



(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: 196 80 863.4
(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/DE96/01947
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 1997/013603
(86) PCT-Anmelddatum: 11.10.1996
(87) PCT-Veröffentlichungstag: 17.04.1997
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 13.06.2013

(51) Int Cl.: **B23B 5/40 (2006.01)**
B23Q 15/00 (2006.01)
H02K 41/02 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:
195 38 274.9 14.10.1995

(73) Patentinhaber:
Carl Zeiss Vision GmbH, 73430, Aalen, DE

(74) Vertreter:
**König & Naeven Patent- und
Rechtsanwaltskanzlei, 52072, Aachen, DE**

(72) Erfinder:
**Hof, Albrecht, 73430, Aalen, DE; Mehlkopp, Klaus,
52477, Alsdorf, DE**

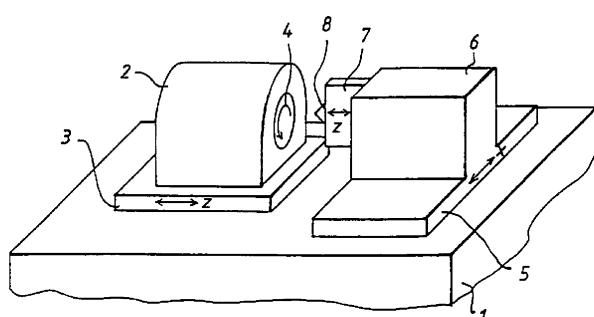
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US	543 504	A
US	5 320 006	A
US	5 195 407	A
EP	0 439 425	A1
EP	0 453 627	A2
EP	0 568 375	A1
EP	0 641 626	A1
WO	97/ 13 603	A2

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen von optischen Oberflächen sowie Bearbeitungsmaschine zur Durchführung des Verfahrens**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen von optischen Oberflächen von Gleitsichtbrillenlinsen oder Formschalen zur Herstellung von Gleitsichtbrillenlinsen, wobei ein Rohling einer Gleitsichtbrillenlinse oder ein Rohling einer Formschale an der Werkstückaufnahme (4) einer Achse einer Spindel (2) einer Bearbeitungsmaschine gehalten und mittels eines Drehwerkzeuges (8), welches in orthogonaler Richtung (X) zur Achsrichtung (Z) der Spindel (2) eine Relativbewegung zum Rohling ausübt, direkt zu seiner endgültigen Form gedreht wird, wobei das Drehwerkzeug (8) in Achsrichtung (Z) der Spindel (2) bewegt wird und während jeder Spindelumdrehung inkrementale Zustellungen des Drehwerkzeuges (8) in Achsrichtung (Z) der Spindel (2) auf den Rohling bzw. von diesem weg entsprechend vorgegebener oder online-berechneter Daten der Oberfläche erfolgen, dadurch gekennzeichnet, dass die einen Hub von ca. 1 mm aufweisende schnelle Werkzeugbewegung in Achsrichtung (Z) der Spindel (2), um die in Umfangsrichtung auftretenden, durch die asphärische Form bedingten Höhenunterschiede herauszuarbeiten mit mindestens einem reibungsarm gelagerten Linearmotor (6, 13) ausgeführt wird und auf mindestens 0,0005 mm genau bestimmt wird und dass die bei der Zustellung entstehende Reaktionskraft durch einen statischen Massenausgleich, bei dem die dynamischen Kräfte des Linearmotors (6) in eine gro-

ße Masse (1) eingeleitet werden, die so dimensioniert ist, dass die Reaktionsbewegung aus einer Bewegung des Linearmotors (6) deutlich kleiner als einige Mikrometer bleibt, oder durch einen dynamischen Massenausgleich ausgeglichen wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Bearbeitungsmaschine zum Herstellen von optischen Oberflächen von Gleitsichtbrillen oder Formschalen zur Herstellung von Gleitsichtbrillenlinsen. Beim Verfahren wird ein Rohling einer Gleitsichtbrillenlinse oder ein Rohling einer Formschale an der Werkstückaufnahme einer Achse einer Spindel einer Bearbeitungsmaschine gehalten und mittels eines Drehwerkzeuges, welches in orthogonaler Richtung zur Achsrichtung der Spindel eine Relativbewegung zum Rohling ausübt, direkt zu seiner endgültigen Form gedreht, wobei das Drehwerkzeug in Achsrichtung der Spindel bewegt wird und während jeder Spindelumdrehung inkrementale Zustellungen des Drehwerkzeuges in Achsrichtung der Spindel auf den Rohling bzw. von diesem weg entsprechend vorgegebener oder online-berechneter Daten der Oberfläche erfolgen.

[0002] Die Bearbeitungsmaschine weist eine auf einem steifen Maschinenbett gelagerte Spindel auf, an der ein Rohling für eine optische Oberflächenbearbeitung oder ein Rohling einer Formschale gehalten werden kann, und ein in Achsrichtung der Spindel bewegbares Drehwerkzeug, wobei das Drehwerkzeug oder die Spindel auf einem Schlitten in einer Richtung orthogonal zur Achsrichtung der Spindel bewegbar ist.

[0003] Optische Oberflächen und insbesondere ophthalmische Linsen mit komplizierter Geometrie, z. B. Gleitsichtgläser, können heute aus Silikatglas oder aus Kunststoff hergestellt werden. Als Silikatlinsen werden sie durch Schleifen und nachfolgendes Polieren hergestellt. Kunststofflinsen werden durch Gießen in einer vorher gefertigten Negativform gefertigt. Die Negativformen, sogenannte Formschalen, werden aus Silikatglas mit der gleichen Methode wie bei der Fertigung von ophthalmischen Linsen, also ebenfalls durch Schleifen und Polieren, hergestellt.

[0004] Nachteilig bei dieser Vorgehensweise ist, dass insbesondere für die Fertigung von ophthalmischen Linsen alle benötigten geometrischen Formen vorrätig gehalten werden müssen.

[0005] Nachteilig ist außerdem, dass sich bei den mehrstufigen Fertigungsprozessen die Toleranzen der einzelnen Schritte ungünstig auf das Endprodukt auswirken können. Korrekturstrategien sind sehr aufwendig und kompliziert. Mit jedem zusätzlichen Prozessschritt wird die Situation unübersichtlicher, da Fehler meistens erst am Schluss des Prozesses feststellbar sind und so die Ursache möglicherweise nur schwer zu lokalisieren ist.

[0006] Durch die US-PS 5 320 006 ist es bereits bekannt, die Grundform von Kunststofflinsen auf einer

geeigneten Drehmaschine zu drehen und sie nachfolgend auf einer Poliermaschine fertig zu bearbeiten, wobei die Krümmung des Polierwerkzeuges gemessen und als Regelgröße für das Drehwerkzeug verwendet wird, um einen möglichst genau an das Polierwerkzeug angepassten Rohling zu erzeugen und so das Polieren auf ein Minimum zu beschränken. Abgesehen davon, dass immer noch ein aufwendiger Poliervorgang verbleibt, sind mit dieser Methode nur sphärische, allenfalls torisch geformte Brillenlinsen herstellbar. Gleitsichtlinsen weisen komplexe asphärische Formen auf und können auf diese Weise nicht hergestellt werden.

[0007] Aus der EP 0 439 425 A1 ist eine Vorrichtung zum Herstellen von Kontaktlinsen bekannt, bei der ein Werkstück auf einer Spindel sitzt und ein Drehwerkzeug mittels Piezo-Elementen parallel zur Rotationsachse der Spindel zugestellt wird. Für die Bewegung quer zur Rotationsachse der Spindel ist ein Schwenkarm vorgesehen, der eine Schlittenführung für den Werkzeugschlitten trägt. Alternativ wird eine translatorische Führung quer zur Rotationsachse der Spindel vorgeschlagen, ohne dass hierfür die Art des Antriebs offenbart wird.

[0008] Die US 5,195,407 offenbart eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung asphärischer Linsen. Eine zu bearbeitende Linse wird von einer Spindel getragen und mittels eines Drehwerkzeuges bearbeitet. Die Zustellung des Werkzeuges erfolgt mittels eines Schneckenantriebs oder eines Linearmotors. Für eine Bewegung des Werkzeuges quer zur Rotationsachse der Spindel ist allein eine Schwenkbewegung des Werkzeuges um eine Schwenkkurve offenbart.

[0009] Aus EP 0 568 375 A1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung ophthalmischer Linsen bekannt. Dabei wird eine auf einer Spindel befindliche Linse mit einem Drehwerkzeug bearbeitet, das sich mittels zweier senkrecht zueinander stehender Gewindeantriebe linear sowohl parallel zur Rotationsachse der Spindel als auch senkrecht hierzu bewegen lässt.

