



(10) **DE 10 2014 108 431 A1** 2015.12.17

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 108 431.4**  
(22) Anmeldetag: **16.06.2014**  
(43) Offenlegungstag: **17.12.2015**

(51) Int Cl.: **G01B 11/12 (2006.01)**  
**G01B 11/30 (2006.01)**  
**G01N 21/954 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft,  
80809 München, DE; Ziemann & Urban GmbH,  
85452 Moosinning, DE**

(74) Vertreter:  
**Graf Glück Kritzenberger, 93049 Regensburg, DE**

(72) Erfinder:  
**Welzenbach, Martin, 85456 Wartenberg, DE;  
Kammerl, Arnold, 80995 München, DE; Wagener,  
Wolfram, Dr., 34305 Niedenstein, DE; Hofstetter,  
Rudolf, 84048 Mainburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2007 031 358	A1
DE	10 2013 013 161	A1
US	2003 / 0 191 369	A1
JP	2 518 967	Y2
JP	2008- 128 730	A
JP	2008- 233 715	A
JP	H07- 191 269	A
JP	H07- 260 439	A

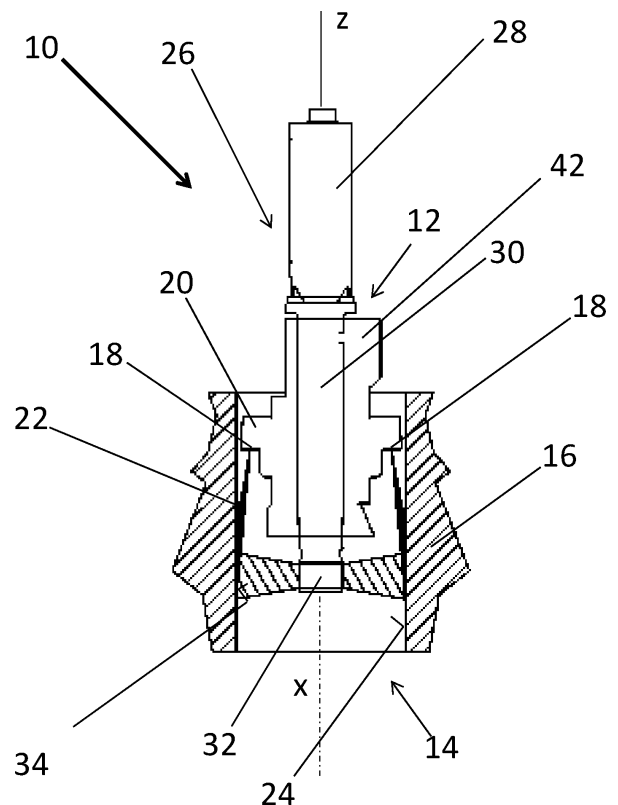
Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Messvorrichtung zum Überprüfen einer Zylinderbohrung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein zum Überprüfen des Durchmessers einer Zylinderbohrung (14) mit einer Messvorrichtung (10; 40), die wenigstens eine Strahlungsquelle (18; 42) und wenigstens eine zum Einführen in die Zylinderbohrung konzipierte Erfassungseinrichtung (26) enthält, bei welchem Verfahren die Lauffläche (24) der Zylinderbohrung (14) an axial unterschiedlichen Stellen durch die Strahlungsquelle in einem Winkel von 15 bis 75 Grad zur Achse der Zylinderbohrung bestrahlt und der Auftreffbereich der Strahlen auf der Lauffläche von der Erfassungseinrichtung beim Einführen in die Zylinderbohrung erfasst (34) wird, wobei eine Erfassungseinrichtung mit einem zur Achse der Zylinderbohrung in etwa orthogonalen ausgerichteten Erfassungsoptik verwendet wird, wobei die Position des Auftreffbereichs der Strahlen auf der Lauffläche im Erfassungsbereich (34) der Erfassungseinrichtung (26) für die Ermittlung des Durchmessers der Zylinderbohrung (14) ausgewertet wird oder die Strahlungsquelle in der Zylinderbohrung zusammen mit der Erfassungseinrichtung in axialer Richtung der Zylinderbohrung bewegt wird, und die Erfassungseinrichtung den Auftreffbereich der Strahlen der Strahlungsquelle auf der Lauffläche in Form von Bildsignalen erfasst, und die Bildsignale auf das Auftreten benachbarter Hell/Dunkel-Bereiche untersucht werden.



## Beschreibung

**[0001]** Im Motorenbau werden Aluminium-Motorblöcke statt mit Stahlauflaufbuchsen mit einer Innenbeschichtung aus Stahl beschichtet (LDS-Beschichtung). Die Dicke der Schicht liegt bei ca. 0,6mm und weist prozessbedingt eine hohe Oberflächenrauigkeit (bis 0,3mm) auf. Im Fehlerfall können bei der Beschichtung Fehlerstellen, sogenannte "Spots" entstehen, die eine Größe von mehreren mm erreichen können bzw. deren Größe außerhalb der für eine weitere Bearbeitung definierten Toleranz liegen. Die Fertigstellung der so entstandenen Zylinderlaufflächen wird durch Honen durchgeführt. Spots in der Lauffläche verursachen entweder einen Ausbruch in der Beschichtung oder zerstören das Hohnwerkzeug.

