

(19)



(11)

EP 4 509 263 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
19.02.2025 Patentblatt 2025/08

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B24B 13/00^(2006.01) B24B 13/005^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23191981.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B24B 13/0037; B24B 13/005

(22) Anmeldetag: **17.08.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Roland Mandler GmbH & Co. KG**
35452 Heuchelheim (DE)

(72) Erfinder: **Mandler, Roland**
35452 Heuchelheim (DE)

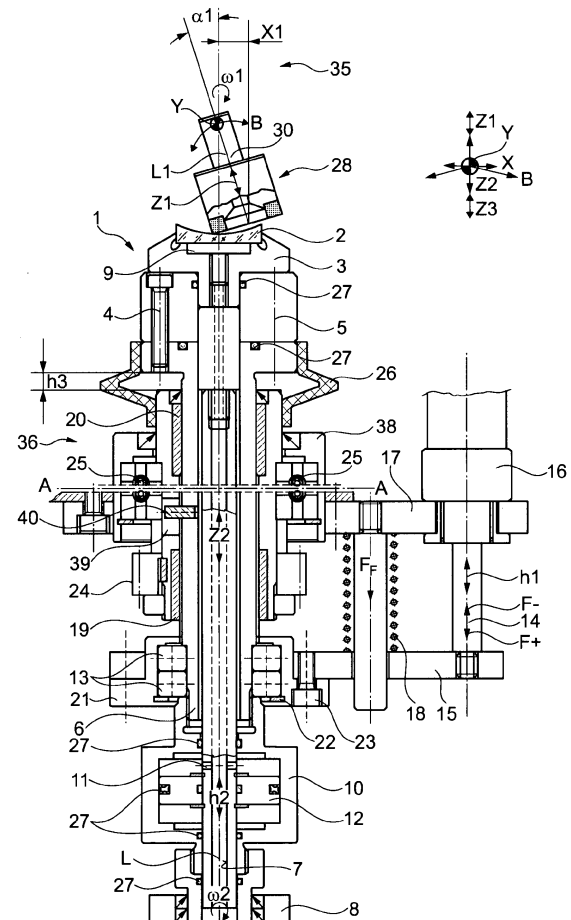
(74) Vertreter: **Knefel, Cordula**
Wertherstrasse 16
35578 Wetzlar (DE)

(54) **VERFAHREN ZUR BEARBEITUNG EINER OBERFLÄCHE EINER OPTISCHEN LINSE ODER EINES OPTISCHEN SPIEGELS SOWIE VORRICHTUNG ZUR BEARBEITUNG EINER OBERFLÄCHE EINER OPTISCHEN LINSE ODER EINES OPTISCHEN SPIEGELS**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bearbeitung einer Oberfläche einer optischen Linse oder eines optischen Spiegels, mit den folgenden Arbeitsgängen:

- Vorschleifen
- Feinschleifen
- Feinstschleifen,

bei dem die drei Arbeitsgänge auf einer einzigen Vorrichtung mit einer einzigen Aufspannung des Werkstückes durchgeführt werden, bei dem die Arbeitsgänge des Vorschleifens und des Feinschleifens mit einer in Richtung einer Längsachse einer Werkstückwelle festen Werkstücklagerung durchgeführt werden, und bei dem der Arbeitsgang des Feinstschleifens mit einer in Richtung der Längsachse der Werkstückwelle federnden Werkstücklagerung durchgeführt wird.

**Fig. 1****EP 4 509 263 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bearbeitung einer Oberfläche einer optischen Linse oder eines optischen Spiegels sowie eine Vorrichtung zur Bearbeitung einer Oberfläche einer optischen Linse oder eines optischen Spiegels.

[0002] Zum Stand der Technik (EP 0 685 298 B2) gehören ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen asphärischer Linsenoberflächen. Grundsätzlich erfolgt die Herstellung optischer Linsen mit sphärischen Oberflächen, indem bei Glasrohlingen im Flatschleifverfahren und im anschließenden Polierprozess die Oberfläche ausgebildet wird. Sphärische Linsen werden auch aus meist schon vorgeformten Glaspresslingen mit einer Diamant-Topfscheibe durch Kugelschleifen hergestellt. Der Vorschub erfolgt entweder mit einer Werkzeugspindel oder mit einer Werkstückspindel, zu der die Diamant-Topfscheibe unter einem definierten Winkel steht. Der Kugelradius an der Linse wird durch diesen Einstellwinkel bestimmt, so dass innerhalb gewisser Grenzen verschiedene Kugelformen mit ein und demselben Werkzeug herstellbar sind.

[0003] Aus der Praxis ist bekannt, das Vor- und Feinschleifen von optischen Linsen in einem Zweistufenprozess auf einer 3-achsigen CNC-gesteuerten Schleifmaschine durchzuführen. Bei dieser Schleifmaschine sind üblicherweise zwei Topfschleifwerkzeuge im Einsatz. Wenn in einem dritten Arbeitsgang das sogenannte Feinstschleifen oder auch als Kugelhohnen bezeichnete Verfahren eingesetzt wird, erfolgt das nach dem Stand der Technik auf einer nachfolgenden Maschine, die mit einer speziellen kardanischen Ausgleichstechnik ausgestattet ist. Anschließend erfolgt das Polieren.

[0004] Beim Feinstschleifen werden, wie aus der Praxis bekannt, sehr feinkörnige Diamant-Formwerkzeuge typischerweise in den Korngrößen von 7 µm bis 15 µm (Mikrometer) verwendet. Als Suspension kann eine wasserbasierte Emulsion verwendet werden. Beim Polieren werden spezielle Polierwerkzeuge, die entweder aus einem für die Politur geeigneten Kunststoff bestehen, zum Beispiel Novotex oder Pertinax, oder auch Metallwerkzeuge, die mit einer zum Polieren geeigneten Polierfolie beklebt werden, eingesetzt. Die Polierfolie kann, wie aus der Praxis bekannt, zum Beispiel eine geschäumte PU-Folie mit einer Dicke von 0,5 bis 1,3 mm sein, abhängig von der Größe der Werkzeuge. Als Poliersuspension wird, wie aus der Praxis bekannt, üblicherweise ein in Wasser gelöstes Poliermittel aus seltenen Erden eingesetzt. Es können zum Beispiel Opaline oder auch Cerox (Cerium-Oxyde) eingesetzt werden. Die Korngröße des Poliermittels liegt typischerweise im Bereich von 0,5 µm bis 2,5 µm. Es können aber auch andere Poliermittel verwendet werden, zum Beispiel Aluminiumoxid (Al_2O_3), oder auch Ferumoxide (Eisenoxide).

[0005] Der Polierprozess hat sowohl eine mechanische Abtragsfunktion als auch chemische und thermische Wirkweisen. Im Gegensatz dazu sind alle vorgelagerten Prozesse, wie das Vorschleifen, Feinschleifen und Feinstschleifen (Kugelhohnen) rein mechanische Abtragsverfahren. Die Abtrags Eigenschaften dieser drei Abtragsverfahren mit Diamantwerkzeugen weisen üblicherweise folgende Abtragsleistung auf:

- Beim Vorschleifen mit Diamantwerkzeugen im Bereich von 80 µm bis 200 µm Diamantpartikelgröße liegen die Abtragswerte im 3 mm bis 5 mm Bereich.
- Beim Feinschleifen mit Diamantwerkzeugen im Bereich von 10 µm bis 20 µm Diamantpartikelgröße liegen die Abtragswerte im 0,2 mm bis 0,3 mm-Bereich.
- Beim Feinstschleifen oder Kugelhohnen mit Diamantwerkzeugen im Bereich von Diamantpartikelgrößen von 7 µm bis 15 µm liegen typische Abtragsleistungen im Bereich von 0,01 mm bis 0,1 mm.

[0006] Die Maschinen, die zum Vor- und Feinschleifen eingesetzt werden, wie zum Beispiel gemäß der EP 0 685 298 B2, sind als CNC-gesteuerte Maschinen ausgebildet, die in der Regel drei Achsen aufweisen (X-Z und B). Der Schleifprozess erfolgt, wie in der EP 0 685 298 B2 beschrieben, mit einem sogenannten Topfschleifwerkzeug.

[0007] Aus der Praxis ist bekannt, Topfschleifwerkzeuge mit einem kugelförmig ausgebildeten Ringschneide-Segmentwerkzeug (tangential Schneidlippe) auszubilden. Es gibt auch Topfschleifwerkzeuge mit einer radienförmigen Schneidlippe. Die Topfschleifwerkzeuge mit radienförmigen Schneidlippen werden für den Arbeitsgang des Vorschleifens eingesetzt. Die Topfschleifwerkzeuge mit den kugelförmig ausgebildeten Ringschneide-Segmenten werden für die Arbeitsgänge des Feinschleifens und des Feinstschleifens eingesetzt.

[0008] Bei den CNC-Maschinen werden in der Praxis teilweise auch schon Maschinen mit vier Achsen (X-Z-Y und B) eingesetzt. Die zusätzliche Y-Achse wird zum Einstellen der optimalen Mittelposition der Schneidlippe eingesetzt. In der Regel erfolgen hier Verstellungen von maximal 0,1 mm bis 0,2 mm. Hierdurch wird versucht, den sogenannten "asphärischen Fehler" zu reduzieren. Der "asphärische Fehler" entsteht, wenn die mittlere Schneidlinie der Schleifwerkzeuge nicht 100%ig genau durch den Drehmittelpunkt des Werkstückes geht.