[0010] Die EP 0 453 627 A2 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von Kunststofflinsen. Dabei ist es offenbart, die an einer Spindel rotierende Linse mit einem Fräswerkzeug zu bearbeiten. Linse und Fräswerkzeug sind relativ zueinander parallel zur Rotationsachse der Linse sowie senkrecht hierzu linear bewegbar. Die Bewegung erfolgt mittels eines Schraubenantriebs mit Servomotor. Es ist offenbart, zur Vermeidung von Schwingungen des Bedienpaneels eine schwere Basisplatte zu verwenden.

[0011] Die US 5,43,504 offenbart eine Vorrichtung zur Herstellung von bifokalen Kontaktlinsen, bei der

zur Bearbeitung einer an einer Spindel befestigten Linse ein Drehwerkzeug mit einem Bearbeitungsradius um die Linse herum geschwenkt wird. Somit kommt es zu einer Kombination der Schwenkbewegung des Werkzeuges mit einer Linearbewegung der Linsenhalterung.

[0012] Die EP 0 641 626 A1 offenbart eine Schleifmaschine mit Abgleichschwingbewegungen. Ein Drehwerkzeug ist nicht offenbart. Vielmehr wird ein auf einer Spindel rotierendes Werkstück mittels rotierender Schleifwerkzeuge, die auf Schleifspindeln aufgebracht sind, bearbeitet. Es ist offenbart, zwei Werkzeugspindeln einzusetzen, die mittels einer Schraubenführung derart gegensätzlich zueinander beschleunigt und bewegt werden, dass ein dynamischer Massenausgleich realisiert wird. Eine Herstellung von optischen Oberflächen von Gleitsichtbrillenlinsen ist bereits aufgrund der Schraubenführung der Werkzeugspindeln nicht sinnvoll mit wirtschaftlicher Geschwindigkeit möglich.

[0013] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Bearbeitungsma schine anzugeben, mit denen auch geometrisch kompliziert geformte optische Oberflächen von Gleitsichtbrillenlinsen oder Formschalen zur Herstellung von Gleitsichtbrillenlinsen nach individueller Datenvorgabe in einem einzigen Prozessschritt direkt gefertigt werden können, wobei keine oder zumindest nur geringe Nacharbeiten zur Fertigstellung der optischen Oberflächen vonnöten sein sollen.

[0014] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass die einen Hub von ca. 1 mm aufweisende schnelle Werkzeugbewegung in Achsrichtung der Spindel, um die in Umfangsrichtung auftretenden, durch die asphärische Form bedingten Höhenunterschiede herauszuarbeiten mit mindestens einem reibungsarm gelagerten Linearmotor ausgeführt wird und auf mindestens 0,0005 mm genau bestimmt wird und dass die bei der Zustellung entstehende Reaktionskraft durch einen statischen Massenausgleich, bei dem die dynamischen Kräfte des Linearmotors in eine große Masse eingeleitet werden, die so dimensioniert ist, dass die Reaktionsbewegung aus einer Bewegung des Linearmotors deutlich kleiner als einige Mikrometer bleibt, oder durch einen dynamischen Massenausgleich ausgeglichen wird.

[0015] Der Stichel kann einen sehr kleinen Radius haben, wodurch der Eingriff nahezu punktförmig wird. Der Stichel kann aber auch einen Radius von mehreren Millimetern aufweisen. Er kann mit einem monokristallinen Diamanten bestückt sein.

[0016] Zur Positionsbestimmung und Zustandserfassung von Rohling und Drehwerkzeug sind entsprechende Messsysteme für die lineare und rotato-

rische Bewegung erforderlich. Erfindungsgemäß ist in bevorzugter Weise vorgesehen, dass die Positionen von Drehwerkzeug und Rohling optoelektronisch abgetastet werden. Die Position der Werkzeugbewegung in Z-Richtung ist auf mindestens 0,0005 mm genau zu bestimmen.

[0017] Messsysteme mit mindestens 0,0005 mm Auflösung und der erforderlichen Länge sind z. B. als optoelektronisch abgetastete Maßstäbe oder Laserinterferometer verfügbar. Zur Positionsbestimmung der Drehbewegung eignen sich optoelektronische Drehgeber. Ebenfalls verfügbar sind Tachometer zur Bestimmung der momentanen Bewegungsgeschwindigkeiten.

[0018] Die erzeugte Oberfläche ist in der Regel bereits gebrauchsfertig. Gegebenenfalls bedarf es zum Herstellen der Gebrauchsfähigkeit noch einer geringen Nacharbeit durch Polieren. Die Form wird dabei vollständig durch den Drehprozess bestimmt und durch das Polieren nicht mehr verändert.

[0019] Alternativ zum Polieren kann die Oberfläche auch z. B. durch Tauchen in Lack gebrauchsfähig gemacht werden.

[0020] Neben ophthalmischen Linsen können mit dem Verfahren auch Formschalen zur Herstellung von ophthalmischen Linsen, z. B. aus Metall oder Keramik, hergestellt werden. Polieren ist auch hier nur in sehr geringem Umfang erforderlich. Des Weiteren können optische Oberflächen, z. B. andere Linsen oder Spiegel mit komplizierter, nicht-rotationssymmetrischer Form, hergestellt werden.

[0021] Für den Einbau der Linsen oder Spiegel, aber insbesondere der Brillenlinsen in die Brillenfassung, müssen Marken auf der Oberfläche angebracht sein, die eine schnelle Orientierung erlauben. Diese Marken, die bisher zusätzlich mit speziellen Diamant-Werkzeugen oder mit hochenergetischer Laserstrahlung erzeugen werden müssen, können während des Bearbeitungsprozesses nunmehr direkt miterzeugt werden, da es möglich ist, ein punktförmig arbeitendes Werkzeug zu verwenden. Alle Reproduzierbarkeitsprobleme, wie sie bei jedem Maschinenwechsel auftreten, entfallen dadurch. Darüber hinaus können beliebige Zeichen freiprogrammierbar erzeugt werden. Damit kann jede Linse individuell gekennzeichnet werden.

[0022] In analoger Weise betrifft das die Herstellung von Formschalen z. B. zur Herstellung von ophthalmischen Linsen. Auch in den Formschalen können alle Markierungen zur späteren Orientierung der Linse und weitere Zeichen angebracht werden.

[0023] Da die Durchbiegung des Linsenmaterials des Materials Glas oder Kunststoff für Linsen oder

Spiegel) keine schnellen Werkzeugbewegungen erfordert, kann man diese Bewegung durch eine langsame Z-Bewegung ersetzen, der der schnelle Z-Antrieb überlagert ist. Die schnelle Z-Bewegung muss dann zur Herstellung von z. B. Gleitsichtlinsen nur mehr einen Hub von ca. 1 mm haben. Diese Vorgehensweise hat insbesondere den Vorteil, dass der zur Formgebung benutzte Bereich des Drehwerkzeuges kleiner wird. Ungleichmäßige Abnutzung des Drehwerkzeuges hat dann kleinere Auswirkungen.

[0024] Ein Problem jedes Drehvorganges ist die Singularität in der Mitte des Werkstückes. Es kann deshalb in bevorzugter Weise vorgesehen sein, dass der Rohling in zwei geringfügig vom Drehzentrum abweichenden off-axis-Positionen gedreht wird.

[0025] Dabei bearbeitet man den Rohling so, dass das jeweilige Drehzentrum gerade nur durch den Prozess in der jeweils anderen Stellung erreicht wird. Man dreht also nicht bis zur Spindelachse.

[0026] Bei zu großen radialen Bewegungen kann die Drehbewegung am Rand ins Leere laufen. Man kann dies vermeiden, indem man erfindungsgemäß in X-Richtung die Bahnabstände variiert. Dies erfordert dann auch für diesen Vorschub-Antrieb eine entsprechende Dynamik, die man z. B. durch Anlegen von harmonischen Schwingungen erreichen kann. Auch hierfür ist ein dynamischer Massenausgleich vorteilhaft.

