, weil hierdurch insbesondere eine lediglich punktförmiger Kontakt der Wälzkörper zu den Laufflächen des Innen- und
- 10 Außenrings zu Gunsten eines Linienkontaktes vermieden ist. Ein weiterer Grund ist, dass die Wälzkörper von Zylinderform abweichende Wälzflächen aufweisen, weil hierdurch die oben geschilderte zusätzlichen Belastungen des radialflexiblen Wälzlagers vermieden oder zumindest ganz erheblich reduziert werden.

15

- Hiervon ausgehend wurde außerdem erkannt, dass – je nach geplanter Anwendung und je nach Typ des Spannungswellengetriebes - ganz unterschiedliche Formen der Wälzkörper in besonders vorteilhafter Weise zum Einsatz kommen können. Insbesondere kann die Form der Wälzkörper
- 20 und der Laufflächen beispielsweise derart gewählt werden, dass sich das radialflexible Wälzlager bei gleicher Belastung weniger erwärmt und dadurch einem geringeren Verschleiß unterliegt, während gleichzeitig ein Kippen des Wellengenerators relativ zu dem Flexspline ermöglicht ist.

- 25 Das erfindungsgemäße Spannungswellengetriebe hat zum Einen den besonderen Vorteil, dass bei gleichen Hertzchen Pressungen zwischen den Wälzkörpern und den Laufflächen insgesamt eine höhere Belastbarkeit des radialflexiblen Wälzlagers erreicht wird, wobei die Wälzkörper hierfür auf Grund des Linienkontaktes (anstelle eines
- 30 Punktkontaktes) in ganz besonders vorteilhafter Weise sogar eine kleinere radiale Ausdehnung aufweisen können. Hierdurch wird in ganz besonders vorteilhafter Weise ein reduzierter radialer Bauraumbedarf des

radialflexiblen Wälzlagers erreicht.

- Die Erfindung ermöglicht es beispielsweise, das erfindungsgemäße Spannungswellengetriebe bei gleicher Belastbarkeit kleiner auszubilden,
5 als ein herkömmliches Spannungswellengetriebe.

- Alternativ kann auf Grund des reduzierten radialen Bauraumbedarfs des radialflexiblen Wälzlagers beispielsweise der Durchgangsdurchmesser eines als Hohlwelle ausgebildeten Wellengenerators vergrößert werden.
10 Ein vergrößerter Durchgangsdurchmesser des als Hohlwelle ausgebildeten Wellengenerators hat beispielsweise den Vorteil, dass mehr oder dickere elektrische Kabel hindurch verlegt werden können, was beispielsweise bei Roboter-, Lenkungs- und Fahrwerksanordnungen besonders vorteilhaft ist.
- 15 Auf Grund des oben erläuterten Vorteils, dass die Wälzkörper eine geringere radiale Ausdehnung aufweisen können, wird zusätzlich erreicht, dass bei gleicher radialer Größe des Wälzlagers eine größere Anzahl von Wälzkörpern vorhanden sein kann, was die Belastbarkeit zusätzlich erhöht, weil sich die auftretenden Kräfte auf eine größere Anzahl von Wälzkörpern
20 verteilt. Hierbei ist es von besonderem Vorteil, wenn das Wälzlager eine gerade Anzahl von Wälzkörpern aufweist, weil hierdurch insgesamt eine symmetrische Belastung des Spannungswellengetriebes erreicht wird.

- Wie bereits erwähnt ist es erfindungsgemäß möglich, das
25 erfindungsgemäße Spannungswellengetriebe derart auszubilden, dass die Belastungen auf das radialflexible Wälzlager trotz gleicher Drehmomentbelastung und gleicher Baugröße gegenüber einem herkömmlichen Spannungswellengetriebe mit einem Kugellager reduziert sind. Das erfindungsgemäße Wälzlager des erfindungsgemäßen
30 Spannungswellengetriebes läuft in diesem Fall kühler und die Schmierstoffbelastung durch erhöhte Temperaturen ist reduziert.

Alternativ ist es ohne negative Beeinflussung der Lebensdauer des Spannungswellengetriebes möglich, eine Drehmomentbelastung des Spannungswellengetriebes zuzulassen, die bei einem herkömmlichen Spannungswellengetriebe gleicher Baugröße unzulässig ist.

5

In besonders vorteilhafter Weise induziert das Wälzlager allenfalls nur sehr kleine axiale Kräfte in das System, weil der Radius der Laufflächen und der Wälzflächen (im Axialquerschnitt) größer ist als bei einem Kugellager mit Wälzkugeln.

10

Das erfindungsgemäße Spannungswellengetriebe hat den ganz besonderen Vorteil, dass bei gleicher Baugröße das Gewicht des Wälzlagers und vor allem das der Wälzkörper gegenüber dem Gewicht des Wälzlagers herkömmlicher Spannungswellengetriebe reduziert ist, was
15 höhere Drehzahlen ermöglicht und die Massenträgheit verringert. Darüber hinaus wird die Übertragungsgenauigkeit des Spannungswellengetriebes durch die erhöhte Anzahl an Wälzkörpern verbessert, da mehr Stützstellen in den Zahneingriffsbereichen vorliegen.

20

Ganz allgemein kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass die Wälzflächen der Wälzkörper jeweils als eine Mantelfläche eines Abschnitts eines Rotationskörpers (im mathematischen Sinne) ausgebildet sind, wobei die Erzeugende eine beliebige Kurve sein kann, außer einer zur Rotationsachse senkrechten Strecke (was einen Kreiszylinder ergäbe) oder
25 eines mit seinen Enden unmittelbar an der Rotationsachse anliegenden Halbkreisbogens (was eine Kugel ergäbe).

25

Ein Rotationskörper ist in der Geometrie ein mathematischer Körper, dessen Oberfläche durch Rotation einer erzeugenden Kurve (Erzeugende)
30 um eine Rotationsachse gebildet wird, wobei die erzeugende Kurve und die Rotationsachse stets in einer Ebene gemeinsamen liegen.

