



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 016 919 A1** 2007.10.11

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 016 919.0**

(22) Anmeldetag: **08.04.2006**

(43) Offenlegungstag: **11.10.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B23Q 17/00** (2006.01)

**G01B 7/14** (2006.01)

**G01B 13/12** (2006.01)

**G01B 7/28** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Nordmann, Klaus, Dr.-Ing., 50937 Köln, DE**

(72) Erfinder:  
**gleich Anmelder**

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

**EP 15 93 456 A1**

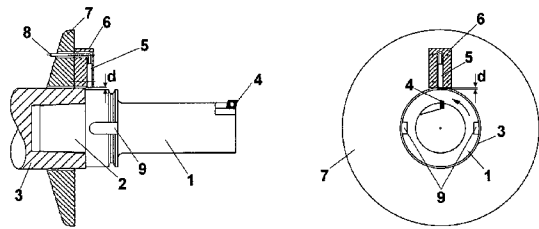
**EP 13 34 799 A1**

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

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Erkennung von Fremdkörpern im Spalt zwischen Werkzeug und Spindel in spanenden Werkzeugmaschinen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Überwachungseinrichtung zur Erkennung von Fremdkörpern im Spalt zwischen Werkzeug und Spindel in spanenden Werkzeugmaschinen, wobei die radiale und die axiale Position des in der Werkzeugspindel aufgenommenen Werkzeuges kontrolliert werden. Ein Wegaufnehmer auf Wirbelstrom- oder Staudruckbasis misst dazu den Abstand zum Werkzeug unmittelbar an der Schnittstelle Spindelende/Werkzeugaufnahme. Das angeschlossene Überwachungssystem speichert den Abstandsmesswert über mindestens eine Spindelumdrehung und umgibt diese Messkurve mit Grenzwerten, beispielsweise mit einer Hüllkurve. Das Überwachungssystem vergleicht nach einem erneuten Einwechseln des Werkzeuges diese Grenzwerte mit den dann gemessenen Abstandsmesswerten.



## Beschreibung

**[0001]** Bei der spanenden Bearbeitung von Werkstücken werden oftmals in die selbe Werkzeugspindel nacheinander verschiedene Werkzeuge entweder manuell oder mit einem automatischen Werkzeugwechsler eingewechselt. Hierbei kommt es vor, dass Fremdkörper wie beispielsweise Späne zwischen dem Werkzeug bzw. der Werkzeugaufnahme und dem das Werkzeug aufnehmenden Spindelende eingeklemmt werden. Dadurch dreht sich die Schneide des Werkzeuges nicht auf der gewünschten Kreisbahn, sondern je nach Lage des Fremdkörpers auf einer kleineren oder einer größeren Kreisbahn. Das Fertigmaß des dadurch bearbeiteten Werkstückes kann dadurch außerhalb der geforderten Toleranzen liegen.

**[0002]** Bisher gibt es zwar verschiedene Ansätze, aber keine wirklich zufriedenstellende Lösung, die das Vorhandensein der Fremdkörper im Spalt zwischen Werkzeug bzw. Werkzeugaufnahme und Spindel erkennt:

So wird beispielsweise pneumatisch der Spalt zwischen der Plananlage eines Werkzeuges und der aufnehmenden Spindel gemessen. Der entstehende Spalt muss eine Weite von mindestens 40 µm aufweisen, um erkannt zu werden. Radiale Verschiebungen des Werkzeuges infolge kleinster Späne auf dem Kegel des Werkzeuges werden dadurch aber leider nicht erkannt.

**[0003]** Desweiteren wurde versucht mit Schwingungsaufnehmern die Unwucht des in die Spindel eingewechselten Werkzeuges zu kontrollieren. Es stellte sich hierbei heraus, dass von vorneherein unwichtige Werkzeuge teilweise durch den Fremdkörper geometrisch in einer Weise ausgelenkt werden, dass sie mit Fremdkörper besser gewuchtet erschienen, oder aber die geometrische Verlagerung des Werkzeuges fand in einer Weise statt, dass sich der Wuchtzustand nicht ausreichend messbar veränderte.

