(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 696 856 A5

(51) Int. Cl.: G01B 5/20 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Gesuchsnummer: 01794/03

(22) Anmeldedatum: 21.10.2003

(30) Priorität: 02.12.2002 DE 202 18 847.7

(24) Patent erteilt: 31.12.2007

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.12.2007

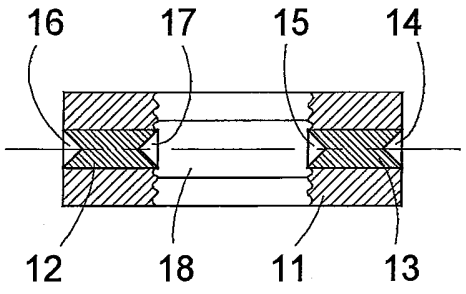
(73) Inhaber:
Carl Mahr Holding GmbH, Carl-Mahr-Strasse 1
37073 Göttingen (DE)

(72) Erfinder:
Dr. Wilfried Tänzer, 07745 Jena (DE)
Armin Hufe, 07749 Jena (DE)

(74) Vertreter:
Keller & Partner Patentanwälte AG,
Schmiedenplatz 5 Postfach
3000 Bern 7 (CH)

(54) Einstell-Lehre zur Bestimmung des Zweikugelmasses bei Verzahnungsmessungen.

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Einstell-Lehre zur Bestimmung des Zweikugelmasses bei Verzahnungsmessungen an Innen- und Aussenverzahnungen. Die Einstell-Lehre umfasst einen Lehrengrundkörper (11), in dessen gegenüberliegenden Enden oder Umfangsflächen kegelförmige Vertiefungen (14; 15; 16; 17) oder konische Ringnuten oder Teile von Ringnuten oder parallel zueinander verlaufende Nuten mit V-Profil angeordnet sind. In diesen sind zur Bestimmung des Zweikugelmasses Messkugeln oder in Messrichtung abgeflachte Messkugeln in einem definierten Abstand voneinander zur Anlage gebracht.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Einstell-Lehre zur Bestimmung des Zweikugelmasses bei Verzahnungsmessungen. Diese Lehre ist vor allem zur Einstellung der abtastenden Kugeln bei der hochgenauen Ermittlung des Zweikugelmasses von Innen- und Aussenverzahnungen mit Hilfe von Einkoordinatenmessgeräten bestimmt. Das Zweikugelmass wird insbesondere bei der Zahndickenbestimmung gebraucht.

[0002] In der Praxis werden die Messungen der Zahndicke bei Verzahnungen vielfach über das Zweikugelmass auf Einkoordinatenmessgeräten, welche einen höhenverstellbaren Tisch, eine Mess- und eine Gegenpinole besitzen, durchgeführt. Dabei wird bei Messungen an Aussenverzahnungen je eine Messkugel mit genau bekanntem Durchmesser an der Mess- und an der Gegenpinole angebracht. Zunächst werden dann bei der Messung die beiden Messkugeln miteinander in Kontakt gebracht und der so erhaltene Messwert wird gleich «Null» gesetzt. Danach werden die beiden Messkugeln in gegenüberliegende, bzw. bei Zahnrädern mit ungerader Zähnezahl in die benachbarte Lücke zum gegenüberliegenden Zahn der zu prüfenden Zahnräder an den Zahnflanken zur Anlage gebracht. Aus dem nun ermittelten Messwert und dem Durchmesser der Kugeln werden in bekannter, hier nicht näher zu erläuternder Weise die Zahndicke, der Teilkreisdurchmesser und andere Verzahnungsparameter berechnet.

[0003] Bei der Messung von Innenverzahnungen wird mit bekannten, an Mess- und Gegenpinole angeordneten Innenmessbügeln zuerst ein Einstellring bestimmten Durchmessers angetastet und der so ermittelte Messwert wird auf den Wert des Einstellringes (Durchmesser) gesetzt. Anschliessend werden die Messkugeln in gegenüberliegende Zahnlücken oder bei ungerader Zähnezahl in die benachbarte Lücke zum gegenüberliegenden Zahn des zu prüfenden Innenzahnrades zur Anlage gebracht. Aus dem so erhaltenen Messwert werden dann in bekannter Weise die Zahndicke und andere Verzahnungsparameter errechnet.

