



(10) **DE 10 2010 019 677 A1** 2011.09.29

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 019 677.0**

(22) Anmeldetag: **07.05.2010**

(43) Offenlegungstag: **29.09.2011**

(51) Int Cl.: **F16C 23/00** (2006.01)  
**B23Q 5/10** (2006.01)

(66) Innere Priorität:  
**10 2009 042 474.1**    **24.09.2009**

(71) Anmelder:  
**Mehnert, Jens, 08468, Heinsdorfergrund, DE**

(72) Erfinder:  
**gleich Anmelder**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 40 00 025 C2**  
**DE 101 63 089 C1**  
**DE 198 54 348 C1**  
**DE 103 08 442 B3**

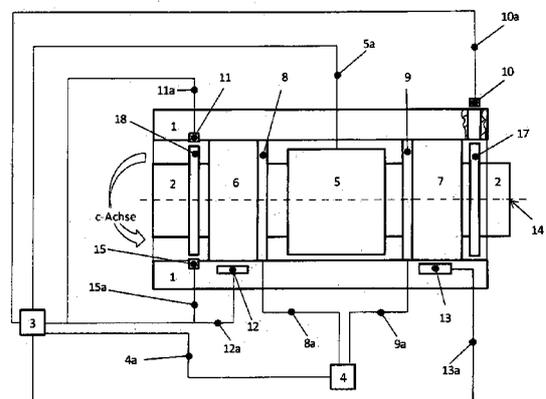
**DE 100 58 757 A1**  
**DE 198 26 174 A1**  
**DE 10 2005 009 921 A1**  
**DE 10 2005 027 082 A1**  
**DE 10 2005 043 945 A1**  
**DE 10 2006 059 947 A1**  
**US 2002 / 0 076 127 A1**  
**US 4 850 719 A**  
**EP 1 387 736 B1**  
**EP 0 999 005 A1**  
**EP 1 344 594 A1**  
**JP 1 266 320 A**  
**JP 3 009 116 A**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Konditionierung von Lagersystemen für Wellen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Konditionierung von Lagersystemen für Wellen, wobei die Welle von einer Festlagereinheit und einer Loslagereinheit aufgenommen wird und über eine Steuereinheit das durch die Welle zu übertragende Drehmoment sowie die Drehzahl variabel eingestellt werden kann, dadurch gekennzeichnet, dass die Abmessungen der Welle und der Lagereinheiten an der Wellennase und am Wellenende bestimmt, die Drehmoment-Drehzahlbereiche festgelegt und daraus die geometrische Gestalt und die Einbaulage der Piezoelemente an den Lagerpaketen sowie die Grundvorspannkraft der Lagerpakete bestimmt werden sowie aus den Toleranzvorgaben für den Wellenbetrieb die Anzahl und die Aufteilung der Piezoelemente an den Lagerpaketen bestimmt wird. Weiterhin wird eine Vorrichtung zur Anwendung des Verfahrens vorgeschlagen.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Konditionierung von Lagersystemen für Wellen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine Vorrichtung für eine verfahrensgemäße Umsetzung, wie sie beispielsweise zur Lagerung der Hauptspindel einer Werkzeugmaschine eingesetzt werden kann.

**[0002]** Dem Fachmann auf dem Gebiet der Wälzlagertechnik ist bekannt, dass zur Führung und Abstützung eines umlaufenden Maschinenteils, wie beispielsweise einer Welle, zumindest zwei in bestimmten Abständen voneinander angeordnete Lager erforderlich sind. Erfolgt dabei die Abstützung der Welle mit zwei Radiallagern tritt das Problem auf, dass die Abstände der Lagersitze auf der Welle und im Gehäuse nur innerhalb der jeweils erzielbaren Fertigungstoleranzen übereinstimmen. Außerdem erwärmt sich die Welle unter Betriebsbedingungen in der Regel stärker als das Gehäuse, so dass auch die temperaturbedingten Längendifferenzen der Welle in den Lagerstellen sowie unterschiedliche wärmebedingte Durchmesseränderungen der Lagerringe ausgeglichen werden müssen. Daher kann die Welle in axialer Richtung durch ein Festlager geführt werden, während das andere Lager als Loslager die dargestellten geometrischen Änderungen zu einem gewissen Anteil ausgleicht. Die Forderungen aus dem Maschinenbau zielen zusätzlich auf breite Drehmoment- und Drehzahlbereiche ab, um beispielsweise die Schrupp- und die anschließende Schlichtbearbeitung in einer Aufspannung durchführen zu können. In der Folge muss die Welle mit den sie aufnehmenden Lagereinheiten sowohl große Drehmomente mit zusätzlichen veränderlichen Krafteintrag durch die Bearbeitungskräfte als auch hohe Drehzahlen unter Beibehaltung der vorgegebenen Toleranzen gewährleisten, ohne dass Eigenschwingungen der Welle das Bearbeitungsergebnis beeinflussen.

**[0003]** In der Patentschrift DE 101 63 089 C1 wird eine Motorspindel mit Stellelement offenbart. Im Mittelpunkt dieser Erfindung steht eine verschiebbare Lagerbüchse, welche mit Hilfe einer pneumatischen oder hydraulischen Einrichtung betätigt wird, um die Steifigkeit der Motorspindel durch Änderung der Lagervorspannung verändern zu können. Ziel dieser Erfindung ist es, die Nebenzeiten beim Werkzeug- oder Werkstückwechsel zu vermindern. Die in der Patentschrift DE 101 63 089 C1 offenbarte Ausführungsform ist sehr aufwändig in der Bauart, da zur Einstellung der Steifigkeit eine Lagerbüchse mit Stellelement (hydraulisch oder pneumatisch betätigt) und zusätzliche Sensoren zur Überwachung der eingestellten Parameter erforderlich sind.

**[0004]** In der Patentschrift EP 1 387 736 B1 wird eine Motorspindel mit verbesserter Bearbeitungsgenauigkeit sowie ein Verfahren zum Betrieb einer derartigen Motorspindel offenbart. Diese Patentschrift stellt eine Weiterentwicklung der in der Patentschrift DE 101 63 089 C1 beschriebenen Erfindung dar. Im Unterschied nutzt diese Erfindung jedoch elektrorheologische oder magnetorheologische Flüssigkeiten für die Stelleinheit, wodurch die Stellglieder zur Änderung der Lagervorspannung in verbesserter Weise positionierbar sind.

**[0005]** In der Offenlegungsschrift DE 10 2006 059 947 A1 wird eine Tandem-Lageranordnung mit einer Vorrichtung zum Ausgleich temperaturbedingter Lagerverspannungen beschrieben. Die darin offenbarte Lagerungsgestaltung stellt eine Lösung zur Verringerung temperaturbedingter Lagerverspannungen dar. Eine während des Wellenbetriebes an den jeweils eingestellten Belastungszustand angepasste Lagervorspannung ist nicht vorgesehen. Ähnliche Aufgabenstellungen werden in den Offenlegungsschriften DE 10 2005 043 945 A1 und DE 10 2005 009 921 A1 mit vergleichbaren konstruktiven Gestaltungen der Wälzlager beschrieben.

