(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 704 963 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
09.01.2008 Patentblatt 2008/02

(21) Anmeldenummer: **05006348.6**

(22) Anmeldetag: **23.03.2005**

(51) Int Cl.:
B24B 13/00 *(2006.01)* ***B24B 13/01*** *(2006.01)*
B24D 5/00 *(2006.01)* ***B24D 7/18*** *(2006.01)*
G02B 3/04 *(2006.01)* ***G01B 5/20*** *(2006.01)*
B23Q 17/20 *(2006.01)*

(54) Verfahren zur Bearbeitung und Vermessung von rotationssymmetrischen Werkstücken

Methods for manufacturing or measuring of rotationally symmetrical workpieces

Procédés de fabrication ou mesurage des pièces à symétrie de révolution

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.09.2006 Patentblatt 2006/39

(73) Patentinhaber: **asphericon GmbH**
07745 Jena (DE)

(72) Erfinder:
- **Kiontke, Sven**
  07745 Jena (DE)
- **Zschäbitz, Alexander**
  07745 Jena (DE)
- **Kurschel, Thomas**
  07743 Jena (DE)

(74) Vertreter: **Liedtke, Klaus**
Liedtke & Partner
Patentanwälte
Postfach 10 19 16
99019 Erfurt (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 10 038 415
US-A- 4 038 783
US-A- 5 402 607
US-A1- 2003 217 592

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 704 963 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bearbeiten eines rotationssymmetrischen Werkstückes, insbesondere zur Bearbeitung eines Werkstückes mit optisch wirksamen Flächen, dessen Symmetrieachse parallel zur z-Achse ausgerichtet und das parallel zur z-Achse bewegbar ist, mit einem rotierenden, rotationssymmetrischen Schleif- oder Polierwerkzeug, dessen Rotationsachse parallel zur y-Achse ausgerichtet ist und das parallel zur x-Achse bewegt wird und dabei die Oberfläche des Werkstückes mit einer bearbeitenden Fläche berührt, wobei das Werkstück um seine Symmetrieachse rotiert, sowie ein Verfahren zum taktilen Messen eines derartigen Werkstücks. Den gattungen des Ansprüche 1,3 und 13 entsprechende Verfahren sind z.B aus der DE-A-100 38 415 bekannt.

[0002] Die Erfindung wird vorzugsweise eingesetzt zur Bearbeitung von asphärischen Werkstücken mit optisch wirksamen Flächen, insbesondere von Linsen oder Spiegeln, die eine nicht-bearbeitbare Zone aufweisen, beispielsweise eine konische Erhebung in der Mitte des Werkstückes.

[0003] Die Produktion von Asphären erfolgt in zwei Schritten, zunächst durch Schleifen oder Drehen zum Erzeugen der Form und anschließend durch Polieren zum Erzielen der erforderlichen Oberflächengüte.

[0004] Im Stand der Technik erfolgen beide Arbeitsschritte mittels Schleif-, Polier-oder Drehmaschinen, die per CNC angesteuert werden.

[0005] Beim Schleifen ist die Werkzeugspindel waagerecht parallel zur y-Achse im rechten Winkel zur Werkstückspindel ausgerichtet. Das Werkstück wird auf eine als Dorn bezeichnete Halterung befestigt und diese in die Werkstückspindel gespannt. Sowohl Werkzeug als auch Werkstück werden mittels der Spindeln gedreht. Das Werkstück kann nach oben und unten parallel zur z-Achse verfahren werden. Das Werkzeug kann einerseits nach vorne und hinten parallel zur y-Achse bewegt werden, um es auf die Mitte des Werkstücks zu justieren, und andererseits nach links und rechts parallel zur x-Achse, um den Arbeitsvorgang durchzuführen.

[0006] Das Schleif-Werkzeug ist eine zunächst zylindrische Schleifscheibe, wobei die Schleiffläche der Mantel des Zylinders ist. Auf ihm sind Diamanten in einer Metall- oder Kunststoffbindung aufgebracht. Die Schleifscheibe wird zu einem schmalen Kugelausschnitt geformt, wobei sich der höchste beziehungsweise dickste Punkt in der Mittelebene der Scheibe befindet. Für eine exakte Bearbeitung ist es unbedingt notwendig, immer mit dem höchsten Punkt der Schleifscheibe zu schleifen. Durch Abnutzung besteht die Gefahr, dass sich anstelle des höchsten Punktes eine Mulde bildet, deren beide Ränder das Werkstück berühren. Zudem kann das Schleifen durch Schlag der Schleifscheibe beeinträchtigt werden. Um diese beiden Fehlerquellen zu vermeiden, wird die Schleifscheibe nach dem Einbau abgerichtet. Dazu wird anstelle des zu schleifenden Werkstückes ein sogenannter Abrichtstein auf einen Dorn geklebt und eingespannt. Die Schleifscheibe befindet sich genau senkrecht über dem Abrichtstein, der Mittelpunkt ihres Kugelabschnittes, also der virtuelle Mittelpunkt der zugehörigen Kugel, liegt auf der Verlängerung der Werkzeugachse. Dann wird die Schleifscheibe entlang der z-Achse sehr langsam in den Abrichtstein hineingefahren, wobei sowohl Abrichtstein als auch Schleifscheibe rotieren. Durch passende Wahl der Härte des Steines und der Rotationsgeschwindigkeiten werden dabei sowohl der Stein als auch die Scheibe abgetragen. Das Ergebnis ist eine kugelförmige Mulde im Stein und eine Kugelsegmentform der Schleifscheibe. Aufgrund der mechanischen und geometrischen Gegebenheiten befindet sich der höchste Punkt der Schleifscheibe genau im Rotationsmittelpunkt des Abrichtsteins.

[0007] Das Schleifen erfolgt, indem das Werkzeug in x-Richtung über den Durchmesser des Werkstücks fährt. Während der Fahrt wird durch Vorgabe der z-Position des Werkstücks die gewünschte Form des Werkstücks erzeugt. Der Weg wird dazu in kleine Liniensegmente eingeteilt, für die per CNC-Programm die x-Werte für das Werkzeug und die z-Werte für das Werkstück übergeben werden. Die y-Position des Werkzeugs wird durch das Abrichten so bestimmt, dass die Mitte der Schleifscheibe, also ihr höchster Punkt, über den Rotationsmittelpunkt des Werkstücks fährt, und bleibt während der Bearbeitung konstant. Dadurch kann für die Berechnung die Bearbeitung als radialer Schnitt durch das Werkstück aufgefasst werden, bei dem die Schleifscheibe als Kreis abstrahiert wird.

[0008] Für die Bearbeitung ist es wichtig, dass die Position aller drei Achsen exakt definiert ist. Die x-Achse wird vom Hersteller der Schleifmaschine weitestgehend justiert, sodass bei einem vom Werk vorgegebenen x-Wert die Achse der Schleifscheibe über der Achse des Werkstücks steht. Ist dies nicht der Fall, ergibt sich ein Formfehler, aus dem man die Fehlstellung manuell erkennen und korrigieren muss. Dazu wird in der Regel eine Probestück bearbeitet. Die Position der z-Achse muss durch Antasten bestimmt werden und bestimmt lediglich die Dicke des Werkstücks, die im Allgemeinen direkt nachgemessen werden kann. Die Position der y-Achse ist ähnlich der x-Achse vom Hersteller weitestgehend justiert. Da die Schleifscheibe aber in y-Richtung aufgesteckt und festgeschraubt ist, ergibt sich stets eine mechanische Toleranz. Nur das Abnehmen und Wiederaufschrauben bewirkt eine Änderung der y-Position. Falls der höchste Punkt des Werkzeuges nicht genau durch den Mittelpunkt des Werkstückes geht, berührt ein anderer, nicht genau bekannter Punkt das Werkstück, woraus ein weiterer Formfehler des Werkstückes resultiert. Durch erneutes, kurzes Abrichten wird die Fehlstellung hinsichtlich der y-Achse korrigiert.

[0009] Dieses bekannte Verfahren ist nicht zur Bearbeitung von Werkstücken geeignet, bei denen ein durch den Radius der Schleifscheibe vorgegebener Bereich in der Mitte der Werkstücke nicht bearbeitet werden kann,

beispielsweise aufgrund nicht abnehmbarer Aufbauten in diesem zentralen Bereich.