30

- Insbesondere kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass die Wälzflächen der Wälzkörper jeweils die Form eines Rotationskörpers aufweisen, dessen erzeugende Kurve ein Kreissegment ist, insbesondere ein Kreissegment, das kürzer ist als ein Viertelkreis oder ein Achtelkreis. Es kann auch
- 5 vorgesehen sein, dass die Wälzkörper jeweils als Rotationsellipsoid oder als Abschnitt eines Rotationsellipsoids ausgebildet sind und/oder dass die Wälzflächen der Wälzkörper jeweils als eine Mantelfläche eines Abschnitts eines Rotationsellipsoids ausgebildet sind.
- 10 Bei einer besonderen Ausführung weisen die Wälzkörper und/oder die Wälzflächen der Wälzkörper eine synklastische Form auf. Insbesondere können die Wälzkörper und/oder die Wälzflächen der Wälzkörper ballig ausgebildet sein.
- 15 Alternativ ist es auch möglich, dass die Wälzflächen der Wälzkörper eine antiklastische Form aufweisen. Beispielsweise können die Wälzkörper und/oder die Wälzflächen der Wälzkörper vorteilhaft tailliert ausgebildet sein. Beispielsweise kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass die Wälzkörper jeweils als Rotationshyperboloid oder als Abschnitt eines
- 20 Rotationshyperboloids ausgebildet sind und/oder dass die Wälzflächen der Wälzkörper jeweils als eine Mantelfläche eines Abschnitts eines Rotationshyperboloids ausgebildet sind.
- Vorzugsweise sind alle Wälzkörper des radialflexiblen Wälzlagers gleich
- 25 ausgebildet.
- Die Wälzkörper können insbesondere in einem Wälzkörperkäfig angeordnet sein. Es ist auch möglich, zwischen benachbarten Wälzkörpern Abstandselemente, beispielsweise aus Kunststoff, einzufügen,
- 30 die die Wälzkörper auf Abstand zueinander halten. Insbesondere können die Abstandselemente eine zu den Wälzkörpern komplementäre Form aufweisen und flächig an den Wälzkörpern anliegen.

Bei einer besonderen Ausführung sind die Wälzkörper bezüglich einer zur Axialrichtung senkrechten Ebene spiegelsymmetrisch ausgebildet. Es ist, je nach Anwendungsfall, jedoch auch möglich, die Wälzkörper
5 unsymmetrisch auszubilden.

In besonders vorteilhafter Weise kann die axiale Länge der Wälzkörper und/oder der Wälzflächen größer sein, als deren größter Durchmesser. Eine solche Ausführung ist besonders kompakt ausbildbar.

10

Insbesondere können die axialen Längen der Lagerringe und/oder der Wälzflächen gleich sein. Es ist jedoch auch möglich, dass der Lagerinnenring axial länger ist als der Lageraußenring oder dass der Lageraußenring axial länger ist als der Lagerinnenring. Alternativ oder
15 zusätzlich ist es auch möglich, dass eine der Laufflächen axial länger ist als die andere.

Vorzugsweise sind die radialen Materialdicken der Lagerringe bei dem radialflexiblen Wälzlager derart gewählt, dass eine fortlaufende elastische
20 Deformation während der Rotation des Wellengenerators genauso wie bei herkömmlichen Spannungswellengetrieben möglich ist.

Vorzugsweise weist das radialflexible Wälzlager zwei Laufflächen auf, zwischen denen die Wälzkörper angeordnet sind und auf denen die
25 Wälzkörper abrollen. Insbesondere kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass die Laufflächen in einer in Axialrichtung verlaufenden Querschnittsebene zueinander eine spiegelsymmetrische Form aufweisen.

Das radialflexible Wälzlager kann derart ausgebildet sein, dass keine
30 Axialsicherung für die Wälzkörper erforderlich ist. Insbesondere kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass die Wälzkörper axial ausschließlich durch ihren Kontakt mit den Laufflächen gesichert sind.

Die Querschnittsform der Laufflächen kann vorteilhaft der Querschnittsform der Wälzkörper entsprechen, insbesondere um einen Linienkontakt zu erreichen. Insbesondere kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass die Laufflächen in einer Querschnittsebene längs der Axialrichtung eine geringere Krümmung aufweisen, als die Wälzflächen der Wälzkörper, insbesondere damit die Wälzkörper entlang einem vollständigen Linienkontakt passformgenau anliegen können. Beispielsweise kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass die Wälzfläche jedes Wälzkörpers die Form eines Rotationskörpers (im mathematischen Sinne) aufweist, dessen erzeugende Kurve ein Kreissegment ist. In diesem Fall können die Laufflächen ebenfalls als Rotationskörper (im mathematischen Sinne) ausgebildet sein, deren erzeugende Kurve jeweils ein Kreissegment (mit vorzugsweise geringfügig größerem Radius) ist.

Das radialflexible Wälzlager kann einen Lagerinnenring aufweisen, der auf seiner Außenseite eine der Laufflächen aufweist. Das radialflexible Wälzlager kann einen Lageaußenring aufweisen, der auf seiner Innenseite eine der Laufflächen für die Wälzflächen der Wälzkörper aufweist. Es ist allerdings auch möglich, auf wenigsten einen der Ringe (Innenring und/oder Außenring) zu verzichten, indem der Wellengenerator eine der Laufflächen aufweist und/oder indem der Flexspline eine der Laufflächen aufweist.

Wie bereits erwähnt, kann der Wellengenerator vorteilhaft, insbesondere wenn das Spannungswellengetriebe als Ringgetriebe oder als Hutgetriebe ausgebildet ist, als Hohlwelle ausgebildet sein. Dies ermöglicht es beispielsweise, andere Wellen oder elektrische Kabel durch den Wellengenerator hindurch legen zu können.

Vorzugsweise weist der Wellengenerator einen Lagersitz für das radialflexible Wälzlager auf. Der Lagersitz kann insbesondere als gerader

Zylinder mit einer von einer Kreisscheibe verschiedenen Grundform ausgebildet sein.

Bei einer besonderen Ausführung und nach einem eigenständigen
5 Erfindungsgedanken ist der Wellengenerator in der Weise ausgebildet,
dass er mehrere auf dem Innenumfang des Flexsplines abrollende Rollen
aufweist, wobei jede der Rollen mittels eines Wälzlagers an einem
rotierenden Träger gelagert ist, das mehrere Wälzkörper aufweist, die
keine Kugeln sind und deren Wälzflächen über ihre axiale Länge keinen
10 zylindrischen Anteil aufweisen. Insbesondere kann ein solcher
Wellengenerator als Two-Roller oder als Three-Roller ausgebildet sein.

Hinsichtlich der Bauform des erfindungsgemäßen
Spannungswellengetriebes gibt es keine grundsätzlichen Beschränkungen.
15 Das erfindungsgemäße Spannungswellengetriebe kann vorteilhaft als
Topfgetriebe, als Hutgetriebe oder als Ringgetriebe ausgebildet sein.