[0009] Für das Feinstschleifen und auch für das Polieren werden in der Praxis 3-achsige CNC-Maschinen eingesetzt (X-Z-B-Achsen). Da die Linse während des Prozesses perfekt an dem kugelförmigen Werkzeug anliegen muss, wird als Werkzeugaufnahme vorteilhaft ein Futter eingesetzt, das einen räumlich-kardanischen Ausgleich durchführen kann.

[0010] Die werkzeugkinematischen Verhältnisse sind beim Vor- und Feinschleifen deutlich anders als beim Feinst-

schleifen oder Kugelhohnen. Beim Vor- und Feinschleifen dreht sich das Werkzeug typischerweise deutlich schneller als das Werkstück. Die Werkzeugdrehzahlen liegen in Abhängigkeit vom Werkzeugdurchmesser bei 10.000 bis 100.000 Umdrehungen pro Minute, die Werkzeugdrehzahlen liegen typischerweise bei 100 bis 500 Umdrehungen pro Minute. Dieser Prozess wird in der Fachsprache als Flachsleifen bezeichnet. Optimale Schnittgeschwindigkeiten liegen im Bereich von 20 bis 30 Meter pro Sekunde (m/s).

[0011] Beim Vor- und Feinschleifen wird das Werkstück immer mit der Werkstückspindel fest verbunden.

[0012] Beim Feinstschleifen oder auch Kugelhohnen ist dagegen immer ein kardanischer Ausgleich notwendig, da das Werkstück durch das Aus- und Einspannen von einer Maschine zur anderen nicht genau genug reproduzierbar gewechselt werden kann. Man benötigt hier Spannwiederholungsgenauigkeiten im Bereich von kleiner als 1 µm. Dies ist bis heute technisch jedoch nicht möglich.

[0013] Eine Dreistufenbearbeitung ist zu teuer wegen kleiner Stückzahlen und weil eine zusätzliche Maschine benötigt wird. Aus diesem Grunde wird in der Praxis in der Kleinserienfertigung ausschließlich ein zweistufiger Schleifprozess durchgeführt.

[0014] Der zweistufige Schleifprozess erfolgt mit Topfschleifwerkzeugen, die für den Arbeitsgang des Vorschleifens eine radienförmige Schneidlippe aufweisen, und die für den Arbeitsgang des Feinschleifens und des Feinstschleifens ein kugelförmig ausgebildetes Ringschneide-Segment aufweisen.

[0015] Das Topfschleifwerkzeug wird durch die drei Hauptachsen der Schleifmaschine über CNC-Steuerungen so eingestellt, dass durch die Positionierung die entsprechende Sphäre erzeugt werden kann.

[0016] Ein großer Nachteil dieser aus der Praxis bekannten sehr harten Zweistufenbearbeitung ist darin zu sehen, dass eine relativ große Tiefenschädigung vorhanden ist (8 µm bis 12 µm), aber auch darin, dass keine perfekte Sphäre entsteht. Bedingt zum einen durch das Abnutzungsverhalten des Werkzeuges, aber auch zum anderen durch die Ungenauigkeit der Positionierung der mittleren Schleiflinie des Werkzeuges im Mittelpunkt des Werkstückes.

[0017] Diese beiden Schwachstellen führen zu deutlich längeren Polierzeiten, beispielsweise um den Faktor 2 bis 3, als auch zu einem ständigen Verschleiß des Polierwerkzeuges, besonders in der Mitte der Linse. Üblicherweise entsteht ein Buckel auf der polierten Linse, da sich der asphärische Fehler des Werkstückes nach dem Feinschleifen auf das Polierwerkzeug überträgt. Das Polierwerkzeug überträgt den Fehler wieder auf das nächste Werkstück. Es sind hochqualifizierte Fachkräfte nötig, die mit Veränderungen der Polierkinematik versuchen, den Fehler zu minimieren.

[0018] Das der Erfindung zugrunde liegende technische Problem besteht darin, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Bearbeitung einer Oberfläche einer optischen Linse oder eines optischen Spiegels anzugeben, mit denen es möglich ist, die Oberfläche der optischen Linse oder des optischen Spiegels hochgenau zu bearbeiten und welche darüber hinaus preiswert sind.

[0019] Dieses technische Problem wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen gemäß Anspruch 1 sowie durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen gemäß Anspruch 11 gelöst.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bearbeitung einer Oberfläche einer optischen Linse oder eines optischen Spiegels mit folgenden Arbeitsgängen:

- Vorschleifen,
- Feinschleifen,
- Feinstschleifen,

bei dem in einem Werkstückträger als Werkstück die optische Linse oder der optische Spiegel angeordnet wird, und bei dem der Werkstückträger an einer Werkstückwelle angeordnet ist, zeichnet sich dadurch aus, dass die drei Arbeitsgänge auf einer einzigen Vorrichtung mit einer einzigen Aufspannung des Werkstückes durchgeführt werden, dass die Arbeitsgänge des Vorschleifens und des Feinschleifens mit einer in Richtung einer Längsachse der Werkstückwelle festen Werkstücklagerung durchgeführt werden und dass der Arbeitsgang des Feinstschleifens mit einer in Richtung der Längsachse der Werkstückwelle federnden Werkstücklagerung durchgeführt wird.

[0021] Im Folgenden ist mit der optischen Linse oder dem optischen Spiegel das Werkstück gemeint.

[0022] Die Vorrichtung kann vorteilhaft als Werkzeugmaschine ausgebildet sein.

[0023] Das Feinstschleifen wird auch Kugelhohnen oder Hybrid-Schleifen genannt.

[0024] Das erfindungsgemäße Verfahren weist einen dreistufigen Schleifprozess auf, bei dem zwei Arbeitsgänge, nämlich das Vor- und Feinschleifen derart ausgeführt werden, dass die Werkstückwelle mit einer in Richtung einer Längsachse der Werkstückwelle festen Werkstücklagerung durchgeführt werden. Für den Arbeitsgang des Feinstschleifens oder Kugelhohnen kann die Werkstückwelle in Richtung der Längsachse der Werkstückwelle federnd gelagert werden. Dadurch, dass die Werkstückwelle zum einen eine feste Werkstücklagerung und zum anderen umschaltbar eine federnde Werkstücklagerung ermöglicht, ist es gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren möglich, die drei Arbeitsgänge Vorschleifen, Feinschleifen und Feinstschleifen auf einer einzigen Vorrichtung durchzuführen. Darüber hinaus ist es nicht erforderlich, das Werkstück für den dritten Arbeitsvorgang, nämlich das Feinstschleifen, erneut aufzuspannen, das heißt in einem Werkstückträger anzuordnen. Aus diesem Grund ist mit einer einzigen Vorrichtung eine Dreistufen-

verarbeitung möglich, so dass die Nachteile des Standes der Technik mit der Zweistufenverarbeitung vermieden werden können.

[0025] Die bei der Zweistufenbearbeitung auftretenden Probleme sind beim dreistufigen Diamant-Schleifprozess nicht vorhanden, da das kardanische Feinstschleifen oder auch Kugelhohnen den Mittelfehler durch die eingesetzte Schwenkinematik in der Feinstschleifmaschine nicht entstehen lässt. Ebenfalls wird bei diesem Arbeitsgang die Tiefenschädigung deutlich reduziert ($3\text{ }\mu\text{m}$ bis $5\text{ }\mu\text{m}$ maximal), da der Prozess sehr weich abläuft. Ein kardanischer Ausgleich kann zusätzlich durch ein Membranfutter unterstützt werden. Hierdurch kann der Prozess deutlich schwingungsärmer durchgeführt werden. Es handelt sich um ein schwingungsgedämpftes Schleifen.

[0026] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Arbeitsgang des Vorschleifens mit einem Topfschleifwerkzeug mit einer radienförmigen Schneidlippe durchgeführt wird, und dass die Arbeitsgänge des Feinschleifens und des Feinstschleifens nacheinander mit einem Topfschleifwerkzeug mit einem kugelförmig ausgebildeten Ringschneide-Segment durchgeführt werden, und dass zwischen den Arbeitsgängen des Feinschleifens und des Feinstschleifens von der in Richtung der Längsachse der Werkstückwelle festen Werkstücklagerung auf die in Richtung der Längsachse der Werkstückwelle federnde Werkstücklagerung umgeschaltet wird.

[0027] Bei dem dritten Arbeitsgang, nämlich dem Feinstschleifen, verändert sich die starre Vor- und Feinschleifvorrichtung in eine kardanisch gelagerte Feinstschleif- oder auch Kugelhohnvorrichtung. Gleichzeitig wird der Flachsleifprozess des ersten und zweiten Arbeitsganges im dritten Arbeitsgang in einen synchronisierten Feinstschleif- oder auch Kugelhohnprozess umgeschaltet.

[0028] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die Arbeitsgänge des Vorschleifens und des Feinschleifens mit Werkzeugspindeln, die in einem Drehzahlbereich von 10.000 bis 100.000 Umdrehungen pro Minute angetrieben werden, und einer Werkstückwelle, die in einem Drehzahlbereich von 100 bis 500 Umdrehungen pro Minute angetrieben wird, durchgeführt werden. Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass der Arbeitsgang des Feinstschleifens mit einer Werkzeugspindel, die in einem Drehzahlbereich von 1.000 bis 3.000 Umdrehungen pro Minute angetrieben wird, und einer Werkstückwelle, die in einem Drehzahlbereich von 1.000 bis 3.000 Umdrehungen pro Minute angetrieben wird, durchgeführt wird.