**[0002]** Um festzustellen, wie stark die Beschichtung innerhalb der Lauffläche des Zylinders ist, muss der Durchmesser gemessen werden. Hierbei stellt die hohe Rauftiefe der Beschichtung eine besondere Anforderung an die Vermessung. Taktile Messverfahren messen die höchsten Stellen der Beschichtung. Die durchgeführte Lasermessung ermittelt ein Durchschnitmaß der Fläche. Zum Abgleich beider Messverfahren wird eine konstanter Offset verwendet, der primär von der Oberflächenrauigkeit der Schicht abhängt. Bei zu geringer Schichtdicke treten Fehlerstellen auf, bei zu starker Beschichtung kann das Hohnwerkzeug beschädigt werden. Fehlteile müssen vor dem Honen erkannt werden und die Motorblöcke aussortiert/nachbearbeitet werden.

**[0003]** Die DE 197 38 827 zeigt eine Vorrichtung zum Erkennen von Fehlerstellen in einer Zylinderbohrung, bei der die Strahlen einer Strahlungsquelle und eine Erfassungseinrichtung von einem Ende aus in eine Zylinderbohrung hinein gerichtet sind, um Fehlerstellen in der Lauffläche der Zylinderbohrung zu erfassen.

**[0004]** Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Überprüfen einer Zylinderbohrung, insbesondere einer LDS-beschichteten Zylinderbohrung, und eine Messvorrichtung zu schaffen, die es auf schnelle und einfache Weise erlauben, die Zylinderbohrung auf Durchmessermaßhaltigkeit und/oder Fehlerstellen zu überprüfen. Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß den Ansprüchen 1 und 7 und durch eine Messvorrichtung gemäß Anspruch 15.

**[0005]** In dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Überprüfen des Durchmessers einer Zylinderbohrung wird eine Messvorrichtung verwendet, die eine Strahlungsquelle und eine Erfassungseinrichtung enthält. Bei dem Verfahren wird die Lauffläche an axial unterschiedlichen Stellen der Zylinderbohrung durch die Strahlungsquelle in einen Winkel von etwa 15 bis 75 Grad, insbesondere 15 bis 60 Grad

zur Achse der Zylinderbohrung bestrahlt. Es wird eine Strahlungsquelle verwendet, die einen klar definierten Auftreffbereich auf der Lauffläche erzeugt, also jede Art paralleler Strahlung, insbesondere Laserstrahlung. Im Fall herkömmlicher Lichtquellen, z.B. LEDs sollte die Strahlung z.B. durch optische Maßnahmen soweit gebündelt sein, dass die Divergenz der Strahlen, insbesondere in axialer Richtung, nicht mehr als 15 Grad beträgt. Der so definierte Auftreffbereich der Strahlen auf der Lauffläche wird von der Erfassungseinrichtung erfasst, die eine Erfassungsoptik mit einer quer zur Zylinderbohrung gerichteten Vorzugsrichtung aufweist. Die Erfassungsoptik muss natürlich nicht exakt orthogonal ausgerichtet sein, sondern kann von der orthogonalen Richtung abweichen, z.B. um +10 Grad/-30 Grad (+ bedeutet in Richtung der Strahlen der Strahlungsquelle, - bedeutet gegen die Richtung der Strahlungsquelle). So sollte zwischen den Strahlen der Strahlungsquelle und der Vorzugsrichtung der Erfassungsoptik des Erfassungsbereichs wenigstens ein Winkel von 30 Grad erreicht werden. Der Erfassungsbereich kann darüber hinaus sogar gegen die Richtung der Strahlen der Strahlungsquelle orientiert sein, wodurch der Erfassungsbereich einen Winkel größer 90 Grad relativ zu den Strahlen der Strahlungsquelle haben kann. Dies ist insbesondere deswegen vorzuziehen, weil dann hervorstehende Fehlerstellen, sogenannte Spots besser als nebeneinander liegende Hell/Dunkel-Bereiche erkannt werden. Eine Orientierung der Erfassungsoptik des Erfassungsbereichs gegen die Strahlen liegt vor, wenn der Erfassungsbereich relativ zur achsnormalen Ebene der Zylinderbohrung gegenläufig orientiert ist.