[0027] Der dynamische Massenausgleich erfordert, dass eine zweite Bewegung einer gleich großen Masse mit entgegengesetzter Bewegungsrichtung ausgeführt werden muss. Man kann diese kollinare Be wegung benutzen, um gleichzeitig die Vorder- und die Rückseite z. B. einer Kunststofflinse oder einer zweiten ophthalmischen Linse bzw. einer zweiten Formschale zur Herstellung von ophthalmischen Linsen zu bearbeiten. Je nach Flächendesign und verwendetem Rohling kann der durch gleichzeitige Bearbeitung der Vorder- und Rückseite bewirkte Massenausgleich der beiden gegenläufigen schnellen Werkzeuge ausreichen, um die durch die Beschleunigung der Drehwerkzeuge bewirkte Reaktionskraft aufzunehmen. Wird ein solcher Ausgleich nicht vollständig erreicht, ist gegebenenfalls ein dritter kollinärer Massenausgleich erforderlich.

[0028] Diese Arbeitsweise hat zur Folge, dass auf der Vorder- und Rückseite des Rohlings im wesentlichen symmetrisch gearbeitet wird. Man verteilt die gewünschte optische Wirkung gleichmäßig auf beide Flächen. Dies kommt dem in der Feinoptik üblichen Gesichtspunkt gleicher optischer Wirkung beider Flächen nahe und eröffnet völlig neue technische Möglichkeiten, da ophthalmische Linsen bisher auf der Rückseite sphärisch oder torisch gestaltet sind.

[0029] Weiter kann in erfindungsgemäß bevorzugter Weise vorgesehen werden, dass alle den Systemzustand beschreibenden Größen einem digitalen Regelkreis zugeführt werden und die Regelung unter Berücksichtigung der berechneten Geometrie der optischen Oberfläche, insbesondere einer ophthalmischen Linse bzw. einer Formschale zur Herstellung von ophthalmischen Linsen, erfolgt. Den Systemzustand beschreiben insbesondere die Position des Drehwerkzeugs und die der Spindel bzw. des Rohlings, die ständig gemessen und mit den zu erreichenden Daten verglichen werden. Daraus werden dann Korrekturdaten für die Zustellung des Drehwerkzeuges bestimmt.

[0030] Alternativ dazu können auch konventionelle analoge Regler eingesetzt werden.

[0031] Weiter kann in erfindungsgemäß bevorzugter Weise vorgesehen werden, dass die Werkzeugbewegung in Z-Richtung mit mindestens einem reibungsarm gelagerten Linearmotor ausgeführt wird.

[0032] Weiter kann in erfindungsgemäß bevorzugter Weise vorgesehen werden, dass der Abstand der Spulen und Magnete sowie das Lagerspiel durch thermische Einflüsse nicht verändert werden.

[0033] Weiter kann in erfindungsgemäß bevorzugter Weise vorgesehen werden, dass zur Kühlung der Spule bzw. der Spulen des oder der Linearmotoren eine Peltier-Kühlung verwendet wird.

[0034] Ebenso kann in erfindungsgemäß bevorzugter Weise vorgesehen werden, dass in der Luft- oder Flüssigkeitskühlung Peltier-Kühler verwendet werden.

[0035] Der Grundaufbau einer geeigneten Bearbeitungsmaschine der eingangs genannten Art wird in erfindungsgemäß bevorzugter Weise so realisiert, dass ein für einen Hub einer schnellen Werkzeugbewegung von 1 mm des Drehwerkzeugs in Achsrichtung der Spindel, um die in Umfangsrichtung auftretenden, durch die asphärische Form bedingten Höhenunterschiede herauszuarbeiten, geeigneter Antrieb durch einen reibungsarm gelagerten Linearantrieb realisiert ist, dass ein Messsystem zur Bestimmung der Werkzeugbewegung auf mindestens 0,0005 mm genau vorgesehen ist und dass zum Ausgleich der bei der Zustellung entstehenden Reaktionskraft ein statischer Massenausgleich, bei dem die dynamischen Kräfte des Linearmotors in eine große Masse eingeleitet werden, die so dimensioniert ist, dass die Reaktionsbewegung aus einer Bewegung des Linearmotors deutlich kleiner als einige Mikrometer bleibt, oder ein dynamischer Massenausgleich vorgesehen ist.

[0036] Die inkrementale Verstellung des Drehwerkzeuges wird durch einen Linearantrieb bewerkstelligt. Hierzu kann ein elektrodynamischer, hydraulischer oder pneumatischer Linearmotor verwendet werden. Der Linearmotor besteht aus einem Läufer und einem Stator.

[0037] Für den dynamischen Massenausgleich wird in vorteilhafter Weise ein zweiter, gleich aufgebauter Linearmotor eingesetzt, der kollinear mit dem bearbeitenden Motor liegt und mechanisch mit dessen Gehäuse bzw. Stator über eine steife, kraftschlüssige Verbindung gekoppelt ist. Die Motoren werden in entgegengesetzte Richtungen angesteuert. Bei hydraulischen oder pneumatischen Antrieben kann der dynamische Massenausgleich auch über zwei entgegengesetzt laufende Kolben in einem Zylinder hergestellt werden.

[0038] Alternativ können die dynamischen Kräfte des schnellen Werkzeugantriebes in eine große Masse eingeleitet werden (statischer Massenausgleich). Dazu wird der schnelle Werkzeugantrieb direkt auf eine große Masse des Maschinenbettes gesetzt. Der X-Schlitten wird unter der Spindel angeordnet. Die große Masse muss so dimensioniert sein, dass die Reaktionsbewegung aus einer Bewegung des schnellen Werkzeugantriebes deutlich kleiner als einige Mikrometer bleibt.

[0039] Die Lagerung des Motorläufers ist zugleich die Lagerung des Werkzeuges. Als Lager können Luflager, Luflager mit unterstützenden Magnetlagern oder hydraulische Lager verwendet werden, die eine reibungsarme Bewegung in Z-Richtung erlauben, Querkräfte aus dem Bearbeitungsprozess aber aufzunehmen in der Lage sind.

[0040] Die Antriebskräfte werden bevorzugt durch einen Ein- oder Mehrphasen-Linearmotor erzeugt. Einen derartigen Linearmotor kann man mit bewegter Spule oder alternativ mit bewegtem Magneten aufbauen. Die zweite Variante hat den Vorteil, dass die in der Spule anfallende Verlustleistung leichter abgeführt werden kann.

[0041] Der besondere Vorteil eines derartigen Werkzeugantriebs liegt auch darin, dass durch die Maschinenelemente Lager und Linearmotor der Hub in z-Richtung nicht begrenzt wird. Man kann Hübe in z-Richtung von einigen 10 mm realisieren, wobei die Motorcharakteristik über den gesamten Verstellbereich konstant bleibt. Dies ist insbesondere für die Regelung des Motors von Vorteil.

[0042] Es kann entweder direkt eine Wasserkühlung oder bevorzugt eine Peltier-Kühlung mit anschließender Wasserkühlung auf der heißen Seite benutzt werden. Mit der Peltier-Kühlung ist die Spulentermperatur auf einen konstanten Temperaturwert, z. B. auf 0,1 K

genau, regelbar, so dass die Luftspalte auch bei unterschiedlichen Belastungszuständen klein und konstant gehalten werden können.

[0043] Um den Rohling, wie oben ebenfalls ange deutet, in zwei off-axis-Positionen bearbeiten zu können, kann die Spindel in radialer Richtung verschiebbar angeordnet sein.

[0044] Zum Beispiel könnte der Werkzeughalter nacheinander mit Magnetkraft in zwei umschaltbare Positionen gebracht werden.

[0045] Die Bewegung des zweiten Linearmotors, der den dynamischen Massenausgleich bewirken soll, kann dazu ausgenutzt werden, die Rückseite einer optischen Oberfläche, insbesondere einer ophthalmischen Linse, und/oder gegebenenfalls eine zweite optische Oberfläche, insbesondere eine zweite ophthalmische Linse bzw. eine zweite Formschale zur Herstellung von ophthalmischen Linsen, mit den gleichen optischen Daten zu bearbeiten. Dabei werden die Spindel koaxial zum Rohling und zu beiden Seiten des Rohlings je ein Linearantrieb gelagert. Der zweite Linearantrieb weist ein zusätzliches Drehwerkzeug und ein Messsystem zur Positionsbestimmung dieses Drehwerkzeuges auf und der Schlitten für die Bewegung des Rohlings in der X-Achse ist unter der Spindel gelagert und trägt diese. Die Kopplung der Antriebe erfolgt über eine steife Grundplatte des Maschinenbettes oder besser durch einen Gehäusekäfig, der die Kräfte symmetrisch aufnimmt.