**[0004]** Für beide Verfahren problematisch ist die Erkennung von Fremdkörpern mit einer Dicke von nur 10 bis 20 µm. Dieser minimale Spannfehler äußert sich weder ausreichend deutlich bei der pneumatischen Messung, noch bei der Unwuchtkontrolle. Vorne an der Werkzeugschneide kann sich dieser „kleine“ Spannfehler bei lang auskragenden Werkzeugen als Rundlauffehler in der Größenordnung von 0,1 mm auswirken, d. h. beispielsweise eine mit diesem Werkzeug ausgedrehte Bohrung würde im Durchmesser 0,2 mm größer als beabsichtigt. Eine solche Maßabweichung überschreitet in der Regel die z. B. im Motoren- oder Getriebebau geltenden Toleranzen deutlich.

**[0005]** Eine weitere Kontrollmethode erfasst die Po-

sition der Schneide relativ zu einem mechanischen Taster oder Laserstrahl. Hierzu muss das sich drehende Werkzeug zu dem Taster bzw. in den Laserstrahl gefahren werden. Dazu wird Zeit in der Größenordnung mehrerer Sekunden benötigt, wodurch sich die Einsatzdauer des einzelnen Werkzeuges unzulässig verlängert. Besonders wenn mehrere Werkzeuge in einem Bearbeitungszentrum auf Rundlauf geprüft werden müssen, ist die Erhöhung der Bearbeitungszeit für das gesamte Werkstück inakzeptabel hoch.

**[0006]** Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Kontrolle der Position des Werkzeuges relativ zur aufnehmenden Werkzeugspindel zu schaffen, die sowohl axiale als auch radiale Spannfehler infolge kleinster Fremdkörper in der Werkzeugaufnahme erkennt, und hierzu eine deutlich geringere bis keine zusätzliche Prüfzeit benötigt.

**[0007]** Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

**[0008]** Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

**[0009]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im Folgenden näher beschrieben.

**[0010]** Es zeigen:

**[0011]** Fig. 1: eine erfindungsgemäße Vorrichtung

**[0012]** Fig. 2: die Messkurve und deren Grenzwerte ohne Fremdkörper im Spalt zwischen Werkzeug und Spindel, aber mit einem natürlichen Rundlauffehler der Messspur

**[0013]** Fig. 3: die Messkurve und deren Grenzwerte mit einem 20 µm dicken Span zwischen Werkzeug und Spindel

**[0014]** Fig. 4: Messspur auf dem Werkzeug zur abschließlichen Erkennung von Rundlauffehlern infolge eines Spans zwischen dem Werkzeug und der Spindel. Der Span ist zur Verdeutlichung besonders dick gezeichnet.

**[0015]** Fig. 5: Verschiedene Anschrägungen der Messspur auf dem Werkzeug, um auch verschmutzungsbedingte axiale Verschiebungen des Werkzeuges zu erkennen. Der Schmutz in Form eines Spans ist zur Verdeutlichung besonders dick gezeichnet.

**[0016]** Das Werkzeug bzw. die Werkzeugaufnahme **1**, im Folgenden nur „Werkzeug“ genannt, steckt mit einem Kegel **2** in der dazu exakt passend innen geformten Werkzeugspindel **3**, im Folgenden nur „Spindel“ genannt. Die Schneide **4** des Werkzeuges **1** voll-

führt bei drehender Spindel eine Kreisbahn, deren Durchmesser sich in Abhängigkeit von Fremdkörpern im Spalt zwischen Kegel **2** und Spindel **3** ungewollt und zufällig ändert. Die Fremdkörper sind meistens Späne der vorangegangenen spanenden Werkstückbearbeitung. Sie gelangen beispielsweise über die Werkzeuge ins Magazin eines Bearbeitungszentrums und fallen dort auf weiter unten im Magazin befindliche Werkzeuge. Sie können aber auch schon durch die Hände des Maschinenbedieners beim erstmaligen Bestücken des Magazins auf den Kegel **2** des Werkzeuges gelangen.

**[0017]** Erfindungsgemäß wird nun neben dem Werkzeug ein berührungsloser Wegaufnehmer **5** mit einer Halterung **6** am Spindelgehäuse **7** befestigt. Er befindet sich vorzugsweise unmittelbar neben der Schnittstelle Werkzeug/Werkzeugspindel, um nicht mit dem zu bearbeitenden Werkstück zu kollidieren.

