



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 196 21 185 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
G 01 L 3/00

21 Aktenzeichen: 196 21 185.9
22 Anmeldetag: 28. 5. 96
43 Offenlegungstag: 4. 12. 97

DE 196 21 185 A 1

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

72 Erfinder:
gleich Anmelder

56 Entgegenhaltungen:
DE 31 12 714 C1
DE 29 39 620 C2
DE 43 23 960 A1
DE 42 10 990 A1
DE 38 18 449 A1
DE 84 32 283 U1
US 44 92 906
US 44 32 245
US 41 93 720
US 41 88 821

US 41 82 168
US 24 32 900
US 22 60 036

JP 4-27834A, Patents Abstracts of Japan, Sect. P,
Vol. 16, Nr. 193, 1992;
JP 5-231968A, Patents Abstracts of Japan, Sect.
P, Vol. 17, Nr. 681, 1993;
JP 5-172663A, Patents Abstracts of Japan, Sect.
P, Vol. A, Nr. 585, 1993;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zur berührungslosen Drehmomentmessung für die Werkzeugüberwachung mit Hilfe berührungsloser Wegaufnehmer

57 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur berührungslosen Messung der auf Werkzeugspindeln, Werkstückspindeln, Werkzeug- oder Werkstückhalter wirkenden Drehmomente ausschließlich mit Hilfe berührungsloser Wegaufnehmer. Je nach Einbausituation und Elastizität der Spindeln und Spindellager werden die Wegaufnehmer unterschiedlich angeordnet, um entweder die Verdrillung über die Multiplikation der hochpaßgefilterten Signale zweier Wegaufnehmer, die Zeitverschiebung der hochpaßgefilterten Signale zweier Wegaufnehmer, die radiale Verlagerung an der Antriebsstelle oder die Längenänderung einer insbesondere wendelförmig genuteten Spindel zu erfassen.

DE 196 21 185 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur berührungslosen Messung der auf Werkzeugspindeln, Werkstückspindeln, Werkzeug- oder Werkstückhalter wirkenden Drehmomente nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Es ist bekannt, daß sich Zerspanungswerkzeuge mit Hilfe von Drehmomentmessungen hinsichtlich Schneidenschleiß und Schneidenbruch überwachen lassen. Hierzu werden bisher Dehnungsmeßstreifen auf speziell geschwächte Stellen der Werkzeugspindeln oder Werkzeughalter (Spannfutter) appliziert. Der Meßwert wird telemetrisch übertragen. Die telemetrische Übertragung erfordert Übertragungselemente unmittelbar neben dem präparierten Werkzeughalter. Hierdurch besteht die Gefahr, daß sich Späne zwischen den Übertragungsspalt setzen, oder daß das Wechseln der Werkzeuge durch die zusätzlichen Halterungen behindert wird. Außerdem erfordert die Dehnungsmeßstreifentechnik Dehnungen, welche im Fall einer Kollision oder im Fall eines schweren Werkzeugbruches die Beschädigung des Halters oder das Ablösen der Dehnungsmeßstreifen zur Folge haben können. Ein weiterer Nachteil sind die hohen Kosten des elektronischen Werkzeughalters, der zudem mehrfach pro Werkzeugspindel vorgehalten werden muß, da üblicherweise die Werkzeuge zusammen mit voreingestellten Werkzeughaltern ausgetauscht werden.

Erfindungsgemäß wird das Drehmoment dagegen ohne das Erfordernis an der Spindel oder am Werkzeughalter vorhandener elektronischer Komponenten ermittelt, indem drehmomentproportionale Verformungen mit berührungslosen Wegaufnehmern gemessen werden. Diese können sowohl im Bereich der Werkzeughalter, aber auch in der Nähe der Werkzeug- oder Werkstückspindeln und damit weiter vom Spänebereich entfernt angeordnet werden. Unter Wegaufnehmern werden allgemein berührungslose Sensoren verstanden, welche z. B. kapazitiv, induktiv oder optisch einen dem Abstand proportionalen analogen oder digitalen Meßwert erzeugen. Eine lineare Abhängigkeit zwischen dem Abstand und dem erzeugten Meßwert ist nicht erforderlich, da eine Linearisierung, falls benötigt, auch in der nachfolgenden digitalen Auswerteschaltung erfolgen kann. Insbesondere die heute möglichen kleinen Baugrößen der Wegaufnehmer und die Meßwertauflösung von Wegaufnehmern auf Wirbelstrombasis und deren Auswerteschaltung im Bereich von $0,01 \mu\text{m}$ waren Grundlage und Bedingung für diese Erfindung.