Das erfindungsgemäße Spannungswellengetriebe kann in Innenläufer-
Bauweise ausgebildet sein, bei der der Wellengenerator von dem
20 Flexspline umgeben ist. Das erfindungsgemäße Spannungswellengetriebe
kann alternativ auch in Außenläufer-Bauweise ausgebildet sein, bei der
der Wellengenerator den Flexspline umgibt.

Ganz besonders vorteilhaft ist eine Ausführung, bei der der
25 Wellengenerator mittels des radialflexiblen Wälzlagers relativ zu dem
Flexspline kippbar gelagert ist. Ein solches Spannungswellengetriebe hat
den Vorteil einer besonders großen Einbautoleranz, ohne dass hierfür
zusätzliche Bauelemente, wie beispielsweise Kupplungen und/oder
andere Ausgleichselemente, erforderlich sind.

30

Der Wellengenerator und/oder eine mit dem Wellengenerator unmittelbar
verbundene Welle können ausschließlich mittels des radialflexiblen

Wälzlagers gelagert sein. Auf diese Weise ist eine schwimmende Lagerung (relativ zu den übrigen Getriebeteilen) möglich. Es ist jedoch auch möglich, dass der Wellengenerator und/oder eine mit dem Wellengenerator unmittelbar verbundene Welle zusätzlich an anderer
5 Stelle rotierbar gelagert sind.

Von ganz besonderem Vorteil ist ein Roboter, insbesondere ein Industrieroboter, der wenigstens ein erfindungsgemäßes Spannungswellengetriebe beinhaltet. Insbesondere kann das
10 erfindungsgemäße Spannungswellengetriebe in einem Robotergelenk eingesetzt werden. Das Robotergelenk kann durch die Verwendung des erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes für größere Belastungen ausgelegt werden als mit einem herkömmlichen Spannungswellengetriebe.

15

Von ganz besonderem Vorteil ist ein Fahrwerk, insbesondere ein aktives Fahrwerk für ein Kraftfahrzeug, das wenigstens ein erfindungsgemäßes Spannungswellengetriebe aufweist. Ein ganz besonderer Vorteil ist es hierbei, dass von dem bei einem Fahrzeug ohnehin nur begrenzt zur
20 Verfügung stehenden Bauraum weniger benötigt wird.

Von ganz besonderem Vorteil ist eine Lenkung, insbesondere PKW-Lenkung oder LKW-Lenkung, die wenigstens ein erfindungsgemäßes Spannungswellengetriebe aufweist. Die Lenkung kann insbesondere eine
25 Servolenkung und/oder eine Überlagerungslenkung sein.

In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand beispielhaft und schematisch dargestellt und wird anhand der Figuren nachfolgend beschrieben, wobei gleiche oder gleich wirkende Elemente auch in
30 unterschiedlichen Ausführungsbeispielen zumeist mit denselben Bezugszeichen versehen sind. Dabei zeigen:

- Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes,
- 5 Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes,
- Fig. 3 ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes,
- 10 Fig. 4 ein viertes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes,
- Fig. 5 ein fünftes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes,
- 15 Fig. 6 ein sechstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes,
- Fig. 7 ein siebtes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes,
- 20 Fig. 8 ein achttes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes,
- 25 Fig. 9 ein Ausführungsbeispiel eines Wälzkörpers für ein erfindungsgemäßes Spannungswellengetriebe in einer Seitenansicht,
- 30 Fig. 10 das Ausführungsbeispiel eines Wälzkörpers für ein erfindungsgemäßes Spannungswellengetriebe in einer Draufsicht in Axialrichtung,

Fig. 11 ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Wälzkörpers für ein erfindungsgemäßes Spannungswellengetriebe in einer Seitenansicht,

- 5 Fig. 12 das weitere Ausführungsbeispiel eines Wälzkörpers für ein erfindungsgemäßes Spannungswellengetriebe in einer Draufsicht in Axialrichtung,

- 10 Fig. 13 ein anderes Ausführungsbeispiel eines Wälzkörpers für ein erfindungsgemäßes Spannungswellengetriebe in einer Seitenansicht, und

- 15 Fig. 14 das andere Ausführungsbeispiel eines Wälzkörpers für ein erfindungsgemäßes Spannungswellengetriebe in einer Draufsicht in Axialrichtung.

- Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes mit einem Wellengenerator 1, der mittels eines radialflexiblen Wälzlagers 2 relativ zu einem Flexspline 3 rotierbar gelagert ist. Bei dem Flexspline 3 handelt es sich um einen Flextopf, der einen Flextopfboden 4 aufweist. An den Flextopfboden 4 ist eine Abtriebswelle 5 angekoppelt. An den Wellengenerator 1 ist eine Antriebswelle 6 angekoppelt.

- 25 Das Spannungswellengetriebe weist darüber hinaus einen Circularspline 7 mit einer Innenverzahnung 8 auf.

- Der Flexspline 3 weist an seinem dem Topfboden 4 abgewandten Ende eine umlaufende Außenverzahnung 9 auf, die in der radialen Ebene der Hochachse des Wellengenerators (die der Zeichenebene der Figur 1 entspricht) an zwei Stellen in die Innenverzahnung 8 des Circularsplines 7 eingreift.

Das radialflexible Wälzlager 2 weist einen Innenring 10 und einen Außenring 11 auf, zwischen denen mehrere Wälzkörper 12 angeordnet sind, die keine Kugeln sind und deren Wälzflächen 15 über ihre axiale Länge keinen zylindrischen Anteil aufweisen. Konkret sind die Wälzkörper 12 ballig ausgebildet.

Der Innenring 10 weist eine innere Lauffläche 13 auf. Der Außenring 11 weist eine äußere Lauffläche 14 auf, die mit den Wälzkörpern 12 in Linienkontakt stehen. Die Querschnittsform der Laufflächen 13, 14 entspricht hierfür der Querschnittsform der Wälzkörper 12. Die Laufflächen 13, 14 weisen in einer Querschnittsebene längs der Axialrichtung (entspricht der Zeichenebene) eine etwas geringere Krümmung auf, als die Wälzflächen 15 der Wälzkörper 12, um einen vollständigen Linienkontakt zu gewährleisten. Beispielsweise kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass die Wälzfläche 15 jedes Wälzkörpers 12 die Form eines Rotationskörpers (im mathematischen Sinne) aufweist, dessen erzeugende Kurve ein Kreissegment ist. In diesem Fall können die Laufflächen ebenfalls als Rotationskörper (im mathematischen Sinne) ausgebildet sein, deren erzeugende Kurve jeweils ein Kreissegment mit vorzugsweise etwas größerem Radius ist.

