



19 **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

12 **Patentschrift**  
10 **DE 197 15 634 C 1**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 N 29/04**  
B 23 Q 17/00  
B 23 Q 23/00  
G 05 B 19/404

21 Aktenzeichen: 197 15 634.7-52  
22 Anmeldetag: 15. 4. 97  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 19. 11. 98

**DE 197 15 634 C 1**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 **Patentinhaber:**  
Nordmann, Klaus, Dr.-Ing., 50937 Köln, DE

72 **Erfinder:**  
gleich Patentinhaber

56 **Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:**

DE 36 27 796 C1  
DE 40 04 378 A1  
DD 2 47 975 A1  
DD 1 46 501

54 **Verfahren zur Werkstückmaßkontrolle und Erhöhung der Bearbeitungsgenauigkeit spanender  
Werkzeugmaschinen**

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur mikrometerge-  
nauen Überwachung von Werkstückmaßen und zur Kom-  
pensation von Temperaturdehnungen und verschleißbe-  
dingten Schneidversatzes ohne die Zuhilfenahme  
selbstschaltender oder messender Taster. Die Maßkon-  
trolle nutzt das Wegmeßsystem der Maschine und basiert  
auf der Erkennung des Werkzeug/Werkstückkontaktes  
über den Reibungskörperschall zwischen dem Werkzeug  
und der relativ dazu schnell bewegten Werkstückoberflä-  
che. Für tastende Meßsysteme nur mit hohem Aufwand  
abtabbare enge und tiefe Bohrungen oder Gewinderillen  
lassen sich so mit Hilfe normaler Zerspanungswerkzeuge  
abtasten. Zur Detektion des Reibungskörperschalls wer-  
den besonders sensible, werkzeugnah messende Senso-  
ren eingesetzt.

Die Meßgenauigkeit negativ beeinflussende Temperatur-  
dehnungen können vor der Werkstückabtastung kompen-  
siert werden, indem das Werkzeug leicht an einen an der  
Werkstückspannstelle befestigten Antastgegenstand ge-  
fahren wird, um einen neuen Referenzpunkt bzgl. x- und  
z-Achse aufzunehmen. Mit den hieraus gewonnenen Da-  
ten werden außerdem die Zustellbewegungen der Werk-  
zeuge vor der Bearbeitung des nächsten Werkstückes kor-  
rigiert.

**DE 197 15 634 C 1**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur mikrometergenauen Überwachung von Werkstückmaßen und Kompensation von Temperaturdehnungen, Werkzeugauffederungen und verschleißbedingten Schneidversatzes ohne die Zuhilfenahme selbstschaltender oder messender Taster.

Die spanende Fertigung erfolgt immer mit endlicher Genauigkeit. Werkzeugverschleiß und damit verbundener Schneidversatz, die Auffederung der Werkzeuge relativ zum Werkstück infolge der Bearbeitungskräfte oder Temperaturdehnungen führen zu Relativverlagerungen zwischen Werkzeug und Werkstück, die eine Kontrolle der gefertigten Werkstücke hinsichtlich der Einhaltung der geforderten Maßtoleranzen erforderlich macht. Diese Kontrolle erfolgt normalerweise außerhalb der Werkzeugmaschine in gesonderten Meßmaschinen mit z. B. induktiven oder pneumatischen Wegmeßtastern oder manuell mit Lehren.

Aber auch innerhalb der Maschine werden besonders in Bearbeitungszentren Meßtaster in die für die Zerspanungswerkzeuge vorgesehene Werkzeugspindel eingewechselt, um die relevanten Werkstückmaße abzutasten. Bei Werkstückberührung federt der Taster zunächst ein. Ab einer bestimmten Auslenkung löst er einen Schaftkontakt aus, der über Funk oder auch optisch an einen stationären Empfänger gemeldet wird. Die Kontrolle auf Einhaltung der Werkstückmaßtoleranzen erfolgt auf zwei Arten: 1. Methode: Fahren des Tasters bis in den Bereich der Werkstücktoleranzgrenze und Kontrolle, ob der Taster schaltet. Wenn er nicht schaltet, ist die Toleranz noch nicht überschritten worden. 2. Methode: Der Taster wird so lange der Werkstückoberfläche genähert, bis er schaltet. Die dann erreichte Achsposition wird mit vorgegebenen Grenzwerten innerhalb der Maschinensteuerung verglichen.

