



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 0 937 542 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
25.08.1999 Patentblatt 1999/34

(51) Int. Cl.⁶: **B24B 13/00**, B24B 13/06

(21) Anmeldenummer: **98103129.7**

(22) Anmeldetag: **23.02.1998**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• **Schneider, Gunter**
35239 Steffenberg (DE)
• **Krämer, Klaus**
35232 Dautphetal (DE)

(71) Anmelder:
Schneider GmbH + Co. KG
35239 Steffenberg (DE)

(74) Vertreter:
Schlagwein, Udo, Dipl.-Ing.
Patentanwalt,
Frankfurter Strasse 34
61231 Bad Nauheim (DE)

(54) **Verfahren zum Polieren optischer Linsen und Mehrspindel-Poliermaschine mit verschiedenen Polierwerkzeugen zur Durchführung des Verfahrens**

(57) Verfahren zum Polieren von optischen Linsen (9) bei dem eine mehrspindelige Poliermaschine benutzt wird, die CNC-gesteuert ist und im oberen Bereich über einen X-Schlitten (2) und einen Z-Schlitten (3) verfügt, an dem mindestens zwei Werkzeugspindeln (4) befestigt sind. Im unteren Bereich ist ein Schwenkopf (5) angeordnet, an dem eine Abrichtspindel (17) und eine Werkstückspindel (7) angebracht sind. Es ist ein Bewegungssystem vorhanden, mit dem die unteren Spindeln relativ zu den oberen Spindeln in Richtung der Y-Achse verschiebbar sind. Folgende Zusatzeinrichtungen sind vorhanden: Werkstückmagazin, Beschik-

kungseinrichtung, Taster (12) und Interferometer (19). Verschiedene Polierwerkzeuge zur Optimierung von Kosten und/oder Qualität werden eingesetzt. Der Poliervorgang läuft wie folgt ab: Linse (9) automatisch in Linsenhalter (8) einlegen, vorpolieren und in Interferometer (19) vermessen, Maschinenparameter evtl. korrigieren, weitere Linse (9) vorpolieren und mit z. B. Polierstift (40) nachpolieren, mittels Interferometer (19) Abschlußkontrolle durchführen und Linse (9) in Werkstückmagazin ablegen.

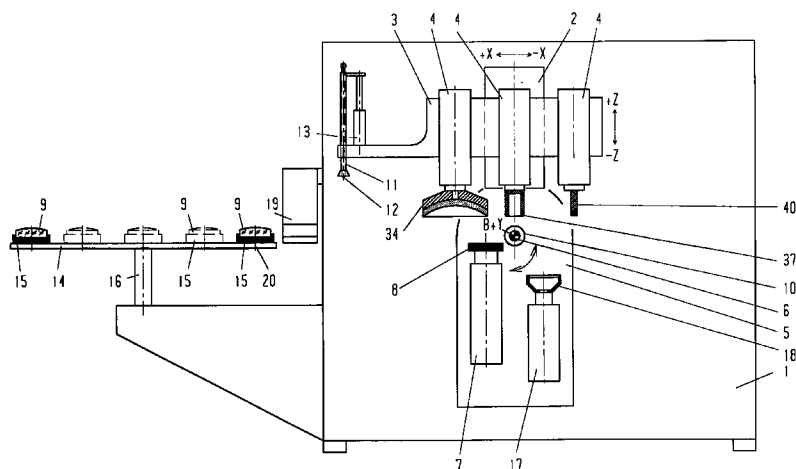


Abb 6

EP 0 937 542 A1

Beschreibung

[0001] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Polieren von Linsen und die Vorrichtungen zur Durchführung des Verfahrens dienen zum Herstellen von Linsen höherer Präzision und/oder zur Senkung der Herstellkosten. Dies wird erreicht durch den speziellen Verfahrensablauf, den Aufbau der eingesetzten Poliermaschine und den Einsatz besonderer Polierwerkzeuge.

[0002] Linsen für optische Zwecke werden nach dem Stand der Technik zunächst durch Schleifen auf ein- oder zweispindeligen Schleifmaschinen hergestellt, wobei eine polierfähige Oberfläche erzeugt wird. An das Schleifen schließt sich das Polieren der Linsen an, wobei zwischen dem Vorpolieren und dem Fertigpolieren unterschieden wird. Es kann aber auch mit einem Poliervorgang gearbeitet werden, der dann entsprechend länger dauert. Für das Polieren sphärischer Linsen werden sogenannte Formwerkzeuge benutzt, die auf speziellen Poliermaschinen eingesetzt werden. Die Formwerkzeuge sind so gestaltet, daß für jeden Krümmungsradius der Linsen ein gesondertes Formwerkzeug benötigt wird. Diejenige Seite des Formwerkzeuges, die mit der Linse in Berührung kommt, ist mit einem weichen Material belegt, das im Zusammenwirken mit einer Poliersuspension den erwünschten Materialabtrag ermöglicht. Wegen der Abnutzung an dem Polierwerkzeug durch den Arbeitsprozeß werden Abrichtwerkzeuge benötigt, um die schnell verschleißenden Formwerkzeuge wieder nachzuarbeiten.

[0003] Während des Poliervorgangs werden die beiden Spindeln, die einerseits das Werkzeug und andererseits das Werkstück tragen, mit ihren Achsen zueinander schräg gestellt und in Rotation versetzt, wobei die Drehrichtung an beiden gleich ist. Durch die Schrägstellung wird es notwendig, die Spindeln in einem errechneten Drehzahlverhältnis zueinander rotieren zu lassen. In Verbindung mit einer speziellen Flächenauslegung des Polierwerkzeugs wird damit gewährleistet, daß der Materialabtrag an der Linse an jeder Stelle der Linsenoberfläche weitgehend gleich, das heißt optimal ist. Beim Einrichten der Spindeln ist zu beachten, daß der Schnittpunkt der Achsen von Werkzeug und Werkstückspindel mit dem Krümmungsmittelpunkt der Linse zusammenfällt. Der Werkzeugdurchmesser muß deutlich größer sein als der Linsendurchmesser (ca. 2-fach) und die Linse so an dem Werkzeug anliegen, daß der Linsenrand nicht über das Drehzentrum oder den Rand des Werkzeuges hinausreicht.

[0004] Nach dem Stand der Technik befindet sich die Werkstückspindel üblicherweise im unteren Teil der Poliermaschine und ist an einem sogenannten Z-Schlitten befestigt, der vertikale Bewegungen erlaubt (Zustellbewegungen). Die Werkzeugspindel ist dagegen mit einem Schwenkkopf verbunden, der sich im

oberen Maschinenteil befindet und um die sogenannte B-Achse (senkrecht zur X- und Z-Achse) geschwenkt werden kann, um die erwähnte Schrägstellung zu ermöglichen. Der Schwenkkopf ist an einem sogenannten X-Schlitten befestigt, der horizontale Bewegungen erlaubt. Durch Schrägstellen des Schwenkkopfes mit der Werkzeugspindel und Verfahren in X- und Z-Richtung wird die vorgenannte Übereinstimmung des Achsenschnittpunkts mit dem Krümmungsmittelpunkt der Linse ermöglicht.

[0005] Maschinen, die über eine obere und eine untere Spindel verfügen, werden einspindeligen Maschinen genannt (eine Spindel im Ober- bzw. Unterteil). Zwei- oder mehrspindeligen Maschinen haben dementsprechend mehrere Spindeln im Ober- bzw. Unterteil. Um Irrtümer zu vermeiden, wird diese Art der Bezeichnung in der vorliegenden Beschreibung nicht benutzt. Die angegebene Anzahl der Spindeln entspricht nachstehend der tatsächlichen - unabhängig davon, wie diese an der Maschine verteilt sind. So hat dann z. B. eine dreispindeligen Maschine zwei Spindeln im Unterteil und eine im Oberteil oder umgekehrt.

[0006] Die heute üblichen Polierverfahren und die Maschinen bzw. Vorrichtungen zur Durchführung dieser Verfahren entsprechend dem Stand der Technik haben eine Reihe von Nachteilen, wie folgt:

1. Durch die Kombination der verschiedenen Bewegungsachsen miteinander können unerwünschte Ungenauigkeiten entstehen. So ist es z. B. ungünstig, wenn der drehbare Schwenkkopf mit der B-Achse an einem linear verfahrbaren X-Schlitten befestigt ist, da sich dann die Nachgiebigkeiten beider Bewegungseinrichtungen addieren. Dies gilt im besonderen Maße, wenn an dem Schwenkkopf mehrere Spindeln befestigt sind und dementsprechend die Achsabstände und damit die Hebelverhältnisse ungünstiger werden.

2. Poliermaschinen entsprechend dem Stand der Technik haben üblicherweise nur eine Werkzeugspindel und eine Werkstückspindel, an der außer der Werkstückaufnahme für die Linse alternativ auch das Abrichtwerkzeug befestigt wird, wenn das an der Werkzeugspindel befestigte Formwerkzeug abgerichtet werden muß. Hierzu wird die Werkstückaufnahme entfernt und dafür das Abrichtwerkzeug an der Werkstückspindel befestigt. Nach dem Abrichten wird dann umgekehrt die Werkstückaufnahme wieder an der Werkstückspindel montiert. Hierbei ergeben sich Montageungenauigkeiten, die sich negativ auf das Polierergebnis auswirken. Beim Polieren wird zwar in erster Linie die Oberflächenrauigkeit der Linse vermindert, es findet jedoch auch eine geringfügige Nachbearbeitung der Oberflächenkontur statt. Daher ist es für die Präzision der Linse nachteilig, wenn durch das Umwechseln von Werkstückaufnahme und Abrichtwerkzeug Ungenauigkeiten in der Achslage

Linse/Werkzeug entstehen, die sich direkt auf die Qualität des Arbeitsergebnisses ungünstig auswirken.

Da üblicherweise nur eine Werkzeugspindel vorhanden ist, kann auch nur mit einem Polierwerkzeug gearbeitet werden, d. h. Korrekturen durch Nachpolieren mit einem speziellen Polierwerkzeug sind nicht möglich, ohne daß die Maschine umgebaut oder gewechselt werden muß.

3. Wie unter 2. beschrieben, wird bei den Poliermaschinen entsprechend dem Stand der Technik das Abrichten der Formwerkzeuge so ausgeführt, daß der Linsenhalter manuell gegen ein Abrichtwerkzeug ausgewechselt wird, mit dem dann das Formwerkzeug nachgearbeitet, d. h. abgerichtet werden kann. Dieses Auswechseln erfordert aufwendige Handarbeit, die mit den entsprechenden Kosten verbunden ist.

4. Eine weitere Ungenauigkeit ist bei den Poliermaschinen entsprechend dem Stand der Technik dadurch gegeben, daß solche Maschinen nicht mit beliebig feinen Toleranzen gefertigt werden können. Es wird daher immer ein gewisser, wenn auch geringer, Achsversatz zwischen Werkzeug- und Werkstückspindel vorhanden sein. Während dies in der X-Richtung (horizontale Richtung, quer zum Bediener) unerheblich ist, da eine der beiden Spindeln in dieser Richtung mit hoher Präzision (höher als die Montagegenauigkeit der Maschine) verfahren werden kann, ist in der Y-Richtung (horizontale Richtung, weg vom Bediener) eine solche Verfahrensmöglichkeit an den bisher bekannt gewordenen Poliermaschinen nicht vorgesehen. Das heißt, der Achsversatz in Y-Richtung durch die genannten Montageungenauigkeiten beim Zusammenbau der Maschine kann nicht korrigiert werden, was sich nachteilig auf die Genauigkeit der hergestellten Linsen auswirkt.