In der Figur 1 ist zu erkennen, dass die Flanken des Flexsplines 3 in der dargestellten Ebene der Hochachse des Wellengenerators 1 von dem Topfboden 4 ausgehend konisch auseinander laufen, was als Coning bezeichnet wird. In der Figur 1 ist außerdem zu erkennen, dass sich das radialflexible Wälzlager 2 vorteilhaft an die durch das Coning bedingte Form des Flexsplines 3 anpasst. Insbesondere lassen es die besondere Form der Wälzkörper 12 und des Innenrings 10 sowie des Außenrings 11 zu, dass der Außenring 11 sich verwinden und partiell relativ zum Innenring 10 kippen kann.

Das dargestellte Spannungswellengetriebe hat darüber hinaus den ganz besonderen Vorteil, dass ein axialer Winkelfehler des Wellengenerators 1 und der Antriebswelle 6 mittels des radialflexiblen Wälzlagers 2 ausgeglichen wird und nicht auf den Flexspline 3 und/oder den Circularspline 7 übertragen wird und nicht zu einer zusätzlichen Belastung des radialflexiblen Wälzlagers 2 führt. Insoweit hat das erfindungsgemäße Spannungswellengetriebe den Vorteil einer besonders großen Einbautoleranz.

10 Figur 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes, das im Gegensatz zu der in Figur 1 dargestellten Ausführung als Hutgetriebe ausgebildet ist. Der Flexspline 3 weist anstelle eines Flextopfbodens 4 eine nach außen gerichtete umlaufende Krempe 16 auf, die beispielweise als Flansch ausgebildet sein
15 kann.

Figur 3 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes. Bei diesem Ausführungsbeispiel weist der Wellengenerator 1 auf seinem Außenumfang die innere Lauffläche 13 auf.
20 Ein Innenring 10 ist bei dieser Ausführung daher nicht vorhanden.

Figur 4 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes. Bei dieser Ausführung weist der Flexspline 3 entlang seinem Innenumfang die äußere Lauffläche 14 auf. Ein Außenring
25 11 ist bei dieser Ausführung daher nicht vorhanden.

Figur 5 zeigt ein fünftes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes. Bei dieser Ausführung weist der Wellengenerator 1 die innere Lauffläche 13 auf, während der Flexspline 3 entlang seinem Innenumfang die äußere Lauffläche 14 aufweist. Bei
30 diesem Ausführungsbeispiel ist weder ein Innenring 10 noch ein Außenring 11 vorhanden.

Figur 6 zeigt ein sechstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes. Das Spannungswellengetriebe ist als Ringgetriebe ausgebildet, das neben einem Circularspline 7 einem Dynamicspline 17 mit einer weiteren Innenverzahnung 18 aufweist, die ebenfalls mit der Außenverzahnung 9 des Flexsplines 3 kämmt. Die Anzahl der Zähne der Innenverzahnung 8 des Circularsplines 7 unterscheidet sich von der Anzahl der Zähne der weiteren Innenverzahnung 18 des Dynamicsplines 17. Bei diesem Getriebe ist es ein ganz besonderer Vorteil, dass sich axiale Winkelabweichungen der Antriebswelle 6 und des Wellengenerators 1 aufgrund des erfindungsgemäßen radialflexiblen Wälzlagers nicht auf den Flexspline 3 und den Circularspline 7 sowie den Dynamicspline 17 übertragen und nicht zu einer zusätzlichen Belastung des radialflexiblen Wälzlagers 2 führen.

15

Figur 7 zeigt ein siebtes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes. Das Spannungswellengetriebe ist als Ringgetriebe mit einem Circularspline 7 und einem Dynamicspline 17 ausgebildet. Der Wellengenerator 1 ist als Hohlwelle ausgebildet.

20

Figur 8 zeigt ein achttes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spannungswellengetriebes. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die Wälzkörper 12 tailliert ausgebildet. Die Laufflächen 13, 14 sind entsprechend gegengeformt derart ausgebildet, dass jeweils ein Linienkontakt zwischen den Laufflächen 13, 14 und den Wälzflächen 15 der Wälzkörper 12 gewährleistet ist.

Die Figuren 9 und 10 zeigen in einer Seitansicht und in einer axialen Draufsicht eine mögliche Ausführung eines Wälzkörpers 12 für ein erfindungsgemäßes Spannungswellengetriebe. Der Wälzkörper 12 weist entlang seinem Umfang eine Wälzfläche 15 auf. Die Wälzfläche 15 kann im Querschnitt beispielsweise ein Kreissegment oder ein Ellipsensegment

30

aufweisen.

- Die Figuren 11 und 12 zeigen ein anderes Ausführungsbeispiel eines möglichen Wälzkörpers. Der in den Figuren 11 und 12 dargestellte
- 5 Wälzkörper 12 unterscheidet sich von dem in den Figuren 9 und 10 dargestellten Wälzkörper 12 durch endseitig angebrachte Fasen 19, die nicht Teil der Wälzflächen 15 sind. Diese Ausführung ist besonders unempfindlich gegen Verkippen relativ zu den Laufflächen 13, 14.
- 10 Die Figuren 13 und 14 zeigen in einer Seitenansicht und in einer axialen Draufsicht ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Wälzkörpers 12 für ein erfindungsgemäßes Spannungswellengetriebe. Der in den Figuren 13 und 14 dargestellte Wälzkörper 12 ist tailliert ausgebildet. Die Wälzfläche 15 kann im Querschnitt beispielsweise ein Kreesegment oder ein
- 15 Ellipsensegment aufweisen.

Bezugszeichenliste:

	1	Wellengenerator
	2	radialflexibles Wälzlager
5	3	Flexspline
	4	Flextopfboden
	5	Abtriebswelle
	6	Antriebswelle
	7	Circularspline
10	8	Innenverzahnung
	9	Außenverzahnung
	10	Innenring
	11	Außenring
	12	Wälzkörper
15	13	innere Lauffläche
	14	äußere Lauffläche
	15	Wälzfläche
	16	Krempe
	17	Dynamicspline
20	18	Weitere Innenverzahnung
	19	Fase

Patentansprüche

1. Spannungswellengetriebe mit einem Wellengenerator, der mittels
eines radialflexiblen Wälzlagers relativ zu einem Flexspline rotierbar
5 gelagert ist, dadurch gekennzeichnet, dass das radialflexible
Wälzlager mehrere Wälzkörper aufweist, die keine Kugeln sind und
deren Wälzflächen über ihre axiale Länge keinen zylindrischen
Anteil aufweisen.
2. Spannungswellengetriebe nach Anspruch 1, dadurch
10 gekennzeichnet, dass die Wälzflächen der Wälzkörper jeweils die
Form eines Rotationskörpers aufweisen, dessen erzeugende Kurve
ein Kreissegment ist.
3. Spannungswellengetriebe nach Anspruch 1 oder 2, dadurch
gekennzeichnet, dass die Wälzkörper und/oder die Wälzflächen der
15 Wälzkörper eine synklastische Form aufweisen.
4. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass die Wälzkörper und/oder die
Wälzflächen der Wälzkörper ballig ausgebildet sind.
5. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
20 dadurch gekennzeichnet, dass die Wälzkörper jeweils als
Rotationsellipsoid oder als Abschnitt eines Rotationsellipsoids
ausgebildet sind und/oder dass die Wälzflächen der Wälzkörper
jeweils als eine Mantelfläche eines Abschnitts eines
Rotationsellipsoid ausgebildet sind.
- 25 6. Spannungswellengetriebe nach Anspruch 1 oder 2, dadurch
gekennzeichnet, dass die Wälzflächen der Wälzkörper eine
antiklastische Form aufweisen.

