



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 051 517 A1** 2009.04.30

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 051 517.2**

(22) Anmeldetag: **22.10.2007**

(43) Offenlegungstag: **30.04.2009**

(51) Int Cl.⁸: **F16C 3/02** (2006.01)

F16C 3/00 (2006.01)

(66) Innere Priorität:

10 2006 062 415.7 22.12.2006

(71) Anmelder:

**Technische Universität Dresden, 01069 Dresden,
DE**

(74) Vertreter:

**Kailuweit & Uhlemann, Patentanwälte, 01187
Dresden**

(72) Erfinder:

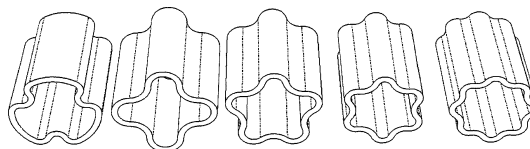
**Hufenbach, Werner, Prof., 01324 Dresden, DE;
Helms, Olaf, Dr., 01309 Dresden, DE; Werner, Jens,
Dipl.-Ing., 01640 Coswig, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Hohlwelle aus Faserverbundwerkstoff und darauf zu befestigende Funktionselemente**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Hohlwelle bzw. hohle Achse aus Faserverbundwerkstoff zur formschlüssigen Verbindung mit Funktionselementen. Die Hohlwelle hat mindestens zwei Faserschichten im Mantel, unterschiedliche Faserorientierungen in den Schichten und ein Profil mit verrundeten Kanten. Die Funktionselemente weisen eine mit dem Wellenprofil korrespondierende Profil-Kontaktfläche, eine Funktionsflächenanordnung und einen dazwischen liegenden Übergangskörper auf. Sowohl die erfindungsgemäße Welle, als auch die Funktionselemente weisen ein geringes Gewicht auf.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Hohlwelle bzw. hohle Achse (im folgenden Hohlwelle) aus Faserverbundwerkstoff in Leichtbauweise und Funktionselemente (oder auch Lasteinleitungselemente), wie Lager, Lagerringe, -schalen, Zahnräder, Muffen, Kuppelungsteile, Riemenscheiben, Räder, Kurbeln oder Kurvenscheiben aus Metall, Keramik oder Kunststoff zur Einleitung, Aufnahme und Übertragung von Kräften oder/und von Momenten, insbesondere für die rationelle Fertigung ultraleichter hybrider Antriebswellen unter Verwendung von vorgefertigten Halbzeugen bzw. Teilen, zur formschlüssigen Verbindung mit der Hohlwelle.

[0002] Leichtbau-Antriebswellen werden in vielen verkehrstechnischen Systemen sowie in Anlagen des allgemeinen Maschinenbaus für Haupt-, Neben- und Stellantriebe benötigt. Mit den Faserverbundwellen lassen sich die Systemmassen und Massenträgheitsmomente reduzieren, was zu einer besseren Dynamik von Antriebssystemen beiträgt.

[0003] Die Hohlwellen können mit verschiedenen Technologien hergestellt werden. Ein weit verbreitetes Verfahren zur Herstellung von hochfesten und hochsteifen Leichtbau-Antriebswellen aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) ist die Wickeltechnik (Filament Winding). Derartige Antriebswellen werden typischer Weise aus Kreuzwicklungen (etwa 45°) mit imprägnierten Fasern auf einem zylindrischen Wickelkern hergestellt.

[0004] Nach der Konsolidierung der Matrix wird der Wickelkern entfernt und die Welle mit den Lasteinleitungselementen mittels Bolzensystemen oder klebtechnisch gefügt. Das nachträgliche Fügen von Wellen und Lasteinleitungselementen ergibt meist keinen geeigneten Formschluss für die Übertragung hoher Lasten.

[0005] Es wurde bereits vorgeschlagen, die Hohlwelle an die Innenkonturen der Lasteinleitungselemente anzuformen. Zur Herstellung werden die Lasteinleitungselemente in einen Formkasten eingelegt und eine Preform der Hohlwelle in einem dehnfähigen, flexiblen, radial drapierbaren Zustand konturengenau an die Werkzeuginnenflächen und an die freiliegenden Kontaktflächen der Lasteinleitungselemente angelegt und in diesem Zustand unter Innendruck konsolidiert. Der Formkasten ist auf das jeweilige Produkt zugeschnitten. Änderungen sind mit erneuten Vorrichtungskosten verbunden.

[0006] Verschiedene Lösungen, insbesondere zur Herstellung von Kardanwellen, sehen Vielzahnverbindungen zwischen Hohlwellen aus faserverstärktem Kunststoffrohr und Gelenkköpfen aus Metall vor. Hierzu sind in den Enden der Hohlwelle Innen- und

auf den Enden der Gelenkköpfe entsprechende Außenverzahnungen vorgesehen, z. B. DE 3818410 A1 oder DE10136707 A1. Über die Verzahnungen können Drehmomente gut übertragen werden. Allerdings schneiden die Zähne in den Mantel der Hohlwelle und stören dort den Spannungsverlauf. Die an der Übertragung der Spannungen beteiligte Dicke des Hohlwellenmantels wird wesentlich verringert.

[0007] In DE 2747910 A1 wird die Herstellung eines auch als Kardanwelle verwendbaren Wellenkörpers mit einem hohlwellenartigen faserverstärkten Mantel auf einem Schaumstoffkern beschrieben, wobei der Mantelquerschnitt ein mehrkantiges, vorzugsweise 6-kantiges, Polygonprofil aufweist.

[0008] Der Anmelder von DE 8228839 U1 geht unter anderem von der zuvor beschriebenen Lösung aus und weist darauf hin, dass bei einer Drehbelastung in den Ecken des mehrkantigen Wellenkörpers unerwünschte Spannungsspitzen auftreten. Er vermeidet diese Spannungsspitzen mit einem Polygonprofil, das bogenförmige Übergänge von einer Polygonseite zur anderen aufweist, deren Krümmungsradien fast so groß, wie der mittlere Wellenradius sind. Eine solche Lösung ist zur Übertragung von nennenswerten Drehmomenten immer auf einen zusätzlichen Stoffschluss oder eine anderweitige Verdrehsicherung zwischen den Paarungselementen angewiesen. Ansonsten dreht das Anschlusselement in der Welle relativ leicht durch, da der geringe Radienunterschied letztlich wie ein Keil mit sehr spitzem Winkel wirkt, der die Umfangskraft in sehr große radiale Kräfte übersetzt und dadurch die Verbindung lösen kann.

[0009] In der US 5,236,386 werden ein Verfahren zur Herstellung und eine Hohlwelle aus Faserverbundwerkstoff vorgestellt. Dabei wird der Faserverbundwerkstoff um einen metallischen Einleger appliziert und anschließend ausgehärtet. Nachteilig an dieser Lösung ist der in der Welle verbleibende metallische Einleger, der das Gewicht der Welle vergrößert.

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es, eine variabel verwendbare Hohlwelle aus Faserverbundwerkstoff und Funktionselemente zur formschlüssigen Verbindung mit der Welle anzugeben, wobei die Verbindung hohe Kräfte übertragen kann und sowohl Welle als auch Funktionselemente ein geringes Gewicht aufweisen. Hohlwelle und Funktionselemente sollen insbesondere für den Einsatz in der Luft- und Raumfahrttechnik geeignet sein.

[0011] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1, seinen Ausgestaltungen in den Unteransprüchen und den zugehörigen Erläuterungen in den Ausführungsbeispielen gelöst.