5. Zur Verbesserung des Polierergebnisses wird bei den heutigen Polierverfahren mit einer gleichförmigen Oszillation relativ zur Linse gearbeitet. Dazu werden Schwenkbewegungen der Werkzeugspindel mit dem Werkzeug um den Krümmungsmittelpunkt der Linse ausgeführt. Hierzu sind Maschinenbewegungen um die B-Achse und in den X- und Z-Achsen nötig, da der Schnittpunkt der Spindelachsen bzw. der damit identische Krümmungsmittelpunkt der Linse üblicherweise nicht mit der B-Achse zusammenfällt. Mit der genannten Oszillationsbewegung soll erreicht werden, daß nicht ständig die gleichen Oberflächenelemente von Werkzeug und Linse miteinander in Berührung kommen (Vermeiden von Riefenbildung im Feinbereich). Eine Korrektur der Linsengeometrie wird mit dieser gleichförmigen Oszillation nicht erreicht. Obwohl mit dem beschriebenen Bewegungsablauf in den drei genannten Maschinenachsen auch ungleichförmige Oszillationen zur Korrektur der Lin-

sengeometrie möglich wären, werden diese entsprechend dem Stand der Technik nicht angewandt.

6. Nachteilig bei den bekannt gewordenen Poliermaschinen ist außerdem, daß sich unnötige Maschinenlaufzeiten ergeben durch umständliche Verfahrenswege, die mit geringer Geschwindigkeit zurückgelegt werden. Dies hängt damit zusammen, daß bei diesen Maschinen nicht genügend Informationen in der elektronischen Maschinensteuerung bezüglich der genauen Position von Werkstück einerseits und Werkzeug andererseits vorhanden sind. Wegen der fehlenden Informationen kann das Werkzeug beim Heranfahren an das Werkstück nicht auf dem kürzesten Weg bewegt werden, sondern muß einem bestimmten Ablauf folgen, um eine unerwünschte Kollision mit dem Werkstück zu vermeiden. Zudem muß die Verfahrensgeschwindigkeit so gering gewählt werden, so daß es bei unerwarteten Berührungen zu keinen Beschädigungen kommt. Aus dem Vorgesagten ergeben sich als Nachteil unnötig lange Maschinenlaufzeiten bei Positionieren des Werkzeuges am Werkstück.

7. Es ist heute noch üblich, daß beim Linsenpolieren nach dem Stand der Technik die Linsenrohlinge von Hand in die Aufnahmevorrichtung an der Werkstückspindel eingelegt werden. Die fertigen Linsen werden ebenfalls von Hand aus der Maschine entnommen. Hieraus ergeben sich unnötige Kosten, da die Maschine ständig von einer Bedienperson beaufsichtigt werden muß.

8. Weitere Nachteile bezüglich Qualität und Kosten ergeben sich aus der Verwendung der heute gebräuchlichen Formwerkzeuge. Diese müssen für jede Linse entsprechend der Krümmung und dem Durchmesser speziell und auf gesonderten Maschinen hergestellt werden. Dementsprechend hoch sind die Werkzeugkosten. Gezielte Korrekturen an der Linsengeometrie lassen sich mit diesen Formwerkzeugen nur in begrenztem Maße vornehmen, wenn die heute üblichen Polierverfahren angewandt werden.

9. Linsen höchster Qualität können nur so hergestellt werden, daß sie nach dem Poliervorgang mit einem Interferometer untersucht werden und anschließend in weiteren Poliervorgängen ein gezielter Materialabtrag an den unzulässigerweise erhabenen Stellen durchgeführt wird. Nach dem Stand der Technik müssen die Linsen hierzu aus der Poliermaschine entnommen und in dem Interferometer geprüft werden, das als separates Gerät in der Werkstatt aufgestellt ist. Die an sich wünschenswerte bauliche Verknüpfung von Interferometer und Poliermaschine wird nicht angewandt.

[0007] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren und der Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens werden die unter 1. bis 9. genannten Nachteile vermieden,

das heißt, die Linsen können präziser und/oder kostengünstiger hergestellt werden. Dies wird erfindungsgemäß wie folgt erreicht:

Zu 1.:

[0008] Die vorgeschlagene Poliermaschine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist prinzipiell mit einer elektronischen Steuerung bzw. Regelung ausgerüstet. Dieses kann z. B. eine CNC-Steuerung sein.

[0009] Im oberen Maschinenteil befindet sich die Kombination von X- und Z-Schlitten, die lineare Bewegungen in horizontaler und vertikaler Richtung erlaubt. Die X-Richtung ist horizontal und quer zum Maschinenbediener, die Z-Richtung vertikal. An dieser Kombination von X- und Z-Schlitten sind mindestens zwei, vorzugsweise drei Spindeln befestigt, die vorzugsweise als Werkzeugspindeln ausgerüstet werden. Die Achsen dieser Spindeln liegen in einer vertikalen Ebene, die senkrecht zur B-Achse (siehe unten) angeordnet ist. Da sich zwischen dem Maschinengestell und den Spindeln kein Schwenkkopf befindet, ergibt sich eine besonders stabile Konstruktion, was sich positiv auf die Genauigkeit der hergestellten Linsen auswirkt.

[0010] Die erfindungsgemäße Poliermaschine verfügt außerdem über einen im unteren Maschinenteil angeordneten Schwenkkopf, der mittels einer Welle um die B-Achse gedreht werden kann, die ihrerseits mit dem Maschinengestell verbunden ist. Die B-Achse ist horizontal und senkrecht zur X-Achse angeordnet. Der sonst üblicherweise zwischengeschaltete Schwenkkopf für Linearbewegung entfällt. Dadurch kann der Schwenkkopf besonders stabil gelagert werden, was sich nochmals positiv auf die Genauigkeit der hergestellten Linsen auswirkt. An dem Schwenkkopf sind zwei Spindeln befestigt, deren Achsen in der gleichen Ebene liegen wie die der vorgenannten Spindeln.

Zu 2.:

[0011] Wie vorstehend bereits dargestellt, trägt der Schwenkkopf zwei Spindeln. Diese können als Werkstückspindel und als Abrichtspindel ausgeführt bzw. ausgerüstet werden. Dadurch ist es möglich, die im oberen Bereich der Maschine angeordneten Polierwerkzeuge abzurichten, ohne daß die Werkstückaufnahme und das Abrichtwerkzeug gegeneinander ausgetauscht werden müßten. Die nötige Positionierung der betreffenden Spindeln zueinander (Achsen Schnittpunkt der Spindeln fällt mit Krümmungsmittelpunkt der Linse zusammen) ist leicht möglich, da die oben liegenden Werkzeugspindeln in X- und Z-Richtung verfahren werden können und die unten liegende Abrichtspindel mit dem Schwenkkopf um die B-Achse schräg gestellt werden kann.

[0012] Alle Ungenauigkeiten beim Polieren der Linse, die sich aus dem Auswechseln von Werkstückauf-

nahme bzw. Abrichtwerkzeug ergeben könnten, werden damit sicher vermieden, da dieses Auswechseln nicht mehr stattfindet.

[0013] Verbessert wird der Qualitätsstandard auch nochmals dadurch, daß der Abrichtvorgang automatisch durchgeführt werden kann. Bei entsprechender Maschinenprogrammierung kann jeweils nach einer bestimmten Anzahl von Poliervorgängen das Werkzeug abgerichtet werden. Dieses hat damit immer die erforderliche Genauigkeit. Qualitätsmängel, die daraus resultieren, daß vergessen wurde, das Werkzeug abzurichten, sind nicht mehr möglich.

Zu 3.:

[0014] Ein wichtiges Ziel ist es, die Wirtschaftlichkeit beim Polieren von Linsen zu steigern. Da, wie erwähnt, das Abrichtwerkzeug fest an der betreffenden Spindel montiert bleibt, entfällt der manuelle Arbeitsaufwand, der sonst zum Auswechseln von Werkstückaufnahme und Abrichtwerkzeug nötig wäre. Da kein Handeingriff beim Abrichten mehr nötig ist, kann dieser Arbeitsgang vollautomatisch von der CNC-Maschinensteuerung übernommen werden. Das Abrichten kann dann z. B. zyklisch, d. h. jeweils nach einer bestimmten Anzahl von Poliervorgängen durchgeführt werden. Dementsprechend groß ist die Kostenersparnis.

Zu 4.:

[0015] Eine weitere Steigerung der Linsengenauigkeit wird bei der erfindungsgemäßen Poliermaschine durch das Einführen einer zusätzlichen linearen Achse erreicht. Diese zusätzliche lineare Achse ist ein wesentliches Erfindungsmerkmal und wird als Y-Achse ausgeführt, die parallel zu der B-Achse (Drehachse) des Schwenkkopfes angeordnet wird (horizontal, weg vom Bediener). Da die oben liegenden Werkzeugspindeln bereits in zwei Achsen (X- und Z-Achse) verfahren werden, ist es zweckmäßig, die Verstellmöglichkeit in Y-Richtung vorzugsweise im Bereich des Schwenkkopfes vorzusehen, der die unten liegenden Werkstück- und Abrichtspindel trägt. Prinzipiell ist es jedoch auch möglich, die Werkzeugspindeln in Y-Richtung zu verstellen.

[0016] Besonders vorteilhaft ist es, die Vorrichtung für die Verstellbewegung in Y-Richtung so anzuordnen, daß sie in das Drehlager des Schwenkkopfes (B-Achse) integriert ist. Ein spielbehafteter Y-Schlitten kann damit entfallen, was die Stabilität der Maschine erhöht. Diese Anordnung gestattet es, den Schwenkkopf mit den daran befestigten Spindeln im Feinbereich in Y-Richtung zu verfahren. Damit ist es jeweils möglich, die Achse einer der unten liegenden Spindeln durch Verfahren in X- und Y-Richtung exakt mit der Achse einer der oben liegenden Spindeln zur Deckung zu bringen. Durch dieses Verfahren im Feinbereich in Richtung der Y-Achse kann erreicht werden, daß die genannten Spindeln auch in Y-Richtung so genau zueinander ausge-

richtet werden können, wie dies in X-Richtung möglich ist. Damit werden Ungenauigkeiten an der Poliermaschine ausgeglichen. Während die Verfahrensmöglichkeit in X-Richtung bisher schon praktiziert wurde, ist die Korrekturmöglichkeit in Y-Richtung ein wesentliches Erfindungsmerkmal, das sich sehr positiv auf die Linsengenauigkeit auswirkt.

[0017] Beim Linsenpolieren mit der erfindungsgemäßen Verstellmöglichkeit in der Y-Achse wird nach der Fertigstellung der ersten Linse deren Geometrie nachgemessen und bei unerwünschten Abweichungen die Maschinenparameter korrigiert, wozu auch ein Nachstellen in der Y-Achse gehört. Damit kann eine Präzision erreicht werden, die bisher nicht möglich war.

Zu 5.:

[0018] Bei den heute gebräuchlichen gleichförmigen Oszillationsbewegungen zwischen Werkzeug und Linse während des Poliervorgangs soll erreicht werden, daß nicht immer die gleichen Flächenelemente miteinander in Berührung kommen und Zonen stärkeren oder schwächeren Materialabtrags gleichmäßig auf der Linsenoberfläche verteilt werden. Damit wird ungleichmäßiger Materialabtrag im Feinbereich vermieden. Eine Korrektur der Linsengeometrie findet dabei nicht statt. Beim Polieren wird jedoch angestrebt, nicht nur die Oberflächenqualität der Linse zu verbessern, sondern auch feinste Korrekturen in der Linsengeometrie vorzunehmen.