[0010] Beim CNC-Drehen wird auf den Drehmeißel eine kleine Platte, die Wendeplatte, aufgeschraubt, welche die eigentliche Schneide enthält. Um die Standzeit der Platte zu erhöhen, werden deren Kanten abgerundet. Der von oben betrachtete Radius zwischen der parallel zur Rotationsachse des Werkstückes und der senkrecht dazu verlaufenden Kante wird Schneidenradius genannt. Dies ist der Bereich der Wendeplatte, der direkt im Eingriff steht. Für eine genaue Bearbeitung ist es wichtig, den Schneidenradius beziehungsweise die Abweichung von der Idealform genau zu kennen. Insbesondere beim Drehen von Kegeln oder komplexeren Formen wie Sphären oder Asphären muss beachtet werden, dass der Meißel aufgrund dieses Radius weiter zugestellt werden muss als es bei einer unabgerundeten Schneidspitze der Fall wäre. Moderne CNC-Drehmaschinen erlauben die Eingabe des Schneidenradius und passen das CNC-Programm entsprechend an. Es wird dabei angenommen, dass der Radius exakt eingehalten wird, also keine Abweichung von der Idealform existiert.

[0011] Dieses Vorgehen reduziert die mögliche Genauigkeit der Bearbeitung.

[0012] Für das Vermessen von rotationssymmetrischen Körpern wird unter anderem taktiles Messen mit Profilometern verwendet. Dazu wird ein Messtaster mit einer Rubinkugel oder einer Diamantspitze über das Werkstück gezogen und die Bewegung des Tasters in ein Höhenbild umgerechnet. Nach Abzug der Sollform erhält man den Fehler des Messobjekts. Der Messtaster ist in der Regel ein aus zwei Stäben bestehender rechter Winkel, an dessen senkrechten, unteren Ende sich die Rubinkugel beziehungsweise Diamantspitze befindet, und dessen waagerechter Stab in einer Wippe aufgehängt ist. Der Kippwinkel der Wippe wird dabei gemessen und die Position der Messkugel oder -spitze und darüber die Form des Werkstückes berechnet. Bei rotationssymmetrischen Werkstücken wird dabei eine Fahrt über den Durchmesser des Werkstücks in x-Richtung durchgeführt. Die z-Position des Messsystems bleibt dabei konstant, es wird nur in eine Richtung gezogen.

[0013] Bei Werkstücken mit einer zentralen Erhebung oder einem Loch ist dieses Verfahren nicht durchführbar.

[0014] Prinzipbedingt ist die absolute Lage des Werkstückes in x-Richtung bei einer taktilen Messung unbekannt. Insbesondere wird bei jedem Messen das Messsystem weggefahren, um das Werkstück entnehmen zu können, sodass keine gleichbleibende Position des Messsystems über mehrere Messungen hinweg gegeben ist. Eines der Ziele der Messungsauswertung ist daher die Bestimmung der Werkstückposition bezüglich der x-Achse und insbesondere bei rotationssymmetrischen Werkstücken die Bestimmung des Mittelpunktes. Eine Möglichkeit besteht in der näherungsweisen Lösung eines Gleichungssystems mittels des Verfahrens der kleinsten Quadrate.

[0015] Dies setzt jedoch voraus, dass sich die Sollform des Werkstückes adäquat analytisch darstellen lässt. Speziell bei Asphären ist dies jedoch nicht möglich.

[0016] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Verfahren anzugeben, mit denen eine einfache, schnelle und genaue Bearbeitung und/oder Vermessung von rotationssymmetrischen Werkstücken möglich ist.

[0017] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit Verfahren, welche die in Anspruch 1, 3 oder 13 angegebenen Merkmale enthalten, gelöst.

[0018] Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben.

[0019] Erfindungsgemäß wird in einem ersten Verfahren das Schleif- oder Polierwerkzeug in genau einer Ebene, die parallel zur x-z-Ebene ist und die von der Rotationsachse des Werkstückes beabstandet ist, mit konstantem y-Wert bewegt. Das Werkzeug wird also entlang einer Sehne des Werkstückes bewegt. Dies ermöglicht bei Werkstücken mit zentralen, nichtbearbeitbaren Zonen die Bearbeitung auch der Flächen in der Nähe der nichtbearbeitbaren Zonen, ohne diese zu berühren.

[0020] Dadurch, dass für jede x-Position des Werkzeugs ermittelt wird, an welcher y-Position die bearbeitende Fläche beim Hineinbewegen parallel zur z-Achse das Werkstück zuerst berührt, und die zu dieser x-y-Position gehörende z-Position angefahren wird, kann das Verfahren einfach und mit herkömmlichen Schleif- oder Poliermaschinen durchgeführt werden.

[0021] In einem zweiten Verfahren wird das Werkzeug auf seinen Berührungspunkt mit dem Werkstück bezogen in genau einer Ebene, die parallel zur y-z-Ebene ist und in der die Rotationsachse des Werkstückes liegt, mit konstantem x-Wert bewegt. Das Werkzeug wird also radial über das Werkstück bewegt. Durch die vorgegebene Orientierung des Werkzeugs ermöglicht dies bei Werkstücken mit zentralen, nichtbearbeitbaren Zonen die Bearbeitung auch der Flächen in der Nähe der nichtbearbeitbaren Zonen, ohne diese zu berühren, da die Überlappung von Werkzeug und Werkstück in radialer Richtung minimiert wird.

[0022] Vorteilhafterweize wird ein Werkzeug verwendet, dessen bearbeitende Fläche ein rotationssymmetrischer Kugelflächenabschnitt einer virtuellen Kugel ist, deren Mittelpunkt auf der Symmetrieachse des Werkzeugs liegt und die bezüglich jeder Spiegelebene, die senkrecht zu seiner Symmetrieachse liegt, asymmetrisch geformt ist und daher der virtuelle Kugelmittelpunkt außerhalb der Mittelebene der bearbeitenden Fläche liegt. So kann bei geringem Verschleiß, Anpassbarkeit an die jeweilige Form und optimaler Bearbeitungsfläche ein steiler Querschnitt des Werkzeugs dazu genutzt werden, dass stets die bearbeitende Fläche parallel auf der zu bearbeitenden Fläche aufliegt.

[0023] Wird ein Werkzeug verwendet, das ein Torusabschnitt ist, wobei der Schnitt in einer Ebene senkrecht zur Symmetrieachse erfolgt ist, kann bei ebenfalls geringem Verschleiß der Querschnitt des Werkzeugs dazu genutzt werden, dass die bearbeitende Fläche parallel auf der zu bearbeitenden Fläche aufliegt.

[0024] Dadurch, dass das Werkzeug für konkave Bereiche des Werkstücks mit der Seite des größten Anstiegs der bearbeitenden Fläche von der Rotationsachse des Werkstücks weg orientiert wird und für konvexe Bereiche des Werkstücks mit der Seite des größten Anstiegs der bearbeitenden Fläche zur Rotationsachse des Werkstücks hin orientiert wird, können auch Flächen im Randbereich mit minimal nichtbearbeitbaren Rest bearbeitet werden.

[0025] Dadurch, dass für jeden Punkt auf einem Schnitt parallel zur y-Achse durch die Rotationsachse des Werkstücks der Anstieg der Werkstückoberfläche ermittelt wird, für diesen Punkt die Stelle des Werkzeugs ermittelt wird, an der die bearbeitende Fläche den gleichen Anstieg aufweist und das Werkzeug so positioniert wird, dass der Punkt und die Stelle aufeinanderfallen, ist eine exakte Bearbeitung des Werkstücks gewährleistet.

[0026] Wenn das Werkzeug das Werkstück steuerungsabhängig auch abseits der Mittelebene der bearbeitenden Fläche berührt, kann jeweils ein Punkt mit für das Werkstück optimalem Anstieg zur Berührung verwendet werden.

[0027] Besteht das Werkzeug aus einer dünnen Scheibe, die an der Schmalseite die bearbeitende Fläche aufweist, ist die Steuerung der Schleif- oder Poliermaschine sehr einfach.

[0028] Wird ein Werkzeug verwendet, das ein Kegel oder ein Kegelstumpf ist, der an der Stelle des größten Radius des Kegelmantels auf dem Mantel die bearbeitende Fläche aufweist, ist ebenfalls die Bearbeitung der gesamten, mechanisch bearbeitbaren Fläche des Werkstücks möglich.

[0029] Dadurch, dass das Werkzeug mit der Seite des größten Radius des Kegelmantels zur Rotationsachse des Werkstücks hin orientiert wird, können Flächen nahe der Werkstückmitte mit nichtbearbeitbaren Rest bearbeitet werden.

[0030] Durch CNC ist eine einfache Steuerung des Bearbeitungsvorganges möglich.