**[0006]** In der Patentschrift DE 103 08 442 B3 wird eine Vorrichtung zum spanabhebenden Bearbeiten einer Bohrung beschrieben. Die Lagerung der Welle erfolgt dabei durch Magnetlager mit dem Ziel, herstellungsprozessbedingte Bewegungen durch Auslenkung der Welle in den Magnetlagern umzusetzen.

**[0007]** In der Patentschrift DE 40 00 025 C2 wird eine Vorrichtung zur spanabhebenden Bearbeitung der Oberflächen von von der genauen Zylinderform abweichenden Werkstücken beschrieben. Zur Lösung dieser Aufgabe findet eine hydraulische Einrichtung zur Auslenkung der Werkzeugschneide Verwendung.

**[0008]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher in der Bereitstellung eines Verfahrens und einer Vorrichtung zur Konditionierung von Lagersystemen für Wellen mit der Möglichkeit einer automatisierten Anpassung der Lagervorspannkkräfte an den aktuellen Betriebszustand, wodurch die Einsatzbereiche, die Lebensdauer und die Toleranzbereiche der Welle für derart gestaltete Lagersysteme gegenüber dem Stand der Technik wesentlich verbessert werden. Unter Konditionierung wird in der vorliegenden Erfindung die Anpassung des Lagersystems einer Welle an die jeweiligen Betriebsbedingungen verstanden. Weiterhin erfolgt eine Beschreibung für eine Verfahrensweise und Vorrichtung zur kontinuierlichen Überwachung und Diagnose der Betriebsparameter der Lagersysteme einschließlich der Einbindung in eine vorhandene Steuereinheit, wodurch der Wartungs- und Kontrollaufwand sinkt. Die vorliegende Erfindung zeichnet sich weiterhin dadurch aus, dass

für die Druckeinstellung der Lagersteifigkeit keine Lagerbüchse, kein Stellelement und kein zusätzlicher Sensor erforderlich sind. Weiterhin arbeitet das erfindungsgemäße Verfahren eigenschwingungsfrei und durch das Piezoelement ist eine Echtzeitfähigkeit für eine prozessparallele Änderung der Lagersteifigkeit gegeben.

**[0009]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und einer Vorrichtung gemäß Anspruch 16 gelöst. Weiterhin sind vorteilhafte Ausführungen Gegenstand der Unteransprüche.

**[0010]** In einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Konditionierung von Lagersystemen für Wellen wird zuerst die Antriebs- und Abtriebsseite bestimmt, wobei der Abtriebsseite die Wellennase mit einem Festlagersystem zugeordnet wird. Aus der Aufnahme der Drehmoment- und Drehzahlbereiche sowie der geometrischen Gegebenheiten der Welle und der Lagersysteme erfolgt die Festlegung für die geometrische Gestalt und die Einbaulage der Piezoelemente an den Lagerpaketen sowie die Vorgabe der Grundvorspannkraft der Lagerpakete. Diese Grundvorspannkraft wird mit Hilfe der Piezoelemente, welche im Sensorbetrieb arbeiten, eingestellt. Es sind auch Ausführungsformen in entkoppelter Bauweise möglich, bei welchen eine Trennung der Piezoelemente in Sensoren und Aktoren erfolgt. Diese Einstellung der Grundvorspannkraft kann beispielsweise über federkraftbeaufschlagte Flansche oder durch Ausblocken mit Passblechen erfolgen, wodurch ein bestimmtes Übermaß zwischen Lagerinnen- und Lageraußenring erreicht wird. Aus den Toleranzvorgaben für den Wellenbetrieb werden die Anzahl und die Aufteilung der Piezoelemente an den Lagerpaketen bestimmt. In einer alternativen Ausführungsform ist auch eine Wellenlagerung mit zwei Festlagern möglich, ebenso wie der Einsatz von Piezoelementen in Zylinderform mit axialer Anordnung zur Wellenachse. Darüber hinaus können auch Kombinationen von Sensor- und Aktorelementen sowie deren geometrische Kombination als radiale oder axiale Ausführung sinnvolle Lösungen darstellen.

**[0011]** Weitere alternative Verfahrensausführungen sind dadurch gekennzeichnet, dass die Änderung der Lagervorspannung durch eine Spannungsveränderung an mindestens einem Piezoelement vorzugsweise am Festlager erfolgt und/oder die Feinpositionierung der Welle durch Änderung der Spannungswerte an mindestens einem Piezoelement, vorzugsweise am Loslager, durchgeführt wird.

**[0012]** Im nächsten Verfahrensschritt erfolgt die Ermittlung der von der Welle zu übertragenden Drehmoment- und Drehzahlwerte sowie die Aufnahme zusätzlicher Prozess- und/oder Gewichtskräfte, welche an der Wellennase eingeleitet werden. Diesen ermittelten Parametersätzen werden abschließend noch Lagerpakettemperaturen zugeordnet. Anschließend werden diese Parametersätze verdichtet und im Ergebnis Lastkollektive gebildet, welche typische Einsatzbedingungen der Welle repräsentieren. Diesen Lastkollektiven werden Spannungswerte für die Piezoelemente zugeordnet und in einer Steuereinheit abgelegt. Diese Steuereinheit dient in einer vorteilhaften Ausgestaltung zur Ansteuerung der Betriebsparameter der Antriebseinheit der Welle.

**[0013]** Andere Ausführungsformen können vorhandene Steuereinheiten nutzen oder es ist für den Betrieb des erfindungsgemäßen Verfahrens eine eigene Steuereinheit vorzusehen.

**[0014]** Zusätzlich erfolgt die Definition der minimalen und maximalen Spannungswerte für die Piezoelemente entsprechend den gebildeten Lastkollektiven einschließlich deren Speicherung in der Steuereinheit. Im Rahmen des nächsten Verfahrensschrittes werden alle für den Betrieb der Welle erforderlichen Randbedingungen, wie beispielsweise die Anbringung von Einrichtungen an die Wellennase oder die axiale Verspannung einer Einrichtung an der Wellennase mit Hilfe einer Pinole, vorgenommen und die Piezoelemente erfassen im Sensorbetrieb diese eingestellten statischen Betriebsbedingungen an den Lagereinheiten und übertragen die ermittelten Werte an die Steuereinheit.