Mit Hilfe dieser Schalter ist auch eine Kompensation der relativ zwischen Werkzeug und Werkstück auftretenden Temperaturdehnungen möglich, indem der werkzeugseitig gespannte Schalter auf die Werkstückspannstelle gefahren wird.

Diese schaltenden Taster sind allerdings mechanisch sehr aufwendig, teuer und relativ empfindlich. Eine Abtastung sehr enger und tiefer Bohrungen oder etwa die Tiefe von Gewinderillen ist nicht möglich, da aus Stabilitätsgründen ein gewisser Mindestdurchmesser des Taststiftes erforderlich ist, der zudem nicht zu lang sein darf.

Dieser Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen einerseits einfachen, und andererseits aber auch für enge und tiefe Bohrungen oder Gewinderillen geeigneten Taster zu schaffen, der außerdem eine echte Positionsbestimmung des Werkzeuges relativ zum Werkstück unter Ausgleich von Temperaturdehnungen ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird der mechanisch schaltende Taster ersetzt durch ein Zerspanungswerkzeug oder ein Tastwerkzeug, dessen Kontakt mit dem Werkstück oder der Werkstückspannstelle über den bei Berührung erzeugten Reibungskörperschall erkannt wird.

Die Vorteile der erfindungsgemäßen Methode gegenüber den bisher in der Maschine verwendeten Meßtastern sind wie folgt:

1. Möglichkeit der Verwendung einfacher Zerspanungswerkzeuge als Meßtaster
2. Höhere mechanische Robustheit, da der erfindungsgemäße Meßtaster keine beweglichen Teile enthält. Der Körperschallsensor ist verschleißfrei.
3. Auch sehr enge und tiefe Bohrungen oder Gewindgänge können kontrolliert werden, da es keine Begrenzung hinsichtlich des kleinsten prüfbar Bohrungs-

durchmessers oder hinsichtlich der schmalsten Gewinderille gibt solange sich Zerspanungswerkzeuge herstellen lassen, um diese zerspanend herzustellen. Denn diese Zerspanungswerkzeuge können ja selbst auch als Taster verwendet werden.

4. Einsparung der zum Einwechseln eines Tasters benötigten Zeit, wenn das Zerspanungswerkzeug selbst unmittelbar nach der Zerspanung als Taster eingesetzt wird.

5. Das erfindungsgemäße akustische Tastprinzip hat im Gegensatz zum elektrischen Taster keine Schalthysterese (Die Hysterese der bewegten Maschinenachse wirkt sich dagegen auf beide Tastprinzipien gleich aus).

6. Die Wiederholgenauigkeit und die absolute Genauigkeit bei Antastungen aus unterschiedlichen Richtungen an ein Werkstück ist mit 1 my um den Faktor 10 genauer als die Ergebnisse aller am Markt befindlichen mechanischen Taster.

7. Möglichkeit der Kontrolle bei drehendem Werkstück. So können sehr schnelle Tastvorgänge auch an Zwischenbearbeitungen (z. B. nach dem Schrumpfen) erfolgen, ohne das Werkstück abbremsen zu müssen, was Zeit (und Energie) kostet. Komplette Gewindgänge lassen sich bei schnell drehendem Werkstück auch wesentlich schneller kontrollieren als mit konventionellen Tastern, die an stehenden Werkstücken messen.

8. Falls sich auf dem Werkstück Späne befinden, so würden sie während der Annäherung des Tastwerkzeuges weggeschleudert oder gebrochen. Die Abfrage von Mindestkontaktzeiten bei der Reibungsberührung und die Kontrolle auf ein charakteristisch gleichmäßiges Reibungssignal reduziert die Gefahr einer Fehlschaltung infolge eines zwischen Werkstück und Werkzeug befindlichen Spans. Ein solcher Span würde außerdem auf der sicheren Seite ein Schaltsignal bewirken, d. h. ein Werkstück wird eher als übermäßig bewertet und somit aussortiert, als daß es als vermeintliches Gutteil der weiteren Verarbeitung zugeführt würde.