[0031] Im erfindungsgemäßen Messverfahren wird der Messtaster eines Profilometers auf seinen Berührungspunkt mit dem Werkstück bezogen in genau einer Ebene, die parallel zur x-z-Ebene ist und die von der Rotationsachse des Werkstückes beabstandet ist, mit konstantem y-Wert bewegt. Der Messtaster wird also entlang einer Sehne des Werkstückes bewegt. Dies ermöglicht bei Werkstücken mit zentralen, nichtabtastbaren Zonen das Messen.

[0032] Dadurch, dass für jeden Messpunkt die angefahrene x-Position auf den zugehörigen Radius des Werkstücks umgerechnet wird, kann ein virtueller Schnitt durch den Durchmesser ermittelt werden.

[0033] Werden die zur Bestimmung des Mittelpunkts eines rotationssymmetrischen Körpers ermittelten Daten an potentiellen Mittelpunktstellen in zwei Teile zerlegt, wovon der eine Teil gespiegelt wird und anschließend von dem gespiegelten und dem ungespiegelten Teil die Korrelation bestimmt wird und diejenige Stelle als tatsächlicher Mittelpunkt bestimmt wird, die den größten Korrelationswert ergibt, kann der Mittelpunkt unabhängig von der Sollform des Werkstückes ermittelt werden, wobei eine analytische Darstellung des Oberflächenverlaufes nicht notwendig ist. Das Verfahren ist daher unempfindlich gegenüber starken Abweichungen von der Sollform, solange hinreichend starke Symmetrie vorliegt.

[0034] Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

[0035] Dazu zeigen

Figur 1 eine schematische Darstellung des Bearbeitungsverfahrens, bei dem das Schleifwerkzeug entlang einer Sehne parallel zur x-Achse bewegt wird

Figur 2 eine schematische Darstellung des Bearbeitungsverfahrens, bei dem das Schleifwerkzeug radial parallel zur y-Achse bewegt wird

Figur 3 eine schematische Darstellung des Vermessungsverfahrens

Figur 4 die perspektivische Ansicht eines Schleifwerkzeugs,

Figur 5 das Herstellen eines Schleifwerkzeugs,

Figur 6 einen Schnitt durch das fertige Werkzeug,

Figur 7 einen Schnitt durch ein weiteres Beispiel für ein fertiges Werkzeug,

Figur 8 ein alternatives Verfahren zur Herstellung eines Werkzeugs,

Figur 9 ein nach dem in Figur 8 gezeigten Verfahren hergestelltes Werkzeug

Figur 10 eine schematische Darstellung des Verfahrens zur Bestimmung des Werkstückmittelpunktes
und

Figur 11 eine schematische Darstellung des Verfahrens zur Vermessung von Drehmeißeln.

[0036] Bei dem in **Figur 1** schematisch dargestellten Verfahren zeigt Fig. 1 a) die Draufsicht, und Fig. 1 b) die Seitenansicht. Zu jeder Teilfigur ist das Koordinatensystem eingezeichnet. Das Schleifwerkzeug 1 fährt, wie bereits bekannt, in Richtung der x-Achse, ist jedoch vom Mittelpunkt des Werkstücks 2, um den sich die Erhebung 3 befindet, beabstandet. Die Bewegung findet also entlang einer Sehne des Werkstückes statt.

[0037] Ein weiteres Verfahren zeigt **Figur 2**, wiederum in Draufsicht und Seitenansicht mit Angabe des Koordi-

natensystems. Das Schleifwerkzeug 1 fährt die Oberfläche des Werkstückes 2, das die Erhebung 3 aufweist, in y- und z-Richtung anstatt in x- und z-Richtung ab. Die x-Position wird dabei so gewählt, dass sich während der Bearbeitung die Werkstück- und Werkzeugachsen schneiden. Dadurch wird die Überlappung von Werkzeug 1 und Werkstück 2 in radialer Richtung minimiert.

[0038] Die bekannten, herkömmlichen Schleifscheiben können zwar prinzipiell mit diesen beiden alternativen Verfahren verwendet werden, weisen jedoch den großen Nachteil auf, dass sie aufgrund ihrer relativ flachen Form sehr weit zum Mittelpunkt des Werkstückes 2 hin reichen. Die Bearbeitung ist also nur teilweise außerhalb eines durch die halbe Dicke der Schleifscheibe vorgegebenen Bereichs möglich.

[0039] Daher wird vorzugsweise ein Schleifwerkzeug 1 eingesetzt, bei dem die Schleiffläche als ein Kugelflächenabschnitt und bezüglich jeder Spiegelebene, die senkrecht zur Symmetrieachse liegt, asymmetrisch geformt ist. Da der virtuelle Kugelmittelpunkt daher außerhalb der Mittelebene der Schleiffläche liegt, befindet sich der höchste Punkt der Schleifscheibe näher an einem der beiden Ränder der Schleifscheibe, wobei dies zweckmäßigerweise bei konkaven Werkstücken 2 derjenige der Rotationsachse des Werkstücks 2 zugewandte Rand und bei konvexen Werkstücken 2 derjenige von der Rotationsachse des Werkstücks 2 abgewandte Rand ist. Dadurch wird der von einem erhabenen Zentrum des Werkstücks 2 mindestens einzuhaltende Abstand verringert und es kann somit ein größerer Teil des Werkstücks 2 erreicht werden.

[0040] Beim Schleifen eines konkaven Werkstücks 2 auf einer Sehne oder radial parallel zur γ-Achse sollte sich also, wenn die Scheibe 1 sich in γ-Richtung betrachtet hinter dem Mittelpunkt des Werkstücks 2 befindet, der höchste Punkt auf der dem Mittelpunkt zugewandten Seite der Scheibe 1 befinden. Ziel ist es, dass stets die bearbeitende Fläche parallel auf der zu bearbeitenden Fläche aufliegt. Daher bestimmt der Anstieg des Werkstücks 2 den notwendigen Anstieg des Schleifwerkzeugs 1. Wenn beispielsweise ein zu erzeugender Spiegel 2 einen radialen Anstieg von 10° bis 30° besitzt, muss auch der Schleifscheibenquerschnitt einen Anstieg von mindestens 10° bis 30° aufweisen. Die exakte Position des virtuellen Mittelpunktes und auch die notwendige beziehungsweise erlaubte Dicke des Scheibenkörpers 1 richtet sich stets nach der Form des Werkstücks 2, genauer gesagt nach den geforderten Anstiegen wie oben beschrieben. Genau wie beim herkömmlichen Schleifen muss zudem bei konkaven Flächen die Oberflächenkrümmung der virtuellen Kugel größer als die stärkste Krümmung des Werkstücks 2 sein.

[0041] Ähnliche Verhältnisse ergeben sich bei der Verwendung von torusförmigen Schleifwerkzeugen 1, wobei wiederum der Torusmittelpunkt verschoben sein muss, um die gewünschten Anstiege zu erreichen.

[0042] Alternativ kann auch ein Kegel oder Kegelstumpf mit Schleiffläche auf dem Mantel am großen Radius eingesetzt werden. Prinzipiell ist hier die Orientierung des größten Radius zur Rotationsachse des Werkstückes 2 hin oder davon weg möglich, wobei vorzugsweise die erste Variante bei konkaven und konvexen Werkstücken verwendet wird.

[0043] Eine weitere alternative Form ist die Verwendung einer äußerst schmalen Scheibe ähnlich einer Trennscheibe, bei welcher nur eine Kante zur Bearbeitung herangezogen wird. In gleicher Art und Weise kann der große Radius eines Kegels oder Kegelstumpfes verwendet werden.

[0044] Zur Steuerung wird im Falle einer Trennscheibe deren Querschnitt als Punkt abstrahiert. Daraus resultiert eine einfache Berechnung des CNC-Programmes. Für jeden Punkt des Werkstücks auf dem Radius in y-Richtung beziehungsweise auf der Sehne muss die Scheibe direkt senkrecht darüber positioniert werden.

[0045] Komplizierter ist die Steuerung bei Nutzung eines Kugelflächenabschnitts als Schleiffläche. Im Falle der Bearbeitung parallel zur y-Achse muss für jeden Punkt auf dem radialen Schnitt des Werkstückes 2 der Anstieg berechnet werden, der Punkt auf dem Schleifwerkzeug 1 mit demselben Anstieg ermittelt werden und das Schleifwerkzeug so positioniert werden, dass diese beiden Punkte aufeinanderfallen. Beim Schleifen auf einer Sehne fährt zwar das Schleifwerkzeug 1 parallel zur x-Achse eine Sehne mit konstantem y-Wert ab, jedoch wandert dabei der Berührungspunkt in y-Richtung. Für jede x-Position des Werkzeugs 1 muss deshalb bestimmt werden, an welcher y-Koordinate die Schleiffläche beim Hineinbewegen des Werkstücks in z-Richtung dieses zuerst berührt wird. Im CNC-Programm muss dann die zugehörige z-Position an dieser x-Position angefahren werden.