[0012] Die erfindungsgemäße Welle weist ein Hohlprofil mit konvexen und konkaven Profilbereichen auf, das analog zu Polygon- oder Vielzahn- bzw. Vielnutprofilen mehrere vom Winkel her günstig liegende Flächen zur Übertragung der Drehmomente in Umfangskräfte hat. Alle Kanten und damit weitgehend auch alle Spannungsspitzen werden vermieden bzw. wesentlich reduziert. Der Mantel ist in seiner gesamten Dicke an der Aufnahme der Umfangskräfte beteiligt.

[0013] In einer vorzugsweisen Ausführung ist der Querschnitt über die gesamte Länge konstant. Das ermöglicht die Fertigung der Hohlwellen als Halbzeug. Es können lange Hohlstrukturen gefertigt und davon die jeweiligen Bauteillängen zugeschnitten werden. Lasteinleitungselemente mit einem Innenprofil, das dem Außenprofil der Hohlwelle entspricht, können über die gesamte Länge verschoben und müssen nicht jeweils angepasst werden. Das ermöglicht in einfacher Weise den Aufbau eines standardisierten Baukastensystems und öffnet hierdurch den Weg zu einem besonders kostengünstigen Leichtbau. In den Ausführungsbeispielen wird ein Antriebswellen-Baukasten mit einem Maximum an Flexibilität bei der Gestaltung sowie bei Fertigung und Montage hochbelasteter Antriebsstränge gezeigt.

[0014] Vorzugsweise ist der Hohlwelle ein Außenring zugeordnet, dessen Innenprofil dem Außenprofil der Welle entspricht. Mit einem solchen Ring kann die Welle zum einen örtlich verstärkt werden und zum anderen kann der Ring zur Aufnahme eines Funktionselementes mit kreisrundem Innenprofil dienen. Der Ring kann auf seiner Außenseite mit den üblichen Mitteln des Maschinenbaus, wie Bund, Ring- oder Axialnut zur Aufnahme und Übertragung von axialen und Umfangskräften auf die Welle ausgebildet sein. Mit breiteren Ringen unter derartigen Funktionselementen werden Spannungsspitzen in der Hohlwelle vermieden bzw. reduziert. Für die axiale Fixierung der Lasteinleitungselemente sind Kleb- und Schrumpfverbindungen prädestiniert.

[0015] In einer bevorzugten Ausführung weist die Hohlwelle eine hinterschnittfreie Teilungsebene zur Querschnittsfläche des Profils auf, die es ermöglicht, die Welle in einem zweiteiligen Werkzeug herzustellen.

[0016] Die leichte Faserverbund-Hohlwelle dient im Wesentlichen der Übertragung von Antriebsmomenten über größere Distanzen, kann aber auch Zug/Druck- und Querkräfte sowie Biegemomente aufnehmen.

[0017] Die Hohlwelle wird aus einem Faserverbundwerkstoff mit einem hohen Anteil beanspruchungsgerecht orientierter Verstärkungsfasern hergestellt. Für sehr leichte, steife und hochfeste Profilwellen kom-

men idealer Weise Kohlenstofffaserverstärkungen zum Einsatz. Glasfasern eignen sich bei besonders torsionselastischen Komponenten wie etwa bei Drehstabfedern. Darüber hinaus können je nach Aufgabenstellung auch andere Faserverstärkungen wie etwa Aramid- oder Basaltfasern Anwendung finden. Als Matrixsysteme eignen sich hierbei grundsätzlich Thermoplaste (z. B. Polypropylen, Polyamid, Polyphenylenstyrol, Polyetheretherketon) und Duroplaste (z. B. Epoxydharze, Polyetherharze, Phenolharze), aber auch Metalle und Keramiken.

[0018] Torsionsbelastete Wellen erfordern eine spiralförmig umlaufende Faserorientierung mit einem Winkel von $\pm 45^\circ$ zur Bauteillängsachse. Ein hoher Verstärkungsanteil mit möglichst kleinen Faserwinkeln gewährleistet beste Zug- und Biegeeigenschaften der Faserverbundwelle. Von großer Bedeutung für die sichere Einleitung hoher Torsionsmomente in die Hohlwelle ist die Aussteifung des Wellenprofils. Dafür sind Faserlagen mit möglichst großen Faserwinkeln vorzusehen. Diese kombinierten Belastungen werden am besten mit einer kraftflussgerechten Kombination von Faserorientierungen aufgenommen, wobei die innere und die äußere Faserlage der Profilaussteifung dienen während die mittleren Faserlagen die „Lastfernübertragung“ zwischen den einzelnen Lasteinleitungselementen übernehmen.

[0019] Die erfindungsgemäßen Hohlwellen lassen sich mit verschiedenen Technologien herstellen. Kleinere Stückzahlen könnten beispielsweise mit dem Schlauchblasverfahren produziert werden. Für große Serien empfiehlt sich die Flechtpultrusion. Sie ermöglicht die quasi endlose Herstellung der erfindungsgemäßen Hohlwelle mit beanspruchungsgerechter Faserorientierung.

[0020] Das erfindungsgemäße Funktionselement zur formschlüssigen Verbindung mit der Hohlwelle weist eine mit dem Wellenprofil korrespondierende Profil-Kontaktfläche, eine Funktionsflächenanordnung und einen dazwischen liegenden Übergangskörper auf.

[0021] Die Profil-Kontaktfläche ist die Verbindungsfläche zur Verbindung mit der Hohlwelle, die ein mit der Hohlwelle korrespondierenden Querschnitt aufweist.

[0022] Die Funktionsflächenanordnung ist eine Anordnung von mindestens einer Funktionsfläche, wie z. B. die Zahnflächen von Zahnrädern, die Laufflächen von Lagerschalen oder die äußeren Reibflächen von Nocken.

[0023] Der Übergangskörper stellt die Verbindung zwischen der Profil-Kontaktfläche und der Funktionsflächenanordnung dar. Dabei gewährleistet der Übergangskörper die möglichst effiziente Übertragung

von Kräften oder Momenten von der Funktionsflächenanordnung über die Profil-Kontaktfläche auf die Hohlwelle. Gleichzeitig ist der Übergangskörper gewichtssparend ausgeführt.

[0024] Vorzugsweise ist das Funktionselement wie auch die Hohlwelle weitestgehend aus Faserverbundwerkstoff gefertigt. Dadurch lassen sich ähnliche Steifigkeiten und thermische Ausdehnungskoeffizienten von Hohlwelle und Funktionselement einstellen, insbesondere bei gleichem Matrixwerkstoff und angepasster Orientierung des Verstärkungstextils. Steifigkeitssprünge treten oft bei unterschiedlichen Materialien in der Welle-Nabe-Verbindung auf und können aufgrund von hohen Spannungsspitzen zu einem frühzeitigen Versagen der Verbindung führen. Weiterhin vorteilhaft kann durch die Fertigung der Funktionselemente aus Faserverbundwerkstoff ein besonders hoher Leichtbaugrad erreicht werden. Nicht zuletzt können durch die Verwendung des gleichen Materials für Hohlwelle und Funktionselement optimale Fügungen durch werkstoffangepasste Fügetechniken, wie zum Beispiel Kleben, erreicht werden.

[0025] In einer besonders bevorzugten Ausführung ist das Verstärkungstextil ein Geflecht und das Matrixmaterial Kunststoff, Keramik oder Metall.

[0026] In einer alternativen Ausgestaltung ist ein Stützelement im Inneren der Hohlwelle im Verbindungsbereich mit dem Funktionselement vorgesehen. Das Stützelement verhindert Querschnittsdeformationen der Hohlwelle aufgrund der über das Funktionselement eingeleiteten Kraft bzw. des eingeleiteten Momentes.