Das beschriebene Kontrollverfahren beruht unter Bezug auf **Fig. 1** auf der Möglichkeit der hochsensiblen Berührungserkennung zwischen einem z. B. als normales Zerspanungswerkzeug ausgebildeten Tastwerkzeug **3** und einem im Futter **1** gespannten Werkstück **2**, ohne daß bei dieser Berührung während des Anfahrens **13** eine Beschädigung oder nennenswerte Abnutzung der sich berührenden Oberflächen stattfindet. Die sich nur nahe der äußeren Toleranzgrenze **10** berührenden Oberflächen müssen relativ zueinander bewegt werden, um im Fall der Berührung Reibungskörperschall zu erzeugen (drehendes Werkstück in Drehmaschinen und drehendes Werkzeug in Bearbeitungszentren oder Schleifmaschinen).

Mit z. B. einem unmittelbar an dieser Reibungsstelle messenden Körperschallsensor **7**, wie es etwa neuerdings die Messung über einen Flüssigkeitsstrahl **8** als Schallwellenleiter ermöglicht (s. DE-PS 36 27 796), kann der Kontakt mikrometergenau erkannt werden. Die hierbei auftretenden Kontaktkräfte sind kleiner als die zur Spanabhebung erforderlichen. Aber in einigen Fällen kann auch ein rauscharmer Körperschallsensor **9** am Revolverkasten **6** einer CNC-Drehmaschine den Reibungskörperschall des am Werkstück **2** reibenden Werkzeuges **3** erfassen (das über den Werkzeughalter **4** und die Revolverscheibe **5** körperschallmäßig leitend mit dem Revolverkasten **6** verbunden ist), ohne daß die Werkstückoberfläche ungewollt oder in störendem Maße spanabhebend bearbeitet wird.

Mit dieser akustischen Kontakterkennung kann die Bearbeitungsgenauigkeit einer Werkzeugmaschine erheblich verbessert und kontrolliert werden.

Temperaturdehnungen relativ zwischen Werkzeug und Werkstück oder Tasterverschleiß können die Meßgenauigkeit dieses Verfahrens jedoch beeinträchtigen. Falls diese Einflüsse stören sollten, wird das Tastwerkzeug vor der Werkstückabtastung auf einen in der Nähe des Werkstückes befindlichen Antastgegenstand gefahren, um den Betrag der Temperaturdehnung oder des Tasterverschleißes zu erfassen. Hierbei wird das Tastwerkzeug unter Bezug auf **Fig. 1** auf dem Weg **11** in x- und ggfs. auch in z-Richtung bis zum Kontakt mit dem ringförmigen, auf dem Werkstückspannfutter **1** befindlichen Antastring **12** gefahren und somit ein neuer "Nullpunkt" des Maschinenwegmeßsystems für die darauf folgende Werkstückabtastung gefunden.

Aber auch vor einer Werkstückbearbeitung kann die Temperaturdehnung und verschleißbedingter Schneidenversatz kompensiert werden, indem nicht ein Tastwerkzeug, sondern das für die Zerspanung verwendete Zerspanungswerkzeug selbst auf diesen Antastgegenstand gefahren und damit die genaue Position der Schneide relativ zum Werkstück über das Maschinenwegmeßsystem erfaßt wird. Im Fall ausreichend genau vorbearbeiteter Werkstücke bzw. Rohteile kann das Werkzeug auch auf das Werkstück selbst gefahren werden. Dies ist ein deutlicher Vorteil gegenüber der konventionellen Methode, bei der die Schneide an einen mit dem Werkstückspindelkasten verbundenen Taster gefahren wird. Denn die konventionelle Methode berücksichtigt nicht die drehzahl- und temperaturabhängige Änderung der Werkstückspindellage in z-Richtung (bezogen auf das übliche Maschinenachsenkoordinatensystem). Hingegen werden mit der erfindungsgemäßen Messung relativ zwischen dem Werkzeug und einem auf das Werkstückspannfutter z. B. geschrumpften Antastring all diese Störeinflüsse berücksichtigt.