[0004] Diese Art der Verzahnungsmessung ist seit langem aus Leinweber «Taschenbuch der Längenmesstechnik», Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1954; Seiten 532 bis 538, und aus anderer Fachliteratur bekannt und wird in dieser Weise auch bei Messungen an Lehrzahnrädern praktiziert.

[0005] Bei normal ausgeführten Verzahnungen, d.h. bei solchen ohne Profilverschiebung oder stark verkleinertem Zahnkopf und vergrössertem Zahnfussdurchmesser gegenüber dem Normalprofil, berühren die entsprechend dem Modul der zu prüfenden Verzahnung dimensionierten Messkugeln die Zahnflanken so, dass die Messkugelmittelpunkte auf dem Teilkreisdurchmesser liegen, ohne dabei den Zahngrund zu kontaktieren.

[0006] Eine Verkleinerung der Zahnhöhe kann aus Gründen der Festigkeit vorgenommen werden.

[0007] Wird jedoch der Zahnkopfdurchmesser stark verkleinert und der Zahnfussdurchmesser entsprechend vergrössert, würde eine vollständige Messkugel den Zahngrund berühren, bevor sie an den beiden Zahnflanken zur Anlage kommen kann. Die beiden Messkugeln müssen deshalb, um an den Zahnflanken zur Anlage zu kommen, an der Stirnseite in Messrichtung abgeflacht (abgeschliffen) werden. Damit ist jedoch das einfache Antasten der Messkugeln gegeneinander und das auf «Null» setzen des so erhaltenen Messwertes bei Aussenmessungen nicht mehr möglich. Die Kugelabflachung müsste hochgenau (wie eine Messfläche) hergestellt und ausgewertet werden. Ausserdem muss der Anbau der beiden Messkugeln an den Pinolen des Messgerätes so erfolgen, dass beide Planflächen auf den Kugeln parallel zueinander verlaufen und gleichzeitig die Mittelpunkte beider Kugeln auf einer Linie parallel zur Messachse oder in dieser liegen. Die Realisierung dieser Forderungen würde einen erheblichen Aufwand bedeuten.

[0008] Die bei einer Innenmessung notwendige Antastung des Einstellringes ist infolge der Antastgeometrie überhaupt nicht möglich.

[0009] So wird gegenwärtig das Zweikugelmass bei derartigen Verzahnungen nur durch eine Unterschiedsmessung an einem Meister- oder Lehrzahnrad ermittelt. Als Meisterzahnrad wird ein Zahnrad gleichen Moduls und gleichen Flankendurchmessers, wie auch beim zu prüfenden Zahnrad, verwendet. Ist dessen Zahnprofil vollständig ausgeführt, kann das oben beschriebene Messverfahren mit «vollständigen» Messkugeln verwendet werden, um das Zweikugelmass des Meisterzahnrades zu bestimmen. Besitzt das zu prüfende Zahnrad einen vergrösserten Zahnfussdurchmesser, muss mit abgeschliffenen Messkugeln gearbeitet werden. Sollen Lehrzahnräder geprüft werden, kann Mangels eines hochgenauen Normals eine solche Unterschiedsmessung zur Ermittlung des Zweikugelmasses nicht vorgenommen werden.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einstell-Lehre zur Bestimmung der Einstellwerte bei der Ermittlung des Zweikugelmasses zu schaffen, die es ermöglicht, Aussen- und Innenverzahnungen mit vergrössertem Zahnfussdurchmesser und/oder verkleinerter Zahnhöhe unter Verwendung abgeflachter Messkugeln hoch genau zu prüfen.

[0011] Erfindungsgemäss wird die Aufgabe mit einer Einstell-Lehre gelöst, welche die Merkmale des ersten Patentanspruches besitzt. In den weiteren Ansprüchen sind weitere Ausgestaltungen und Einzelheiten der Einstell-Lehre beschrieben.

[0012] Eine einfach aufgebaute Einstell-Lehre für Messungen an Aussenverzahnungen ergibt sich, wenn der Lehrengrundkörper stabförmig aufgebaut ist und an seinen gegenüberliegenden Enden je eine kegelförmige Vertiefung besitzt.

[0013] Für Messungen an Innenverzahnungen ist es vorteilhaft, wenn der Lehrengrundkörper für Messungen an Innenverzahnungen stabförmig ausgebildet ist und aus einem hohlen, mit mindestens einem Durchbruch versehenen Mittelstück

und zwei das hohle Mittelstück an seinen gegenüberliegenden Enden abschliessenden Endstücken besteht, die mit je einer sich nach innen hin öffnenden kegelförmigen Vertiefung versehen sind.