**[0018]** Dieser Wegaufnehmer erzeugt einen Messwert, der dem Abstand  $d$  zum Werkzeug **1** proportional ist. Über ein Kabel **8** gelangt der Messwert zu einer bildlich hier nicht dargestellten Überwachungseinrichtung. Der Wegaufnehmer kann entweder auf Wirbelstrombasis oder auf Staudruckbasis mit Medium Luft oder Wasser arbeiten. Diese Sensoren an sich sind Stand der Technik und brauchen hier nicht näher beschrieben zu werden, da sie selbst nicht Erfindungsgegenstand sind, sondern nur deren Verwendung in dieser Vorrichtung. Ein Staudrucksensor mit Kühlschmierstoff als Messmedium hat den Vorteil des Wegspulens eventuell auf dem Werkzeug durch getrocknete Kühlschmierstoffreste anhaftender Späne. Die Späne könnten sich genau zwischen Wegaufnehmer und Werkzeug befinden und den Abstandsmesswert verfälschen. Aber auch bei Verwendung eines Wirbelstromsensors oder einer Staudruckmessung mit Luft kann das Werkzeug vor der Messung mit einer externen Kühlschmierstoffdüse abgespült werden. Im Fall einer Werkzeugmaschine mit Trockenbearbeitung oder Minimalmengenschmierung ist die Abstandsmessung mit einem Staudrucksensor auf Luftbasis vorteilhaft, allerdings liefert ein Wirbelstromsensor die Messwerte in kürzerer Zeit. Die Entscheidung ist im Einzelfall zu treffen.

**[0019]** Die oft in den Werkzeugen vorhandenen Nuten **9** dienen dem lagerichtigen Wiedereinsetzen der Werkzeuge nach einem automatischen Werkzeugwechsel, d. h. damit die Werkzeuge beim selben Drehwinkel gespannt werden. Die Kenntnis des Drehwinkels des Werkzeuges ist beispielsweise zum Auslesen der Daten eines seitlich im Werkzeug eingegossenen Transponders (in [Fig. 1](#) nicht dargestellt) nötig.

**[0020]** Zur Kontrolle auf Rundlauffehler infolge Schmutz im Spalt zwischen Werkzeug und Spindel wird das Werkzeug um mindestens eine Umdrehung

gedreht und hierbei der Abstandsmesswert mehrfach aufgenommen und drehwinkel- bzw. umdrehungszeitbezogen gespeichert. In der Regel erfolgt diese Messung unmittelbar nach dem Einstecken in die Spindel, aber noch vor Beginn der Zerspanung, d. h. während des Hochlaufs der Spindel vom Stillstand auf die benötigte Arbeitsdrehzahl. Zur sicheren Datenerfassung ist der Hochlauf für die ersten Werkzeugumdrehungen mit geringerer Beschleunigung bzw. mit einer eingefügten niedrigen Prüfdrehzahl von beispielsweise 300 U/min über mindestens eine Werkzeugumdrehung zu unterbrechen, was einer Umdrehungszeit von 200 ms entspricht. Die Verzögerung eines normalen Spindelhochlaufs betrüge dann ca. eine halbe Sekunde, was steuerungstechnisch noch optimiert werden kann in Richtung 250 ms.

**[0021]** [Fig. 2](#) zeigt hierzu eine beispielhafte, aus mehreren Abstandsmesswerten **10** gebildete zusammenhängende Abstandsmesskurve **11**. Deutlich sichtbar sind zwei große Messwertausschläge durch die beiden Nuten **9** im Werkzeug. Die Messkurve zeigt in diesem Beispiel eine Sinuskurvenform aufgrund eines natürlichen, nicht schmutzbedingten Rundlauffehlers im Werkzeug, da die Werkzeuge nur mit endlicher Genauigkeit gefertigt werden, die Messwertauflösung aber im Mikrometerbereich liegt. Desweiteren können sich bei der Abstandsmessung mit einem Wirbelstromsensor Messwertunterschiede durch eine über den Werkzeugumfang nicht konstante elektrische Leitfähigkeit des Werkzeuges ergeben. Beide Umstände, und auch die im Werkzeug vorhandenen Nuten, verbieten eine simple Max-Min-Auswertung des Abstandsmesswertes, sondern erfordern einen drehwinkelbezogenen Vergleich mehrerer Abstandsmesswerte ohne/mit Schmutz mit dazu eingelernten Grenzwerten.