[0027] Je nach Einsatzzweck kann die formschlüssige Verbindung zwischen Hohlwelle und Funktionselement zusätzlich durch einen Kraft- oder Stoffschluss, oder eine Kombination von Kraft- und Stoffschluss unterstützt werden.

[0028] In einer alternativen Ausgestaltung ist die formschlüssige Verbindung zwischen Hohlwelle und Funktionselement beweglich ausgeführt. Dies ist insbesondere zweckmäßig bei langen Antriebssträngen, bei denen Montageungenauigkeiten und thermische Dehnungen kompensiert werden müssen.

[0029] In einer weiteren alternativen Ausführung ist das Funktionselement als Beschichtung ausgeführt. Die Beschichtung kann beispielsweise als Gleitfläche für auf der Welle axial verschiebbar angeordnete Funktionselemente ausgeführt sein.

[0030] Die Erfindung wird nachfolgend an mehreren Ausführungsbeispielen näher dargestellt. In den Zeichnungen zeigen

[0031] [Fig. 1](#) erfindungsgemäße Sternprofile,

[0032] [Fig. 2](#) verschiedene Faserorientierungen in einem mehrschichtigen Mantel einer erfindungsgemäßen Hohlwelle,

[0033] [Fig. 3](#) die Schlauchblasfertigung einer erfindungsgemäßen Hohlwelle,

[0034] [Fig. 4](#) die Endlosfertigung einer erfindungsgemäßen Hohlwelle mittels Flecht-Pultrusion,

[0035] [Fig. 5](#) einen Antriebswellen-Baukasten unter Verwendung einer erfindungsgemäßen Hohlwelle,

[0036] [Fig. 6](#) eine Kardanwelle unter Verwendung einer erfindungsgemäßen Hohlwelle,

[0037] [Fig. 7](#) eine Nockenwelle mit Nocken, Lager-schalen und Antriebsrad,

[0038] [Fig. 8](#) eine im Bereich einer Nocke geschnittene Darstellung der Nockenwelle mit vergrößerter Darstellung des Schichtaufbaus der Hohlwelle und

[0039] [Fig. 9](#) eine Antriebswelle für Landeklappen eines Flugzeuges.

[0040] Mit Hilfe von verrundeten Sternprofilen gemäß [Fig. 1](#), die auch als Polygonprofile mit konkaven Seiten betrachtet werden können, kann ein verbesserter Formschluss mit niedrigeren Flächenpressungen zwischen den Lasteinleitungselementen und der Profilhülle erzielt werden. Hohlwellen mit verrundetem Sechszack-Sternprofil können ohne Hinterschneidungen in einem zweiteiligen Schlauchblaswerkzeug gefertigt werden.

[0041] [Fig. 2](#) zeigt eine Hohlwelle mit einem Mantel im Mehrschichtverbund. Die einzelne Schichten übernehmen unterschiedliche strukturmechanische Aufgaben. Durch große Faserwinkel zur Bauteillängsachse ($> 60^\circ$) in der inneren und der äußeren Schicht wird eine effiziente Aussteifung des Profilquerschnitts erzielt. Ein formsteifer Profilquerschnitt ist dabei Ausgangsbasis für einen festen Formschluss zwischen Funktionselement und Profilhülle. Die dazwischen liegenden Schichten dienen der „Lastfernübertragung“ zwischen den einzelnen Lasteinleitungselementen. Zur Aufnahme von Torsionslasten sind 45° -Faserlagen prädestiniert. Mit kleineren Faserwinkeln kann eine hohe Biegesteifigkeit der Welle erreicht werden.

[0042] In [Fig. 3](#) ist die Schlauchblasfertigung einer Faserverbund-Hohlwelle (1) mit verrundetem Sechszack-Sternprofil dargestellt. Dafür werden Flechtschläuche (2) aus Verstärkungsfasern mit geeigneten Faserwinkeln koaxial zueinander im Werkzeug (8) positioniert und von innen durch einen Blas-

schlauch (9) an die Formoberfläche angeschmiegt und verdichtet. Die Infiltration der textilen Verstärkung erfolgt bei der abgebildeten Verfahrensvariante mittels Resin-Transfer-Moulding-(RTM-)Technik. Dabei wird die Luft im abgedichteten Werkzeug evakuiert und Reaktionsharz injiziert, wobei der Injektionsdruck kleiner zu wählen ist als der Innendruck im Blasschlauch. Die dargestellte Profilgestaltung erlaubt die Entformung des Bauteils bei nur einer Werkzeug-Teilungsebene.

[0043] In [Fig. 4](#) ist die Endlosfertigung von Faserbund-Profilhohlwellen (1) mittels Flecht-Pultrusion dargestellt. Die Herstellung der benötigten koaxial positionierten Flechtschläuche erfolgt auf einem Flechtdorn (11) durch mehrere seriell angeordnete Rundflechtmaschinen (10). Die schlauchförmigen textilen Halbzeuge werden auf dem Flechtdorn zur Imprägnierung durch ein Harzbad (12) geführt. Im nachgeschalteten Pultrusionswerkzeug (13) erfolgen sowohl die Formgebung als auch die Verdichtung und die Konsolidierung der Faserbundhohlstruktur. Der Formkern im Pultrusionswerkzeug gibt die Innenkontur der Profilwelle vor und stellt eine Fortsetzung des Wickeldorns dar, wobei zur Vermeidung von Faserschädigungen ein fließender Querschnittsübergang vom Wickeldorn zum Formkern gewählt wird. Der axiale Vorschub bei der Profilherstellung wird durch eine Abzugsvorrichtung gewährleistet, wobei sich bei der Endlosfertigung mittels Pultrusion Doppelbandabzüge (14) bewährt haben.

[0044] In [Fig. 5](#) sind ausgewählte Lasteinleitungselemente dargestellt, die zusammen mit der Faserbundhohlwelle (1) einen Antriebswellen-Baukasten ergeben. Die Lasteinleitungselemente Schraubflansch (3), Lagersitz (4), Kurvenscheibe (5), Zahnrad (6) und Kardanglocke (7) weisen im Nabenbereich eine Aussparung mit der Kontur der vorgesehene Profilwelle auf. Für die Lasteinleitungselemente kommen neben metallischen Werkstoffen auch Faserbundwerkstoffe und spezielle Funktionswerkstoffe wie etwa keramische Verbindungen oder Elastomere zum Einsatz.

[0045] In [Fig. 6](#) ist exemplarisch eine Kardanwelle dargestellt, die aus einer standardisierten Hohlwelle (1) und zugehörigen Kardanglocken (7) preiswert in unterschiedlichen Längen hergestellt werden kann.

[0046] In den [Fig. 7](#), [Fig. 8](#) und [Fig. 8a](#) wird eine, aus einer Hohlwelle 15 gefertigte Nockenwelle 15 Verbrennungsmotors gezeigt. Die Hohlwelle 15 wurde mittels Pultrusionsverfahren aus Faserkunststoffverbund hergestellt. Auf der Hohlwelle 15 sind Funktionselemente befestigt. Dies sind Nocken 16, Lagerschalen 17 und ein metallischen Antriebsrad 18. Die Lagerschalen 17 sind aus einem metallischen Werkstoff gefertigt und weisen eine äußere passgenaue Lagerlauffläche und eine mit der Welle korrespondierende

rende innere Profilgeometrie auf. Das metallische Antriebsrad 18 weist einen äußeren Zahnkranz und ebenfalls eine mit der Welle korrespondierende innere Profilgeometrie auf.