7. Spannungswellengetriebe nach Anspruch 1, 2 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Wälzkörper und/oder die Wälzflächen der Wälzkörper tailliert ausgebildet sind.
- 5 8. Spannungswellengetriebe nach Anspruch 1, 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Wälzkörper jeweils als Rotationshyperboloid oder als Abschnitt eines Rotationshyperboloids ausgebildet sind und/oder dass die Wälzflächen der Wälzkörper jeweils als eine Mantelfläche eines Abschnitts eines Rotationshyperboloids ausgebildet sind.
- 10 9. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass alle Wälzkörper des radialflexiblen Wälzlagers gleich ausgebildet sind.
- 15 10. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Wälzkörper bezüglich einer zur Axialrichtung senkrechten Ebene spiegelsymmetrisch ausgebildet sind.
11. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das radialflexible Wälzlager eine gerade Anzahl von Wälzkörpern aufweist.
- 20 12. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das radialflexible Wälzlager zwei Laufflächen aufweist, zwischen denen die Wälzkörper angeordnet sind und auf denen die Wälzkörper abrollen.
- 25 13. Spannungswellengetriebe nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Laufflächen in einer in Axialrichtung verlaufenden Querschnittsebene eine zueinander spiegelsymmetrische Form aufweisen.
- 30 14. Spannungswellengetriebe nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Wälzkörper mit den Laufflächen in Linienkontakt stehen.

15. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das radialflexible Wälzlager einen Lagerinnenring aufweist, der auf seiner Außenseite eine der Laufflächen aufweist.
- 5 16. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das radialflexible Wälzlager einen Lageaußenring aufweist, der auf seiner Innenseite eine der Laufflächen aufweist.
- 10 17. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Wellengenerator eine der Laufflächen aufweist und/oder dass der Flexspline eine der Laufflächen aufweist.
- 15 18. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass das radialflexible Wälzlager einen Lagerring aufweist, der eine der Laufflächen aufweist, und dass der Wellengenerator oder der Flexspline die andere der Laufflächen aufweist.
- 20 19. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass der Wellengenerator als Hohlwelle ausgebildet ist.
20. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Wellengenerator einen Lagersitz für das radialflexible Wälzlager aufweist.
- 25 21. Spannungswellengetriebe nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Lagersitz als gerader Zylinder mit einer von einer Kreisscheibe verschiedenen Grundform ausgebildet ist.
22. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Spannungswellengetriebe als Topfgetriebe ausgebildet ist.

23. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Spannungswellengetriebe als Hutgetriebe ausgebildet ist.
- 5 24. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Spannungswellengetriebe als Ringgetriebe ausgebildet ist.
- 10 25. Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass der Wellengenerator mittels des radialflexiblen Wälzlagers relativ zu dem Flexspline kippbar gelagert ist.
26. Radialflexibles Wälzlager für ein Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 25.
27. Roboter, insbesondere Industrieroboter, beinhaltend wenigstens ein Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 25.
- 15 28. Robotergelenk, das wenigstens ein Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 25 aufweist.
29. Fahrwerk, insbesondere aktives Fahrwerk für ein Kraftfahrzeug, das wenigstens ein Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 22 aufweist.
- 20 30. Lenkung, insbesondere PKW-Lenkung oder LKW-Lenkung, die wenigstens ein Spannungswellengetriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 25 aufweist.
- 25 31. Lenkung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Lenkung eine Servolenkung und/oder eine Überlagerungslenkung ist.