**[0006]** Die Position des Auftreffbereichs der Strahlen auf der Lauffläche im Erfassungsbereich der Erfassungseinrichtung wird hierbei für die Ermittlung des Durchmessers der Zylinderbohrung ausgewertet. Insbesondere ist die Erfassungseinrichtung als Kamera ausgebildet und die Erfassung des Auftreffbereichs der Strahlen auf der Lauffläche erfolgt in einer Bildverarbeitung. Statt einer Kamera können jedoch auch andere optische Sensoren verwendet werden. Durch die Tatsache, dass die Strahlen von der Strahlungsquelle in einem Winkel auf die Lauffläche der Zylinderbohrung auftreffen, wandern die Auftreffpunkte der Strahlen auf der Lauffläche relativ zur Erfassungseinrichtung weiter nach oben, wenn der Durchmesser der Zylinderbohrung kleiner wird bzw. weiter nach unten, wenn der Durchmesser größer wird, was natürlich für den Fall gilt, dass die Strahlungsquelle oberhalb der Erfassungseinrichtung angeordnet ist. Im anderen Fall ist es umgekehrt.

**[0007]** Mit der Position der Strahlungspunkte in dem Erfassungsbereich ist insbesondere die Position in axialer Richtung der Zylinderbohrung gemeint. Die Position der Strahlungspunkte in axialer Richtung in dem Erfassungsbereich zeigt an, ob der Durchmes-

ser der Zylinderbohrung größer oder kleiner wird oder konstant ist. Statt Strahlungspunkten können auch Strahlungslinien verwendet werden, die eine größere Ausdehnung quer zur Achse der Zylinderbohrung haben können, da für die Durchmessererkennung nur die axiale Verschiebung der Strahlungspunkte maßgeblich ist. Die Punktförmigkeit der Strahlen ist in axialer dann gegeben, wenn die axiale Erstreckung der Strahlen deutlich geringer als die axiale Erstreckung des Erfassungsbereichs ist. So sollte die axiale Erstreckung der Strahlungspunkte maximal die Hälfte, besser maximal ein Drittel oder Viertel des Erfassungsbereichs betragen.

**[0008]** Prinzipiell möglich, eine Strahlungsquelle mit zwei Punktstrahlungsquellen vorzusehen, die radial um  $180^\circ$  versetzt abstrahlen. Dies würde jedoch für ein exaktes Erfassen des Durchmessers eine genau konzentrische Anordnung der Strahlungsquelle und des Erfassungsfensters der Erfassungseinrichtung im Zentrum der Zylinderbohrung voraussetzen. Deshalb werden vorzugsweise wenigstens drei Punktstrahlungsquellen als Strahlungsquelle verwendet, die in möglichst äquidistanten Abständen, das heißt bei drei Punktstrahlungsquellen um  $120^\circ$  gegeneinander versetzt sind. Die Erfassungseinrichtung, vorzugsweise die Kamera, hat vorzugsweise einen  $360^\circ$  Erfassungsbereich, so dass diese in der Lage ist, alle drei Auftreffbereiche der Strahlen der Punktstrahlungsquelle auf der Lauffläche in einem axialen Bereich der Zylinderbohrung zu erfassen. Durch die axiale Position der definierten, vorzugsweise punktförmigen Auftreffbereiche im Erfassungsbereich kann somit überprüft werden, ob der Durchmesser zum einen axial innerhalb der Zylinderbohrung abweicht und zum anderen, ob der Durchmesser innerhalb einer gegebenen Sollwerttoleranz liegt. Die Erfassung der durch die Punktstrahlungsquellen erzeugten Auftreffbereiche auf der Lauffläche erfolgt vorzugsweise immer für einen axialen Abschnitt der Zylinderbohrung, d.h. für eine definierte Eintauchtiefe der Messvorrichtung in die Zylinderbohrung bzw. Zylinderlaufbuchse. Diese Messung wird dann bei andern Eintauchtiefen, z.B. vorzugsweise im Abstand von 2 bis 50 mm, insbesondere 3 bis 10 mm wiederholt, wodurch über die axiale Erstreckung der Zylinderbohrung ein Durchmesserprofil erhalten wird.

**[0009]** Der absolute Wert des Durchmessers kann sicher bestimmt werden, wenn vor der Vermessung der Zylinderbohrung eine Referenzmessung durchgeführt wird, in welcher die Messvorrichtung in einer Eichbohrung mit wenigstens einem definierten Durchmesser angeordnet wird. Die axialen Positionen der Auftreffbereiche der insbesondere punktförmigen Strahlen relativ zur Erfassungseinrichtung werden dann als Referenzwert zur Bestimmung des absoluten Durchmesserwertes der zu messenden Zylinderbohrung festgelegt. Wenn die Eichbohrung zwei unterschiedliche Durchmesser hat, erhält man

zwei axiale Punkte, auf denen man durch lineare Interpolation die absoluten Durchmesserwerte einer zu vermessenden Zylinderbohrung erhält.