[0014] Es ist ferner vorteilhaft, dass an oder in den sich gegenüberliegenden Enden des Lehrengrundkörpers Passstücke angeordnet sind, die je mit mindestens einer kegelförmigen Vertiefung, mit parallel zueinander verlaufenden Nuten oder mit konischen Ringnuten versehen sind. Damit können mit einer Einstell-Lehre sowohl Aussen- als auch Innenverzahnungen mit entsprechendem Modul und entsprechender Zähnezahl rationell und wirtschaftlich mit geringem Aufwand geprüft werden.

[0015] Um eine gute Zugänglichkeit der abgeflachten, in den Messbügeln angeordneten Messkugeln zu den kegelförmigen Vertiefungen von drei Seiten zu gewährleisten, ist es günstig, wenn der Lehrengrundkörper U-förmig ausgebildet ist und wenn an den Enden der durch ein Mittelteil verbundenen Schenkel mindestens je eine kegelförmige Vertiefung, oder ein Teil einer Ringnut oder eine gerade Nut mit geeigneten Querschnittsprofil angeordnet ist.

[0016] Zur weitestgehenden Vermeidung von durch Temperaturschwankungen bedingten Ungenauigkeiten bei den Messungen ist es von Vorteil, wenn der Lehrengrundkörper aus einem thermisch invarianten Werkstoff oder aus einem, dem Werkstoff der zu prüfenden Verzahnung analogen Werkstoff mit annähernd gleichem Wärmeausdehnungskoeffizienten besteht.

[0017] Zur Wärmeisolierung, insbesondere gegen die Handwärme bei der Handhabung der Lehre ist es vorteilhaft, wenn die Oberfläche des Lehrengrundkörpers oder Teile davon mit einer thermisch isolierenden Auflage oder Beschichtung versehen sind.

[0018] Zur leichten Handhabung ist es auch vorteilhaft, wenn der Lehrengrundkörper aus einem Werkstoff mit einem geringen spezifischen Gewicht, z.B. Aluminium, Keramik oder aus einem geeigneten Kunststoff besteht. So kann der Lehrengrundkörper auch aus Glaskeramik, z.B. Zerodur, hergestellt sein, in den die Passstücke mit den kegelförmigen Vertiefungen eingesetzt sind. Die kegelförmigen Vertiefungen können jedoch auch direkt in den Glaskeramikgrundkörper eingearbeitet sein. Der Lehrengrundkörper kann auch aus Invar mit einem geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten bestehen.

[0019] Um die Passstücke nicht lösbar in dem Lehrengrundkörper zu fixieren, sind diese in den Enden oder Endstücken des Lehrengrundkörpers stoffschlüssig durch Kleben, Löten oder Schweissen fest angeordnet.

[0020] Die Passstücke können vorteilhaft in den Enden oder Endstücken des Lehrengrundkörpers auch durch Einpressen fest und unlösbar angeordnet werden.

[0021] Weiterhin kann es im Sinne eines vielseitigen Einsatzes der erfindungsgemässen Einstell-Lehre zur Bestimmung des Zweikugelmasses bei Verzahnungen unterschiedlichen Moduls von Vorteil sein, wenn die Passstücke in den Enden oder Endstücken austauschbar angeordnet sind und somit eine Einstellung der Lehre auf unterschiedliche Messkugeldurchmesser realisiert ist.

[0022] Mit der Einstell-Lehre wird eine hochgenaue Ermittlung des Zweikugelmasses bei der Vermessung von Aussen- und Innenverzahnungen mit vergrössertem Zahnfussdurchmesser mit abgeflachten Messkugeln ermöglicht. Der Prozess des «Nullens» bzw. des Antastens eines Einstellringes, welcher mit abgeflachten Messkugeln nicht möglich ist, wird durch die Antastung der erfindungsgemässen Einstell-Lehre ersetzt.

