



(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2015 106 933.4

(51) Int Cl.: **G01L 3/04 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: 04.05.2015

**G01L 5/00 (2006.01)**

(43) Offenlegungstag: 10.11.2016

**G01L 1/00 (2006.01)**

**G01N 3/32 (2006.01)**

**G01M 13/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

Technische Universität Darmstadt, 64289  
Darmstadt, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 103 07 950 B4  
DE 10 2007 000 596 A1  
DE 10 2010 027 959 A1  
DE 10 2010 040 008 A1  
DE 10 2010 040 017 A1  
DE 10 2012 212 060 A1

(74) Vertreter:

Patentanwälte Katscher Habermann, 64293  
Darmstadt, DE

(72) Erfinder:

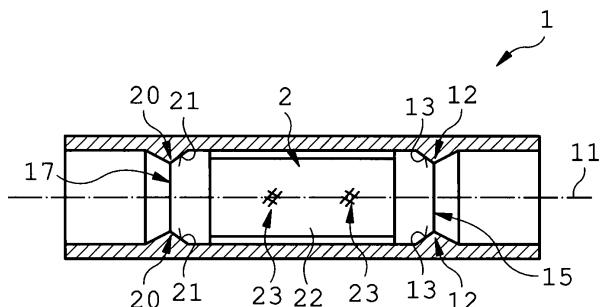
Groche, Peter, Prof., 64367 Mühlthal, DE; Krech,  
Martin, 64293 Darmstadt, DE

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Maschinenelement mit einer Sensoreinrichtung und Verfahren zur Herstellung eines Maschinenelements**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Maschinenelement mit einem Hohlwellenabschnitt und mit einer Sensoreinrichtung (2) zur Erfassung einer sich auf den Hohlwellenabschnitt auswirkenden mechanischen Beanspruchung ist die Sensoreinrichtung (2) in dem Hohlwellenabschnitt angeordnet, wobei der Hohlwellenabschnitt eine erste radial nach innen ragende Ausformung (12) und eine zweite radial nach innen ragende Ausformung (20) aufweist und die Sensoreinrichtung (2) mit einer axialen Vorspannung zwischen der ersten radial nach innen ragenden Ausformung (12) und der zweiten radial nach innen ragenden Ausformung (20) formschlüssig festgelegt ist. Bei einem Herstellungsverfahren zur Herstellung des Maschinenelements wird in einem ersten Ausformungsschritt eine erste radial nach innen vorspringende Ausformung (12) in dem Hohlwellenabschnitt des Maschinenelements erzeugt, in einem nachfolgenden Sensoranordnungsschritt eine Sensoreinrichtung (2) in dem Hohlwellenabschnitt an der ersten radial nach innen vorspringenden Ausformung (12) formschlüssig angelegt und in einem nachfolgenden Festlegungsschritt die zweite radial nach innen vorspringende Ausformung (20) in dem Hohlwellenabschnitt erzeugt, durch den die Sensoreinrichtung (2) mit einer axialen Vorspannung zwischen der ersten radial nach innen vorspringenden Ausformung (12) und der zweiten radial nach innen vorspringenden Ausformung (20) formschlüssig festgelegt wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Maschinenelement mit einem Hohlwellenabschnitt und mit einer Sensoreinrichtung zur Erfassung einer sich auf den Hohlwellenabschnitt auswirkenden mechanischen Beanspruchung, wobei die Sensoreinrichtung in dem Hohlwellenabschnitt angeordnet ist.

**[0002]** Rohr- oder stabförmige Maschinenelemente finden als Wellen oder Hohlwellen, als Achsen oder als Stabstrukturen in vielen Bereichen des Maschinen- und Anlagenbaus Verwendung. Eine möglichst umfassende und präzise Kenntnis über die sich während der Herstellung und Montage, aber auch während der bestimmungsgemäßen Nutzung auf die Maschinenelemente auswirkenden mechanischen Beanspruchungen ist sowohl während der Entwicklungsphase eines neuartigen Maschinenelements als auch während der Verwendung und über die gesamt Nutzungsdauer des Maschinenelements von großem Interesse.

**[0003]** Um die auf das Maschinenelement einwirkenden mechanischen Kräfte und Momente erfassen zu können werden insbesondere in Prüfständen und Entwicklungsversuchen geeignete Sensoren von außen auf einer Oberfläche des Maschinenelements festgelegt und die Sensorwerte erfasst und ausgewertet. In vielen Fällen können dabei Dehnungsmessstreifen verwendet werden, mit denen bereits geringfügige Verformungen an der Oberfläche des Maschinenelements kostengünstig und zuverlässig erfasst werden können.

**[0004]** Eine kontinuierliche Erfassung von Sensorwerten ist beispielsweise in der Wägetechnik, in der Lastüberwachung sowie in der Produktionsüberwachung und Produktionssteuerung vorteilhaft und gegebenenfalls notwendig. Neben einer permanenten Zustandsüberwachung sind auch Sensoreinrichtungen und Verwendungsmöglichkeiten bekannt, mit denen Strukturschädigungen wie beispielsweise Risse oder plastische Verformungen frühzeitig erkannt werden können, die möglicherweise zu einer Beeinträchtigung der Funktion des Maschinenelements oder zu einer Beschädigung führen können und die Betriebsdauer und die Zuverlässigkeit des Maschinenelements reduzieren. In Abhängigkeit von den mit der Sensoreinrichtung erfassten Veränderungen oder Strukturschädigungen kann gegebenenfalls ein demnächst drohendes Versagen des Maschinenelements erkannt werden, bevor ein kritischer Zustand eintritt.

**[0005]** Um eine möglichst zuverlässige und präzise Erfassung der sich auf das Maschinenelement auswirkenden mechanischen Beanspruchungen zu ermöglichen ist eine möglichst präzise und dauerhafte Festlegung der Sensoreinrichtung an dem Ma-

schinenelement erforderlich. Gleichzeitig sollte vermieden werden, dass die Sensoreinrichtung während der Messdauer, während der bestimmungsgemäßen Verwendung und auch während der Herstellung und Montage einer übermäßigen Beanspruchung ausgesetzt wird, die zu Fehlmessungen oder zu einer Beschädigung der Sensoreinrichtung führen könnten. Gleichzeitig sollten im Vergleich zu einem herkömmlichen Maschinenelement auf Grund der Sensoren keine Einschränkungen und der Handhabung und im Gebrauch auftreten, wie sie beispielsweise durch auf einer Außenseite des Maschinenelements aufgebrachte Sensoren oder durch Fügestellen verursacht werden, die gegebenenfalls für die Anbringung von Sensoren erforderlich werden.

**[0006]** Es ist beispielsweise aus EP 1 597 128 B1 bekannt, dass die Sensoreinrichtung zum Schutz vor äußerlichen Einwirkungen und Umgebungsbedingungen in einen Hohlraum einer Welle angeordnet ist. Die Sensoreinrichtung ist in dem Hohlraum der Welle vor betriebsbedingten mechanischen und schematischen Einflüssen sowie vor eventuell mutwilligen Beschädigungen geschützt. Mit der in dem Hohlraum angeordneten Sensoreinrichtung können Schwingungen und Körperschall des Maschinenelements erfasst und ausgewertet werden. Eine dauerhaft präzise Festlegung der Sensoreinrichtung in dem Hohlraum ist nicht erforderlich, da bei der in Rede stehenden Ausgestaltung keine Verformung des Hohlraums des Maschinenelements mit der Sensoreinrichtung erfasst werden soll.

**[0007]** Es sind Hohlwellen bekannt, bei denen eine Sensoreinrichtung in einem Innenraum der Hohlwelle klebend festgelegt oder kraftschlüssig eingepresst ist. Obwohl die Position der Sensoreinrichtung innerhalb der Hohlwelle vergleichsweise genau vorgegeben werden kann, eignen sich derart angeordnete Sensoreinrichtungen nur bedingt zur umfassenden Erfassung von axialen und radialen Verformungen der Hohlwelle, da eine zuverlässige Auswertung der Sensorsignale üblicherweise voraussetzt, dass der betreffende Sensor oder die Sensoreinrichtung mit einer Vorspannung an der Messstelle festgelegt sind. Zudem fällt ein erheblicher Montageaufwand für die Anordnung und Festlegung der Sensoreinrichtung an.