[0047] [Fig. 8](#) zeigt eine Schnittdarstellung durch einen Nocken 16 auf der Hohlwelle 15. Der Nocken 16 ist aus Faserbundkunststoff gefertigt und weist außen auf der Nockenlauffläche eine Verschleißschutz-Beschichtung 19 auf. Der Durchmesser des Nockenkreises beträgt dabei 30 mm. Innen hat der Nocken 16 eine mit der Welle korrespondierende Profilgeometrie.

[0048] In [Fig. 8a](#) ist ein Bereich der [Fig. 8](#) vergrößert dargestellt, so dass der Schichtaufbau der Hohlwelle 15 ersichtlich wird. Die Hohlwelle 15 ist in vier Schichten 20, 21, 22 und 23 in folgenden Faserwinkeln aufgebaut:

Schicht 1 (20)	90°
Schicht 2 (21)	-45°/+45°
Schicht 3 (22)	-60°/+60°
Schicht 4 (23)	90°

[0049] Bei Nockenwellen werden Drehmomente an mehreren Positionen in die Wellenstruktur eingeleitet, wodurch die Faserbund-Hohlstruktur nicht nur durch Torsionsschub beansprucht wird. Der Flankendruck zwischen Funktionselementen und Formelementen der Profilwelle 15 führt auch zu hohen lokal wirkenden tangential orientierten Biegespannungen. Bei derartigen Antriebswellen kommen neben den $\pm 45^\circ$ -Faserverstärkungen für die Torsionsmomentenübertragung auch durchgehende Faserverstärkungen zur Aussteifung des unrunder Profilquerschnitts mit größeren Faserwinkeln ($\pm 50^\circ$ bis 90°) vorteilhaft zum Einsatz.

[0050] Die Hohlwelle 15 hat ein geringes Untermaß gegenüber der inneren Profilgeometrie der Funktionselemente 16, 17 und 18, das bei der Fügung als Klebspalt genutzt wird. Die Fügung der Funktionselemente 16, 17 und 18 auf die Hohlwelle 15 erfolgt in folgenden Schritten:

- Die Funktionselemente 16, 17 und 18 werden schrittweise auf die Hohlwelle 15 aufgeschoben, positioniert und anschließend klebtechnisch fixiert.
- Die Verklebung erfolgt mittels Injektion eines schnell aushärtenden Klebstoffes in den Klebspalt. Hierfür wird ein nicht dargestelltes Injektionswerkzeug verwendet.
- Nach der Aushärtung des Klebstoffes wird die Nockenwelle geschliffen und ist einsatzbereit.

[0051] Die Fügung kann auch durch thermisches Aufschrumpfen der vorher erhitzten Funktionselemente 16, 17 und 18 erfolgen.

[0052] Statt eines metallischen Antriebsrades **18** kann auch ein Antriebsrad gefertigt und als Faserverbundflansch eingesetzt werden.

[0053] Vorteilhaft sind die Funktionselemente **16**, **17** und **18** leicht ohne großen Kraftaufwand auf der Hohlwelle **15** positionierbar, es sind keine kostenintensiven Werkzeuge notwendig. Die Fixierung erfolgt einfach über aushärtbaren Kunststoff. Bei herkömmlichen, metallischen Nockenwellen werden die einzelnen Funktionselemente **16**, **17** und **18** aufwendig aufgedrückt.

[0054] Vorteilhaft erfolgt die eigentliche Kraftübertragung jedoch nicht über eine Schubbelastung des Klebstoffs sondern durch den Flankendruck an den Formelementen der Profilhülle **15**.

[0055] Durch eine Anpassung der Funktionselemente sowie die einfache Positionierung dieser auf der FKV-Profilhülle können weiterhin vorteilhaft sehr unterschiedliche Nockenwellenkonfigurationen hergestellt werden.

[0056] In [Fig. 9](#) ist eine Antriebswelle für die Landeklappen eines Flugzeuges dargestellt. Die Antriebswelle besteht aus einer Profilhülle **15**, an deren Enden zwei Kardanglocken **7** befestigt sind. Vorteilhaft wird die Profilhülle **15** aus Faserverbundwerkstoff in großen Standardlängen hergestellt und bei der Fertigung auf die benötigte Länge zugeschnitten.

[0057] Die Kardanglocke **7** ist ebenfalls aus Faserverbundwerkstoff gefertigt und durch unrunde Kontaktflächengeometrie hinsichtlich Torsion formschlüssig mit der Profilhülle **15** verbunden.

[0058] Die axiale Verbindung von Profilhülle **15** und Kardanglocke **7** wird durch zusätzliche Klebeverbindungen gewährleistet.

[0059] Die Betätigung der Landeklappen erfolgt bei Verkehrsflugzeugen in der Regel durch einen zentralen Antrieb im Rumpf. Die Übertragung der Antriebsleistung erfolgt typischerweise mit Hilfe von langen Antriebswellensystemen jeweils für die linke und die rechte Tragfläche sowie für die vorderen und die hinteren Landeklappen. Die äußere Gestalt der Tragflächen und die Bauraumbedingungen innerhalb der Tragflächen sowie elastische Deformationen im Flugbetrieb erfordern hierbei mehrfach den Ausgleich von Winkelversatz. Dafür werden die Wellensysteme in etwa 500 mm bis 2.500 mm lange, durch Kardangelenke verbundene Wellenabschnitte geteilt, die dann etwa in den Tragflächenholmen gelagert werden. Längenausgleichselemente verhindern hierbei das Auftreten von Zug/Druck-Belastungen im Antriebsstrang. Für derartige Antriebsstränge wird somit eine Vielzahl an unterschiedlich langen Antriebswellen benötigt, wobei aus Gewichtsgründen zunehmend der

Einsatz von kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) gefordert wird.

[0060] Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Profilhüllensystems können die unterschiedlich langen Antriebswellen besonders schnell und kostengünstig hergestellt werden, da das wesentliche Antriebswellenbauteil aus endlos gefertigtem Profilhüllzeug zugeschnitten werden kann. Auf diesem Wellenbauteil mit unrundem Hohlquerschnitt lassen sich Funktionselemente wie etwa Kardanglocken, Flansche oder Längenausgleichselemente form- und stoffschlüssig positionieren. Da auch bei Bruch einer Klebeverbindung noch ein hohes Drehmoment zwischen Funktionselement und Welle übertragen werden kann, wird hiermit der in der Luftfahrt geforderten Redundanz entsprochen. Der Profilhüllquerschnitt der Welle kann darüber hinaus für eine formschlüssige Drehmomentübertragung ohne axiale Fixierung des Funktionselements genutzt werden, womit ein einfacher Längenausgleich mit hohem Leichtbaugrad ermöglicht wird. Hierfür ist die Profilhülle etwa mit einer abriebfesten und reibungsarmen Gleitschicht zu versehen.

[0061] Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass mit einem Profildurchmesser von 45 mm je nach Wandstärke und Faserverstärkung über 1.000 Nm Drehmoment durch Kardanglocken eingeleitet werden können. Damit werden die bei Luftfahrtanwendungen üblichen Antriebsmomente sicher erreicht.

[0062] Bei den oben beschriebenen Antriebswellen werden Drehmomente lediglich an den Wellenenden eingeleitet, wodurch die Faserverbund-Hohlstruktur in einem großen Bereich vorwiegend durch Torsionsschub beansprucht wird. Bei derartigen Antriebswellen kommen vor allem Faserverstärkungen mit etwa $\pm 45^\circ$ -Faserorientierung vorteilhaft zum Einsatz. Die Aussteifung des unrunderen Profilhüllquerschnitts durch Faserverstärkungen mit größeren Faserwinkeln ($\pm 50^\circ$ bis 90°) kann hier lokal auf die Bereiche der Lasteinleitung an den Wellenenden begrenzt werden.