[0023] Die Erfindung soll nachstehend an Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In der Zeichnung zeigen

Fig. 1	eine Einstell-Lehre für Aussenmessungen,
Fig. 2a und b	eine Einstell-Lehre für Innenmessungen in zwei verschiedenen Schnittdarstellungen,
Fig. 3	eine Einstell-Lehre für Messungen an Aussen- und Innenverzahnungen,
Fig. 4a und b	eine Einstell-Lehre mit geraden, parallelen Nuten in verschiedenen Schnittdarstellungen,
Fig. 5	einen Schnitt durch eine Einstell-Lehre mit V-förmigen Ringnuten,
Fig. 6a und b	eine U-förmige Einstell-Lehre mit kegelförmigen Vertiefungen in zwei Ansichten,
Fig. 7a und b	eine nur von einer Seite zugängliche Einstell-Lehre für Inenverzahnungen,
Fig. 8	eine Einstell-Lehre mit Nut mit gerader Profillinie,
Fig. 9	eine Einstell-Lehre mit Nut mit konkaver Profillinie,
Fig. 10	eine Einstell-Lehre mit Nut mit konvexer Profillinie und
Fig. 11	die Anordnung einer Einstell-Lehre für Innenverzahnungen zwischen Messbügeln.

[0024] Generell wird eine Einstell-Lehre zur Ermittlung des Zweikugelmasses an Innen- und Aussenverzahnungen geschaffen, welche aus einem Lehrengrundkörper besteht, der zwei in einem definierten Abstand angeordnete, kegelförmige Vertiefungen, oder konische Ringnuten, oder Teile davon, oder parallel zueinander verlaufende Nuten mit geeignetem Querschnitt umfasst, in denen Messkugeln oder in Messrichtung abgeflachte Messkugeln unter der Einwirkung einer in Messrichtung wirkenden Messkraft zum Eingriff gebracht werden. Diese Messkugeln sind in bekannter Weise an entsprechenden Messbügeln oder als Messeinsätze an Pinolen des Einkoordinatenmessgerätes angeordnet. Der Abstand der Vertiefungen wird entsprechend den Abmessungen der zu prüfenden Verzahnungen (Modul, Flankendurchmesser) und des Abtastkugeldurchmessers festgelegt.

[0025] Fig. 1 zeigt eine Einstell-Lehre für Messungen an Aussenverzahnungen, welche aus einem Stück hergestellt ist. In den beiden gegenüberliegenden Enden 1 und 2 des Lehrenkörpers 3 ist je eine kegelförmige Vertiefung 4 und 5 eingearbeitet, in die bei der Messung Messkugeln zur Anlage gebracht werden.

[0026] Eine entsprechende Einstell-Lehre für die Messung an Innenverzahnungen nach den Fig. 2a und 2b umfasst einen Lehrengrundkörper 6, in dessen gegenüberliegenden Enden mit kegelförmigen Vertiefungen 4; 5 versehene Passstücke 7; 8 eingesetzt sind. Der Lehrengrundkörper 6 besitzt einen Durchbruch 9, welcher das Einsetzen der Messkugeln, die an Messbügeln befestigt sind, in die kegelförmigen Vertiefungen 4; 5 ermöglicht.

[0027] Fig. 3 zeigt eine Lehre für Aussen- und Innenverzahnungen mit einem Lehrengrundkörper 11, in dem Passstücke 12; 13 eingesetzt sind, wobei jedes dieser Passstücke 12; 13 zwei zueinander in entgegengesetzte Richtungen offene, kegelförmige Vertiefungen 14 und 15 sowie 16 und 17 aufweist. Durch einen Durchbruch 18 im Lehrengrundkörper 11 können die Messkugeln bei der Ausführung der Messungen an Innenverzahnungen eingeführt werden.

[0028] Die Fig. 4a und 4b zeigen Ansicht und Schnitt durch eine Lehre für Aussen- und Innenverzahnungen mit einem Lehrengrundkörper 19, einem Durchbruch 20 und zueinander parallel verlaufende, gerade Nuten 21 und 22 sowie 23 und 24 mit vorteilhaft dreieckförmigem Querschnitt, wobei die Nuten 21 und 22 für die Innen- und die Nuten 23 und 24 für die Aussenmessungen vorgesehen sind.

[0029] Fig. 5 zeigt eine Lehre mit einem ringförmigen Lehrengrundkörper 25, in welchen in seinen Umfangsflächen umlaufende Nuten 26; 27 mit geeignetem Querschnittsprofil eingearbeitet sind.

[0030] Bei den in den Fig. 4a; 4b und 5 dargestellten Einstell-Lehren ist bei Verwendung für Verzahnungsmessungen die Einstellung mindestens eines Umkehrpunktes notwendig.