**[0010]** Vorzugsweise wird als Strahlungsquelle eine Punktstrahlungsquelle verwendet, die einen genau definierten Auftreffbereich der Strahlen auf der Lauffläche generiert, der auf seine Position hin leicht automatisch ausgewertet werden kann. Selbstverständlich können auch lineare Strahlen verwendet werden, die jedoch nicht zu senkrechten Auftreffbereichen auf der Zylinderbohrung das heißt in axialer Richtung der Zylinderbohrung führen dürfen, weil die Durchmesserabweichung gerade über die axiale Verschiebung des Auftreffbereichs der Strahlen im Erfassungsbereich der Erfassungseinrichtung bestimmt wird.

**[0011]** Die Erfindung betrifft ebenfalls ein Verfahren zur Detektion von Spots in LDSbeschichteten Laufflächen von Zylinderbohrungen. So wird bei LDSbeschichteten Zylinderbohrungen auf das Material des Zylinderblockes, zum Beispiel Aluminium, in einem laseraktivierten Plasmabeschichtungsverfahren eine äußerst harte Metallschicht aufgebracht, die in der Regel eine Dicke von weniger als 1 mm, insbesondere 0,6 mm, aufweist. Angesichts der Tatsache, dass prozessbedingt die im Plasmaverfahren aufgebrachte Schicht eine Oberflächenrauigkeit von bis zu 0,3 mm aufweist, muss das Vorliegen von Spots, das heißt von Erhöhungen, die mehrere Millimeter von der Oberfläche hervorstehen können, unbedingt vermieden werden. Derartige Spots führen beim nachträglichen Bearbeiten durch Honen entweder zu einem Ausbruch in der Beschichtung oder sie zerstören das Honwerkzeug. Daher wird zumindest ein Teil der Lauffläche, insbesondere die gesamte Lauffläche der Zylinderbohrung, durch eine Strahlungsquelle in einem Winkel von  $15$  bis  $75^\circ$  zur Achse der Zylinderbohrung, insbesondere  $15$  bis  $60^\circ$ , bestrahlt, wobei die Strahlungsquelle vorzugsweise zusammen mit der Erfassungseinrichtung, insbesondere einer Kamera samt Erfassungsoptik in axialer Richtung in der Zylinderbohrung bewegt wird. Hierbei wird der Auftreffbereich der Strahlen der Beleuchtungseinrichtung auf der Lauffläche in Form von Bildsignalen erfasst und die Bildsignale werden auf das Auftreten benachbarter Hell/Dunkel-Bereiche untersucht, die dadurch entstehen, dass die schräg auf die Lauffläche auftreffende Strahlung auf einen Spot trifft, wo oberhalb des Spots ein heller Bereich erzeugt wird und auf der der Strahlung abgewandten Seite des Spots ein dunkler Bereich. Fehlerquellen, wie zum Beispiel Spots, in der Lauffläche machen sich somit als benachbarte Hell/Dunkel-Bereiche bemerkbar. Die Präsenz eines Spots wird dann angenommen, wenn die Größe des Hell- und/oder Dunkelbereichs eine festgelegte Referenzgröße überschreitet. Referenzgrößen können damit allein für den Hell- oder Dunkelbereich oder für die zusammengefasste Fläche beider Bereiche festgelegt werden, je nach-

dem, welche Fläche man zur Spotdefinition nutzt. Die Referenzgröße kann auch nach einer Eichmessung in einer Referenzzylinderbohrung mit identischen Oberflächeneigenschaften basierend auf dem Signalrauschen bestimmt werden, welches nach Referenzmessung der rauen unbehandelten (nicht gehonten) LDS-Beschichtung der Referenzzylinderbohrung erhalten wird. Der Wert der Referenzgröße kann z.B. zwischen  $\frac{1}{4}$  mm<sup>2</sup> und 10 mm<sup>2</sup> liegen. Die Referenzgröße kann auch ein relativer Wert bezogen auf die Amplitude des Signalrauschens sein.

**[0012]** Diese Hell/Dunkel-Bereiche können durch Aufbereitung der Bildsignale verstärkt werden, insbesondere zum einen durch Quadrierung der Helligkeitswerte über eine bestimmte Anzahl von Bildpunkten, um den Kontrast zu erhöhen, und andererseits durch eine Mittelung der Helligkeit über eine gewisse Anzahl benachbarter Punkte bzw. Offset mit Referenzdaten, um das Signalrauschen zu verringern. Auf diese Weise können sehr genau Fehlerstellen in der gesamten Lauffläche der Zylinderbohrung bestimmt werden. Falls eine derartige Fehlerstelle gefunden wird, kann der Zylinderkopf entweder zur Nachbearbeitung gegeben werden oder als Ausschussstück aus der Produktion genommen werden. Das erfindungsgemäße Verfahren prüft zumindest einen Teil der Lauffläche, vorzugsweise die gesamte Lauffläche optisch auf Spots.