[0046] Selbstverständlich können die erfindungsgemäßen Bearbeitungsverfahren analog auf Maschinen mit unterschiedlich aufgebauten Koordinatensystemen eingesetzt werden.

[0047] Ebenso sind sie in gleicher Weise auch für Werkstücke aus Metall oder anderen Materialien wie Halbleiter einsetzbar.

[0048] Analog zum Schleifen können dieselben Verfahren auch zum Polieren eingesetzt werden, wenn das Schleifwerkzeug sinngemäß durch ein Polierwerkzeug ersetzt wird.

[0049] **Figur 3** zeigt schematisch ein Verfahren zur Vermessung rotationssymmetrischer Werkstücke 2. Es wird ein Fahrweg über eine Sehne des Werkstücks gewählt, das Messsystem mit Messtaster 4 wird also auf einer vom Mittelpunkt des Werkstücks 2 beabstandeten Linie parallel zur x-Achse mit konstantem y-Wert gezogen, sodass es nicht die Erhebung 3 berührt.

[0050] Für jeden Messpunkt muss die angefahrene x-Position auf den zugehörigen Radius umgerechnet werden, um wieder einen Schnitt entlang des Durchmessers zu erhalten, der dann virtuell ist.

[0051] Mit taktilem Messen können auch die Schleifwerkzeuge selbst und andere raue Körper vermessen

werden. Um eine Beschädigung des Messtasters zu vermeiden, wird auf die Schleiffläche oder andere raue Flächen zunächst eine einheitlich dicke Schicht aufgebracht, insbesondere Klebestreifen oder -folien, auf der der Messtaster eingesetzt werden kann.

[0052] Für das Schleifen abseits des zur x-Achse parallelen Durchschnitts durch ein Werkstück ist anstelle einer herkömmlichen Schleifscheibe, bei der der höchste Punkt genau in der Mittelebene quer zur Symmetrieachse der Scheibe liegt, ein eher steiler Querschnitt der Scheibe wünschenswert, bei dem der höchste Punkt sich weitestmöglich am Rand der Scheibe befindet. Beim Schleifen eines konkaven Werkstücks auf einer Sehne oder radial parallel zur y-Achse sollte sich also, wenn die Scheibe sich in y-Richtung betrachtet hinter dem Mittelpunkt des Werkstücks befindet, der höchste Punkt auf der dem Mittelpunkt zugewandten Seite der Scheibe befinden. Ziel ist es, dass stets die bearbeitende Fläche parallel auf der zu bearbeitenden Fläche aufliegt. Daher bestimmt der Anstieg des Werkstücks den notwendigen Anstieg des Schleifwerkzeugs. Wenn beispielsweise ein zu erzeugender Spiegel einen radialen Anstieg von 10° bis 30° besitzt, muss auch der Schleifscheibenquerschnitt einen Anstieg von mindestens 10° bis 30° aufweisen.

[0053] Dazu wird beispielsweise ein Schleifwerkzeug 1 verwendet wie in **Figur 4** innerhalb einer virtuellen Kugelhülle 1.3 dargestellt, deren Mittelpunkt in der Mitte einer der beiden Seitenflächen 1.2 des Schleifwerkzeuges 1 liegt. Es handelt sich um eine Schleifscheibe, die in die erfindungsgemäße Form gebracht wurde. Die Spindel, mit der das Werkzeug 1 gedreht wird, kann sich dabei alternativ auf beiden Seiten der Scheibe 1 befinden, je nach dem, ob konvexe oder konkave Werkstücke oder Werkstückbereiche bearbeitet werden sollen.

[0054] In diesem Fall ist die Schleiffläche 1.1 ein Kugelflächensegment, das den Rand des Schleifwerkzeuges bildet und einen Ausschnitt aus der virtuellen Kugel 1.3 darstellt. Der virtuelle Mittelpunkt der Kugel 1.3 liegt außerhalb der Mittelebene der Scheibe bezüglich ihrer Dicke, sodass die Scheibe asymmetrisch geformt ist. Der Mittelpunkt kann sogar außerhalb des Scheibenkörpers liegen.

[0055] Die exakte Position des virtuellen Mittelpunktes sowie die notwendige beziehungsweise erlaubte Dicke des Scheibenkörpers richtet sich nach der Form des Werkstücks, genauer gesagt nach den geforderten Anstiegen wie oben beschrieben. Genau wie beim herkömmlichen Schleifen muss zudem bei konkaven Flächen die Oberflächenkrümmung der virtuellen Kugel 1.3 größer als die stärkste Krümmung des Werkstücks sein.

[0056] Für das Polieren abseits des zur x-Achse parallelen Durchschnitts durch ein Werkstück kann analog ein Polierwerkzeug derselben Form eingesetzt werden.

[0057] In **Figur 5** ist die Herstellung der Form eines Schleifwerkzeuges schematisch abgebildet. Die zylindrische Schleifscheibe 1, die auf dem Zylindermantel die Schleiffläche 1.1 aufweist, rotiert um ihre Symmetrieachse und wird in den Abrichtstein 5 hineingefahren. Die Schleifscheibe 1 wird dabei bezüglich ihres Mittelpunktes oder auch ihrer Mittelebene quer zur Symmetrieachse von der Rotationsachse des Abrichtsteins 5 in Richtung der Symmetrieachse der Schleifscheibe 1 beabstandet positioniert, im Koordinatensystem einer Schleifmaschine also in y-Richtung von der Rotationsachse des Abrichtsteins 5 beabstandet.

[0058] In **Figur 6** wird das Ergebnis dieser Vorgehensweise verdeutlicht. Der Abrichtstein erhält wie beim herkömmlichen Abrichten eine kugelabschnittsförmige Mulde, die Schleifscheibe erhält jedoch die Form eines nichtzentrischen Kugelabschnittes. Die Schleiffläche 1.1 erhält somit die Form eines Kugelflächensegmentes.

[0059] Der Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Scheibe 1 und der Rotationsachse des Abrichtsteins 5 kann bei Bedarf so weit gewählt werden, dass die Schleifscheibe 1 die Rotationsachse des Abrichtsteins 5 gar nicht berührt. Der Abrichtstein weist dann, wie in **Figur 7** dargestellt, in der Mitte einen unberührten Bereich auf, der steilste Anstieg auf der Schleiffläche 1.1 ist hier steiler als in dem Beispiel aus Figur 6.

[0060] Der notwendige Bereich des Kugelabschnittes wird auf der Basis der gewünschten Anstiege und abhängig vom Fahrweg des Werkzeuges berechnet und unter Beachtung der Bedingung, dass der virtuelle Mittelpunkt der virtuellen Kugel 1.3 auf der Verlängerung der Rotationsachse der Scheibe 1 liegt, die Scheibe um soviel parallel zur y-Achse, also entlang der Rotationsachse der Scheibe 1, verschoben, wie der virtuelle Kugelmittelpunkt vom Schleifscheibenmittelpunkt entfernt berechnet wurde.

[0061] Aus der zylindrischen Schleifscheibe wird so das kugelabschnittsförmige, Schleifwerkzeug hergestellt.

[0062] In **Figur 8** ist eine andere, mögliche Vorgehensweise dargestellt. Hier sind zwei identische Schleifscheiben 1 aneinander angeordnet, vorzugsweise aneinandergepresst. Sie werden zentriert in den Abrichtstein 5 hineingefahren.

[0063] Wie in **Figur 9** angedeutet, entsteht wiederum eine Mulde im Abrichtstein, während die so hergestellten Schleifwerkzeuge 1 asymmetrische Schleifflächen 1.1 bezüglich jeder Ebene senkrecht zur Rotations- und Symmetrieachse des Werkzeuges 1 aufweisen.

[0064] Zur Bestimmung des Mittelpunkts beziehungsweise der Symmetrieachse von rotationssymmetrischen Werkstücken dient das in **Figur 10** dargestellte Verfahren. Die Messdaten des Profils 7 werden nacheinander an allen potentiellen Mittelpunkt- bzw. Symmetrieachsenpositionen 8 in zwei Teile zerlegt und einer oder beide Teile an der jeweiligen Position gespiegelt, im Beispiel um die Position 10. Dann wird von diesen gespiegelten Teilen 11 mit den ursprünglichen Teilen 7 die Korrelation bestimmt, also das Skalarprodukt beider geteilt durch das Produkt der Norm der jeweiligen Teile berechnet. Dieser Wert ist am größten, wenn die Schnittposition 10 mit dem tatsächlichen Mittelpunkt 9 übereinstimmt. Im

Beispiel zeigt die Kurve 12 den Verlauf der Korrelation in Abhängigkeit der ausgewählten Achse.