[0019] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist eine solche Korrektur vorgesehen. Hierzu wird der etwas ungleichmäßige Materialabtrag an der Linse in Abhängigkeit vom Radius während des Poliervorgangs ausgenutzt und mit einer ungleichmäßigen Oszillation gearbeitet, die den Krümmungsmittelpunkt der Linse als Drehzentrum hat. Der Oszillationsvorgang wird dabei so gesteuert, daß sich die Oszillation verlangsamt oder vorübergehend zum Stillstand kommt, wenn Flächenelemente des Formwerkzeugs, die einen verstärkten Materialabtrag erzeugen, eine Position an der Linse erreicht haben, an der ein verstärkter Materialabtrag erwünscht ist.

Zu 6.:

[0020] Zur weiteren Steigerung der Wirtschaftlichkeit ist bei der erfindungsgemäßen Maschine zum Polieren von Linsen vorgesehen, daß die Position der zu polierenden Linse mittels eines Tasters meßtechnisch erfaßt wird. Die genaue Lage der Arbeitsflächen des Polierwerkzeuges ist ebenfalls bekannt aus den Koordinaten, mit denen die Maschine beim Abrichten des Werkzeugs gearbeitet hat. Aufgrund dieser Werte ist die CNC-Steuerung der Maschine dann in der Lage, alle für das Positionieren des Werkzeuges erforderlichen Maschinenlaufzeiten zu minimieren, da diese Bewegungen dann auf dem kürzesten Wege ausgeführt werden können

und in allen Achsen mit der maximal zulässigen Geschwindigkeit verfahren werden kann. Eine Kollisionsgefahr zwischen Werkzeug und Werkstück besteht nicht, da zu jedem Zeitpunkt genau bekannt ist, wo sich beide befinden. Die Folge dieser Weg/Zeitoptimierung ist, daß ein außerordentlich wirtschaftliches Arbeiten mit der Maschine möglich ist.

Zu 7.:

[0021] Die Wirtschaftlichkeit wird weiter gesteigert, indem bei der vorgeschlagenen Maschine zum Polieren von Linsen auch mit einem Werkstückmagazin mit Be- und Entladesystem gearbeitet wird, das so in die CNC-Maschinensteuerung integriert werden kann, daß praktisch kein Handeingriff mehr erforderlich ist. Der Bedienungsaufwand kann so auf ein Minimum reduziert werden und beschränkt sich praktisch auf das Befüllen und Entleeren des Magazins.

Zu 8.:

[0022] Weitere Vorteile bezüglich Qualität und/oder Kostenreduzierung ergeben sich, wenn die bisher gebräuchlichen Formwerkzeuge durch fortschrittliche Werkzeuge anderer Bauart ersetzt oder ergänzt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, daß an der vorgeschlagenen Poliermaschine, die über mehrere Werkzeugspindeln verfügt, mit unterschiedlichen Polierwerkzeugen gearbeitet wird.

[0023] Zur Steigerung der Linsenqualität kann z. B. an der ersten Spindel ein Polierwerkzeug befestigt werden, das einen flächigen Materialabtrag ermöglicht und damit besonders wirtschaftlich ist, während an der zweiten und ggf. dritten Spindel Polierwerkzeuge befestigt werden, die mehr punktförmig arbeiten und damit örtliche Korrekturen an der Linsengeometrie ermöglichen.

[0024] Kostenersparnisse bei den Werkzeugen sind möglich, wenn diese so gestaltet werden, daß mit ein- und demselben Werkzeug Linsen verschiedener Krümmung und verschiedenen Durchmessers poliert werden können (z. B. Topfwerkzeuge oder aufblasbare Werkzeuge). Eine weitere Möglichkeit zum Einsparen von Werkzeugkosten besteht in der Verwendung von Formwerkzeugen, die in der Poliermaschine selbst bearbeitet und dabei mit der benötigten Form versehen werden. Diese Bearbeitung kann mehrmals an diesen Werkzeugen durchgeführt werden, so daß auch andere Krümmungen möglich sind.

Zu 9.:

[0025] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren und den Vorrichtungen zur Durchführung des Verfahrens ist vorgesehen, daß das Interferometer in die Poliermaschine integriert ist. Dies kann im Zusammenhang mit dem Werkstückmagazin sein, es kann jedoch auch ein

anderer Befestigungsort gewählt werden, der von den Vorschubsystemen der Maschine erreicht werden kann.

[0026] Durch diese Anordnung ist es möglich, die polierten Linsen vollautomatisch zu vermessen um anschließend, ebenfalls ohne Handeingriff, in weiteren Polierschritten Korrekturen an der Linsengeometrie vorzunehmen. Das Ergebnis ist eine weitere Kostenersparnis, da das manuelle Entnehmen der Linsen aus der Poliermaschine mit anschließendem Vermessen in dem Interferometer und das Wiedereinlegen in die Maschine entfällt.

Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens und der Vorrichtungen zur Durchführung des Verfahrens anhand von Beispielen

[0027] In **Abb. 1 bis 5** sind die verschiedenen konstruktiven Ausführungen der verwendeten Polierwerkzeuge dargestellt.

[0028] Die **Abb. 6** zeigt den Aufbau der erfindungsgemäßen Poliermaschine an einem Ausführungsbeispiel. Es sind jedoch grundsätzlich auch andere Ausführungen möglich. Spindelantriebe wurden der Übersichtlichkeit halber nicht gezeichnet. Die Poliermaschine ist grundsätzlich mit einer CNC-Steuerung ausgerüstet.

[0029] Die **Abb. 7 bis 11** zeigen die Maschine in verschiedenen Arbeitspositionen.

Zu Abb. 1:

[0030] In dieser Abbildung ist das an sich bekannte Formwerkzeug (30) zum Polieren von Linsen (9) dargestellt. Es besteht aus einem Grundkörper (31), der entsprechend der Linsenkrümmung ausgedreht ist. Die Arbeitsfläche ist mit dünnen Polierfolien (32) beklebt, die zur Erreichung der genannten Korrekturen verschiedene Gestalt und Anordnung haben können. Zur Befestigung an den Werkzeugspindeln (4) der Poliermaschine dient ein Aufnahmezapfen (33).

Zu Abb. 2:

[0031] Hier ist ein Mehrfach-Formwerkzeug (34) dargestellt, das ebenfalls einen Grundkörper (35) besitzt, auf den eine dickere Kunststoffschiicht (36) aufgebracht ist. Diese Kunststoffschiicht (36) kann vorzugsweise aus Epoxydharz bestehen, dem Füllkörper, z. B. feine Glaspartikel und/oder Poliermittel beigemischt wurden. Anzustreben ist in jedem Fall, daß die Kunststoffschiicht (36) gut schleifbar ist, und eine Wärmedehnung aufweist, die derjenigen von Glas ähnlich ist. Diese Schicht kann jedoch auch aus einem anderen Material bestehen. Zur Befestigung an den Werkzeugspindeln (4) der Poliermaschine dient ein Aufnahmezapfen (33).

[0032] Die an die Linse (9) angepaßte Kontur (Kugalkalotte) des Mehrfach-Formwerkzeugs (34) kann dann durch spannehmende Bearbeitung (z. B. Schleifen) auf

einer separaten Maschine oder vorzugsweise direkt auf der Poliermaschine hergestellt werden. Hieraus ergeben sich Handlings-Vorteile (Kostenreduzierung) und eine verbesserte Genauigkeit, da unnötige Werkzeugwechsel entfallen. Da die Kunststoffschiicht (36) eine relativ große Dicke hat, kann sie nacheinander für Linsen (9) mit verschiedenen Krümmungsradien abgerichtet werden. Das Anbringen von Polierfolie ist nicht erforderlich, da die Kunststoffschiicht (36) selbst weich genug ist. Mit einem einzigen Werkzeug können daher, nach entsprechender Anpassung, Linsen (9) mit verschiedenen Krümmungsradien poliert werden. Der Poliervorgang kann entweder unter Zugabe von Poliersuspension erfolgen oder nur unter Zugabe von Kühlflüssigkeit, wenn das Poliermittel bereits in dem Kunststoff enthalten ist. Da die Bearbeitung auf der gesamten Linsenoberfläche gleichzeitig erfolgt, ist der Materialabtrag sehr intensiv und das Arbeiten mit diesem Werkzeug auch aus diesem Grund besonders kostengünstig. Besonders vorteilhaft ist es auch, wenn der Kunststoff mit seinen Füllstoffen eine ähnliche Wärmedehnung wie Glas hat, da sich dann keine Ungenauigkeiten beim Polieren, durch Temperaturunterschiede zwischen Mehrfach-Formwerkzeug (34) und Linse (9), ergeben.

[0033] Insgesamt hat das Mehrfach-Formwerkzeug (34) Eigenschaften, die sowohl die Kosten reduzieren, als auch die Genauigkeit steigern.

Zu Abb. 3:

[0034] In dieser Abbildung wird ein Becherwerkzeug (37) dargestellt, dessen Grundkörper (38) an seinem offenen Ende einen Polerring (39) aus weichem Material trägt. Das Becherwerkzeug (37) wird mittels Aufnahmezapfen (33) an der Werkzeugspindel (4) der Poliermaschine befestigt. Der Polerring (39) kann z. B. aus Novotex hergestellt werden, das poliermittelfrei ist oder auch mit Poliermittel versetzt sein kann. Dementsprechend wird mit oder ohne Poliersuspension gearbeitet. Diese Werkzeugform hat den Vorteil, daß damit Linsen (9) verschiedenen Durchmessers und mit verschiedenen Krümmungen poliert werden können. Hierzu werden die Achsen der beteiligten Spindeln so zueinander schräg gestellt, daß der Achsenschnittpunkt mit dem Krümmungsmittelpunkt der Linsen (9) zusammenfällt. Der wesentliche Vorteil bei diesem Werkzeug ist demnach die Kostenersparnis bei der Werkzeugbeschaffung.

Zu Abb. 4:

[0035] Bei dem hier dargestellten Werkzeug handelt es sich um einen Polierstift (40), an dessen Aufnahmezapfen (33) ein Grundkörper (41) befestigt ist, an dessen vorderem Ende ein Polierkörper (42) angebracht ist; der z. B. aus Filz bestehen kann. Mit diesem Polierstift (40) können feinste Nachbearbeitungen an den

bereits vorgepolierten Linsen (9) vorgenommen werden, wenn sich bei der Kontrolle mit dem Interferometer (19) Abweichungen im Feinbereich ergeben. Diese Abweichungen können nur durch Polierbearbeitung beseitigt werden, da ausschließlich damit der erforderliche, geringe Materialabtrag möglich ist. Besonders vorteilhaft wird dieses Werkzeug auf der erfindungsgemäßen mehrspindeligen Poliermaschine eingesetzt, da dann ohne Werkzeugwechsel vor- und nachpoliert werden kann.

[0036] Während dieser Korrekturarbeiten kann die Werkstückspindel (7) entweder fortlaufend rotieren oder auch als Achse benutzt werden. In dem letztgenannten Fall wird die Spindel in ihrer Drehbewegung sowohl bezüglich Fasenwinkel (Drehwinkel) als auch bezüglich Winkelgeschwindigkeit kontrolliert, d. h. die Winkelgeschwindigkeit ist unstetig und abhängig vom Fasenwinkel. Wenn an einer bestimmten Stelle der Linse ein verstärkter Materialabtrag erfolgen soll, so wird die Winkelgeschwindigkeit in der entsprechenden Fasenlage verlangsamt, so daß das Polierwerkzeug dort relativ länger im Eingriff ist und mehr Material abträgt.