**[0022]** Um diesen Vergleich vollziehen zu können, werden Ober- und unterhalb der Abstandsmesswerte je ein Grenzwert **12** festgelegt bzw. von der Überwachungseinrichtung selbsttätig durch Zugabe und Abzug eines Offsets berechnet. Diese Grenzwerte können ihrerseits wieder zu einer „Hüllkurve“ **13** verbunden werden, um im Fall kleiner Drehwinkelschwankungen einen Grenzwertvergleich der Messkurve mit Zwischenwerten der ebenso drehwinkelabhängigen Grenzwerte zu ermöglichen.

**[0023]** [Fig. 3](#) zeigt nun beispielhaft eine Messkurve für den Fall eines 20  $\mu\text{m}$  dicken Schmutzpartikels (z. B. Metallspans) im Spalt zwischen Werkzeug und Spindel. Der Abstandsmesswert erhöht sich hierdurch partiell um 20  $\mu\text{m}$ , die mit einer Toleranz von 5  $\mu\text{m}$  eingelernten Hüllkurven werden verletzt und die Überwachungseinrichtung erzeugt ein Alarmsignal zum Stopp der Maschine.

**[0024]** [Fig. 4](#) zeigt als Überleitung zur [Fig. 5](#) einen Ausschnitt aus dem Bereich Werkzeug **1**, Wegauf-

nehmer **5** und Spindel **3**. Hier können vorwiegend nur radiale Auslenkungen infolge eines Spans **14** erkannt werden. Ein Span auf der Plananlage **15** eines Werkzeuges mit dem genormten Hohlschaftkegel (HSK) würde aufgrund der geringen Steigung des Kegels **2** nur ein geringe radiale Auslenkung des Werkzeuges im Bereich des Wegaufnehmers **5** verursachen, aber trotzdem über den Hebeleffekt bzw. Strahlensatz eine stärkere radiale Auslenkung der Schneide am anderen Ende des Werkzeuges bewirken.

**[0025]** Um auch einen Span **16** auf der Plananlage von Werkzeugen mit hoher Empfindlichkeit über den in radialer Richtung orientierten Wegaufnehmer zu bemerken, wird wie in [Fig. 5a](#)) gezeigt der Messspurbereich **17** in Form einer schrägen ringförmigen Erhebung ausgestaltet. In [Fig. 5b](#)) wurde durch Abschleifen der Ecke des Werkzeuges über den gesamten Werkzeugumfang eine Schräge geschaffen. Allerdings wird in der Variante gemäß [Fig. 5b](#)) der wirkliche Durchmesser der Plananlage verkleinert, was sich in einer verminderten Steifigkeit des Werkzeuges gegen Verbiegen äußern kann. [Fig. 5c](#)) zeigt deshalb eine Mischform als Kombination von Abschleifen und zusätzlich aufgebrachtem „Ring“, der auch gleich bei der Herstellung des Werkzeuges aus dem Vollen gearbeitet werden kann anstelle des nachträglichen Aufbringens eines Rings. Es stellt einen Kompromiss zwischen geringstmöglicher Steifigkeitsverringern und geringstmöglicher Durchmesservergrößerung dar.

**[0026]** Alternativ hat eine Rille anstatt einer Schräge für einen Wegaufnehmer auf Wirbelstrom- oder Staudruckbasis denselben Effekt. [Fig. 5d](#)) zeigt diese Ausführung mit der Rille **18**.

**[0027]** Wiederum alternativ zu der Anordnung von Schrägen auf dem Werkzeug kann der Wegaufnehmer vollständig oder teilweise in axialer Richtung messend angestellt werden, wobei ein auf dem Werkzeug befindlicher radialer Vorsprung (Ring) oder eine radiale Vertiefung (Rille) für den Wegaufnehmer die entsprechenden Messspuren bilden.

**[0028]** Die mit dieser Vorrichtung gewonnenen Messwerte können gewissen Verfälschungen durch Schwingungen oder Temperaturdriften unterliegen. Einerseits handelt es sich bzgl. einer Werkzeugumdrehung um kurzzeitige Störungen, andererseits im Fall der langsamen Veränderung über viele Werkzeugumdrehungen um langsame Störungen. Beide werden unterschiedlich in Ihrem Einfluss auf das Messergebnis wie folgt bekämpft:

Kurzzeitige Störungen werden entweder durch eine gleitende Mittelwertbildung (Glättung) der abstandsproportionalen Messwerte über jeweils einen Teilbereich des Werkzeugumfangs herausgefiltert, oder aber durch eine Mittelung über die Messwerte weiterer Werkzeugumdrehungen des jeweils selben

Umdrehungswinkels.

