

(19)



(11)

EP 3 126 091 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
24.01.2018 Patentblatt 2018/04

(51) Int Cl.:
B24B 13/02 (2006.01) B24D 13/12 (2006.01)
B24D 13/14 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15712885.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2015/056486

(22) Anmeldetag: **26.03.2015**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2015/150201 (08.10.2015 Gazette 2015/40)

(54) **POLIERWERKZEUG SOWIE VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR FORMFEHLEROPTIMIERTEN POLIERBEARBEITUNG VON BRILLENLINSEN OBERFLÄCHEN UND GIESSFORMSCHALEN ZUR BRILLENLINSENHERSTELLUNG**

POLISHING TOOL AS WELL AS DEVICE AND METHOD FOR FORM-DEFECT-OPTIMIZED POLISHING OF SPECTACLE LENS SURFACES AND CASTING MOULD SHELLS FOR SPECTACLE LENS PRODUCTION

OUTIL DE POLISSAGE AINSI QUE DISPOSITIF ET PROCÉDÉ DE POLISSAGE DE SURFACE DE VERRES DE LUNETTES OPTIMISÉ EN TERMES DE DÉFAUTS DE MOULAGE ET COQUES DE MOULAGE POUR FABRIQUER DES VERRES DE LUNETTES

(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 MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **03.04.2014 DE 102014206424**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.02.2017 Patentblatt 2017/06

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

(72) Erfinder:
• **KRAUSE, Wolf**
73457 Essingen (DE)
• **MICHELS, Georg**
73430 Aalen (DE)
• **NOWAK, Gerd**
73450 Neresheim (DE)

(74) Vertreter: **Carl Zeiss AG - Patentabteilung**
Carl-Zeiss-Strasse 22
73447 Oberkochen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 1 249 307 DE-A1- 4 412 370
US-B2- 8 348 717

EP 3 126 091 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Polierwerkzeug, insbesondere ein ringförmig-adaptives Polierwerkzeug nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, ein Verfahren zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen und Gießformschalenoberflächen, insbesondere von Oberflächen sphärischer, torischer und/oder progressiver Brillenlinsen, nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 7 und eine Vorrichtung zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen und Gießformschalenoberflächen, insbesondere von Oberflächen sphärischer, torischer und/oder progressiver Brillenlinsen, nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 14.

[0002] Für die massenhafte Polierbearbeitung von sphärischen, torischen und Freiform-Brillenlinsen aus mineralischen oder organischen Materialien werden nach dem betriebsintern bekannten Stand der Technik Polierwerkzeuge mit einem sphärisch geformten Polierkörper verwendet, der sich bei der Polierbearbeitung an die bearbeitete Brillenlinsenoberfläche anpasst. Damit sich die Oberfläche des sphärischen Polierkörpers an die von der sphärischen Form häufig sehr stark abweichende Geometrie der zu polierenden Brillenlinsenoberfläche anpassen kann, ist auf einem festen Werkzeuggrundkörper eine elastische Schaumstoffschicht aufgeklebt. Auf dieser elastischen Schicht ist eine dem Werkstück zugewandte Polierfolie als Polierbelag aufgebracht. Ein derartiges Polierwerkzeug ist z.B. in der DE 10 2004 003 131 A1, der DE 10 2008 062 097 A1 oder der DE 603 12 475 T2 beschrieben. Um die Anpassungsfähigkeit der Polierkörperoberfläche an die Brillenlinsenoberfläche zu unterstützen, sind die Polierwerkzeuge im Allgemeinen kleiner als das Werkstück, wie dies in Fig. 1 der EP 1 251 997 B2 gezeigt ist. Der Polierabtrag kommt unter Zuhilfenahme einer abrasiven Polierflüssigkeit durch die Relativbewegung zwischen dem mit Druck beaufschlagten rotierenden Polierwerkzeug und der rotierenden Brillenlinse zustande. Details dazu entnimmt man ebenfalls der EP 1 251 997 B2.

[0003] Der grundlegende Nachteil dieser Anordnung ist, dass die elastische Schicht des sphärischen Polierwerkzeugs, die durch die torische oder Freiform-Geometrie der Brillenlinse bedingten Höhenunterschiede des von ihm momentan bedeckten Brillenlinsenbereichs vollständig ausgleichen muss. Diese Höhenunterschiede können bei den heute üblichen, mit torischem Anteil ausgestatteten Gleitsichtbrillenlinsenflächen durchaus im Bereich mehrerer Millimeter liegen. Während des Polierprozesses ist die Druckverteilung auf der Brillenlinsenoberfläche deshalb nicht konstant. Wegen der Proportionalität von lokal aufgebrachtem Polierdruck und daraus resultierender Abtragsrate entstehen bei diesem Polierverfahren grundsätzlich Formfehler, deren Größe von der Ausprägung der Asphärität der Brillenlinse abhängig ist.

[0004] Reduzieren lässt sich ein solcher systematischer Polierfehler dadurch, dass der Werkzeugdurch-

messer bei zunehmender Abweichung der Brillenlinsenoberfläche von der sphärischen Form kleiner gewählt wird. Wegen des dabei verringerten vom Polierwerkzeug bedeckten und bearbeiteten Flächenanteils der Brillenlinse und auch der im Allgemeinen reduzierten Relativgeschwindigkeit zwischen Brillenlinse und Polierwerkzeug verringert sich die Effizienz des Polierprozesses deutlich.

[0005] Um schnell und gleichmäßig asphärische Flächen polieren zu können, lehrt die EP 1 249 307 A2 bei sonst identischem Aufbau die Verwendung eines torisch geformten Polierkörpers. Torisch bedeutet in dieser Schrift tonnenförmig. Sphärische oder tonnenförmig torische Polierkörper sind auch aus der US 8,348,717 B2 bekannt.

[0006] Aus der DE 44 12 370 A1, von der die Erfindung ausgeht, ist ein Verfahren zum Herstellen von asphärischen Oberflächen an Linsenrohlingen, namentlich aus Glas, bekannt. Dieses Verfahren verwendet eine CNC-Werkzeugmaschine mit einer Steuereinheit und einem rotierend zustellbaren Topfwerkzeug zum Polieren eines Werkstücks in einer Halterung, die entlang einer Vorschubachse in eine Bearbeitungsposition bewegbar ist, wobei die Achsen von Topfwerkzeug und Halterung einen Winkel zueinander einschließen. Das Topfwerkzeug wird am Linsenrohling entlang einer über die Steuereinheit vorgegebenen Bearbeitungskontur derart geführt, dass zwischen der Längsachse des Topfwerkzeugs und der Normalen in seinem Berührungspunkt am Werkstück ein wählbarer Vorhaltewinkel konstant eingehalten wird. Infolgedessen bleibt das Topfwerkzeug vom Polierpunkt-Einsatz an während der gesamten Bearbeitung in Bezug auf die Bearbeitungsstelle am Werkstück gleich ausgerichtet, so dass sich ändernde Asphären bzw. Kugelradien bei wechselnden Serien konturgetreu bearbeitet werden. Dies geschieht mit durchgehend gleichem Polierdurchmesser, so dass am Topfwerkzeug der Verschleiß senkrecht zur Berührungsfläche minimiert wird. Außerdem kommt das Topfwerkzeug wegen des Vorhaltewinkels stets nur geneigt zur Anlage am Werkstück, so dass eine Punktberührung sich allenfalls - nach langer Standzeit - zu einer sehr kleinen Segment- oder Bogenfläche hin vergrößert. Abhängig vom Durchmesser der ringtorusartigen Polierlippe des Topfwerkzeugs, welche in diesem Dokument als Umfangsteil bezeichnet ist, kann die Neigung des Topfwerkzeugs und der Vorhaltewinkel für die jeweilige Polieraufgabe optimal eingestellt werden. Vorzugsweise beträgt der Vorhaltewinkel 0°, und zwar ab Ausgangsstellung bei Beginn der Bearbeitung. Die Vorschubbewegbarkeit der Werkstückspindel erlaubt nach erklärter Aussage in dieser Offenlegungsschrift DE 44 12 370 A1 eine Freiform-Oberflächenbearbeitung.

[0007] Nach der Lehre der DE 44 12 370 A1 ist vorgesehen, während der Bearbeitung des Werkstücks Abtastwerte seiner Oberfläche zu gewinnen und bei der Folgebearbeitung durch geänderte Bahnführung des Topfwerkzeugs in der Steuereinheit zu berücksichtigen.

[0008] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, das gattungsgemäße Polierwerkzeug, die gattungsgemäße Vorrichtung und das gattungsgemäße Verfahren zur Polierbearbeitung derart weiterzubilden, dass Freiformflächen mit hoher Formtreue und hoher Effizienz poliert werden können.

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein, insbesondere ringförmig-adaptives Polierwerkzeug mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, ein Verfahren zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen Gießformschalen zur Brillenlinsenherstellung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 7 und durch eine Vorrichtung zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen Gießformschalen zur Brillenlinsenherstellung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 14 gelöst. Vorteilhafte Ausführungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0010] Das erfindungsgemäße Polierwerkzeug für Oberflächen von Brillenlinsen oder Gießformschalen für Brillenlinsen umfasst eine Polierlippe mit einem starren Träger, einem auf dem starren Träger angeordneten elastischen Körper und einen auf dem elastischen Körper angeordneten Polierbelag. Die Oberfläche des Polierbelags stellt eine Polierfläche bereit. Diese Polierfläche weist wenigstens einen geschlossen ringtorischen Abschnitt auf. Unter geschlossen ringtorischem Abschnitt versteht man ein ringförmiges (umlaufendes) Segment der Schale eines Ringtorus, also eine ringförmige Teilfläche einer Ringtorusfläche.

[0011] Ein solches erfindungsgemäßes Polierwerkzeug kann ähnlich wie das Topf-Polierwerkzeug nach der DE 44 12 370 A1 ausgebildet sein und eine Polierlippe in Form einer Ringtorushalbschale haben. Die Polierlippe des Polierwerkzeugs nach der Erfindung umfasst jedoch zusätzlich neben dem erfindungsgemäß als Träger fungierenden starren Körper einen auf dem Träger angeordneten elastischen Körper und einen auf dem elastischen Körper angeordneten Polierbelag.

[0012] Die Elastizität des elastischen Körpers ermöglicht eine Anpassung der Polierfläche an die Oberflächenkontur der zu polierenden Fläche und damit einen flächigen Polierabtrag, der nach der Lehre der DE 44 12 370 A1 gerade nicht gewünscht ist. Die DE 44 12 370 A1 fordert vielmehr einen punktuellen Polierabtrag. Die flächige Berührung von Polierfläche und Werkstück anstelle einer punktuellen Berührung erlaubt es, Freiformflächen mit hoher Formtreue und hoher Effizienz zu polieren. Die gestellte Aufgabe wird durch die Erfindung demnach vollumfänglich gelöst.

[0013] Der geschlossen ringtorische Abschnitt der Polierfläche weist einen Ringtorushalbmesser (Hauptradius) und einen Lippenradius (Nebenradius) auf. Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, das aus dem Quotienten aus dem Ringtorushalbmesser und dem Lippenradius gebildete Aspektverhältnis zwischen 2 und 250 zu wählen. Bei einem derart gewählten Aspektverhältnis kann einerseits mit dem Polierwerkzeug ein breites Spektrum an Freiformflächen poliert werden und andererseits die Forderung nach einer homogenen Druckverteilung innerhalb der Berührfläche Polierwerkzeug / Brillenlinsenoberfläche bzw. Polierwerkzeug / Gießformschalenoberfläche erreicht werden.

rerseits die Forderung nach einer homogenen Druckverteilung innerhalb der Berührfläche Polierwerkzeug / Brillenlinsenoberfläche bzw. Polierwerkzeug / Gießformschalenoberfläche erreicht werden.

[0014] Die Mehrzahl der gängigen Brillenlinsen- oder Gießformschalenoberflächengeometrien lassen sich mit Polierwerkzeugen bearbeiten, deren Polierfläche einen geschlossen ringtorischen Abschnitt aufweist, dessen Aspektverhältnis zwischen 2,5 und 40 gewählt ist. Die Zahl erforderlicher unterschiedlicher Werkzeuge, um den ganzen Lieferbereich von Brillenlinsen polieren zu können, lässt sich damit reduzieren. Höchst vorzugsweise weist das Aspektverhältnis einen Wert zwischen 3 und 8 auf. Wählt man das Aspektverhältnis für den ringtorischen Abschnitt der Polierfläche in diesem Wertebereich, kann man unter Umständen ganz auf unterschiedliche Werkzeuge zur Bearbeitung unterschiedlicher Werkstückoberflächengeometrien verzichten.

[0015] Geometriebetrachtungen und Erfahrungswissen zeigen, dass besonders gute Poliereigenschaften erzielt werden, wenn der die ringförmige Polierfläche bildende Ringtorus einen Nebenradius zwischen 2 und 50 mm, höchst vorzugsweise zwischen 5 und 20 mm aufweist. Unter diesen Voraussetzungen kann eine besonders gute Anpassung des Polierwerkzeuges an die üblichen Brillenlinsen-/Formschalenflächengeometrien erreicht werden.

[0016] Erfahrungsgemäß lassen sich besonders gute Polierergebnisse erzielen, wenn der die ringtorische Polierfläche bildende Ringtorus einen Hauptradius zwischen 20 und 200 mm, höchst vorzugsweise zwischen 30 und 80 mm aufweist. Mit solchen Werkzeuggeometrien lässt sich mit hoher Abtragsrate ein breites Spektrum von Brillenlinsen-/Formschalengeometrien effizient polieren.

[0017] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsvariante weist der starre Träger des Polierwerkzeugs einen vorzugsweise komplementär zur Polierfläche ausgebildeten geschlossen ringtorischen Außenkonturabschnitt auf, auf der der elastische Körper angeordnet ist und der elastische Körper weist eine konstante Dicke auf. Damit ist sichergestellt, dass die Elastizität des elastischen Körpers, ein homogenes Material voraussetzend, über der gesamten Polierfläche weitgehend gleich ist. Wenn der starre Träger eine ringtorische Außenkontur aufweist, auf der der elastische Körper angeordnet ist, und der elastische Körper eine konstante Dicke aufweist, erhält man eine Konfiguration des Polierwerkzeugs, die sich durch eine weitgehend zum Randbereich der Kontaktfläche hin sanft abnehmende Polierkraftverteilung auszeichnet. Dieser zum Rand hin degressive Polierkraftverlauf vermeidet ungewünschte, durch schroffe Druckgradienten verursachte Polierstrukturen.

[0018] Als Alternative kann der starre Träger einen hohlzylinderförmigen Abschnitt mit einer ebenen Stirnfläche aufweisen, auf der der elastische Körper angeordnet ist, wobei der elastische Körper einen geschlossen ringtorischen Außenkonturabschnitt aufweist. Diese Al-

ternativvariante eines Polierwerkzeugs zeichnet sich dadurch aus, dass solche Werkzeuge einfach herstellbar sind.

[0019] Es hat sich als günstig herausgestellt, wenn man -abweichend von der in der DE 44 12 370 A1 beschriebenen Geometrie der Polierfläche- den geschlossenen ringtorischen Abschnitt der Polierfläche als radial nach außen gerichtete ringtorische Halbschalenfläche oder als radial nach innen gerichtete ringtorische Halbschalenfläche ausbildet oder wenn der geschlossenen ringtorische Abschnitt eine radial nach außen gerichtete ringtorische Halbschalenfläche oder eine radial nach innen gerichtete ringtorische Halbschalenfläche als Teilfläche aufweist. Damit lassen sich verbesserte Polierergebnisse erzielen.

[0020] Verbesserungen lassen sich bereits erzielen, wenn man die ringtorische Halbschalenfläche nicht in axialer Richtung ausrichtet bzw. wenn die Polierfläche eine ringtorische Halbschalenfläche aufweist, die nicht in axialer Richtung ausgerichtet ist.

[0021] Der elastische Körper besteht im Allgemeinen aus einem Werkstoff, dessen Elastizitätsmodul größer als $0,02 \text{ N/mm}^2$ ist. Geeignete Werkstoffe sind damit Elastomere, wie z.B. Gummi oder Kautschuk, insbesondere Polyurethan, Polyätherurethan oder dergleichen. Dieser elastische Körper kann z.B. ein Spritzgussteil sein.

[0022] Als Polierbelag kann eine handelsübliche auf Polyurethanbasis hergestellte Polierfolie verwendet werden. Anstelle einer Polierfolie kann auch eine abrasive Beschichtung auf den elastischen Körper aufgebracht sein.

[0023] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Polierbearbeitung einer Brillenlinsenoberfläche oder einer Gießformschalenoberfläche (die regelmäßig eine zur Brillenlinsenoberfläche komplementäre Form aufweist) mit einem Polierwerkzeug mit einer einen starren Körper umfassenden Polierlippe mit einer Polierfläche, die wenigstens einen geschlossen ringtorischen Abschnitt aufweist, ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Polierwerkzeug verwendet wird, dessen starrer Körper als Träger eines elastischen Körpers und eines Polierbelags fungiert.

[0024] Die Elastizität des elastischen Körpers ermöglicht eine Anpassung der Polierfläche an die Oberflächenkontur der zu polierenden Fläche und damit einen flächigen Polierabtrag. Die flächige Berührung von Polierfläche und Werkstück anstelle einer in der DE 44 12 370 A1 vorgeschlagenen punktuellen Berührung erlaubt es, Freiformflächen mit hoher Formtreue und hoher Effizienz zu polieren. Die gestellte Aufgabe wird durch die Erfindung demnach vollumfänglich gelöst.

[0025] Das ringförmig-adaptiv ausgebildete Polierwerkzeug wird vorzugsweise derart über die Brillenlinsen- oder Formschalenoberfläche geführt bzw. relativ zu dieser bewegt, dass durch eine Druckbeanspruchung der elastische Körper des Polierwerkzeugs an der Brillenlinsen- oder Formschalenoberfläche deformiert wird.

Der momentan polierte Flächenanteil auf der Brillenlinsen- oder Formschalenoberfläche, die sogenannte Berührfläche, ist dann nicht kreisförmig wie bei dem in der EP 1 251 997 B2 beschriebenen Verfahren und auch nicht punktförmig wie bei dem in der DE 44 12 370 A1 beschriebenen Verfahren, sondern vorzugsweise streifen- bis nierenförmig.

[0026] In einer Variante der Erfindung werden die Geometrie der Polierfläche und die Geometrie der Brillenlinsenoberfläche oder der Gießformschalenoberfläche für die momentane Relativbewegung der Polierfläche zur Brillenlinsenoberfläche oder der Gießformschalenoberfläche berücksichtigt. Anders ausgedrückt gehen die Geometrie der Polierfläche und die Geometrie der Brillenlinsenoberfläche oder der Gießformschalenoberfläche in die tatsächlich durchgeführte Relativbewegung zwischen Polierfläche und Werkstückfläche ein. Oder noch anders ausgedrückt wird die Berührfläche, also die Teilfläche der Polierfläche, die mit der Werkstückfläche zur Anlage gebracht wird, in Abhängigkeit von der Geometrie der Polierfläche und der Geometrie der Brillenlinsenoberfläche oder der Gießformschalenoberfläche durch entsprechende relative Ausrichtung zwischen Polierwerkzeug und Werkstück und entsprechende Vorschubbewegungsrichtung zwischen Polierwerkzeug und Werkstück gesteuert. Auch hierin unterscheidet sich die Erfindung von der Lehre der DE 44 12 370 A1, die eine Konstanz des Vorhaltewinkels fordert.