**[0013]** Vorzugsweise hat die Strahlungsquelle eine Vielzahl von auf einem Kreis angeordneten Strahlungsquellen, insbesondere LED-Strahlungsquellen, wodurch eine kreisförmige Strahlungsquelle erzeugt wird, die den gesamten Innenbereich der Lauffläche über 360° möglichst gleichmäßig ausleuchtet. Vorzugsweise ist auch die Kamera als Kamera mit einem 360°-Erfassungswinkel vorzugsweise mit einer Erfassungsoptik in radialer Richtung der Zylinderbohrung ausgebildet, so dass die Kamera den gesamten Auftreffbereich der kreisförmigen Strahlung auf der Lauffläche über 360° erfassen kann. Auf diese Weise kann eine gesamte Lauffläche leicht auf Fehler untersucht werden, wenn die 360°-Aufnahme in geringen axialen Abständen wiederholt oder unter kontinuierlicher axialer Bewegung der Messvorrichtung durchgeführt wird. Jeder Spot führt auf der lichtbeschienen Seite, d.h. auf der Seite von der die Strahlung schräg einfällt, zu einer hellen Stelle im Bild und auf der lichtabgewandten Seite zu einer dunklen Stelle, direkt angrenzend an die helle Stelle. Das Vorliegen eines benachbarten Hell/Dunkel-Bereichs im erfassten Bild deutet somit auf eine Fehlerstelle, insbesondere einen Spot hin. Auch hier kann die Erfassungsoptik der Erfassungseinrichtung (Kamera) gegen die Strahlenrichtung der Strahlungsquelle orientiert sein

**[0014]** Die Position einer Fehlerstelle in der Zylinderbohrung kann leicht aus der axialen Position der Messvorrichtung in der Zylinderbohrung und dem

Sektor bestimmt werden, in welchem die Erfassungseinrichtung, das heißt die Kamera, einen Hell/Dunkel-Bereich erkennt.

**[0015]** In einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird vor dem Vermessen der Zylinderbohrung eine Referenzmessung durchgeführt, in welcher die Messvorrichtung in einer Zylinderbohrung mit einer Referenzlauffläche angeordnet wird, die die gleichen Oberflächeneigenschaften wie die zu messende Zylinderbohrung hat. Bei dieser Referenzmessung tritt die Oberflächenrauigkeit der Referenzlauffläche als Signalrauschen des Bildsignals auf, welches bei der anschließenden Vermessung einer Zylinderbohrung gefiltert werden kann (Offset). Aus der Referenzmessung kann auch die Referenzgröße für die Spotdefinition abgeleitet werden.

**[0016]** Wie oben bereits zum Ausdruck gebracht, eignet sich das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere zur Spoterkennung von LDS-beschichteten Zylinderbohrungen in Zylinderblöcken von Verbrennungsmotoren.

**[0017]** LDS steht für Laser Direct Structuring, bei welchem durch laserinitiiertes Generieren eines Plasmas in der Zylinderbohrung eine äußerst harte Oberflächenschicht erzeugt wird, welche die Lauffläche für den Kolben eines Verbrennungsmotors bildet, natürlich nach mechanischer Feinbearbeitung (Honen). Der Vorteil dieser Technologie besteht darin, dass die vergleichsweise schwere Hartmetallschicht äußerst dünn auf den Leichtmetallmotorblock aufgetragen werden kann, womit Material und Gewicht eingespart wird.

**[0018]** Die Erfindung betrifft weiterhin eine Messvorrichtung zum Überprüfen einer Zylinderbohrung auf Maßhaltigkeit hinsichtlich des Durchmessers und/oder Fehlerstellen. Die Messvorrichtung enthält eine Strahlungsquelle, die in der Lage ist, einen definierten Lichtstrahl in einem Winkel von 15 bis 75° zur Achse der Zylinderbohrung auf die Lauffläche der Zylinderbohrung abzugeben. Die Messvorrichtung enthält weiterhin eine Erfassungseinrichtung, die dazu konzipiert ist, axial in einer Zylinderbohrung bewegt zu werden. Vorzugsweise hat die Erfassungseinrichtung eine Erfassungsoptik in radialer Vorzugsrichtung oder sogar gegen die Strahlen der Strahlungsquelle orientiert. Vorzugsweise sind die Strahlungsquelle und die Erfassungseinrichtung, die vorzugsweise als Kamera ausgebildet sein kann, mechanisch in der Messvorrichtung in einer definierten wechselseitigen Stellung miteinander verbunden, so dass immer die Strahlungsquelle zusammen mit der Erfassungseinrichtung in der Zylinderbohrung bewegt wird. Die Messvorrichtung ist insbesondere ausgebildet für die Durchführung der oben genannten Prüf- bzw. Messverfahren.

**[0019]** Die Erfassungseinrichtung erfasst in ihrem Erfassungsbereich den Auftreffbereich der von der Strahlungsquelle abgegebenen Strahlung auf der Lauffläche der Zylinderbohrung. Durch die axiale Position des Auftreffbereichs im Erfassungsbereich der Erfassungseinrichtung kann auf den Durchmesser der Zylinderbohrung im Erfassungsbereich rückgeschlossen werden und aus dem Vorliegen von benachbarten Hell/Dunkel-Bereichen (siehe oben) kann auf das Vorliegen von Fehlstellen, insbesondere Spots, geschlossen werden.