**[0029]** Langsame Störungen werden mit einer Hochpassfilterung des abstandsproportionalen Messwertes herausgefiltert.

**[0030]** Alternativ werden langsame Störungen herausgefiltert durch die Speicherung des zu Beginn der Messung vorhandenen momentanen Abstandsmesswertes als Referenzwert, und dessen Subtraktion von den folgenden Messwerten. Dieses Verfahren wird noch besser, wenn der Referenzwert nicht der momentane Abstandsmesswert zu Beginn der Messung ist, sondern aus dem mittleren abstandsproportionalen Messwert mindestens einer gesamten Werkzeugumdrehung gebildet wird, wobei die großen Messwertausschläge im Bereich der Nuten, die keine Information über die langsame Störung beinhalten, nicht für die Mittelwertbildung berücksichtigt werden dürfen.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Werkzeug (bzw. Werkzeugaufnahme)
<b>2</b>	Kegel
<b>3</b>	Spindel
<b>4</b>	Schneide des Werkzeuges
<b>5</b>	Wegaufnehmer auf Wirbelstrom- oder Staudruckbasis
<b>6</b>	Halterung des Wegaufnehmers
<b>7</b>	Spindelgehäuse
<b>8</b>	Kabel des Wirbelstrom-Wegaufnehmers bzw. Druckmessschlauch des Staudruckaufnehmers
<b>9</b>	Nut im Werkzeug <b>1</b>
<b>10</b>	abstandsproportionale Messwerte
<b>11</b>	zur Messkurve verbundene Messwerte
<b>12</b>	Grenzwerte
<b>13</b>	zur Hüllkurve verbundene Grenzwerte
<b>14</b>	Span auf dem Kegel
<b>15</b>	Plananlage des Werkzeuges
<b>16</b>	Span auf der Plananlage
<b>17</b>	schräge Messspur
<b>18</b>	Rille in der Messspur
<b>d</b>	Abstand zwischen Wegaufnehmer <b>5</b> und Werkzeug <b>1</b>

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Überwachung der Rundlauffehler oder des Axialversatzes von Zerspanungswerkzeugen infolge von Fremdkörpern im Spalt zwischen Werkzeug bzw. Werkzeugspannfutter und der aufnehmenden Werkzeugspindel, gekennzeichnet dadurch, dass ein Abstandssensor einen dem Abstand zum Werkzeug bzw. Werkzeugspannfutter proportionalen Wert misst, und dass mehrere Abstandsmesswerte über mindestens eine Umdrehung des Werkzeuges gespeichert und daraufhin mit Grenzwerten versehen werden, und dass diese Grenzwerte

te drehwinkel- oder umdrehungszeitbezogen mit den Abstandsmesswerten nach einem erneuten Einwechseln des Werkzeuges verglichen werden, und dass bei Verletzung eines Grenzwertes ein Alarmsignal zwecks Meldung einer Toleranzüberschreitung bzgl. Rundlauffehler oder axialem Versatz ausgegeben wird.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass der Abstandssensor sich unmittelbar neben der Schnittstelle Werkzeug bzw. Werkzeugspannfutter/Werkzeugspindel befindet.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass der Abstandssensor ein Wegaufnehmer auf Wirbelstrombasis ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass der Abstandssensor ein Wegaufnehmer auf Staudruckbasis ist, der mit Luft oder Flüssigkeit, beispielsweise Kühlschmierstoff betrieben wird.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass die Abstandsmessung während der ersten Umdrehungen des Hochlaufs der Spindel erfolgt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass eine Messkurve aus den abstandsproportionalen Messwerten als Ordinate über den Umfang oder die Umdrehungszeit des Werkzeuges als Abszisse gebildet wird, und die Grenzwerte durch eine nahezu äquidistant oberhalb und/oder unterhalb einer Abstandsmesskurve liegende Hüllkurve repräsentiert werden, die mit einem vorgebbaren Abstand in Abstandsrichtung und mit einem weiteren vorgebbaren Abstand in Zeitrichtung eingelernt wird.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Verbesserung der Erkennung von Fremdkörpern auf der axialen Anlage („Plananlage“), die im wesentlichen einen axialen Versatz des Werkzeuges bewirken, gekennzeichnet dadurch, dass die Messspur, d. h. der dem Abstandssensor gegenüberliegende Bereich des Werkzeuges bzw. des Werkzeugspannfutters, durch eine Nut oder ringförmige Erhebung oder mit einer Schräge versehen wird.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1 und Unteranspruch 7, gekennzeichnet dadurch, dass der Abstandssensor gegenüber der Nut oder der ringförmigen Erhebung in zum Teil radialer und zum Teil axialer oder auch vollständig axialer Richtung angeordnet wird, so dass sich sowohl radiale als auch axiale Abstandsänderungen im abstandsproportionalen Messwert auswirken.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass zur Vermeidung von Falschalarmen durch Schwingungen oder anderer bzgl. der Umdre-