Bezugszeichenliste

1	Profilhülle
2	Schlauchförmiges Verstärkungstextil
3	Schraubflansch
4	Lagersitz
5	Kurvenscheibe
6	Zahnrad
7	Kardanglocke
8	Schlauchblaswerkzeug
9	Blasschlauch

- 10 Rundflechtmaschine
- 11 Flechtdorn
- 12 Harzbad
- 13 Beheiztes Pultrusionswerkzeug
- 14 Doppelbandabzug
- 15 Profilwelle
- 16 Nocke

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 3818410 A1 [0006]
- DE 10136707 A1 [0006]
- DE 2747910 A1 [0007]
- DE 8228839 U1 [0008]
- US 5236386 [0009]

Patentansprüche

1. Hohlwelle bzw. hohle Achse aus Faserverbundwerkstoff zur formschlüssigen Verbindung mit Lasteinleitungselementen mit wenigstens zwei Faserschichten im Mantel, unterschiedliche Faserorientierungen in den Schichten und einem Profil mit verrundeten Kanten.

2. Hohlwelle nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass als Fasern Kohlenstoff-, Glas-, Aramid- und/oder Basaltfasern sind und das Matrixmaterial Kunststoff, Metall oder Keramik ist.

3. Hohlwelle nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass die Radien der Kantenrundungen 5 bis 15% der mittleren Wellenradien betragen.

4. Hohlwelle nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass ein verrundetes Polygonprofil vorgesehen ist.

5. Hohlwelle nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass ein verrundetes Sternprofil vorgesehen ist.

6. Hohlwelle nach einem der Ansprüche 1–4, gekennzeichnet dadurch, dass das Profil rotationssymmetrisch zur Wellenachse ausgebildet ist.

7. Hohlwelle nach einem der Ansprüche 1–5, gekennzeichnet dadurch, dass die Hohlwelle (1) über die gesamte Länge denselben Mantelquerschnitt aufweist.

8. Hohlwelle nach einem der Ansprüche 1–6, gekennzeichnet dadurch, dass die Fasern in wenigstens einer Schicht geflochten sind.

9. Hohlwelle nach einem der Ansprüche 1–7, gekennzeichnet dadurch, dass die Fasern der inneren und der äußeren Schicht einen Winkel von 60° bis 80° zur Längsachse einnehmen.

10. Hohlwelle nach einem der Ansprüche 1–8, gekennzeichnet dadurch, dass die Fasern in wenigstens einer inneren Schicht einen Winkel von etwa 45° zur Längsachse einnehmen.

11. Hohlwelle nach einem der Ansprüche 1–9, gekennzeichnet dadurch, dass die Fasern in wenigstens einer inneren Schicht einen Winkel von 0°–20° zur Längsachse einnehmen.

12. Funktionselement zur formschlüssigen Verbindung mit einer Hohlwelle oder hohlen Achse aus Faserverbundwerkstoff, dadurch gekennzeichnet, dass das Funktionselement eine mit dem Wellenprofil korrespondierende Profil-Kontaktfläche und eine Funktionsflächenanordnung aufweist oder eine mit

dem Wellenprofil korrespondierende Profil-Kontaktfläche, eine Funktionsflächenanordnung und einen dazwischen liegenden Übergangskörper aufweist.

13. Funktionselement nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Funktionselement aus Faserverbundwerkstoff gefertigt ist.

14. Funktionselement nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Verstärkungstextil ein Geflecht ist.

15. Funktionselement nach den Ansprüchen 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Matrixmaterial Kunststoff, Keramik oder Metall ist.

16. Funktionselement nach den Ansprüchen 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass ein Stützelement die Hohlwelle im Verbindungsbereich mit dem Funktionselement unterstützt.

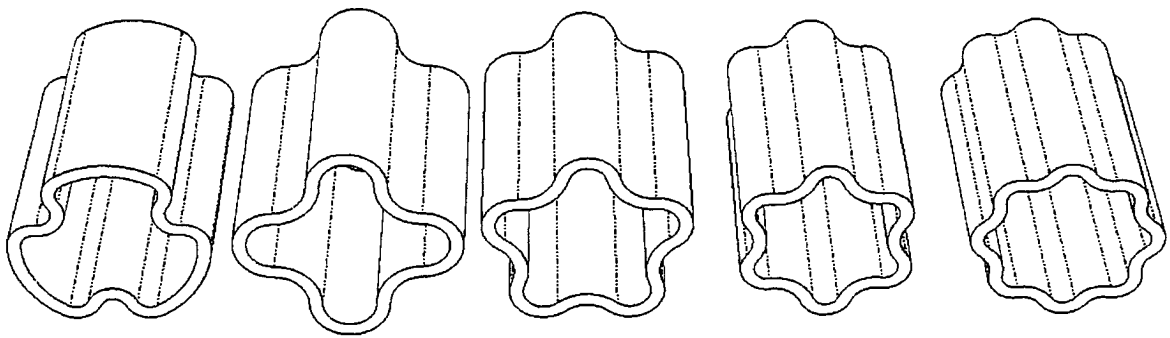
17. Funktionselement nach den Ansprüchen 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die formschlüssige Verbindung zwischen Hohlwelle und Funktionselement zusätzlich durch einen Kraft- oder Stoffschluss, oder eine Kombination von Kraft- und Stoffschluss unterstützt wird.

18. Funktionselement nach den Ansprüchen 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die formschlüssige Verbindung zwischen Hohlwelle und Funktionselement beweglich ausgeführt ist.

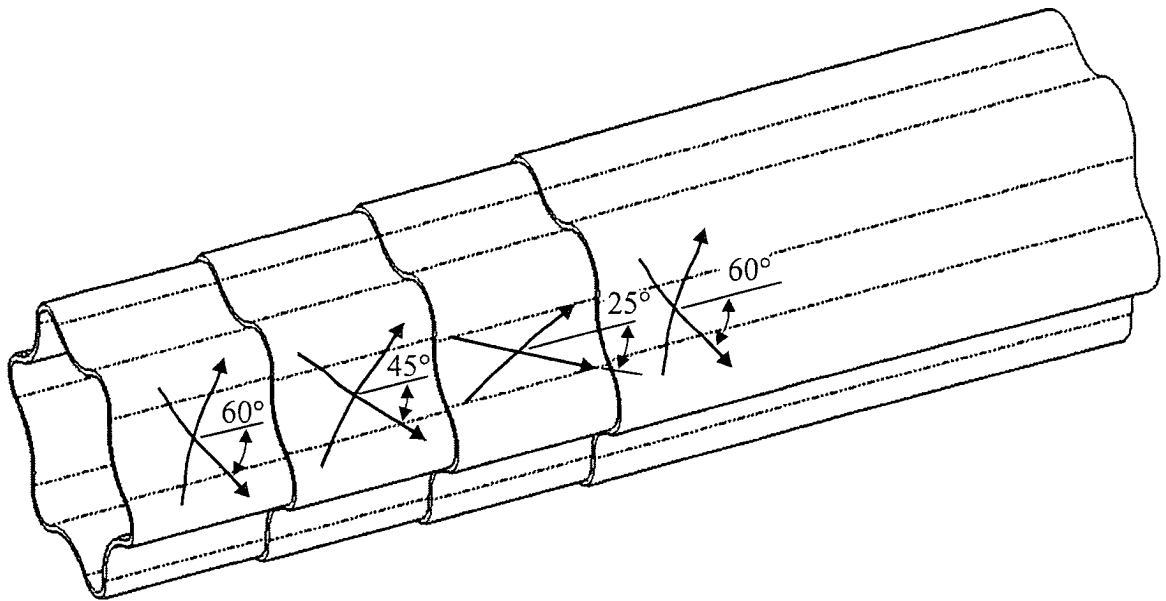
19. Funktionselement nach den Ansprüchen 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Funktionselement als Beschichtung ausgeführt ist.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