**[0015]** Im nächsten Verfahrensschritt dienen diese Betriebsbedingungen als Grundlage für die Steuereinheit, um das jeweils eingestellte Lastkollektiv zu ermitteln. Dazu werden die vorgegebenen Drehmoment-Drehzahlwerte aus der Ansteuerung des Antriebselementes bestimmt und/oder die Temperatur an den Lagerpaketen ermittelt und/oder zusätzliche auf die Welle wirkende Kräfte durch die Piezoelemente im Sensorbetrieb ermittelt und daraus das jeweils aktuell einzustellende Lastkollektiv bestimmt. Auf dieser Grundlage erfolgt durch die Steuereinheit eine kontinuierliche Überwachung und Einstellung der Spannungswerte der Piezoelemente, wobei die Lage der einzustellenden Spannungswerte innerhalb einer definierten und lastkollektivabhängigen Bandbreite (minimaler und maximaler Wert) geprüft wird. Werden diese minimalen und maximalen Werte unterschritten oder überschritten, erzeugt die Steuereinheit einen Warnhinweis und/oder gibt ein Signal zur Abschaltung des Wellenbetriebs aus. Zur Sicherung eines störungsfreien Wellenbetriebes mit engen Betriebstoleranzen erfolgt ein ständiger Betriebsartwechsel der Piezoelemente zwischen Sensor- und Aktorbetrieb. Dadurch wird auch das Schwingungsverhalten der Welle in der Weise überwacht, dass in der Steuereinheit

kritische Werte für Schwingfrequenzbereiche abgelegt sind und die Steuereinheit bei Ermittlung von sich an diese Schwingfrequenzbereiche annähernden Parametern die Spannungswerte der Piezoelemente so verändert, dass die ermittelten Werte für die Schwingfrequenz sich wieder von den abgespeicherten kritischen Parametern entfernen.

**[0016]** In einer vorteilhaften Verfahrensausgestaltung wird ein bereitgestelltes Bearbeitungsprogramm, welches aus Befehlszeilen, die als Sätze bezeichnet werden, besteht, in die Steuereinheit eingelesen und die darin enthaltenen Steuerungsbefehle in der Art interpretiert, dass die darin vorgegebenen Werkzeugwechselbefehle eine Ansteuerung der Piezoelemente hervorrufen. Dies erfolgt auf der Grundlage einer satzweisen Überwachung der Stromaufnahme der Antriebseinheit vor der Befehlszeile zum Werkzeugwechsel. Mit Verringerung der Stromaufnahme der Antriebseinheit wird durch die Steuereinheit durch Spannungsänderung an den Piezoelementen die Lagervorspannung unter Beachtung der jeweiligen Lastkollektive erhöhend mitgeführt, um die Reibung in den Lagern zu vergrößern, damit eine Verkürzung der Abbremszeit der Welle eintritt. Die Regelgröße in Form des einzustellenden Sollwertes für die Lagervorspannung bildet dabei der lastkollektivabhängige Maximalwert für die Lagervorspannung, welcher gegebenenfalls auch um einen Verschleißfaktor durch die Steuereinheit vermindert werden kann. Nach durchgeführtem Werkzeugwechsel wird der Spindelhochlauf durch die Mitführung der Lagervorspannung mit minimalem Vorspannwert entsprechend dem zugehörigen Lastkollektiv bis zum Erreichen der Betriebsdrehzahl der Welle durch die Steuereinheit unterstützt.

**[0017]** In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform werden durch Temperatursensoren die Temperaturen an den Lagerpaketen durch die Steuereinheit erfasst und in Abhängigkeit dieser Temperaturwerte die eingestellten lastkollektivspezifischen Spannungswerte der Piezoelemente verändert.

**[0018]** Zur Verbesserung der erzielbaren Toleranzen beim Wellenbetrieb ist es möglich, dass die Steuereinheit in Abhängigkeit eines durch einen Drehwinkelgeber ermittelten Drehwinkel der Welle, die eingestellten lastkollektivspezifischen Spannungswerte der Piezoelemente so verändert, dass eine mögliche drehwinkelabhängige Verlagerung der Wellenachse und/oder des Rund- und/oder Planlaufes der Wellennase korrigiert werden.

**[0019]** Darüber hinaus ist es sinnvoll, die Position in z-Richtung der Wellennase durch einen Positionssensor kontinuierlich zu ermitteln und an die Steuereinheit zu übertragen.

**[0020]** Eine weitere mögliche Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass in der Steuereinheit für wenigstens zwei lastkollektivabhängige Spannungswerte die zugehörigen Stromaufnahmewerte der Antriebseinheit gespeichert sind und in vorgegebenen Zeitabständen ein Selbsttest durch die Steuereinheit in der Art erfolgt, dass die gespeicherten Stromaufnahmewerte weniger als 10 Prozent von den jeweils ermittelten abweichen dürfen, anderenfalls erfolgt durch die Steuereinheit die Ausgabe eines Warnhinweises und/oder die Abschaltung des Wellenbetriebs.

**[0021]** Eine weitere alternative Verfahrensausgestaltung sieht vor, dass die Steuereinheit die Schmierstoffzufuhr zu den Lagereinheiten der Welle in Abhängigkeit der jeweiligen Lastkollektive verringert oder erhöht, um den Verschleiß auf ein Mindestmaß zu verringern.

**[0022]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

**[0023]** Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

**[0024]** Fig. 2 den Ablauf der Informationsgewinnung, -verarbeitung und -ausgabe zur Konditionierung von Lagersystemen für Wellen gemäß einer bevorzugten Ausführungsform,

**[0025]** Fig. 3 geometrische Angaben zur näheren Beschreibung eines Lagersystems,

**[0026]** Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel für den Einbau der Piezoelemente zur Veränderung der Lagervorspannung.

**[0027]** Fig. 1 zeigt den Aufbau der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einem ersten Ausführungsbeispiel. Die Welle (2) ist durch das Lagerpaket am Wellenende (6) und das Lagerpaket an der Spindel Nase (7) drehbar in einem Gehäuse (1) gelagert. Auf die Welle (2) sind eine Gebereinheit für das Messsystem z-Achse (17), die Piezoelemente Wellennase (9), eine Antriebseinheit der Welle (5), Piezoelemente Wellenende (8) und eine Gebereinheit für das Messsystem c-Achse mit Drehzahlreferenz (18) montiert. Die Piezoelemente (9) Wellennase werden durch einen Distanzring (16, siehe Fig. 4) zum Lagerpaket (7) ausgerichtet. Im Gehäuse (1) be-