**[0020]** Vorzugsweise weist eine erste Strahlungsquelle mehrere Strahlungsquellen, insbesondere LEDs, auf, die vorzugsweise auf einem Kreisbogen angeordnet sind. Diese Strahlungsquellen sollten einen gleichmäßigen Auftreffbereich der Strahlung auf der Lauffläche erzeugen. Mit einer derartigen ersten Strahlungsquelle kann die Lauffläche sehr gut auf Fehlerstellen, insbesondere Spots, überprüft werden.

**[0021]** Alternativ oder zusätzlich kann die Messvorrichtung eine zweite Strahlungsquelle aufweisen, die wenigstens drei Strahlungsquellen mit definierter Strahlung, insbesondere Punkt laser, aufweisen, die vorzugsweise in äquidistanten Abständen um die Achse der Messvorrichtung angeordnet sind. Diese Punktstrahlungsquellen sollten eine Strahlung abgeben, die nur minimal divergiert, zum Beispiel maximal  $10^\circ$ . Insbesondere wird paralleles Licht, insbesondere Laserlicht, verwendet. Die drei zum Beispiel um  $120^\circ$  zueinander versetzten Punktstrahlungsquellen führen in einem axialen Level der punktförmigen Auftreffbereiche auf der Lauffläche, und können in einem Lasertriangulationsverfahren zur Bestimmung des Durchmessers verwendet werden. Denn durch die Position dieser drei Auftreffpunkte im Erfassungsbereich der Kamera kann somit direkt auf den Durchmesser der Zylinderbohrung geschlossen werden. Vorzugsweise sind die Erfassungseinrichtung und die erste und/oder Strahlungsquelle an einem Trägerteil gehalten, das vorzugsweise mittels einer Linearführung in der Zylinderbohrung axial beweglich ist. Auf diese Weise kann auf einfache Weise die gesamte Lauffläche einer Zylinderbohrung auf die Einhaltung eines Soll Durchmessers überprüft werden. Selbstverständlich können auch mehr als drei Strahlungspunkte, z.B. vier bis zehn Strahlungspunkte verwendet werden. Hierbei wird dann der Strahl einer Punktstrahlungsquelle entweder entsprechend aufgeteilt oder eine entsprechende Anzahl an separaten Punktstrahlungsquellen verwendet.

**[0022]** Mit Erfassungsbereich der Erfassungseinrichtung ist derjenige Bereich der Lauffläche der Zylinderbohrung bezeichnet, der von der Erfassungseinrichtung erfasst wird.

**[0023]** Das Trägerteil der Messvorrichtung sollte möglichst konzentrisch durch eine Halterung mittels

eines Führungsschlittens in der Zylinderbohrung axial geführt werden, wobei eine exakt konzentrische Ausrichtung nicht notwendig ist. Aufgrund der Verwendung einer zweiten Strahlungsquelle mit wenigstens drei Punktstrahlungsquellen für die Durchmessererfassung ist auch eine leicht azentrische Anordnung der Komponenten der Messvorrichtung in der Zylinderbohrung unschädlich.

**[0024]** Die Strahlungsquelle kann derart ausgerichtet sein, dass sie die Strahlung direkt in dem gewünschten Winkel von  $15$  bis  $75^\circ$  auf die Lauffläche der Zylinderbohrung richtet. Sie kann jedoch auch in eine andere Richtung orientiert sein, zum Beispiel in axialer Richtung, wo die Strahlung dann z.B. durch eine Spiegelanordnung in dem gewünschten Winkel von  $15$  bis  $75^\circ$  auf die Lauffläche der Zylinderbohrung umgelenkt wird. Die Anordnung mit einer Spiegelanordnung lässt eventuell größere Freiheitsgrade hinsichtlich des Aufbaus und der Anordnung der Strahlungsquelle(n) zu.

**[0025]** Die zweite Strahlungsquelle für die Durchmesserüberprüfung und die erste Strahlungsquelle für die Spot-Prüfung können zusammen an dem Trägerteil montiert sein. Für beide Messungen kann die identische Erfassungseinrichtung verwendet werden. In diesem Fall ist es z.B. vorteilhaft, beim Hereinfahren in die Zylinderbohrung die Spotprüfung durchzuführen und beim Herausfahren die Durchmesserüberprüfung. Man hat somit in einem Tauchvorgang beide der Messvorrichtung beide Prüfungen miteinander kombiniert. Die beiden Strahlungsquellen können jedoch auch austauschbar an dem Trägerteil angeordnet sein.

**[0026]** Vorzugsweise ist als Erfassungseinrichtung eine Kamera im Zentrum des Trägerteils angeordnet, welche Kamera mittels einer  $360$  Grad-Optik einen Erfassungsbereich von  $360^\circ$  quer zur Bewegungsrichtung des Trägerteils aufweist. Auf diese Weise kann mit einer axialen Bewegung der Kamera über die axiale Länge der Zylinderbohrung die gesamte Lauffläche der Zylinderbohrung schnell und effektiv überprüft werden.