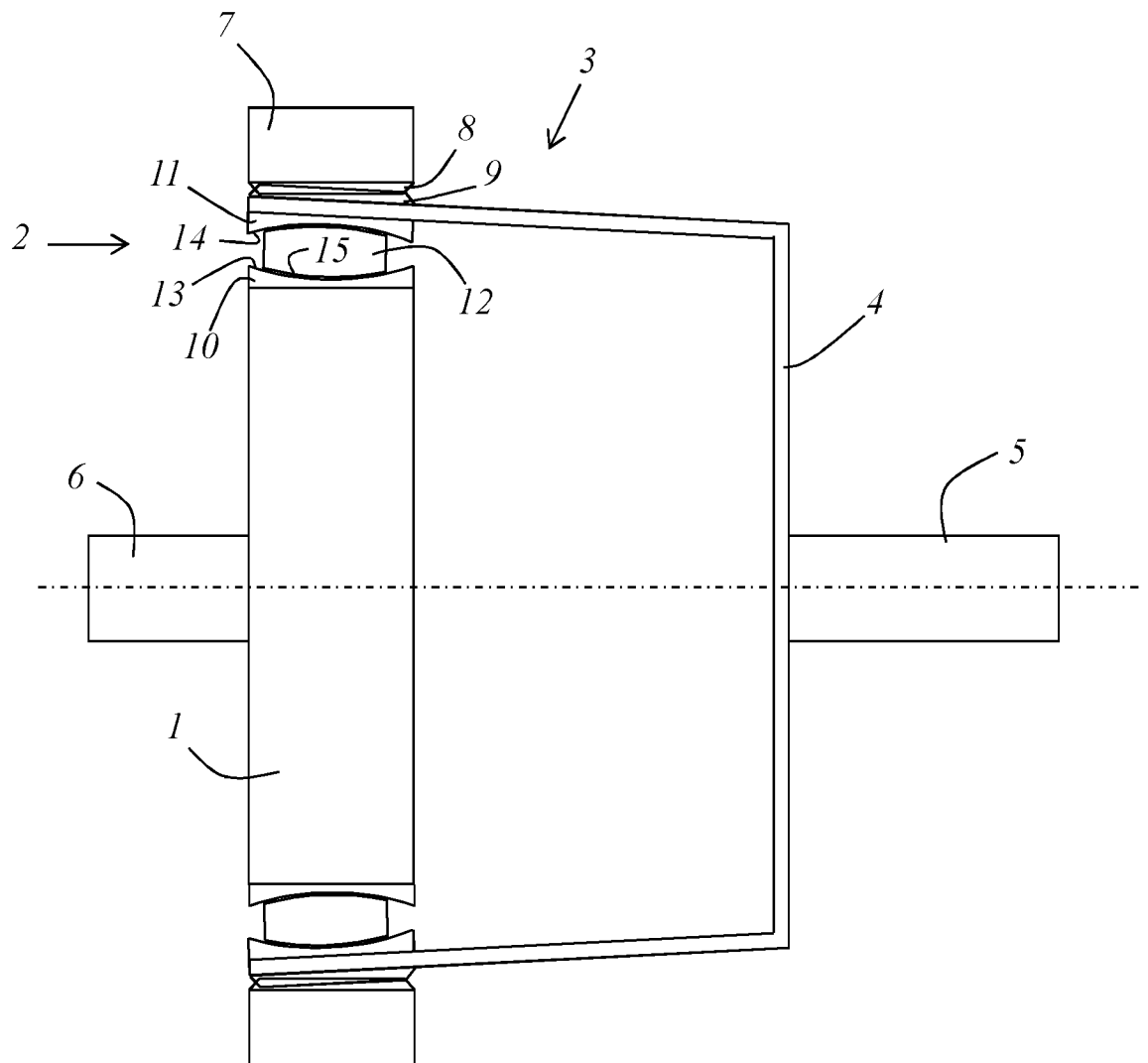


Fig. 1

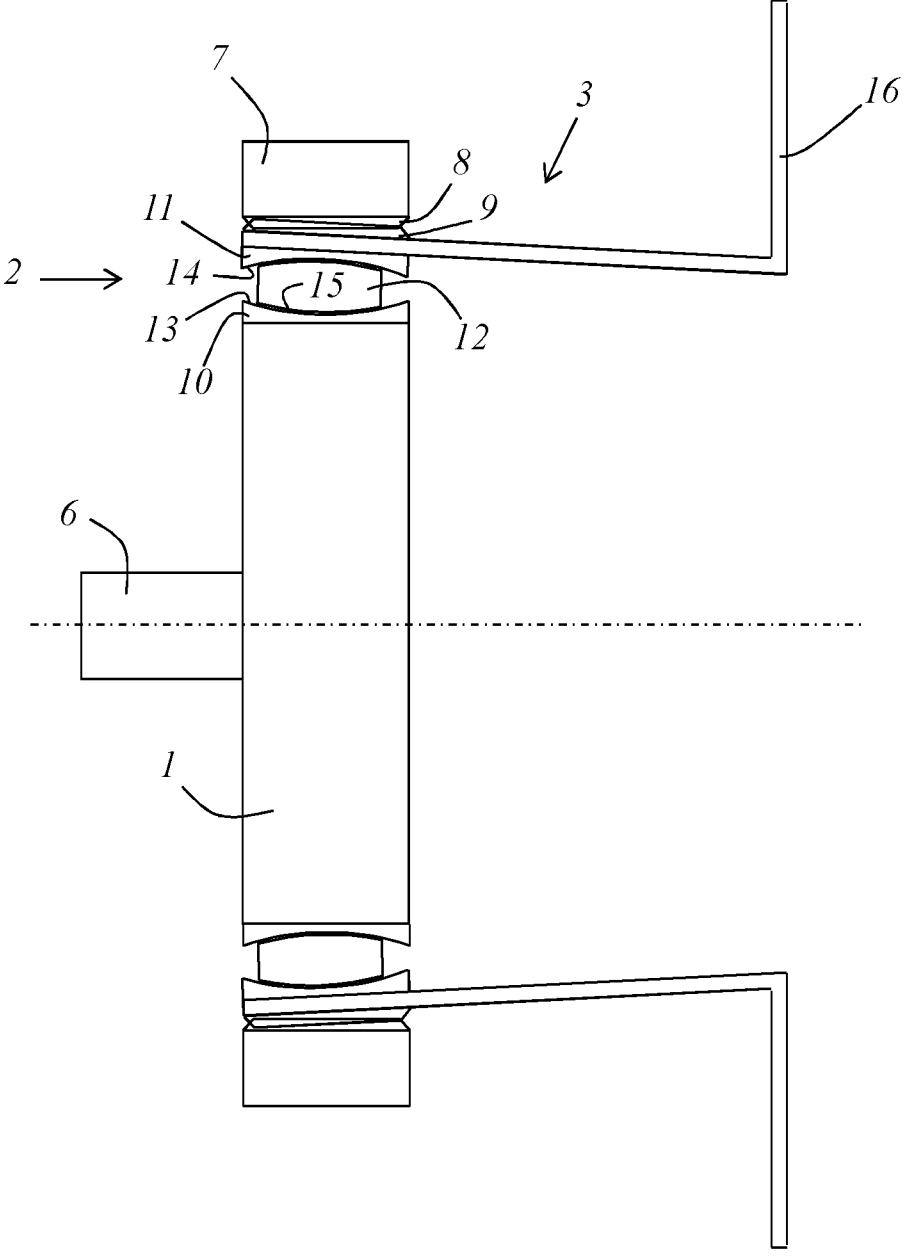


Fig. 2

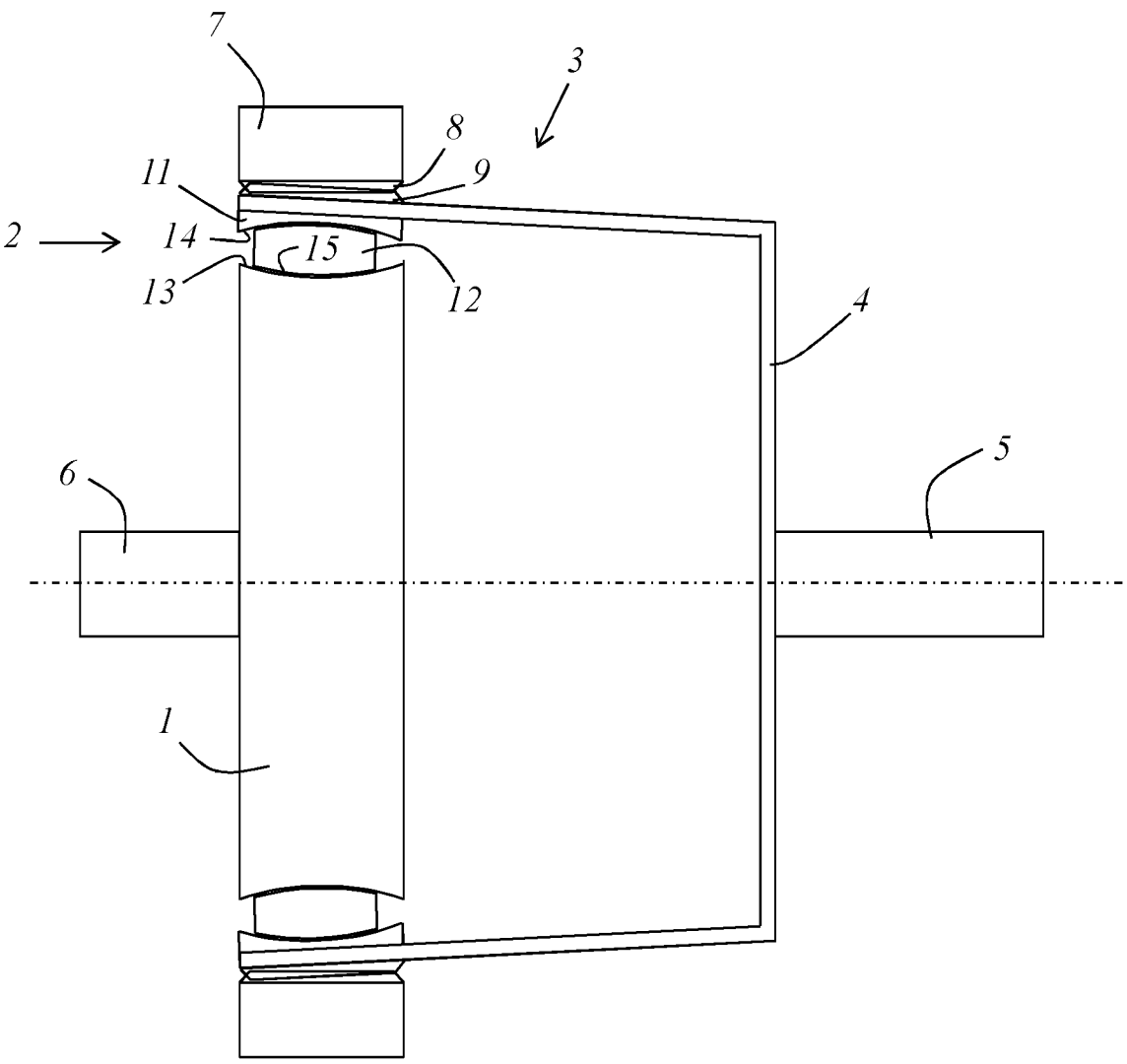


Fig. 3

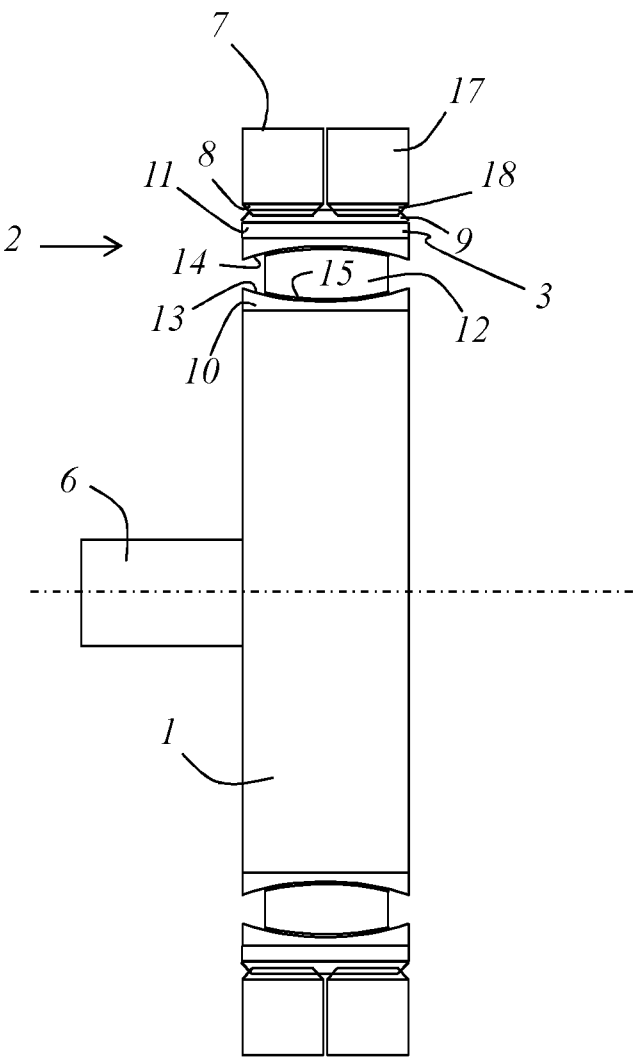


Fig. 6

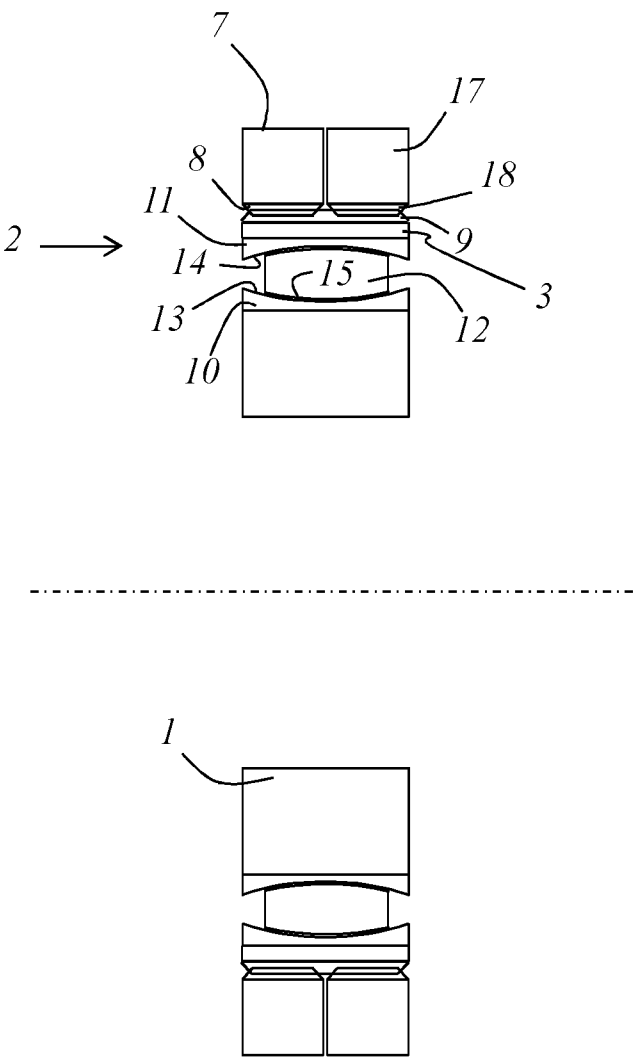