Aus der DE 40 04 378 A1 ist ein Verfahren bekannt, das den beim Abrichten einer Schleifscheibe erzeugten Körperschall zur Überprüfung eines vollständigen Abtrages der Schleifscheibenoberfläche nutzt. Das Abrichtwerkzeug unterliegt selbst einem sehr hohen Verschleiß, der pro Abrichtvorgang in der Größenordnung mehrerer Mikrometer liegen kann. Da das Abrichtwerkzeug die Schleifscheibe regelrecht zersplittert, ist auch die meßtechnische Erfassung dieses Körperschalls sehr einfach. Hierbei wird jedoch nicht das Endprodukt Werkstück, sondern das zur Herstellung eines Werkstückes erforderliche Werkzeug Schleifscheibe kontrolliert.

**Fig. 2** zeigt zur Erläuterung der Erfindung für eine CNC-Drehmaschine das Werkstückspannfutter **1**, das Werkzeug **3** mit Werkzeughalter **4**, Revolverscheibe **5** und Revolverkasten **6** vor und während der Bearbeitung des Werkstückes **2**, den Körperschallsensor **7** (mit Kühlschmierstoffstrahl **8** als Schallwellenleiter) und alternativ den Körperschallsensor **9**, die Toleranzgrenzen **10** des herzustellenden Fertigteils (aus dem Werkstück **2**), den Anfahrweg **11** (hier nur in z-Richtung gezeigt) zum Antastgegenstand **12** (als auf das Futter geschrumpfter gehärteter Ring) und den Verfahrensweg **13** zum Zerspanen des Werkstückes **2**.

Unter Bezug auf **Fig. 2** kann selbst die zerspankraft- und damit verschleißabhängige Auffederung des Werkzeuges relativ zum Werkstück mit einem Antasten **14** des Werkzeuges **3** an die von diesem Werkzeug spanend bearbeitete Werkstückkontur gemessen werden. Denn beim Antasten wirkt die Auffederung nicht. Die Differenz zwischen der x-Achsenposition beim Zerspanen zu der x-Achsenposition beim Antasten entspricht der Auffederung in x-Richtung. Liegt die Werkstückkontur dann außerhalb der Toleranz **10**, so

kann das Werkstück noch in dieser Aufspannung sofort automatisch korrekt nachbearbeitet werden, so daß kein Ausschuß produziert wird oder eine spätere Nachbearbeitung entfällt.

In Bearbeitungszentren werden die beschriebenen Verfahren mit einem auf dem Maschinentisch befestigten Antastklotz realisiert, wobei sich das Werkzeug und nicht das Werkstück zur Erzeugung des Reibungskörperschalls drehen muß. Die Schallaufnahme erfolgt z. B. entweder mit einem am Antastklotz oder am Maschinentisch befestigten Körperschallaufnehmer, oder mit einer Schallmessung am Antastklotz oder Werkzeug über einen Kühlschmierstoffstrahl als Schallwellenleiter.