Zu Abb. 5:

[0037] In Abb. 5 wird ein aufblasbares Polierwerkzeug (43) gezeigt. Dieses trägt an einem Grundkörper (44), der über eine Bohrung (45) verfügt, eine Gummimembran (46). Diese Gummimembran (46) kann entweder an ihrer gesamten Oberfläche oder nur in ihrem Zentrum mit Polierfolien (47) belegt werden. Der Aufnahmezapfen (33) ist bei diesem aufblasbaren Polierwerkzeug (43) im Zentrum ebenfalls mit einer Bohrung (48) versehen. Zum Polieren wird die Gummimembran (46) über die Bohrungen (48) und (45) mit Luft aufgeblasen und so die gewünschte Form hergestellt. Je nach Druck ist die Gummimembran (46) mehr oder weniger stark gewölbt. In bestimmten Fällen, z. B. wenn nur ein sehr geringer Materialabtrag erwünscht ist, kann mit der Eigenspannung der Membran gearbeitet werden. Es ist dann auch möglich, ein leichtes Vakuum an die Gummimembran (46) anzulegen, so daß sich die Andrückkraft gegen die Linse (9) vermindert.

[0038] Bei der flächigen Belegung können Linsen (9) unterschiedlicher Krümmung poliert werden. Dies ist z. B. vorteilhaft, wenn bei einfachen Linsen (9) die Vorder- und die Rückseite mit ein und demselben Polierwerkzeug bearbeitet werden soll. Wenn die Gummimembran (46) nur im Zentrum mit einer runden Polierfolie (47) belegt wird, so können feinste Korrekturen an der Linsengeometrie vorgenommen werden. Vorteilhaft ist dabei das weiche Andrücken der Polierfolie (47) an das Werkstück. Während dieser Korrekturarbeiten kann die Werkstückspindel (7) entweder rotieren oder auch als Achse benutzt werden. In dem letztgenannten Fall wird die Spindel schrittweise in bestimmte Winkelpositionen gefahren, in denen sie mehr oder weniger lange verharret, während der Poliervorgang abläuft. Diesen Kor-

rekturen geht eine Kontrolle der Linsengeometrie in dem Interferometer (19) voraus.

Zu Abb. 6:

[0039] In Abb. 6 ist die Poliermaschine in der Ausgangsstellung dargestellt. An dem Maschinengestell (1) ist im oberen Bereich ein X-Schlitten (2) angeordnet, der lineare Bewegungen in horizontaler Richtung quer zum Bediener ausführen kann. An diesem X-Schlitten (2) ist ein Z-Schlitten (3) gelagert, der seinerseits lineare Bewegungen in vertikaler Richtung ausführen kann. Die Führungen des X-Schlittens (2) und des Z-Schlittens (3) wurden nicht gezeichnet. An dem Z-Schlitten (3) sind drei Werkzeugspindeln (4) befestigt, an deren unteren Enden die verschiedenen Polierwerkzeuge angebracht werden. In Abb. 6 ist die Poliermaschine an der linken Werkzeugspindel (4) mit einem Mehrfach-Formwerkzeug (34) ausgerüstet, während die mittlere Werkzeugspindel (4) ein Becherwerkzeug (37) trägt und an der rechten Werkzeugspindel (4) ein Polierstift (40) montiert ist.

[0040] Ebenfalls mit dem Z-Schlitten (3) verbunden ist ein Saugheber (11), der in Verbindung mit dem Werkstückmagazin zum Be- und Entladen des Linsenhalters (8) mit den Linsen (9) eingesetzt wird und auch das Interferometer (19) bedient. Zur Vermeidung von Kollisionen kann der Saugheber (11) mittels einem Luftzylinder (13) nach oben in eine Parkposition gefahren werden.

[0041] Im Inneren des rohrförmig ausgebildeten Saughebers (11) oder alternativ auch desselben, ist ein Taster (12) untergebracht, mit dem die Position der Linse (9) erfaßt werden kann, wenn diese durch Verfahren des X-Schlittens (2) und des Z-Schlittens (3) in dem Linsenhalter (8) abgelegt wurde.

[0042] Im unteren Bereich des Maschinengestells (1) ist ein Schwenkkopf (5) angeordnet, der mittels Welle (10) um die B-Achse (6) geschwenkt werden kann, die senkrecht zu der X- und der Z-Achse angeordnet ist, d. h. senkrecht auf der Zeichenebene steht. An dem Schwenkkopf (5) ist die Werkstückspindel (7) befestigt, die an ihrem oberen Ende den Linsenhalter (8) trägt, in den die Linse (9) eingelegt wird. Ebenfalls mit dem Schwenkkopf (5) verbunden ist die Abrichtspindel (17), die das Abrichtwerkzeug (18) trägt.

[0043] Besondere konstruktive Vorteile im Zusammenhang mit der Verstellmöglichkeit in Richtung der Y-Achse ergeben sich, wenn die Verstellung im Bereich des Schwenkkopfes (5) vorgenommen wird. Der Schwenkkopf (5) wird hierzu mit einer Welle (10) verbunden, die ihrerseits in dem Maschinengestell (1) drehbar und axial verschiebbar gelagert ist. Wenn diese Welle (10) in ihrer Achsrichtung von einem geeigneten Antrieb (nicht gezeichnet) verschoben wird, so ergibt sich die gewünschte Verstellmöglichkeit in Y-Richtung. Die Y-Achse fällt dann mit der B-Achse zusammen und es erübrigt sich, eine gesonderte Führung mit Y-Schlitten

ten vorzusehen.

[0044] Die erfindungsgemäße Poliermaschine ist entsprechend Abb. 6 auch mit einem Werkstückmagazin ausgerüstet, das unter anderem aus einer Magazinscheibe (14) besteht, auf deren Oberseite und auf einem außen liegenden Teilkreis Werkstückaufnahmen (15) für die Linsen (9) angeordnet sind. Die Magazinscheibe (14) ist an einer vertikalen Antriebswelle (16) befestigt, von der sie in Winkelschritten rotatorisch angetrieben wird. Die Werkstückaufnahmen (15) mit den Linsen (9) können so nacheinander in die Entnahmeposition (20) gedreht werden. Dem Werkstückmagazin funktionell zugeordnet ist der Saugheber (11), der wie erwähnt mit dem Z-Schlitten (3) verbunden ist und als Be- und Entladeeinrichtung dient.

[0045] Im Bereich der Magazinscheibe (14) ist auch ein Interferometer (19) angeordnet, in dem die vorpolierten Linsen (9) von dem Saugheber (11) abgelegt werden können. Nach der Vermessung in dem Interferometer (19) werden die Linsen (9) von dem Saugheber (11) wieder in den Linsenhalter (8) zurückgelegt und mit dem Becherwerkzeug (37) und/oder dem Polierstift (40) nachpoliert. Die Werkzeugspindeln (4) können selbstverständlich auch mit anderen Polierwerkzeugen bestückt werden, z. B. dem Formwerkzeug (30) und dem aufblasbaren Polierwerkzeug (43).

Die Arbeitsfolgen mit der erfindungsgemäßen Poliermaschine und den zugehörigen Werkzeugen und Vorrichtungen werden anhand der Abb. 7 bis 12 dargestellt:

Zu Abb. 7:

[0046] Diese Abbildung zeigt die Poliermaschine in der Arbeitsposition „Linse (9) von Saugheber (11) aus Werkstückaufnahme (15) entnommen“.

[0047] Der X-Schlitten (2) mit den Werkzeugspindeln (4) und dem Saugheber (11) wird hierzu in der X-Richtung nach links bewegt, so daß der Saugheber (11) über derjenigen Linse (9) steht, die in der Werkstückaufnahme (15) liegt, die sich in der Entnahmeposition (20) befindet. Anschließend wird der Z-Schlitten (3) nach unten gefahren bis der Saugheber (11) die Linse (9) berührt, was von dem Taster (12) oder einem Vakuumschalter, der mit dem Saugheber (11) verbunden ist, erfaßt wird. Dadurch wird die Maschinenbewegung in Z-Richtung von der CNC-Steuerung gestoppt und der Saugheber (11) mit Vakuum beaufschlagt, so daß die Linse (9) an ihm haftet. Durch Verfahren des Z-Schlittens (3) nach oben wird die Linse (9) aus der Werkstückaufnahme (15) entnommen.

Zu Abb. 8:

[0048] Diese Abbildung zeigt die Arbeitsposition „Linse (9) in Linsenhalter (8) eingelegt“.

[0049] Nach der Aufnahme der Linse (9) durch den Saugheber (11), kann diese anschließend durch Ver-

fahren des X-Schlittens (2) nach rechts und des Z-Schlittens (3) nach unten in den Linsenhalter (8) der Werkstückspindel (7) abgelegt werden. Danach wird mittels Taster (12) die genaue Höhenposition der Linse (9) ermittelt, die sie im Linsenhalter (8) einnimmt. Der Saugheber (11) wird dann von dem Luftzylinder (13) in Parkposition gefahren.

Zu Abb. 9:

[0050] Diese Abbildung zeigt die Poliermaschine in der Arbeitsposition „Polieren der Linse (9) mit dem Mehrfach-Formwerkzeug (34)“.

[0051] Beim Start des Poliervorgangs wird der Schwenkkopf (5) um die B-Achse (6) in Arbeitsposition gedreht und die Antriebe (nicht gezeichnet) der Werkzeugspindel (4) mit dem Mehrfach-Formwerkzeug (34) und der Werkstückspindel (7) mit dem Linsenhalter (8) und der Linse (9) gestartet. Da die Position der Linse (9) mittels Taster (12) bestimmt wurde und auch die Positionen der Werkzeuge bekannt sind (Geometrie in CNC Steuerung gespeichert), kann anschließend durch Verfahren des X-Schlittens (2) und des Z-Schlittens (3) im Eilgang das Mehrfach-Formwerkzeug (34) bis kurz vor die Linse (9) gefahren werden. Nach Erreichen der entsprechenden Position wird die Gummimembran des Linsenhalters (8) aufgeblasen und die Linse (9) in Kontakt mit dem Mehrfach-Formwerkzeug (34) gebracht und anschließend unter automatischer Zugabe von Poliersuspension poliert.

[0052] Bevor die nächste Linse (9) bearbeitet wird, wird die erste hergestellte Linse (9) nach dem Vorpolieren mit dem in die Maschine integrierten Interferometer (19) vermessen (siehe auch „Zu Abb. 10“) und, falls erforderlich, die nötigen Korrekturen an den eingestellten Maschinenparametern vorgenommen. Hierzu kann auch ein Verstellen des Schwenkkopfes (5) mit der Werkstückspindel (7) und der Abrichtspindel (17) in der Y-Achse gehören. Hierzu wird der Antrieb der Y-Achse von der CNC-Steuerung gestartet und die Welle (10) mit dem Schwenkkopf (5) entsprechend dem eingegebenen Erfahrungswert in Y-Richtung verschoben. Da alle Maschinenbewegungen von einer CNC-Steuerung kontrolliert werden, werden auch die Korrekturereingaben an dieser Steuerung vorgenommen. Da das Mehrfach-Formwerkzeug (34) und der Linsenhalter (8) mit der Linse (9) fest an ihren Spindeln montiert bleiben, d. h. nicht gewechselt werden, kann mit diesen Korrekturereingaben jede nachfolgende Linse (9) mit der gleichen, sehr guten Genauigkeit hergestellt werden, ohne daß sich durch Werkzeugwechsel nicht erfaßte Ungenauigkeiten überlagern.

Zu Abb. 10:

[0053] Diese Abbildung zeigt die Poliermaschine in der Arbeitsposition „Vermessen der Linse (9) mit dem Interferometer (19)“.

[0054] Die mit korrigierten Maschinenparametern vorpolierte Linse (9) wurde mittels Saugheber (11) und Verfahren des X-Schlittens (2) und des Z-Schlittens (3) aus dem Linsenhalter (8) entnommen und in ein Transportsystem (nicht gezeichnet) des Interferometers (19) abgelegt und von diesem in Meßposition gerbacht. Dort wird sie auf etwaige Abweichungen in ihrer Geometrie vermessen. Wenn die Linse (9) einwandfrei ist, so wird sie von dem Saugheber (11) durch Verfahren des X-Schlittens (2) und des Z-Schlittens (3) sowie Anlegen von Vakuum wieder aufgenommen und in derjenigen Werkstückaufnahme (15) abgelegt, die sich in der Entnahmeposition (20) befindet.