[0027] Es ist günstig, wenn die Geometrie der Polierfläche und/oder die Geometrie der Brillenlinsen- oder der Gießformschalenoberfläche in Form einer mathematischen Beschreibung bereitgestellt wird. Damit lässt sich im Voraus eine gewünschte Ausrichtung und Vorschubbewegungsrichtung zwischen Polierwerkzeug und Werkstück berechnen und mit Hilfe einer Steuerungseinstellung einstellen.

[0028] Einem besonders bevorzugten Lösungsansatz liegt der Gedanke zugrunde, dass in der Brillenlinsenherstellung übliche Freiformflächen in eine Folge von Segmenten aufgeteilt werden können, die im Einzelnen mit minimal deformierten Ringen unterschiedlicher Radien approximiert werden können. Diese Erkenntnis würde eine Vielzahl von ringförmigen Polierwerkzeugen mit unterschiedlichen Radien nahe legen. Erfindungsgemäß ersetzt ein einziges, während des Polierprozesses kontinuierlich in der Neigung einzustellendes Polierwerkzeug diese Vielzahl an Polierwerkzeugen.

[0029] Die Geometrie der Brillenlinsenoberfläche oder der Gießformschalenoberfläche kann, z.B. durch wenigstens ein torisches Flächensegment oder -entsprechend dem vorstehenden Gedankendurch eine Folge derartiger Segmente, approximiert werden.

[0030] Das Polierwerkzeug und die Polierbewegung sind so zu wählen, dass während des Polierprozesses der momentan polierte Flächenanteil auf der Brillenlinsenoberfläche nicht kreisförmig wie bei dem in der EP 1 251 997 B2 beschriebenen Verfahren und auch nicht punktförmig wie bei dem in der DE 44 12 370 A1 be-

schriebenen Verfahren, sondern annähernd streifen- oder nierenförmig ist.

[0031] Während des Polierprozesses wird das im Allgemeinen rotierend zugestellte ringförmig-adaptive Polierwerkzeug mit seiner gegen die Brillenlinse gedrückten Polierlippe abweichend von der Lehre der DE 44 12 370 A1 bogenförmig entlang des flachen Radius der Torusapproximation der Brillenlinsenoberfläche ("Rotationsradius") geführt, wobei diese ideale Werkzeugbahnlinie bei Gleitsichtbrillenlinsen mit oder ohne torischen Anteil auch eine vom Kreisbogen stark abweichende Form haben kann.

[0032] Die beschriebene Polierbearbeitung kann in einem einzigen Überlauf in Vorschubrichtung oder aber auch in mehreren Einzelüberläufen erfolgen, wobei diese auch nebeneinander parallel oder annähernd parallel zur Vorschubrichtung angeordnet sein können. Die Verfahrensvariante kann bei Brillenglasflächen vorteilhaft sein, die durch sehr starke Varianz der Flächenkrümmungen gekennzeichnet sind.

[0033] Empfehlenswert ist es, wenn das Polierwerkzeug relativ zu der Brillenlinse oder der Formschale die Brillenlinsenoberfläche oder die Gießformschalenoberfläche mit der Polierlippe an einer Berührfläche berührend bewegt wird und wenn eine Neigung des Polierwerkzeuges gegenüber der Brillenlinsenoberfläche oder der Gießformschalenoberfläche unter Minimierung der Unterschiede der Deformation des elastischen Körpers innerhalb der Berührfläche eingestellt wird. Anders ausgedrückt ist es vorteilhaft, wenn der elastische Körper im Bereich der Berührfläche möglichst gleichmäßig komprimiert wird. Kennt man die Form der Polierfläche und die Form der zu polierenden Werkstückfläche können stets Flächenabschnitte gefunden werden, die annähernd zueinander komplementär ausgebildet sind und die durch geeignete Positionierung und Führung zueinander die Berührfläche bildend in Anlage gebracht werden können.

[0034] Ein besonders gleichmäßiges Polieren der Linsenoberfläche ergibt sich, wenn das Polierwerkzeug so angestellt wird, dass der jeweils mittlere Radius des momentan überdeckten Flächensegmentes kontinuierlich bestpassend angenähert wird. Durch gezielte Abweichung von dem bestpassenden Anstellwinkel kann die Druckverteilung gesteuert werden. Außerdem kann der Polierdruck für jedes momentan überdeckte Flächensegment der Brillenlinse oder der Formschale kontinuierlich über die Zustellung von Brillenlinsenoberfläche / Formschalenoberfläche und Werkzeug gesteuert werden.

[0035] Die Berechnung der Relativbewegung zwischen Polierwerkzeug und Werkstück und deren Ansteuerung erfolgt vorzugsweise computergestützt.

[0036] Eine insbesondere zur Durchführung des vorstehenden Verfahrens geeignete erfindungsgemäße Vorrichtung zur Polierbearbeitung einer Brillenlinsenoberfläche oder einer Gießformschalenoberfläche erfordert ein Polierwerkzeug mit einer einen starren Träger umfassenden Polierlippe mit einer Polierfläche, die wenigstens einen geschlossen ringtorischen Abschnitt auf-

weist, wobei auf dem starren Träger ein elastischer Körper und ein Polierbelag angeordnet sind.

[0037] Die Vorrichtung kann eine Führungseinrichtung aufweisen, um das Polierwerkzeug den elastischen Körper deformierend über die Brillenlinsenoberfläche oder die Gießformschalenoberfläche zu führen. Es kommt dabei allein auf die Relativbewegung zwischen Polierwerkzeug und Werkstückoberfläche an, d.h. der Begriff Führen umfasst sowohl eine alleinige Bewegung des Werkzeugs oder des Werkstücks oder eine Bewegung von Werkzeug und Werkstück.

[0038] Die Vorrichtung kann eine Führungseinrichtung aufweisen, die das Polierwerkzeug und die Brillenlinsenoberfläche oder die Gießformschalenoberfläche derart relativ zueinander bewegt, dass die Polierfläche auf der Brillenlinsenoberfläche oder die Gießformschalenoberfläche streifen- oder nierenförmig aufliegt. Die nachfolgend in den Figuren 8 bis 13 dargestellten Vorrichtungen weisen eine derartige Führungseinrichtung auf.

[0039] Die Führungseinrichtung kann derart ausgebildet sein, dass sie die Geometrie der Polierfläche und die Geometrie der Brillenlinsenoberfläche oder der Gießformschalenoberfläche für die momentane Relativbewegung der Polierfläche zur Brillenlinsenoberfläche oder der Gießformschalenoberfläche berücksichtigt. Es kann zu diesem Zweck z.B. ein elektronischer Rechner vorhanden sein, der auf Basis der Geometriedaten die erforderliche Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück berechnet.

[0040] Die Führungseinrichtung kann eine Bereitstellungseinrichtung z.B. in Form eines elektronischen Speichers und/oder eines elektronischen Rechners aufweisen, die die Geometrie der Polierfläche und/oder die Geometrie der Brillenlinsenoberfläche oder der Gießformschalenoberfläche in Form einer mathematischen Beschreibung bereitstellt.

[0041] Die Bereitstellungseinrichtung kann derart ausgebildet sein, dass die Geometrie der Brillenlinsenoberfläche oder der Gießformschalenoberfläche durch wenigstens ein torisches Flächensegment approximiert wird.

[0042] Die Führungseinrichtung kann ausgebildet sein, das Polierwerkzeug die Brillenlinsenoberfläche oder die Gießformschalenoberfläche mit der Polierlippe an einer Berührfläche berührend über die Brillenlinsenoberfläche oder die Gießformschalenoberfläche zu führen und dabei die Neigung des Polierwerkzeuges gegenüber der Brillenlinsenoberfläche oder der Gießformschalenoberfläche unter Minimierung der Unterschiede der Deformation des elastischen Körpers innerhalb der Berührfläche einzustellen.

[0043] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher beschrieben. Gleiche oder funktionsgleiche Bestandteile sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen. Es zeigen:

Figur 1 ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Po-

Figur 2	Polierwerkzeuges im Längsschnitt ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges im Längsschnitt		
Figur 3	ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges im Längsschnitt	5	Figur 15
Figur 4	ein viertes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges im Längsschnitt	10	
Figur 5	ein fünftes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges im Längsschnitt		
Figur 6	ein sechstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges im Längsschnitt (Variante zum fünften Ausführungsbeispiel)	15	
Figur 7	ein siebtes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges im Längsschnitt (Variante zum vierten Ausführungsbeispiel)	20	
Figur 8	ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen in einer Prinzipdarstellung. Die Einstellung des Anstellwinkels der wenigstens abschnittsweise ringförmigen Polierfläche des Polierwerkzeugs zur mittels einer Werkstückaufnahme, insbesondere einem Blockstück gehaltenen Brillenlinse erfolgt mittels einer Schwenkeinrichtung zum Verschwenken des Polierwerkzeugs	25	
Figur 9	ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen in einer Prinzipdarstellung.	30	
Figur 10	ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen in einer Prinzipdarstellung.	35	
Figur 11	ein viertes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen in einer Prinzipdarstellung.	40	
Figur 12	ein fünftes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur gleichzeitige Polierbearbeitung von mehr als einer Brillenlinsenoberflächen in einer Prinzipdarstellung.	45	
Figur 13	ein sechstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur gleichzeitige Polierbearbeitung von mehr als einer Brillenlinsenoberflächen in einer Prinzipdarstellung.	50	
Figur 14	geometrische Eingriffsverhältnisse während des Bearbeitungsprozesses mit einem erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeug nach der Figur 1 bei einer Nei-	55	
			gung gegenüber einer optischen Achse einer Brillenlinse von 15° in schematischer Darstellung a) Ansicht von der Seite b) Draufsicht durch die Brillenlinse hindurch
			geometrische Eingriffsverhältnisse während des Bearbeitungsprozesses mit einem erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeug nach der Figur 1 bei einer Neigung gegenüber der optischen Achse der Brillenlinse von 30° in schematischer Darstellung
			a) Ansicht von der Seite b) Draufsicht durch die Brillenlinse hindurch
			Figur 16
			geometrische Eingriffsverhältnisse während des Bearbeitungsprozesses mit einem erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeug nach der Figur 1 bei einer Neigung gegenüber der optischen Achse der Brillenlinse von 45° in schematischer Darstellung
			a) Ansicht von der Seite b) Draufsicht durch die Brillenlinse hindurch
			Figur 17
			geometrische Eingriffsverhältnisse während des Bearbeitungsprozesses mit einem erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeug nach der Figur 1 bei einer Neigung gegenüber der optischen Achse der Brillenlinse von 60° in schematischer Darstellung
			a) Ansicht von der Seite b) Draufsicht durch die Brillenlinse hindurch
			Figur 18
			ein Flussdiagramm eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Polierbearbeitung einer Brillenlinsenoberfläche oder einer Gießformschale zur Brillenlinsenherstellung
			Figur 19
			ein Flussdiagramm zur Darstellung von Optimierungsalgorithmen, welche einzeln, in einer Auswahl oder in einer vollumfänglichen Kombination bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Polierbearbeitung einer Brillenlinsenoberfläche oder einer Gießformschale zur Brillenlinsenherstellung des ersten Ausführungsbeispiels realisiert sein können.
			[0044] Die Figur 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges 100 und eine an einem nicht dargestellten Blockstück aufgeblockte Brillenlinse 104 im Längsschnitt. Das ringförmig-adaptive Polierwerkzeug 100 wird von einer rotatorisch um ihre Mittenachse A ₁₀₆ an-

getriebenen Spindel 106 gehalten. Die Drehrichtung des rotatorischen Antriebs der Spindel 106 ist in der Figur 1 mit Hilfe des mit dem Bezugszeichen ω_1 gekennzeichneten Pfeils dargestellt.

[0045] Das ringförmig-adaptive Polierwerkzeug 100 umfasst einen starren Träger 110, der im vorliegenden Ausführungsbeispiel eine Welle 110a, eine mit dieser drehfest verbundene Kreisscheibe 110b und einen daran außenumfangsseitig drehfest angeordneten umlaufenden Ringtorusabschnitt 110c umfasst. Unter umlaufendem Ringtorusabschnitt versteht man ein ringförmiges (umlaufendes) Segment der Schale eines Ringtorus, also eine ringförmige Teilfläche der ringförmigen Torusfläche. Der Ringtorusabschnitt 110c ist vorliegend demnach eine ringförmige Torusaußenfläche abzüglich der Fläche, die an dem Außenumfang der Kreisscheibe 110b anschließt.

[0046] Die Mittenachse A_{106} der Spindel 106 und die Mittenachse A_{110} des Ringtorusabschnitts 110c fallen zusammen. Auf der Oberfläche 110d des Ringtorusabschnitts 110c ist ein elastischer Körper 114 angeordnet. Die Oberfläche 118 dieses elastischen Körpers 114 weist eine ringtorische Form auf. Auch deren Mittenachse A_{118} ist mit den vorstehend genannten Mittenachsen A_{106} , A_{110} identisch. Auf den elastischen Körper 114 ist ein Polierbelag 116 vorzugsweise konstanter Dicke aufgebracht. Der elastische Körper 114 und der Polierbelag 116 sowie der Ringtorus 110c des Trägers 110 und der elastische Körper 114 sind jeweils mittels eines Klebstoffs 115 drehfest verbunden. Diese Anordnung aus Träger 110, elastischem Körper 114 und Polierbelag 116 bildet eine sogenannte Polierlippe 128 mit durch die Außenkontur des Polierbelags 116 gebildeter Polierfläche 120.

[0047] Der starre Träger 110 kann aus einem metallischen Material, wie z.B. Edelstahl, oder auch aus Kunststoff, wie z.B. Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polymethylmethacrylat (PMMA), Polyamid (PA), faserverstärktem Kunststoff, wie z.B. carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK), glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) etc., gefertigt sein.

[0048] Der elastische Körper 114 besteht aus einem Werkstoff, dessen Elastizitätsmodul größer als $0,02 \text{ N/mm}^2$ ist. Als Werkstoff für den elastischen Körper 114 kommen Elastomere wie z.B. Gummi, Kautschuk, insbesondere Polyurethan, Polyätherurethan oder dergleichen in Betracht.

[0049] Die Dicke d des elastischen Körpers 114 beträgt im vorliegenden Ausführungsbeispiel 1,5 cm. Dicken zwischen 0,3 cm und 3 cm, vorzugsweise zwischen 0,5 cm und 2 cm, höchst vorzugsweise zwischen 0,8 cm und 1,5 cm haben sich als günstig herausgestellt.

[0050] Der Polierbelag 116 kann eine Polierfolie, ein technisches Textil, eine abrasive Beschichtung oder eine Kombination aus derartigen Materialien sein. Polierfolien zum Polieren von Brillenlinsen bestehen z.B. aus Polyurethan. Eine mögliche Kombination könnte z.B. ein Polyurethanbelag mit eingebetteten Diamantpartikeln sein.

Die Dicke der Polierfolie beträgt im Allgemeinen in etwa 0,5 mm bis ca. 3,0 mm, die einer abrasiven Beschichtung 0,3 mm bis 3,5 mm, höchst vorzugsweise zwischen 0,5 mm bis 3,0 mm. Der Polierbelag 116 ist also was seine Dicke betrifft in der Figur 1 (und auch in den Figuren 2 bis 13) nicht maßstabsgetreu wiedergegeben.

[0051] Der die geschlossenen ringtorische Polierfläche 120 bildende Ringtorusabschnitt weist im vorliegenden Ausführungsbeispiel einen Hauptradius R (Ringhalbmesser) von 50 mm und einen Nebenradius r (Lippenradius) von 15 mm auf. Damit ergibt sich ein Aspektverhältnis $A = R/r$ von 3,33. Für diese Konfiguration kann der Hauptradius R ganz allgemein einen Wert zwischen 20 und 200 mm und der Nebenradius r einen Wert zwischen 2 bis 50 mm annehmen. Vorzugsweise wird das Aspektverhältnis A zwischen 1,5 und 100, weiter vorzugsweise zwischen 2,5 und 40, höchst vorzugsweise zwischen 3 und 8 gewählt.

[0052] Die Polierfläche 120 bzw. der geschlossene Ringtorusabschnitt bzw. die ringförmige Teilschale erstreckt sich in dem in der Figur 1 dargestellten Längsschnitt längs der Mittenachse A_{106} , A_{110} , A_{118} über einen Winkel α_1 von etwa 270° . Sie umfasst insbesondere die ausgehend von der Mittenachse A_{118} des Ringtorus in radialer Richtung (d.h. in Richtung des Hauptradius R) nach außen gerichtete Teilschalenfläche, die sich über den Winkel α_2 von 180° erstreckt vollständig. Da sich diese radial nach außen gerichtete Teilschalenfläche über die Hälfte des Vollwinkels erstreckt, wird sie im Rahmen der vorliegenden Beschreibung als radial nach außen gerichtete ringtorische Halbschalenfläche bezeichnet, obwohl deren Flächeninhalt nicht der Hälfte des Flächeninhalts des gesamten Ringtorus entspricht.

[0053] Die Figur 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen ringförmig adaptiven Polierwerkzeuges 200 im Längsschnitt. Wie im vorangehenden Ausführungsbeispiel wird das ringförmig-adaptive Polierwerkzeug 200 mittels Spindel 106 rotatorisch angetrieben.

[0054] Das ringförmig-adaptive Polierwerkzeug 200 umfasst wiederum einen starren Träger 210 mit Welle 210a und mit dieser drehfest verbundener Scheibe 210b. Die Scheibe 210b weist im vorliegenden Ausführungsbeispiel eine verrundete Randkontur 212 auf, die eine ringtorische Flächengestalt besitzt.

[0055] Auf der ringtorisch verrundeten Randkontur 212 des Trägers 210 ist ein elastischer Körper 214 vorzugsweise einheitlicher Dicke d angeordnet. Dieser elastische Körper 214 weist an seiner der hier nicht dargestellten zu bearbeitenden Brillenlinse zugewandten Seite aufgrund seiner einheitlichen Dicke d und der ringtorisch ausgebildeten Auflagefläche 212 einen geschlossen (oder umlaufend) ringtorischen Oberflächenabschnitt 218 auf. Auf dem elastischen Körper 214 ist ein Polierbelag 216 ebenfalls vorzugsweise konstanter Dicke angebracht. Die Randkontur 212 des Trägers 210, der elastische Körper 214 und der Polierbelag 216 sind wie im vorigen Ausführungsbeispiel mit Hilfe eines Klebstoffs

215 drehfest miteinander verbunden. Diese Anordnung aus starrem Träger 210, elastischem Körper 214 und Polierbelag 216 bildet die Polierlippe 228 mit durch die Außenkontur des Polierbelags 216 gebildeter Polierfläche 220.