Abschließend sei zu allen beschriebenen Antast- und Kompensationsverfahren gesagt, daß der Zeitbedarf für diese Methoden im Bereich von 0,5 bis 3 Sekunden liegt. Bei Hauptzeiten von z. B. 10 Sekunden kann diese Zeit störend ins Gewicht fallen, wenn die Kontrolle bei jedem Werkstück vorgenommen würde. Dies ist jedoch nicht erforderlich, da Verschleißvorgänge oder Temperaturdriften sich in der Regel langsam über den zur Fertigung mehrerer Werkstücke benötigten Zeitraum erstrecken. Die Kontrollmessungen sind also nur alle 5 bis 20 Werkstücke sinnvoll oder unmittelbar nach einem Maschinenstillstand, der mit einer Abkühlung der Maschinenteile einhergeht. Immerhin ist bei Anwendung dieser Methode eine zusätzliche Meßeinrichtung mit der Einrichtung zum automatischen Teileinlegen nicht erforderlich und man ist in der Lage, eine Maschine unbeaufsichtigt zu betreiben, zumal das für diese Anwendung verwendete Werkzeugüberwachungssystem auch Werkzeugbruch oder andere Prozeßstörungen erkennt bzw. vermeiden hilft.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Werkstückmaßkontrolle und zur Erhöhung der Bearbeitungsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen mit Hilfe der relativen Positionsbestimmung von Schneiden und Werkstückoberflächen, bei dem der durch die Reibung zwischen einem Zerspanungswerkzeug bzw. einem Tastwerkzeug und dem Werkstück oder einem werkstücknah befindlichen Antastgegenstand erzeugte Reibungskörperschall in Verbindung mit dem maschineneigenen Wegmeßsystem genutzt wird, um das Werkstück auf Einhaltung der Toleranzen zu überprüfen. und um den Temperaturgang und eine veränderte Schneidlänge und -auffederung relativ zum Werkstück zu messen und zu kompensieren.
2. Verfahren nach Anspruch 1 bzgl. der Maßkontrolle des Werkstückes, dadurch gekennzeichnet, daß das Tastwerkzeug zur Kontrolle der Werkstückmaße bzgl. Überschreitung der vorgegebenen Maßtoleranzgrenzen an das Werkstück so weit herangefahren wird, daß ein drohendes oder gerade eintretendes Überschreiten der Maßtoleranzgrenze eine Berührung bewirkt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei Erkennen der drohenden oder schon eingetretenen Überschreitung der Maßtoleranzgrenze des Werkstückes die Maschine mindestens gestoppt wird, so daß ein Bediener entsprechend korrigierend eingreifen kann.
4. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei Erkennen einer schon eingetretenen Überschreitung der Maßtoleranzgrenze das betreffende Bearbeitungswerkzeug unmittelbar erneut zugestellt wird, um das Werkstück hinsichtlich der geforderten

Maße spanend korrekt zu bearbeiten.

5. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei Erkennen der drohenden oder schon eingetretenen Überschreitung der Maßtoleranzgrenze des Werkstückes die Position des betreffenden Werk- 5  
zeuges von der Maschinensteuerung um den nötigen Betrag korrigiert wird, so daß dieser Bearbeitungsmaß-  
fehler beim nächsten Werkstück nicht mehr auftritt.

6. Verfahren nach Anspruch 1 und nach den Ansprü- 10  
chen 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßge-  
nauigkeit der Werkstückabtastung negativ beeinflus-  
sende Temperaturdehnungen relativ zwischen der Tast-  
werkzeugspannstelle und der Werkstückspannstelle  
oder ein verschleißbedingter Tastspitzenversatz unmit- 15  
telbar vor der Werkstückabtastung kompensiert wer-  
den, indem der Taster leicht an einen in der Nähe der  
Werkstückspannstelle befindlichen Antastgegenstand,  
dessen Antastfläche gegenüber der Werkstückposition  
eine vernachlässigbare Temperaturdehnung aufweist, 20  
gefahren wird, wobei die dann gemessenen Maschi-  
nenachsenpositionen als neuer "Nullpunkt" bzgl. der  
Werkstückabtastung in der Maschinensteuerung abge-  
speichert werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1 bzgl. der Kompensation 25  
von Temperaturdehnungen oder/und verschleißbeding-  
ten Schneidenversätzen, dadurch gekennzeichnet, daß  
die Werkzeugschneidenposition relativ zum Werkstück  
unmittelbar vor der Werkstückbearbeitung bestimmt  
wird, indem ein Tastwerkzeug oder das Zerspanungs-  
werkzeug selbst bis zum Erzeugen des als Schaltsignal 30  
genutzten Reibungskörperschalls an das Werkstück  
oder einen in der Nähe des Werkstückes befindlichen  
Antastgegenstand, dessen Antastfläche gegenüber der  
Werkstückposition eine vernachlässigbare Temperatur-  
dehnung aufweist, gefahren wird, um die fehlerhafte 35  
Schneidenposition festzustellen oder auch um eine au-  
tomatische Korrektur der Schneidenposition gegenüber  
dem Werkstück mit Hilfe der Maschinensteuerung vor-  
nehmen zu können.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeich- 40  
net, daß die Auffederung des Werkzeuges relativ zum  
Werkstück unmittelbar nach der Werkstückbearbeitung  
über den Reibungskörperschall gemessen bzw. kontrol-  
liert wird, indem bei einer bestimmten Differenz der  
Achsenposition beim Antasten gegenüber der Achsen- 45  
position beim Zerspanen das Berühren der Schneide  
am Werkstück anhand des Reibungskörperschalls ge-  
prüft wird.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen 50