[0046] Erfindungsgemäß kann zusätzlich vorgesehen sein, dass in diesem Fall ein weiterer dynamischer Massenausgleich dadurch bewirkt ist, dass kollinear zu beiden Linearantrieben ein dritter Linearantrieb angeordnet ist, dessen Gehäuse bzw. Stator mechanisch mit den Gehäusen bzw. Statoren der beiden anderen Linearantriebe über das Maschinenbett gekoppelt ist und der entgegengesetzt zur Kraftrichtung der aus der Bewegung des ersten und zweiten Lineartriebes resultierenden Kraft angesteuert ist.

[0047] Neben der Aufnahme der durch die Werkzeugzustellung bewirkten Reaktionskräfte hat diese Variante den weiteren Vorteil, dass auch die Prozesskräfte am Werkstück weitgehend symmetrisiert werden.

[0048] Das Verfahren soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

[0049] [Fig. 1](#) den prinzipiellen Aufbau einer Bearbeitungsmaschine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit linearen Achsen,

[0050] [Fig. 2](#) eine zweite Variante für eine Bearbeitungsmaschine,

[0051] [Fig. 3](#) die Prinzipdarstellung eines geeigneten elektrodynamischen Linearantriebes für das Dreh Werkzeug,

[0052] [Fig. 4](#) einen Linearantrieb für das Drehwerkzeug mit einem dynamischen Massenausgleich,

[0053] [Fig. 5](#) die Prinzipdarstellung eines Linearantriebes für das Drehwerkzeug mit Hilfe eines hydraulischen oder pneumatischen Linearmotors,

[0054] ([Fig. 6](#) wurde gestrichen)

[0055] [Fig. 7](#) die Prinzipdarstellung für das Drehen eines Rohlings in zwei verschiedenen Positionen,

[0056] [Fig. 8](#) das Prinzip der Werkstückverstellung in zwei verschiedenen Positionen,

[0057] [Fig. 9](#) die dynamische Verstellung z. B. des Drehwerkzeuges in X-Richtung beim Drehen in zwei off-axis-Positionen,

[0058] [Fig. 10](#) eine weitere Variante für den Aufbau einer Bearbeitungsmaschine mit gleich zeitiger Bearbeitung von Vorder- und Rückseite einer ophthalmischen Linse und

[0059] [Fig. 11](#) das Blockschaltbild für einen Regleraufbau.

[0060] [Fig. 1](#) zeigt eine Bearbeitungsmaschine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Bearbeitungsmaschine ist auf einem steifen Maschinenbett 1 aufgebaut. Die Spindel 2 ist auf einem in der Z-Achse bewegbaren Schlitten 3 gelagert. Die Spindel 2 nimmt den hier nicht gezeigten Rohling in einer Werkstückaufnahme 4 auf. Der Schlitten 3 wird zur Voreinstellung in eine geeignete Position gebracht und dann für die Dauer der Bearbeitung festgeklemmt.

[0061] Auf einem weiteren, in X-Richtung bewegbaren Schlitten 5 befindet sich der Werkzeugantrieb 6, der durch einen Linearmotor realisiert ist. Der Läufer 7 des Werkzeugantriebes 6 trägt das Drehwerkzeug 8.

[0062] [Fig. 2](#) zeigt eine Variante der Bearbeitungsmaschine, bei der nicht der Werkzeugantrieb 6, sondern die Spindel 2 auf einem in X-Richtung verfahrbaren Schlitten 5 gelagert ist.

[0063] Einen möglichen Werkzeugantrieb stellt der elektrodynamische Linearmotor entsprechend [Fig. 3](#) dar. Der Linearmotor besteht aus einem Läufer 7, der mit Permanentmagneten 9 ausgerüstet ist und dem Statorspulensystem 10. Zum Erreichen einer reibungsarmen Bewegung ist der Läufer 7 horizontal

und vertikal in Luftlagern 11 gelagert. Zur Positionsbestimmung trägt der Läufer 7 ein Messsystem 12.

[0064] [Fig. 4](#) zeigt ein Beispiel für den dynamischen Massenausgleich des Systems. Dazu ist ein kollinear zum Werkzeugantrieb 6 liegender Linearantrieb 13 vorgesehen, der allein dem Ausgleich der bei der schnellen Zustellbewegung entstehenden Reaktionskraft dient. Die Statoren beider Linearantriebe sind durch das Maschinenbett 1 kraftschlüssig miteinander gekoppelt. Die Linearantriebe werden beim Bearbeitungsvorgang gleichzeitig in entgegengesetzte Richtungen angesteuert.

[0065] Durch den dynamischen Massenausgleich werden Reaktionskräfte, verursacht durch die nötige schnelle Bewegung des Drehwerkzeuges 8, ausgeglichen und so jegliche unbeabsichtigte Bewegung des Drehwerkzeuges vermieden, wodurch die hohe Oberflächengüte des bearbeiteten Brillenglases und die Genauigkeit seiner optischen Geometrie ermöglicht wird.

[0066] Eine analoge Einrichtung mit hydraulisch oder mit pneumatisch arbeitenden Antrieben zeigt [Fig. 5](#). Die Läufer sind dabei durch entgegengesetzt laufende Kolben 14 realisiert.

[0067] Alternativ dazu kann der Massenausgleich durch Krafteinleitung in eine große Masse bewirkt werden. Dazu wird das Maschinenbett 1, wie es in [Fig. 2](#) gezeigt ist, als große Masse ausgeführt. Die Masse wird so dimensioniert, dass ihre resultierende Bewegung eine Amplitude von weniger als 0,005 mm aufweist.

[0068] Die Beherrschung der Mittensingularität zeigt [Fig. 7](#). Der Rohling wird in zwei geringfügig voneinander abweichenden außermittigen Positionen gedreht, wobei nicht bis zur Spindelachse gedreht wird. In der Darstellung sind die außermittigen Positionen schematisch übertrieben gezeigt. Die in [Fig. 7](#) unterbrochene Linie wird nicht ausgeführt, der jeweils nicht bearbeitete Bereich wird dann von der anderen Position überdeckt.

[0069] Die Werkstückaufnahme 4 der Spindel 2 wird zu diesem Zweck geringfügig schwenkbar aufgeführt. Mittels magnetischer Kraft, bewirkt durch schaltbare Elektromagneten 17, kann, wie in [Fig. 8](#) gezeigt ist, die Verschiebung der Werkstückaufnahme 4 in zwei verschiedene Positionen nach oben und unten durch Verdrehen um einen Drehpunkt 18 erreicht werden.

[0070] Um in diesem Falle die Drehbewegung am Rand des Rohlings nicht ins Leere laufen zu lassen, ist gemäß [Fig. 9](#) vorgesehen, die Zustellbewegung in X-Richtung zu variieren.

[0071] [Fig. 10](#) zeigt eine Variante einer Bearbeitungsmaschine, bei der der erfindungsgemäße dynamische Massenausgleich ausgenutzt wird, um gleichzeitig die zweite Seite des Rohlings zu bearbeiten. Die Spindel **2** ist in diesem Fall auf einem Schlitten **5** gelagert. Die Werkstückaufnahme **4** ist so ausgebildet, dass der Rohling von beiden Seiten bearbeitet werden kann. Auf beiden Seiten der Spindel **2** sind Werkzeugantriebe **6, 13** vorgesehen, die entgegengesetzt gerichtet arbeiten. So kann die gewünschte optische Wirkung gleichermaßen auf beide Seiten der ophthalmischen Linse verteilt werden.

[0072] [Fig. 11](#) zeigt schließlich ein Blockschaltbild eines Regelkreises zur Steuerung und Regelung der Bewegungen der Spindel **2** und des Drehwerkzeuges **8**. Es wird mit einem digitalen Regler z. B. einem Signalprozessor gearbeitet, der eine optimale Anpassung an die Regelstrecke erlaubt. Struktur und Parameteroptimierung können als Funktion der Werkstückgeometrie erfolgen. Alle den Systemzustand beschreibenden Größen (mechanisches System, Tachos, Wegmesssysteme) werden dem digitalen Regler zugeführt. Die langsame Bewegung in X-Richtung kann ebenfalls von dem Regler bedient werden. Diese Regelstrecke ist in [Fig. 11](#) nicht ausgeführt. Unter Berücksichtigung des Sollwertes werden die Leistungsverstärker für die Motoren angesteuert. Die erforderliche Dynamik der Verstärker sollte bei 100 dB liegen. Zur Modulation von feinen Strukturen ist eine entsprechende Bandbreite vorzusehen. Die Solldaten für die Bewegungen können vor der Bearbeitung erzeugt und in einem Speicher abgelegt werden. Vorzugsweise werden die Solldaten aber mit der die Fläche beschreibenden Funktion $Z(r, \phi)$ online berechnet.