findet sich im Bereich der Gebereinheit für das Messsystem z-Achse (17) ein Durchbruch. Dieser ermöglicht dem Messkopf für das Messsystem z-Achse (10) die Datenerfassung. Die Halterung, an welcher der Messkopf für das Messsystem z-Achse (10) befestigt ist, wurde nicht dargestellt. Weiterhin sind im Gehäuse (1) ein Messkopf für das Messsystem c-Achse (11, 18), ein Messkopf der Drehzahlerfassungseinheit (15), ein Temperaturfühler Lagerpaket Wellenende (12) und ein Temperaturfühler Lagerpaket Wellennase (13) angebracht. Im Schnittpunkt der Wellensymmetrieachse mit der Begrenzungslinie der Wellenplanfläche an der Wellennase ist der Koordinatenursprung Werkstück (14) eingezeichnet. Die Steuereinheit (3) ist über die Verbindungsleitung (4a) mit dem Verstärker der Piezoelemente (4) verbunden. Der Verstärker der Piezoelemente (4) ist über die Verbindungsleitung (8a) mit den Piezoelementen Wellenende (8) sowie über die Verbindungsleitung (9a) mit den Piezoelementen Wellennase (9) verbunden. Die Steuereinheit (3) ist mit Hilfe der Verbindungsleitung (5a) mit der Antriebseinheit der Welle (5), der Verbindungsleitung (10a) mit dem Messkopf für das Messsystem z-Achse (10), der Verbindungsleitung (11a) mit dem Messkopf für das Messsystem c-Achse (11), der Verbindungsleitung (12a) mit dem Temperaturfühler Lagerpaket Wellenende (12), der Verbindungsleitung (13a) mit dem Temperaturfühler Lagerpaket Wellennase (13) und der Verbindungsleitung (15a) mit dem Messkopf der Drehzahlerfassungseinheit (15) verbunden.

[0028] Aus Fig. 2 wird die Verfahrensweise eines vorteilhaften erfindungsgemäßen Verfahrens zur Konditionierung von Lagersystemen für Wellen durch eine wie oben beschriebene Vorrichtung ersichtlich.

[0029] In Fig. 3 werden beispielhaft wesentliche geometrische Abmessungen der Welle, des Lagersystems sowie der Piezoelemente dargestellt.

[0030] In Fig. 4 erfolgt die Darstellung einer möglichen Einbauanordnung der Piezoelemente für ein Lagerpaket.

[0031] In einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Konditionierung von Lagersystemen für Wellen wird zuerst die Antriebs- und Abtriebsseite bestimmt, wobei der Abtriebsseite die Wellennase mit einem Festlagersystem (7) zugeordnet wird. Aus der Aufnahme (vergleiche Fig. 3) der Drehmoment( $M_{d1}$ )- und Drehzahlbereiche ( $n_1$ ) sowie der geometrischen Gegebenheiten (bspw.  $L_W$ ,  $D_{WLE}$ ,  $D_{WLN}$ ) der Welle (2) und der Lagersysteme 6 ( $B_{LE}$ ,  $D_{LE}$ ) und 7 ( $B_{LN}$ ,  $D_{LN}$ ) erfolgt die Festlegung für die geometrische Gestalt und die Einbaulage (radial) der Piezoelemente 8 ( $B_{PE}$ ,  $D_{PE}$ ) und 9 ( $B_{PN}$ ,  $D_{PN}$ ) an den Lagerpaketen (6, 7) sowie die Vorgabe der Grundvorspannkraft der Lagerpakete (6, 7). Diese Grundvorspannkraft wird mit Hilfe der Piezoelemente (8, 9), welche im Sensorbetrieb arbeiten, eingestellt. Aus den Toleranzvorgaben für den Wellenbetrieb werden die Anzahl und die Aufteilung der Piezoelemente (8, 9) an den Lagerpaketen (6, 7) bestimmt.

[0032] Im nächsten Verfahrensschritt erfolgt die Ermittlung der von der Welle (2) zu übertragenden Drehmoment- und Drehzahlwerte ( $M_{d1max}$ ,  $n_{1max}$ ) sowie die Aufnahme zusätzlicher Prozesskräfte ( $F_f$ ,  $F_A$ ,  $F_C$ ) und Gewichtskräfte ( $F_{GF}$ ,  $F_{GW}$ ), welche an der Wellennase eingeleitet werden. Diesen ermittelten Parametersätzen werden abschließend noch Lagerpakettemperaturen ( $T_{LE}$ ,  $T_{LN}$ ) zugeordnet. Anschließend werden diese Parametersätze verdichtet und im Ergebnis Lastkollektive gebildet, welche typische Einsatzbedingungen der Welle (2) repräsentieren. Diesen Lastkollektiven werden Spannungswerte ( $U'_{LEi}$ ,  $U'_{LNi}$ ) für die Piezoelemente (8, 9) zugeordnet und in einer Steuereinheit (3) abgelegt. Diese Steuereinheit (3) dient in einer vorteilhaften Ausgestaltung zur Ansteuerung der Betriebsparameter ( $P_E = f(l, t)$ ) der Antriebseinheit (5) der Welle (2).

[0033] Zusätzlich erfolgt die Definition der minimalen ( $U_{LEimin}$ ,  $U_{LNimin}$ ) und maximalen ( $U_{LEimax}$ ,  $U_{LNimax}$ ) Spannungswerte für die Piezoelemente (8, 9) entsprechend den gebildeten Lastkollektiven einschließlich deren Speicherung in der Steuereinheit (3). Im Rahmen des nächsten Verfahrensschrittes werden alle für den Betrieb der Welle (2) erforderlichen Randbedingungen, wie beispielsweise die Anbringung von Einrichtungen an die Wellennase oder die axiale Verspannung einer Einrichtung an der Wellennase mit Hilfe einer Pinole (nicht in Fig. 2 dargestellt), vorgenommen und die Piezoelemente (8, 9) erfassen im Sensorbetrieb diese eingestellten statischen Betriebsbedingungen an den Lagereinheiten (6, 7) und übertragen die ermittelten Werte ( $F_{LEi}$ ,  $s_{LEi}$ ,  $F_{LNi}$ ,  $s_{LNi}$ ) an die Steuereinheit (3).

[0034] Im nächsten Verfahrensschritt dienen diese Betriebsbedingungen als Grundlage für die Steuereinheit (3), um das jeweils eingestellte Lastkollektiv zu ermitteln. Dazu werden die vorgegebenen Drehmomentwerte ( $M_{d1} \sim l$ ) und Drehzahlwerte (15) aus der Ansteuerung des Antriebselementes (5) bestimmt ( $P_E = f(l, t)$ ) und die Temperaturen ( $T_{LE}$ ,  $T_{LN}$ ) an den Lagerpaketen (6, 7) ermittelt und zusätzliche auf die Welle (2) wirkende Kräfte ( $F_f$ ,  $F_A$ ,  $F_C$ ,  $F_{GF}$ ,  $F_{GW}$ ) durch die Piezoelemente (8, 9) im Sensorbetrieb ermittelt und daraus das jeweils aktuell einzustellende Lastkollektiv bestimmt. Zur Verstärkung der von den Piezoelementen (8, 9) aufgenommenen oder abgegebenen Spannungen wird ein Verstärker (4) in die Leitungsverbindung (4a) zur Steuerein-