[0065] **Figur 11** erläutert ein Verfahren zur Bestimmung der Schneidenform einer Wendeplatte 13. Es wird ein Probestück 14 gedreht, bei dem die kontinuierliche Form des Werkstücks durch eine stückweise lineare Approximation ersetzt wird. Aus beispielsweise einer Asphäre wird also eine Aneinanderreihung von Kegelstücken 15. Innerhalb eines Kegelstückes 15 ist nur ein bestimmter Punkt der Schneide im Eingriff, abhängig von der Schräge des Kegels 15. Zudem wird im gleichen Schritt eine plane Referenzfläche 16 an das Probestück 14 gedreht. Das Probestück 14 wird anschließend vermessen, und durch Vergleich der Positionen der Kegelstücke 15 mit der Referenzfläche 16 oder der Kegelstükke 15 untereinander kann die genaue Position des bearbeitenden Punktes der Schneide als Stützpunkt der Schneidenform bestimmt werden.

[0066] Aus diesen Stützpunkten, einer pro Kegelstück, kann dann per Interpolation die Form der Schneide bestimmt und das CNC-Programm entsprechend angepasst werden. Alternativ kann aus den ermittelten Stützpunkten ein mittlerer Schneidenradius bestimmt werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0067]

1	Schleifwerkzeug
	1.1 Schleiffläche
	1.2 Seitenfläche
	1.3 Virtuelle Kugel
2	Werkstück
3	Erhebung
4	Messtaster
5	Abrichtstein
6	Mulde
7	Gemessenes Profil
8	Mögliche Symmetrieachsen
9	Tatsächliche Symmetrieachse
10	Ausgewählte Achse
11	Gespiegeltes Profil
12	Korrelationsfunktion
13	Wendeplatte
14	Probestück
15	Kegelsegmente
16	Planfläche

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bearbeiten eines rotationssymmetrischen Werkstückes (2), insbesondere zur Bearbeitung eines Werkstückes mit optisch wirksamen Flächen, dessen Symmetrieachse parallel zur z-Achse ausgerichtet und das parallel zur z-Achse bewegbar ist, mit einem rotierenden, rotationssymmetrischen Schleif- oder Polierwerkzeug (1), dessen Rotationsachse parallel zur y-Achse ausgerichtet ist und das parallel zur x-Achse bewegt wird und dabei die Oberfläche des Werkstückes (2) mit einer bearbeitenden Fläche (1.1) berührt, wobei das Werkstück (2) um seine Symmetrieachse rotiert, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werkzeug (1) in genau einer Ebene, die parallel zur x-z-Ebene ist und die von der Rotationsachse des Werkstückes (2) beabstandet ist, mit konstantem y-Wert bewegt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jede x-Position des Werkzeugs (1) ermittelt wird, an welcher y-Position die bearbeitende Fläche (1.1) beim Hineinbewegen parallel zur z-Achse das Werkstück (2) zuerst berührt, und die zu dieser x-y-Position gehörende z-Position angefahren wird.

3. Verfahren zum Bearbeiten eines rotationssymmetrischen Werkstückes (2), insbesondere zur Bearbeitung eines Werkstückes mit optisch wirksamen Flächen, dessen Symmetrieachse parallel zur z-Achse ausgerichtet und das parallel zur z-Achse bewegbar ist, mit einem rotierenden, rotationssymmetrischen Schleif- oder Polierwerkzeug (1), dessen Rotationsachse parallel zur y-Achse ausgerichtet ist und dabei die Oberfläche des Werkstückes (2) mit einer bearbeitenden Fläche (1.1) berührt, wobei das Werkstück (2) um seine Symmetrieachse rotiert, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werkzeug (1) auf seinen Berührungspunkt mit dem Werkstück (2) bezogen in genau einer Ebene, die parallel zur y-z-Ebene ist und in der die Rotationsachse des Werkstückes (2) liegt, mit konstantem x-Wert bewegt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werkstück (2) nur außerhalb eines symmetrischen Bereichs, der um die Rotationsachse des Werkstücks (2) zentriert ist, mit dem Werkzeug bearbeitet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Werkzeug (1) verwendet wird, dessen bearbeitende Fläche (1.1), die ein rotationssymmetrischer Kugelflächenabschnitt einer virtuellen Kugel (1.3), deren virtueller Mittelpunkt auf der Symmetrieachse des Werkzeugs (1) liegt, ist, bezüglich jeder Spiegelebene, die senkrecht zu seiner Symmetrieachse liegt, asymmetrisch geformt ist und daher der virtuelle Kugelmittelpunkt außerhalb der Mittelebene der bearbeitenden Fläche (1.1) liegt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Werkzeug (1) verwendet wird, das die Form eines Torusabschnitts aufweist, wobei der Schnitt in einer Ebene senkrecht zur Symmetrieachse erfolgt ist.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werkzeug (1) für konkave Bereiche des Werkstücks (2) mit der Seite des größten Anstiegs der bearbeitenden Fläche (1.1) von der Rotationsachse des Werkstücks (2) weg orientiert wird und für konvexe Bereiche des Werkstücks (2) mit der Seite des größten Anstiegs der bearbeitenden Fläche (1.1) zur Rotationsachse des Werkstücks (2) hin orientiert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 5, 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jeden Punkt auf einem Schnitt parallel zur y-Achse durch die Rotationsachse des Werkstücks (2) der Anstieg der Werkstückoberfläche ermittelt wird, für diesen Punkt die Stelle des Werkzeugs (1) ermittelt wird, an der die bearbeitende Fläche (1.1) den gleichen Anstieg aufweist und das Werkzeug (1) so positioniert wird, dass der Punkt und die Stelle aufeinanderfallen.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werkzeug (1) das Werkstück (2) steuerungsabhängig auch abseits der Mittelebene der bearbeitenden Fläche (1.1) berührt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Werkzeug (1) in Form einer dünnen Scheibe verwendet wird, die an ihrer Schmalseite die bearbeitende Fläche (1.1) aufweist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Werkzeug (1) in Form eines Kegels oder eines Kegelstumpfs verwendet wird, der an der Stelle des größten Radius des Kegelmantels auf dem Mantel die bearbeitende Fläche (1.1) aufweist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werkzeug (1) mit der Seite des größten Radius des Kegelmantels zur Rotationsachse des Werkstücks (2) hin orientiert wird.

13. Verfahren zum taktilen Messen eines rotationssymmetrischen Werkstücks (2), dessen Symmetrieachse parallel zur z-Achse ausgerichtet ist, mit einem Messtaster (4), der parallel zur x-Achse bewegt wird, dabei die Oberfläche des Werkstücks (2) abtastet und im Verlauf an Messpunkten die z-Werte der Oberfläche misst, insbesondere zur Ermittlung eines Schnittprofiles und/oder zur Bestimmung des Mittelpunktes des Werkstücks (2), **dadurch gekennzeichnet, dass** der Messtaster (4) auf seinen Berührungspunkt mit dem Werkstück (2) bezogen in genau einer Ebene, die parallel zur x-z-Ebene ist und die von der Rotationsachse des Werkstückes (2) beabstandet ist, mit konstantem y-Wert bewegt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jeden Messpunkt die angefahrene x-Position auf den zugehörigen Radius des Werkstücks (2) umgerechnet wird.

Claims

1. Procedure for machining a rotationally symmetric workpiece (2), especially for machining a workpiece with optically effective areas, the symmetry axis of which is aligned in parallel to the z axis and which is movable in parallel to the z axis with a rotating rotationally symmetric grinding or polishing tool (1), the axis of rotation of which is aligned in parallel to the y axis and which is moved in parallel to the x axis, touching the surface of the workpiece (2) with a machining area (1.1) while the workpiece (2) rotates around its symmetry axis, **characterized in that** the tool (1) is moved with a constant y value precisely in one plane which is parallel to the x-z plane and which is at a distance to the axis of rotation of the workpiece (2).

2. Procedure as claimed in claim 1, **characterized in that**, for every x position of the tool (1), it is determined at which y position the machining area (1.1) touches the workpiece (2) first when moving in in parallel to the z axis, and **in that** the z position belonging to this x-y position is approached.

3. Procedure for machining a rotationally symmetric workpiece (2), especially for machining a workpiece with optically effective areas, the symmetry axis of which is aligned in parallel to the z axis and which is movable in parallel to the z axis, with a rotating rotationally symmetric grinding or polishing tool (1), the axis of rotation of which is aligned in parallel to the y axis and is touching the surface of the workpiece (2) with a machining area (1.1) while the workpiece (2) rotates around its symmetry axis, **characterized in that** the tool (1) is moved with a constant x value with reference to its contact point with the workpiece (2) precisely in one plane which is parallel to the y-z plane and which is situated in the axis of rotation of the workpiece (2).