[0073] Unter einer ophthalmischen Linse in dieser Beschreibung sind Brillenlinsen, Kontaktlinsen und intraokulare Linsen zu verstehen. Optische Oberflächen sind optisch wirksame Oberflächen von Linsen, Spiegeln oder sonstigen optischen Bauteilen, welche sich durch ihr Verhalten bei Transmission oder Reflexion elektromagnetischer Strahlung auszeichnen (insbesondere im infraroten, sichtbaren und ultravioletten Spektralbereich).

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von optischen Oberflächen von Gleitsichtbrillenlinsen oder Formschalen zur Herstellung von Gleitsichtbrillenlinsen, wobei ein Rohling einer Gleitsichtbrillenlinse oder ein Rohling einer Formschale an der Werkstückaufnahme (**4**) einer Achse einer Spindel (**2**) einer Bearbeitungsmaschine gehalten und mittels eines Drehwerkzeuges (**8**), welches in orthogonaler Richtung (X) zur Achsrichtung (Z) der Spindel (**2**) eine Relativbewegung zum Rohling ausübt, direkt zu seiner endgültigen Form gedreht wird, wobei das Drehwerkzeug (**8**) in

Achsrichtung (Z) der Spindel (**2**) bewegt wird und während jeder Spindelumdrehung inkrementale Zustellungen des Drehwerkzeuges (**8**) in Achsrichtung (Z) der Spindel (**2**) auf den Rohling bzw. von diesem weg entsprechend vorgegebener oder online-berechneter Daten der Oberfläche erfolgen, dadurch gekennzeichnet, dass die einen Hub von ca. 1 mm aufweisende schnelle Werkzeugbewegung in Achsrichtung (Z) der Spindel (**2**), um die in Umfangsrichtung auftretenden, durch die asphärische Form bedingten Höhenunterschiede herauszuarbeiten mit mindestens einem reibungsarm gelagerten Linearmotor (**6, 13**) ausgeführt wird und auf mindestens 0,0005 mm genau bestimmt wird und dass die bei der Zustellung entstehende Reaktionskraft durch einen statischen Massenausgleich, bei dem die dynamischen Kräfte des Linearmotors (**6**) in eine große Masse (**1**) eingeleitet werden, die so dimensioniert ist, dass die Reaktionsbewegung aus einer Bewegung des Linearmotors (**6**) deutlich kleiner als einige Mikrometer bleibt, oder durch einen dynamischen Massenausgleich ausgeglichen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass beim Drehen mittels des Drehwerkzeuges (**8**) Markierungen auf der optischen Oberfläche aufgebracht werden.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rohling in zwei geringfügig vom Drehzentrum abweichenden off-axis-Positionen gedreht wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Zustellung der Bewegung in orthogonaler Richtung (X) zur Achsrichtung (Z) der Spindel (**2**) in Abhängigkeit vom aktuellen Umfangspunkt der Spindel (**2**) variiert wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der dynamische Massenausgleich ganz oder teilweise durch ein zweites Drehwerkzeug realisiert wird, das mittels eines eigenen Antriebes in Achsrichtung (Z) der Spindel (**2**) bewegbar ist und auf die zweite Seite des Rohlings oder auf einen zweiten Rohling einwirkt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der fertig gedrehte Rohling durch Polieren gebrauchsfähig gemacht wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der fertig gedrehte Rohling durch Tauchen in Lack gebrauchsfähig gemacht wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Positio-

nen von Drehwerkzeug (8) und Rohling optoelektronisch abgetastet werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass alle den Systemzustand beschreibenden Großen einem digitalen Regelkreis zugeführt werden und die Regelung unter Berücksichtigung der berechneten Geometrie der optischen Oberfläche erfolgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Position des Drehwerkzeugs (8) und der Spindel (2) bzw. des Rohlings ständig gemessen und mit den zu erreichenden Daten verglichen werden und daraus Korrekturdaten für die Zustellung des Drehwerkzeuges (8) bestimmt werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand der Spulen und Magnete sowie das Lagerspiel durch thermische Einflüsse nicht verändert werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass zur Kühlung der Spule bzw. der Spulen des oder der Linearmotoren (6, 13) eine Peltier-Kühlung verwendet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass in der Luft- oder Flüssigkeitskühlung Peltier-Kühler verwendet werden.

14. Bearbeitungsmaschine zum Herstellen von optischen Oberflächen von Gleitsichtbrillenlinsen oder Formschalen zur Herstellung von Gleitsichtbrillenlinsen mit einer auf einem steifen Maschinenbett (1) gelagerten Spindel (2), an der ein Rohling für eine optische Oberflächenbearbeitung oder ein Rohling einer Formschale gehalten werden kann, und einem in Achsrichtung (Z) der Spindel (2) bewegbaren Drehwerkzeug (8), wobei das Drehwerkzeug (8) oder die Spindel (2) auf einem Schlitten (5) in einer Richtung (X) orthogonal zur Achsrichtung (Z) der Spindel (2) bewegbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass ein für einen Hub einer schnellen Werkzeugbewegung von 1 mm des Drehwerkzeugs (8) in Achsrichtung (Z) der Spindel (2), um die in Umfangsrichtung auftretenden, durch die asphärische Form bedingten Höhenunterschiede herauszuarbeiten, geeigneter Antrieb (6) durch einen reibungsarm gelagerten Linearantrieb (6, 13) realisiert ist, dass ein Messsystem zur Bestimmung der Werkzeugbewegung auf mindestens 0,0005 mm genau vorgesehen ist und dass zum Ausgleich der bei der Zustellung entstehenden Reaktionskraft ein statischer Massenausgleich, bei dem die dynamischen Kräfte des Linearmotors (6) in eine große Masse (1) eingeleitet werden, die so dimensioniert ist, dass die Reaktionsbewegung aus einer Bewegung des Linearmotors (6) deutlich kleiner

als einige Mikrometer bleibt, oder ein dynamischer Massenausgleich vorgesehen ist.

15. Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die durch die Beschleunigung des Linearantriebes (6) bewirkte Reaktionskraft durch einen zweiten Linearantrieb (13), der kollinear zu dem ersten Linearantrieb (6) angeordnet ist und dessen Gehäuse bzw. Stator mechanisch mit dem Gehäuse bzw. Stator des ersten Linearantriebes (6) über das Maschinenbett (1) gekoppelt ist und der in entgegengesetzter Richtung zum ersten Linearantrieb (6) angesteuert ist, dynamisch ausgeglichen ist.

16. Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die durch die Beschleunigung des Linearantriebes (6) bewirkte Reaktionskraft durch Krafteinleitung in die Masse des Maschinenbettes (1) statisch ausgeglichen ist.

17. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Schlitten (5) für die Bewegung in der Richtung (X) orthogonal zur Achsrichtung (Z) der Spindel (2) unter der Spindel (2) gelagert ist und die Spindel (2) trägt.

18. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Linearmotor (6, 13) ein Hydraulikmotor ist.

19. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Linearmotor (6, 13) ein Pneumatikmotor ist.

20. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Linearmotor (6, 13) ein elektrodynamischer Linearmotor ist.

21. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Drehwerkzeug (8) ein mit einem monokristallinen Diamanten bestückter Stichel ist.

22. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Läufer des Linearmotors (6, 13) luftgelagert ist.

23. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Läufer des Linearmotors (6, 13) mittels Luft und unterstützenden Magnetlagern gelagert ist.

24. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Läufer des Linearmotors (6, 13) hydraulisch gelagert ist.

25. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die

Spulen des Linearmotors (6, 13) mit einer Wasserkühlung versehen sind.

26. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Spulen des Linearmotors (6, 13) mit einer Peltier-Kühlung und einer Wasserkühlung auf der heißen Seite der Peltier-Elemente versehen sind.

27. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass als Messsystem für die lineare Bewegung des Drehwerkzeuges (8) optoelektronisch abgetastete Maßstäbe dienen.

28. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass als Messsystem für die lineare Bewegung des Drehwerkzeuges (8) Laserinterferometer dienen.

29. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass als Messsystem für die rotatorische Bewegung des Rohlings ein optoelektronischer Drehgeber dient.

30. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass als Messsystem für die rotatorische Bewegung des Rohlings ein Tachometer dient.

31. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass die Spindel (2) durch eine Verschiebeeinrichtung in radialer Richtung in zwei Positionen geringfügig verschiebbar gehalten ist.

32. Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Verschiebeeinrichtung mit zwei auf gegenüberliegenden Seiten der Spindel (2) angeordneten Magnetspulen (17) ausgerüstet ist.

33. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass die Spindel (2) koaxial zum Rohling gelagert ist, zu beiden Seiten des Rohlings je ein Linearantrieb (6, 13) gelagert ist, der zweite Linearantrieb (13) ein zusätzliches Drehwerkzeug und ein Messsystem zur Positionsbestimmung dieses Drehwerkzeuges aufweist und der Schlitten (5) für die Bewegung des Rohlings in der X-Achse unter der Spindel (2) gelagert ist und diese trägt.

34. Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass ein zusätzlicher dynamischer Massenausgleich dadurch bewirkt ist, dass kollinear zu beiden Linearantrieben (6, 13) ein dritter Linearantrieb angeordnet ist, dessen Gehäuse bzw. Stator mechanisch mit den Gehäusen bzw. Statern der beiden anderen Linearantriebe (6, 13) über

das Maschinenbett (1) gekoppelt ist und der entgegengesetzt zur Kraftrichtung der aus der Bewegung des ersten und zweiten Linearantriebes resultierenden Kraft angesteuert ist.

35. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass zur Steuerung aller Antriebe und zur Verarbeitung der Positionsdaten des Rohlings und des oder der Drehwerkzeuge mindestens ein digitaler Regler eingesetzt ist.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

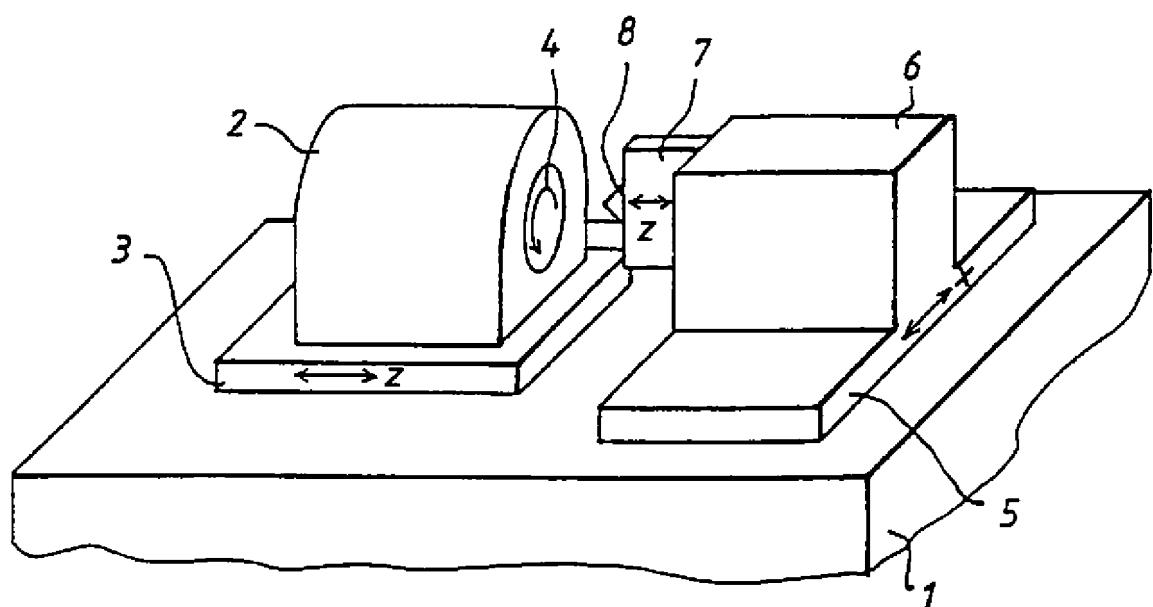
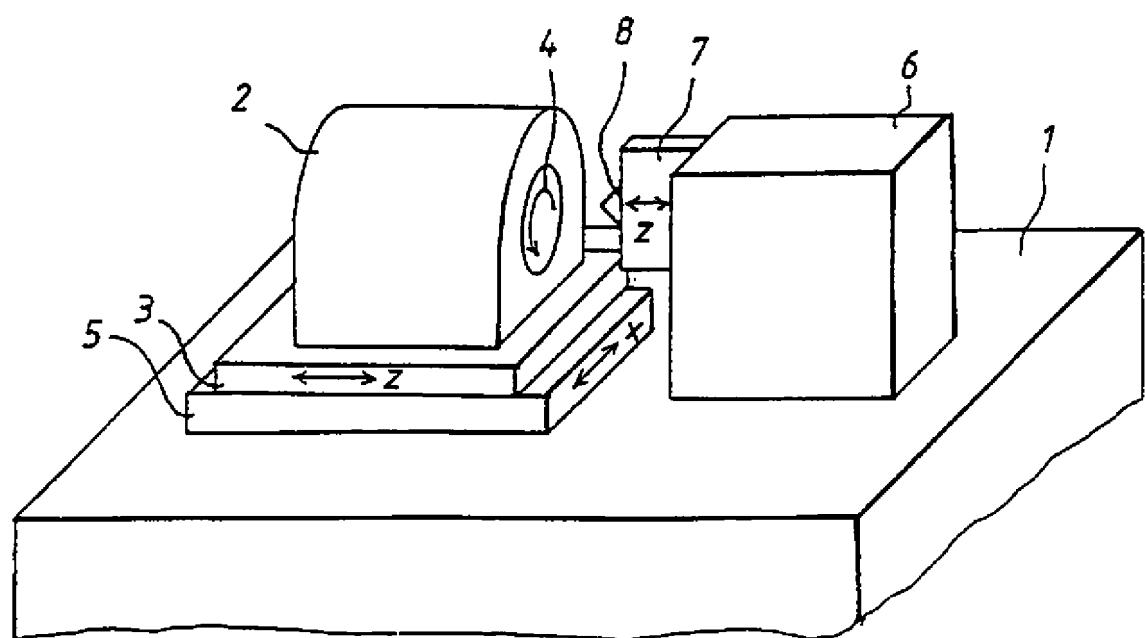