heit (3) eingebunden. Zusätzlich erfolgt durch den Verstärker (4) eine Signalwandlung, aus den Spannungssignalen ( $U_{LEi}$ ,  $U_{LNi}$ ) der Piezoelemente (8, 9) werden Kraftsignale ( $F_{LEi}$ ,  $F_{LNi}$ ) und Wegsignale ( $s_{LEi}$ ,  $s_{LNi}$ ) für die Steuereinheit (3) gebildet. Aus den einzustellenden Kraftsignalen ( $F'_{LEi}$ ,  $F'_{LNi}$ ) und Wegsignalen ( $s'_{LEi}$ ,  $s'_{LNi}$ ) der Steuereinheit (3) werden durch Verstärker (4) der Piezoelemente (8, 9) einzustellende Spannungswerte ( $U'_{LEi}$ ,  $U'_{LNi}$ ) gebildet. Auf dieser Grundlage erfolgt durch die Steuereinheit (3) eine kontinuierliche Überwachung ( $U_{LEi}$ ,  $U_{LNi}$ ) und Einstellung der Spannungswerte ( $U'_{LEi}$ ,  $U'_{LNi}$ ) der Piezoelemente (8, 9), wobei die Lage der einzustellenden Spannungswerte innerhalb einer definierten und lastkollektivabhängigen Bandbreite ( $(U_{LEi\min} < U_{LEi} < U_{LEi\max})$ ,  $(U_{LNi\min} < U_{LNi} < U_{LNi\max})$ ) geprüft wird. Werden diese minimalen und maximalen Werte unterschritten oder überschritten, erzeugt die Steuereinheit (3) einen Warnhinweis oder gibt ein Signal zur Abschaltung des Wellenbetriebs ( $P_E = 0$ ) aus. Zur Sicherung eines störungsfreien Wellenbetriebes mit engen Betriebstoleranzen erfolgt ein ständiger Betriebsartwechsel der Piezoelemente (8, 9) zwischen Sensor- und Aktorbetrieb. Dadurch wird auch das Schwingungsverhalten der Welle (2) in der Weise überwacht, dass in der Steuereinheit (3) kritische Werte für Schwingfrequenzbereiche abgelegt sind und die Steuereinheit (3) bei Ermittlung von sich an diese Schwingfrequenzbereiche annähernden Parametern die Spannungswerte ( $U_{LEi}$ ,  $U_{LNi}$ ) der Piezoelemente (8, 9) so verändert, dass die ermittelten Werte für die Schwingfrequenz sich wieder von den abgespeicherten kritischen Parametern entfernen.

**[0035]** Durch Temperatursensoren (12, 13) werden die Temperaturen ( $T_{LE}$ ,  $T_{LN}$ ) an den Lagerpaketen (6, 7) durch die Steuereinheit (3) erfasst und in Abhängigkeit dieser Temperaturwerte ( $T_{LE}$ ,  $T_{LN}$ ) die eingestellten lastkollektivspezifischen Spannungswerte ( $U'_{LEi}$ ,  $U'_{LNi}$ ) der Piezoelemente (8, 9) verändert.

**[0036]** Die Steuereinheit (3) ermittelt in Abhängigkeit eines durch einen Drehwinkelgeber (11, 18) gemessenen Drehwinkels ( $\alpha_C$ ) der Welle (2) sowie der eingestellten lastkollektivspezifischen Spannungswerte ( $U'_{LEi}$ ,  $U'_{LNi}$ ) der Piezoelemente (8, 9) eine drehwinkelabhängige Verlagerung der Wellenachse sowie des Rund- und Planlaufes der Wellennase und korrigiert die Ausrichtung der Wellennase durch Änderung der lastkollektivspezifischen Spannungswerte ( $U'_{LEi}$ ,  $U'_{LNi}$ ) der Piezoelemente (8, 9).

**[0037]** Die Position in z-Richtung ( $s_N$ ) der Wellennase wird durch einen Positionssensor (10, 17) kontinuierlich ermittelt und an die Steuereinheit (3) übertragen.

- 1 Gehäuse
- 2 Welle
- 3 Steuereinheit
- 4 Verstärker der Piezoelemente
- 4a Verbindungsleitung Steuereinheit-Verstärker der Piezoelemente
- 5 Antriebseinheit der Welle
- 5a Verbindungsleitung Steuereinheit-Antriebseinheit der Welle
- 6 Lagerpaket Wellenende
- 7 Lagerpaket Wellennase
- 8 Piezoelemente Wellenende
- 8a Verbindungsleitung Piezoelemente Wellenende-Verstärker der Piezoelemente
- 9 Piezoelemente Wellennase
- 9a Verbindungsleitung Piezoelemente Wellennase-Verstärker der Piezoelemente
- 10 Messkopf Messsystem z-Achse
- 10a Verbindungsleitung Steuereinheit-Messkopf Messsystem z-Achse
- 11 Messkopf Messsystem c-Achse
- 11a Verbindungsleitung Steuereinheit-Messkopf Messsystem c-Achse
- 12 Temperaturfühler Lagerpaket Wellenende
- 12a Verbindungsleitung Steuereinheit-Temperaturfühler Lagerpaket Wellenende
- 13 Temperaturfühler Lagerpaket Wellennase
- 13a Verbindungsleitung Steuereinheit-Temperaturfühler Lagerpaket Wellennase
- 14 Koordinatenursprung Werkstück
- 15 Messkopf Drehzahlerfassungseinheit
- 16 Distanzring
- 17 Gebereinheit Messsystem z-Achse
- 18 Gebereinheit Messsystem c-Achse und Drehzahlreferenz
- $s_N$  Positionswert der Wellennase in der z-Achse
- $L_W$  Länge der Welle
- $D_{WLE}$  Durchmesser der Welle am Lagersitz Wellenende
- $D_{WLN}$  Durchmesser der Welle am Lagersitz Wellennase