**[0008]** Es wird deshalb als eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung angesehen, ein Maschinenelement der eingangsgenannten Gattung so auszustalten, dass die Sensoreinrichtung möglichst geschützt an dem Maschinenelement angeordnet ist und über einen möglichst langen Zeitraum eine zuverlässige und präzise Erfassung einer sich auf das Maschinenelement auswirkenden mechanischen Beanspruchung erlaubt.

**[0009]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Hohlwellenabschnitt des Maschinenelements eine erste radial nach innen ragende Ausformung und eine zweite radial nach innen ragende Ausformung aufweist, und dass die Sensoreinrichtung mit einer axialen Vorspannung zwischen der ersten radial nach innen ragenden Ausformung und der zweiten radial nach innen ragenden Ausformung formschlüssig festgelegt ist. Die beiden radial nach innen ragenden Ausformungen können beispielsweise umlaufende Wulste in einer zylinderförmigen, einen Innenraum des Hohlwellenabschnitts begrenzenden Oberfläche sein. In vorteilhafter Weise weisen die radial nach innen ragenden Ausformungen jeweils einen geringeren Innendurchmesser als die in axialer Richtung auf beiden Seiten der jeweiligen Ausformung angrenzenden Bereiche des Hohlwellenabschnitts auf. Eine besonders geringe Beeinflussung und Beeinträchtigung der Eigenschaften des Hohlwellenabschnitts kann dadurch erreicht werden, dass bei jeder nach innen ragenden Ausformung die beiden angrenzenden Bereiche des Hohlwellenabschnitts einen übereinstimmenden ersten Innendurchmesser aufweisen und dass die dazwischen ausgebildete radial nach innen vorspringende Ausformung einen zweiten Innendurchmesser aufweist, der geringer als der erste Innendurchmesser ist.

**[0010]** Die radial nach innen vorspringende Ausformung kann eine dreieckige Querschnittsfläche mit sich verjüngenden bzw. konisch zulaufenden Seitenflächen aufweisen. Es ist ebenfalls möglich, dass die radial nach innen vorspringende Ausformung eine asymmetrische Formgebung der Querschnittsfläche aufweist.

**[0011]** Die nach innen ragenden Ausformungen können jeweils eine oder mehrere Anschlagflächen bilden, an denen einander gegenüberliegende Stirnseiten der Sensoreinrichtung anliegen können.

**[0012]** Die Sensoreinrichtung ist zwischen den beiden radial nach innen ragenden Ausformungen formschlüssig festgelegt, sodass eine unerwünschte axiale Verlagerung der Sensoreinrichtung ausgeschlossen werden kann. Zudem kann durch die Vorgabe eines Abstands der einander zugewandten Anschlagflächen der nach innen vorspringenden Ausformungen in axialer Richtung einen Anpressdruck auf die dazwischen befindliche Sensoreinrichtung ausgeübt werden und dadurch eine axiale Vorspannung der Sensoreinrichtung erzwungen werden.

**[0013]** Die axiale Vorspannung kann dabei ausreichend groß vorgegeben werden, so dass die Sensoreinrichtung kraftschlüssig hinreichend drehfest relativ zu dem umgebenden Hohlwellenabschnitt festgelegt ist, um auch angreifende Drehmomente und Torsionsbelastungen zuverlässig erfassen zu können. Die axiale Vorspannung ist dabei zweckmäßigerwei-

se auch ausreichend groß vorgegeben, um schlechenden Kriecheffekten entgegenzuwirken, die ansonsten bei den üblicherweise auftretenden Temperaturen und mechanischen Belastungen während der bestimmungsgemäßen Verwendung auftreten könnten. Durch die Vorspannung der Sensoreinrichtung kann zudem bei geeignet ausgewählten und angebrachten Sensoren ein Messsignal ermöglicht werden, das über weite Bereiche linear von der zu messenden Verformung abhängt und eine präzise Auswertung erleichtert.

**[0014]** Einer vorteilhaften Ausgestaltung des Erfindungsgedankens zu Folge ist vorgesehen, dass die erste radial nach innen ragende Ausformung und/oder die zweite radial nach innen ragende Ausformung eine in einem Winkel zu einer Mittenachse des Hohlwellenabschnitts geneigte Anschlagfläche aufweisen. Die Anschlagfläche kann beispielsweise einen Winkel, bzw. eine Neigung der Anschlagsfläche zwischen 20 und 30 Grad aufweisen. Die radial nach innen ragenden Ausformungen lassen sich mit einer in einem Winkel geneigten Anschlagfläche einfach und kostengünstig herstellen. Zudem kann durch eine geneigte Anschlagfläche die gewünschte Vorspannung der Sensoreinrichtung mit geringen Fehlertoleranzen über einen langen Zeitraum aufrechterhalten werden.

**[0015]** Bei rotationssymmetrisch ausgestalteten Maschinenelementen und insbesondere bei bestimmungsgemäß rotierenden Maschinenelementen ist es zweckmäßig, dass die erste radial nach innen ragende Ausformung und/oder die zweite radial nach innen ragende Ausformung in Umfangsrichtung eine gleichbleibende Querschnittsfläche aufweisen. Auf diese Weise kann mit einer gleichbleibenden bzw. rotationssymmetrischen Formgebung der Ausformungen das Risiko einer unerwünschten Unwucht während der bestimmungsgemäßen Rotation des Maschinenelements reduziert werden. Zudem wird durch die in Umfangsrichtung gleichbleibende Querschnittsfläche der nach innen ragenden Ausformungen eine Ausrichtung der Sensoreinrichtung längs einer Mittenachse begünstigt und das Risiko unerwünschter Querkraftkomponenten, die in radialer Richtung auf die Sensoreinrichtung einwirken könnten, erheblich reduziert.

**[0016]** Um die Sensoreinrichtung möglichst verdreh sicher innerhalb des Hohlwellenabschnitts festzulegen ist vorgesehen, dass eine Anschlagfläche der ersten radial nach innen ragenden Ausformung und/oder eine Anschlagfläche der zweiten radial nach innen ragenden Ausformung eine in Umfangsrichtung profilierte Oberfläche aufweist, die mit der Sensoreinrichtung einen Eingriff bildet. Die in Umfangsrichtung profilierte Oberfläche kann beispielsweise eine wellenförmige oder zahnförmige Strukturierung aufweisen. Es ist ebenfalls denkbar, dass die Oberfläche in

axialer Richtung verlaufende Nuten oder Wulste aufweist. Die Oberfläche kann auch aufgeraut oder mit einer ausreichend unebenen oder rauen Beschichtung versehen sein.

**[0017]** In Abhängigkeit von der vorgegebenen Profilierung dieser Oberfläche bildet sich nach dem Einbringen und Festlegen der Sensoreinrichtung ein Eingriff mit einem hohen Kraftschluss und gegebenenfalls auch mit einem Formschluss zwischen der Sensoreinrichtung und der profilierten Oberfläche aus. Durch diesen Eingriff wird die Sensoreinrichtung drehfest in dem Hohlwellenabschnitt festgelegt, so dass auch große Drehmomente zuverlässig erfasst werden können.

**[0018]** Um das Einführen und die zuverlässige Positionierung der Sensoreinrichtung zwischen den nach innen ragenden Ausformungen zu erleichtern ist vorgesehen, dass die Sensoreinrichtung eine erste Stirnseite und/oder eine zweite Stirnseite mit einem umlaufenden Randbereich und mit einer in dem Randbereich ausgebildeten Fase aufweist.