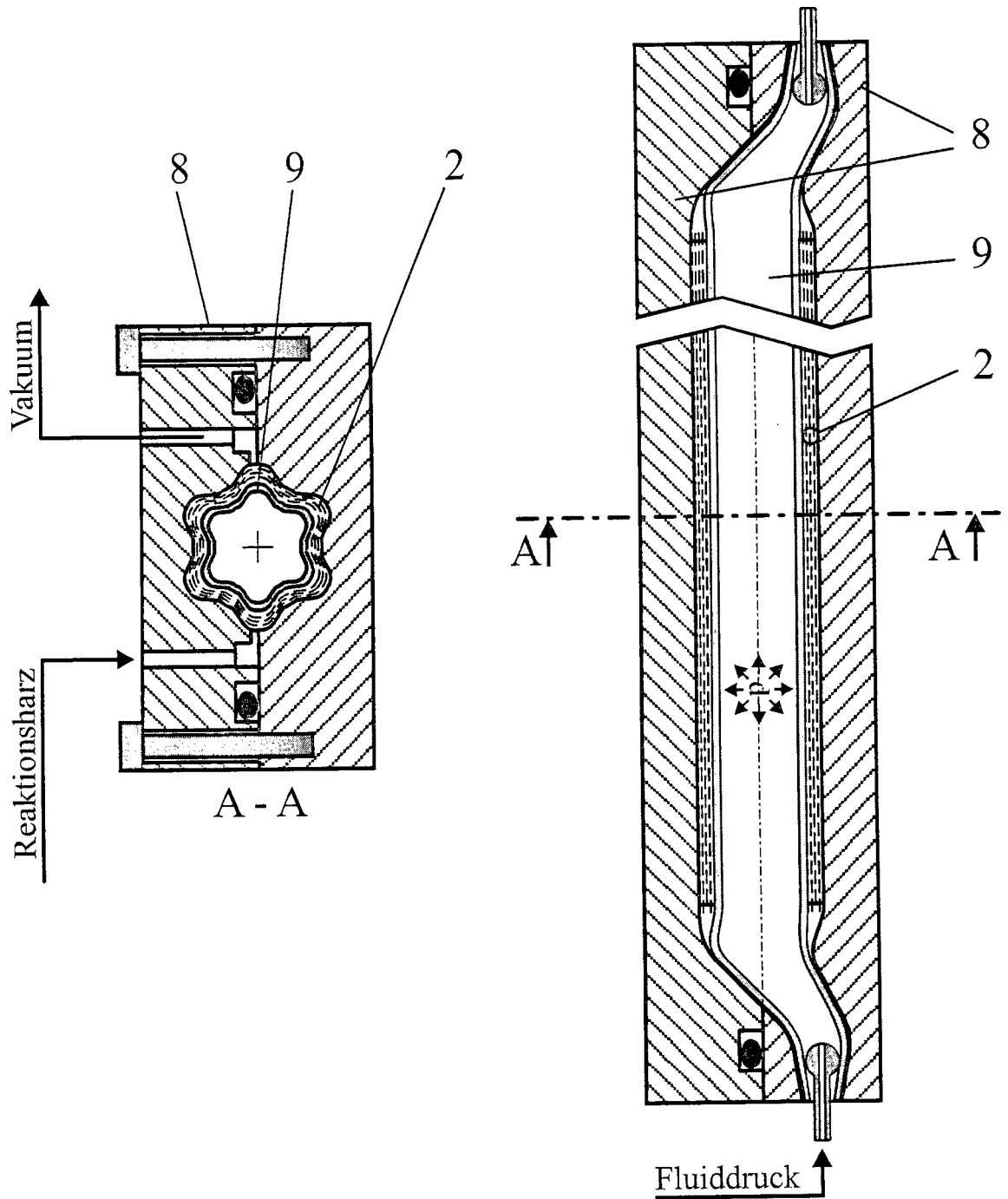
Anhängende Zeichnungen



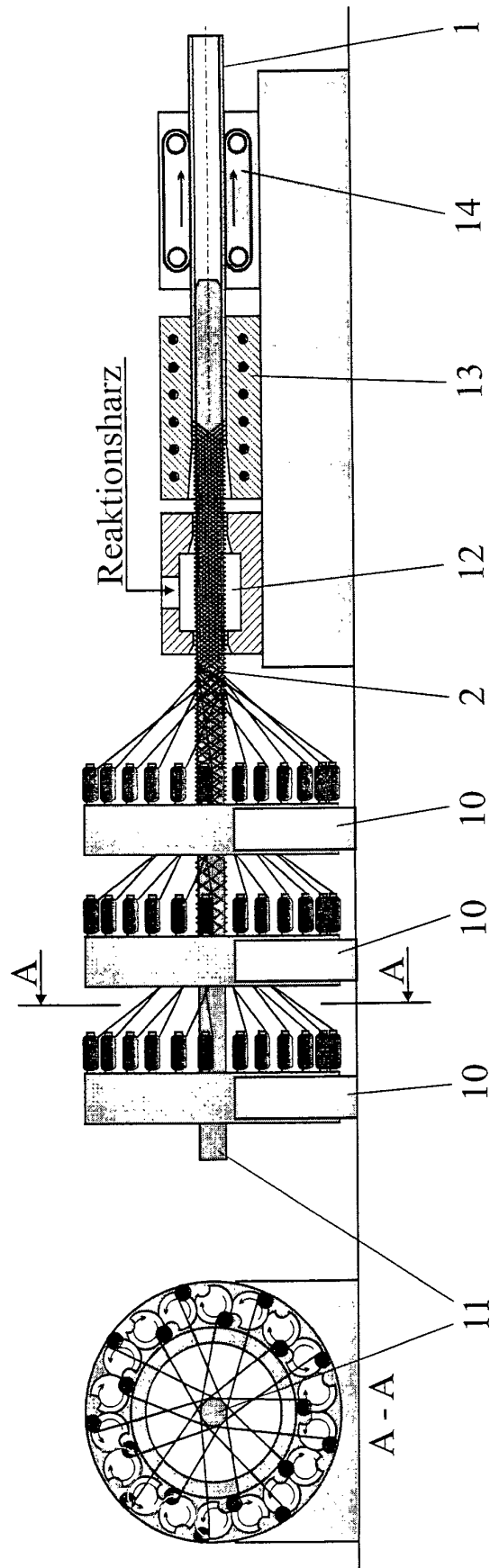
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