[0055] Falls die Linse (9) jedoch Abweichungen in ihrer Geometrie aufweist, so wird sie von dem Saugheber (11) aufgenommen und zum Nachpolieren nochmals in dem Linsenhalter (8) abgelegt, wobei die notwendigen Transferbewegungen ebenfalls wieder von dem X-Schlitten (2) und dem Z-Schlitten (3) übernommen werden.

Zu Abb. 11:

[0056] Diese Abbildung zeigt die Poliermaschine in der Arbeitsposition „Polieren der Linse (9) mit dem Polierstift (40)“.

[0057] Der Vorgang verläuft ähnlich wie bei „Zu Abb. 9“ bereits beschrieben. Zum Einsatz kommt hier jedoch als Polierwerkzeug der Polierstift (40), mit dem es möglich ist, ganz gezielt feinste Korrekturen an der Linsengeometrie vorzunehmen.

[0058] Falls solche Korrekturen im Bezug auf die Achse der Linse (9) rotationssymmetrisch erfolgen sollen, so wird die Linse (9), bei drehenden Spindeln, mit dem Linsenhalter (8) durch Drehen des Schwenkkopfes (5) um die B-Achse (6) mit einem vorgegebenen Winkel zunächst schräg gestellt. Durch zusätzliches Verfahren in X- und Z-Richtung wird der Polierstift in die gewünschte Position zu der Linse (9) gefahren.

[0059] Nach dem Zuschalten der Poliersuspension wird der Polierstift (40) im Kriechgang mit der Linse (9) in Kontakt gebracht und der Korrekturvorgang durch Feinpolieren läuft ab. Während des Poliervorgangs berührt dann der Polierstift (40) die Linse (9) unter dem vorgegebenen Winkel (z. B. in Richtung der Normalen) auf dem gewünschten Bearbeitungsbereich, der den richtigen Abstand zur Linsenachse hat. Vorzugsweise wird an Stelle eines Bearbeitungsbereiches eine Bearbeitungsspirale gewählt, d. h. durch Verfahren der X-, Z- und B-Achse wird der Polierstift (40) allmählich vom äußeren Umfang der Linse (9) in Richtung ihres Zentrums bewegt. Der genannte Anstellwinkel des Polierstiftes (40), relativ zur Linsenoberfläche wird dabei konstant gehalten.

[0060] Ein gezielter Materialabtrag an der Linsenoberfläche wird dadurch erreicht, daß die Vorschubgeschwindigkeit des Polierstiftes (40) Richtung Linsenzentrum entsprechend variiert wird. An Stellen

großen Materialabtrags wird die Vorschubgeschwindigkeit reduziert, soll weniger Material abgetragen werden, so wird die Vorschubgeschwindigkeit erhöht. Die Linse (9) wird anschließend nochmals mit dem Interferometer (19) vermessen und dann entweder in der Werkstückaufnahme (15) abgelegt oder nochmals korrigiert, was wie vorbeschrieben abläuft, je nach dem wie der Befund ist.

[0061] Falls solche Korrekturen jedoch punktförmig, d. h. bezogen auf die Linsenachse nicht rotationssymmetrisch durchgeführt werden sollen, so sind die Bewegungen der Maschine in allen drei Achsen ähnlich wie oben beschrieben, die Werkstückspindel (7) wird jedoch als C-Achse betrieben, d. h. sie kann in verschiedenen Phasenlagen (Winkelpositionen) mit unterschiedlichen Winkelgeschwindigkeiten gedreht werden. Diese Korrekturmöglichkeit durch unterschiedliche Winkelgeschwindigkeiten wird der o. g. Korrekturmöglichkeit durch unterschiedliche Vorschubgeschwindigkeit überlagert. Während dem anschließend durchgeführten Korrekturvorgang durch Feinpolieren rotiert demnach die Linse (9) ungleichförmig um die C-Achse während sich der gleichförmig rotierende Polierstift (40) durch Verfahren der X-, Z- und B-Achse zum Linsenzentrum hin bewegt, wobei diese Bewegung ebenfalls ungleichförmig ist.

[0062] Wenn eine fertig polierte Linse (9), ggf. nach entsprechender Korrektur, in die Werkstückaufnahme (15) in der Entnahmeposition (20) zurückgelegt wurde, so wird die Magazinscheibe (14) mittels Antriebswelle (16) um einen Teilungsschritt weitergedreht und damit die nächste Werkstückaufnahme (15) mit polierfähiger Linse (9) in die Entnahmeposition (20) gedreht. Anschließend wird die entsprechende Linse (9) mit dem Saugheber (11) entnommen, in den Linsenhalter (8) eingelegt und der Polierzyklus beginnt von neuem.

Zu Abb. 12:

[0063] Diese Abbildung zeigt die Poliermaschine in der Arbeitsposition „Abrichten des Mehrfach-Formwerkzeugs (34) mit dem Abrichtwerkzeug (18)“.

[0064] Zunächst wird der Schwenkkopf (5) mit der Abrichtspindel (17) und dem Abrichtwerkzeug (18) in die benötigte Schräglage gedreht. Da alle Werkzeugpositionen in der CNC-Steuerung bekannt sind, kann dann durch Verfahren des X-Schlittens (2) und des Z-Schlittens (3) im Eilgang das Mehrfach-Formwerkzeug (34) in unmittelbare Nähe zu dem Abrichtwerkzeug (18) gefahren werden. Nach Erreichen dieser Position wird in beiden Linearachsen auf den Kriechgang umgeschaltet und die Antriebe der Werkzeugspindel (4) und der Abrichtspindel (17) gestartet. Unmittelbar bevor die Schneidkante des Abrichtwerkzeugs (18) das Mehrfach-Formwerkzeug (34) berührt, wird auch die Zugabe von Kühlflüssigkeit eingeschaltet. Anschließend wird die Bewegung in der X-Achse gestoppt, während die Kriechgangbewegung in der Z-Achse auf die noch klei-

nere Vorschubbewegung zurückgeschaltet wird. Mit dieser, sehr kleinen Geschwindigkeit in der Z-Richtung wird der Abrichtvorgang durchgeführt.

Bezugszeichenliste

[0065]

1	Maschinengestell	
2	X-Schlitten	10
3	Z-Schlitten	
4	Werkzeugspindel	
5	Schwenkkopf	
6	B-Achse	
7	Werkstückspindel	15
8	Linsenhalter	
9	Linse	
10	Welle	
11	Saugheber	
12	Taster	20
13	Luftzylinder	
14	Magazinscheibe	
15	Werkstückaufnahme	
16	Antriebswelle	
17	Abrichtspindel	25
18	Abrichtwerkzeug	
19	Interferometer	
20	Entnahmeposition	
30	Formwerkzeug	
31	Grundkörper	30
32	Polierfolien	
33	Aufnahmezapfen	
34	Mehrfach-Formwerkzeug	
35	Grundkörper	
36	Kunststoffschicht	35
37	Becherwerkzeug	
38	Grundkörper	
39	Polierring	
40	Polierstift	
41	Grundkörper	40
42	Polierkörper	
43	aufblasbares Polierwerkzeug	
44	Grundkörper	
45	Bohrung	
46	Gummimembran	45
47	Polierfolie	
48	Bohrung	

Patentansprüche

1. Verfahren zum Polieren von optischen Linsen (9) dadurch **gekennzeichnet**, daß eine mehrspindelige, z. B. fünfspindelige Poliermaschine benutzt wird, die in allen Bewegungsabläufen bzw. Achsen CNC-gesteuert ist und im oberen Bereich über die Kombination von einem X-Schlitten (2) und einem Z-Schlitten (3) verfügt, an der mindestens zwei, vorzugsweise drei Werkzeugspindeln (4) befestigt

sind, während im unteren Bereich ein Schwenkkopf (5) angeordnet ist, der um eine B-Achse (6) schwenkbar ist und an dem eine Abrichtspindel (17) und eine Werkstückspindel (7) befestigt sind, wobei die letztere auch als C-Achse, d. h. mit kontrollierter Rotation betrieben werden kann, und die Mittelachsen aller Spindeln (4), (7) und (17) in einer gemeinsamen Ebene liegen und daß zusätzlich ein Bewegungssystem vorhanden ist, das es gestattet, die unteren Spindeln relativ zu den oberen Spindeln in Richtung der Y-Achse zu verschieben (oder umgekehrt) und die erfindungsgemäße Poliermaschine außerdem über verschiedene Zusatzeinrichtungen verfügt, wie z. B. ein Werkstückmagazin mit automatischer Be- und Entladevorrichtung, einen Taster (12), der es ermöglicht, die Positionen der Linsen (9) zu erfassen und ein Interferometer (19), mit dem die Linsen (9) vermessen werden können und, daß die Werkzeugspindeln (4) mit verschiedenen Polierwerkzeugen zur Optimierung von Kosten und/oder Qualität ausgerüstet werden, und der Poliervorgang so abläuft, daß in einem 1. Schritt eine Linse (9) aus dem Werkstückmagazin automatisch in den Linsenhalter (8) der Werkstückspindel (7) eingelegt wird, in einem 2. Schritt die Linse (9) vorpoliert wird, in einem 3. Schritt die erreichte Qualität mittels Interferometer (19) gemessen wird, in einem 4. Schritt die Maschinenparameter entsprechend den Meßergebnissen, falls erforderlich, korrigiert werden, in einem 5. Schritt eine weitere Linse (9) mit der neuen Maschineneinstellung vorpoliert wird; der 3. Schritt wiederholt wird, in einem 6. Schritt die Linse (9), falls erforderlich, mit einem anderen Polierwerkzeug, z. B. dem Polierstift (40) nachpoliert (korrigiert) wird, in einem 7. Schritt mittels Interferometer (19) eine abschließende Qualitätskontrolle durchgeführt wird und die Linse (9) in einem 8. Schritt bei bestandener Qualitätskontrolle automatisch in dem Werkstückmagazin abgelegt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch **gekennzeichnet**, daß während des Poliervorgangs der Rotation von Werkzeugspindel (4) und Werkstückspindel (7) eine ungleichförmige Oszillationsbewegung überlagert wird, bei der sich das Polierwerkzeug relativ zur Linse (9) auf einer Kreisbahn bewegt, deren Mittelpunkt mit dem Krümmungsmittelpunkt der Linse (9) zusammenfällt und die Ungleichförmigkeit dieser Oszillationsbewegung von der CNC-Steuerung so gesteuert wird, daß ein gezielter Materialabtrag an der Linse (9) im Sinne einer Korrektur entsteht.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2 dadurch **gekennzeichnet**, daß Polierwerkzeuge geeigneter Bauart, in der Poliermaschine durch spanende Bearbeitung ihre endgültige Form erhalten, die der Geometrie

der Linse (9) angepaßt ist, was mit Hilfe des Abrichtwerkzeugs (18) oder eines anderen Werkzeugs an der Abrichtspindel (17) erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3 dadurch **gekennzeichnet**, daß die drehenden Polierwerkzeuge bei entsprechender Abnutzung in der Poliermaschine selbst, mittels Abrichtwerkzeug (18) voll automatisch abgerichtet werden, ohne daß ein Werkzeugwechsel erfolgt. 5
10

5. Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens nach Anspruch 1 bis 4 dadurch **gekennzeichnet**, daß die entsprechende Poliermaschine CNC-gesteuert ist und im oberen Bereich über einen X-Schlitten (2) und einen Z-Schlitten (3) verfügt, an dem mindestens zwei, vorzugsweise drei angetriebene Werkzeugspindeln (4) befestigt sind und an dem Z-Schlitten (3) außerdem eine Be- und Entladevorrichtung für die Linsen (9) angebracht ist und im unteren Bereich der Maschine ein Schwenkkopf (5) um die B-Achse (6) drehbar gelagert ist, an dem eine angetriebene Werkstückspindel (7) und eine angetriebene Abrichtspindel (17) befestigt sind, wobei die Werkstückspindel (7) auch als C-Achse ausgebildet werden kann (kontrollierte Rotation) und außerdem eine Vorschubeinrichtung vorhanden ist, die es gestattet, die beiden unteren Spindeln (7) und (17) relativ zu den oberen Werkzeugspindeln (4) in Y-Richtung zu verschieben (oder umgekehrt) und die Poliermaschine außerdem über ein Werkstückmagazin, einen Taster (12) zum Erfassen der Linsenpositionen und ein Interferometer (19) zur Qualitätskontrolle verfügt und, daß das eingesetzte Polierwerkzeug während des Poliervorgangs mittels der CNC-Steuerung relativ zur Linse (9) ungleichförmige Oszillationsbewegungen ausführen kann, deren Mittelpunkt mit dem Krümmungsmittelpunkt der Linse (9) zusammenfällt und der gesamte Poliervorgang CNC-gesteuert und automatisch ablaufen kann, mit den Arbeitsschritten „Linse (9) in Linsenhalter (8) einlegen“, „Linse (9) vorpolieren“, „Arbeitsergebnis in Interferometer (19) überprüfen“, „ggfs. Maschinenparameter korrigieren“, „Linse (9) nachpolieren“, „Ergebnis abschließend in Interferometer (19) überprüfen“ und „Linse (9) in Werkstückmagazin zurücklegen“. 15
20
25
30
35
40
45

6. Vorrichtung nach Anspruch 5 dadurch **gekennzeichnet**, daß die Poliermaschine CNC-gesteuert ist und in ihrem oberen Bereich über drei angetriebene Werkzeugspindeln (4) mit den Polierwerkzeugen, z. B. den Polierwerkzeugen (34), (37) und (40) verfügt, wobei die Werkzeugspindeln (4) an der Kombination eines X-Schlittens (2) und eines Z-Schlittens (3) befestigt sind, die auch den Saugheber (11) als Be- und Entladeeinrichtung trägt, in dessen Zentrum sich der Taster (12) befindet, und der Saugheber (11) mittels eines Luftzylinders (13) in eine Parkposition gefahren werden kann, während im unteren Bereich der Poliermaschine der Schwenkkopf (5) mittels einer Welle (10) am Maschinengestell (1) drehbar um die B-Achse (6) gelagert ist und in die Welle (10) eine Vorschubeinrichtung integriert ist, die es gestattet, den Schwenkkopf (5) in Y-Richtung um kleine Beträge zu verschieben und der Schwenkkopf (5) die angetriebene Werkstückspindel (7) mit dem Linsenhalter (8) und die angetriebene Abrichtspindel (17) mit dem Abrichtwerkzeug (18) trägt, wobei die Werkstückspindel (7) als C-Achse ausgebildet ist, die kontinuierliche oder kontrollierte Rotation erlaubt und daß das Werkstückmagazin aus einer Magazinscheibe (14) besteht, die mittels Antriebswelle (16) in Schritten drehbar gelagert ist und auf einem außenliegenden Teilkreis über Werkstückaufnahmen (15) verfügt, die nacheinander in die Entnahmeposition (20) gedreht werden können, in deren Nähe sich auch das Interferometer (19) befindet. 50
55

7. Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens nach Anspruch 1 bis 4 dadurch **gekennzeichnet**, daß als Polierwerkzeug ein Formwerkzeug (30) benutzt wird, das aus einem Grundkörper (31) besteht, der mit Polierfolien (32) beklebt ist, die auf Grund ihrer Form und Anordnung gemeinsam mit der ungleichförmigen Oszillation auch Korrekturen an der Linsengeometrie ermöglichen und ein Aufnahmepapfen (33) zur Befestigung an der Werkzeugspindel (4) der Poliermaschine dient.

8. Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens nach Anspruch 1 bis 4 dadurch **gekennzeichnet**, daß als Polierwerkzeug ein Mehrfach-Formwerkzeug (34) benutzt wird, das aus einem Grundkörper (35) besteht, der mit einer Kunststoffscheibe (36) belegt ist, deren Dicke es gestattet, nacheinander mehrere Krümmungsradien anzuarbeiten und daß die Kunststoffscheibe mit oder ohne eingelagerte Füllstoffe, wie z. B. Glaspartikel und Poliermittel ausgeführt wird und ein Aufnahmepapfen (33) zur Befestigung an der Werkzeugspindel (4) der Poliermaschine dient.

9. Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens nach Anspruch 1 bis 4 dadurch **gekennzeichnet**, daß ein Becherwerkzeug (37) benutzt wird, das aus einem Grundkörper (38) besteht, an dessen offenem Ende ein Polierring (39) befestigt ist, der aus Kunststoff oder Preßmassen besteht, wahlweise auch mit eingelagertem Poliermittel und ein Aufnahmepapfen (33) zur Befestigung an der Werkzeugspindel (4) dient.

10. Vorrichtung zur Durchführung des erfindungs-
gemäßen Verfahrens nach Anspruch 1 bis 4
dadurch **gekennzeichnet**, daß ein Polierstift (40)
benutzt wird, der aus einem Grundkörper (41)
besteht, an dessen einem Ende ein Polierkörper 5
(42) befestigt ist, der z. B. aus Filz bestehen kann
und ein Aufnahmezapfen (33) zur Befestigung an
der Werkzeugspindel (4) der Poliermaschine dient.
11. Vorrichtung zur Durchführung des erfindungs- 10
gemäßen Verfahrens nach Anspruch 1 bis 4
dadurch **gekennzeichnet**, daß ein aufblasbares
Polierwerkzeug (43) benutzt wird, das aus einem
Grundkörper (44) besteht, der über eine zentrale
Bohrung (45) verfügt und mit einer aufblasbaren 15
Gummimembran (46) bespannt ist, die entweder
auf der gesamten Fläche oder nur in ihrem Zentrum
mit Polierfolien (47) verschiedener Form belegt ist
und daß der Aufnahmezapfen (33), der ebenfalls 20
über eine zentrale Bohrung (48) verfügt, zur Auf-
nahme des Werkzeugs an der Werkzeugspindel (4)
der Poliermaschine dient.