$D_{LE}$  Durchmesser der Lager am Wellenende  
 $B_{LE}$  Breite der Lager am Wellenende  
 $D_{LN}$  Durchmesser der Lager an der Wellennase  
 $B_{LN}$  Breite der Lager an der Wellennase  
 $D_{PE}$  Durchmesser der Piezoeinheit am Wellenende  
 $B_{PE}$  Breite der Piezoeinheit am Wellenende  
 $D_{PN}$  Durchmesser der Piezoeinheit am Wellennase  
 $B_{PN}$  Breite der Piezoeinheit am Wellennase  
 $Md_1$  Eingangsdrehmoment  
 $n_1$  Eingangsdrehzahl  
 $s_{LE}$  Resultierender Weg der Piezoelemente Wellenende  
 $S_{LEi}$  Weg eines Piezoelementes Wellenende  
 $s'_{LE}$  Einzustellender resultierender Weg der Piezoelemente Wellenende  
 $S'_{LEi}$  Einzustellender Weg eines Piezoelementes Wellenende  
 $s_{LN}$  Resultierender Weg der Piezoelemente Wellennase  
 $S_{LNi}$  Weg eines Piezoelementes Wellennase  
 $s'_{LN}$  Einzustellender resultierender Weg der Piezoelemente Wellennase  
 $S'_{LNi}$  Einzustellender Weg eines Piezoelementes Wellennase  
 $P_E$  Eingestellte elektrische Leistung der Antriebseinheit der Welle  
 $F_{LE}$  Resultierende Kraft der Piezoelemente Wellenende  
 $F_{LEi}$  Kraft eines Piezoelementes am Wellenende  
 $F'_{LE}$  Einzustellende resultierender Kraft der Piezoelemente Wellenende  
 $F'_{LEi}$  Einzustellende Kraft eines Piezoelementes Wellenende  
 $F_{LN}$  Resultierende Kraft der Piezoelemente Wellennase  
 $F_{LNi}$  Kraft eines Piezoelementes an der Wellennase  
 $F'_{LN}$  Einzustellender resultierender Weg der Piezoelemente Wellennase  
 $F'_{LNi}$  Einzustellender Weg eines Piezoelementes Wellennase  
 $I$  Stromstärke  
 $t$  Zeit  
 $n$  Wellendrehzahl  
 $\alpha_C$  Winkelposition der c-Achse  
 $T_{LE}$  Temperatur Lagerpaket Wellenende  
 $T_{LN}$  Temperatur Lagerpaket Wellennase  
 $U_{LEi}$  Spannung eines Piezoelementes Wellenende  
 $U'_{LEi}$  Einzustellende Spannung für ein Piezoelement Wellenende  
 $U_{LNi}$  Spannung eines Piezoelementes Wellennase  
 $U'_{LNi}$  Einzustellende Spannung für ein Piezoelement Wellennase  
 $F_f$  Vorschubkraft  
 $F_A$  Zur Werkstückspannung eingestellte Axialkraft  
 $F_C$  Schnittkraft  
 $F_{GF}$  Gewichtskraft des Futters  
 $F_{GW}$  Gewichtskraft des Werkstückes

**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 10163089 C1 [0003, 0004]
- EP 1387736 B1 [0004]
- DE 102006059947 A1 [0005]
- DE 102005043945 A1 [0005]
- DE 102005009921 A1 [0005]
- DE 10308442 B3 [0006]
- DE 4000025 C2 [0007]

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Konditionierung von Lagersystemen für Wellen, wobei die Welle von einer Festlagereinheit und einer Loslagereinheit aufgenommen wird und über eine Steuereinheit das durch die Welle zu übertragende Drehmoment sowie die Drehzahl variabel eingestellt werden kann, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abmessungen der Welle und der Lagereinheiten an der Wellennase und am Wellenende bestimmt, die Drehmoment-Drehzahlbereiche festgelegt und daraus die geometrische Gestalt und die Einbaulage der Piezoelemente an den Lagerpaketen sowie die Grundvorspannkraft der Lagerpakete bestimmt werden sowie aus den Toleranzvorgaben für den Wellenbetrieb die Anzahl und die Aufteilung der Piezoelemente an den Lagerpaketen bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass aus den vorgegebenen Drehmoment- und Drehzahlwerten und/oder zusätzlichen Prozess- und/oder Gewichtskräften und/oder Lagerpakettemperaturen Lastkollektive gebildet werden und für diese Lastkollektive Spannungswerte für die Piezoelemente bestimmt und in der Steuereinheit abgelegt werden sowie minimale und maximale Spannungswerte für die Piezoelemente in der Steuereinheit gespeichert werden und/oder kontinuierlich die Position in z-Richtung der Wellennase durch einen Positionssensor ermittelt und an die Steuereinheit übertragen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung des jeweiligen Lastkollektives derart durch die Steuereinheit erfolgt, dass zuerst die Betriebsbedingungen ermittelt, danach die vorgegebenen Drehmoment-Drehzahlwerte aus der Ansteuerung des Antriebselementes bestimmt und/oder die Temperatur an den Lagerpaketen ermittelt und/oder zusätzliche auf die Welle wirkende Kräfte zugeordnet werden und daraus das jeweils aktuell einzustellende Lastkollektiv bestimmt wird und/oder vor dem Betrieb der Welle die Piezoelemente als Sensoren die eingestellten statischen Betriebsbedingungen an den Lagereinheiten erfassen und an die Steuereinheit übertragen.
4. Verfahren nach Anspruch 3 dadurch gekennzeichnet, dass in der Steuereinheit für wenigstens zwei lastkollektivabhängige Spannungswerte die zugehörigen Stromaufnahmewerte der Antriebseinheit gespeichert sind und in vorgegebenen Zeitabständen ein Selbsttest durch die Steuereinheit in der Art erfolgt, dass die gespeicherten Stromaufnahmewerte weniger als 10 Prozent von den jeweils ermittelten abweichen dürfen, anderenfalls erfolgt durch die Steuereinheit die Ausgabe eines Warnhinweises und/oder die Abschaltung des Wellenbetriebs.
5. Verfahren nach Anspruch 4 dadurch gekennzeichnet, dass ein bereitgestelltes Bearbeitungsprogramm in die Steuereinheit eingelesen und die enthaltenen Steuerungsbefehle von dieser in der Art interpretiert werden, dass die darin vorgegebenen Werkzeugwechselbefehle eine Ansteuerung der Piezoelemente hervorrufen, wobei eine satzweise Überwachung der Stromaufnahme der Antriebseinheit vor der Befehlszeile zum Werkzeugwechsel durch die Steuereinheit erfolgt und mit Verringerung der Stromaufnahme der Antriebseinheit die Steuereinheit durch Spannungsänderung an den Piezoelementen die Lagervorspannung unter Beachtung der jeweiligen Lastkollektive in der Art mitführt, dass vor dem Werkzeugwechsel die Lagervorspannung bis zu einem lastkollektivabhängigen Maximalwert erhöht wird und/oder nach erfolgtem Werkzeugwechsel die Steuereinheit den lastkollektivabhängigen minimalen Lagervorspannungswert bis zum Erreichen der Enddrehzahl der Welle einstellt.
6. Verfahren nach Anspruch 4 dadurch gekennzeichnet, dass die Änderung der Lagervorspannung durch eine Spannungsveränderung an mindestens einem Piezoelement, vorzugsweise am Festlager, erfolgt und/oder die Feinpositionierung der Welle durch Änderung der Spannungswerte an mindestens einem Piezoelement, vorzugsweise am Loslager, erfolgt und/oder die Steuereinheit die Schmierstoffzufuhr zu den Lagerpaketen der Welle in Abhängigkeit der jeweiligen Lastkollektive verringert oder erhöht und/oder die Steuereinheit die Spannungswerte für die Piezoelemente in Abhängigkeit der jeweils vorliegenden Lastkollektive und innerhalb der vorgegebenen Bandbreite zwischen minimalem und maximalem Spannungswert einstellt.
7. Verfahren nach Anspruch 6 dadurch gekennzeichnet, dass während des Wellenbetriebes ein ständiger Wechsel der Piezoelemente zwischen Sensor- und Aktorbetrieb erfolgt und dadurch das Schwingungsverhalten der Welle überwacht wird und/oder dass bei Annäherung an eine in der Steuereinheit abgelegte Schwingfrequenz die Spannungswerte der Piezoelemente durch die Steuereinheit so verändert werden, dass die ermittelten Werte für die Schwingfrequenz außerhalb des in der Steuereinheit gespeicherten Schwingfrequenzbereiches liegen.