**[0019]** Um den Eingriff zwischen der Sensoreinrichtung und den nach innen ragenden Ausformungen zu verstärken und zu begünstigen ist vorgesehen, dass die Sensoreinrichtung eine erste Stirnseite und/oder eine zweite Stirnseite mit einem umlaufenden Randbereich mit einer in Umfangsrichtung profilierten Formgebung aufweist, die mit der ersten radial nach innen ragenden Ausformung bzw. der zweiten radial nach innen ragenden Ausformung einen Eingriff bildet. Die in Umfangsrichtung profilierte Formgebung in dem Randbereich der Stirnseiten der Sensoreinrichtung ist zweckmäßigerweise an die Oberflächenprofilierung der Anschlagflächen der nach innen ragenden Ausformungen angepasst. Auf diese Weise kann mit geringem Aufwand eine zuverlässige und äußerst drehfeste Befestigung der Sensoreinrichtung in dem Hohlwellenabschnitt erfolgen. Die in Umfangsrichtung profilierte Formgebung kann in vorteilhafter Weise mit einer ebenfalls umlaufenden Fase kombiniert werden. Durch einen derartigen formschlüssigen Eingriff in Umfangsrichtung kann erreicht werden, dass die Sensoreinrichtung verdrehsicher in dem Hohlwellenabschnitt festgelegt ist und dabei Drehmomente und durch Torsion verursachte Verformungen zuverlässig und präzise mit der Sensoreinrichtung erfasst werden können. Ein unerwünschtes Verdrehen der Sensoreinrichtung relativ zu dem umgebenden Hohlwellenabschnitt tritt erst dann ein, wenn die von außen einwirkenden Kräfte und Momente eine plastische Verformung des formschlüssigen Eingriffs zwischen der Sensoreinrichtung und den angrenzenden radial nach innen vorspringenden Ausformungen erzwingen, bzw. den formschlüssigen Eingriff zerstören.

**[0020]** Es ist vorteilhaft, dass die Sensoreinrichtung eine an eine Formgebung der ersten bzw. zweiten radial nach innen ragenden Ausformung angepasste Formgebung des umlaufenden Randbereichs einer ersten Stirnseite und/oder zweiten Stirnseite der Sensoreinrichtung aufweist. Auf diese Weise kann eine möglichst große Kontaktfläche ermöglicht werden und erreicht werden, dass die Sensoreinrichtung auch bei nur geringfügig nach Innen ragenden Ausformungen großflächig an entsprechenden Anschlagflächen dieser Ausformungen anliegt.

**[0021]** Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Erfindungsgedankens ist vorgesehen, dass die Sensoreinrichtung mindestens einen Verformungssensor aufweist. Geeignete Vorformungssensoren sind beispielsweise Dehnungsmessstreifenanordnungen oder Piezosensoren, bzw. Quarzscheibensensoren, mit denen kostengünstig sehr präzise Messungen von Verformungen des Hohlwellenabschnitts möglich sind, die durch eine einwirkende mechanische Beanspruchung erzeugt werden. Durch die in axialer Richtung erzeugte Vorspannung der Sensoreinrichtung können die jeweils verwendeten Verformungssensoren mit einer entsprechenden Vorspannung betrieben werden und dadurch nicht nur Momente, sondern auch in axialer Richtung einwirkende Zug- und Druckkräfte zuverlässig erfasst werden. Zudem weisen zahlreiche Verformungssensoren, die unter Vorspannung an dem jeweiligen Messort festgelegt werden können, über einen weiten Messbereich hinweg eine lineare und damit dauerhaft präzise auswertbare Abhängigkeit der jeweils erzeugten Sensorsignale von der verursachenden Verformung auf.

**[0022]** Eine Anordnung mehrerer in Reihe geschalteter piezoelektrischer Elementarsensoren wie beispielsweise eine Kombination von mehreren Quarten mit verschiedenen Schnittrichtungsebenen erlaubt eine Erfassung mehrerer verschieden gerichteter Komponenten von einwirkenden Kräften und Momenten und bietet darüber hinaus auch den Vorteil, dass ein aufwändiges Verkleben von anderen Elementarsensoren wie beispielsweise von Dehnungsmessstreifen entfällt.

**[0023]** Für zahlreiche Anwendungsfälle ist es zweckmäßig, dass das Maschinenelement eine Welle ist. Der Hohlwellenabschnitt kann sich auch in axialer Richtung im Wesentlichen über die gesamte Welle hinweg erstrecken, so dass das Maschinenelement eine Hohlwelle ist. Es ist ebenfalls möglich, dass der Hohlwellenabschnitt in axialer Richtung lediglich eine kurze Erstreckung aufweist, die an die Abmessungen der darin aufzunehmenden Sensoreinrichtung angepasst ist, so dass nur eine möglichst geringe mechanische Beeinflussung einer massiven Welle oder eines massiven Maschinenelements auftritt. Das Maschinenelement kann auch eine Achse oder

eine stabförmige Komponente einer Stabstruktur in einer Maschine oder Anlage sein.

**[0024]** Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung eines Maschinenelements mit einem Hohlwellenabschnitt und mit einer darin angeordneten Sensoreinrichtung zur Messung einer sich auf den Hohlwellenabschnitt auswirkenden mechanischen Beanspruchung. Erfindungsgemäß wird dabei in einem ersten Ausformungsschritt eine erste radial nach innen vorspringende Ausformung in dem Hohlwellenabschnitt des Maschinenelements erzeugt. In einem nachfolgenden Sensoranordnungsschritt wird eine Sensoreinrichtung in dem Hohlwellenabschnitt an der ersten radial nach innen vorspringenden Ausformung formschlüssig angelegt. In einem nachfolgenden Festlegungsschritt wird eine zweite radial nach innen vorspringende Ausformung in dem Hohlwellenabschnitt erzeugt, durch welche die Sensoreinrichtung mit einer axialen Vorspannung zwischen der ersten radial nach innen vorspringenden Ausformung und der zweiten radial nach innen vorspringenden Ausformung formschlüssig festgelegt wird.

**[0025]** Während des ersten Ausformungsschritts kann ein umformtechnisches Verfahren zur Reduzierung eines Durchmessers des Hohlwellenabschnitts durchgeführt werden. Die Anordnung und Festlegung der Sensoreinrichtung wird demzufolge erfindungsgemäß in den Herstellungsprozess des Maschinenelements integriert, was mit geringem zusätzlichen Aufwand möglich ist. Dabei kann bereits während der Einführung der Sensoreinrichtung in den Hohlwellenabschnitt und insbesondere während der Ausbildung der zweiten radial nach innen vorspringenden Ausformung, durch welche die axiale Vorspannung der Sensoreinrichtung erzeugt und die Sensoreinrichtung in dem Hohlwellenabschnitt festgelegt wird, eine kontinuierliche Erfassung und Auswertung von Sensorsignalen erfolgen. Dadurch lassen sich sowohl die gewünschte Vorspannung der Sensoreinrichtung zuverlässig vorgeben als auch eine funktionsfähige und geeignete Festlegung der Sensoreinrichtung in dem Hohlwellenabschnitt überprüfen.

**[0026]** Die Herstellung des Maschinenelements kann besonders kostengünstig und einfach dadurch erfolgen, dass die erste radial nach innen vorspringende Ausformung und die zweite radial nach innen vorspringende Ausformung durch Kaltmassivumformung erzeugt werden. Zu diesem Zweck ist es lediglich erforderlich, dass das Maschinenelement im Bereich der radial nach innen vorspringenden Ausformungen aus einem Material besteht, das für eine Kaltmassivumformung geeignet ist. Da für zahlreiche Verwendungszwecke und Einsatzbereiche das Maschinenelement aus Metall bestehen kann oder soll, lässt sich für derartige Maschinenelemente das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren in vorteilhafter Weise in Kombination mit einer Kaltmassivumformung einsetzen.