[0056] Die Mittenachsen A_{106} , A_{210} , A_{218} von Spindel 106, ringtorischer (Teil-)Oberfläche 212 des Trägers 210 und geschlossen ringtorischer (Teil-)Oberfläche 218 des elastischen Körpers 214 sind wie im vorigen Ausführungsbeispiel identisch.

[0057] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel bedeckt der Polierbelag 216 die der Brillenlinsenfläche zugewandte Seite des elastischen Körpers 214 vollständig. Es wäre jedoch auch möglich, nur den geschlossen ringtorischen Abschnitt 218 oder einen ringförmig geschlossenen Teil dieses Abschnitts 218 des elastischen Körpers 214 mit einem Polierbelag 216 zu versehen. In den ersten beiden Fällen umfasst die Polierfläche 220 die im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel beschriebene radial nach außen gerichtete ringtorische Halbschalenfläche. In der Figur 2 ist dies mit Hilfe des Winkels $\alpha_2=180^\circ$ kenntlich gemacht.

[0058] Als Werkstoffe für den starren Träger 210, den elastischen Körper 214 und den Polierbelag 216 können auch in dieser Konfiguration die im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel vorgeschlagenen Materialien verwendet werden.

[0059] Der Ringtorus, dessen Teilfläche die ringtorische Polierfläche 220 bildet, weist im Ausführungsbeispiel einen Hauptradius R von 50 mm und einen Nebenzradius r von 15 mm auf. Für diese Konfiguration kann der Hauptradius R ganz allgemeinen einen Wert zwischen 20 mm und 200 mm und der Nebenzradius r einen Wert zwischen 2 mm bis 50 mm annehmen. Regelmäßig wird das Aspektverhältnis A zwischen 1,5 und 100 gewählt. Weiter vorzugsweise nimmt A Werte zwischen 2,5 und 40, höchst vorzugsweise zwischen 3 und 8 an.

[0060] Die Figur 3 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges 300. Wie im vorangegangenen Ausführungsbeispiel wird das ringförmig-adaptive Polierwerkzeug 300 mittels Spindel 106 rotatorisch um deren Mittenachse A_{106} angetrieben.

[0061] Dieses ringförmig-adaptive Polierwerkzeug 300 nach der Figur 3 ist weitgehend identisch wie das ringförmig-adaptive Polierwerkzeug 200 nach der Figur 2 ausgebildet. Das Polierwerkzeug 300 umfasst wiederum einen starren Träger 310 mit Welle 310a und mit dieser drehfest verbundener Scheibe 310b. Die Scheibe 310b weist eine ringtorusabschnittsartig verrundete Randkontur 312 auf.

[0062] Im Unterschied zum Ausführungsbeispiel nach der Figur 2 wird der scheibenförmige Bereich 310b des starren Trägers 310 vollständig von einem elastischen Körper 314 vorzugsweise einheitlicher Dicke umhüllt. Der elastische Körper 314 weist an seiner der hier nicht dargestellten zu bearbeitenden Brillenlinse zugewandten Seite einen ringtorischen Oberflächenabschnitt 318

auf. Auf dem elastischen Körper 314 ist -hier den elastischen Körper 314 nicht vollständig überdeckend- ein Polierbelag 316 ebenfalls vorzugsweise konstanter Dicke aufgebracht. Die Randkontur 312 des Trägers 310, der elastische Körper 314 und der Polierbelag 316 sind wie in den vorigen Ausführungsbeispielen mit Hilfe eines Klebstoffs 315 drehfest miteinander verbunden. Diese Anordnung aus starrem Träger 310, elastischem Körper 314 und Polierbelag 316 bildet die Polierlippe 328 mit durch die Außenkontur des Polierbelags 316 gebildeter Polierfläche 320.

[0063] In diesem Ausführungsbeispiel bedeckt der Polierbelag 316 die der Brillenlinsenfläche 104 zugewandte Seite des elastischen Körpers 314 nicht vollständig. Es wäre jedoch auch möglich, sowohl die vollständige Oberfläche als auch nur den ringtorischen Abschnitt 315 oder einen Teil dieses ringtorischen Abschnitts 315 des elastischen Körpers 314 mit einem Polierbelag 316 zu versehen. In den ersten beiden Fällen umfasst die Polierfläche 320 die im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel beschriebene radial nach außen gerichtete ringtorische Halbschalenfläche. In der Figur 3 ist dies wieder mit Hilfe des Winkels $\alpha_2=180^\circ$ kenntlich gemacht.

[0064] Der Ringtorus, von dem ein Abschnitt oder Segment die ringtorische Polierfläche 320 bildet, weist im Ausführungsbeispiel einen Hauptradius R von 50 mm und einen Nebenzradius r von 10 mm auf. Für diese Konfiguration kann der Hauptradius R ganz allgemeinen einen Wert zwischen 20 mm und 200 mm und der Nebenzradius r einen Wert zwischen 2 mm bis 50 mm annehmen. Vorzugsweise wird das Aspektverhältnis A zwischen 1,5 und 100, weiter vorzugsweise zwischen 2,5 und 40, höchst vorzugsweise zwischen 3 und 8 gewählt.

[0065] Die Mittenachsen A_{106} , A_{310} , A_{318} von Spindel 106, ringtorischer (Teil-)Oberfläche 312 des Trägers 310 und ringtorischer (Teil-)Oberfläche 318 des elastischen Körpers 314 sind wie im vorigen Ausführungsbeispiel identisch.

[0066] Als Werkstoffe für den starren Träger 310, den elastischen Körper 314 und den Polierbelag 316 können auch in dieser Konfiguration die im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel vorgeschlagenen Materialien verwendet werden.

[0067] Die Figur 4 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel eines mit einer Werkzeugspindel 106 verbundenen und von dieser rotatorisch in Drehrichtung ω_1 antreibbaren erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges 400. Dieses ringförmig-adaptive Polierwerkzeug 400 nach der Figur 4 umfasst wiederum einen starren Träger 410, der im vorliegenden Ausführungsbeispiel aus einer Welle 410a, die einendseitig mit der Werkzeugspindel 106 drehfest verbunden ist, und einen mit dieser andernendseitig drehfest verbundenen Hohlzylinder 410b. Das hohlzylinderförmige Ende 410b des starren Trägers 410 trägt an seinem der Brillenlinse zugewandten Ende eine ringtorische Geometrie 424.

[0068] Die Oberfläche des Hohlzylinders 410 weist ei-

ne nach innen weisende zylindermantelförmige Gestalt 410d und eine nach außen weisende zylindermantelförmige Gestalt 410c und die endseitige ringtorische Gestalt 424 auf. Die gesamte Oberfläche 410c, 410d, 424 des Hohlzylinders 410 ist von einem elastischen Körper 414 weitgehend konstanter Dicke umhüllt.

[0069] Der elastische Körper 414 weist an seiner der Spindel 106 zugewandten Seite einen zylindermantelförmigen Abschnitt 417 und an seinem der Brillenlinse zugewandten Seite einen ringtorischen Abschnitt 415 auf. Auf dem elastischen Körper 414 ist ein Polierbelag 416 angebracht. Diese Anordnung aus starrem Träger 410, elastischem Körper 414 und Polierbelag 416 bildet ebenfalls eine Polierlippe 428 analog den vorhergehenden Ausführungsbeispielen mit durch die Außenkontur des Polierbelags 416 gebildeter Polierfläche 420.

[0070] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel bedeckt der Polierbelag 416 die der Brillenlinsenfläche 104 zugewandte Seite des elastischen Körpers 414 vollständig. Es wäre jedoch auch möglich, nur den ringtorischen Abschnitt 415 des elastischen Körpers 414 mit einem Polierbelag 416 zu versehen. Wie in den Beispielen nach den Figuren 2 und 3 erstreckt sich das geschlossen ringtorische Flächensegment im dargestellten Längsschnitt über einen Winkel von 180° . Abweichend von den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen beträgt der Winkelanteil α_2 des radial nach außen gerichtete Ringtorussegments nur etwa 90° . Der Winkelanteil α_3 des radial nach innen gerichteten Ringtorussegments beträgt ebenfalls 90° . Das Ringtorussegment über beide Winkelanteile α_2 , α_3 ist der Achsrichtung des Ringtorus zugewandt. Da sich die in Richtung der Mittenachse A_{418} des Ringtorus gerichtete Teilschalenfläche über den Winkel $\alpha_2 + \alpha_3$ von 180° , also über die Hälfte des Vollwinkels, erstreckt, wird sie im Rahmen der vorliegenden Beschreibung als axial nach außen gerichtete ringtorische Halbschalenfläche bezeichnet.

[0071] Als Werkstoffe für den starren Träger 410, den elastischen Körper 414 und den Polierbelag 416 können auch in dieser Konfiguration die im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel vorgeschlagenen Materialien verwendet werden.

[0072] Der Ringtorus, dessen Teilfläche die ringtorische Polierfläche 420 bildet, weist im Ausführungsbeispiel einen Hauptradius R von 45 mm und einen Neb radius r von 10 mm auf. Für diese Konfiguration kann der Hauptradius R ganz allgemeinen einen Wert zwischen 20 mm und 200 mm und der Neb radius r einen Wert zwischen 2 mm bis 50 mm annehmen. Vorzugsweise wird das Aspektverhältnis A zwischen 1,5 und 100, weiter vorzugsweise zwischen 2,5 und 40, höchst vorzugsweise zwischen 3 und 8 gewählt.

[0073] Die Mittenachsen A_{106} , A_{410} , A_{418} von Spindel 106, ringtorischer (Teil-)Oberfläche 424 des Trägers 410 und ringtorischer (Teil-)Oberfläche 418 des elastischen Körpers 414 sind wie in den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen identisch.

[0074] Die Figur 5 zeigt ein fünftes Ausführungsbei-

spiel eines mit einer Werkzeugspindel 106 verbundenen und von dieser rotatorisch in Drehrichtung ω_1 antreibbaren erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges 500 sowie ein mit diesem bearbeitetes Brillenglas 504. Dieses Polierwerkzeug 500 eignet sich insbesondere zur Polierbearbeitung von konvexen Brillenlinsenoberflächen 522.

[0075] Das ringförmig-adaptive Polierwerkzeug 500 wird von der oben beschriebenen rotatorisch um ihre Mittenachse A_{106} angetriebenen Spindel 106 einer Bearbeitungsmaschine gehalten. Die Drehrichtung des rotatorischen Antriebs der Spindel 106 ist in der Figur 5 mit Hilfe des mit dem Bezugszeichen ω_1 gekennzeichneten Pfeils gekennzeichnet.

[0076] Das ringförmig-adaptive Polierwerkzeug 500 umfasst einen starren Träger 510, der im vorliegenden Ausführungsbeispiel einen Wellenabschnitt 510a, einen Kreisscheibenabschnitt 510b, einen Zylindermantelabschnitt 510c und einen Kreistringscheibenabschnitt 510d aufweist. Einendseitig ist der Wellenabschnitt 510a mit der Werkzeugspindel 106 drehfest verbunden. Anderendseitig schließt sich an den Wellenabschnitt 510a mittig der Kreisscheibenabschnitt 510b in drehfester Verbindung an. Außenumfangsseitig schließt an den Kreisscheibenabschnitt 510b der Zylindermantelabschnitt 510c mit einem Ende in drehfester Verbindung an. Das andere Ende des Zylindermantelabschnitts 510c geht in drehfester Verbindung in den äußeren Umfang des Kreistringscheibenabschnitts 510d über.

[0077] Innenumfangsseitig weist der Kreistringscheibenabschnitt 510d eine verrundete Randkontur einen Ringtorusabschnitt 512 bildend auf. Die Mittenachse A_{106} der Spindel 106 und die Mittenachse A_{510} des Ringtorusabschnitts 512 des Trägers 510 fallen zusammen. Auf dem Ringtorusabschnitt 512 ist ein elastischer Körper 514 angeordnet. Die Oberfläche 518 dieses elastischen Körpers 514 weist eine ringtorische Form auf. Auch diese Mittenachse A_{518} ist mit den vorstehend genannten Mittenachsen A_{106} , A_{510} identisch.

[0078] Auf den elastischen Körper 514 ist ein Polierbelag 516 vorzugsweise konstanter Dicke aufgebracht. Der elastische Körper 514 und der Polierbelag 516 sowie der Ringtorus 512 des Trägers 510 und der elastische Körper 514 sind jeweils mittels eines Klebstoffs 515 drehfest verbunden. Diese Anordnung aus Träger 510, elastischem Körper 514 und Polierbelag 516 bildet eine Polierlippe 528 mit durch die Außenkontur des Polierbelags 516 gebildeter Polierfläche 520.

[0079] Der starre Träger 510 kann aus einem metallischen Material, wie z.B. Aluminium, Kupfer oder Edelstahl, oder auch aus Kunststoff, wie z.B. Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polymethylmethacrylat (PMMA), Polyamid (PA), faserverstärktem Kunststoff, wie z.B. carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK), glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) etc., gefertigt sein.

[0080] Der elastische Körper 514 besteht aus einem Werkstoff, dessen Elastizitätsmodul vorzugsweise größer als $0,02 \text{ N/mm}^2$ ist. Als Werkstoff für den elastischen

Körper 514 kommen Elastomere wie z.B. Gummi, Kautschuk, insbesondere Polyurethan, Polyätherurethan oder dergleichen in Betracht.

[0081] Der Polierbelag 516 kann eine Polierfolie, ein technisches Textil, eine abrasive Beschichtung oder eine Kombination aus derartigen Materialien sein. Polierfolien zum Polieren von Brillenlinsen können z.B. aus Polyurethan bestehen oder Polyurethan als Bestandteil aufweisen. Eine mögliche Kombination könnte z.B. ein Polyurethanpolierbelag mit eingebetteten Diamantpartikeln sein. Die Dicke der Polierfolie beträgt im Allgemeinen in etwa 0,5 bis ca. 3,0 mm, die einer abrasiven Beschichtung ungefähr 0,5 bis 3,0 mm.

[0082] Die abschnittsweise ringtorisch ausgebildete Polierfläche 520 weist im vorliegenden Ausführungsbeispiel einen Hauptradius R von 20 mm und einen Nebenradius r von 10 mm auf. Damit ergibt sich ein Aspektverhältnis $A = R/r$ von 2. Auch für diese Konfiguration kann der Hauptradius R ganz allgemein einen Wert zwischen 20 und 200 mm und der Nebenradius r einen Wert zwischen 2 bis 50 mm annehmen. Vorzugsweise wird das Aspektverhältnis A zwischen 1,5 und 100, weiter vorzugsweise zwischen 2,5 und 40, höchst vorzugsweise zwischen 3 und 8 gewählt.

[0083] Die Polierfläche 520 bzw. der geschlossene Ringtorusabschnitt bzw. die ringförmige Teilschale erstreckt sich in dem in der Figur 5 dargestellten Längsschnitt längs der Mittenachse A_{106} , A_{510} , A_{518} über einen Winkel α_3 von etwa 180° . Da sich diese radial nach innen gerichtete Teilschalenfläche über die Hälfte des Vollwinkels erstreckt, wird sie im Rahmen der vorliegenden Beschreibung als radial nach innen gerichtete ringtorische Halbschalenfläche bezeichnet.

[0084] Die Figur 6 zeigt eine Variante des Ausführungsbeispiels nach der Figur 5. Gezeigt ist wiederum das Polierwerkzeug 600, das von der Spindel 106 rotierend um deren Mittenachse A_{106} antreibbar ist. Das Polierwerkzeug 600 hat eine abschnittsweise ringtorisch ausgebildete Polierfläche 620, die wie die Polierfläche 520 des Polierwerkzeugs 500 nach der Figur 5 ausgerichtet ist.

[0085] Die abschnittsweise ringtorisch ausgebildete Polierfläche 620 weist in dieser Variante einen Hauptradius R von 40 mm und einen Nebenradius r von 10 mm auf. Damit ergibt sich ein Aspektverhältnis $A = R/r$ von 4.

[0086] Die Figur 7 zeigt ein siebtes Ausführungsbeispiel eines mit einer Werkzeugspindel 106 verbundenen und von dieser rotatorisch in Drehrichtung ω_1 antreibbaren erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges 700. Dieses ringförmig-adaptive Polierwerkzeug 700 nach der Figur 7 umfasst wiederum einen starren Träger 710, der im vorliegenden Ausführungsbeispiel aus einer Welle 710a, die einseitig mit der Werkzeugspindel 106 drehfest verbunden ist und einem mit dieser andernseitig drehfest verbundenen Hohlzylinder 710b. Das hohlzylinderförmige Ende 710b des Trägers 710 ist an seinem der Brillenlinse zugewandten Ende als ebene Fläche 712 ausgebildet.

[0087] Auf die ebene Stirnfläche 712 des Hohlzylinders 710b ist ein elastischer Körper 714 aufgesetzt, der eine Hälfte eines Ringtorus bildet. Die ebene Ringfläche 714a des elastischen Körpers 714, d.h. der Ringtorushälfte, hat dieselbe Größe wie die ebene ringförmige Stirnfläche 712 des Hohlzylinders 710. Beide Flächen 714a, 712 sind mit Hilfe eines Klebstoffs 715 drehfest miteinander verklebt.

[0088] Auf dem elastischen Körper 714 befindet sich ein Polierbelag 716. Auch zwischen diesen beiden Flächen erfolgt die Fixierung mit Hilfe eines Klebstoffs 715. Diese Anordnung aus starrem Träger 710, elastischem Körper 714 und Polierbelag 716 bildet eine Polierlippe 728 analog den vorhergehenden Ausführungsbeispielen mit durch die Außenkontur des Polierbelags 716 gebildeter Polierfläche 720.

[0089] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel bedeckt der Polierbelag 716 die der Brillenlinsenfläche zugewandte Seite des elastischen Körpers 714 vollständig. Es wäre jedoch auch möglich, nur einen Teil des ringtorischen Abschnitts 714b des elastischen Körpers 714 oder auch Teile des starren Trägers 710 mit einem Polierbelag 716 zu versehen.

[0090] Als Werkstoffe für den starren Träger 710, den elastischen Körper 714 und den Polierbelag 716 können auch in dieser Konfiguration die im Zusammenhang mit den vorstehenden Ausführungsbeispielen vorgeschlagenen Materialien verwendet werden.

[0091] Der die ringtorische Polierfläche 720 bildende Ringtorus weist im Ausführungsbeispiel einen Hauptradius R von 50 mm und einen Nebenradius r von 25 mm auf. Für diese Konfiguration kann der Hauptradius R ganz allgemein einen Wert zwischen 20 mm und 200 mm und der Nebenradius r einen Wert zwischen 2 mm bis 50 mm annehmen. Vorzugsweise wird das Aspektverhältnis A zwischen 1,5 und 100, weiter vorzugsweise zwischen 2,5 und 40, höchst vorzugsweise zwischen 3 und 8 gewählt.