[0031] Die in den Fig. 6a und 6b in verschiedenen Ansichten dargestellte Ausführungsform einer Einstell-Lehre besitzt einen U-förmigen Grundkörper mit den Schenkeln 28; 29 und dem diese verbindenden Mittelteil 30. In den nach innen gerichteten Seiten der beiden Schenkel 28; 29 ist je eine kegelförmige Vertiefung 4; 5 angeordnet, so dass sich eine Lehre für Messungen an Innenverzahnungen ergibt. Gleichfalls könnten auch in den nach aussen gerichteten Seiten der Enden der Schenkel 28; 29 Vertiefungen angeordnet sein, so dass auch Messungen an Aussenverzahnungen ermöglicht werden.

[0032] Fig. 7a und 7b zeigen Lehren für Innenverzahnungen mit nur von einer Seite zugänglichen kegelförmigen Vertiefungen 4; 5. Zu diesem Zweck besitzt der Lehrengrundkörper 31 einen nur nach einer Seite offenen Durchbruch 32, durch den an Innenmessbügeln angeordnete Messkugeln in die Vertiefungen 4; 5 einführbar sind.

[0033] In den Fig. 8; 9 und 10 sind mögliche Geometrien der Antastflächen am Beispiel der Einstell-Lehre nach Fig. 5 dargestellt. Wird ein Schnitt durch die Messachse der Einstell-Lehre gelegt, sind die Schnittlinien durch die Antastflächen der kegelförmigen Vertiefungen, V-förmigen Ringnuten oder geraden parallelen Nuten vorzugsweise Geraden (Fig. 8). Es sind aber auch konkave (Fig. 9) oder konvexe Schnittlinien (Fig. 10) möglich. Bei einer konkaven Form der Schnittlinie (Fig. 9) sollte jedoch der Schmiegungsradius deutlich grösser als der Radius der grössten verwendeten Messkugel sein.

[0034] In Fig. 11 ist beispielsweise die Anordnung einer Einstell-Lehre 33 für Messungen an Innenverzahnungen zwischen den an einer Gegenpinole 34 und an einer Messpinole 35 angeordneten, mit abgeflachten Messkugeln 36; 37 versehenen Messbügeln 38; 39 dargestellt. Die Einstell-Lehre 33 hängt dabei unter der Einwirkung der Messkraft des Messgerätes (durch Pfeil 40 gekennzeichnet) frei zwischen den Messkugeln 36; 37.

[0035] Zur Messung mit verschiedenen Kugeldurchmessern muss in Abhängigkeit vom Modul und dem Fusskreisdurchmesser der zu prüfenden Verzahnung die gleiche Einstell-Lehre 33 einen anderen Einstellwert a erhalten. Bei einer Innenmessung entspricht dieser Einstellwert a genau dem Durchmesser eines gleich grossen Einstellringes, der mit «vollständigen» Messkugeln, gemessen über die Kugelpole, an einem Einstellring ermittelt wird. Im Unterschied zur Antastung am Einstellring kommt nicht der Kugelpol, sondern eine Kreislinie der Kugel zur Anlage. Deshalb kann diese Einstell-Lehre bei abgeflachten Messkugeln an Stelle eines Einstellringes verwendet werden, da nur vorhandene Teile der Messkugeloberfläche beim Antasten der Einstell-Lehre zur Anlage gelangen (Fig. 11). Die Messkugeln zur Bestimmung der Einstellwerte der Einstell-Lehre sollten deshalb den gleichen Durchmesser wie die abgeflachten Messkugeln besitzen, damit Formfehler der kegelförmigen Vertiefungen ohne Einfluss auf das Messergebnis bleiben. Bestehen Unterschiede bei den Durchmessern, können auch softwareseitig entsprechende Korrekturen vorgenommen werden.