25

30

35

40

45

50

55

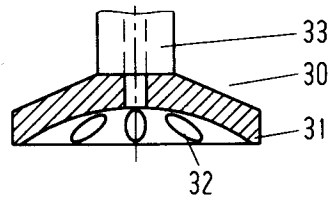


Abb 1

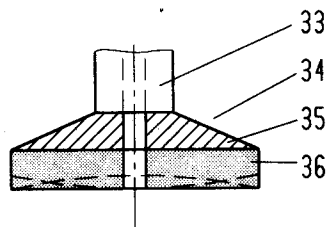


Abb 2

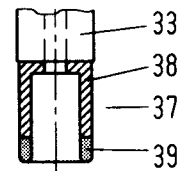


Abb 3

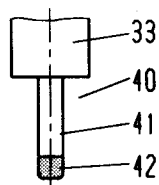


Abb 4

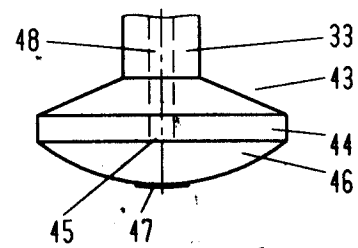


Abb 5

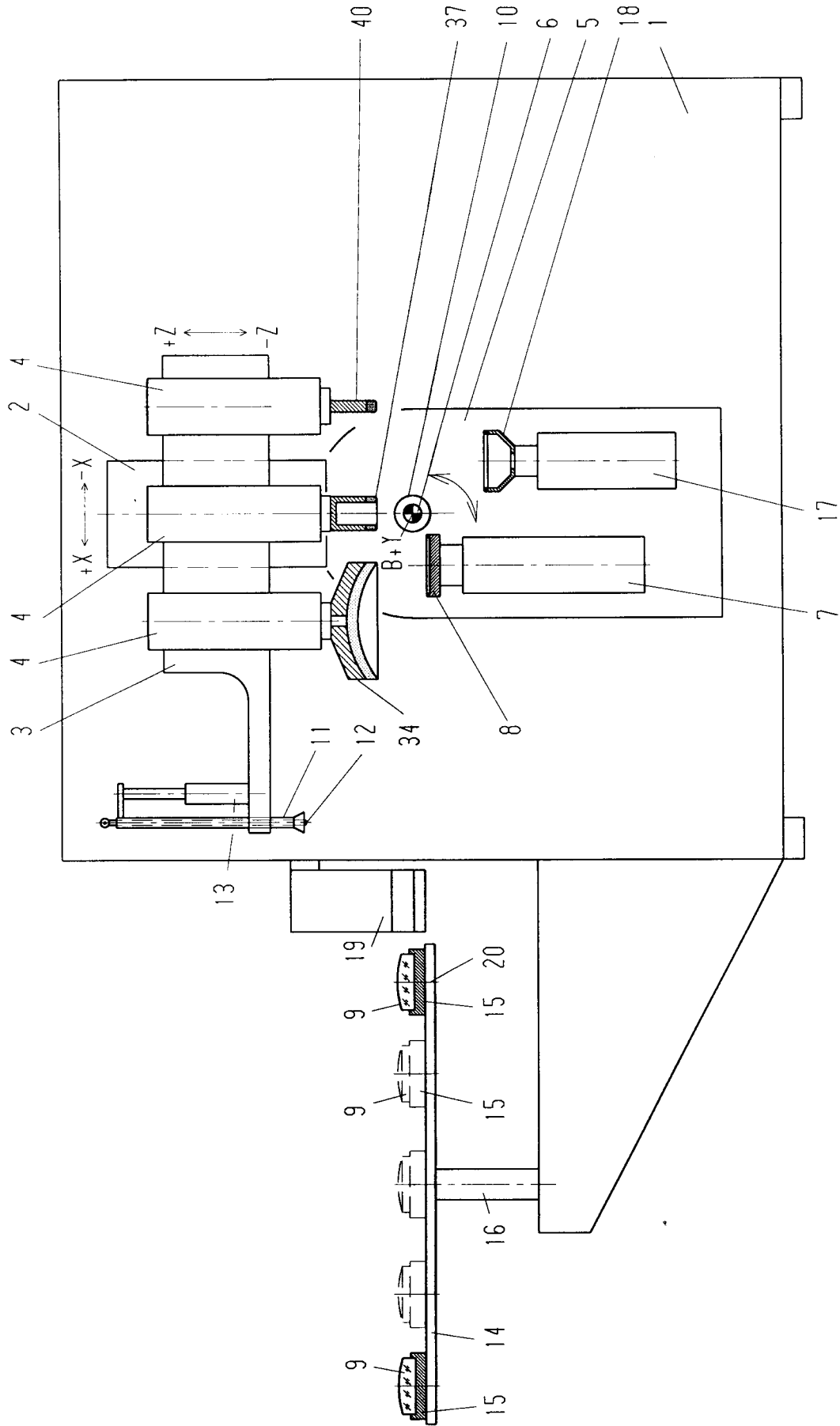


Abb 6

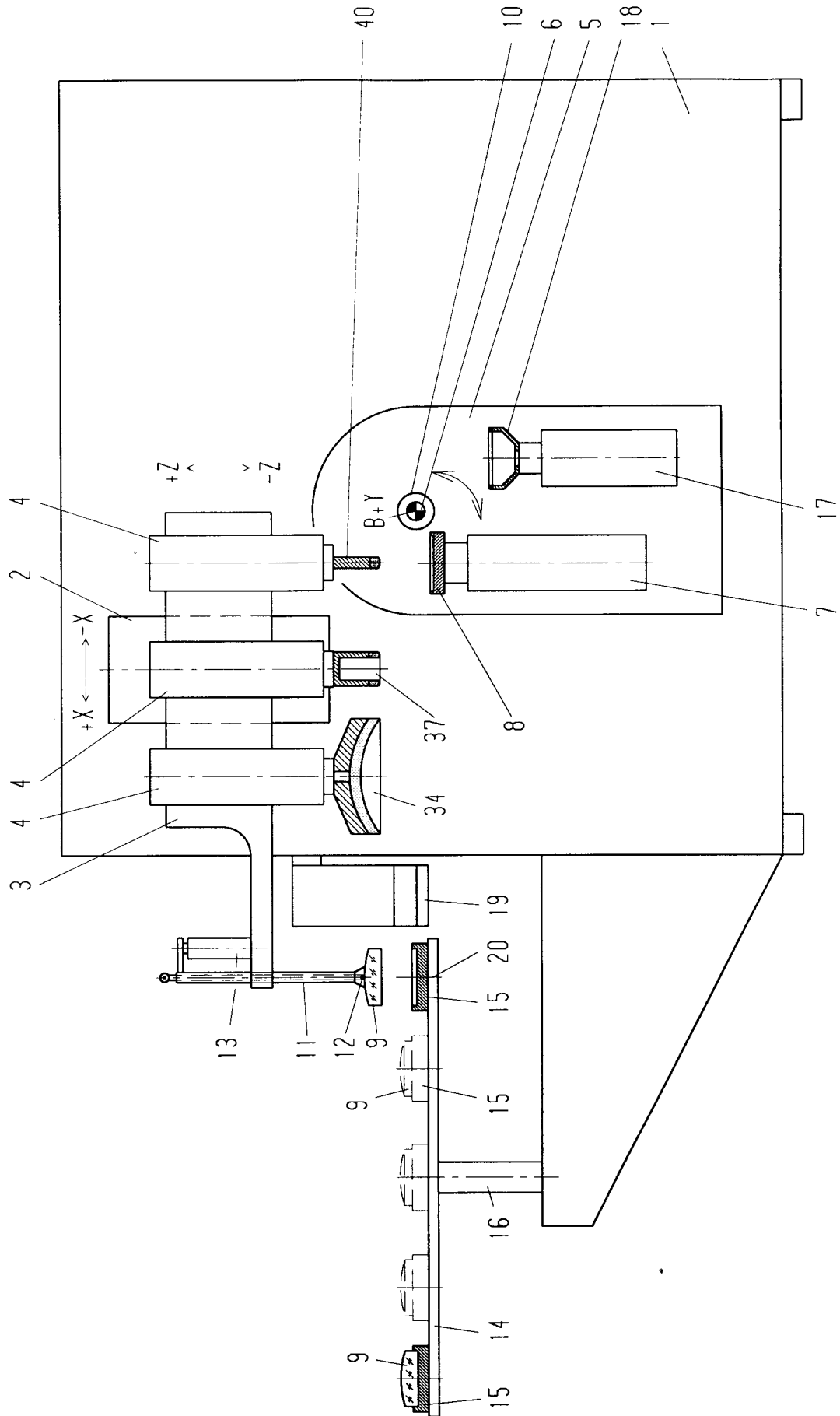
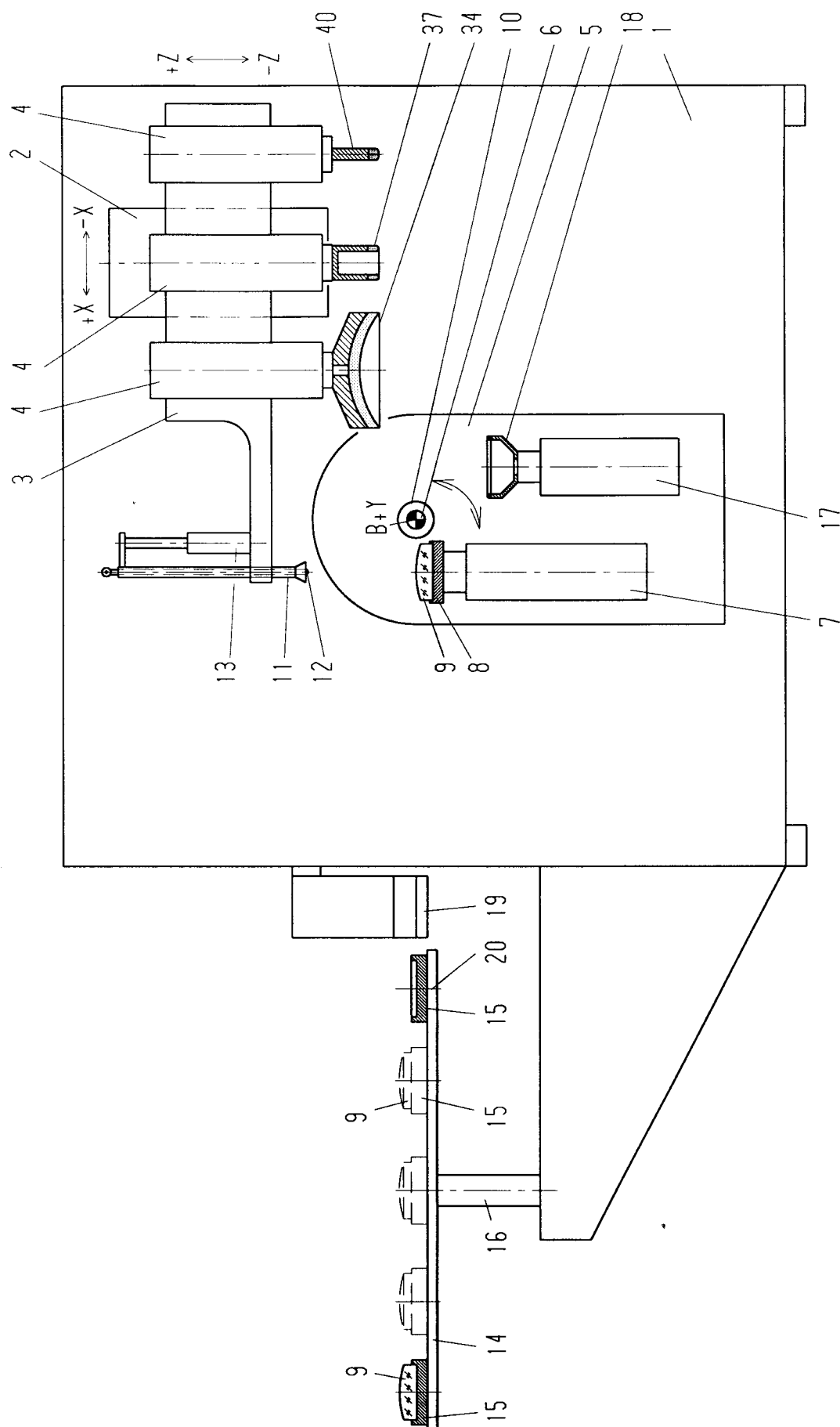