**[0027]** In einer Ausführungsform der Erfindung ist die Strahlungsquelle austauschbar an dem Trägerteil befestigt. Dies ermöglicht es, die Strahlungsquelle für eine Durchmessererfassung der Zylinderbohrung gegen eine Strahlungsquelle für eine Fehlerstellenbestimmung auszutauschen. Für eine Durchmessererfassung wird vorzugsweise die zweite Strahlungsquelle mit wenigstens drei Punktstrahlungsquellen, insbesondere Laserstrahlungsquellen, verwendet, während für eine Fehlerstellenbestimmung möglichst die erste Strahlungsquelle verwendet wird, welche vorzugsweise über den gesamten Umfang eine gleichmäßige Ausleuchtung der Zylinderbohrung über  $360^\circ$  gewährleistet. Dies ist zum Beispiel bei

einem LED-Array gewährleistet, welches z.B. auf einem ringförmigen Fortsatz des Trägerteils angeordnet ist. Somit kann durch einen einfachen Austausch der Strahlungsquelle die Messvorrichtung auf die Überprüfung des Durchmessers bzw. von Fehlerstellen, wie zum Beispiel Spots, geändert werden. Es ist jedoch vorzuziehen, beide Strahlungsquellen gemeinsam auf der Messvorrichtung anzuordnen, in welchem Fall diejenige Strahlungsquelle betätigt wird, die für die entsprechende Messung gerade benötigt wird.

**[0028]** Es wäre prinzipiell möglich, die Strahlungsquelle und die Erfassungseinrichtung relativ zueinander bewegbar an der Messvorrichtung anzuordnen. Dies würde jedoch zusätzliche Maßnahmen zur Auswertung des Erfassungsbereichs der Erfassungseinrichtung notwendig machen. Deswegen ist vorzugsweise die Strahlungsquelle in einer festen definierten Position relativ zur Erfassungseinrichtung gehalten. Somit wird bei einer Vermessung einer Zylinderbohrung die Strahlungsquelle zusammen mit der Erfassungseinrichtung, insbesondere festgelegt am Trägerteil, axial in der Zylinderbohrung bewegt.

**[0029]** Die oben beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung sind in beliebiger Weise miteinander kombinierbar.

**[0030]** Vorzugsweise wird eine kombinierte Oberflächen-Inspektion auf Spots und auf Durchmesserstimmigkeit in einem Arbeitsgang, vorzugsweise mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems durchgeführt. Die Kamera hierbei ist hierbei vorzugsweise mit einer 360° Erfassungsoptik ausgestattet, welche die Zylinderlauffläche z.B. in einem Bereich von ca. 15mm als Abwicklung darstellt. Während des Prüf- bzw. Messvorgangs wird die Messvorrichtung mit der Erfassungseinrichtung in die Zylinderbohrung eingefahren unter Verwendung einer ersten Strahlungsquelle, insbesondere eines ringförmig angeordneten LED-Arrays. Dabei werden 30–40 Bilder aufgenommen, welche zur Oberflächen-Inspektion auf Spots herangezogen werden. Danach fährt die Messvorrichtung wieder aus der Zylinderbohrung heraus, wobei von der ersten Strahlungsquelle auf eine zweite Strahlungsquelle mit Punktstrahlungsquellen, insbesondere Punkt Laserquellen, umgeschaltet wird. Nun wird im Lasertriangulationsverfahren die oben beschriebene Durchmesserermessung der Zylinderbohrung durchgeführt.

**[0031]** Die Erfindung wird nun anhand einer schematischen Zeichnung beschrieben. In dieser zeigen:

**[0032]** Fig. 1 eine teilgeschnittene Seitenansicht einer in einer Zylinderbohrung angeordneten Messvorrichtung mit einem Strahlenverlauf einer ersten Strahlungsquelle, und

**[0033]** Fig. 2 eine teilgeschnittene Ansicht der Messvorrichtung aus Fig. 1, mit einem Strahlenverlauf einer zweiten Strahlungsquelle.