[0029] Die Drehzahl der Topfschleifwerkzeuge beim Feinstschleifen liegt besonders vorteilhaft im Bereich von 2.000 bis 3.000 Umdrehungen pro Minute und die Drehzahl des Werkstückes liegt vorteilhaft ebenfalls im gleichen Drehzahlbereich. Die Werkzeugspindel und die Werkstückwelle, arbeiten in einem Synchronmodus, abhängig von dem Werkstückradius und Öffnungswinkel der Linse oder des Spiegels. Durch diese Kinematik, die sich von dem Vorschleifen und Feinschleifen unterscheidet, wird eine wesentlich feinere Oberfläche mit deutlich reduzierter Tiefenschädigung erzeugt, obwohl die Formgrößen der beiden Werkzeuge identisch sein können. Die Tiefenschädigung ist beispielsweise um den Faktor 2 bis 3 besser als beim Flachsleifen.

[0030] Ein $10\text{ }\mu\text{m}$ bis $12\text{ }\mu\text{m}$ Diamantwerkzeug erzeugt beim Flachsleifen eine Tiefenschädigung von $8\text{ }\mu\text{m}$ bis $12\text{ }\mu\text{m}$, jedoch beim Kugelhohnen oder Feinstschleifen im kardanischen oder federnden Synchronmodus nur noch eine Tiefenschädigung von $2\text{ }\mu\text{m}$ bis $4\text{ }\mu\text{m}$.

[0031] Wie schon ausgeführt, beinhaltet das erfindungsgemäße Verfahren einen dreistufigen Schleifprozess. Der Arbeitsgang des Vorschleifens und der Arbeitsgang des Feinschleifens wird mit schnell laufenden Werkzeugspindeln mit einem Drehzahlbereich von vorteilhaft 10.000 bis 100.000 Umdrehungen pro Minute durchgeführt. Die Drehzahl des Werkstückes liegt vorteilhaft bei 100 bis 500 Umdrehungen pro Minute. Hierbei handelt es sich um das sogenannte Flachsleifverfahren. Nach dem Arbeitsgang des Vorschleifens und dem Arbeitsgang des Feinschleifens schließt sich der Arbeitsgang des Feinstschleifens an, der auf derselben Vorrichtung als dritter Arbeitsgang durchgeführt wird. Hierbei wird das Topfschleifwerkzeug des zweiten Arbeitsganges, nämlich des Feinschleifens, mit vorteilhaft einer Diamantpartikelgröße von $10\text{ }\mu\text{m}$ bis $12\text{ }\mu\text{m}$ durchgeführt. Jedoch wird bei dem dritten Arbeitsgang des Feinstschleifens die Werkstückwelle in Richtung der Längsachse der Werkstückwelle federnd gelagert. Hierdurch wird ein kardanischer Ausgleich durch die zusätzliche Achse in der Werkstückwelle erzeugt. Im dritten Arbeitsgang verändert sich die starre Vor- und Feinschleifmaschine in eine kardanisch gelagerte Feinstschleif- oder auch Kugelhohnmaschine. Gleichzeitig wird der Flachsleifprozess im dritten Arbeitsgang in einen synchronisierten Feinstschleif- oder auch Kugelhohnprozess umgeschaltet. Bei diesem Prozess werden die Werkzeugspindel und die Werkstückwelle in einen sogenannten Synchronmodus geschaltet, bei dem die Drehzahl des Werkzeuges und des Werkstückes jeweils im Bereich von vorteilhaft 1.000 bis 3.000 Umdrehungen pro Minute, vorzugsweise 2.000 bis 3.000 Umdrehungen pro Minute, in relativ zueinander synchronisierter Drehrichtung eingestellt wird.

[0032] Da die drei Arbeitsgänge ohne Wechsel des Werkstückes in der Vorrichtung erfolgt, ist die Positionierung der Werkstücke relativ zum Werkzeug so genau, dass der kardanische Ausgleich mit einer linearen Achse ausreicht.

[0033] Während des dritten Arbeitsganges schaltet die Vorrichtung vom starren Schleifmodus in einen um den Mittelpunkt der optischen Linse schwenkenden Feinstschleif- oder Kugelhohnmodus um. Dieser Prozess erzeugt eine sphärisch deutlich genauere Form sowie eine deutlich reduzierte Tiefenschädigung der Oberfläche. Besonders für diesen dritten Arbeitsgang ist es notwendig, dass ein quasi kugelförmiges Segmentwerkzeug verwendet wird. Aus diesem Grund

ist das kugelförmig ausgebildete Ringschneide-Segment für den Arbeitsgang des Feinstschleifens vorgesehen.

[0034] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass der Arbeitsgang des Feinstschleifens in einem Synchronmodus mit relativ zueinander synchronisierter Drehrichtung des Werkstückes und des Topfschleifwerkzeuges durchgeführt wird. Bei gleichzeitig federnder Lagerung des Werkstückträgers in Richtung der Längsachse der Werkzeugspindel erhält man einen Feinstschleifprozess, der nur eine sehr geringe Tiefenschädigung aufweist.

[0035] Die beiden Topfschleifwerkzeuge unterscheiden sich in der Schneideform. Das für den Arbeitsgang des Vorschleifens verwendete Topfschleifwerkzeug weist vorteilhaft eine radienförmige Schneidlippe auf. Es handelt sich vorteilhaft um ein linsenradiusunabhängiges Universalwerkzeug.

[0036] Für die Arbeitsgänge des Feinschleifens und des Feinstschleifens werden vorteilhaft kugelförmig ausgebildete Ringschneide-Segment-Werkzeuge verwendet. Dieses Werkzeug weist eine tangential Schneidlippe auf. Dieses Werkzeug ist ein dem Linsenradius zugeordnetes Segment-Werkzeug.

[0037] Jedes Topfschleifwerkzeug, das längere Zeit für eine spezifische Linse im Einsatz ist, entwickelt sich durch Verschleiß zu einem Tangentialwerkzeug. Dies kann bereits nach 50 bis 100 Linsen der Fall sein.

[0038] Für eine optimale Umsetzung des dritten Arbeitsganges des Feinstschleifens ist es wichtig, dass von Beginn an mit einem dem Linsenradius zugeordneten Topfschleifwerkzeug gearbeitet wird. Dieses Topfschleifwerkzeug kann vorteilhaft eine metallische, keramische und/oder kunststoffbasierte Diamantwerkzeugsegmentschneide aufweisen.

[0039] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass nach dem ersten Arbeitsgang des Vorschleifens, der mit dem ersten Topfschleifwerkzeug durchgeführt wird, das zweite Topfschleifwerkzeug verwendet wird, und dass nach dem Arbeitsgang des Feinschleifens die Drehzahl der Werkstückwelle und die Drehzahl der Werkzeugspindel verringert werden, und dass von der in Richtung der Längsachse der Werkstückwelle festen Lagerung in eine in Richtung der Längsachse der Werkstückwelle federnde Lagerung des Werkstückes umgeschaltet wird.

[0040] Der erste Arbeitsgang des Vorschleifens wird mit dem ersten Topfschleifwerkzeug durchgeführt. Dieses Topfschleifwerkzeug weist vorteilhaft eine radienförmige Schneidlippe auf und ist ein vom Linsenradius unabhängiges Universalwerkzeug. Nach diesem Arbeitsgang wird das zweite Topfschleifwerkzeug für die Arbeitsgänge des Feinschleifens und des Feinstschleifens verwendet. Nach dem Arbeitsgang des Feinschleifens wird die Drehzahl der Werkzeugspindel und die Drehzahl der Werkstückwelle verringert und es wird von einer starren Lagerung auf eine federnde Lagerung des Werkstückes auf dem Werkstückträger umgeschaltet.

[0041] Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor,

- dass die optische Linse oder der optische Spiegel in dem Werkstückträger angeordnet wird, wobei der Werkstückträger für die optische Linse oder für den optischen Spiegel mit der Werkstückwelle kraftschlüssig verbunden ist,
- dass der erste Arbeitsgang des Vorschleifens mit dem ersten Topfschleifwerkzeug mit radienförmiger Schneidlippe und mit in Richtung der Längsachse der Werkstückwelle fester Werkstücklagerung durchgeführt wird,
- dass der Arbeitsgang des Feinschleifens mit dem zweiten Topfschleifwerkzeug mit kugelförmig ausgebildetem Ringschneide-Segment mit in Richtung der Längsachse der Werkstückwelle fester Werkstücklagerung durchgeführt wird,
- dass vor dem Arbeitsgang des Feinstschleifens die in Richtung der Längsachse der Werkstückwelle feste Werkstücklagerung in eine federnde Lagerung umgeschaltet wird, und dass die Drehzahl der Werkstückwelle und die Drehzahl der Werkzeugspindel reduziert werden,
- dass der Arbeitsgang des Feinstschleifens durchgeführt wird.

[0042] Durch dieses Verfahren wird ein dreistufiger Diamant-schleifprozess realisiert, bei dem das Werkstück in einer einzigen Aufspannung durch zwei Werkzeuge, das heißt durch zwei Topfschleifwerkzeuge, verarbeitet werden kann. Wesentlich ist, dass für den Arbeitsgang des Feinstschleifens die feste Werkstücklagerung in eine federnde Werkstücklagerung umgeschaltet wird.