hungszeit kurzzeitiger bzw. hochfrequenter Störungen, die abstandsproportionalen Messwerte über einen Teil des Werkzeugumfangs, bzw. der Drehung entsprechenden Zeit, gemittelt werden.

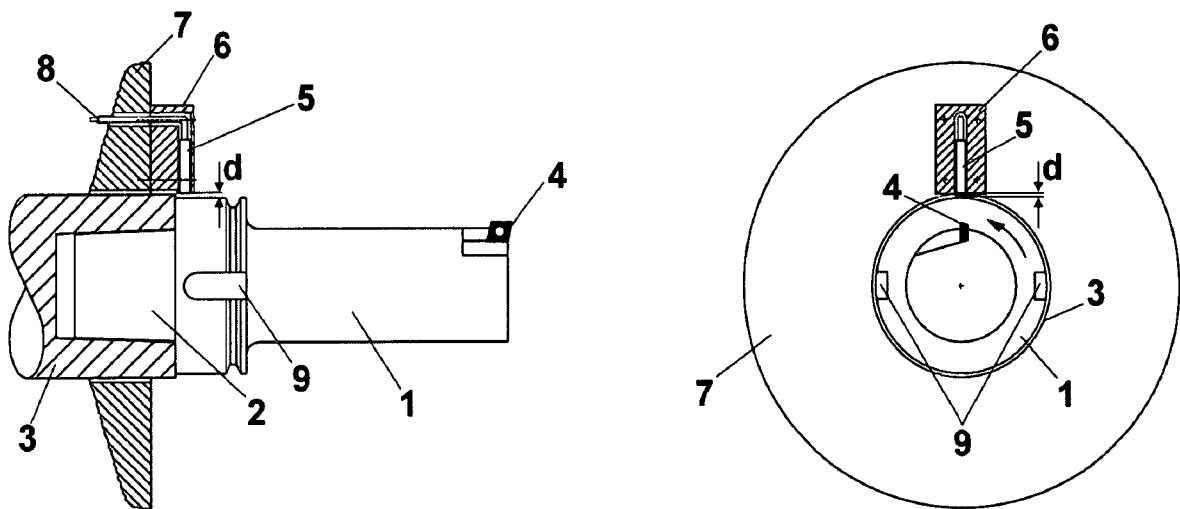
10. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass zur Vermeidung von Falschalarmen durch Schwingungen oder andere bzgl. der Umdrehungszeit kurzzeitige bzw. hochfrequente Störungen, die abstandsproportionalen Messwerte über die Messwerte weiterer Umdrehungen des jeweils selben Umdrehungswinkels gemittelt werden.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass zur Kompensation angeblicher Abstandsänderungen infolge Temperaturdrift oder anders verursachter, bzgl. der Messung langsamer Störungen, die Messkurve hochpassgefiltert wird, so dass sich die Messwertänderungen infolge Rundlauffehler noch im Messergebnis zeigen, hingegen aber quasistatische, von der störenden Messwertdrift beeinflusste Signalanteile vom Filter nicht durchgelassen werden.