Bei der erfindungsgemäßen Anwendung von hochempfindlichen berührungslosen Wegaufnehmern zur Drehmomentmessung sind verschiedene Verfahren möglich, welche sich alle vom Stand der Technik der Werkzeugüberwachung unterscheiden und spezielle Vorteile im jeweiligen Anwendungsfall haben:

1.) Fig. 1 zeigt eine Werkzeug- oder Werkstückspindel 1, auf die ein Drehmoment M_t wirkt. An zwei in axialer Richtung möglichst weit voneinander entfernten Stellen sind gleichmäßig über den Umfang verteilte Vertiefungen bzw. Erhebungen 2 und 3 eingebracht oder aufgesetzt. An diesen Markierungen werden mit 2 berührungslosen Wegaufnehmern 4 und 5 bei drehender Spindel periodische Abstandssignale gewonnen, die eine sinus- bis rechteckförmige Kurvenform aufweisen. Der Drehmomentmeßwert wird nun mit zwei verschie-

denen Methoden gewonnen, welche beide auf der Veränderung der Phasenlage zwischen beiden Abstandsmeßkurven beruhen:

a) (s. Patentanspruch 2): Die Meßwerte der beiden Wegaufnehmer 4 und 5 werden erfindungsgemäß zunächst zur Ausfilterung des statischen Abstandsanteils hochpaßgefiltert. Anschließend werden diese vom Gleichanteil befreiten Signale miteinander multipliziert. Das aus einem Gleich- und Wechselanteil bestehende Produkt wird mit einem Tiefpaßfilter geglättet, d. h. es wird auf den Gleichanteil reduziert. Eine Veränderung der Phasenlage infolge sich verändernden Drehmoments bewirkt ebenso eine Veränderung dieses Gleichanteils, d. h. das Drehmoment ist auf diese einfache Weise meßbar. Vorzugsweise werden die Wegaufnehmer oder die Markierungen so angebracht, daß im drehmomentfreien Zustand die Phasenverschiebung zwischen den Abstandssignalen beider Wegaufnehmer annähernd oder genau 90° beträgt. Die Multiplikation ergibt dann ein Signal mit einem nahe oder genau bei Null liegenden Gleichanteil. Bei einer Drehmomentbelastung der Spindel steigt bei dieser Ausgangsphasenlage der Gleichanteil des Produktes der beiden hochpaßgefilterten Wegaufnehmersignale besonders deutlich an.

b) (s. Patentanspruch 3): Die Meßwerte der beiden Wegaufnehmer 4 und 5 werden wie bei vorgenanntem Verfahren hochpaßgefiltert, um den statischen Abstandsanteil auszufiltern. Daraufhin wird die drehmomentabhängige Phasenverschiebung der beiden hochpaßgefilterten Wegaufnehmersignale ermittelt, indem der Zeitunterschied zwischen den Nulldurchgängen dieser Signale gemessen wird. Zur Neuheit dieser Methode ist anzumerken, daß zwar bekannt ist, daß Drehmomente mit der Änderung von Zeit-, Winkel- oder Phasenverschiebungen gemessen werden, nur werden hierzu Feldplattelemente, Hallelemente, induktive oder optische Schalter verwendet. Allen gemeinsam ist eine Abhängigkeit des Meßwertes von radialen und axialen Verlagerungen der Spindel infolge von Radial- und Vorschubkräften, welche in der Regel ebenfalls auf Bohrer und Fräser wirken. Der störende Einfluß dieser Kräfte auf den Drehmomentmeßwert wird erfindungsgemäß vermieden über die Verwendung eines berührungslosen Wegaufnehmers, der auf axiale Verschiebungen nicht reagiert, und der Hochpaßfilterung des Abstandsmeßwertes, welche statische Abstandsänderungen zwischen Wegaufnehmer und Spindel (d. h. in radialer Richtung der Spindel) ausfiltert.