[0092] Die Mittenachsen A_{106} , A_{710} , A_{718} von Spindel 106, Hohlzylinder 710b des Trägers 710 und ringtorischer (Teil-)Oberfläche 714b des elastischen Körpers 714 fallen wie in den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen zusammen.

[0093] Die Figur 8 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 8000 zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen 802 in schematischer Darstellung. Bei dieser Vorrichtung 8000 handelt es sich um eine CNC-Bearbeitungsmaschine mit zwei charakteristischen Baugruppen BG81 und BG82. Die Baugruppe BG81 umfasst eine Spindel 806 zum Antrieb ω_1 eines Polierwerkzeuges 800 um die Rotationsachse A_{806} und eine (nicht im Einzelnen dargestellte) Schwenkeinrichtung zum Schwenken des Polierwerkzeuges 800 um eine von der Rotationsachse A_{806} abweichende Schwenkachse B_{806} . Die Schwenkbewegungsrichtungen sind in der Figur 8 mit dem mit dem Bezugszeichen Ω_1 gekennzeichneten Doppelpfeil dargestellt.

[0094] Die Schwenkbewegung der Baugruppe BG81 um die Schwenkachse B_{806} ist CNC gesteuert und dient zur optimalen Anstellung des Polierwerkzeugs 800. Diese kann während des Polierprozesses konstant oder der

[0095] Die zweite Baugruppe BG82 besitzt eine Aufnahme 803 für das zu bearbeitende Werkstück 801, einen ersten Linearantrieb 8104 mit einer ersten Linearachse L_{8104} für die Positionierung des Werkstücks 801 in X-Richtung und einen zweiten Linearantrieb 8204 mit einer senkrecht zur ersten Linearachse L_{8104} verlaufenden zweiten Linearachse L_{8204} für die Positionierung des Werkstücks 801 in Z-Richtung. Im Ausführungsbeispiel nach der Figur 8 steht die Schwenkachse B_{806} sowohl senkrecht auf der Rotationsachse A_{806} der Spindel 806 als auch auf den beiden Linearachsen L_{8104} , L_{8204} .

[0096] Als Polierwerkzeug 800 kann z.B. jede der unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 7 beschriebenen Polierwerkzeuge 100 bis 700 eingesetzt werden. Exemplarisch ist in der Figur 8 eine Ausführungsvariante entsprechend der Figur 1 skizziert.

[0097] Die Funktionsweise der Vorrichtung 8000 zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen 802 wird im weiteren unter Bezugnahme auf die Figuren 18 und 19 beschrieben.

[0098] Zunächst werden jedoch weitere Ausführungsbeispiele erfindungsgemäßer Vorrichtungen zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen und Gießformschalen zur Brillenlinsenherstellung beschrieben.

[0099] Die Figur 9 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 9000 zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen 902 in schematischer Darstellung. Bei dieser Vorrichtung 9000 handelt es sich wie bei der Vorrichtung 8000 nach der Figur 8 um eine CNC-Bearbeitungsmaschine mit zwei charakteristischen Baugruppen BG91 und BG92. Die Baugruppe BG91 ist identisch wie die Baugruppe BG81 ausgebildet.

[0100] Die zweite Baugruppe BG92 umfasst die vorstehend beschriebenen Bestandteile der Baugruppe BG82, die in der Figur 9 in entsprechender Weise mit den Bezugszeichen 903, 9104, 9204 versehen sind. Darüber hinaus ist im Ausführungsbeispiel nach der Figur 9 eine zusätzliche Schwenkeinrichtung zum Verschwenken der beiden Linearantriebe 9104 und 9204 um eine C_{904} -Achse vorgesehen, die eine rotatorische Positionierung Ω_2 des Brillenglases 901 erlaubt, um so eine in Abhängigkeit von der individuellen Brillenglasgeometrie optimierte Ausrichtung zur Schwenkbewegung Ω_1 der Baugruppe BG91 zu ermöglichen.

[0101] Als Polierwerkzeug 800 kann auch hier jede der unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 7 beschriebenen Polierwerkzeuge 100 bis 700 eingesetzt werden. Exemplarisch ist in der Figur 9 eine Ausführungsvariante entsprechend der Figur 1 skizziert.

[0102] Die Figur 10 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 10000 zur

Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen 1002 in schematischer Darstellung. Bei dieser Vorrichtung 10000 handelt es sich um eine CNC-Bearbeitungsmaschine mit den beiden charakteristischen Baugruppen BG101 und BG102. Die Baugruppe BG101 weist eine Spindel 1006 zum Antrieb eines Polierwerkzeuges 1000 um eine spindelachsmittige Rotationsachse A_{1006} auf. Die Baugruppe BG101 weist ferner einen Linearantrieb 10104 auf, mittels dessen die Spindel 1006 längs ihrer Mittenachse $A_{1006} = L_{1006}$ linear in X-Richtung verschoben werden kann.

[0103] Die zweite Baugruppe BG102 besitzt eine Aufnahme 1003 für ein zu bearbeitendes Werkstück 1001 und einen Linearantrieb 10204, um die Aufnahme 1003 längs einer Achse L_{10204} in Z-Richtung zu verschieben. Darüber hinaus ist im Ausführungsbeispiel nach der Figur 10 eine (hier im Linearantrieb 10204 realisierte) Schwenkeinrichtung 10204 vorgesehen, um das Werkstück 1001 um eine Schwenkachse B_{10204} zu verschwenken.

[0104] Die Figur 11 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 10100 zur Polierbearbeitung von Brillenlinsenoberflächen 1102 in schematischer Darstellung. Die Vorrichtung 10100 umfasst die beiden charakteristischen Baugruppen BG111 und BG112. Die Baugruppe BG111 ist wie die Baugruppe BG101 ausgebildet. Sie weist eine Spindel 1106 zum Antrieb eines Polierwerkzeuges 1100 um eine spindelachsmittige Rotationsachse A_{1106} auf. Die Baugruppe BG111 weist ferner einen Linearantrieb 11104 auf, mittels dessen die Spindel 1106 längs ihrer Mittenachse $A_{1106} = L_{1106}$ linear in X-Richtung verschoben werden kann.

[0105] Die zweite Baugruppe BG112 umfasst die Merkmale der Baugruppe BG102. Sie umfasst somit eine Aufnahme 1103 für ein zu bearbeitendes Werkstück 1101 und einen Linearantrieb 11204, um die Aufnahme 1103 längs einer Achse L_{11204} in Z-Richtung zu verschieben. Darüber hinaus ist im Ausführungsbeispiel nach der Figur 11 eine (hier im Linearantrieb 11204 realisierte) Schwenkeinrichtung 11204 vorgesehen, um das Werkstück 1101 um eine Schwenkachse B_{11204} zu verschwenken.

[0106] Wie die zweite Baugruppe BG92 nach der Figur 9 ist in der zweiten Baugruppe nach der Figur 11 eine zusätzliche Schwenkeinrichtung zum Verschwenken des Linearantriebs 11204 um eine C_{11204} -Achse vorgesehen, die eine rotatorische Positionierung Ω_2 des Brillenglases 1101 erlaubt, um so eine in Abhängigkeit von der individuellen Brillenglasgeometrie optimierte Ausrichtung zur Schwenkbewegung Ω_1 der Baugruppe BG111 zu ermöglichen.

[0107] Bei den weiteren Ausführungsbeispielen erfindungsgemäßer Vorrichtungen 10000, 10100 nach den Figuren 10 und 11 befindet sich also im Gegensatz zu den Darstellungen in den Figuren 8 und 9 die Schwenkachse jeweils in der zweiten, dem Werkstück zugeordneten Baugruppe.

[0108] Die Figuren 12 und 13 zeigen weitere Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung 10200, 10300. Prinzipiell entsprechen die Aufbauten den Anordnungen nach den Figuren 10 und 11, wobei hier die zweiten Baugruppen BG102, BG112 doppelt vorhanden sind und in den Figuren 12 und 13 als BG102a, 102b bzw. 112a, 112b bezeichnet sind, um so die gleichzeitige Bearbeitung von zwei Brillenlinsen zu ermöglichen. Alle Linear- und Schwenkantriebe können unabhängig voneinander angesteuert werden, um so die jeweiligen Werkstücke gleichzeitig und unabhängig von einander in linearer Richtung X1, X2, Z1, Z2 und Schwenkrichtung B1, B2, C1, C2 positionieren zu können. Es ist auch möglich, die zweiten Baugruppen BG102, BG112 mehr als zweimal vorzusehen und so die Anzahl simultan bearbeiteter Gläser zu erhöhen.

[0109] Die Figuren 14 a) und b) zeigen die geometrischen Eingriffsverhältnisse während des Bearbeitungsprozesses eines erfindungsgemäßen ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges 100 nach der Figur 1 bei einer Neigung γ_1 der Mittenachse A_{106} der das Polierwerkzeug 100 antreibenden Werkzeugspindel 106 gegenüber einer optischen Achse A_{104} der Brillenlinse 104 von 15° in schematischer Darstellung und zwar aus einer Ansicht von der Seite (Figur 14 a)) und in Draufsicht durch die Brillenlinse 104 hindurch (Figur 14 b)).

[0110] Die Figuren 15 bis 17 zeigen das ringförmig-adaptive Polierwerkzeug 100 nach der Figur 1 in denselben Ansichten bei unterschiedlichen Neigungen γ_2 , γ_3 , γ_4 gegenüber der optischen Achse A_{104} der Brillenlinse 104 von 30° , 45° und 60° .

[0111] Die Figuren 14 a), 15 a), 16 a), 17 a) sind so gezeichnet, als würde die ringförmige Form der Außenkontur des Polierbelags 116 des ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges 100 die Außenkontur 122 der Brillenlinse 104 durchdringen. Tatsächlich wird jedoch der elastische Körper 114 und damit der Polierbelag 116 deformiert und der Polierbelag 116 liegt (in erster Näherung innerhalb der jeweiligen Schnittlinien 1402, 1502, 1602 1702) flächig auf der Brillenlinsenoberfläche 122 auf.

[0112] Die jeweiligen Berührflächen sind in den Figuren 14 b), 15 b), 16 b), 17 b) mit den Bezugszeichen 1404, 1504, 1604, 1704 gekennzeichnet.

[0113] Die Figur 18 zeigt ein Flussdiagramm 1800 eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens zur Polierbearbeitung einer Brillenlinsenoberfläche.

[0114] In einem ersten Schritt 1801 wird eine mathematische Beschreibung der zu bearbeitenden Brillenlinsenoberfläche bereitgestellt.

[0115] In einem zweiten Schritt 1802, welcher auch vor dem ersten Schritt 1801 erfolgen kann, erfolgt ein Bereitstellen einer mathematischen Beschreibung des ringförmigen Abschnitts der Polierfläche des Polierwerkzeuges.

[0116] In einem dritten Schritt 1803 wird die gesamte Brillenlinsenoberfläche durch einen Bestfit-Ringtorus approximiert. Die Torusachse des Bestfit-Ringtorus wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel als die bevorzugte Vorschubrichtung des Polierwerkzeuges bestimmt.

Grundsätzlich ist es natürlich möglich, die Vorschubrichtung in anderer Weise festzulegen.

[0117] In einem vierten Schritt 1804 wird die Brillenlinsenoberfläche in Flächensegmente orthogonal zur Vorschubrichtung des Polierwerkzeuges unterteilt.

[0118] In einem fünften Schritt 1805 erfolgt eine Berechnung einer gemittelten Krümmung für jedes dieser Flächensegmente als Startpunkt der folgenden Iterationsrechnung.

[0119] Im sechsten Schritt 1806 erfolgt eine Iteration der idealen Werkzeugneigung für jedes dieser Flächensegmente.

[0120] In einem siebten optionalen Schritt 1807 kann die Werkzeugneigung und die Zustellung hinsichtlich der gewünschten lokalen Druckverteilung und somit der lokalen Abtragsleistung optimiert werden.

[0121] In einem achten Schritt 1808 werden die Daten für die Steuerung einer erfindungsgemäßen CNC-Bearbeitungsmaschine berechnet. Es kann grundsätzlich jede der in den Figuren 8 bis 13 dargestellten Maschinen verwendet werden. Insbesondere erfolgt ein Berechnen der CNC-Daten für den kompletten Polierablauf mit kontinuierlicher, flächensegmentabhängiger Werkzeugneigung und Zustellbewegung. Im Grenzfall kann die gesamte zu polierende Fläche als ein einziges Flächensegment der weiteren Berechnung zugrunde gelegt werden, wodurch sich die oben genannten Berechnungsschritte 1804 bis 1808 entsprechend vereinfachen.

[0122] Die Figur 19 zeigt ein Flussdiagramm zur Darstellung von Optimierungsalgorithmen, welche einzeln, in einer Auswahl oder in einer vollumfänglichen Kombination bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Polierbearbeitung einer Brillenlinsenoberfläche oder einer Gießformschale zur Brillenlinsenherstellung des ersten Ausführungsbeispiels nach der Figur 18 realisiert sein können.

[0123] Insbesondere kann der Verfahrensschritt 1806 nach der Figur 18 folgende Optimierungsalgorithmen enthalten:

Ein Teilschritt des Verfahrensschritts 1806, welcher in der Figur 19 mit dem Bezugszeichen 1806a gekennzeichnet ist, kann ein Sicherstellen umfassen, dass jedes annähernd nierenförmige Segmentflächenelement vollständig durch das ringförmig-adaptive Polierwerkzeug berührend überstrichen wird

[0124] Ein Teilschritt des Verfahrensschritts 1806, welcher in der Figur 19 mit dem Bezugszeichen 1806b gekennzeichnet ist, kann ein Sicherstellen umfassen, dass die Kompression des ringförmig-adaptiven Polierwerkzeuges, insbesondere die Deformation des elastischen Körpers in jedem Oberflächenpunkt der Brillenlinse innerhalb definierter Grenzwerte liegt.

[0125] Ein Teilschritt des Verfahrensschritts 1806, welcher in der Figur 19 mit dem Bezugszeichen 1806b gekennzeichnet ist, kann eine Optimierung der Werkzeugneigung in der Art sein, dass innerhalb der Segmentflä-

chenelemente ein vorgegebener Mittelwert der Kompression erreicht wird und gleichzeitig die Differenzen der Kompressionswerte minimal werden.

[0126] Ein weiterer Teilschritt 1806d kann eine Optimierung der Vorschubgeschwindigkeit entlang des großen Torusradius (Hauptradius) sein, so dass die durch Werkzeugneigungsänderung hervorgerufenen Verweilzeitunterschiede kompensiert werden.

[0127] Ein anderer Teilschritt 1806e kann eine Optimierung der Kompressionswerte des Polierwerkzeugs durch Änderung der Werkzeugneigung, um lokale, zum Beispiel verweilzeitbedingte Abtragsinhomogenitäten auszugleichen.

[0128] Schließlich kann ein Teilschritt 1806f auch in einer empirisch gestützten Vorhaltrechnung von Werkzeugneigung, Vorschüben und Zustellung bestehen.

Patentansprüche

1. Polierwerkzeug (100) für Oberflächen von Brillenlinsen und Gießformschalen für Brillenlinsen mit einer einen starren Körper (110) umfassenden Polierlippe (118) mit einer Polierfläche (120), die wenigstens einen geschlossen ringtorischen Abschnitt aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Körper als Träger (110) ausgebildet ist und dass auf dem Träger (110) ein elastischer Körper (114) und ein Polierbelag (116) angeordnet sind.
2. Polierwerkzeug (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der geschlossen ringtorische Abschnitt der Polierfläche (120) einen Ringtorushalbmesser (R) und einen Lippenradius (r) aufweist und dass ein aus dem Quotienten aus dem Ringtorushalbmesser (R) und dem Lippenradius (r) gebildetes Aspektverhältnis (A) einen Wert zwischen 2 und 100, vorzugsweise zwischen 2,5 und 40, höchst vorzugsweise zwischen 3 und 8 aufweist.
3. Polierwerkzeug (100) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ringtorushalbmesser (R) zwischen 20 und 200 mm, höchst vorzugsweise zwischen 30 und 80 mm und einen Lippenradius (r) zwischen 2 und 50 mm, höchst vorzugsweise zwischen 5 und 20 mm aufweist.
4. Polierwerkzeug (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der starre Träger (110) einen geschlossen ringtorischen Außenkonturabschnitt aufweist, auf der der elastische Körper (114) angeordnet ist und dass der elastische Körper (114) eine konstante Dicke (d) aufweist.
5. Polierwerkzeug (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der starre Träger (110) einen hohlzylinderförmigen

Abschnitt mit einer ebenen Stirnfläche (112) aufweist, auf der der elastische Körper (114) angeordnet ist und dass der elastische Körper (114) einen geschlossen ringtorischen Außenkonturabschnitt aufweist.

6. Polierwerkzeug (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der geschlossen ringtorische Abschnitt der Polierfläche (120) eine radial nach außen gerichtete ringtorische Halbschalenfläche oder eine radial nach innen gerichtete ringtorische Halbschalenfläche aufweist.
7. Verfahren (1100) zur Polierbearbeitung einer Brillenlinsenoberfläche (122) oder einer Gießformschalenoberfläche mit einem Polierwerkzeug (100) mit einer einen starren Körper (110) umfassenden Polierlippe (118) mit einer Polierfläche (120), die wenigstens einen geschlossen ringtorischen Abschnitt aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der starre Körper (110) als Träger ausgebildet ist und dass auf dem starren Träger (110) ein elastischer Körper (114) und ein Polierbelag (116) angeordnet sind.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polierwerkzeug (100) und die Brillenlinsenoberfläche (122) oder die Gießformschalenoberfläche derart relativ zueinander bewegt werden, dass der elastische Körper (114) deformiert wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polierwerkzeug (100) und die Brillenlinsenoberfläche (122) oder die Gießformschalenoberfläche derart relativ zueinander bewegt werden, dass die Polierfläche (120) auf der Brillenlinsenoberfläche (122) oder die Gießformschalenoberfläche streifen- oder nierenförmig aufliegt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Geometrie der Polierfläche (120) und die Geometrie der Brillenlinsenoberfläche (122) oder der Gießformschalenoberfläche für die momentane Relativbewegung der Polierfläche (120) zur Brillenlinsenoberfläche (122) oder der Gießformschalenoberfläche berücksichtigt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Geometrie der Polierfläche (120) und/oder die Geometrie der Brillenlinsenoberfläche (122) oder der Gießformschalenoberfläche in Form einer mathematischen Beschreibung bereitgestellt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekenn-**

zeichnet, dass die Geometrie der Brillenlinsenoberfläche (122) oder der Gießformschalenoberfläche durch wenigstens ein torisches Flächensegment approximiert wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polierwerkzeug (100) die Brillenlinsenoberfläche (122) oder die Gießformschalenoberfläche mit der Polierlippe (118) an einer Berührfläche (704, 804, 904, 1004) berührend über die Brillenlinsenoberfläche (122) oder die Gießformschalenoberfläche geführt wird und dass eine Neigung des Polierwerkzeuges (100) gegenüber der Brillenlinsenoberfläche (122) oder der Gießformschalenoberfläche unter Minimierung der Unterschiede der Deformation des elastischen Körpers (114) innerhalb der Berührfläche eingestellt wird.
14. Vorrichtung (600) zur Polierbearbeitung einer Brillenlinsenoberfläche (122) oder einer Gießformschalenoberfläche mit einem Polierwerkzeug (100) mit einer einen starren Körper (110) umfassenden Polierlippe (118) mit einer Polierfläche (120), die wenigstens einen geschlossen ringtorischen Abschnitt aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der starre Körper (110) als Träger ausgebildet ist und dass auf dem starren Träger (110) ein elastischer Körper (114) und ein Polierbelag (116) angeordnet sind.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Führungseinrichtung vorgesehen ist, um das Polierwerkzeug (100) den elastischen Körper (114) deformierend über die Brillenlinsenoberfläche (122) oder die Gießformschalenoberfläche zu führen.