**[0027]** Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung des Erfindungsgedankens ist vorgesehen, dass die radial nach innen vorspringenden Ausformungen durch Rundketten erzeugt werden. Zweckmäßigerweise werden zumindest der Hohlwellenabschnitt und gegebenenfalls das gesamte Maschinenelement ausgehend von einem Rohling durch Rundketten in die gewünschte Formgebung überführt. Für eine besonders einfache Integration der Sensoreinrichtung ist eine vorgefertigte Rohlingformgebung zweckmäßig, die an das Herstellungsverfahren angepasste Außen- und Innenkonturverläufe aufweist. Zu diesem Zweck kann ein in den Hohlraum eingeführter Dorn verwendet werden, der eine geeignete Ausgestaltung und Formgebung eines Endbereichs aufweist und in Abhängigkeit von seiner Positionierung innerhalb des Hohlwellenabschnitts die mit dem Rundketten erzwungene Formgebung einer radial nach innen vorspringenden Ausformung beeinflusst, beziehungsweise vorgibt.

**[0028]** Um möglichst kostengünstig eine geeignete Profilierung von Anschlagflächen der nach innen vorspringenden Ausformungen zu erzeugen ist zweckmäßigerweise vorgesehen, dass mit einem in dem Hohlwellenabschnitt eingeführten Dorn eine in Umfangsrichtung profilierte Formgebung der ersten und/oder zweiten radial nach innen vorspringenden Ausformung vorgegeben wird. Der Dorn weist zu diesem Zweck eine Profilierung in seinem Endbereich auf, die eine Negativform der gewünschten Profilierung der nach innen vorspringenden Ausformungen darstellt. Während der Kaltmassivumformung des Maschinenelements fließt etwas Material des Rohlings, bzw. des Maschinenelements in die durch den Endbereich des Dorns vorgegebene Negativform, wodurch eine entsprechende Profilierung der radial nach innen vorspringenden Ausformungen erzeugt wird. Nach dem Entfernen des Dorns aus dem Hohlwellenabschnitt bleibt die vorgegebene Oberflächenprofilierung bestehen.

**[0029]** Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele des Erfindungsgedankens näher erläutert, die in der Zeichnung dargestellt sind. Es zeigt:

**[0030]** **Fig. 1 bis Fig. 4** eine schematische Darstellung eines Verfahrensablaufs während der Herstellung einer Hohlwelle mit einer darin angeordneten Sensoreinrichtung,

**[0031]** **Fig. 5** eine schematische Darstellung einer Werkzeugmaschine zum Rundketten während der Bearbeitung eines Hohlwellenabschnitts,

**[0032]** **Fig. 6** in auseinandergesetzter Darstellung ein Dorn und eine mit diesem Dorn erzwungene Pro-

filierung eines Hohlwellenabschnitts während der erfundungsgemäßen Herstellung der Hohlwelle mit der darin angeordneten Sensoreinrichtung,

**[0033]** **Fig.** 7 eine schematische Darstellung einer Hohlwelle mit einer darin angeordneten Sensoreinrichtung sowie mit einer Verstärker- und Übertragungseinrichtung,

**[0034]** **Fig.** 8 eine schematische und teilweise geschnitten gezeigte Darstellung einer Sensoreinrichtung mit mehreren Verformungssensoren in einem radial zurückgesetzten Gürtelbereich,

**[0035]** **Fig.** 9 und **Fig.** 10 jeweils eine schematische Darstellung von verschiedenen Möglichkeiten zur Erzeugung eines in Umfangsrichtung ausgebildeten Formschlusses zwischen der Sensoreinrichtung und dem umgebenden Hohlwellenabschnitt,

**[0036]** **Fig.** 11 eine schematische Darstellung eines Teilbereichs der Sensoreinrichtung, die in Umfangsrichtung formschlüssig in einem umgebenden Bereich des Hohlwellenabschnitts festgelegt ist, und

**[0037]** **Fig.** 12 eine schematische Darstellung einer abweichend ausgestalteten Sensoreinrichtung mit mehreren piezoelektrisch kontaktierten Quarzscheiben, wobei die Sensoreinrichtung in einer Welle mit einem in axialer Richtung begrenzten Hohlwellenabschnitt angeordnet ist.

**[0038]** In den **Fig.** 1 bis **Fig.** 4 werden exemplarisch verschiedene Schritte innerhalb eines erfundungsgemäßen Herstellungsverfahrens gezeigt, mit dem eine Hohlwelle **1** mit einer darin unter Vorspannung festgelegten Sensoreinrichtung **2** hergestellt wird.

**[0039]** Für die Herstellung kann ein rohrförmiger Rohling **3** verwendet werden, wie er in **Fig.** 1 gezeigt ist. In den rohrförmigen Rohling **3** wird ein Dorn **4** eingeführt, der einen ersten Abschnitt **5** mit einem etwas geringeren Radius und einen zweiten Abschnitt **6** mit einem etwas größeren Radius aufweist. Die jeweiligen Endbereiche der beiden Abschnitte **5** und **6** weisen jeweils eine in Umfangsrichtung profilierte Fase **7** und **8** auf. Die Länge des ersten Abschnitts **5** und der Abstand der beiden Fasen **7** und **8** entsprechen näherungsweise der Länge der Sensoreinrichtung **2** in axialer Richtung, wobei die Sensoreinrichtung **2** zweckmäßigerweise etwas länger ist.

**[0040]** Mit einer geeigneten Werkzeugmaschine **9**, die beispielhaft in **Fig.** 5 dargestellt ist, wird ein in **Fig.** 2 rechts befindlicher erster Abschnitt des Rohlings **3** durch Rundkneten hinsichtlich des Umfangs reduziert, so dass ein äußerer Umfang bereits der gewünschten Formgebung der Hohlwelle **1** entspricht. Bei einer geeigneten Relativbewegung der einzelnen Rundknetwerkzeuge **10**, die oszillierend auf den Roh-

ling **3** einwirken, während der Rohling **3** längs seiner Mittenachse **11** relativ zu der Werkzeugmaschine **9** verlagert wird, entsteht an einem vorderen Ende **12** des Dorns **4** eine nach innen ragende ringförmige Ausformung **12**. Das in diesem Bereich nach innen fließende Material des Rohlings **3** fließt an die in Umfangsrichtung profilierte Fase **7** des Dorns **3**, der als Negativform wirkt und eine entsprechende Profilierung einer schrägen Anlagefläche **13** der nach innen ragenden Ausformung **12** erzeugt. Der Neigungswinkel  $\alpha$  der Anlagefläche **13** relativ zu der Mittenachse **11** beträgt etwa  $21^\circ$ .

**[0041]** Durch eine Bearbeitung des Rohlings **3** mit der Werkzeugmaschine **9** wird ein sich konisch verjüngender Bereich **14** des Rohlings **3** im Bereich der Fase **8** des Dorns **4** erzeugt. Auch dieser Bereich **14** weist eine an die Profilierung der Fase **8** angepasste, bzw. dadurch vorgegebene Profilierung in Umfangsrichtung auf.

**[0042]** Anschließend wird der Dorn **4** herausgezogen und die Sensoreinrichtung **2** in den Rohling **3** eingeführt, bis eine erste Stirnseite **15** der Sensoreinrichtung **2** an der nach innen ragenden Ausformung **12** anliegt. Danach wird ein zweiter Dorn **16** in den Rohling **3** eingeführt und an eine zweite Stirnseite **17** der Sensoreinrichtung **2** angedrückt, so dass die Sensoreinrichtung **2** unter axialer Vorspannung steht. Der zweite Dorn **16** weist einen Durchmesser auf, der dem Durchmesser des ersten Abschnitts **5** des Dorns **4** entspricht. An einem der Sensoreinrichtung **2** zugewandten vorderen Ende **18** weist der Dorn **16** ebenfalls eine Fase **19** auf, wie es in **Fig.** 3 gezeigt ist. Anstelle des zweiten Dorns **16** könnte auch der erste Dorn **4** wieder eingeführt und an die zweite Stirnseite **17** der Sensoreinrichtung **2** angedrückt werden.