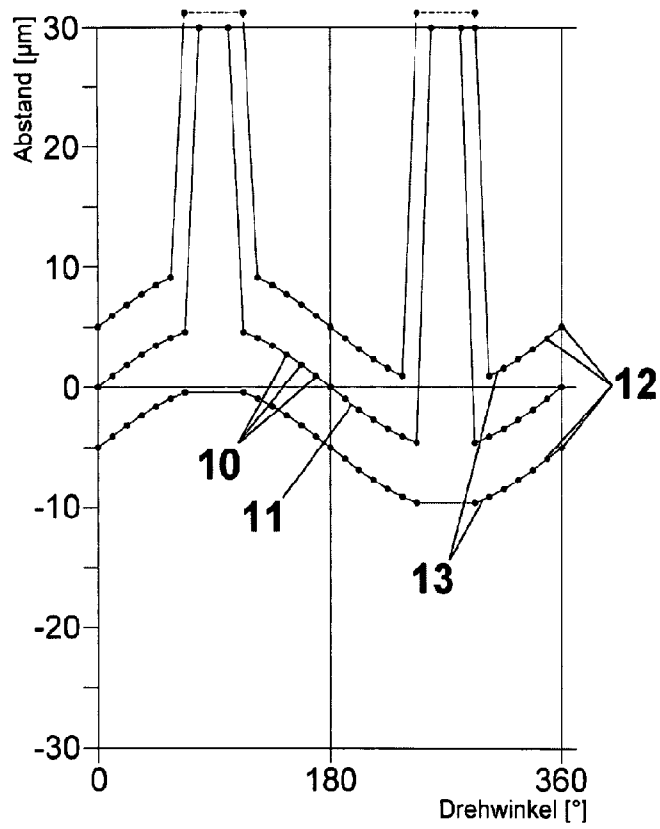
12. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass zur Kompensation von Abstands-messwertänderungen infolge Temperaturdrift oder anders verursachter, bzgl. der Messung langsamer Störungen, der zu Beginn der Drehbewegung des Werkzeuges erfasste momentane abstandsproportionale Messwert als Referenzwert gespeichert und von den folgenden Messwerten subtrahiert wird.

13. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass zur Kompensation angeblicher Abstandsänderungen infolge Temperaturdrift oder anders verursachter, bzgl. der Messung langsamer Störungen, der aus einer gesamten Drehbewegung gemessene und berechnete mittlere abstandsproportionale Messwert als Referenzwert gespeichert und von der Messkurve subtrahiert wird.