Fig. 7

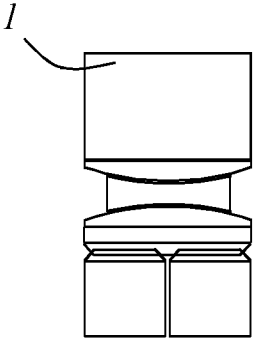
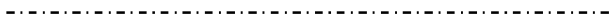
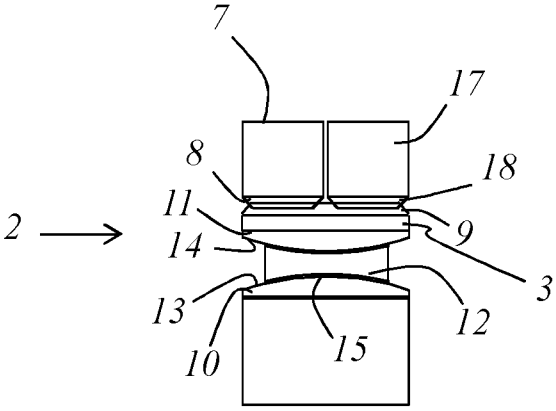


Fig. 8

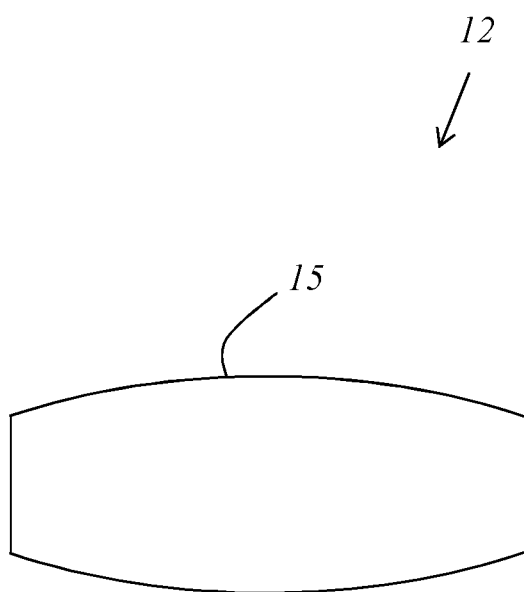


Fig. 9

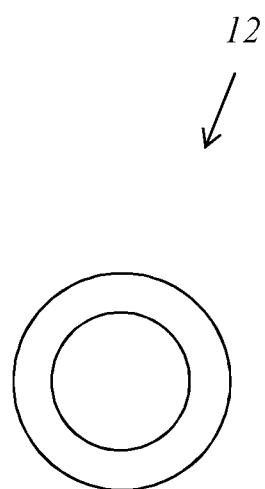