**[0043]** Der Rohling **3** mit der darin angeordneten Sensoreinrichtung **2** wird zusammen mit dem Dorn **16** relativ zu der Werkzeugmaschine **9** verlagert, während mit den oszillierenden Rundknetwerkzeugen **10** über den zunächst noch sich konisch verjüngenden Bereich **14** hinweg der Rohling **3** in die endgültige Formgebung der Hohlwelle **1** überführt wird. Dabei bildet sich eine zweite nach innen ragende Ausformung **20** aus, deren Formgebung durch die zweite Stirnseite **17** der Sensoreinrichtung **2** und die Fase **19** des Dorns **16** vorgegeben wird. Eine der Sensoreinrichtung **2** zugewandte Anlagefläche **21** der Ausformung **20** behält im Wesentlichen die Profilierung des sich konisch verjüngenden Bereichs **14** bei, der in die zweite nach innen ragende Ausformung **20** überführt wird. Die Sensoreinrichtung **2** wird unter der durch den Dorn **16** vorgegebenen Vorspannung in axialer Richtung formschlüssig zwischen der ersten nach innen ragenden Ausformung **12** und der neu gebildeten zweiten nach innen ragenden Ausformung **20** festgelegt, wobei ein Anschmiegen des sich konisch verjüngenden Bereichs **14** an die zweite Stirnseite **17** zu

einer zusätzlichen axial gerichteten Kraftkomponente bzw. Vorspannung in der Sensoreinrichtung **2** führt. Die fertiggestellte Hohlwelle **1** mit der darin festgelegten Sensoreinrichtung **2** ist in **Fig. 4** abgebildet. Durch den Umformvorgang und den dadurch erzwungenen Materialfluss wird die Sensoreinrichtung **2** in axialer Richtung zusammenpresst und gestaucht, so dass die Vorspannung während des den Durchmesser reduzierenden Umformvorgangs erzeugt bzw. aufrecht erhalten wird.

**[0044]** Der Neigungswinkel  $\alpha$  der ersten radial nach innen ragenden Ausformung **12** kann auch abweichend vorgegeben werden, da die Anlagefläche **13** ausschließlich mit dem Ziel eines zuverlässigen Formschlusses gestaltet werden kann. Dagegen ist der Neigungswinkel  $\alpha$  bei der Anlagefläche **21** der zweiten nach innen ragenden Ausformung **20** auch im Hinblick auf den gewünschten Materialfluss während des Umformvorgangs und für die Erzeugung einer in axialer Richtung wirkenden Querkraft bei dem radial einwirkenden Rundknetvorgang von Bedeutung und sollte deshalb zweckmäßigerweise in einem Bereich zwischen  $20^\circ$  und  $30^\circ$  liegen.

**[0045]** Durch die vorab erzeugte Profilierung in Umfangsrichtung des sich verjüngenden Bereichs **14** sowie durch eine entsprechende Profilierung der ersten nach innen ragenden Ausformung **12** wird gleichzeitig ein formschlüssiger Eingriff in Umfangsrichtung erzeugt und die Sensoreinrichtung **2** drehfest zwischen den beiden nach innen ragenden Ausformungen **12** und **20** in einem Innenraum der Hohlwelle **1** festgelegt.

**[0046]** Die Sensoreinrichtung **2** weist einen geeigneten Sensorträger **22** auf, an dem mehrere Verformungssensoren **23** festgelegt sind. Die mit den Verformungssensoren **23** gemessenen Sensorwerte können beispielsweise drahtlos an eine Auswerteeinrichtung übermittelt werden.

**[0047]** In **Fig. 6** sind der Dorn **4** und der Rohling **3** nach dem in **Fig. 2** gezeigten Fertigungsschritt zur Veranschaulichung in auseinandergesetzter Darstellung abgebildet. Die Profilierungen der Fasen **7** und **8** des Dorns **4** erzeugen eine daran angepasste Profilierung der Anlageflächen **13** und **21**, zwischen denen die Sensoreinrichtung **2** in Umfangsrichtung drehfest und in axialer Richtung vorgespannt jeweils formschlüssig festgelegt wird.

**[0048]** In **Fig. 7** ist exemplarisch die in der Hohlwelle **1** zwischen den beiden radial nach innen vorspringenden Ausformungen **12** und **20** festgelegte Sensoreinrichtung **2** zusammen mit einer Verstärker- und Übermittlungseinrichtung **24** sowie einer Antenne **25** zur drahtlosen Übermittlung der Sensorwerte an eine externe und nicht dargestellte Auswerteeinrichtung dargestellt. Die Verstärker- und Übermittlungseinrich-

tung **24** ist unmittelbar benachbart zu der Sensoreinrichtung **2** in der Hohlwelle **1** angeordnet und durch die Stirnseite **15** hindurch elektrisch leitend mit den Verformungssensoren **23** auf dem Sensorträger **22** verbunden.

**[0049]** Bei einer in **Fig. 8** exemplarisch dargestellten abweichenden Ausgestaltung der Sensoreinrichtung **2** befindet sich die Verstärker- und Übermittlungseinrichtung **24** in einem Hohlräume **26** im Inneren des Sensorträgers **22**. Die in einem radial zurückgesetzten Gürtelbereich **27** des Sensorträgers **22** auf einer äußeren Umfangsfläche **28** festgeklebten Verformungssensoren **23** sind elektrisch leitend mit der Verstärker- und Übermittlungseinrichtung **24** verbunden. Die Antenne **25** ist in axialer Richtung durch eine Abdichtung **29** hindurch aus dem Sensorträger **22** herausgeführt.

**[0050]** Um in Umfangsrichtung einen zuverlässigen Formschluss mit der umgebenden Hohlwelle **1**, bzw. mit den Anlageflächen **13** und **21** der radial nach innen vorspringenden Ausformungen **12** und **20** zu ermöglichen weist die Sensoreinrichtung **2** auf beiden Stirnseiten **15** und **17** jeweils eine Anzahl von zahnförmigen, bzw. nasenförmigen Ausformungen **30** auf.

**[0051]** Die Profilierung der Anlageflächen **13** und **21** sowie die Ausbildung von zahnförmigen bzw. nasenförmigen Ausformungen **30** im Bereich der Stirnseiten **15** und **17** der Sensoreinrichtung **2** kann auf verschiedene Art und Weise erzeugt werden.

**[0052]** Bei dem in **Fig. 9** schematisch dargestellten Ausführungsbeispiel wird durch eine geeignete Profilierung der Fasen **7** und **8** des innen in dem Rohling **3** angeordneten Dorns **4** eine daran angepasste, bzw. dadurch erzwungene Profilierung der Anlagefläche **13** und des sich verjüngenden Bereichs **14** vorgegeben. Die beiden Stirnseiten **15** und **17** der anschließend eingeführten Sensoreinrichtung **2** bestehen aus einem weniger harten Material als der Rohling **3**, so dass dessen Profilierung bei einem axialen Einpressen der Sensoreinrichtung **2** und einem anschließenden Umformen des sich verjüngenden Bereichs **14** beibehalten wird und eine daran angepasste Profilierung der Stirnseiten **15** und **17** der Sensoreinrichtung **2** erzwungen wird.

**[0053]** Bei dem in **Fig. 10** ebenfalls schematisch dargestellten Ausführungsbeispiel wird die Profilierung an den Stirnseiten **15** und **17** der Sensoreinrichtung **2** vorgegeben und auf die Anlageflächen **13** und **21** der radial nach innen vorspringenden Ausformungen **12** und **20** übertragen.