---

55

60

65

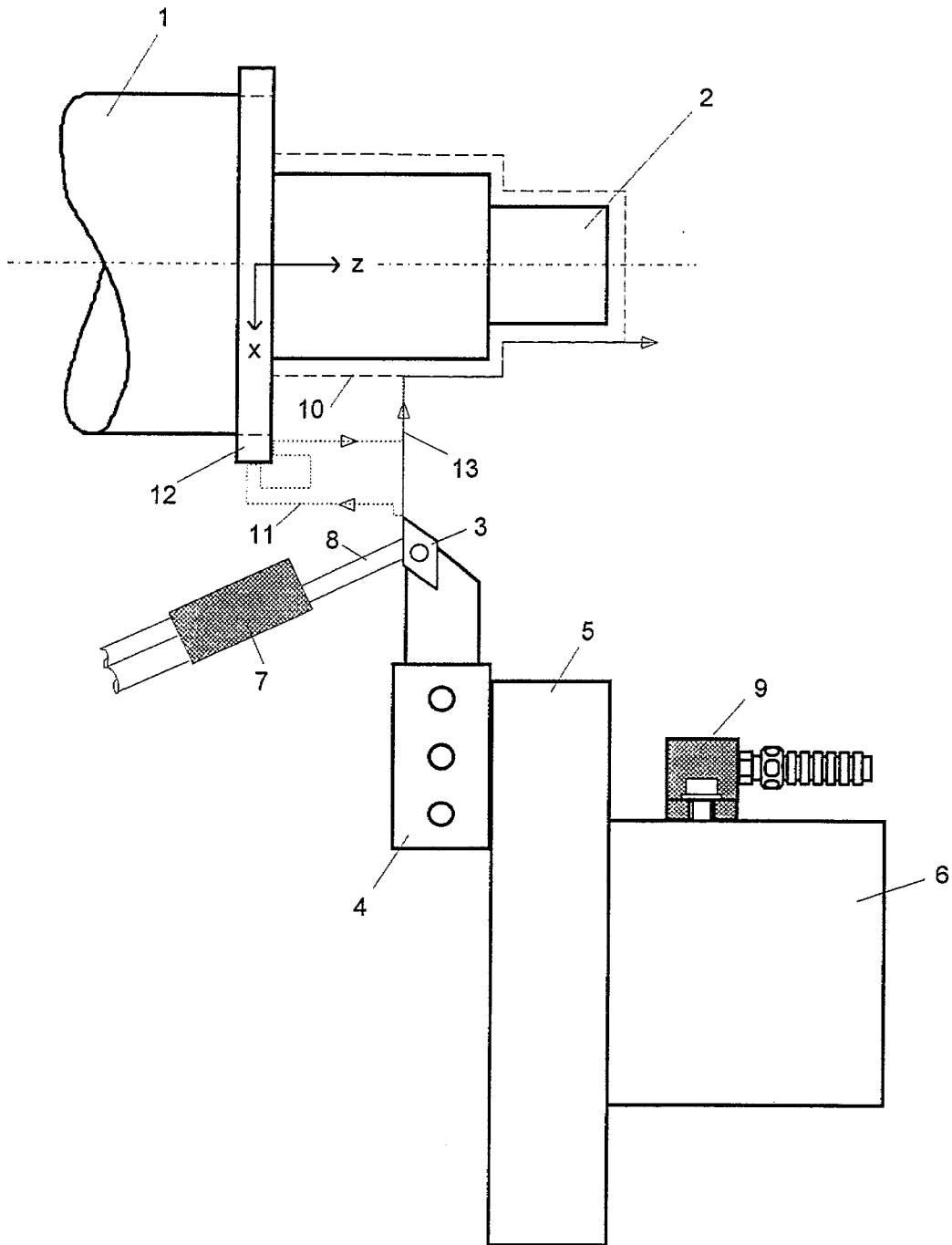