4. Procedure as claimed in claims 1, 2 or 3, **characterized in that** the workpiece (2) is machined using the tool only outside of a symmetric area which is centred around the axis of rotation of the workpiece (2).

5. Procedure as claimed in any claim 1 through 4, **characterized in that** a tool (1) is used, the machining area (1.1) of which is a rotationally symmetric spher-

ical surface section of a virtual sphere (1.3) the virtual centre point of which lies on the symmetry axis of the tool (1), is formed asymmetrically with reference to every mirror plane which lies perpendicularly to its symmetry axis, the virtual sphere centre thus being located outside the centre plane of the machining area (1.1).

6. Procedure as claimed in any claim 1 through 4, **characterized in that** a tool (1) is used which has the form of a torus section where the section has been made in a plane perpendicular to the symmetry axis.

7. Procedure as claimed in claim 5 or 6, **characterized in that** the tool (1) for concave areas of the workpiece (2) is oriented with the side of the biggest rise of the machining area (1.1) away from the axis of rotation of the workpiece (2), and, for convex parts of the workpiece (2), is oriented with the side of the biggest rise of the machining area (1.1) toward the axis of rotation of the workpiece (2).

8. Procedure as claimed in claims 5, 6 or 7, **characterized in that**, for every point on a section parallel to the y axis through the axis of rotation of the workpiece (2), the rise of the workpiece surface is determined, the position of the tool (1) at which the machining area (1.1) has the same rise is determined for this point, and **in that** the tool (1) is positioned such that the point and the position coincide.

9. Procedure as claimed in any claim 5 through 8, **characterized in that** the tool (1), independently of control, touches the workpiece (2) also away from the centre plane of the machining area (1.1).

10. Procedure as claimed in any claim 1 through 4, **characterized in that** a tool (1) is used in the form of a thin disk which has the machining area (1.1) at its narrow side.

11. Procedure as claimed in any claim 1 through 4, **characterized in that** a tool (1) is used in the form of a cone or of a truncated cone which has the machining area (1. 1) at the position of the biggest radius on the cone's lateral surface.

12. Procedure as claimed in claim 11, **characterized in that** the tool (1) is oriented toward the axis of rotation of the workpiece (2) with the side of the biggest radius of the cone's lateral surface.

13. Procedure for the tactile measurement of a rotationally symmetric workpiece (2), the symmetry axis of which is aligned in parallel to the z axis, having a measuring stylus (4) that is moved in parallel to the x axis, sensing the surface of the workpiece (2) and measuring the surface's z values at measuring points in the process, especially for determining a sectional profile and/or for determining the centre point of the workpiece (2), **characterized in that** the measuring stylus (4) is moved with a constant y value with reference to its contact point with the workpiece (2) precisely in a plane which is parallel to the x-z plane and which is at a distance to the axis of rotation of the workpiece (2).

14. Procedure as claimed in claim 13, **characterized in that**, for every measuring point, the approached x position is converted to the appertaining radius of the workpiece (2).

Revendications

1. Procédé d'usinage d'une pièce (2) à symétrie de rotation, en particulier pour l'usinage d'une pièce avec des surfaces optiquement actives, dont l'axe de symétrie est parallèle à l'axe z et qui est déplaçable parallèlement à l'axe z, au moyen d'un outil de rectification ou de polissage (1) rotatif à symétrie de rotation, dont l'axe de rotation est parallèle à l'axe y et qui est déplacé parallèlement à l'axe x, et est alors au contact de la surface de la pièce (2) par une surface d'usinage (1.1), où la pièce (2) est rotative autour de son axe de symétrie, **caractérisé en ce que** l'outil (1) est précisément déplacé d'une valeur y constante sur un plan parallèle au plan x-z et espacé de l'axe de rotation de la pièce (2).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, pour chaque position x de l'outil (1), il est déterminé sur quelle position y la surface d'usinage (1.1) est d'abord mise au contact de la pièce (2) par déplacement parallèlement à l'axe z, et le déplacement vers la position z associée à cette position x-y est déclenché.

3. Procédé d'usinage d'une pièce (2) à symétrie de rotation, en particulier pour l'usinage d'une pièce avec des surfaces optiquement actives, dont l'axe de symétrie est parallèle à l'axe z et qui est déplaçable parallèlement à l'axe z, au moyen d'un outil de rectification ou de polissage (1) rotatif à symétrie de rotation, dont l'axe de rotation est parallèle à l'axe y et est alors au contact de la surface de la pièce (2) par une surface d'usinage (1.1), où la pièce (2) est rotative autour de son axe de symétrie, **caractérisé en ce que** l'outil (1) est précisément déplacé d'une valeur x constante vers son point de contact avec la pièce (2) sur un plan parallèle au plan y-z et où est situé l'axe de rotation de la pièce (2).

4. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, **caractérisé en ce que** la pièce (2) n'est usinée par l'outil qu'extérieurement à une zone symétrique, centrée

autour de l'axe de rotation de la pièce (2).

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'**un outil (1) est utilisé, dont la surface d'usinage (1.1), laquelle est une partie de surface sphérique à symétrie de rotation d'une sphère virtuelle (1.3) dont le centre virtuel est situé sur l'axe de symétrie de l'outil (1), est formée asymétriquement par rapport à chaque plan de symétrie perpendiculaire à son axe de symétrie, et **en ce que** le centre virtuel de sphère est par conséquent situé extérieurement au plan central de la surface d'usinage (1.1).

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'**un outil (1) est utilisé, lequel a la forme d'un tronçon de tore, la coupe ayant été exécutée sur un plan perpendiculaire à l'axe de symétrie.

7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, **caractérisé en ce que**, pour des zones concaves de la pièce (2), l'outil (1) est éloigné de l'axe de rotation de la pièce (2) par le côté de la rampe maximale de la surface d'usinage (1.1) et, pour des zones convexes de la pièce (2), tourné vers l'axe de rotation de la pièce (2) par le côté de la rampe maximale de la surface d'usinage (1.1).

8. Procédé selon la revendication 5, 6 ou 7, **caractérisé en ce que**, pour chaque point sur une coupe parallèle à l'axe y par l'axe de rotation de la pièce (2), la rampe de la surface de la pièce est déterminée, l'emplacement de l'outil (1) où la surface d'usinage (1.1) présente la même rampe est déterminée pour ce point, et l'outil (1) est positionné de manière à faire coïncider le point et l'emplacement.

9. Procédé selon l'une des revendications 5 à 8, **caractérisé en ce que** l'outil (1) est au contact de la pièce (2) en fonction de la commande, y compris au-delà du plan central de la surface d'usinage (1.1).

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'**un outil (1) sous la forme d'un disque mince est utilisé, lequel présente la surface d'usinage (1.1) sur sa largeur.

11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'**un outil (1) sous la forme d'un cône ou d'un cône tronqué est utilisé, lequel présente la surface d'usinage (1.1) sur son aire latérale, à l'emplacement du rayon maximal de l'aire latérale du cône.

12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** l'outil (1) est tourné vers l'axe de rotation de la pièce (2) par le côté du rayon maximal de l'aire latérale du cône.

13. Procédé de mesure tactile d'une pièce (2) à symétrie de rotation dont l'axe de symétrie est parallèle à l'axe z, au moyen d'un palpeur de mesure (4) déplacé parallèlement à l'axe x, balayant alors la surface de la pièce (2) et mesurant les valeurs z de la surface sur des points de mesure de la course, en particulier pour déterminer un profil de coupe et/ou pour déterminer le centre de la pièce (2), **caractérisé en ce que** le palpeur de mesure (4) est précisément déplacé d'une valeur y constante vers son point de contact avec la pièce (2) sur un plan parallèle au plan x-z et espacé de l'axe de rotation de la pièce (2).

14. Procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** pour chaque point de mesure, le déplacement vers la position x est converti sur le rayon correspondant de la pièce (2).