Abb 7



8
A.b
A.b

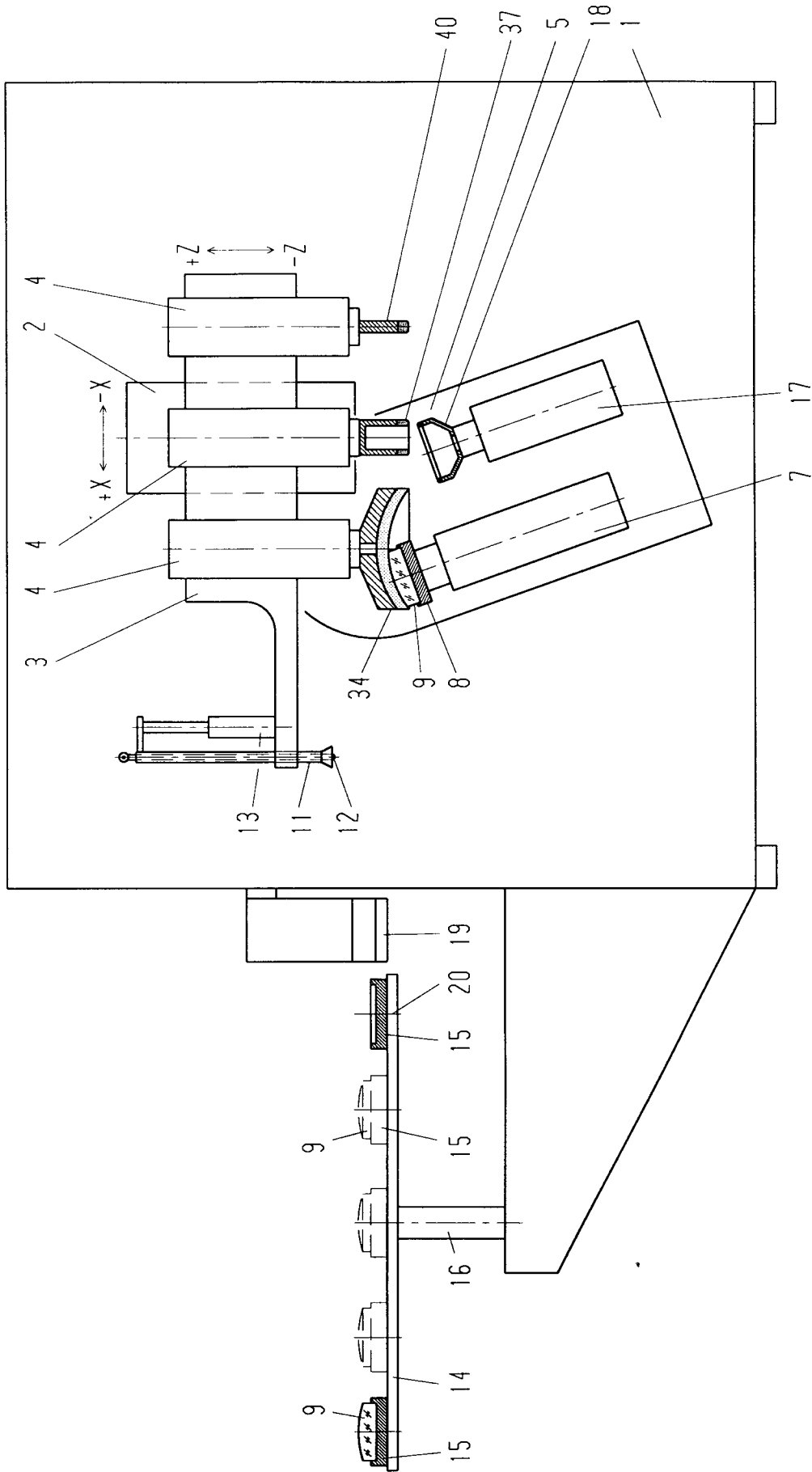


Abb 9

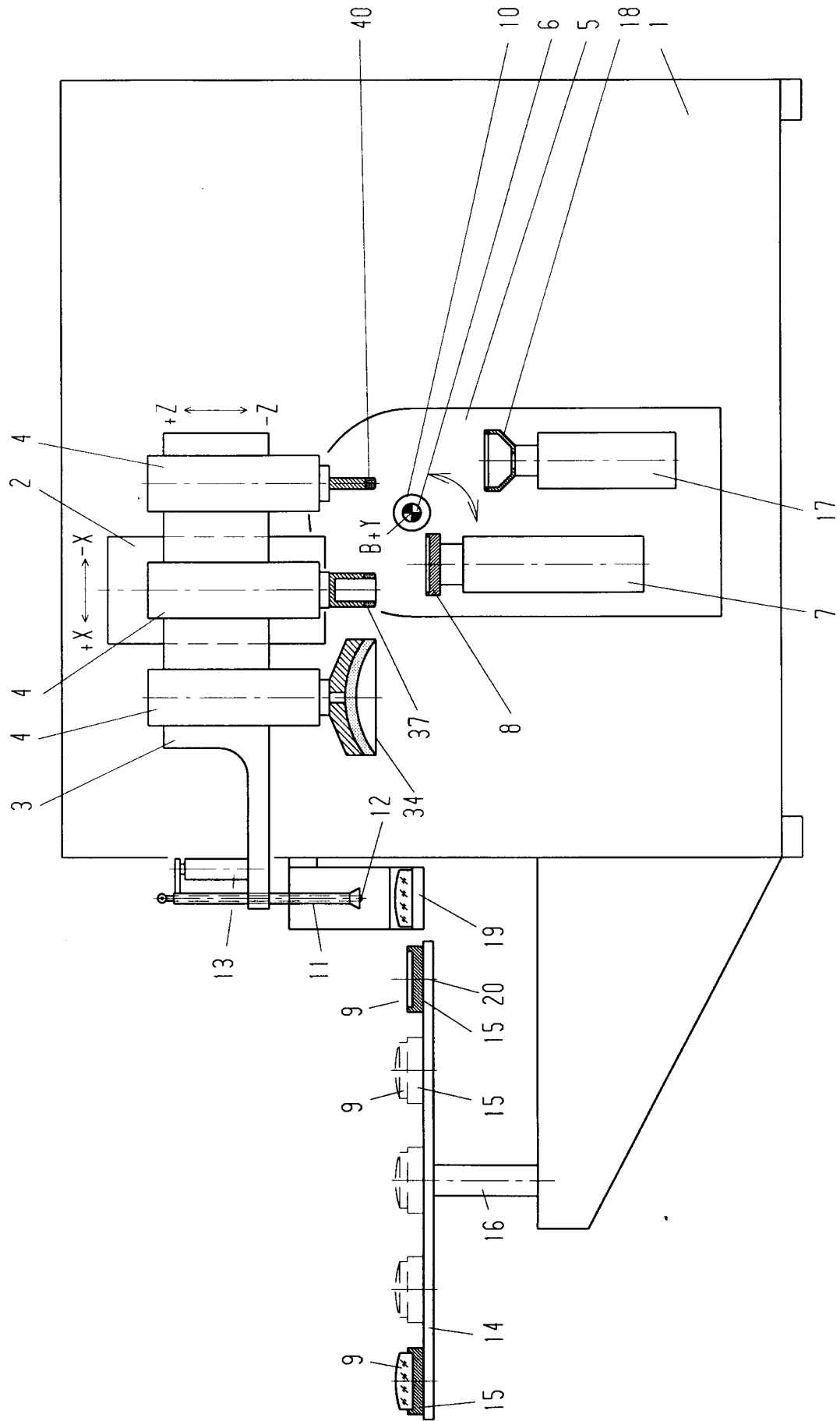


Abb 10

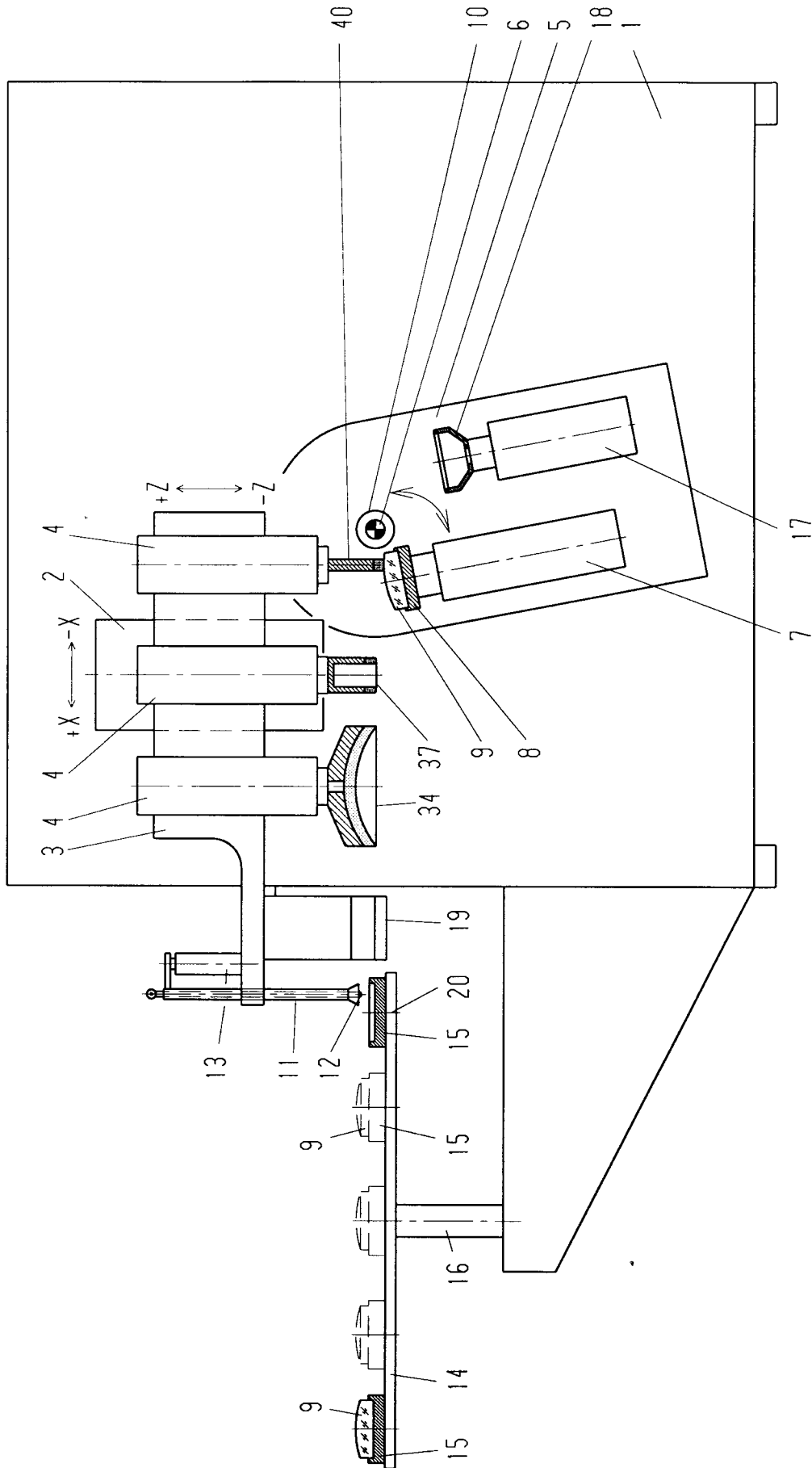


Abb 11

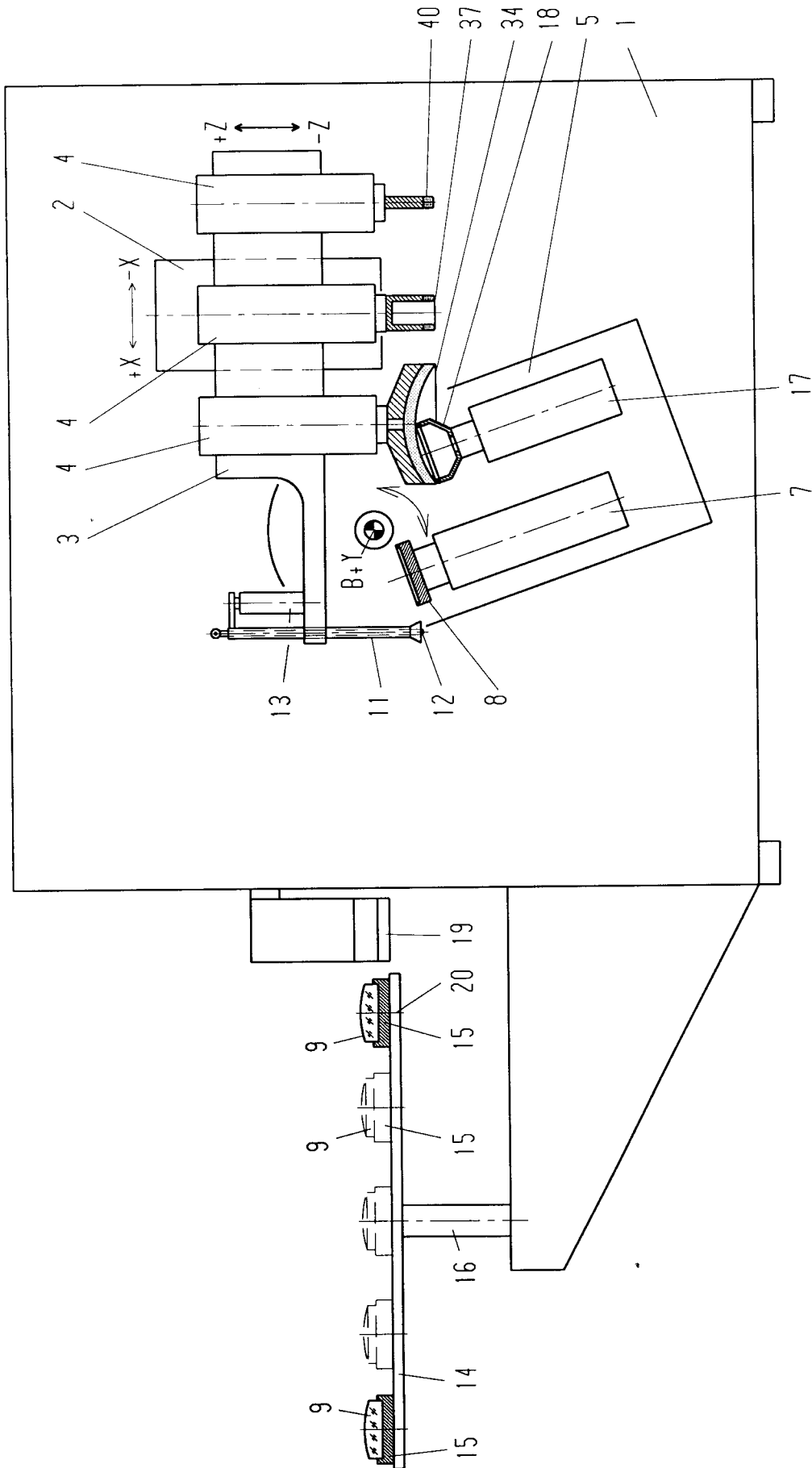


Abb 12



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 98 10 3129

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 416 (M-1304), 2.September 1992 & JP 04 141359 A (TOPCON CORP), 14.Mai 1992, * Zusammenfassung * ---	1,5	B24B13/00 B24B13/06
A	EP 0 727 280 A (OPTO TECH GMBH) 21.August 1996 * das ganze Dokument * ---	1,5	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 520 (M-1482), 20.September 1993 & JP 05 138521 A (OLYMPUS OPTICAL CO LTD), 1.Juni 1993, * Zusammenfassung * ---	1,5	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 074 (M-1366), 15.Februar 1993 & JP 04 275865 A (TOPCON CORP), 1.Oktober 1992, * Zusammenfassung * -----	1,5	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 26.Juni 1998	Prüfer Garella, M
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 98 10 3129

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

26-06-1998

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0727280 A	21-08-1996	DE 29520993 U	07-11-1996
		DE 59500684 D	23-10-1997

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82