Ein für die Verfahren a und b gemeinsamer Vorteil ist die Umsetzung dieser Meßtechnik mit sehr einfachen Mitteln. Als periodische Markierungen dienen z. B. schon vorhandene Spindelmuttern oder es können handelsübliche Sechskantmuttern innen aufgedreht und entweder durch Erhitzen aufgeschumpft oder mit Hilfe einer seitlich eingebrachten Madenschraube auf die Spindel geklemmt werden.

Falls ein Motor über ein Getriebe mehrere Spindeln antreibt, so braucht nur je ein Wegaufnehmer pro Spindel vorgesehen werden. Der zweite Wegaufnehmer muß nicht an der jeweiligen Spindel angebracht werden, sondern er kann auch an der Antriebswelle des gemeinsamen Motors seinen Platz finden. Ein Drehzahlunterschied wird über ein entsprechendes Verhältnis der An-

zahl Markierungen ausgeglichen, so daß bei allen Wegaufnehmern die gleiche Frequenz gemessen wird.

2.) (s. Patentanspruch 4) Wenn die Spindel über ein Zahnrad oder einen Zahn- oder Keilriemen angetrieben wird, so bewirkt ein Drehmoment eine radiale und meßbare Verlagerung der Spindel in der Nähe der Antriebsstelle infolge der Spindelbiegung und der Elastizität der Spindellagerung.

Fig. 2 zeigt hierzu als Beispiel die Anordnung einer Werkzeugspindel 1 mit einem Antriebszahnradpaar 2, 3 unter Belastung mit einem Drehmoment Mt.

Erfindungsgemäß wird mit nur einem berührungslosen Wegaufnehmer 4 die radiale Auffederung der Werkzeug- oder Werkstückspindel am Ort des Spindeltriebs gemessen. Da der Wegaufnehmer eine Auflösung von $0,01 \mu\text{m}$ aufweist, ist die Messung sehr kleiner Drehmomente möglich.

Alternativ kann mit dem in Fig. 2 gezeigten Wegaufnehmer 5 die radiale elastische Verlagerung des Spindellager-Außenrings gemessen werden, wenn die radiale Aufnahme des Spindellagers an dieser Stelle über etwa 30° des Lagerumfangs um mindestens $10 \mu\text{m}$ radial ausgespart wurde und somit ein radiales Federn des Spindellageraußenrings um mindestens $0,05 \mu\text{m}$ ermöglicht wird (bei einer Auflösung des Wegaufnehmers mit Meßschaltung von $0,01 \mu\text{m}$). Je nach Höhe des Drehmoments bzw. der damit einhergehenden Radialkraft kann auf die Aussparung im Bereich der Meßstelle verzichtet werden, wenn schon die Wandung des Spindelgehäuses 8 zwischen der Klemmschraube 7 und dem Außenring des Lagers 6 eine ausreichende Elastizität aufweist.

Die Wegaufnehmer 4 und 5 in Fig. 2 können natürlich ebenso an der Spindel oder am Spindellager des Antriebszahnrades montiert werden. Die Entscheidung wird anhand der baulichen Begebenheiten und der Elastizität der Spindeln, Lager und Spindelgehäusewandungen getroffen.

3.) (s. Patentanspruch 5) Wenn die Werkzeug- oder Werkstückspindel über eine Schrägverzahnung angetrieben wird, so entsteht bei Drehmomenteinleitung eine Axialkraft, welche aufgrund der Elastizität der Spindellagerung, der Spindel oder des schrägverzahnten Antriebszahnrades eine Axialverlagerung zur Folge hat. Fig. 2 zeigt hierzu Wegaufnehmer 9 und 10, welche diese Axialverlagerungen messen. Beim Wegaufnehmer 10 ist ein immer etwas vorhandener unrunder Lauf des Zahnrades über einen Tiefpaßfilter wegzuglätten. Die Messung kann natürlich auch am Zahnrad 2 der Antriebsspindel oder an der Antriebsspindel selbst oder an deren Spindellager gemessen werden.