FIG. 2



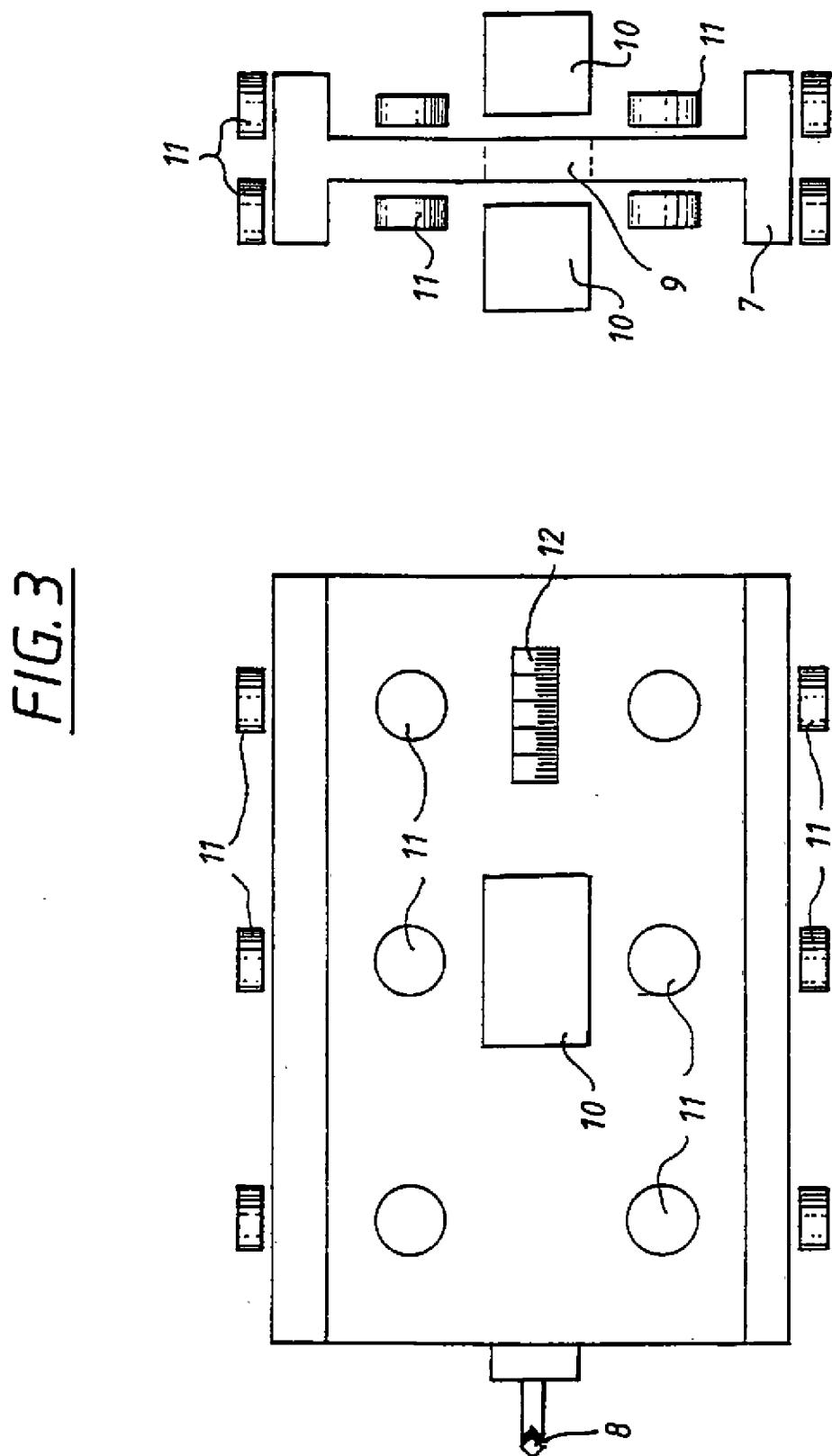


FIG. 4

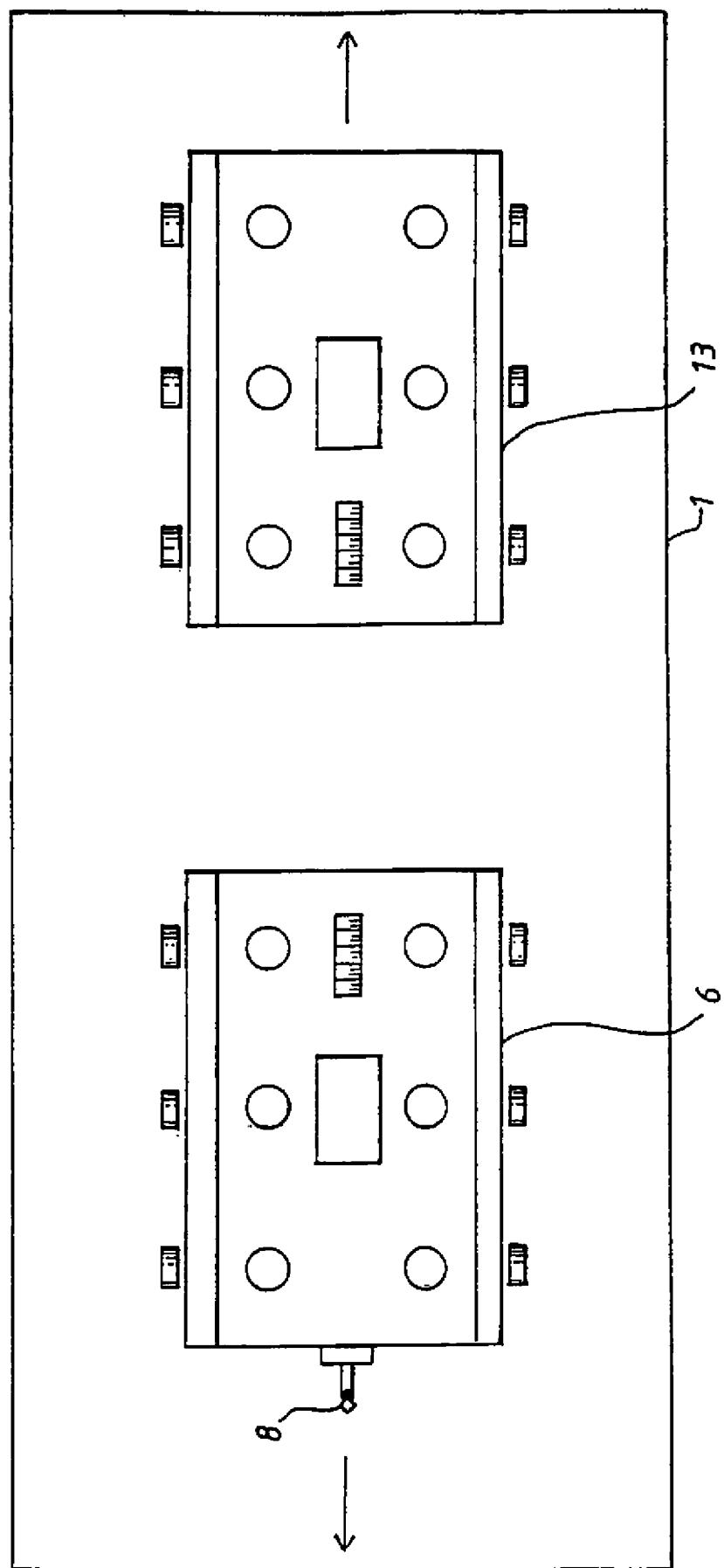


FIG. 5

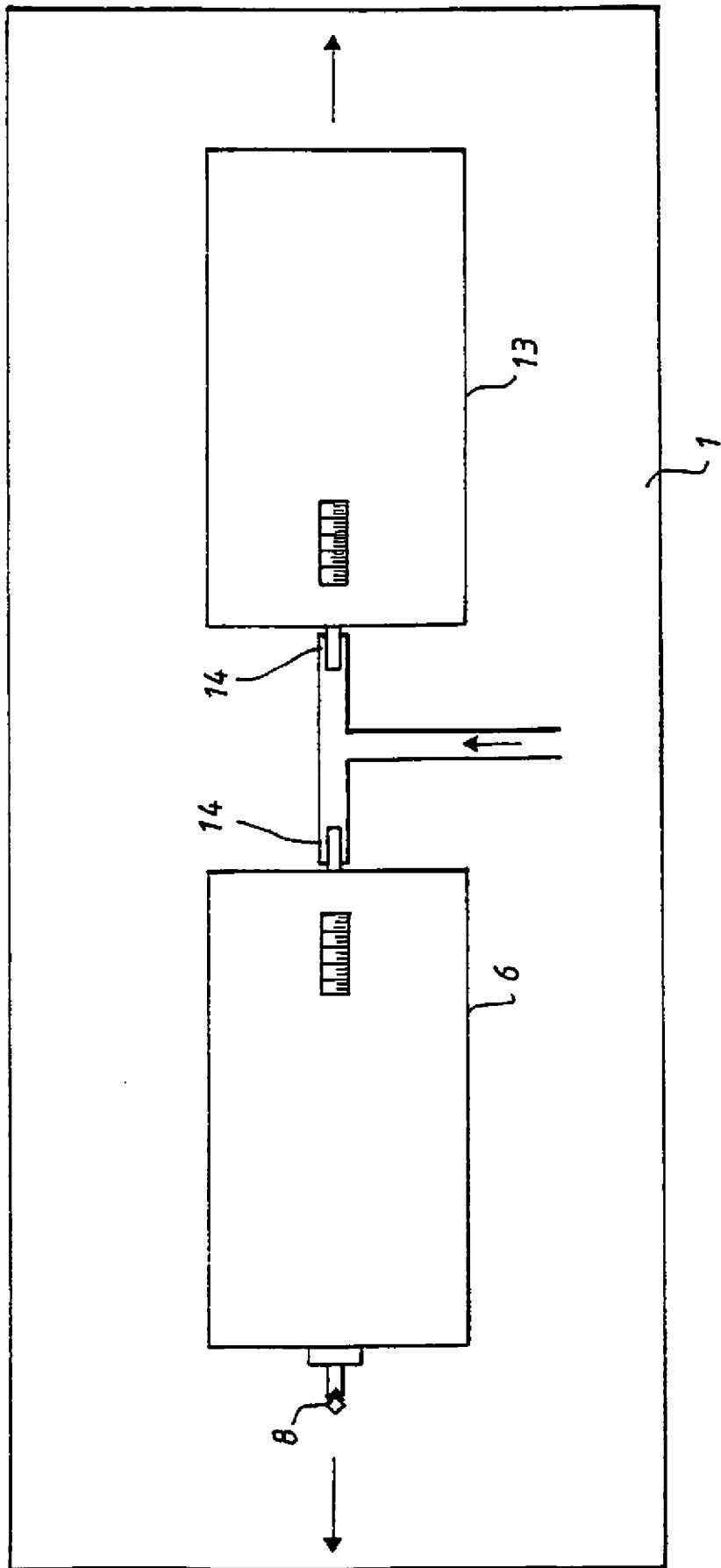
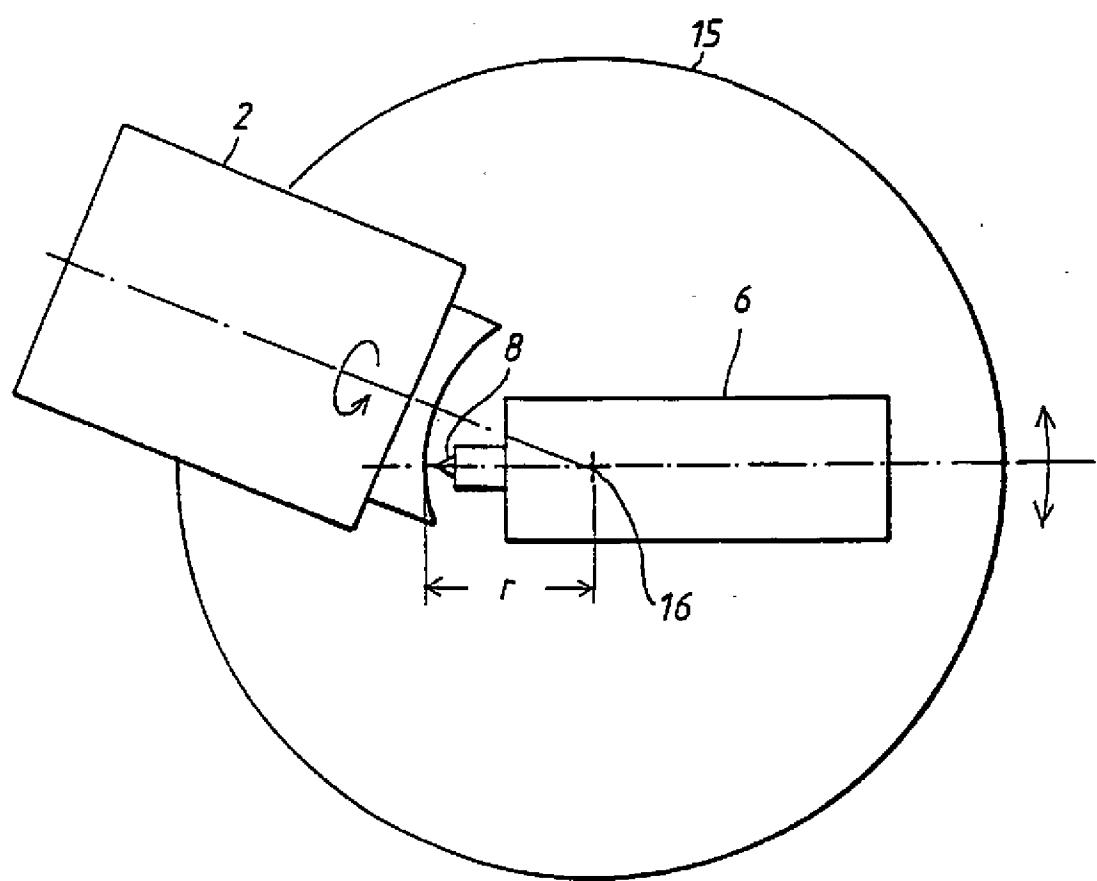