[0043] Zusätzlich schaltet die Vorrichtung vom starren Schleifmodus in einen um den Mittelpunkt der optischen Linse oder des optischen Spiegels schwenkenden Feinstschleif- oder Kugelhohnmodus um. Dieser Prozess erzeugt eine sphärisch genauere Form sowie eine deutlich reduzierte Tiefenschädigung der Oberfläche.

[0044] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass bei dem Arbeitsgang des Feinstschleifens die Werkzeugspindel eine CNC-gesteuerte, 3-achsige Schwenkbewegung um einen Radiusmittelpunkt der zu bearbeitenden optischen Linse oder des zu bearbeitenden optischen Spiegels durchführt.

[0045] Hierdurch wird, wie schon ausgeführt, die sphärisch genaue Form der optischen Linse oder des optischen Spiegels hergestellt.

[0046] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass der Kraftschluss zwischen der optischen Linse und dem Werkstückträger oder zwischen dem optischen Spiegel und dem Werkstückträger durch eine Spannzange und/oder eine Vakuumbefestigung und/oder eine Klebefestigung erzeugt

wird. Für die Arbeitsgänge des Vorschleifens, Feinschleifens und Feinstschleifens ist es erforderlich, dass das Werkstück in ein- und derselben Position an dem Werkstückträger angeordnet ist. Dies lässt sich durch eine Spannzange und/oder eine Vakuumbefestigung und/oder eine Klebefestigung einfach preiswert und zuverlässig realisieren. Grundsätzlich ist es möglich, auch andere Befestigungsarten vorzusehen.

[0047] Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass die Arbeitsgänge des Feinschleifens und des Feinstschleifens mit Segmentwerkzeugen durchgeführt werden, die eine Diamantkorngröße aufweisen. Es hat sich herausgestellt, dass durch die Anordnung des Werkstückes an dem Werkstückträger für beide Arbeitsgänge und die Umschaltung von der festen Werkstücklagerung zur federnden Werkstücklagerung in Richtung der Längsachse der Werkzeugspindel es möglich ist, beide Arbeitsgänge mit ein- und derselben Diamantkorngröße durchzuführen.

[0048] Dadurch, dass beim dritten Arbeitsgang, dem Arbeitsgang des Feinstschleifens, die Drehzahl der Werkzeugspindel und der Werkstückwelle reduziert wird, reduziert sich die Schwingung der Vorrichtung im hochtourigen Betrieb oder entfällt. Hierdurch kann mit einem Topfschleifwerkzeug (Segmentwerkzeug), welches eine einzige Diamantkorngröße aufweist, eine Oberfläche mit zwei verschiedenen Rauigkeiten erzeugt werden, so dass der Vorgang des Feinschleifens und der Vorgang des Feinstschleifens mit ein- und demselben Topfschleifwerkzeug durchgeführt werden können.

[0049] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bearbeitung einer optischen Linse oder eines optischen Spiegels mit einem Werkstückträger zur Lagerung der optischen Linse oder des optischen Spiegels, wobei der Werkstückträger an einer Werkstückwelle angeordnet ist, zeichnet sich dadurch aus,

- dass die Werkstückwelle in Bezug auf die Richtung ihrer Längsachse fixierbar ist oder dass die Werkstückwelle in Richtung ihrer Längsachse federnd gelagert ist,
- dass wenigstens zwei Werkzeugspindeln vorgesehen sind,
- dass an jeder Werkzeugspindel jeweils ein Topfschleifwerkzeug zur Bearbeitung der Oberfläche der optischen Linse oder des optischen Spiegels angeordnet ist.

[0050] Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist den Vorteil auf, dass die Vorrichtung in zwei Arbeitsmodi verwendet werden kann: zum einen kann die Werkstückwelle in Richtung ihrer Längsachse fixiert werden, so dass eine "starre" Werkstückwelle für die Arbeitsgänge des Vorschleifens und des Feinschleifens verwendet wird. Zum anderen kann die Werkstückwelle in Richtung ihrer Längsachse federnd gelagert sein. Dieser Arbeitsmodus wird für den Arbeitsgang des Feinstschleifens verwendet.

[0051] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist zwischen beiden Arbeitsmodi umschaltbar.

[0052] Darüber hinaus sind zwei Werkzeugspindeln vorgesehen, die jeweils ein Werkzeug zur Bearbeitung der optischen Linse oder des optischen Spiegels tragen.

[0053] Das erste Topfschleifwerkzeug weist vorteilhaft eine radienförmige Schneidlippe auf. Es handelt sich hierbei um ein vom Linsenradius unabhängiges Universalwerkzeug. Dieses Werkzeug wird für den Arbeitsgang des Vorschleifens verwendet.

[0054] Das zweite Topfschleifwerkzeug ist vorteilhaft ein kugelförmig ausgebildetes Ringschneide-Segment-Werkzeug. Dieses Werkzeug weist eine tangentielle Schneidlippe auf. Dieses Topfschleifwerkzeug ist ein dem Linsenradius der zu bearbeitenden optischen Linse oder des zu bearbeitenden optischen Spiegels zugeordnetes Segment-Werkzeug. Dieses Topfschleifwerkzeug wird für die Arbeitsgänge des Feinschleifens und des Feinstschleifens verwendet.

[0055] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass eine Umschaltvorrichtung für die in Bezug auf die Längsachse der Werkstückwelle feste Lagerung oder für die in Bezug auf die Längsachse der Werkstückwelle federnde Lagerung der Werkstückwelle vorgesehen ist.

[0056] Dies ist der besondere Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Aufgrund der Umschaltbarkeit zwischen der festen und der federnden Lagerung ist es möglich, drei Arbeitsgänge, nämlich das Vorschleifen, das Feinschleifen und das Feinstschleifen, auf ein- und derselben Vorrichtung durchzuführen.

[0057] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Umschaltvorrichtung als pneumatische Umschaltvorrichtung ausgebildet ist. Eine pneumatische Umschaltvorrichtung weist den Vorteil auf, dass diese keine Verschmutzung verursacht wie eventuell eine ölbetriebene Umschaltvorrichtung. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, eine hydraulische oder eine elektromagnetische Umschaltvorrichtung vorzusehen. Die pneumatische Umschaltvorrichtung ist jedoch besonders vorteilhaft, da sie nur mit Druckluft betrieben wird.

[0058] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Topfschleifwerkzeuge mittels einer Spannzange oder eines Hydrodehnspannfutters an der Werkzeugspindel anordbar sind.

[0059] Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, andere Befestigungsmöglichkeiten vorzusehen. Die genannten Befestigungsmöglichkeiten sind jedoch zuverlässig und preisgünstig.

[0060] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass entweder zwei Topfschleifwerkzeuge oder ein Topfschleifwerkzeug und ein Polierwerkzeug an den Werkzeugspindeln angeordnet ist.

[0061] Grundsätzlich kann die Vorrichtung für die drei Arbeitsgänge des Vorschleifens, des Feinschleifens und des Feinstschleifens verwendet werden, wie schon ausführlich beschrieben wurde.

[0062] Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, ein Topfschleifwerkzeug für den Vorgang des Feinstschleifens anzuordnen und ein Polierwerkzeug an der zweiten Werkzeugspindel für einen Poliervorgang. Das bedeutet, dass die

erfindungsgemäße Vorrichtung auch als Vorrichtung zum Feinstschleifen und Polieren verwendet werden kann.
[0063] Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass die Vorrichtung eine zusätzliche Achse für die Vorschubbewegung der Werkzeugspindeln aufweist. Hierdurch ist es möglich, die Vorschubbewegung der Werkzeugspindeln einzustellen, um den gewünschten Materialabtrag am Werkstück durchzuführen. Gleichzeitig ermöglicht diese Achse, dass das Topfschleifwerkzeug, welches für das Feinstschleifen verwendet wird, in eine perfekte tangential Position für diesen Arbeitsgang gebracht wird.

[0064] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Vorrichtung als 4- oder 5-achsige CNC-Schleifmaschine ausgebildet ist. Mit dieser CNC-Maschine ist es möglich, das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen. Hierdurch ist es möglich, die drei Arbeitsgänge des Vorschleifens, des Feinschleifens und des Feinstschleifens auf ein- und derselben Vorrichtung durchzuführen, wodurch die kostspielige Anschaffung einer zweiten Vorrichtung entfällt.

[0065] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die zwei Werkzeugspindeln als frequenzgeregelte Werkzeugspindeln ausgebildet sind. Hierdurch ist es möglich, die Drehzahl der Werkzeugspindeln und der Werkstückwellen je nach den Erfordernissen des entsprechenden Arbeitsganges einzustellen.

[0066] Die Merkmale der erfindungsgemäßen Vorrichtung gelten auch für das erfindungsgemäße Verfahren und umgekehrt.

[0067] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich anhand der zugehörigen Zeichnungen, in denen ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung sowie verschiedene Topfschleifwerkzeuge dargestellt sind, ohne die Erfindung auf diese Ausführungsbeispiele zu beschränken. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung im Längsschnitt;

Fig. 2 ein Topfwerkzeug mit tangentialer Schleiflippe im Längsschnitt;

Fig. 3 ein Topfwerkzeug mit Radienschneidlippe im Längsschnitt;

Fig. 4 eine Darstellung eines Topfschleifwerkzeuges im Längsschnitt zur Darstellung des Schwenkwinkels;

Fig. 5 eine Darstellung eines Topfschleifwerkzeuges zur Darstellung des Schwenkwinkels.