Fig. 1

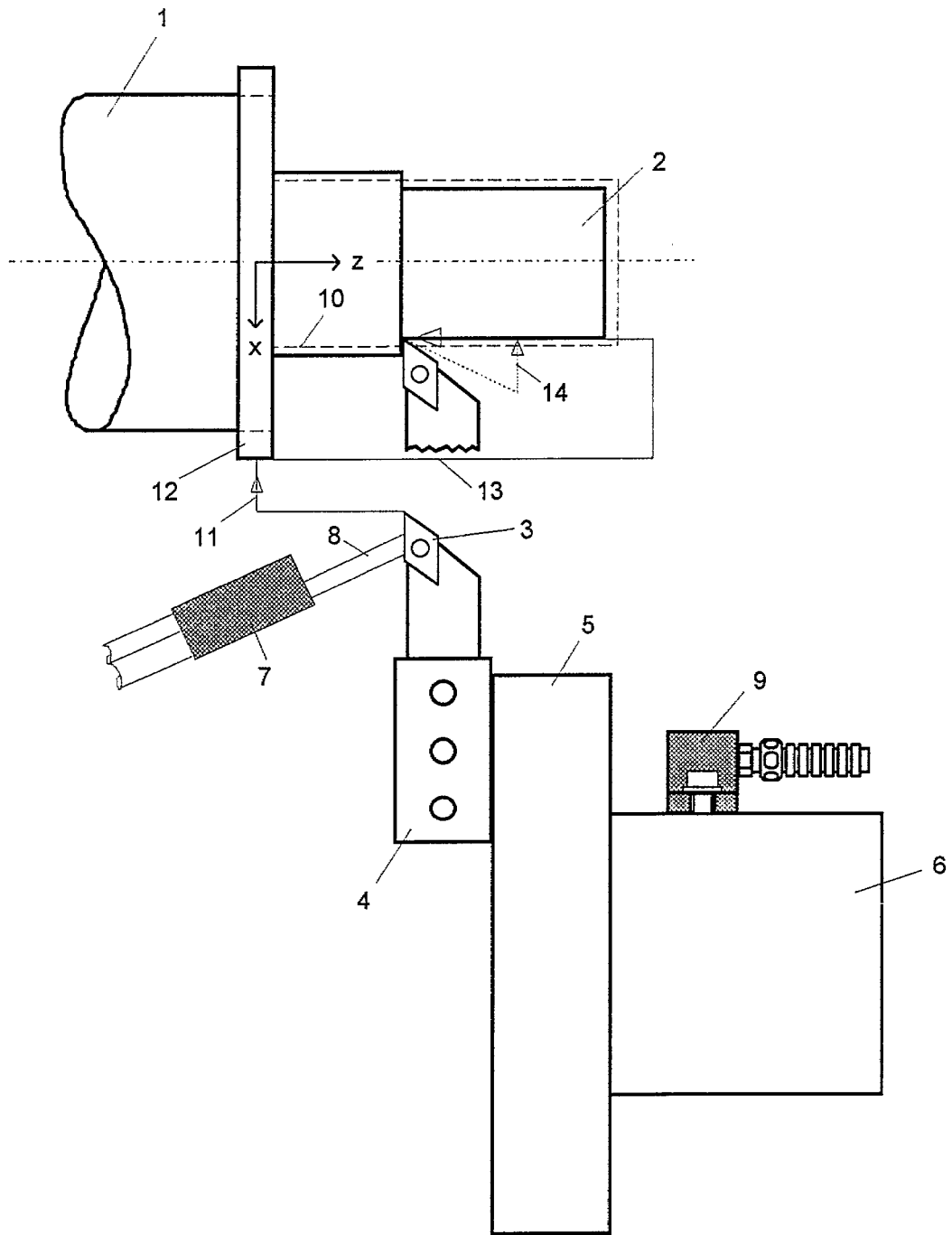


Fig. 2