Claims

1. Polishing tool (100) for surfaces of spectacle lenses and casting mould shells for spectacle lenses, with a polishing lip (118) which comprises a rigid body (110) and has a polishing face (120) which has at least one uninterruptedly annular toric portion, **characterized in that** the body is designed as a support (110), and **in that** an elastic body (114) and a polishing covering (116) are arranged on the support (110).
2. Polishing tool (100) according to Claim 1, **characterized in that** the uninterruptedly annular toric portion of the polishing face (120) has an annular torus radius (R) and a lip radius (r), and **in that** an aspect ratio (A) formed from the quotient of the annular torus radius (R) and the lip radius (r) has a value of between 2 and 100, preferably of between 2.5 and 40, most preferably of between 3 and 8.

3. Polishing tool (100) according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the annular torus radius (R) of between 20 and 200 mm, most preferably of between 30 and 80 mm, and a lip radius (r) of between 2 and 50 mm, most preferably of between 5 and 20 mm has.
4. Polishing tool (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** the rigid support (110) has an uninterruptedly annular toric outer contour portion on which the elastic body (114) is arranged, and **in that** the elastic body (114) has a constant thickness (d).
5. Polishing tool (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** the rigid support (110) has a hollow cylindrical portion with a plane end face (112) on which the elastic body (114) is arranged, and **in that** the elastic body (114) has an uninterruptedly annular toric outer contour portion.
6. Polishing tool (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** the uninterruptedly annular toric portion of the polishing face (120) has a radially outwardly directed annular toric half-shell face or a radially inwardly directed annular toric half-shell face.
7. Method (1100) for polishing a spectacle lens surface (122) or a casting mould shell surface using a polishing tool (110) with a polishing lip (118) which comprises a rigid body (110) and has a polishing face (120) which has at least one uninterruptedly annular toric portion, **characterized in that** the rigid body (110) is designed as a support, and **in that** an elastic body (114) and a polishing covering (116) are arranged on the rigid support (110).
8. Method according to Claim 7, **characterized in that** the polishing tool (100) and the spectacle lens surface (122) or the casting mould shell surface are moved relative to each other in such a way that the elastic body (114) is deformed.
9. Method according to either of Claims 7 and 8, **characterized in that** the polishing tool (100) and the spectacle lens surface (122) or the casting mould shell surface are moved relative to each other in such a way that the polishing face (120) lies on the spectacle lens surface (122) or the casting mould shell surface in a strip shape or kidney shape.
10. Method according to one of Claims 7 to 9, **characterized in that** the geometry of the polishing face (120) and the geometry of the spectacle lens surface (122) or of the casting mould shell surface are taken into account for the instantaneous relative movement of the polishing face (120) with respect to the

spectacle lens surface (122) or the casting mould shell surface.

11. Method according to Claim 10, **characterized in that** the geometry of the polishing face (120) and/or the geometry of the spectacle lens surface (122) or of the casting mould shell surface are/is made available in the form of a mathematical description. 5
12. Method according to Claim 11, **characterized in that** the geometry of the spectacle lens surface (122) or of the casting mould surface is approximated by at least one toric areal segment. 10
13. Method according to one of Claims 8 to 12, **characterized in that** the polishing tool (100), with the polishing lip (118) touching the spectacle lens surface (122) or the casting mould shell surface at a contact face (704, 804, 904, 1004), is guided across the spectacle lens surface (122) or the casting mould shell surface, and **in that** an inclination of the polishing tool (100) with respect to the spectacle lens surface (122) or the casting mould shell surface is adjusted to minimize the differences in the deformation of the elastic body (114) within the contact face. 15 20 25
14. Device (600) for polishing a spectacle lens surface (122) or a casting mould shell surface, having a polishing tool (110) with a polishing lip (118) which comprises a rigid body (110) and has a polishing face (120) which has at least one uninterruptedly annular toric portion, **characterized in that** the rigid body (110) is designed as a support, and **in that** an elastic body (114) and a polishing covering (116) are arranged on the rigid support (110). 30 35
15. Device according to Claim 14, **characterized in that** a guide mechanism is provided in order to guide the polishing tool (100) across the spectacle lens surface (122) or the casting mould shell surface in a manner deforming the elastic body (114). 40

Revendications

1. Outil de polissage (100) pour des surfaces de verres de lunettes et de coques de moulage pour des verres de lunettes avec une lèvre de polissage (118) comprenant un corps rigide (110), avec une face de polissage (120), qui présente au moins une partie torique annulaire fermée, **caractérisé en ce que** le corps est réalisé en forme de support (110) et **en ce qu'un** corps élastique (114) et une garniture de polissage (116) sont disposés sur le support (110). 45 50
2. Outil de polissage (100) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la partie torique annulaire fermée de la face de polissage (120) présente un 55

rayon de tore annulaire (R) et un rayon de lèvre (r) et **en ce qu'un** rapport d'élançement (A) formé par le quotient du rayon de tore annulaire (R) et du rayon de lèvre (r) présente une valeur comprise entre 2 et 100, de préférence entre 2,5 et 40, et de préférence encore entre 3 et 8.

3. Outil de polissage (100) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le rayon de tore annulaire (R) entre 20 et 200 mm, de préférence encore entre 30 et 80 mm, et un rayon de lèvre (r) entre 2 et 50 mm, de préférence encore entre 5 et 20 mm présente. 5
4. Outil de polissage (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le support rigide (110) présente une partie de contour extérieur torique annulaire fermée, sur laquelle le corps élastique (114) est disposé et **en ce que** le corps élastique (114) présente une épaisseur constante (d). 15 20
5. Outil de polissage (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le support rigide (110) présente une partie cylindrique creuse avec une face frontale plane (112), sur laquelle le corps élastique (114) est disposé et **en ce que** le corps élastique (114) présente une partie de contour extérieur torique annulaire fermée. 25 30
6. Outil de polissage (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la partie torique annulaire fermée de la face de polissage (120) présente une face de demi-coque torique annulaire orientée radialement vers l'extérieur ou une face de demi-coque torique annulaire orientée radialement vers l'intérieur. 35 40
7. Procédé (1100) pour le polissage d'une surface de verres de lunettes (122) ou d'une surface de coques de moulage avec un outil de polissage (100) avec une lèvre de polissage (118) comprenant un corps rigide (110), avec une face de polissage (120), qui présente au moins une partie torique annulaire fermée, **caractérisé en ce que** le corps rigide (110) est réalisé en forme de support et **en ce qu'un** corps élastique (114) et une garniture de polissage (116) sont disposés sur le support rigide (110). 45 50
8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** l'on déplace l'outil de polissage (100) et la surface du verre de lunettes (122) ou la surface de la coque de moulage l'un par rapport à l'autre, de telle manière que le corps élastique (114) soit déformé. 55
9. Procédé selon une des revendications 7 ou 8, **caractérisé en ce que** l'on déplace l'outil de polissage (100) et la surface du verre de lunettes (122) ou la

surface de la coque de moulage l'un par rapport à l'autre, de telle manière que la face de polissage (120) s'applique sur la surface du verre de lunettes (122) ou sur la surface de la coque de moulage en forme de bande ou en forme de rein.

5

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, **caractérisé en ce que** l'on tient compte de la géométrie de la face de polissage (120) et de la géométrie de la surface du verre de lunettes (122) ou de la surface de la coque de moulage pour le mouvement relatif instantané de la face de polissage (120) par rapport à la surface du verre de lunettes (122) ou à la surface de la coque de moulage. 10
11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** l'on prépare la géométrie de la face de polissage (120) et/ou la géométrie de la surface du verre de lunettes (122) ou de la surface de la coque de moulage sous la forme d'une description mathématique. 20
12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** l'on approche la géométrie de la surface du verre de lunettes (122) ou de la surface de la coque de moulage par au moins un segment de surface torique. 25
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 12, **caractérisé en ce que** l'on guide l'outil de polissage (100) touchant la surface du verre de lunettes (122) ou la surface de la coque de moulage avec la lèvre de polissage (118) sur une face de contact (704, 804, 904, 1004) sur la surface du verre de lunettes (122) ou sur la surface de la coque de moulage et **en ce que** l'on règle une inclinaison de l'outil de polissage (100) par rapport à la surface du verre de lunettes (122) ou à la surface de la coque de moulage en minimisant les différences de la déformation du corps élastique (114) à l'intérieur de la face de contact. 30
35
40
14. Dispositif (600) de polissage d'une surface de verres de lunettes (122) ou d'une surface de coques de moulage avec un outil de polissage (100) avec une lèvre de polissage (118) comprenant un corps rigide (110), avec une face de polissage (120) qui présente au moins une partie torique annulaire fermée, **caractérisé en ce que** le corps rigide (110) est réalisé en forme de support et **en ce qu'**un corps élastique (114) et une garniture de polissage (116) sont disposés sur le support rigide (110). 45
50
15. Dispositif selon la revendication 14, **caractérisé en ce qu'**il est prévu un dispositif de guidage, pour guider l'outil de polissage (100) en déformant le corps élastique (114) sur la surface du verre de lunettes (122) ou sur la surface de la coque de moulage. 55