**[0054]** In beiden Fällen wird ein in **Fig. 11** schematisch dargestellter Formschluss bewirkt, der in Umfangsrichtung zwischen den Stirnseiten **15** und **17** und den jeweils zugeordneten Anlageflächen **13**

und **21** besteht und ein unerwünschtes Verdrehen der Sensoreinrichtung **2** relativ zu der umgebenden Hohlwelle **1** verhindert. Zur Veranschaulichung ist in **Fig. 11** lediglich ein Teilbereich der Sensoreinrichtung **2** in der Abbildung rechts dargestellt. Die in Umfangsrichtung vorgegebene Profilierung befindet sich sowohl auf der rechts dargestellten Stirnseite **15** der Sensoreinrichtung **2** als auch in der links gezeigten Anlagefläche **21** der radial nach innen vorspringenden Ausformung **20**, so dass ein jeweils von beiden Oberflächen ausgehender formschlüssiger Eingriff zwischen der Sensoreinrichtung **2** und der Hohlwelle **1** vorgegeben ist.

**[0055]** Bei dem in **Fig. 12** schematisch dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Sensoreinrichtung **2** in einer Sacklochbohrung **31** in einer Welle **32** angeordnet. Die Sensoreinrichtung **2** weist mehrere piezoelektrische Quarzscheiben **33** mit unterschiedlichen Schnittrichtungsebenen auf, die in Reihe geschaltet in axialer Richtung hintereinander angeordnet sind.

**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**

- EP 1597128 B1 [0006]

## Patentansprüche

1. Maschinenelement (1, 32) mit einem Hohlwellenabschnitt und mit einer Sensoreinrichtung (2) zur Erfassung einer sich auf den Hohlwellenabschnitt auswirkenden mechanischen Beanspruchung, wobei die Sensoreinrichtung (2) in dem Hohlwellenabschnitt angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Hohlwellenabschnitt eine erste radial nach innen ragende Ausformung (12) und eine zweite radial nach innen ragende Ausformung (20) aufweist, und dass die Sensoreinrichtung (2) mit einer axialen Vorspannung zwischen der ersten radial nach innen ragenden Ausformung (12) und der zweiten radial nach innen ragenden Ausformung (20) formschlüssig festgelegt ist.
2. Maschinenelement (1, 32) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste radial nach innen ragende Ausformung (12) und/oder die zweite radial nach innen ragende Ausformung (20) eine in einem Winkel zu einer Mittenachse (11) des Hohlwellenabschnitts geneigte Anschlagfläche (13, 21) aufweist.
3. Maschinenelement (1, 32) nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste radial nach innen ragende Ausformung (12) und/oder die zweite radial nach innen ragende Ausformung (20) in Umfangsrichtung eine gleichbleibende Querschnittsfläche aufweisen.
4. Maschinenelement (1, 32) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Anschlagfläche (13) der ersten radial nach innen ragenden Ausformung (12) und/oder eine Anschlagfläche (21) der zweiten radial nach innen ragenden Ausformung (20) eine in Umfangsrichtung profilierte Oberfläche aufweist, die mit der Sensoreinrichtung (2) einen Eingriff bildet.
5. Maschinenelement (1, 32) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensoreinrichtung (2) eine erste Stirnseite (15) und/oder eine zweite Stirnseite (17) mit einem umlaufenden Randbereich und mit einer in dem Randbereich ausgebildeten Fase aufweist.
6. Maschinenelement (1, 32) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensoreinrichtung (2) eine erste Stirnseite (15) und/oder eine zweite Stirnseite (17) mit einem umlaufenden Randbereich mit einer in Umfangsrichtung profilierten Formgebung aufweist, die mit der ersten radial nach innen ragenden Ausformung (12) beziehungsweise mit der zweiten radial nach innen ragenden Ausformung (20) einen Eingriff bildet.
7. Maschinenelement (1, 32) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der umlaufende Rand-

bereich der ersten Stirnseite (15) und/oder der zweiten Stirnseite (17) mit der in Umfangsrichtung profilierten Formgebung eine in einem Winkel zur Mittennachse (11) geneigte Kontaktfläche bildet und durch die geneigte Kontaktfläche die axiale Vorspannung der Sensoreinrichtung (2) vorgegeben wird.

8. Maschinenelement (1, 32) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensoreinrichtung (2) eine an eine Formgebung der ersten, beziehungsweise zweiten radial nach innen ragenden Ausformung (12, 20) angepasste Formgebung einer ersten Stirnseite (15) und/oder einer zweiten Stirnseite (17) der Sensoreinrichtung (2) aufweist.
9. Maschinenelement (1, 32) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensoreinrichtung (2) mindestens einen Verformungssensor (23) aufweist.
10. Maschinenelement (1, 32) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Maschinenelement eine Welle (32) oder eine Hohlwelle (1) ist.
11. Verfahren zur Herstellung eines Maschinenelements (1, 32) mit einem Hohlwellenabschnitt und mit einer darin angeordneten Sensoreinrichtung (2) zur Messung einer sich auf den Hohlwellenabschnitt auswirkenden mechanischen Beanspruchung, wobei in einem ersten Ausformungsschritt eine erste radial nach innen vorspringende Ausformung (12) in dem Hohlwellenabschnitt des Maschinenelements (1, 32) erzeugt wird, wobei in einem nachfolgenden Sensoranordnungsschritt eine Sensoreinrichtung (2) in dem Hohlwellenabschnitt an der ersten radial nach innen vorspringenden Ausformung (12) formschlüssig angelegt wird und wobei in einem nachfolgenden Festlegungsschritt eine zweite radial nach innen vorspringende Ausformung (20) in dem Hohlwellenabschnitt erzeugt wird, durch den die Sensoreinrichtung (2) mit einer axialen Vorspannung zwischen der ersten radial nach innen vorspringenden Ausformung (12) und der zweiten radial nach innen vorspringenden Ausformung (20) formschlüssig festgelegt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste radial nach innen vorspringende Ausformung (12) und die zweite radial nach innen vorspringende Ausformung (20) durch Kaltmassivumformung erzeugt werden.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die radial nach innen vorspringenden Ausformungen (12, 20) durch Rundkneten erzeugt werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit einem in

den Hohlwellenabschnitt eingeführten Dorn (**4**) eine in Umfangsrichtung profilierte Formgebung der ersten und/oder zweiten radial nach innen vorspringenden Ausformung (**12, 20**) vorgegeben wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die profilierten Stirnseiten (**15, 17**) der Sensoreinrichtung (**2**) eine in Umfangsrichtung profilierte Formgebung der ersten und/oder zweiten radial nach innen vorspringenden Ausformungen (**12, 20**) vorgegeben wird.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