8. Verfahren nach Anspruch 6 dadurch gekennzeichnet, dass durch Temperatursensoren die Temperaturen an den Lagerpaketen durch die Steuereinheit erfasst und in Abhängigkeit dieser Temperaturwerte die eingestellten lastkollektivspezifischen Spannungswerte der Piezoelemente verändert und/oder die Steuereinheit in Abhängigkeit eines durch einen Drehwinkelgeber ermittelten Drehwinkel der Welle die eingestellten lastkollektivspezifischen Spannungswerte der Piezoelemente verändert werden und/oder bei Unterschreiten oder Überschreiten der vorgegebenen Bandbreite der einzustellenden Spannungswerte der Piezoelemente die Steuereinheit einen Warnhinweis und/oder eine Abschaltung des Wellenbetriebs vornimmt.

9. Vorrichtung zur Konditionierung von Lagersystemen für Wellen dadurch gekennzeichnet, dass auf einer Welle (2) die Piezoelemente Wellennase (9), eine Antriebseinheit der Welle (5), die Piezoelemente Wellenende (8), eine Gebereinheit für das Messsystem c-Achse mit Drehzahlreferenz (18) montiert sind, wobei die Piezoelemente (9) Wellennase von einem Distanzring (16) aufgenommen werden, im Gehäuse (1) ein Messkopf für das Messsystem c-Achse (11, 18) und ein Messkopf der Drehzahlerfassungseinheit (15) angeordnet sind sowie sich Temperaturfühler am Lagerpaket Wellenende (12) und am Lagerpaket Wellennase (13) befinden und die Steuereinheit (3) über die Verbindungsleitung (4a) mit dem Verstärker der Piezoelemente (4) verbunden ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9 dadurch gekennzeichnet, dass sich eine Gebereinheit für das Messsystem z-Achse (17) im Gehäuse (1) befindet und im Bereich der Gebereinheit für das Messsystem z-Achse (17) ein Gehäusedurchbruch eingebracht ist und/oder die Piezoelemente Wellennase (9) zylinderförmig ausgebildet sind und axial auf eine federbelastete Druckplatte wirken.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