Patentansprüche

1. Einstell-Lehre zur Bestimmung des Zweikugelmasses bei Verzahnungsmessungen an Innen- und Aussenverzahnungen, umfassend einen Lehrengrundkörper (6; 11; 19; 25; 31), in dessen gegenüberliegenden Enden oder Umfangsflächen kegelförmige Vertiefungen (4; 5; 14; 15; 16; 17) oder konische Ringnuten (26; 27) oder Teile von Ringnuten oder parallel zueinander verlaufende Nuten (21; 22; 23; 24) mit V-Profil angeordnet sind, in denen zur Bestimmung des Zweikugelmasses Messkugeln oder in Messrichtung abgeflachte Messkugeln (36; 37) in einem definierten Abstand voneinander zur Anlage gebracht sind.
2. Einstell-Lehre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Lehrengrundkörper (3) für Messungen an Aussenverzahnungen stabförmig ausgebildet ist und an seinen gegenüberliegenden Enden je eine kegelförmige Vertiefung (4; 5) besitzt.
3. Einstell-Lehre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Lehrengrundkörper für Messungen an Innenverzahnungen stabförmig ausgebildet ist und aus einem hohlen, mit mindestens einem Durchbruch (9; 18) versehenen Mittelstück und zwei das hohle Mittelstück an seinen gegenüberliegenden Enden abschliessenden Endstücken besteht, die mit je einer sich nach innen hin öffnenden kegelförmigen Vertiefung (4; 5) versehen sind.
4. Einstell-Lehre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass an oder in den sich gegenüberliegenden Enden des Lehrengrundkörpers (6) Passstücke (7; 8; 12; 13) angeordnet sind, die je mit mindestens einer kegelförmigen Vertiefung (4; 5; 14; 15; 16; 1 7), mit parallel zueinander verlaufenden Nuten (21; 22; 23; 24) oder mit konischen Ringnuten (26; 27) versehen sind.
5. Einstell-Lehre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Lehrengrundkörper U-förmig ausgebildet ist und dass an den Enden der durch ein Mittelteil (30) verbundenen Schenkel (28; 29) des Lehrengrundkörpers mindestens je eine kegelförmige Vertiefung (4; 5), oder ein Teil einer Ringnut oder eine gerade Nut mit V-Profil angeordnet ist.
6. Einstell-Lehre nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Lehrengrundkörper (6; 11; 19; 25; 31) aus einem thermisch invarianten Werkstoff oder aus einem, dem Werkstoff der zu prüfenden Verzahnung analogen Werkstoff besteht.
7. Einstell-Lehre nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zur Wärmeisolierung die Oberfläche des Lehrengrundkörpers (6; 11; 19; 25; 31) oder Teile davon mit einer thermisch isolierenden Auflage oder Beschichtung versehen sind.
8. Einstell-Lehre nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Lehrengrundkörper (6; 11; 19; 25; 31) aus Aluminium, Keramik, Glaskeramik, z.B. Zerodur oder Invar, oder Kunststoff besteht.
9. Einstell-Lehre nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Passstücke (7; 8; 12; 13) in den Enden oder in den Endstücken des Lehrengrundkörpers stoffschlüssig durch Kleben, Löten oder Schweissen fest angeordnet sind.
10. Einstell-Lehre nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Passstücke (7; 8; 12; 13) in den Enden oder Endstücken des Lehrengrundkörpers durch Einpressen fest angeordnet sind.
11. Einstell-Lehre nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Passstücke (7; 8; 12; 13) in den Enden oder Endstücken des Lehrengrundkörpers austauschbar angeordnet sind und somit eine Einstellung der Lehre auf unterschiedliche Kugeldurchmesser realisierbar ist.