4.) (s. Patentanspruch 6) Erfindungsgemäß kann mit einem Wegaufnehmer unabhängig von der Antriebsart auch eine drehmomentproportionale Längenänderung oder die axiale Verlagerung eines Endes einer Werkzeug- oder Werkstückspindel gemessen werden, wenn diese Spindel ein Querschnittsprofil aufweist, welches bei Drehmomentaufbringung eine Längenänderung bewirkt. Dies ist z. B. eine Wendelform, welche entweder in die Spindel eingebracht oder mit einer Hülse aufgesetzt bzw. zwischengeflanscht wird. Ein drehmomentbedingtes Verdrillen der Spindel bewirkt zwangsläufig auch eine Längenänderung der Spindel.

Fig. 3 zeigt hierzu beispielhaft eine mit dem Drehmoment Mt belastete Spindel 1 mit wendelförmigen Nuten 2, radialen Überständen 3, 4 zur Abstandsmessung in axialer Richtung mit den Wegaufnehmern 5, 6 und 7.

Von diesen Wegaufnehmern sind entweder nur einer oder maximal 2 pro Spindel anzuwenden:

Wenn das in Fig. 3 gezeigt rechte Spindelende in axialer Richtung fest gelagert ist und nur das linke Spindelende eine Axialbewegung ausführen kann, dann ist die Anwendung nur des Wegaufnehmers 5 ausreichend.

Sind jedoch beide Spindelenden in axialer Richtung mit losem Spiel versehen in einer Größenordnung, welche die Meßwertqualität bei Verwendung nur eines Wegaufnehmers stören würde, so kann der Einfluß dieser Axialverschiebung eliminiert werden mit Verwendung von zwei Wegaufnehmern 5 und 6 oder 5 und 7 durch Addition 5 plus 6 oder Subtraktion 5 minus 7 (s. Patentanspruch 7).

Allen Verfahren gemein ist die besonders einfache Handhabung bei der Montage, die Unzerstörbarkeit bei Überlast ohne Einschränkung bzgl. der Verfahren 1.a, 1.b, 3. und 4. Verfahren 2 ist ebenso überlastsicher, wenn nicht die Spindel selbst genutzt wird, sondern eine wendelförmige genutete Hülse mit größerer Elastizität als die Spindel aufgesetzt wird. Eine Verringerung der Torsionssteifigkeit der Spindel wird mit diesen Verfahren ebenso vermieden.

Patentansprüche

1. Verfahren und Vorrichtung zur berührungslosen Messung der auf Werkzeugspindeln, Werkstückspindeln, Werkzeug- oder Werkstückhalter wirkenden Drehmomente, **dadurch gekennzeichnet**, daß die aus der Elastizität dieser Maschinenteile selbst sich ergebenden drehmomentproportionalen Verdrillungen, radialen oder axialen elastischen Verlagerungen mit berührungslosen Wegaufnehmern und einer Auswerteschaltung zur hochempfindlichen Erfassung von Abständen und Abstandsänderungen erfaßt werden.

2. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein der Spindel- oder Werkzeug- bzw. Werkstückhalterverdrillung proportionaler Meßwert über die Multiplikation und anschließende Tiefpaßfilterung der Signale zweier berührungsloser Wegaufnehmer gewonnen wird, welche an zwei axial versetzten Stellen der Spindel periodische und zur Ausfilterung des statischen Signalanteils und nicht drehmomentabhängiger radialer Abstandsänderungen hochpaßgefilterte Signale an gleichmäßig über den Umfang der Spindel verteilten Vertiefungen oder/und Erhöhungen gewinnen.

3. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein der Spindel- bzw. Werkzeug- oder Werkstückhalterverdrillung proportionaler Meßwert über die Zeitverschiebung der Signale zweier berührungsloser Wegaufnehmer gewonnen wird, welche an zwei axial versetzten Stellen der Spindel periodische und zur Ausfilterung des statischen Signalanteils und nicht drehmomentabhängiger radialer Spindelverlagerungen hochpaßgefilterte Signale an gleichmäßig über den Umfang der Spindel verteilten Vertiefungen oder/und Erhöhungen gewinnen.

4. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß im Fall einer nicht achs-

parallelen Drehmomentübertragung mit einem berührungslosen Wegaufnehmer in der Nähe der Kraftübertragung zwischen Antriebsspindel und Werkzeug- oder Werkstückspindel der aufgrund der Elastizität der Spindeln und der Spindellagerung drehmomentabhängige Abstand in radialer Richtung zu einer dieser Spindeln oder zum Außenring eines Spindellagers gemessen werden.

5. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß im Fall eines Spindelantriebs über eine Schrägverzahnung mit einem berührungslosen Wegaufnehmer die aufgrund der Schrägverzahnung sich ergebende drehmomentproportionale elastische Axialverlagerung der Werkzeug-, Werkstück- oder Antriebsspindel gemessen wird.

6. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die drehmomentproportionale Längenänderung einer nicht rotations-symmetrischen, insbesondere wendelförmig genuteten Spindel, oder eines ebenso geformten Werkzeug- oder Werkstückhalters oder einer an ihren beiden Enden verdrehfest aufgebracht, insbesondere wendelförmig lamellierten Hülse mit einem berührungslosen Wegaufnehmer gemessen wird.

7. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die drehmomentproportionale Längenänderung einer nicht rotations-symmetrischen, insbesondere wendelförmig genuteten Spindel, oder eines ebenso geformten Werkzeug- oder Werkstückhalters oder einer an ihren beiden Enden verdrehfest aufgebracht, insbesondere wendelförmig lamellierten Hülse zur Kompensation nicht drehmomentproportionaler Axialbewegungen mit 2 berührungslosen Wegaufnehmern und Addition bzw. Subtraktion deren Wegsignale gewonnen wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