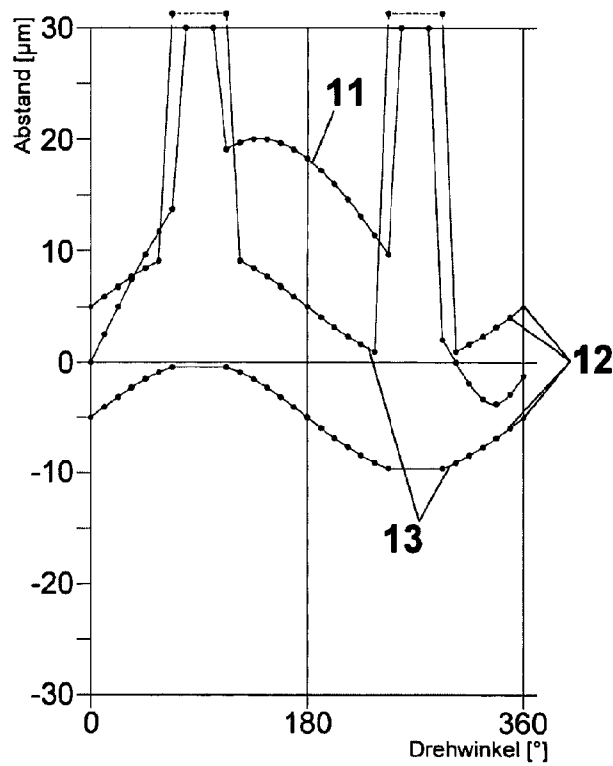
Es folgen 4 Blatt Zeichnungen



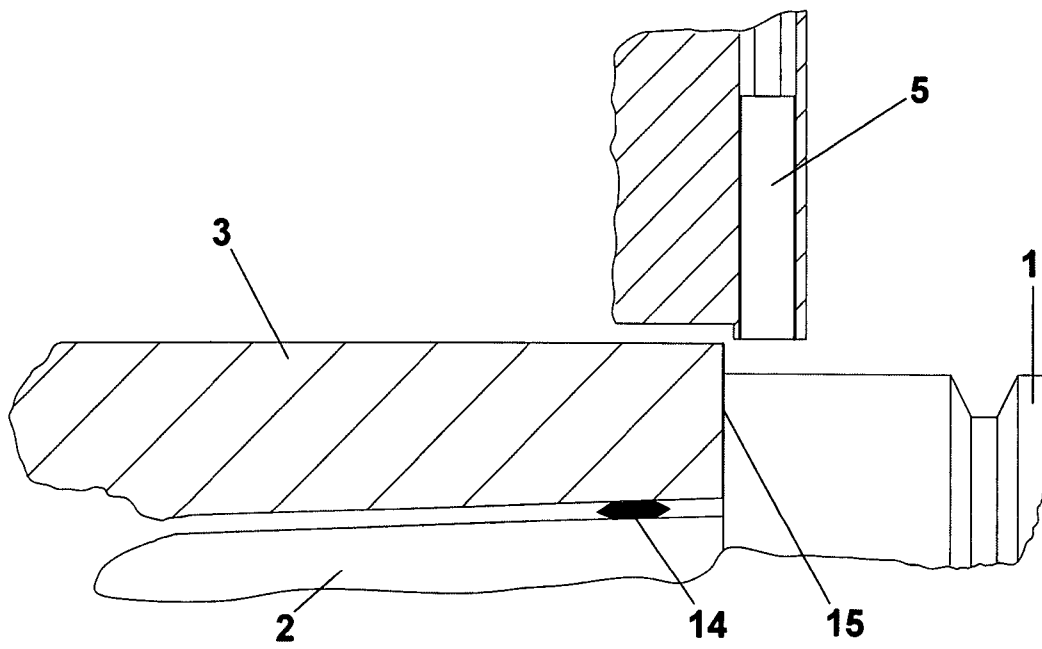
**Fig. 1**



**Fig. 2**

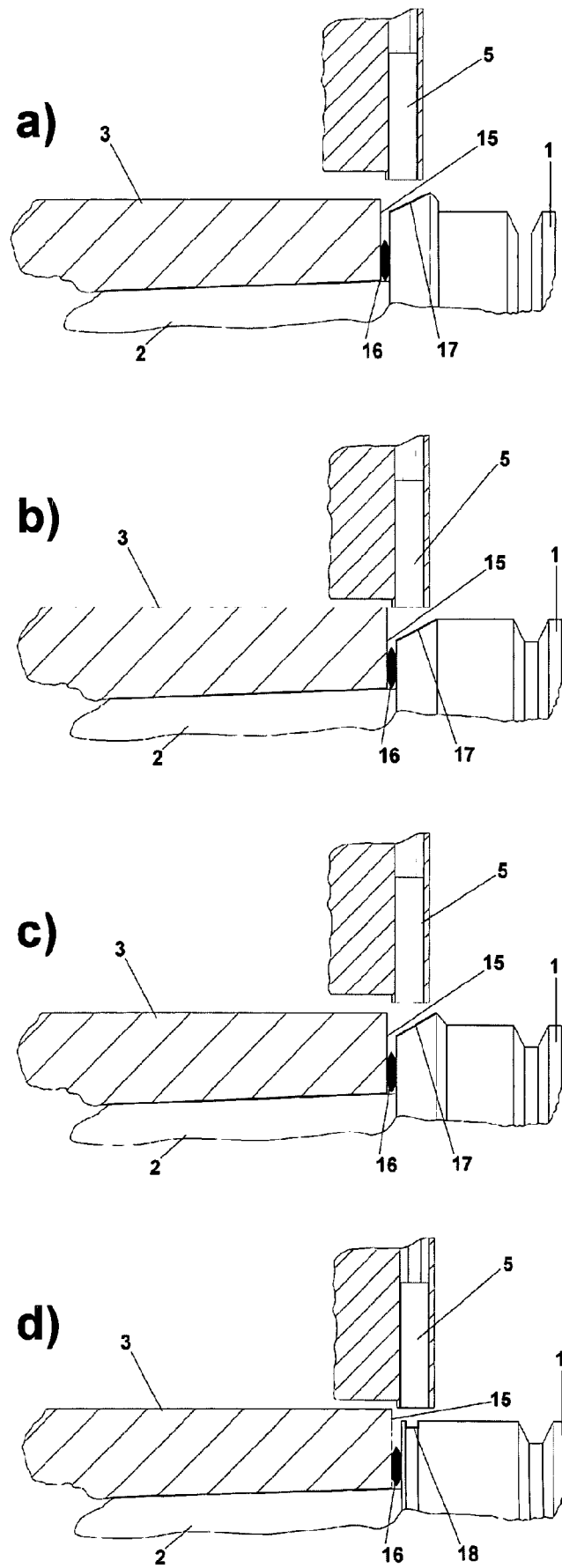


**Fig. 3**



**Fig. 4**





**Fig. 5**