FIG.1

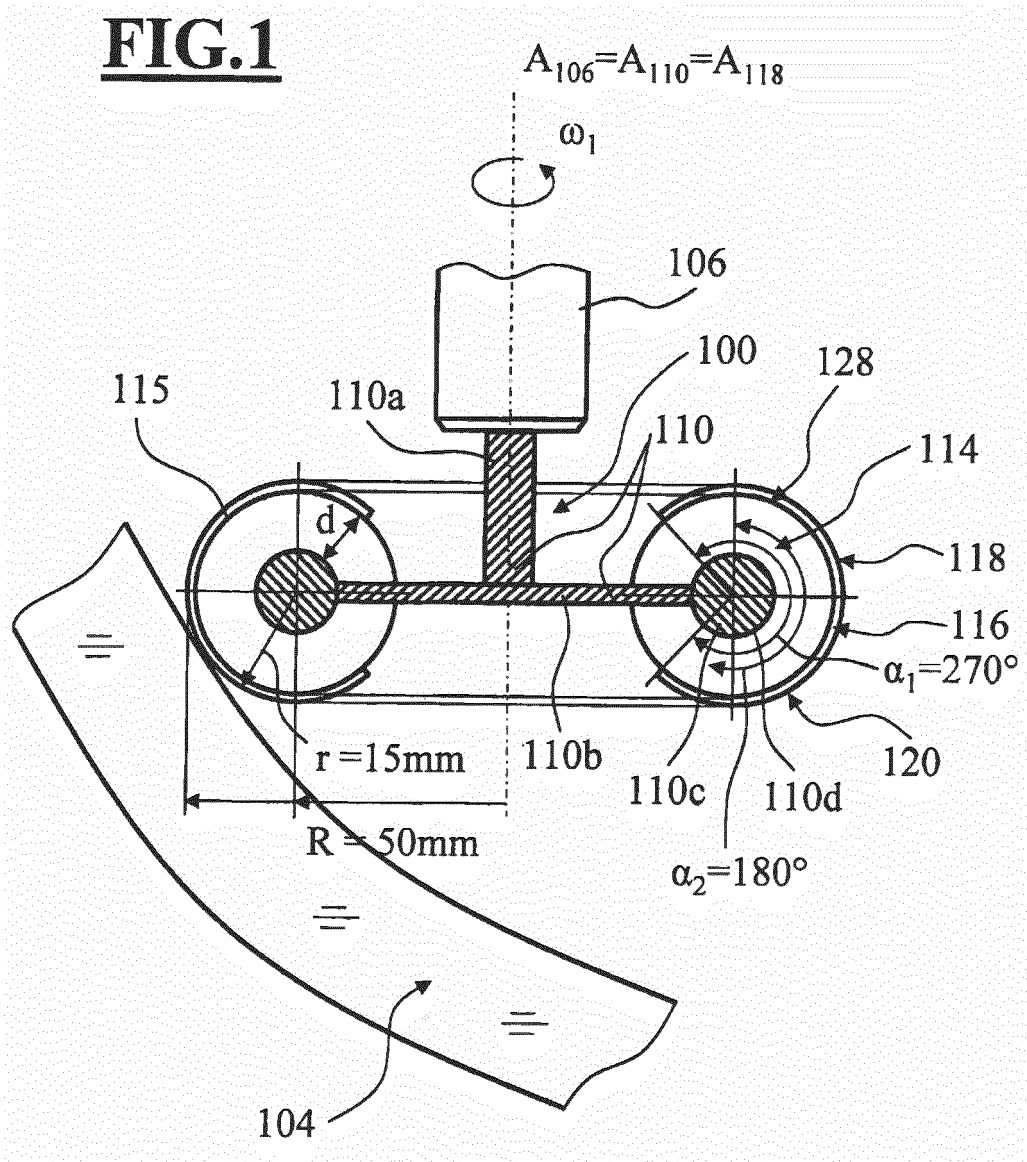


FIG.2

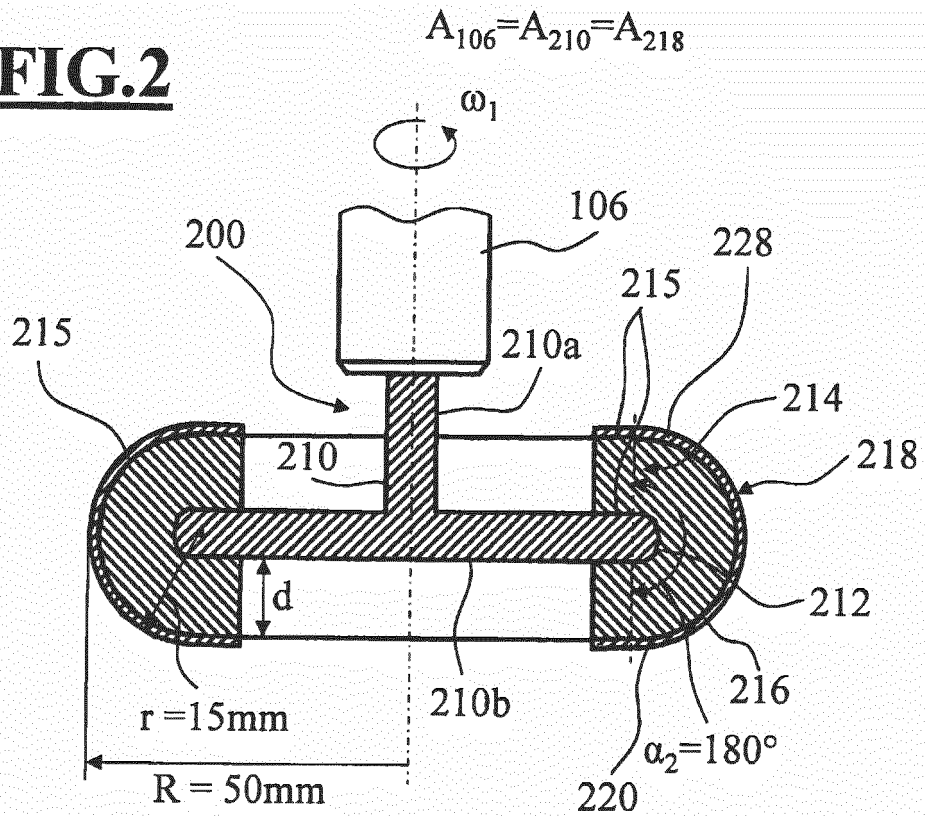


FIG.3

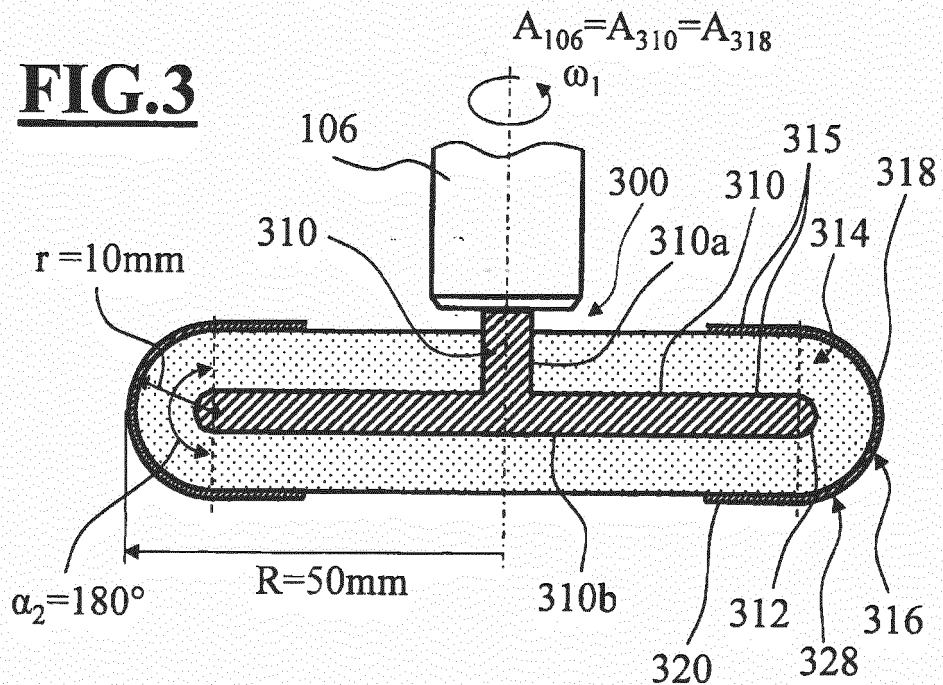


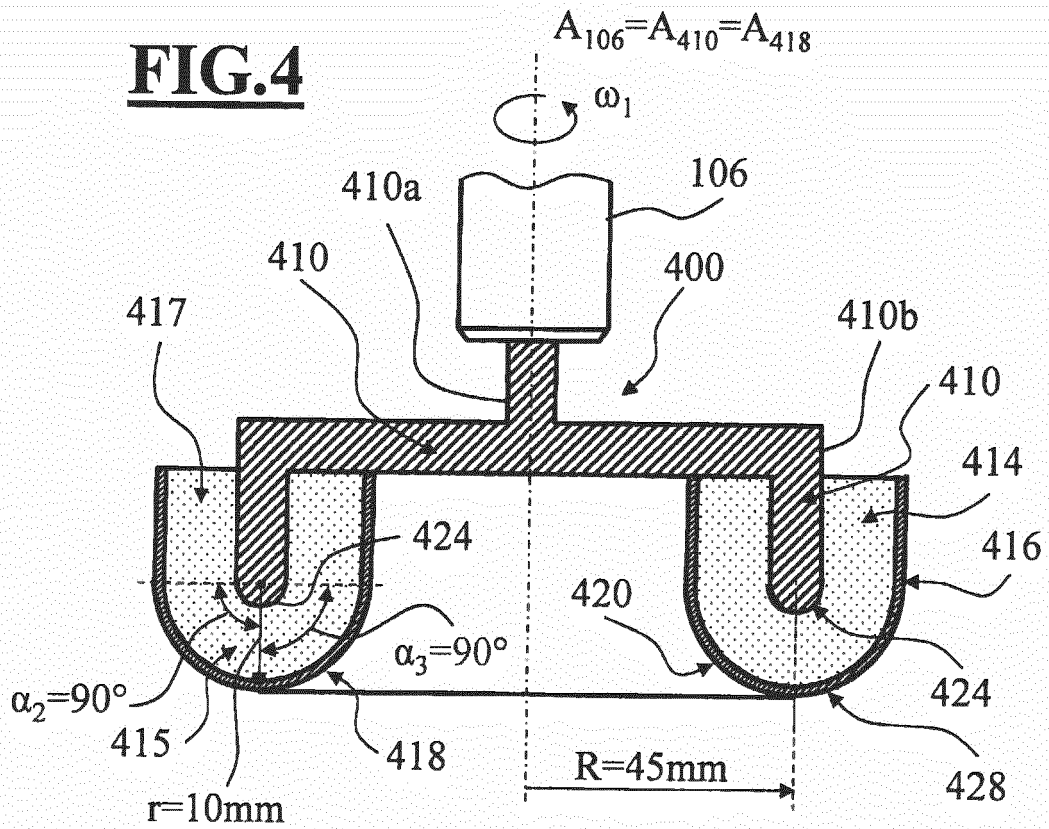
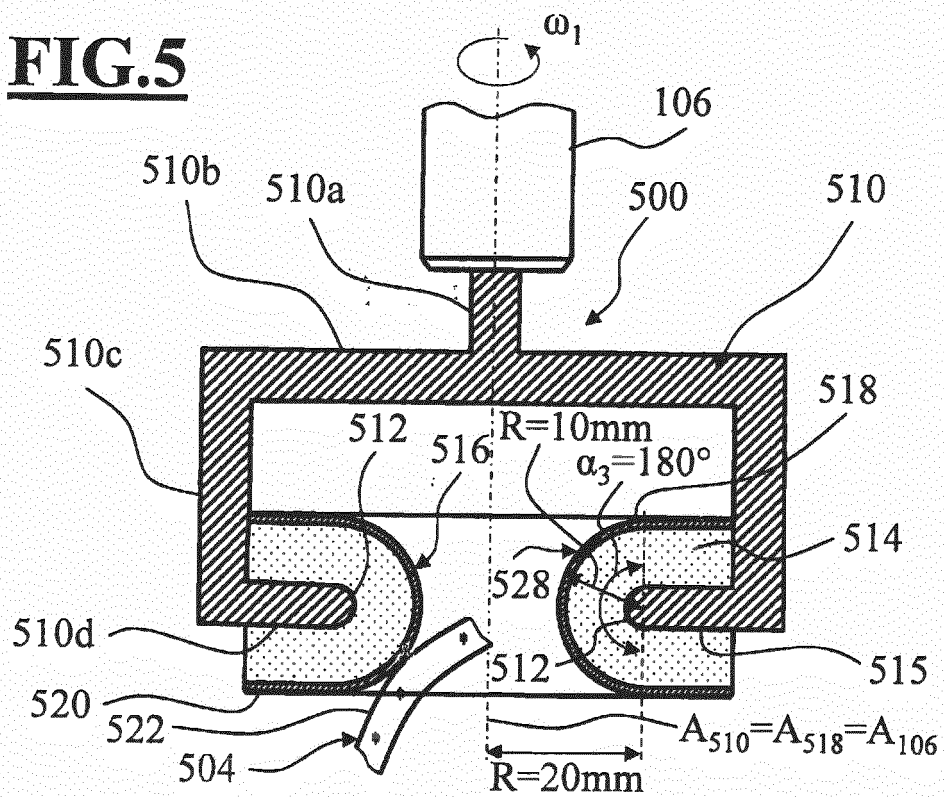
FIG.4**FIG.5**

FIG.6

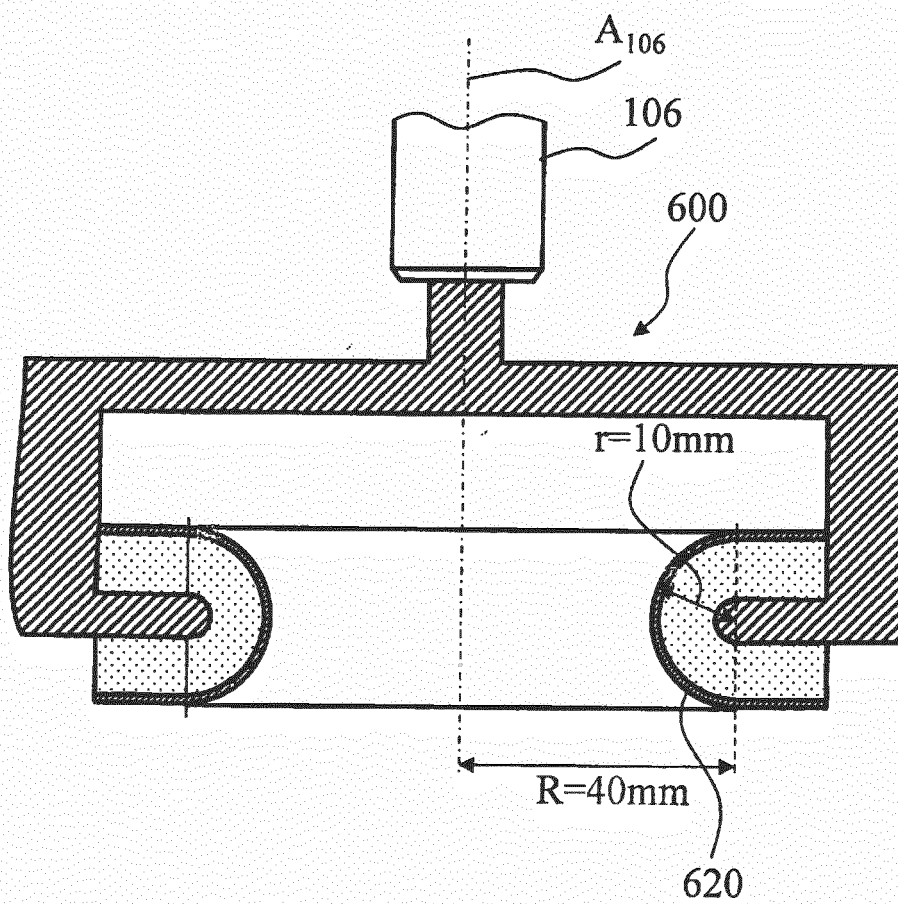


FIG. 7

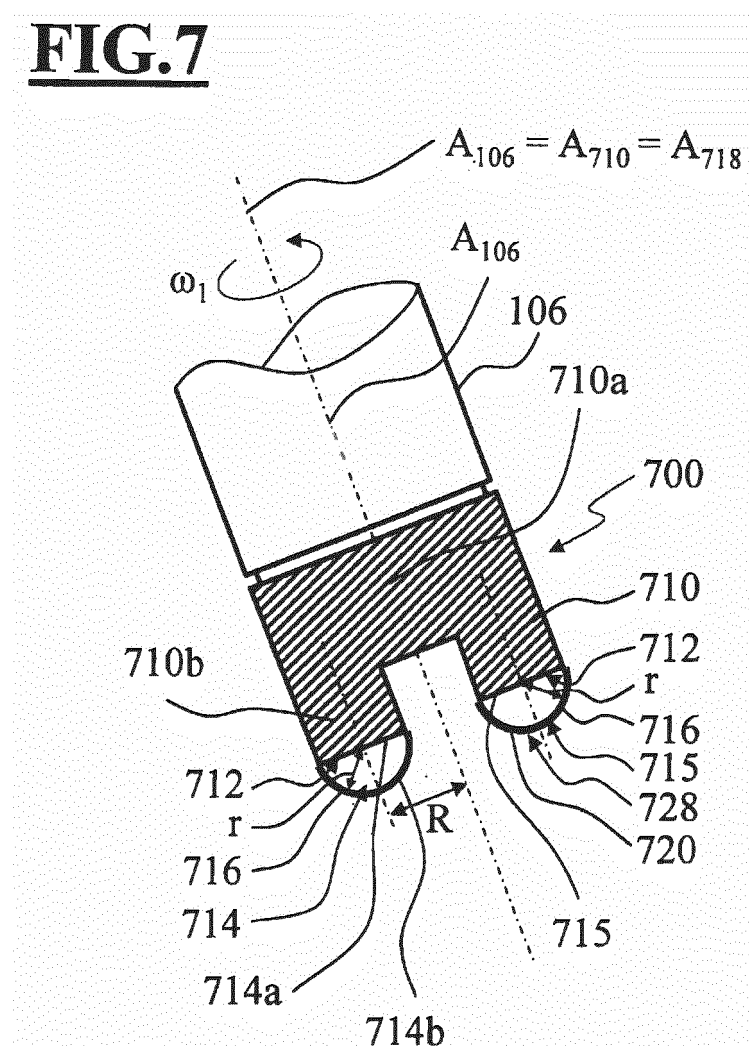


FIG.8

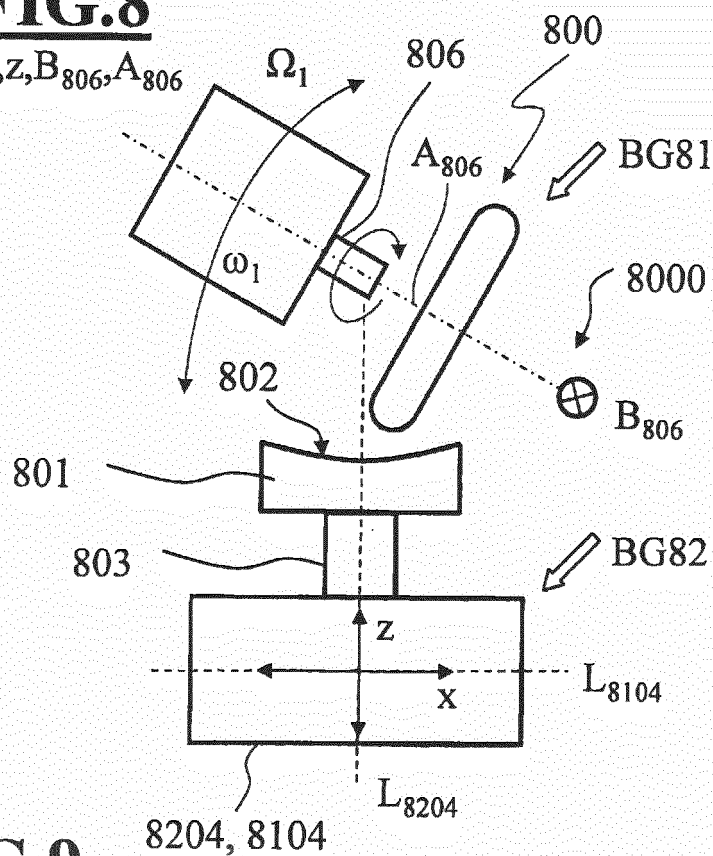
 x, z, B_{806}, A_{806} 

FIG. 9

x,z,B₉₀₆,C₉₀₆,A₉₀₆

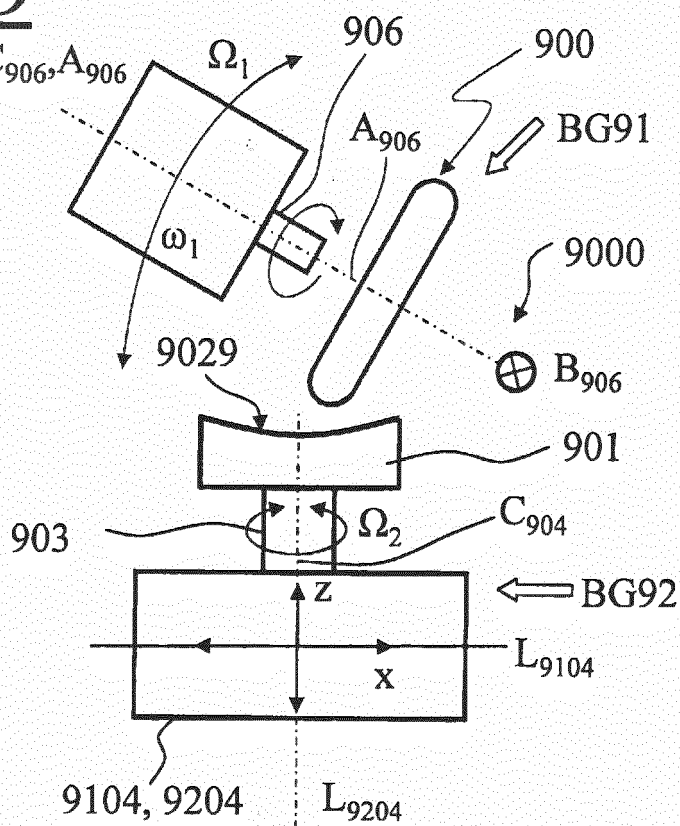


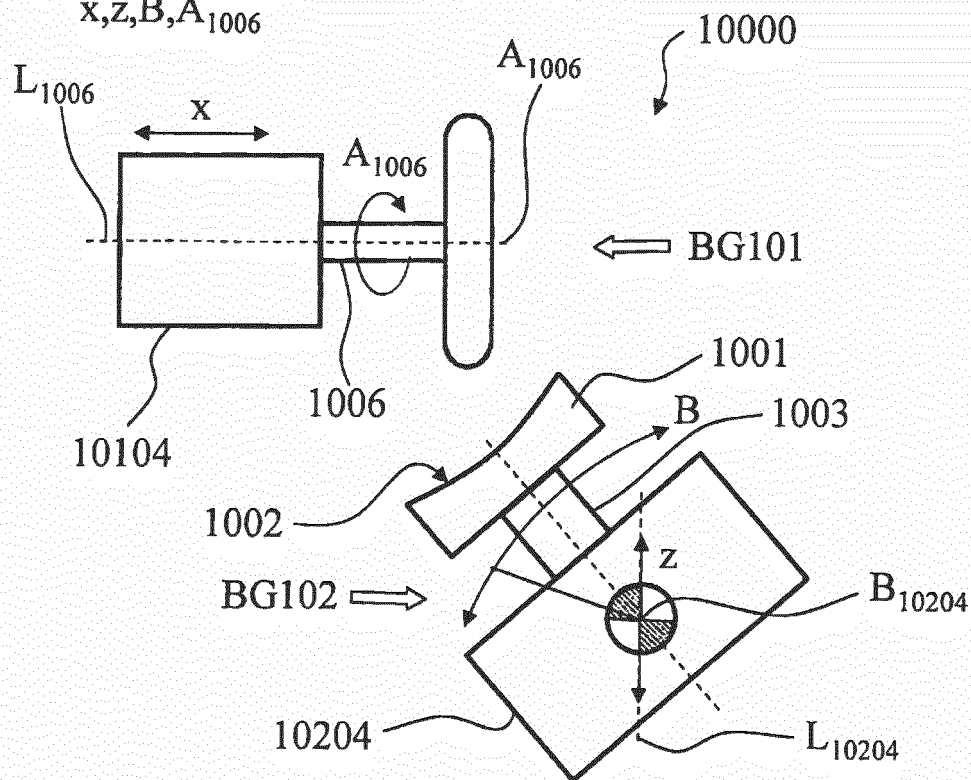
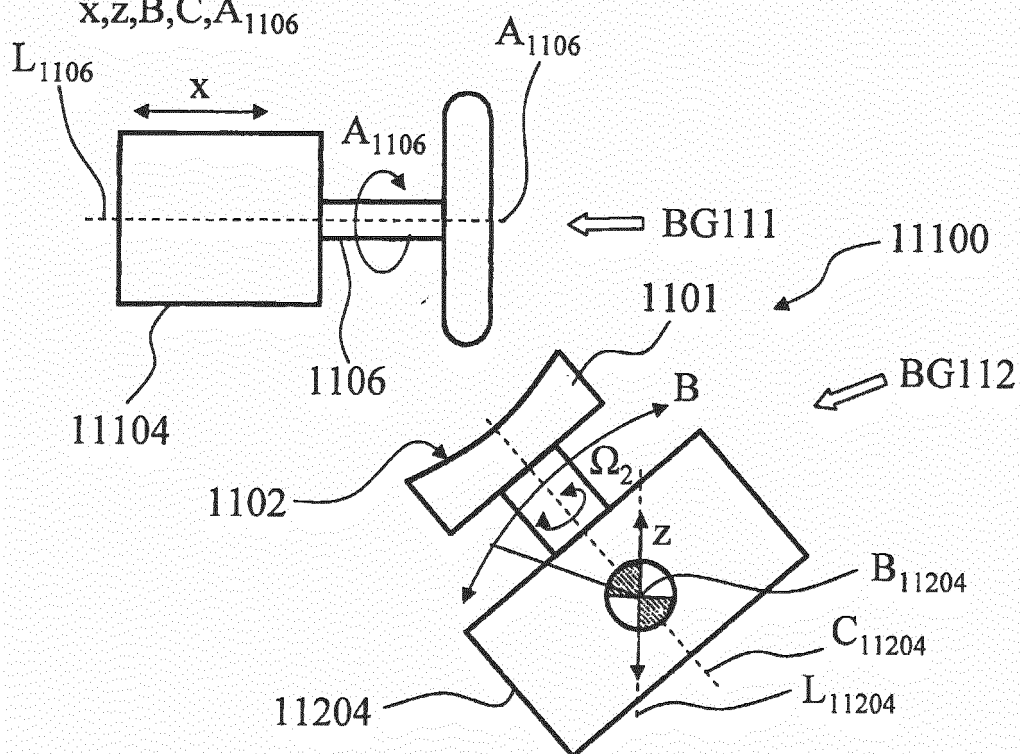
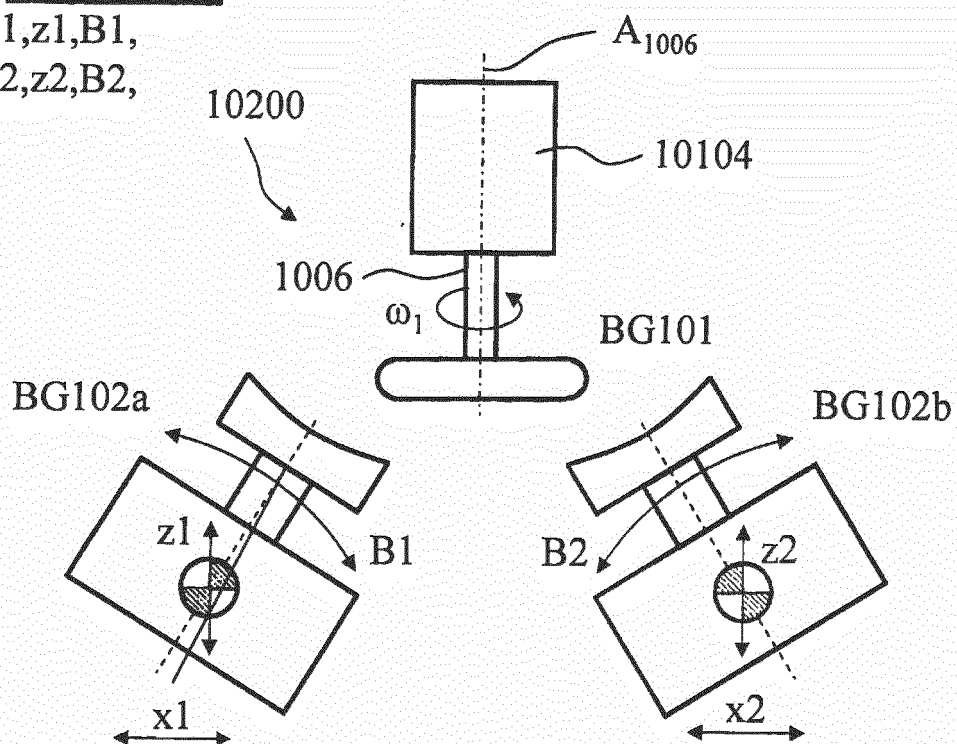
FIG.10 x, z, B, A_{1006} **FIG.11** x, z, B, C, A_{1106} 