[0068] Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung 1 zur Bearbeitung einer Oberfläche einer optischen Linse 2. Die Linse 2 ist in einem Werkstückträger 3 gelagert. Der Werkstückträger 3 ist mittels einer Schraube 4 an einem Basisteil 5 lösbar fest angeordnet. Der Werkzeugträger 3 ist mit einer Werkstückwelle 6 verbunden. Die Werkstückwelle 6 dreht sich um ihre Längsachse L mit einer Drehgeschwindigkeit ω_2 . Sie wird angetrieben über einen Mitnehmerstift 40 einer Werkzeugspindel 39.

[0069] Die Längsachse L ist in Z-Richtung ausgerichtet. Die Spindel 6 ist hohl ausgebildet, das heißt in der Spindel 6 ist eine durchgehende Bohrung 7 für Druckluft angeordnet. Zum Einführen der Druckluft ist eine Rotationsdurchführung 8 vorgesehen. Die Druckluft wird durch die Bohrung 7 bis zum Werkstückträger 3 geführt. Der Werkstückträger 3 ist als Spannzange ausgebildet. Die Spannzange ist nicht näher dargestellt. Der Werkstückträger 3 kann auch als Vakuumbefestigung ausgebildet sein. Die Linse 2 kann auch mittels einer Klebefestigung an dem Werkstückträger 3 angeordnet sein. Ist der Werkstückträger 3 in Form einer Vakuumbefestigung ausgebildet, wird in der Bohrung 7 ein Unterdruck erzeugt, der sich in ein Membranfutter 9 fortsetzt.

[0070] Ist der Werkstückträger 3 als Spannzange ausgebildet, wird über einen Zylinder 10 ein Hub h_2 erzeugt. Durch den Hub h_2 wird die Spannzange geschlossen oder geöffnet. Beispielsweise wird bei Einleiten von Druckluft über eine Bohrung 11 die Druckluft in den Zylinder 10 eingeleitet. Hierdurch wird ein Kolben 12 nach unten gedrückt, wodurch die Spannzange geschlossen wird. Wird die Beaufschlagung mit Druckluft beendet, fährt der Kolben 12 wieder nach oben und die Spannzange gibt die Linse 2 frei.

[0071] Die Spindel 6 ist mittels Kugellager 13 gelagert, so dass sie eine Rotation um die Längsachse 11 mit einer Drehgeschwindigkeit ω_2 ausführen kann.

[0072] Die Werkstückwelle 6 kann in zwei Arbeitsmodi betrieben werden. Beim ersten Arbeitsmodus ist die Werkstückwelle in Richtung der Längsachse L fest oder starr angeordnet. Das bedeutet, dass in Z-Richtung kein Ausweichen der Spindel während der Bearbeitung der optischen Linse erfolgt. Hierzu ist ein pneumatischer Kolben 14 ausgefahren, so dass er gegen eine Halteplatte 15 mit einer Kraft F_1 drückt. Die pneumatische Vorrichtung 16 zur Betätigung des Kolbens 14 ist an einem Gehäuseteil 17 der Vorrichtung 1 befestigt. Die Halteplatte 15 und das Gehäuseteil 17 sind in diesem

Arbeitsmodus mit einem äquidistanten, nicht variablen Abstand zueinander angeordnet. Das bedeutet, dass die Werkstückwelle 6 in diesem Arbeitsmodus in Richtung der Längsachse L der Werkstückwelle 6 fest gelagert ist. Dennoch kann sich die Spindel um die Längsachse L drehen. Die feste Lagerung bezieht sich nur auf die Ausweichbarkeit in Richtung der Längsachse L der Werkstückwelle 6.

[0073] Im zweiten Arbeitsmodus wird eine Kraft F+ auf eine Kraft F- umgeschaltet, das heißt, die Kraft F- steht in einem Schwebezustand mit der Federkraft FF einer Feder 18. In diesem Arbeitsmodus wirkt zwischen der Halteplatte 15 und dem Gehäuseteil 17 die Feder 18. Die Feder 18 ist als Druckfeder ausgebildet. Die Feder 18 drückt die Halteplatte 15 von dem Gehäuseteil 17 mit der Federkraft FF nach unten. Die in entgegengesetzter Richtung wirkende Kraft F- zieht in der Gegenrichtung. Dadurch entsteht die Schwebekraft

$$F_- - (\text{Federkraft FF der Feder 18}) = \Delta\text{-Kraft}.$$

[0074] Diese Δ -Kraft ist so austariert, dass die Werkstückwelle 6 in einer Werkstückspindel 39 (gewichtsentlastet und reibungsentlastet) in Gegenrichtung zur Federkraft FF bewegt wird um den Hub H3. Das ist dann die Arbeitskraft zum Feinstschleifen beziehungsweise Kugelhohnen. In Gegenrichtung zur Federkraft FF wird ΔF , das heißt die Δ -Kraft positiv.

[0075] In diesem Arbeitsmodus ist die Werkstückwelle 6 federnd gelagert. Die federnde Lagerung wird durch die Δ -Kraft bewirkt. Die Werkstückwelle 6 kann nunmehr die Bearbeitung der optischen Linse 2, das heißt, wenn die Δ -Kraft in Z-Richtung auf die optische Linse 2 ausgeübt wird, durchführen. Die Werkstückspindel 6 ist in diesem Arbeitsmodus federnd gelagert.

[0076] Der Kolben 14 weist einen Hub h1 auf.

[0077] Damit die Werkstückwelle 6 sich in Richtung ihrer Längsachse bewegen kann, sind Führungen 10, 20 in Form von Gleitbuchsen vorgesehen. Die Werkstückwelle 6 ist, wie schon ausgeführt, mittels Kugellagern 25 drehbar gelagert. Die Kugellager 25 sind in einer Spindelhülse 38 angeordnet.

[0078] Über eine Riemenscheibe 24 wird über einen nicht dargestellten Zahnriemen die Werkstückspindel 39 angetrieben.

[0079] In der Ebene A-A ist die Vorrichtung 1 geteilt dargestellt. Die Werkstückwelle 6 ist deutlich länger ausgebildet, als in Fig. 1 dargestellt.

[0080] Ein Kugellager 25 ist ebenfalls in der Ebene A-A geteilt dargestellt. Um die Vorrichtung 1 vor Eintritt von Schmutzpartikeln zu schützen, ist ein Gummibalg 26 vorgesehen, der einen Hub h3 erlaubt. Die Vorrichtung weist eine Vielzahl von O-Ringen 27 zur Abdichtung auf.

[0081] Für die Bearbeitung der Linse 2 ist in Fig. 1 ein erstes Topfschleifwerkzeug 28 dargestellt. Dieses Topfschleifwerkzeug wird in Fig. 2 näher beschrieben. Ein zweites Topfschleifwerkzeug 29 wird später noch in Fig. 3 beschrieben.

[0082] Das Topfschleifwerkzeug 28 ist auf einer schematisch dargestellten Werkzeugspindel 30 angeordnet. Die Werkzeugspindel 30 dreht sich um ihre Längsachse L1 mit einer Drehgeschwindigkeit $\omega 1$.

[0083] Mit der Vorrichtung gemäß Fig. 1 kann eine Bearbeitung einer optischen Linse 2 oder eines optischen Spiegels (nicht dargestellt) mit den folgenden drei Arbeitsgängen durchgeführt werden:

- Vorschleifen
- Feinschleifen
- Feinstschleifen (auch Kugelhohnen oder Hybrid-Schleifen genannt).

[0084] Fig. 2 zeigt das Topfschleifwerkzeug 28. Das Topfschleifwerkzeug 28 ist ein dem Linsenradius zugeordnetes Segmentwerkzeug. Das Topfschleifwerkzeug 28 weist ein kugelförmig ausgebildetes Ringschneide-Segment 31 auf. Das Ringschneide-Segment 31 weist eine tangentiale Schneidlippe 32 auf. Dieses Topfschleifwerkzeug 28 wird für die Arbeitsgänge des Feinschleifens und des Feinstschleifens verwendet.

[0085] Das Topfschleifwerkzeug 28 weist einen Innendurchmesser Di, einen mittleren Durchmesser DM und einen Außendurchmesser DA auf. Da das Topfschleifwerkzeug 28 ein kugelförmig ausgebildetes Ringschneide-Segment-Werkzeug ist, weist es einen Radius R auf.

[0086] Fig. 3 zeigt das Topfschleifwerkzeug 29, welches an einer Werkzeugspindel 30 angeordnet ist. Das Topfschleifwerkzeug 29 weist eine radienförmige Schneidlippe 33 auf. Die radienförmige Schneidlippe 33 weist einen Radius r auf. Auch dieses Topfschleifwerkzeug weist wiederum einen Innendurchmesser Di, einen mittleren Durchmesser DM sowie einen Außendurchmesser DA auf. Bei diesem Topfschleifwerkzeug handelt es sich um ein vom Linsenradius der zu bearbeitenden Linse 2 unabhängiges Universalwerkzeug. Dieses Topfschleifwerkzeug wird sich jedoch, wenn es längere Zeit für eine spezifische Linse im Einsatz ist, durch seinen Verschleiß zu einem Tangentialwerkzeug nach Fig. 2 entwickeln. Dies kann bereits nach 50 bis 100 Linsen geschehen. Das Topfschleifwerkzeug 29 wird für den Arbeitsgang des Vorschleifens verwendet.