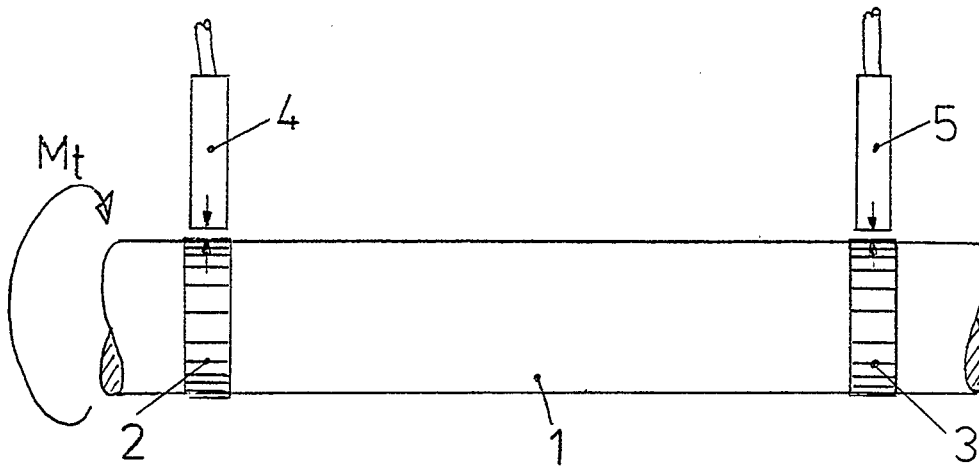


Fig.1

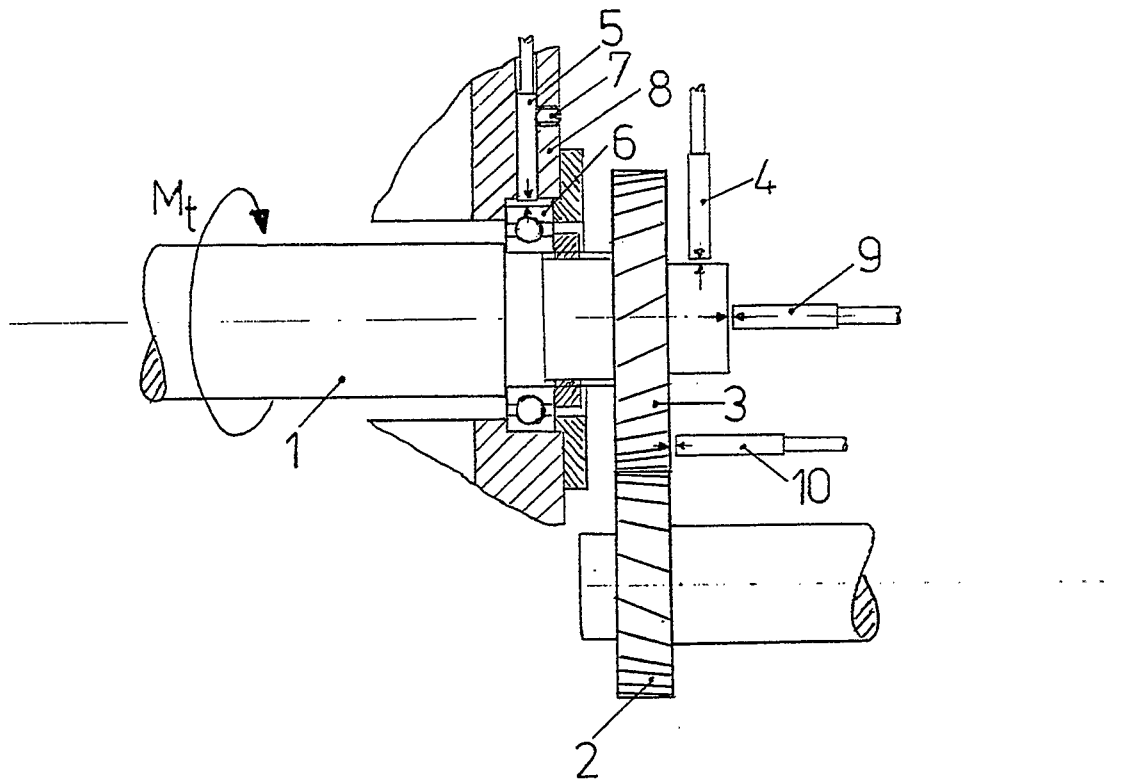


Fig.2

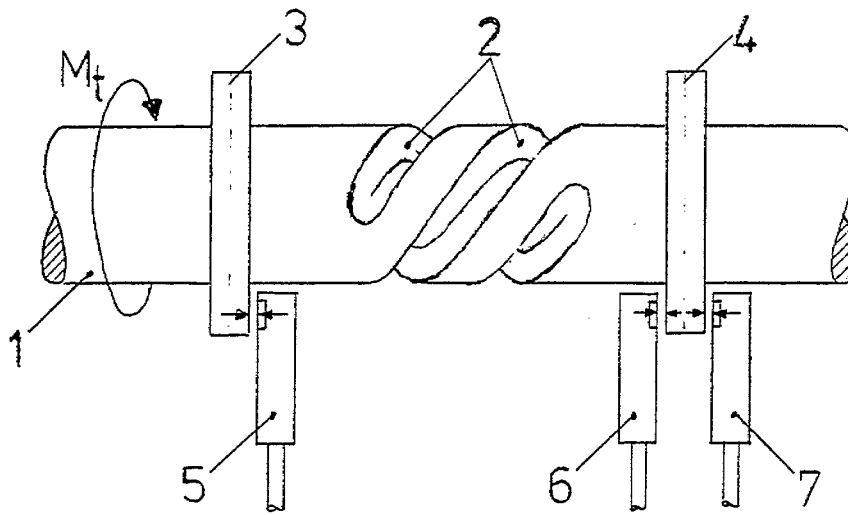


Fig.3