FIG.12

$x_1, z_1, B_1,$
 $x_2, z_2, B_2,$

**FIG.13**

X_1, Z_1, B_1, C_1
 X_2, Z_2, B_2, C_2

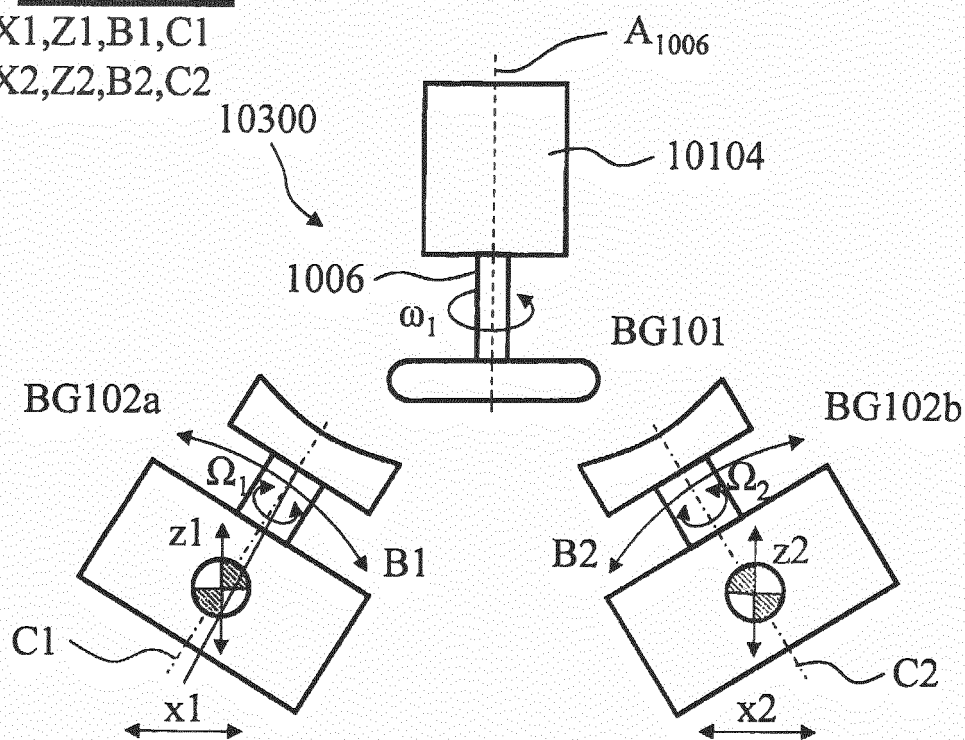


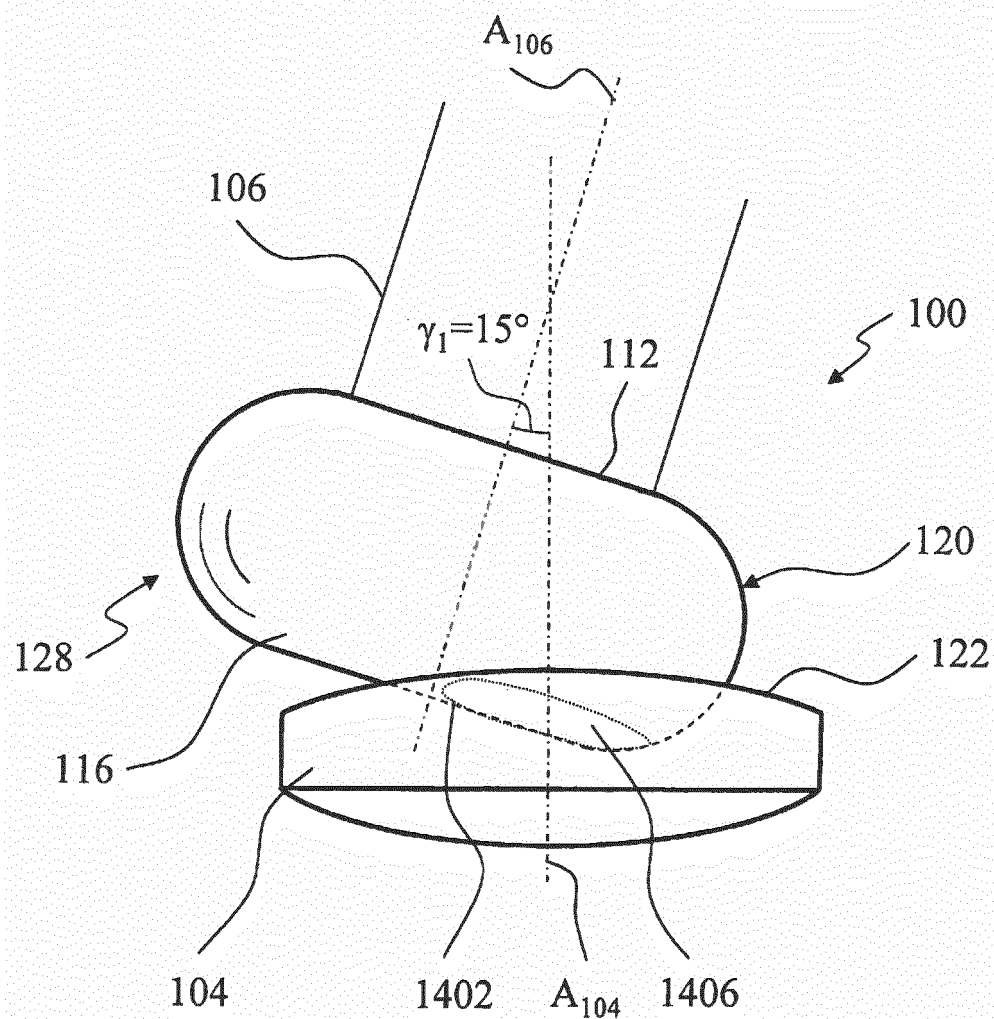
FIG.14a

FIG.14b

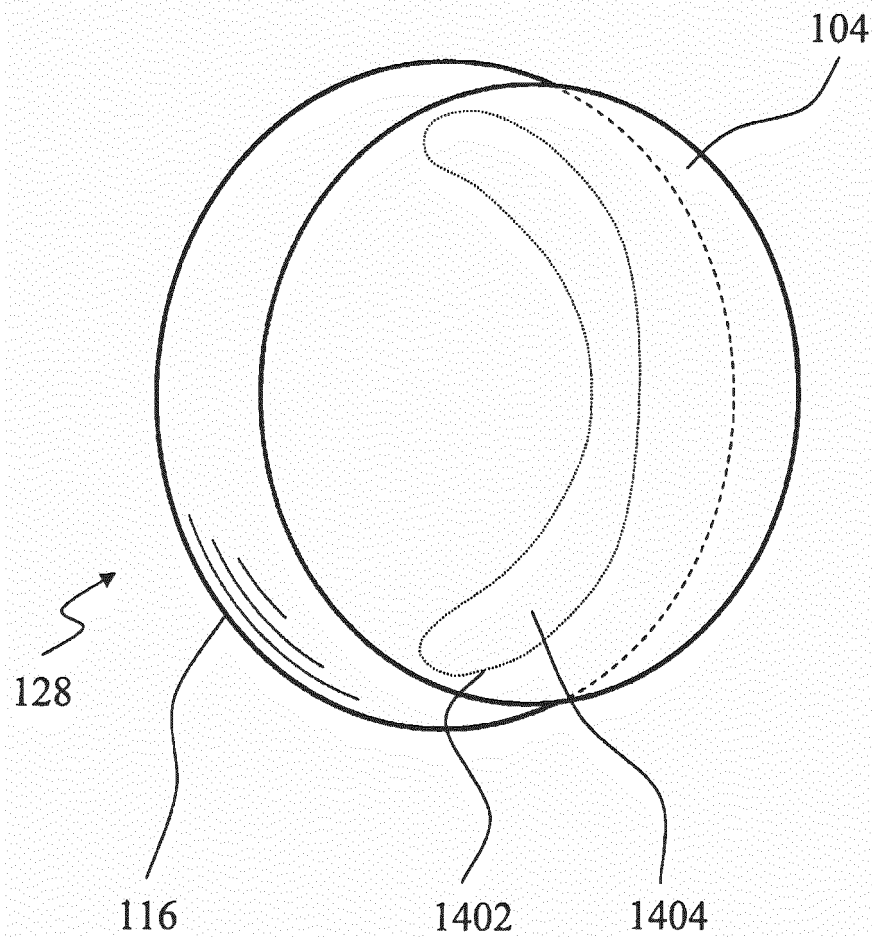


FIG.15a

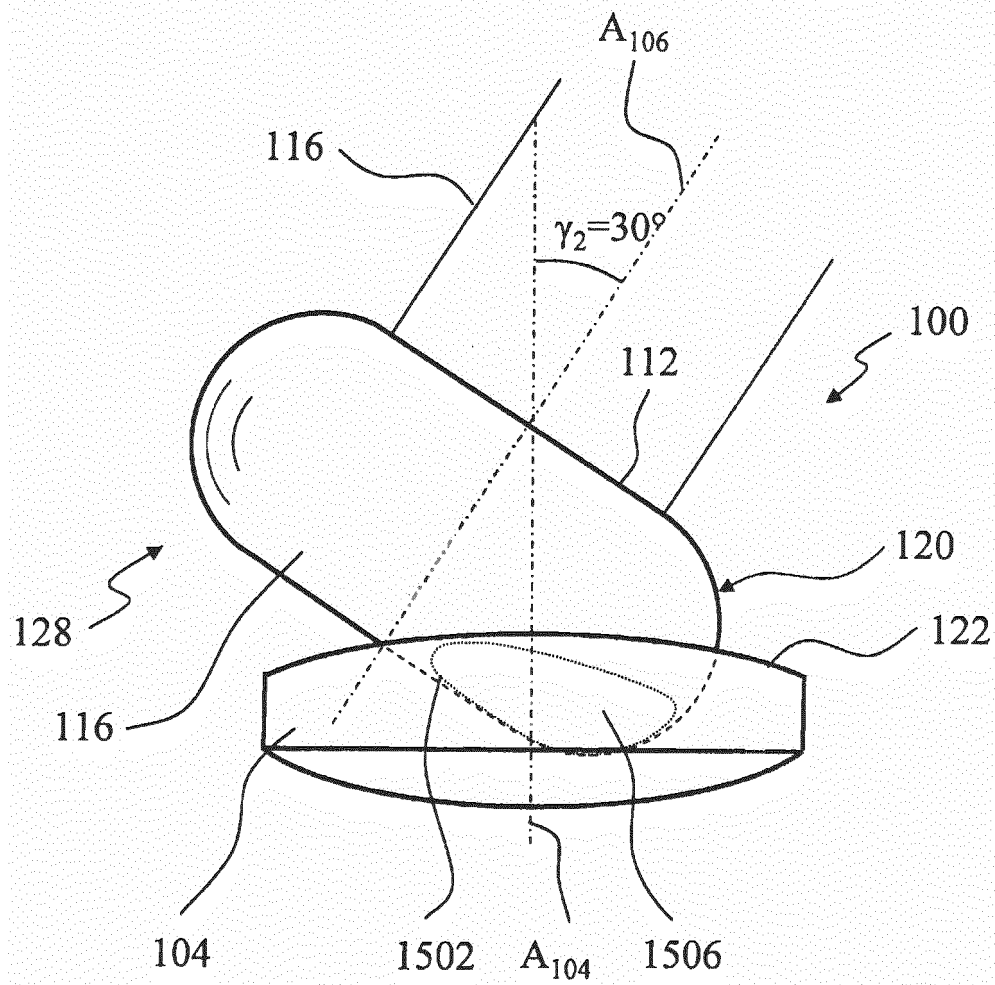


FIG.15b

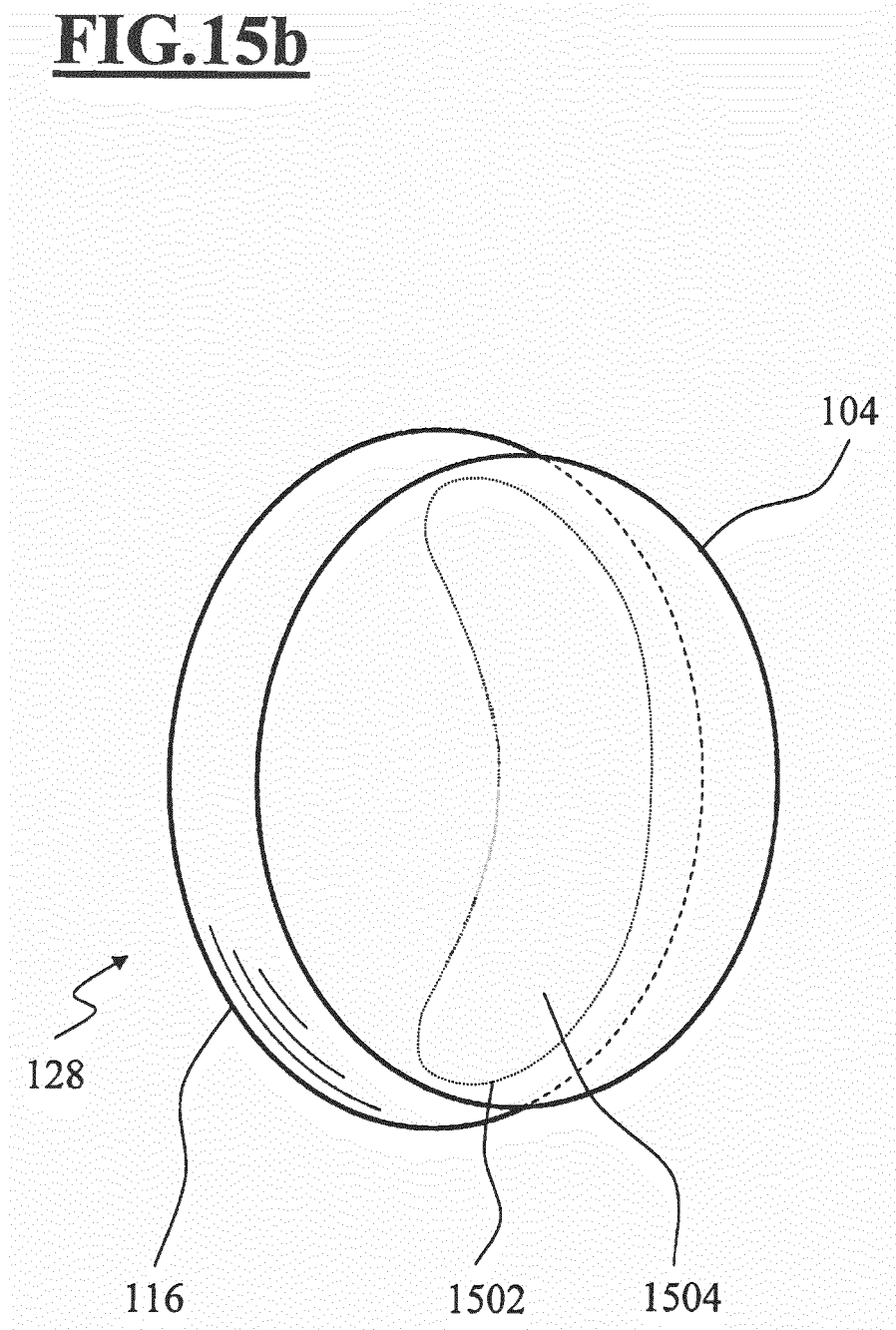


FIG.16a

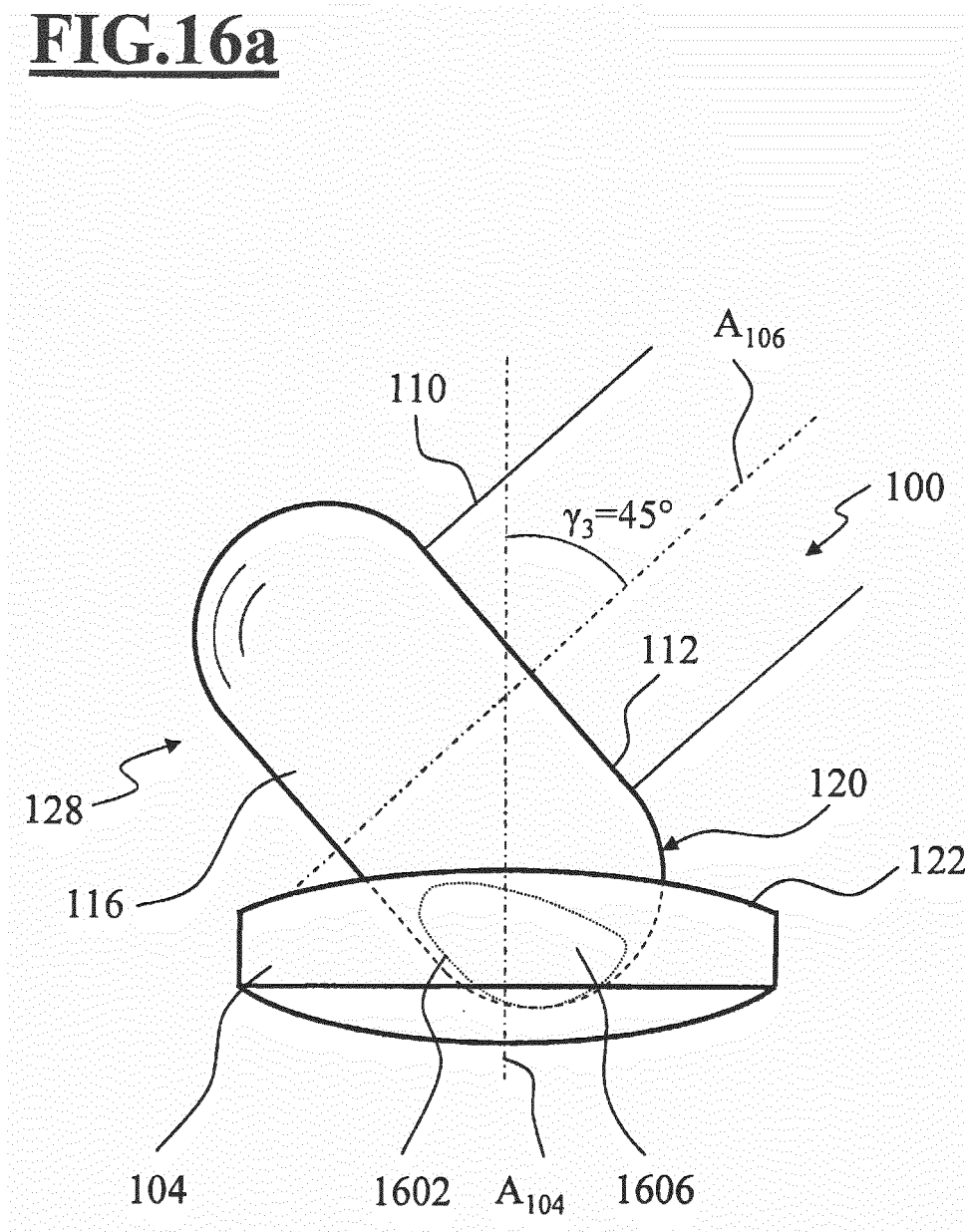


FIG.16b

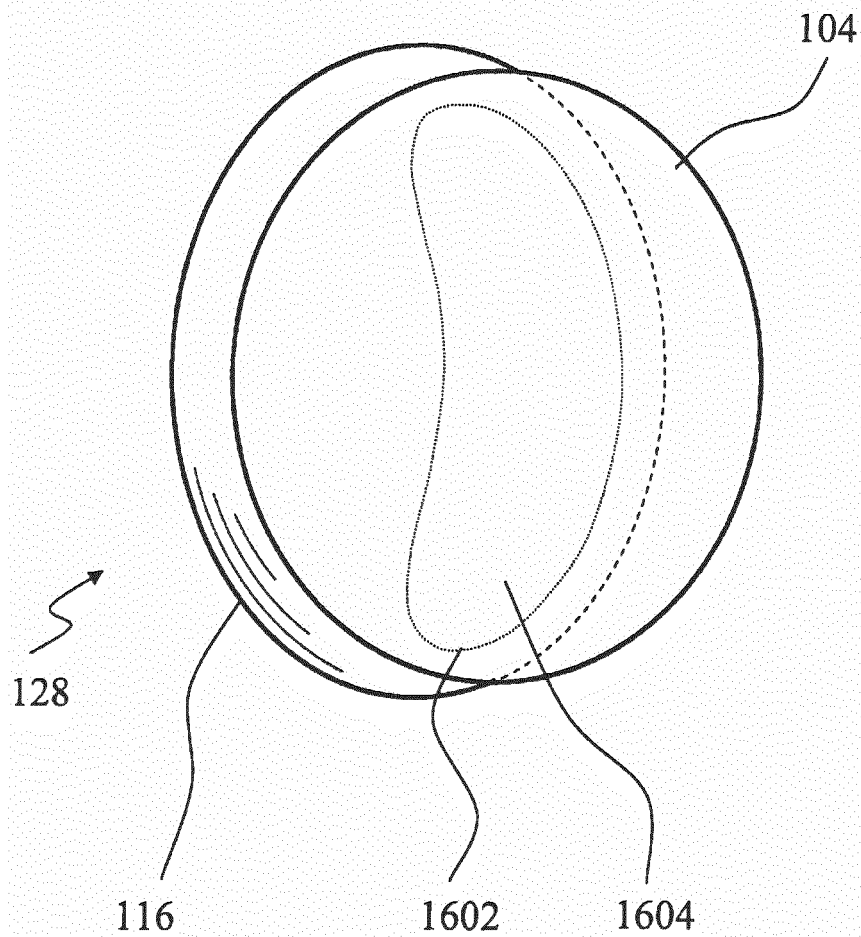


FIG.17a