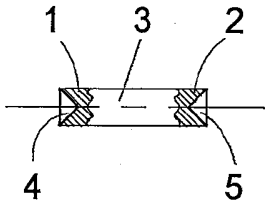


Fig.1

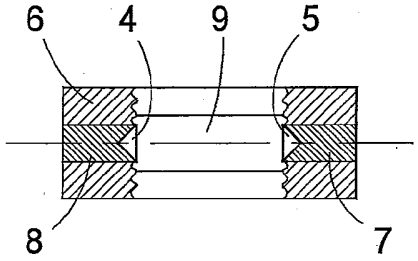


Fig.2a

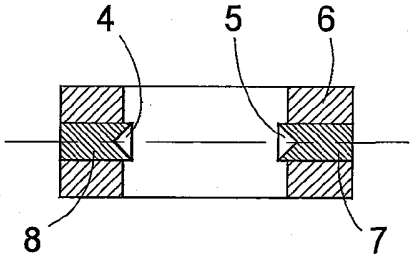


Fig.2b

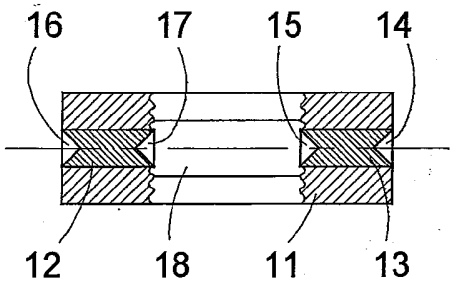


Fig.3

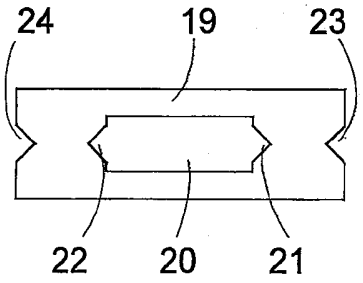


Fig.4a

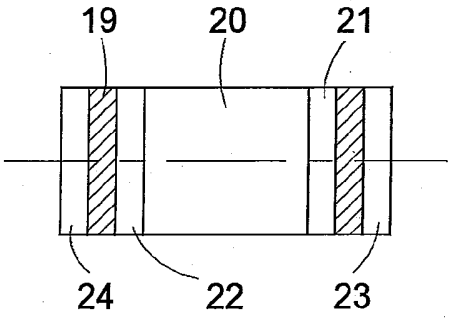


Fig.4b

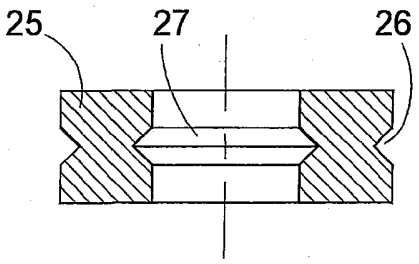


Fig.5

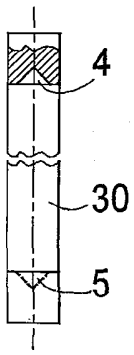


Fig.6a

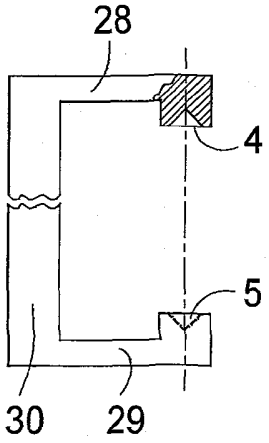


Fig.6b

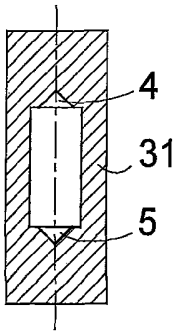


Fig.7a

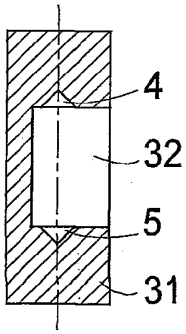


Fig.7b

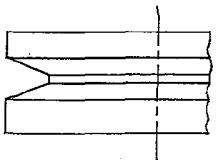


Fig.8

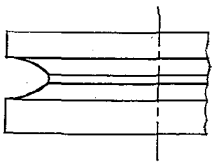


Fig.9

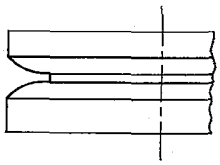


Fig.10

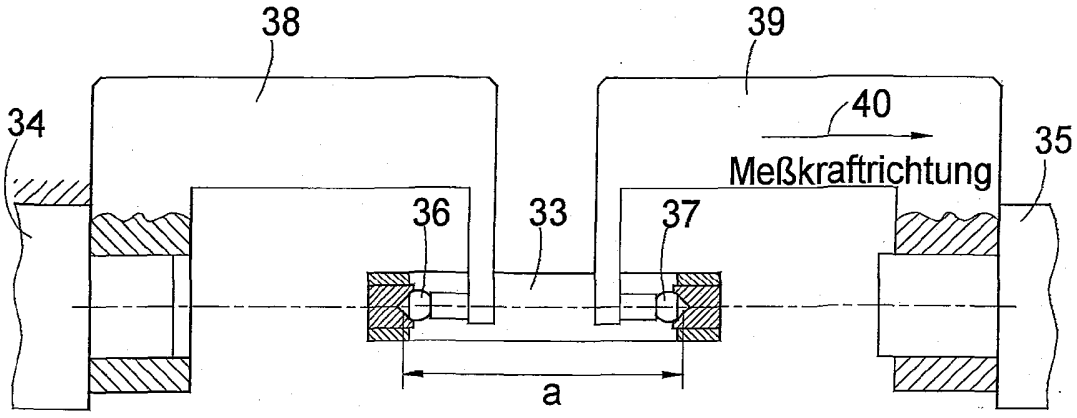


Fig.11