FIG 1

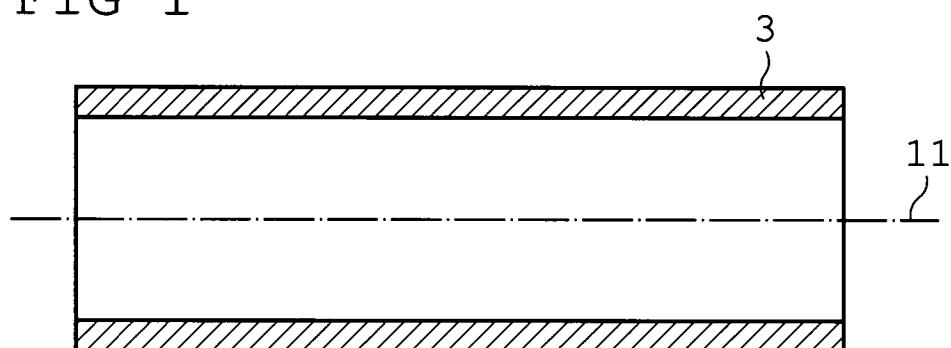


FIG 2

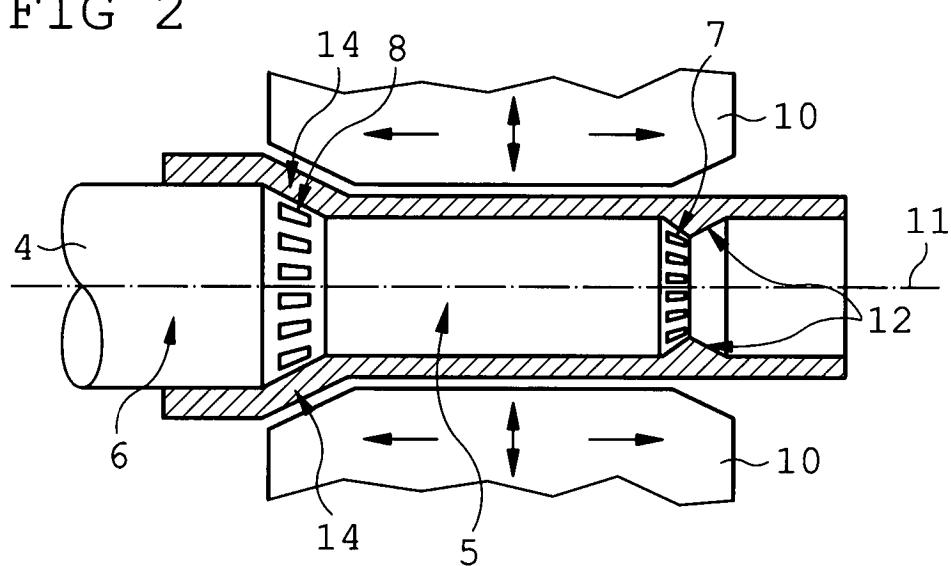


FIG 3

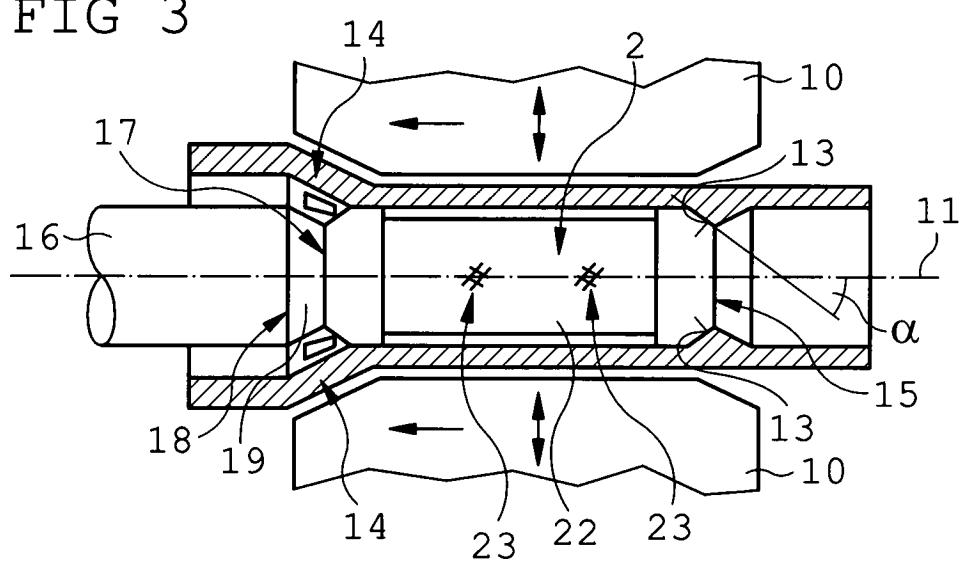


FIG 4

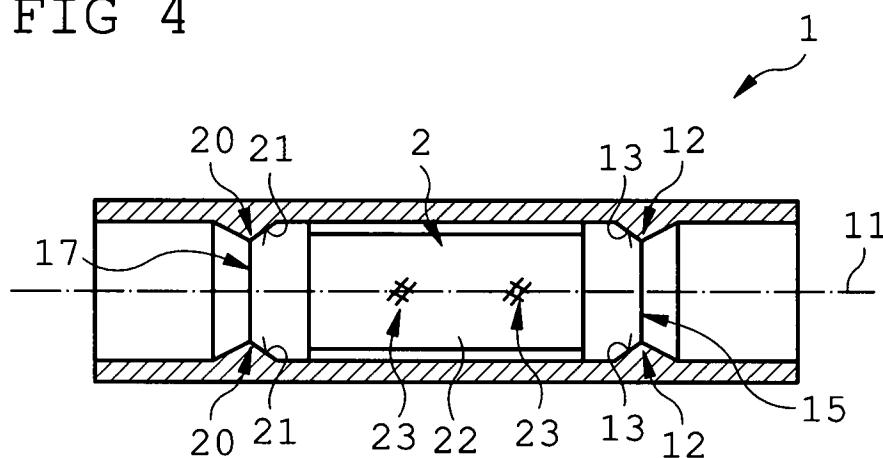


FIG 5

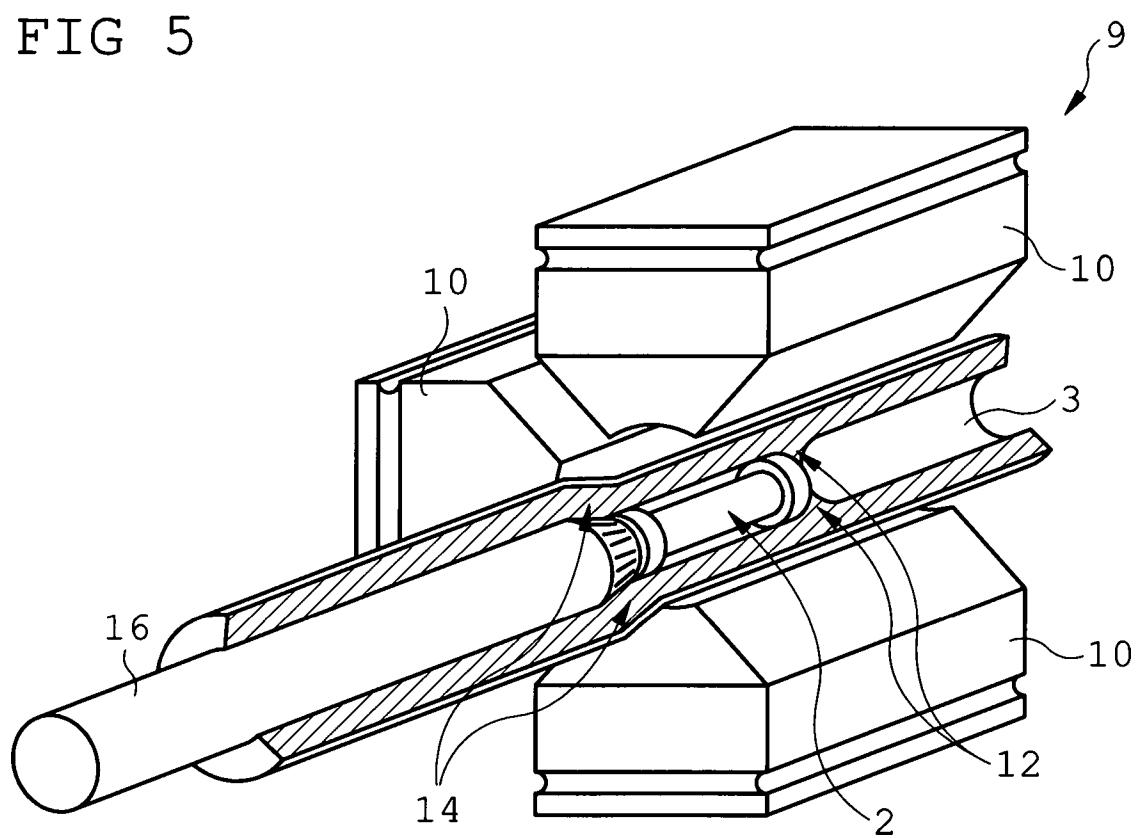


FIG 6

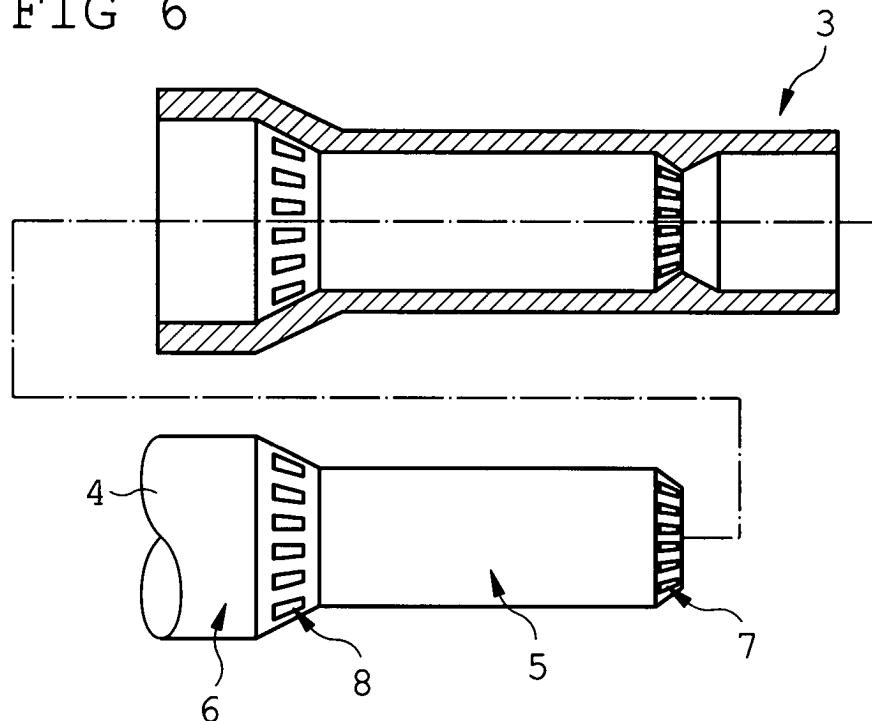