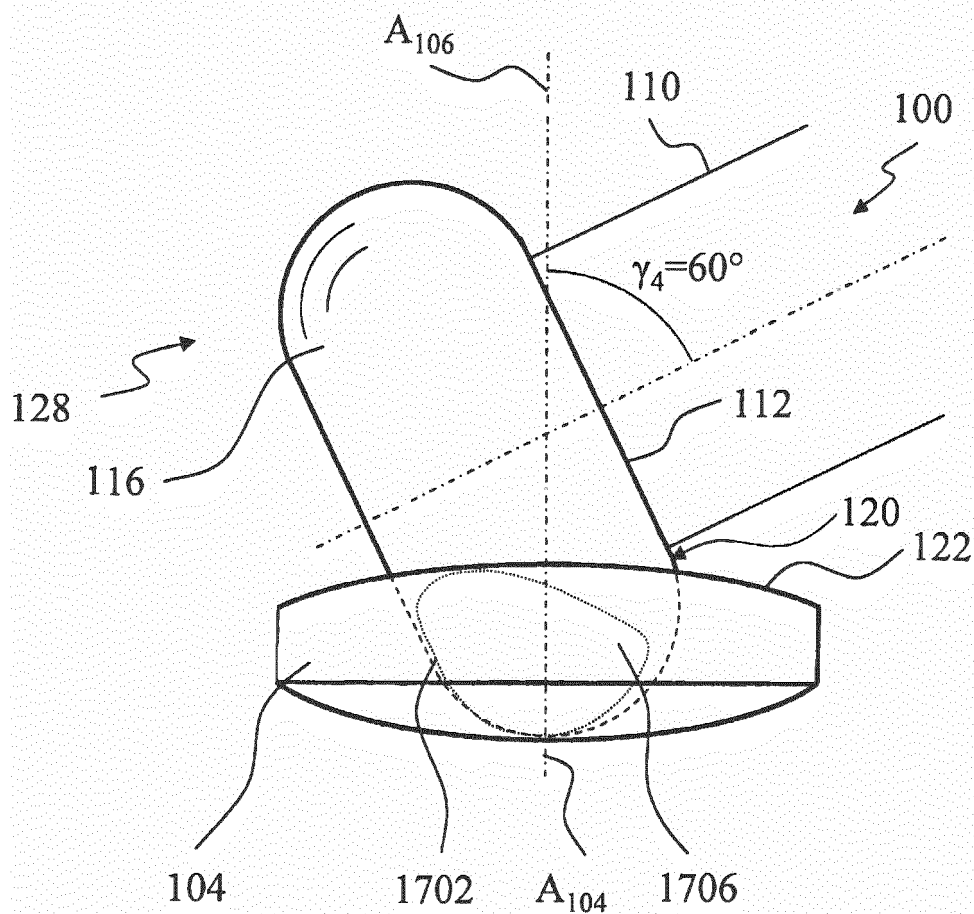


FIG.17b

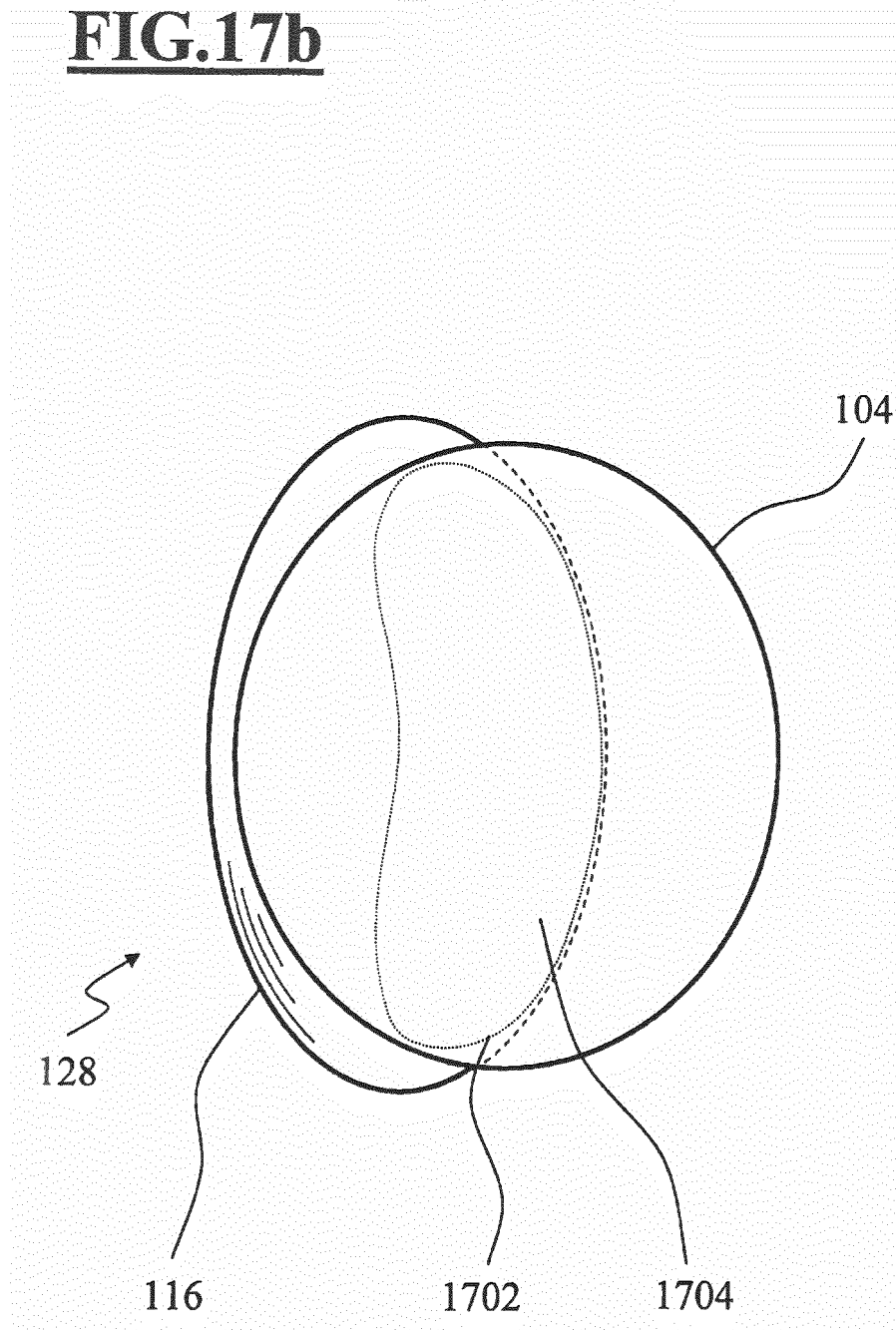


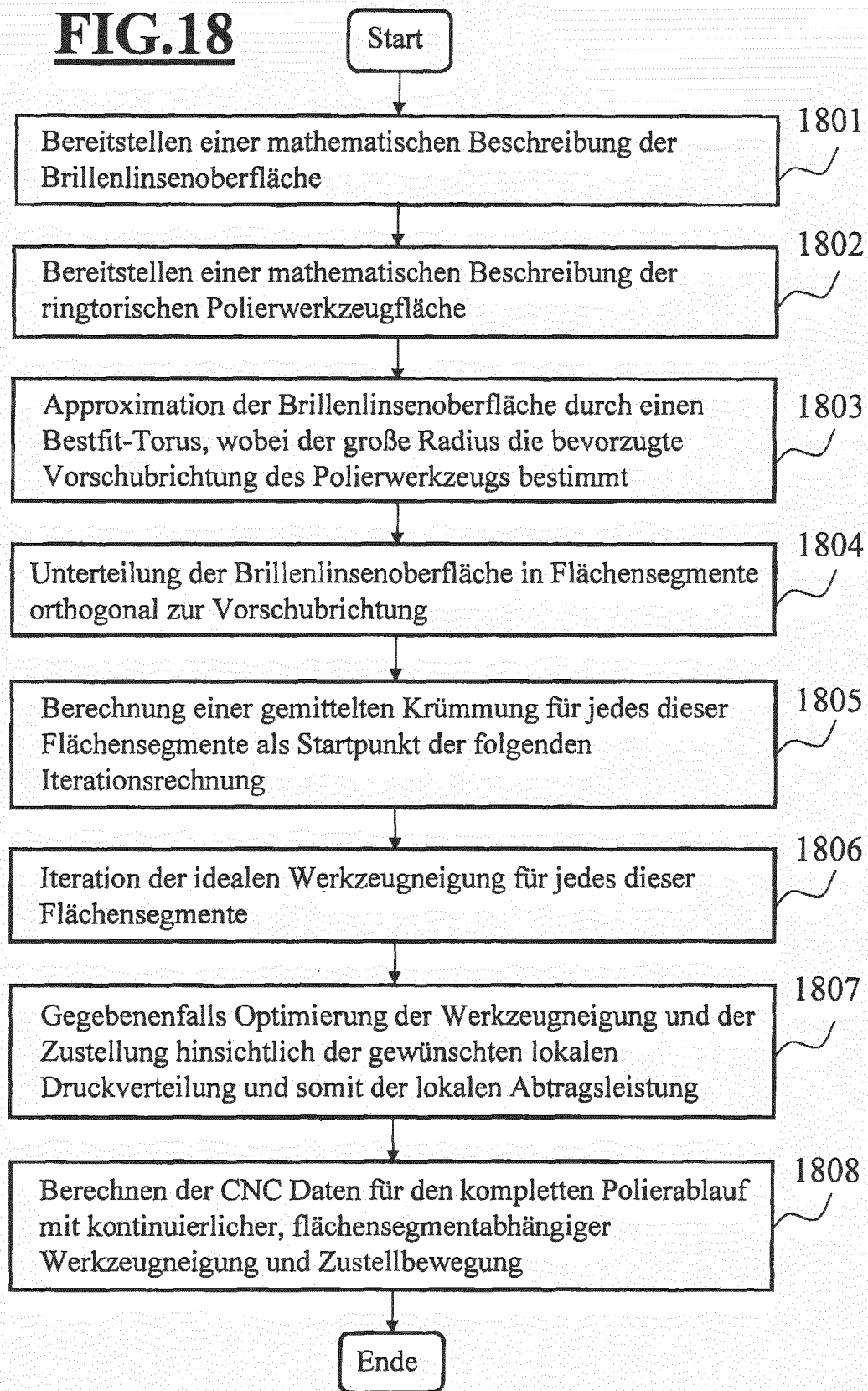
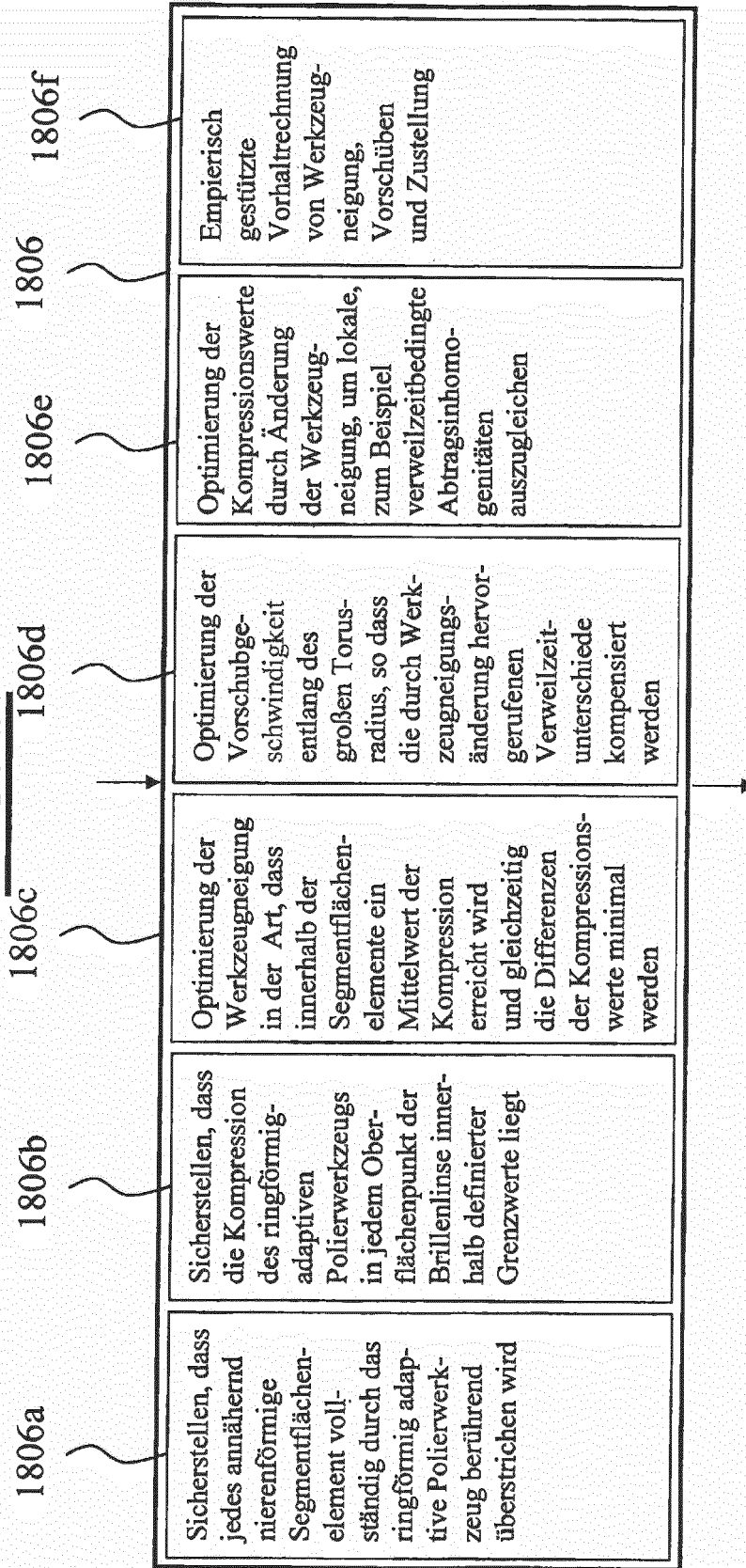
FIG.18

FIG.19

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102004003131 A1 [0002]
- DE 102008062097 A1 [0002]
- DE 60312475 T2 [0002]
- EP 1251997 B2 [0002] [0025] [0030]
- EP 1249307 A2 [0005]
- US 8348717 B2 [0005]
- DE 4412370 A1 [0006] [0007] [0011] [0012] [0019]
[0024] [0025] [0026] [0030] [0031]