FIG. 6



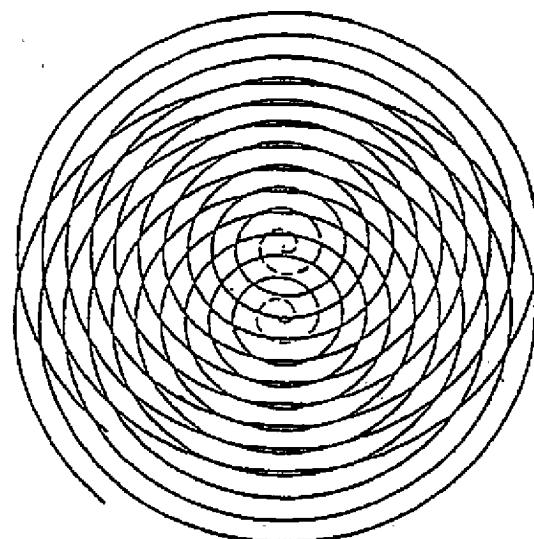


FIG. 7

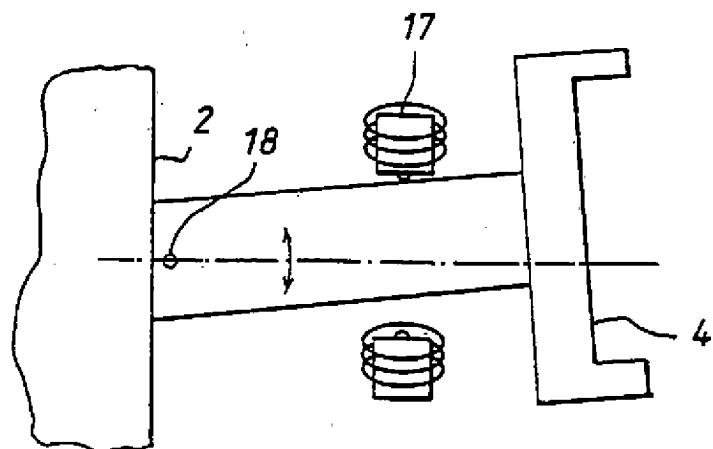


FIG. 8

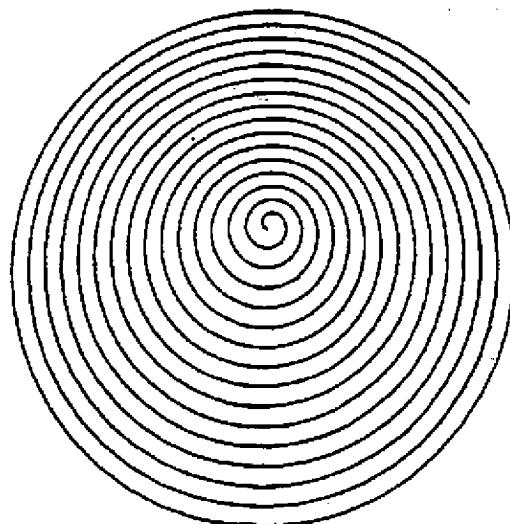


FIG. 9

FIG. 10

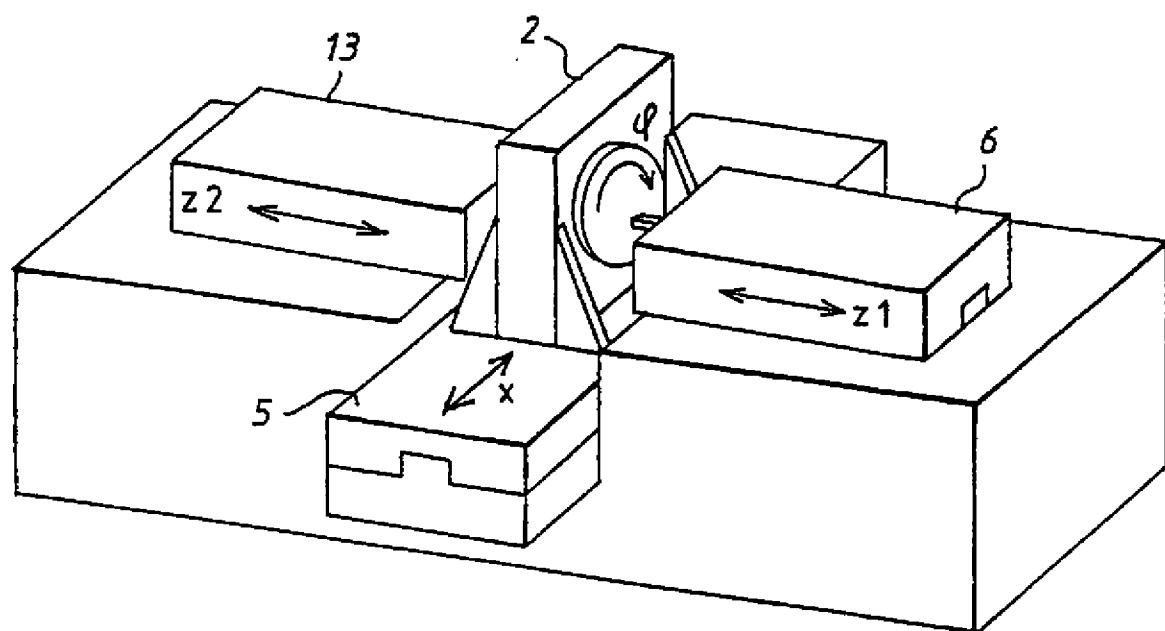


FIG. 11