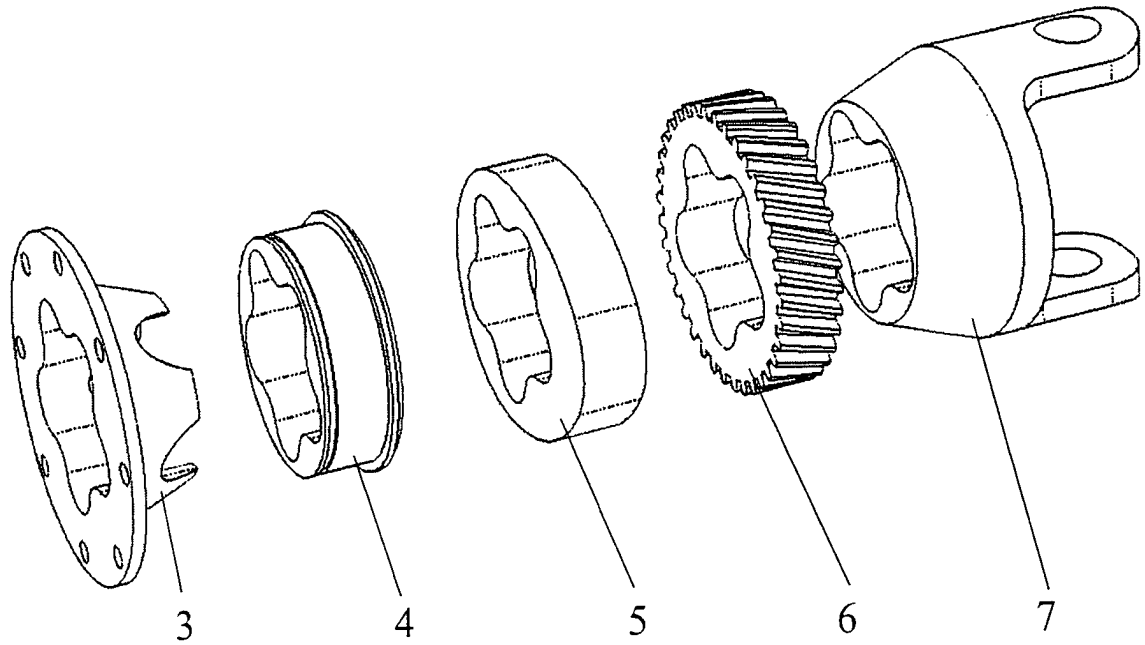
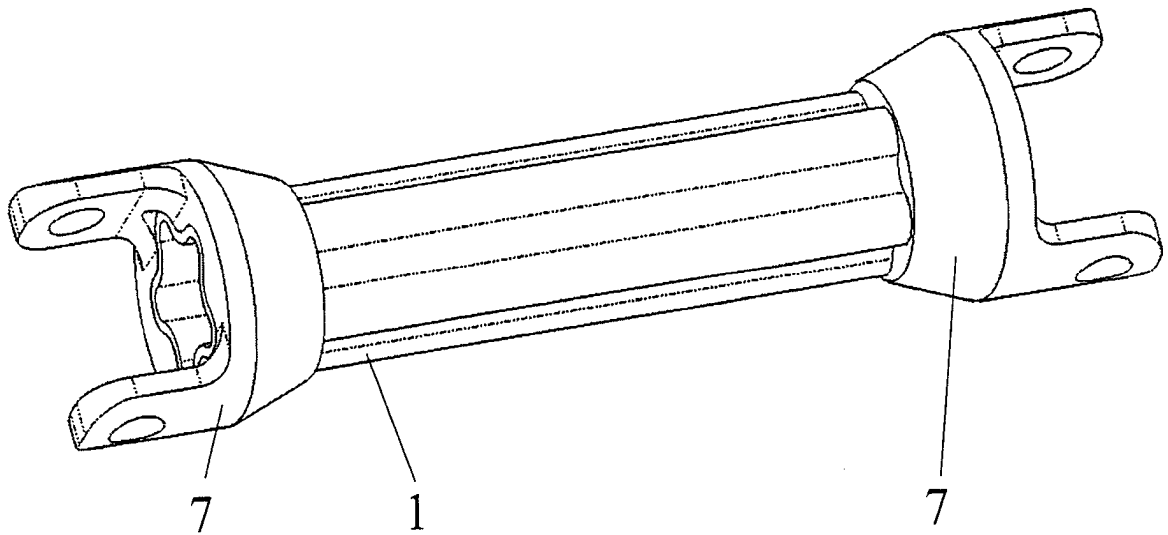
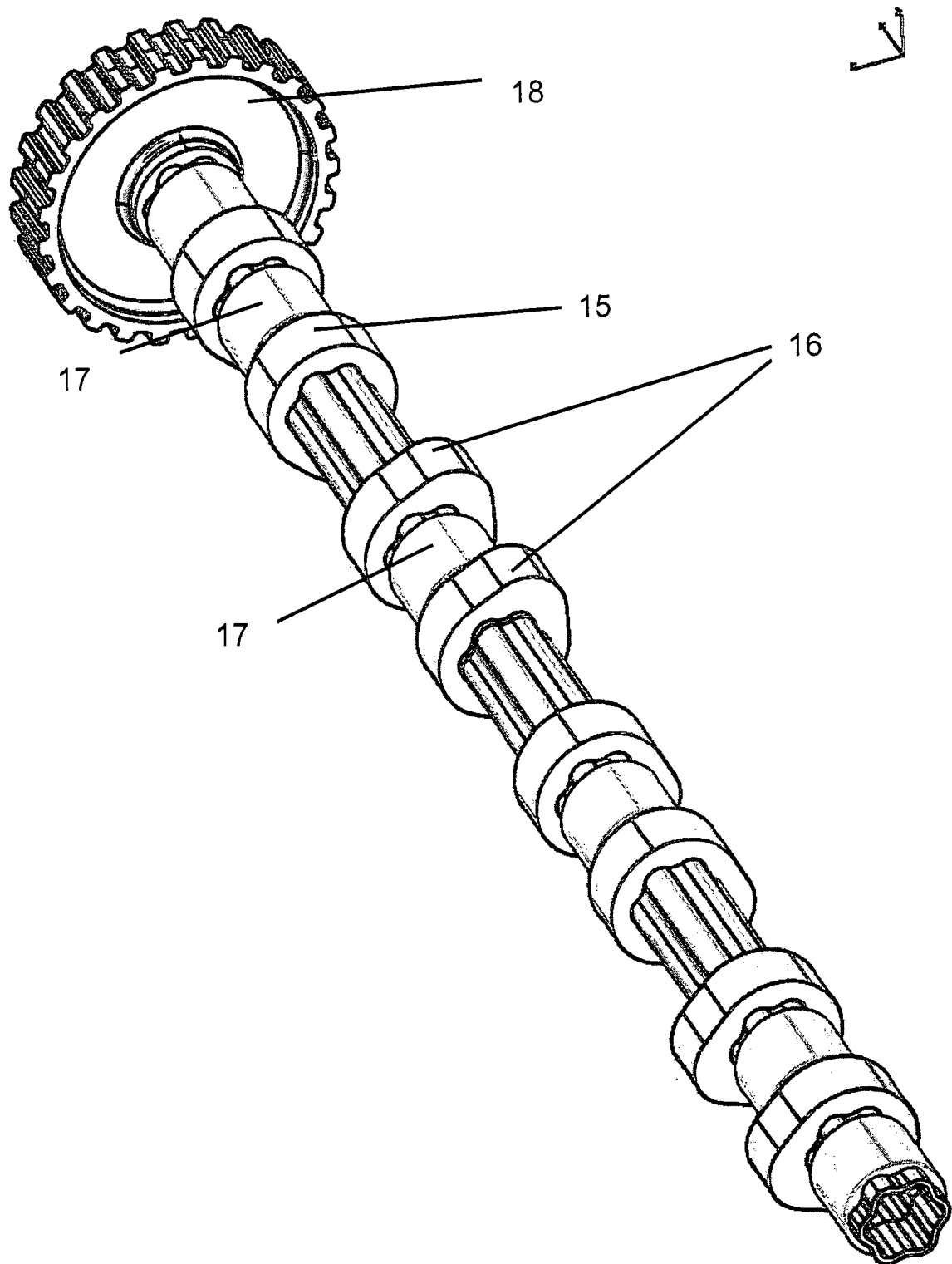