[0087] Die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nunmehr anhand der Fig. 1, 2 und 3 erläutert.

[0088] Mit der Vorrichtung 1 soll ein Schleifprozess durchgeführt werden, und zwar mit den drei Arbeitsgängen des Vorschleifens, des Feinschleifens und des Feinstschleifens (auch Kugelhohnen oder Hybrid-Schleifen genannt). Hierzu weist die Vorrichtung 1 im oberen Teil in einer schwenkbaren B-Achse zwei frequenzgeregelte Werkzeugspindeln 30, 34 auf. An diesen Werkzeugspindeln 30, 34 sind Topfschleifwerkzeuge, das heißt jeweils ein Topfschleifwerkzeug 28, 29, angeordnet. Das Topfschleifwerkzeug 29 ist für den Vorschleifprozess (erster Arbeitsgang) vorgesehen. Das zweite Topfschleifwerkzeug 28 ist für den zweiten Arbeitsgang des Feinschleifens und für den dritten Arbeitsgang des Feinstschleifens vorgesehen. Die Befestigung der Topfschleifwerkzeuge 28, 29 an den Werkzeugspindeln 30, 34 kann über eine Spannzange oder ein Hydrodehnspannfutter (nicht dargestellt) erfolgen. Dieses Oberteil 35 der Vorrichtung 1 ist an einem x-y-Schlitten (nicht dargestellt) angeordnet, der es ermöglicht, über den x-Schlitten die seitliche Verstellung in x-Richtung nach dem Berechnungsprinzip

$$x = D_W \cdot \cos \alpha$$

$$\alpha = \arcsin \frac{D_W}{R_L \cdot 2}$$

mit

D_W = Durchmesser Werkzeug

R_L = Radius Linse

α = Schwenkwinkel

durchzuführen. Die zusätzliche Y-Achse ist ausschließlich dafür vorgesehen, um Fluchtungsfehler zwischen der Werkstückspindel 38 und den Werkzeugspindeln 30, 34 zu eliminieren. Hierdurch wird der asphärische Fehler reduziert.

[0089] Zusätzlich ist im oberen Teil 35 der Vorrichtung 1 eine weitere Z1-Achse angeordnet, die die Vorschubbewegung der Werkzeugspindeln 30, 34 mit den Topfschleifwerkzeugen 28, 29 durchführt, um den gewünschten Materialabtrag an der Linse 2 durchzuführen. Gleichzeitig ermöglicht diese Achse, dass das Topfschleifwerkzeug 28 in eine perfekte tangential Position für den dritten Arbeitsgang des Feinstschleifens gebracht wird.

[0090] Im unteren Teil 36 der erfindungsgemäßen Vorrichtung, die vorteilhaft als CNC-Schleifmaschine ausgebildet ist, ist eine Werkstückspindel 39 angeordnet, die eine weitere Zustellbewegung in Z-Richtung ermöglicht. Zusätzlich zu dieser Z2-Achse ist axial in der Mitte der Werkstückspindel 38 eine Z3-Achse angeordnet (Werkstückwelle 6), die über eine pneumatische Verstellung mit der pneumatischen Vorrichtung 16 mit dem Kolben 14 die Werkstückspindel 38 in einen federnden Modus für den dritten Arbeitsgang, das sogenannte Feinstschleifen oder Kugelhohnen, umschaltet. In diesem dritten Arbeitsgang ist die Werkstückwelle 6 in einen kardanischen Modus geschaltet.

[0091] Der gesamte Fertigungsablauf erfolgt folgendermaßen:

Die Linse 2 wird als Rohling an dem Werkstückträger 3 angeordnet. Gemäß Fig. 1 ist der Werkstückträger 3 als Spannzange ausgebildet. Über Druckluft wird der Kolben 12 und damit die Spannzange betätigt, so dass die Linse 2 mittels der Spannzange gehalten wird.

[0092] Es besteht auch die Möglichkeit, die Bohrung 7 der Werkstückwelle 6 nicht mit Druckluft zu beaufschlagen, sondern in der Bohrung 7 einen Unterdruck zu erzeugen. Hierdurch wird die Linse 2 an einem Membranfutter 9 angesaugt und ebenfalls gehalten. Eine weitere, nicht dargestellte Möglichkeit besteht darin, die Linse 2 an dem Werkstückträger 3 mittels einer Klebefestigung anzuordnen.

[0093] Anschließend wird die Vorrichtung 1 über ihre 4-achsige Positionierung zu der Arbeitsposition des ersten Arbeitsganges, nämlich des Vorschleifens, gefahren. Hierbei wird mittels des Topfschleifwerkzeuges 29, welches in Fig. 3 dargestellt wird, die Linse bearbeitet. Nach Beendigung dieses Arbeitsganges fährt die Vorrichtung 1, vorteilhaft eine CNC-gesteuerte Vorrichtung, über ihre 4-achsige Positionierung zu der Arbeitsposition des zweiten Arbeitsganges, nämlich des Feinschleifens. Hierzu wird das Topfschleifwerkzeug 28 verwendet. Nach Beendigung dieses zweiten Arbeitsganges bewegt sich die Vorrichtung 1 mittels ihrer 4-achsigen Positionierung auf die dritte Arbeitsposition, um mit dem Topfschleifwerkzeug 28, welches in Fig. 2 dargestellt ist, den dritten Arbeitsgang, nämlich den Arbeitsgang des Feinstschleifens, durchzuführen. Der erste Arbeitsgang und der zweite Arbeitsgang erfolgen mit ausgefahrenem Kolben 14, so dass zwischen der Halteplatte 15 und dem Gehäuseteil 17 ein äquidistanter Abstand gehalten wird. Dieser feste Abstand bewirkt eine starre oder feste Lagerung der Werkstückwelle 6.

[0094] Für den dritten Arbeitsgang wird über den Kolben 14, der als pneumatischer Zylinder ausgebildet ist, an der Werkstückwelle 6 die innenliegende Z-Achse der Werkstückwelle 6 auf einen kardanischen Zustand mit dem Hub h gebracht. Gleichzeitig werden das Topfschleifwerkzeug 28 und die Werkstückwelle 6 in den schwingungsarmen, langsam

laufenden Synchronmodus geschaltet. Durch den pneumatischen Druck der Z-Achse Z3 wird die Linse 2 gegen das Topfschleifwerkzeug 28 gedrückt und durch zeitliche Steuerung wird eine Bearbeitung durchgeführt. Während dieser Arbeitszeit führt die Werkzeugspindel 30 mit dem Topfschleifwerkzeug 28 eine CNC-gesteuerte 3-achsige Schwenkbewegung um den Radiusmittelpunkt der zu bearbeitenden Linse 2 durch.

[0095] Für den ersten Arbeitsgang des Vorschleifens und den zweiten Arbeitsgang des Feinschleifens weisen die Drehzahlen der Topfschleifwerkzeuge 28, 29 von 10.000 bis 100.000 Umdrehungen pro Minute auf. Die Werkzeugdrehzahl liegt typischerweise bei 100 bis 500 Umdrehungen pro Minute.

[0096] Für den Synchronmodus weisen die Topfschleifwerkzeuge 28, 29 und das Werkstück, nämlich die Linse 2, Drehzahlen im Bereich von 1.000 bis 3.000 Umdrehungen pro Minute auf.

[0097] Durch das Umschalten für den dritten Arbeitsgang in den Synchronmodus mit reduzierten Drehzahlen verringern sich die Schwingungen, so dass mit ein- und demselben Topfschleifwerkzeug 28 der zweite Arbeitsgang des Feinschleifens und der dritte Arbeitsgang des Feinstschleifens durchgeführt werden können.

[0098] In den Fig. 4 und 5 ist jeweils das Topfschleifwerkzeug 28 dargestellt. In den Fig. 4 und 5 wird der Schwenkbereich $\Delta\alpha$ dargestellt. Der Schwenkbereich $\Delta\alpha$ ist abhängig von der Werkzeugsegmentbreite des Topfschleifwerkzeuges 28. Ein Teil des Topfschleifwerkzeuges 28 sollte immer über eine Mitte der Linse 2 überstehen. Das bedeutet, dass das Topfschleifwerkzeug 28 mit einer äußeren Kante 37, wie in Fig. 4 dargestellt, nicht weiter nach rechts über die Mittellinie M der Linse 2 schwenken soll. In Fig. 4 ist der Schwenkwinkel von $\sin \alpha_1$ in der Außenstellung dargestellt. In Fig. 5 ist der Schwenkwinkel $\sin \alpha_2$ in der Innenstellung dargestellt. Die Fig. 4 und 5 beziehen sich nur auf den federnd gelagerten Zustand der Werkstückwelle 6.

[0099] Der Schwenkwinkel wird folgendermaßen berechnet:

$$\sin \alpha = \frac{D_{MWZ}}{2 \cdot R_L}$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{D_{WZ1}}{2 \cdot R_L}$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{D_{WZ2}}{2 \cdot R_L}$$

$$\sin \Delta\alpha = \sin \alpha_1 - \sin \alpha_2$$

[0100] Üblicherweise sollte der Schwenkbereich einen relativen Weg von 2 mm bis 4 mm betragen. Nach dem nur noch über Zeit und Druck durchgeführten dritten Arbeitsgang wird die Linse 2 aus der Vorrichtung 1 genommen und in einer nachfolgenden CNC-Poliermaschine fertig verarbeitet.