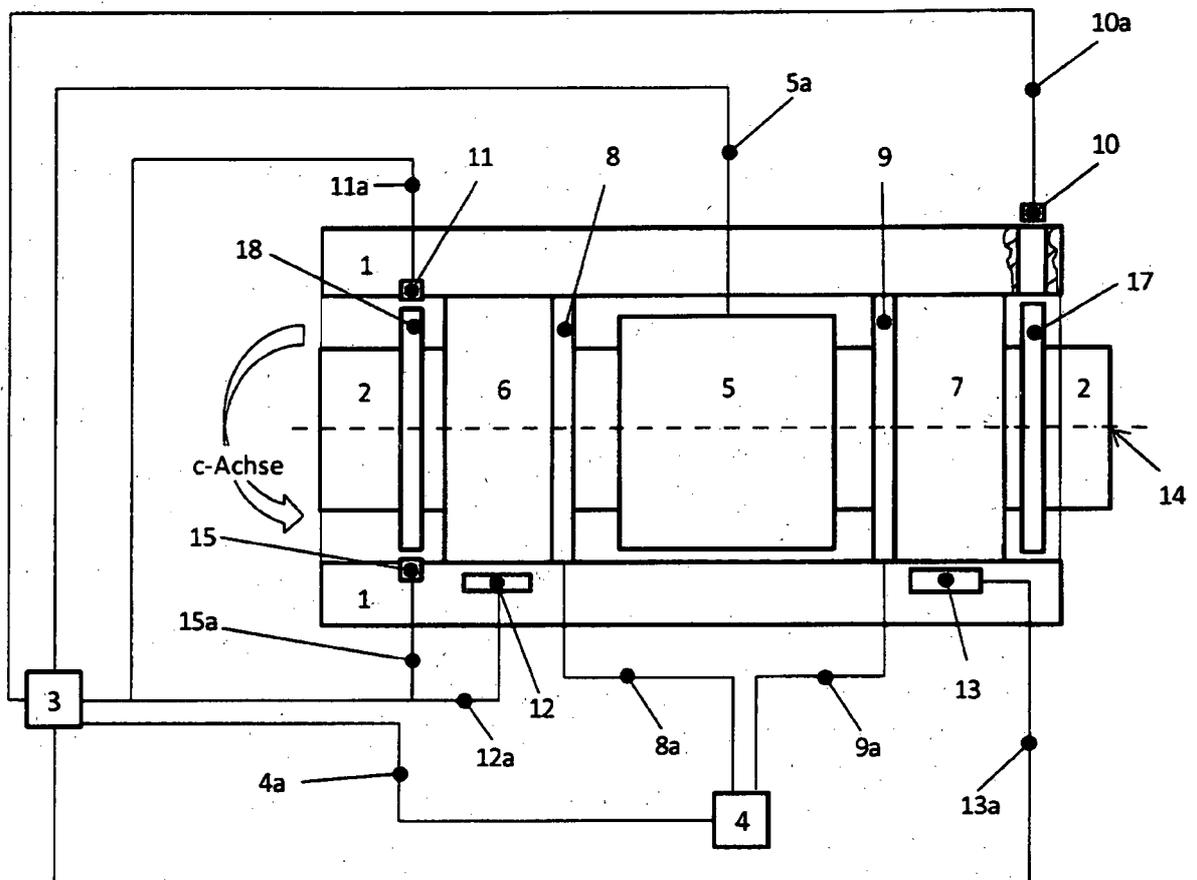


Fig. 1

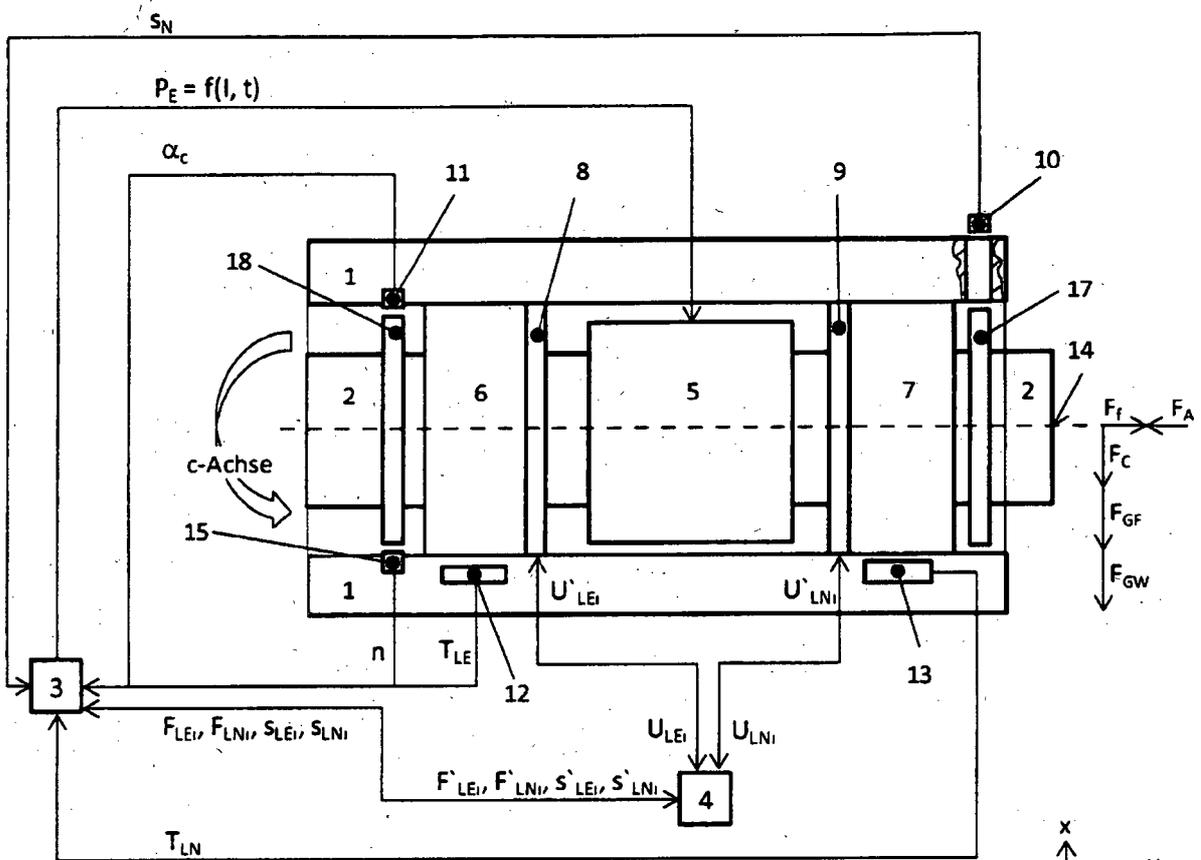


Fig. 2

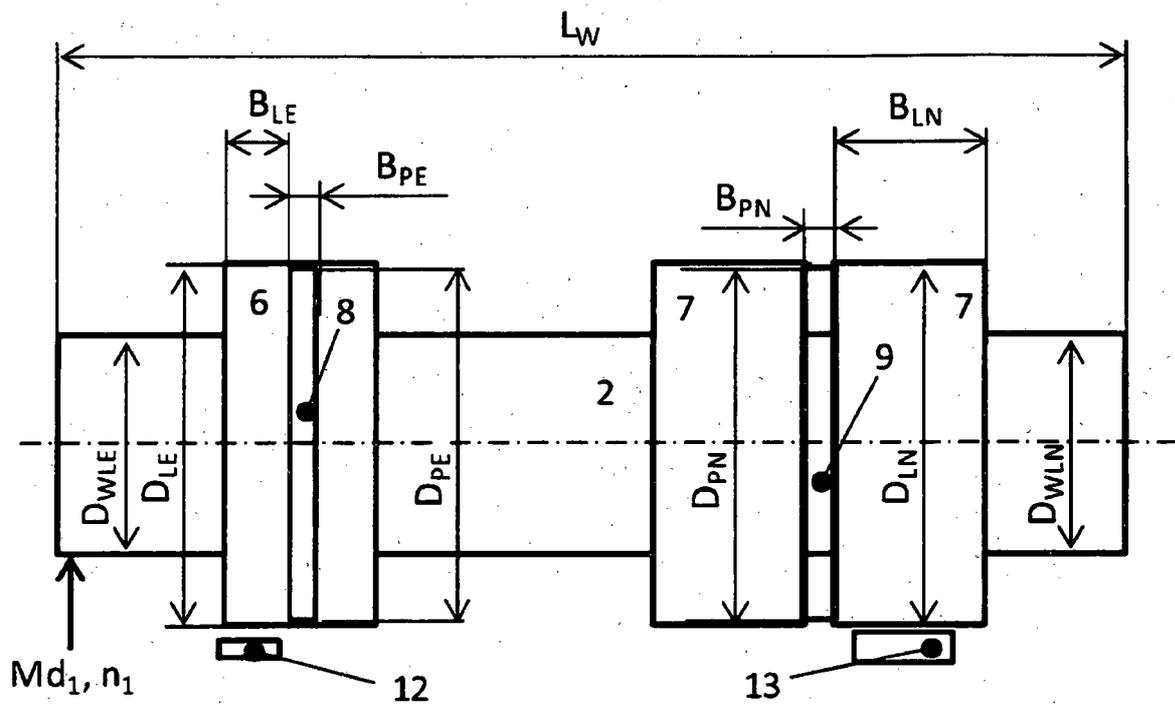


Fig. 3

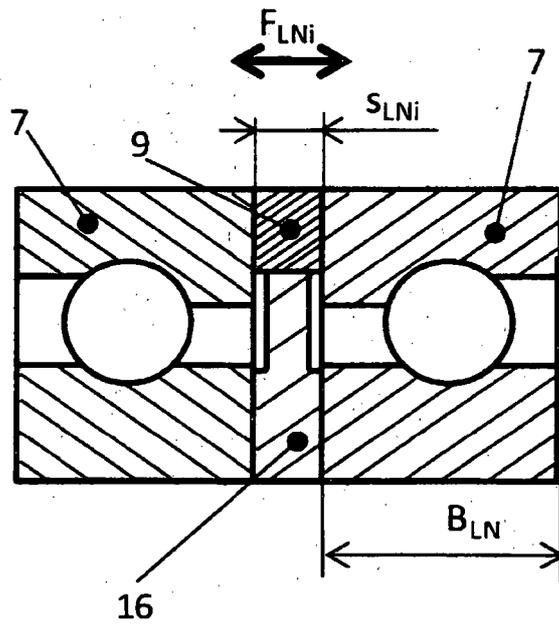


Fig. 4