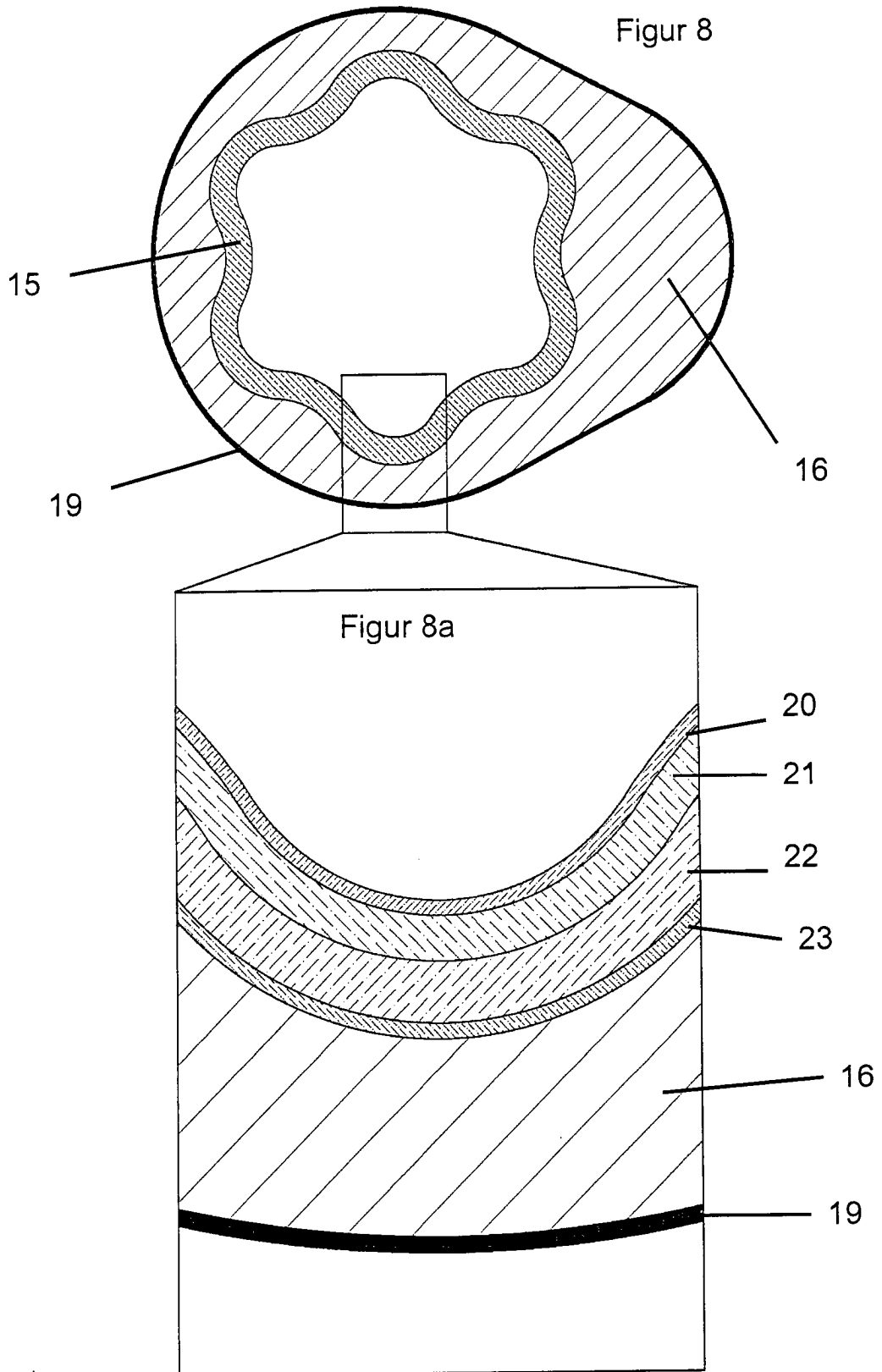
Fig. 5

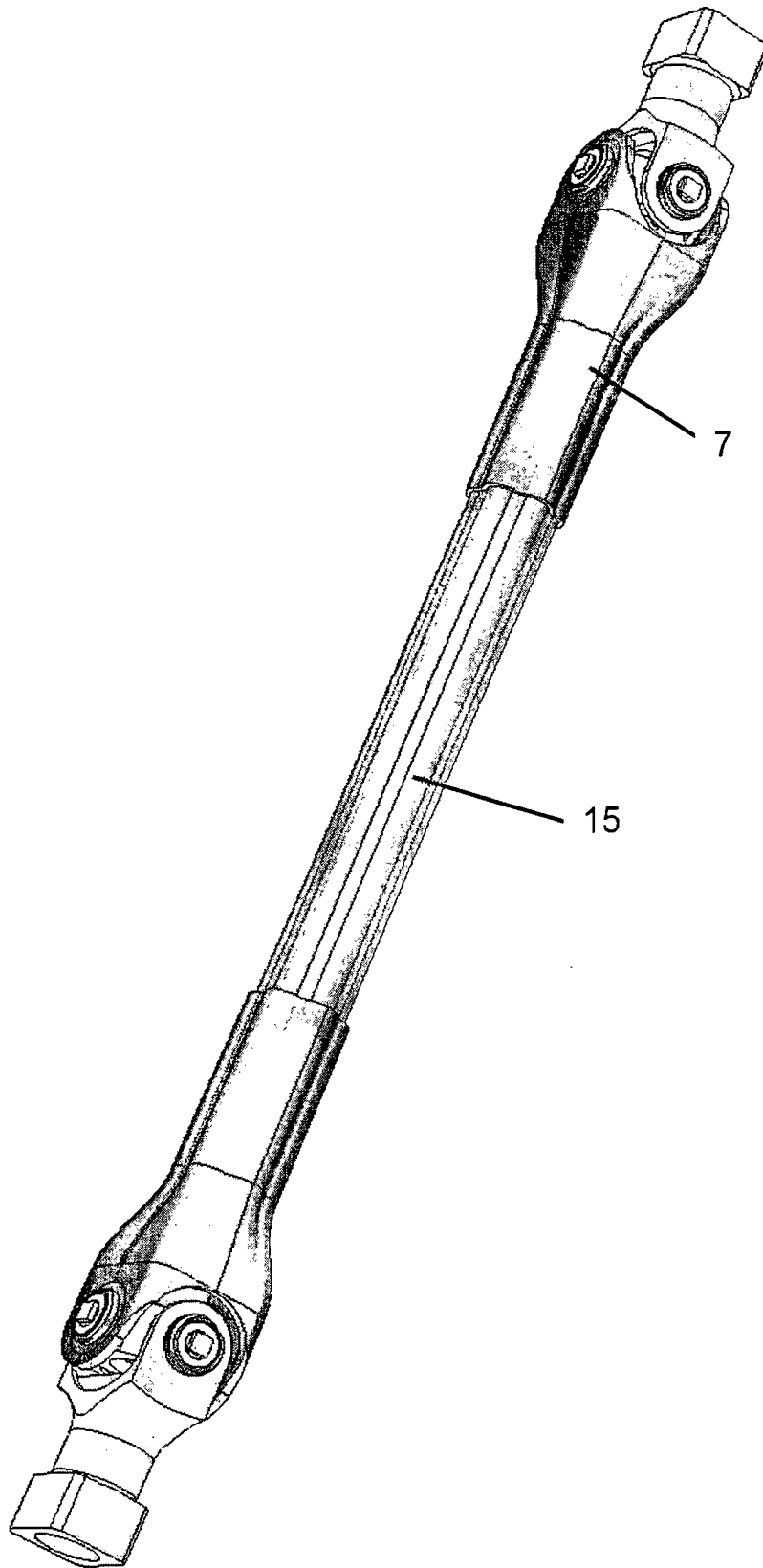


Figur 6



Figur 7





Figur 9