Bezugszahlen

[0101]

- 1 Vorrichtung
- 2 optische Linse
- 3 Werkstückträger
- 4 Schraube
- 5 Basisteil
- 6 Werkstückwelle
- 7 O-Ring
- 8 Rotationsdurchführung für Druckluft
- 9 Membranfutter
- 10 Zylinder
- 11 Bohrung
- 12 Kolben
- 13 Kugellager
- 14 Kolben

	15	Halteplatte
	16	pneumatische Vorrichtung
	17	Gehäuseteil
	18	Feder
5	19	Führungen
	20	Führungen
	21	Lagergehäuse
	22	Vorspanneinrichtung für Kugellager
	23	Schraube
10	24	Riemenscheibe
	25	Kugellager
	26	Gummibalg
	27	O-Ringe
	28	Topfschleifwerkzeug
15	29	Topfschleifwerkzeug
	30	Werkzeugspindel
	31	Ringschneide-Segment
	32	tangentiale Schneidlippe
	33	radienförmige Schneidlippe
20	34	Werkzeugspindel
	35	oberer Teil der Vorrichtung 1
	36	unterer Teil der Vorrichtung 1
	37	äußere Kante des Topfschleifwerkzeuges 28
	38	Spindelhülse
25	39	Werkstückspindel
	40	Mitnehmerstift
	F1	Kraft
	FF	Federkraft
30	F+	Kraft
	F-	Kraft
	L	Längsachse der Werkstückwelle 6
	$\omega 1$	Drehgeschwindigkeit
	$\omega 2$	Drehgeschwindigkeit
35	h1	Hub des Kolbens 14
	h2	Hub
	H3	Hub
	h	Hub der Werkstückwelle 6 bei kardanischer Lagerung
	L1	Längsachse der Werkzeugspindel 30
40	$\Delta\alpha$	Schwenkbereich des Topfschleifwerkzeuges 28
	M	Mittelachse der Linse
	Di	Innendurchmesser
	DM	Mittlerer Durchmesser
	DA	Außendurchmesser
45	R	Radius
	r	Radius

Patentansprüche

- 50 1. Verfahren zur Bearbeitung einer Oberfläche einer optischen Linse (2) oder eines optischen Spiegels, mit den folgenden Arbeitsgängen:
- Vorschleifen
 - Feinschleifen
 - 55 - Feinstschleifen,
- bei dem in einem Werkstückträger (3) als Werkstück eine optische Linse (2) oder ein optischer Spiegel angeordnet wird, und bei dem der Werkstückträger (3) an einer Werkstückwelle (6) angeordnet ist,
- dadurch gekennzeichnet, dass** die drei Arbeitsgänge auf einer einzigen Vorrichtung (1) mit einer einzigen

Aufspannung des Werkstückes durchgeführt werden, dass die Arbeitsgänge des Vorschleifens und des Feinschleifens mit einer in Richtung einer Längsachse (L) der Werkstückwelle (6) festen Werkstücklagerung durchgeführt werden, und dass der Arbeitsgang des Feinschleifens mit einer in Richtung der Längsachse (L) der Werkstückwelle (6) federnden Werkstücklagerung durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Arbeitsgang des Vorschleifens mit einem Topfschleifwerkzeug mit einer radienförmigen Schneidlippe (33) durchgeführt wird, und dass die Arbeitsgänge des Feinschleifens und des Feinschleifens nacheinander mit einem Topfschleifwerkzeug (28) mit einem kugelförmig ausgebildeten Ringschneide-Segment (31) durchgeführt werden, und dass zwischen den Arbeitsgängen des Feinschleifens und des Feinschleifens von der in Richtung der Längsachse (L) der Werkstückwelle (6) festen Werkstücklagerung auf die in Richtung der Längsachse (1) der Werkstückwelle (6) federnde Werkstücklagerung umgeschaltet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, ist **dadurch gekennzeichnet, dass** die Arbeitsgänge des Vorschleifens und des Feinschleifens mit Werkzeugspindeln (30, 34), die in einem Drehzahlbereich von 10.000 bis 100.000 Umdrehungen pro Minute angetrieben werden, und einer Werkstückwelle (6), die in einem Drehzahlbereich von 100 bis 500 Umdrehungen pro Minute angetrieben wird, durchgeführt werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Arbeitsgang des Feinschleifens mit einer Werkzeugspindel (30), die in einem Drehzahlbereich von 1.000 bis 3.000 Umdrehungen pro Minute angetrieben wird, und einer Werkstückwelle (6), die in einem Drehzahlbereich von 1.000 bis 3.000 Umdrehungen pro Minute angetrieben wird, durchgeführt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Arbeitsgang des Feinschleifens in einem Synchronmodus mit relativ zueinander synchronisierter Drehrichtung der optischen Linse (2) oder des optischen Spiegels und des Werkstückes und des Topfschleifwerkzeuges (28) durchgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem ersten Arbeitsgang des Vorschleifens, der mit dem ersten Topfschleifwerkzeug (29) durchgeführt wird, das zweite Topfschleifwerkzeug (28) verwendet wird, und dass nach dem Arbeitsgang des Feinschleifens die Drehzahl der Werkstückwelle (6) und die Drehzahl der Werkzeugspindel (30) verringert werden, und dass von der in Richtung der Längsachse (L) der Werkstückwelle (6) festen Lagerung in eine in Richtung der Längsachse (L) der Werkstückwelle (6) federnde Werkstücklagerung umgeschaltet wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**
 - **dass** die optische Linse (2) oder der optische Spiegel in dem Werkstückträger (3) angeordnet wird, wobei der Werkstückträger (3) für die optische Linse (2) oder für den optischen Spiegel mit der Werkstückwelle (6) kraftschlüssig verbunden ist,
 - **dass** der erste Arbeitsgang des Vorschleifens mit dem ersten Topfschleifwerkzeug (29) mit radienförmiger Schneidlippe (33) und mit in Richtung der Längsachse (L) der Werkstückwelle (6) fester Werkstücklagerung durchgeführt wird,
 - **dass** der Arbeitsgang des Feinschleifens mit dem zweiten Topfschleifwerkzeug (28) mit kugelförmig ausgebildetem Ringschneide-Segment (31) mit in Richtung der Längsachse (L) der Werkstückwelle (6) fester Werkstücklagerung durchgeführt wird,
 - **dass** vor dem Arbeitsgang des Feinschleifens die in Richtung der Längsachse der Werkstückwelle (6) feste Werkstücklagerung in eine federnde Lagerung umgeschaltet wird, und dass die Drehzahl der Werkstückwelle (6) und die Drehzahl der Werkzeugspindel (30) reduziert werden,
 - **dass** der Arbeitsgang des Feinschleifens durchgeführt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei dem Arbeitsgang des Feinschleifens die Werkzeugspindel (30) eine CNC-gesteuerte 3-achsige Schwenkbewegung um einen Radiusmittelpunkt der zu bearbeitenden optischen Linse (2) oder des zu bearbeitenden optischen Spiegels durchführt.
9. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kraftschluss zwischen der optischen Linse (2) und dem Werkstückträger (3) oder zwischen dem optischen Spiegel und dem Werkstückträger (3) durch eine Spannzan-ge und/oder eine Vakuumbefestigung und/oder eine Klebefestigung erzeugt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sämtliche Arbeitsgänge des Vorschleifens und des Feinschleifens und des Feinstschleifens mit Topfschleifwerkzeugen (28, 29) durchgeführt werden, die eine Diamantkorngröße aufweisen.

11. Vorrichtung zum Bearbeiten einer optischen Linse (2) oder eines optischen Spiegels mit einem Werkstückträger (3) zur Lagerung der optischen Linse (2) oder des optischen Spiegels, wobei der Werkstückträger (3) an einer Werkstückwelle (6) angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die Werkstückwelle (6) in Bezug auf die Richtung ihrer Längsachse (L) fixierbar ist oder dass die Werkstückwelle (6) in Richtung ihrer Längsachse (L) federnd gelagert ist,
- **dass** wenigstens zwei Werkzeugspindeln (30, 34) vorgesehen sind,
- **dass** an jeder Werkzeugspindel (30, 34) jeweils ein Topfschleifwerkzeug (28, 29) zur Bearbeitung der Oberfläche der optischen Linse (2) oder des optischen Spiegels angeordnet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Umschaltvorrichtung (16) für die in Bezug auf die Längsachse der Werkstückwelle (6) feste Lagerung oder für die in Bezug auf die Längsachse (L) der Werkstückwelle (6) federnde Lagerung der Werkstückwelle (6) vorgesehen ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umschaltvorrichtung (16) als pneumatische Umschaltvorrichtung ausgebildet ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Topfschleifwerkzeuge (28, 29) mittels einer Spannzange oder eines Hydrodehnspannfutters an der Werkzeugspindel (30, 34) anordbar sind.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** entweder zwei Topfschleifwerkzeuge (28, 29) oder ein Topfschleifwerkzeug (28) und ein Polierwerkzeug an den Werkzeugspindeln (30, 34) angeordnet ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (1) eine zusätzliche Achse (Z1) für die Vorschubbewegung der Werkzeugspindeln (30, 34) aufweist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung (1) als 4- oder 5-achsige CNC-Schleifmaschine ausgebildet ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zwei Werkzeugspindeln (30, 34) als frequenzgeregelte Werkzeugspindeln (30, 34) ausgebildet sind.