Fig. 1

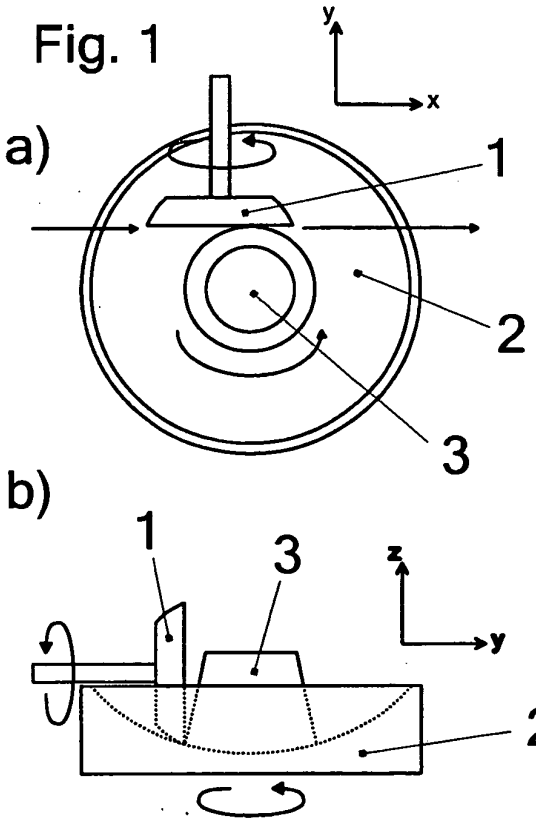


Fig. 2

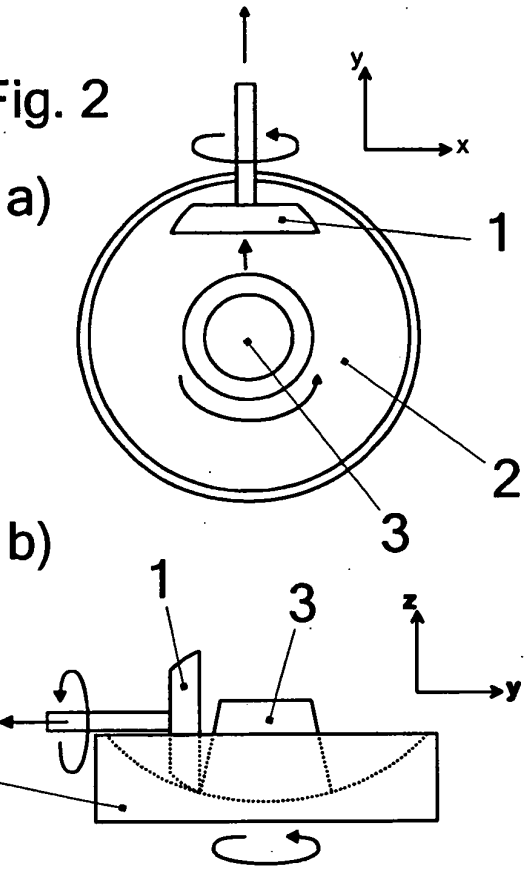


Fig. 3

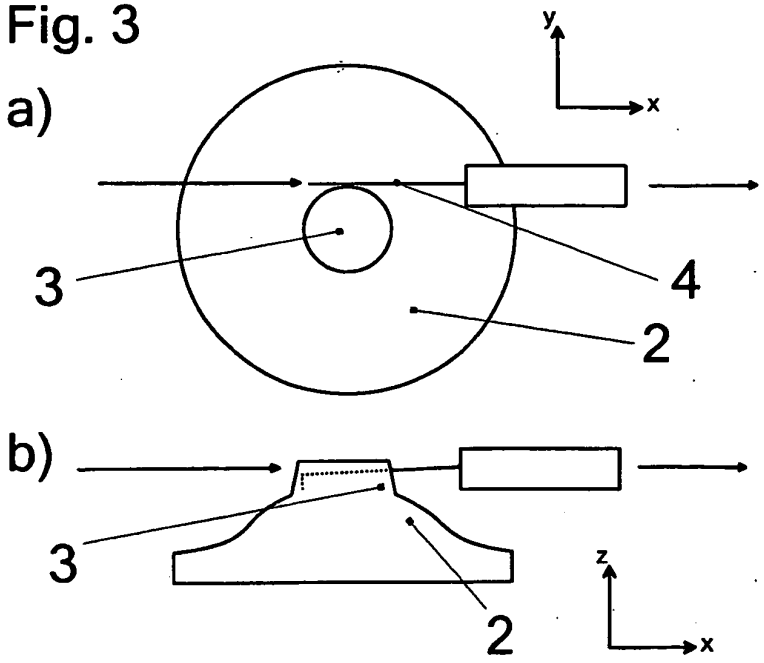


Fig. 4

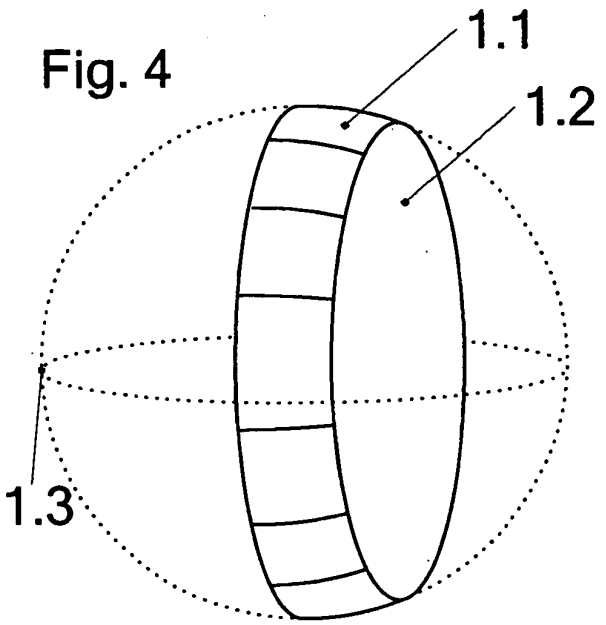


Fig. 5

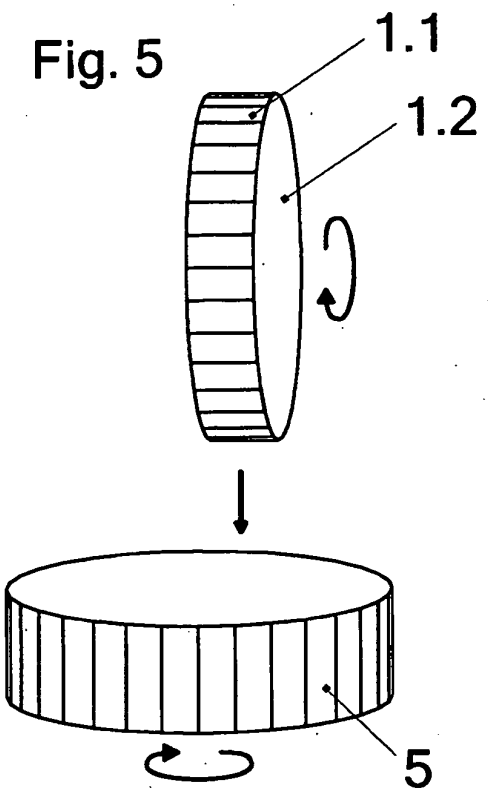


Fig. 6

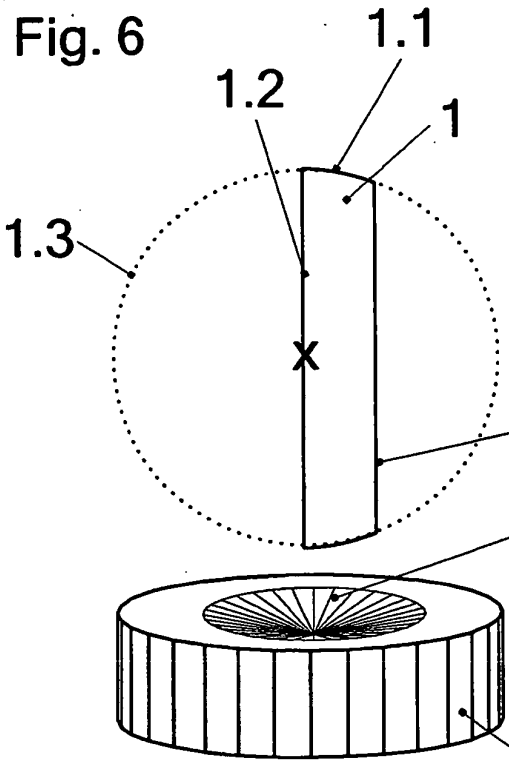


Fig. 7