FIG 7

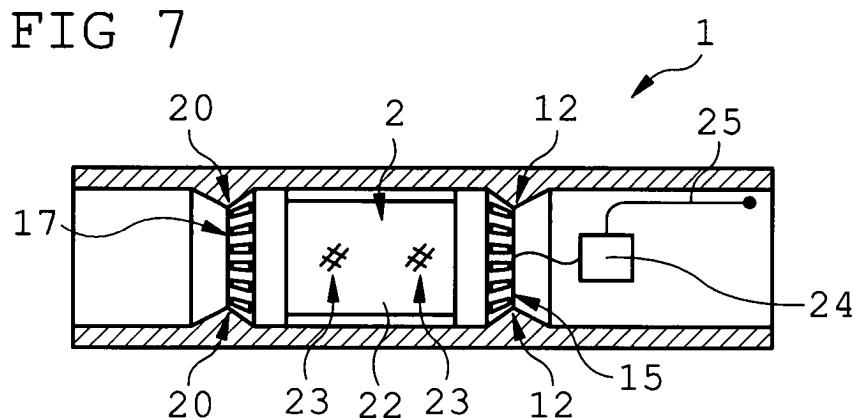


FIG 8

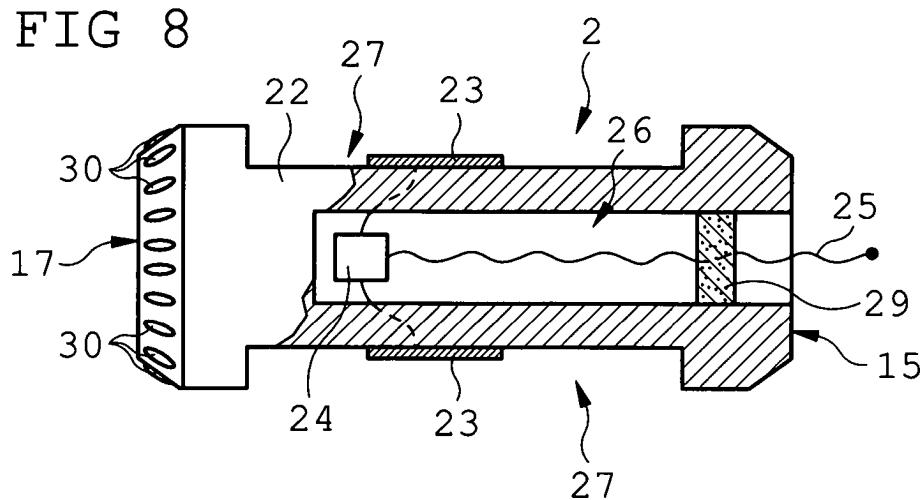


FIG 9

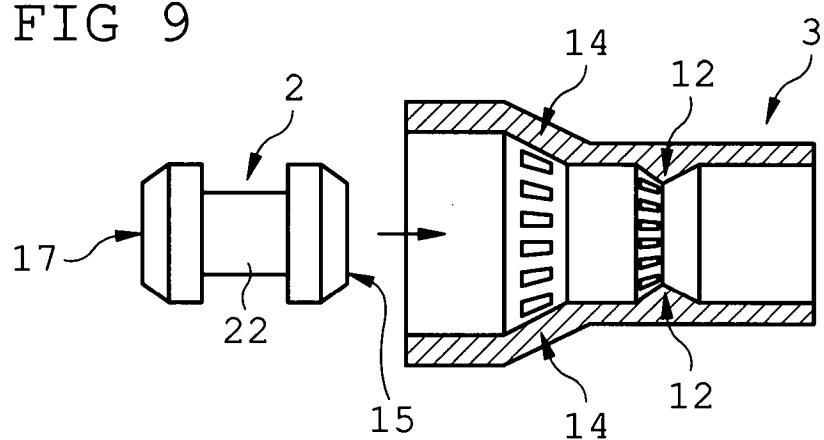


FIG 10

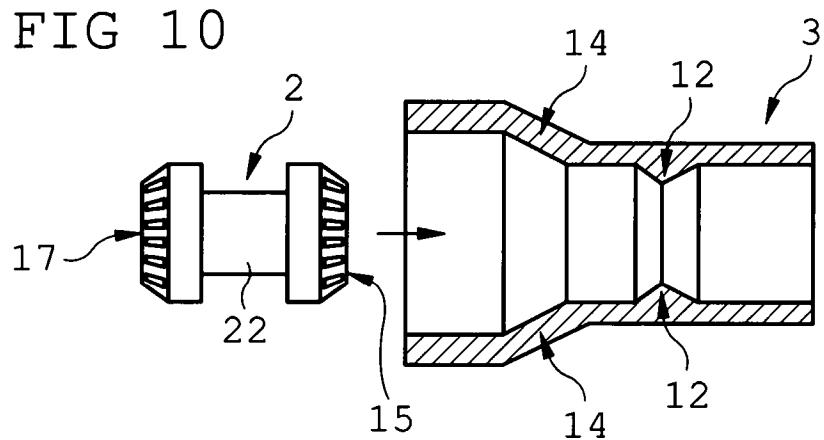


FIG 11

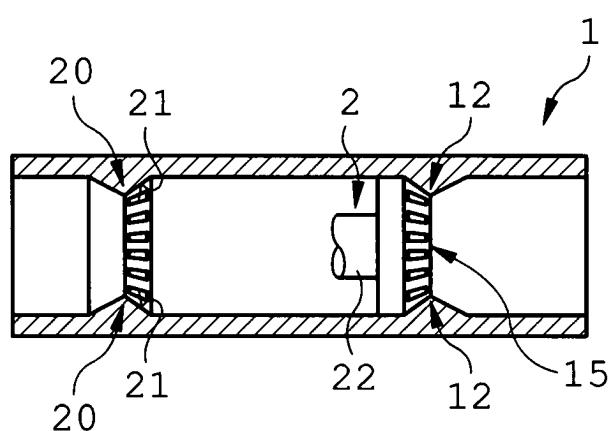


FIG 12