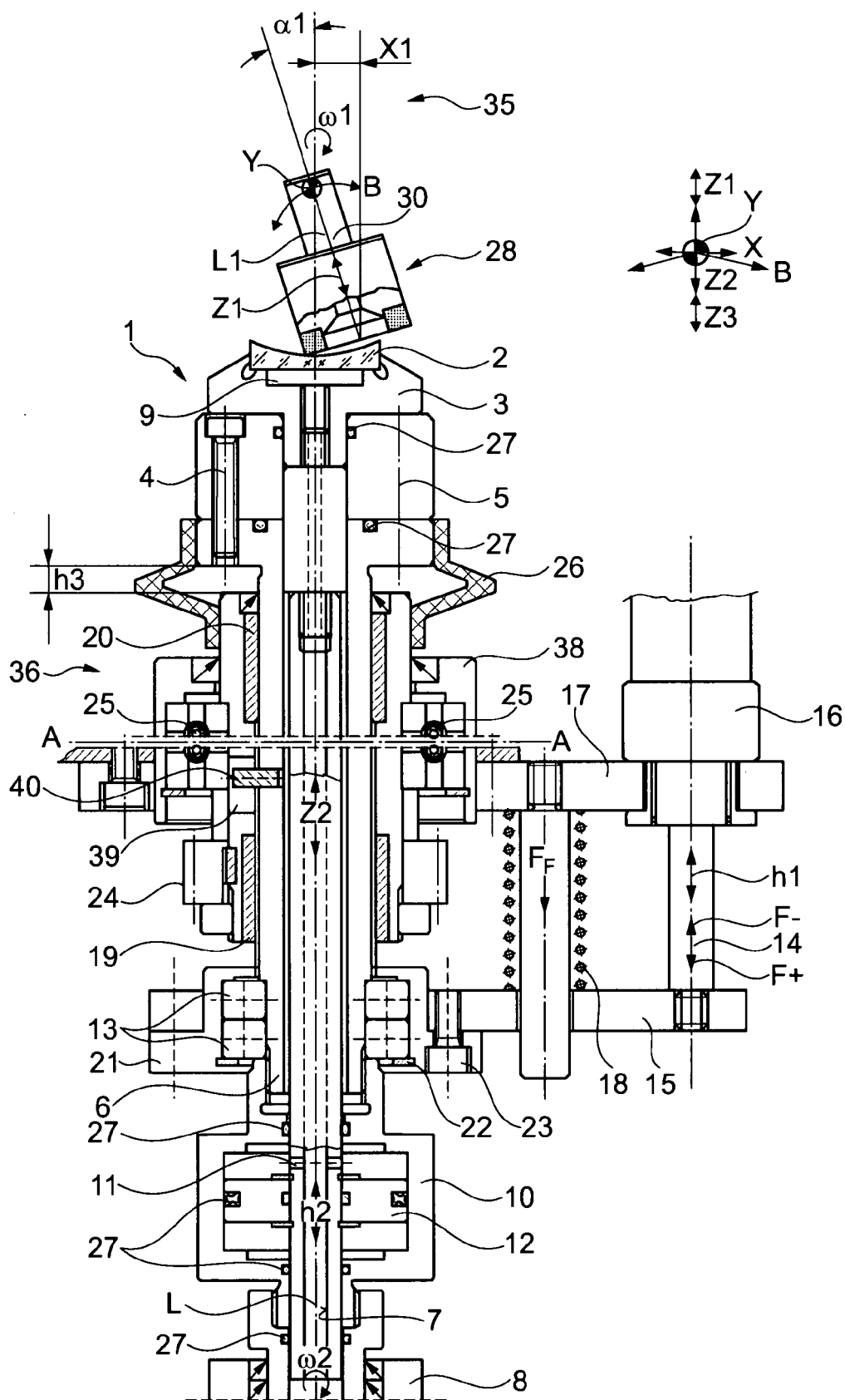


Fig. 1

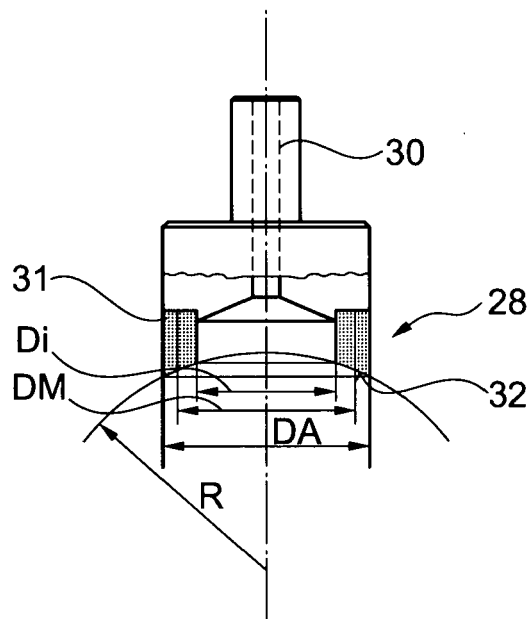


Fig. 2

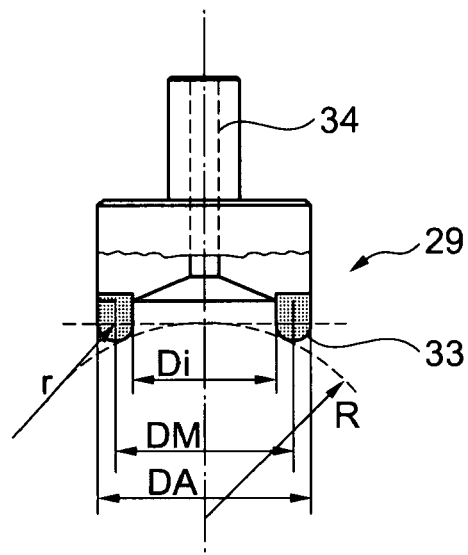


Fig. 3

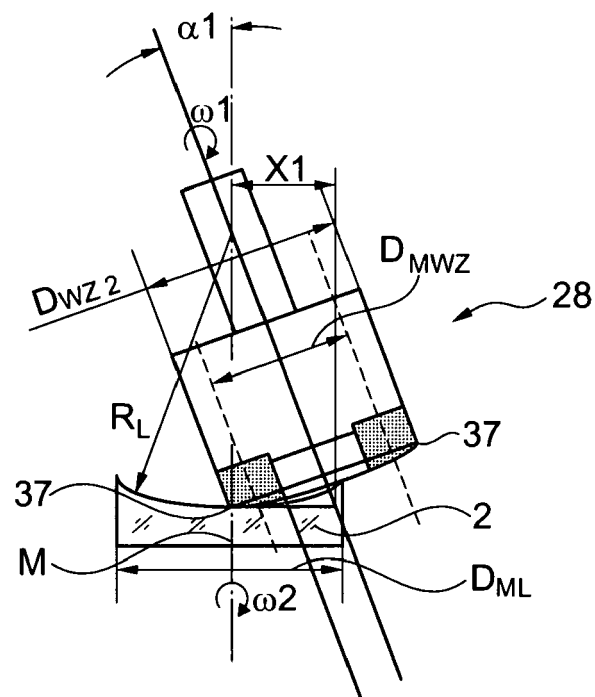


Fig. 4

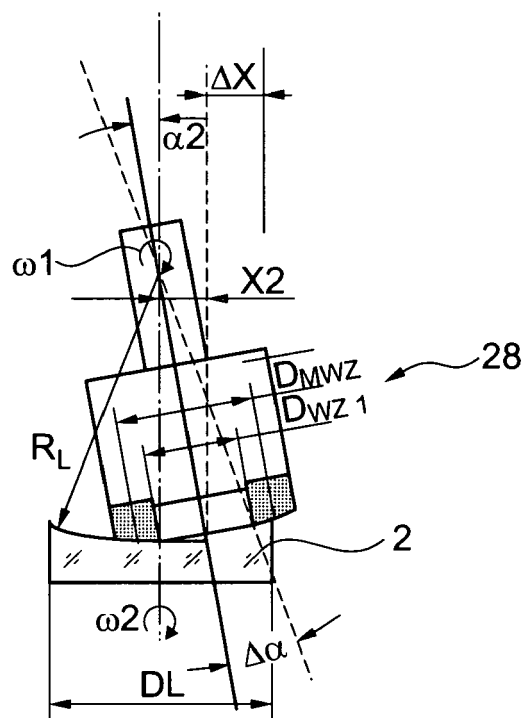


Fig. 5



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 23 19 1981

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 197 51 750 A1 (SCHNEIDER GMBH & CO KG [DE]) 2. Juni 1999 (1999-06-02)	11	INV.
A	* Spalte 7, Zeile 15 - Spalte 9, Zeile 8; Abbildungen 1a, 1b *	1-10, 12-18	B24B13/00 B24B13/005
A	DE 100 44 872 A1 (OPTOTECH OPTIKMASCH GMBH [DE]) 4. April 2002 (2002-04-04) * Absatz [0058]; Abbildung 1 *	1, 11	
A	DE 10 2007 040395 A1 (OPTOTECH OPTIKMASCH GMBH [DE]) 5. März 2009 (2009-03-05) * Absätze [0130] - [0136] *	2	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B24B
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		10. Januar 2024	Koller, Stefan
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 : mündliche 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 23 19 1981**

5 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.

10-01-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 19751750 A1	02-06-1999	KEINE	
15	DE 10044872 A1	04-04-2002	KEINE	
	DE 102007040395 A1	05-03-2009	KEINE	
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0685298 B2 [0002] [0006]