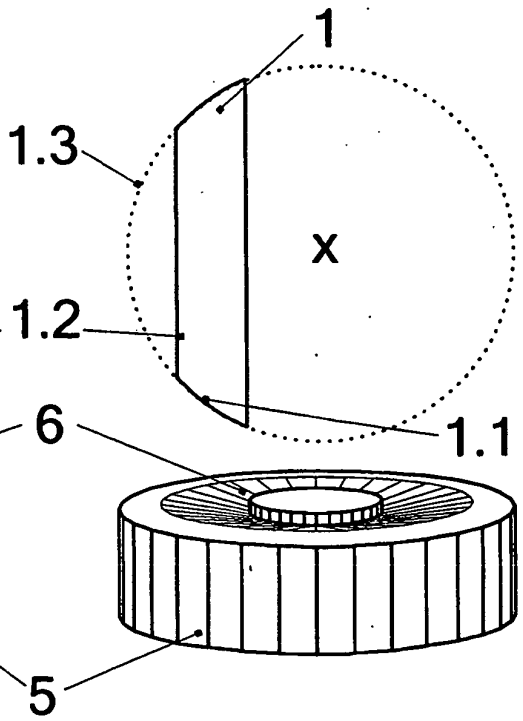


Fig. 8

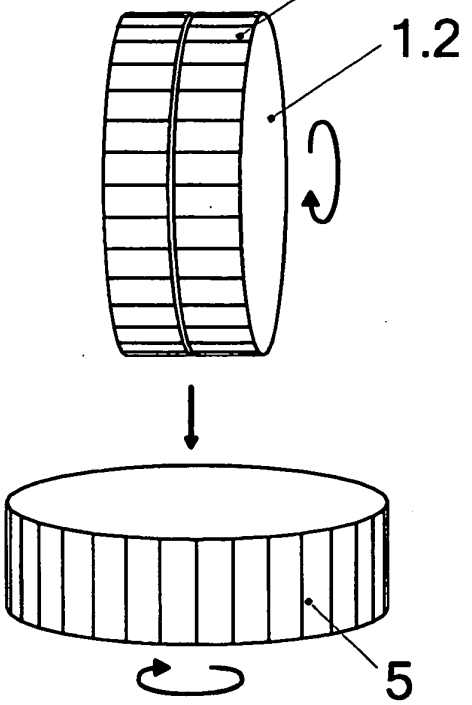


Fig. 9

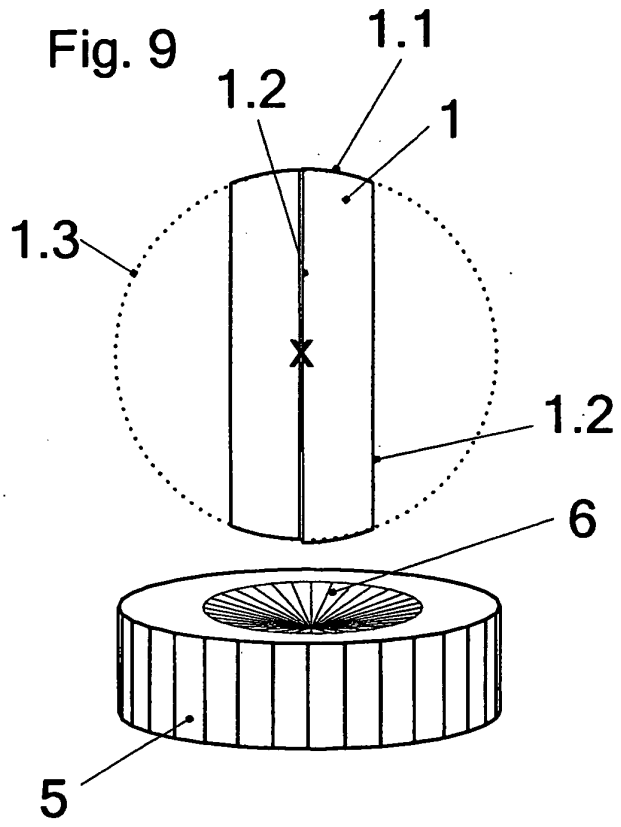


Fig. 10

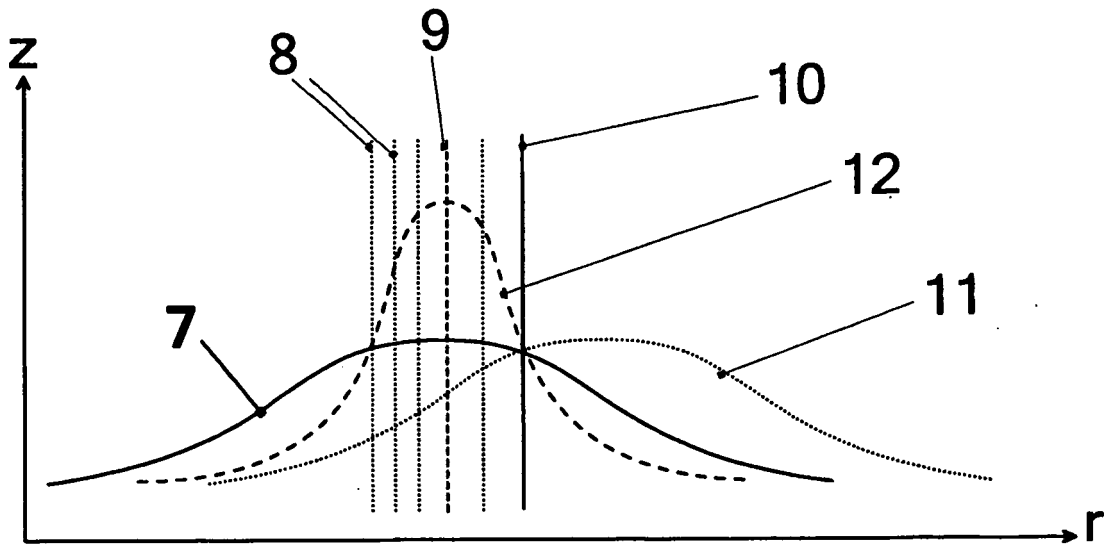
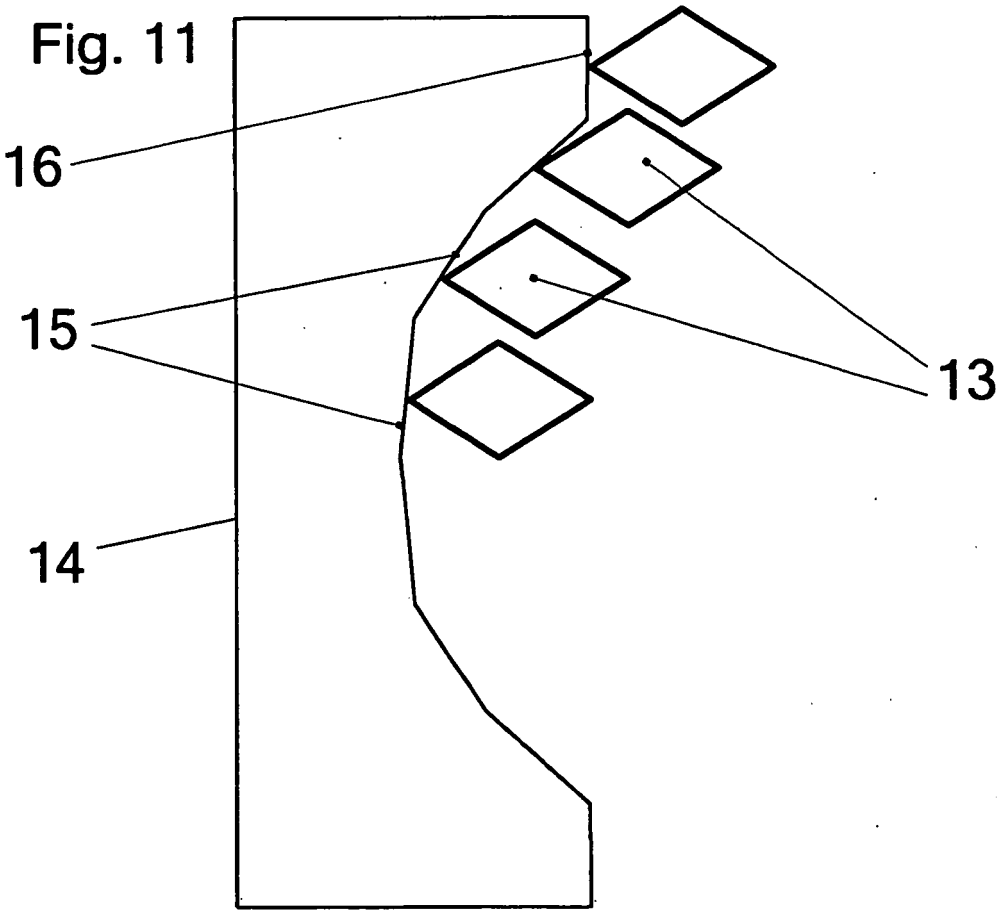


Fig. 11



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 10038415 A **[0001]**