Fig. 10

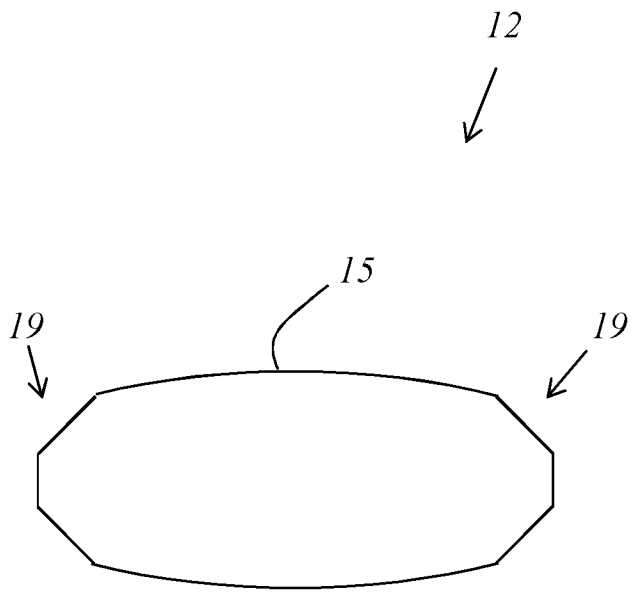


Fig. 11

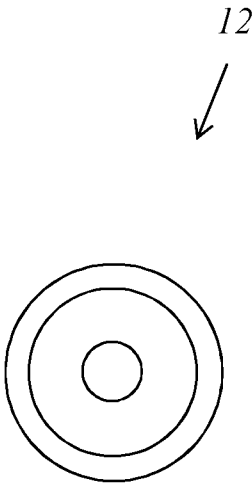


Fig. 12

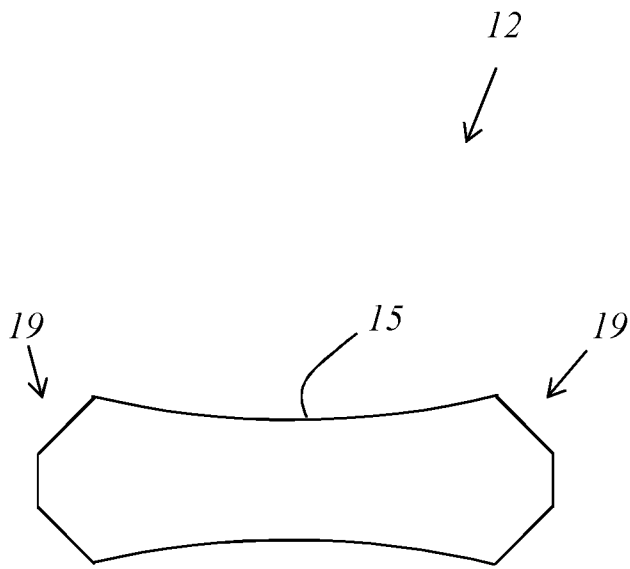


Fig. 13

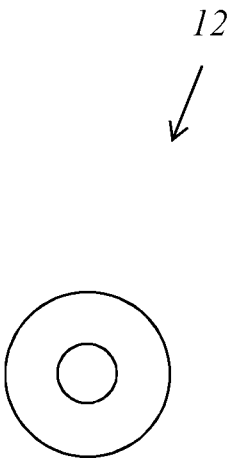


Fig. 14