**[0034]** Die erfindungsgemäße Messvorrichtung **10** umfasst ein Trägerteil **12**, welches in axialer Richtung  $x$  in einer Zylinderbohrung **14** eines Motorblockes **16** mittels eines nicht dargestellten Führungsschlittens bewegbar ist. Das Trägerteil **12** trägt als erste Strahlungsquelle ein LED-Array **18**, welches auf einer Kreisbahn an einem ringförmigen Fortsatz **20** des Trägerteils **12** gehalten ist, so dass dessen emittierte Strahlen **22** unter einem Winkel (relativ zur Achse  $x$  der Zylinderbohrung) von etwa 15 bis 60° direkt auf die Lauffläche **24** der Zylinderbohrung **14** auftrifft. Dieser Auftreffbereich wird erfasst durch eine Erfassungseinrichtung **26**, die durch eine Kamera **28** mit einem Vorsatzobjektiv **30** und einer 360°-Optik **32** gebildet ist, so dass sich durch die Erfassungseinrichtung **26** ein ringförmiger und zur Lauffläche **24** hin etwas aufgeweiteter Erfassungsbereich **34** ergibt, welcher den gesamten Auftreffbereich der Strahlung abdeckt oder zumindest einen Großteil davon. Das Trägerteil **12** wird mittels des Führungsschlittens in axialer Richtung  $X$  über die gesamte Lauffläche **24** der Zylinderbohrung **14** bewegt, wobei Fehlerstellen in der Lauffläche **24** in dem Erfassungsbereich **34** der Erfassungseinrichtung **26** als benachbarte Hell/Dunkel-Bereiche erkannt werden.

**[0035]** Fig. 2 zeigt eine zweite Strahlungsquelle der Messvorrichtung **10**, aus Fig. 1, die für eine Durchmesserüberprüfung einer Zylinderbohrung verwendet wird. Identische oder funktionsgleiche Teile sind hierbei mit identischen Bezugszeichen versehen. Das Trägerteil **12** trägt zusätzlich zu der ersten Strahlungsquelle **18** eine zweite Strahlungsquelle **42**, die aus drei um die zentrale Achse  $Z$  des Trägerteils äquidistant verteilten Laserpunktstrahlungsquellen **42** gebildet ist. Deren drei diskrete Strahlen werden an einer Spiegelanordnung **44** in einem Winkel von 15 bis 60° auf die Lauffläche **24** reflektiert. Es ergeben sich damit drei um 120° versetzte punktförmige Auftreffbereiche der Laserstrahlen **46** auf der Lauffläche **24**. Wenn der Durchmesser der Zylinderbohrung **14** sich vergrößert, wandern die Auftreffpunkte des Laserstrahls **46** auf der Zylinderwandung **24** im Erfassungsbereich **34** der Erfassungseinrichtung **26** weiter nach unten und wenn der Durchmesser geringer wird, entsprechend weiter nach oben. Damit kann durch die Position der Auftreffpunkte der drei Laserstrahlen **46** im Erfassungsbereich **34** in axialer Richtung  $X$  der Durchmesser der Zylinderbohrung **14** erfasst werden (Lasertriangulation). Vorzugsweise wird beim Betrieb der zweiten Strahlungsquelle **42** die erste Strahlungsquelle **18** abgeschaltet.

**[0036]** Vorzugsweise wird vorher eine Referenzmessung an einer Referenzzylinderbohrung durchgeführt, welche wenigstens einen definierten Durch-

messer hat. Dieser definierte Durchmesser führt dann zu einer definierten axialen Position der drei Laserpunkte im Erfassungsbereich. Diese Punkte werden als Referenzpunkte im entsprechend definierten Durchmesser der Referenzzylinderbohrung zuge-messen.

**[0037]** Wenn die Referenzzylinderbohrung zwei unterschiedliche Durchmesserbereiche hat, werden zwei axial unterschiedliche positionierte Auftreffbereiche erhalten, aus denen sich durch lineare Interpolation der Absolutwert jedes gemessenen Durchmessers bestimmen lässt.

**[0038]** Mit der Messvorrichtung **10** wird vorzugsweise beim Hineinfahren in die Zylinderbohrung **14** mittels der ersten Strahlungsquelle **18** die Spot-Überprüfung durchgeführt und beim Herausfahren der Messvorrichtung **10** aus der Zylinderbohrung **14** wird die zweite Strahlungsquelle **42** (die drei Punktlaserquellen) eingeschaltet, um im Lasertriangulationsverfahren die Durchmesserbestimmung durchzuführen, oder umgekehrt.

**[0039]** Die Erfindung ist nicht auf das oben beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt, sondern kann innerhalb des Schutzbereiches der nachfolgenden Ansprüche variiert werden.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 19738827 [0003]



## Patentansprüche

1. Verfahren zum Überprüfen des Durchmessers einer Zylinderbohrung (14) mit einer Messvorrichtung (10; 40), die wenigstens eine Strahlungsquelle (18; 42) und wenigstens eine zum Einführen in die Zylinderbohrung konzipierte Erfassungseinrichtung (26) enthält, bei welchem Verfahren die Lauffläche (24) der Zylinderbohrung (14) an axial unterschiedlichen Stellen durch die Strahlungsquelle in einem Winkel von 15 bis 75 Grad zur Achse der Zylinderbohrung bestrahlt und der Auftreffbereich der Strahlen auf der Lauffläche von der Erfassungseinrichtung beim Einführen in die Zylinderbohrung erfasst (34) wird, wobei eine Erfassungseinrichtung mit einem zur Achse der Zylinderbohrung in etwa orthogonalen ausgerichteten Erfassungsoptik verwendet wird, wobei die Position des Auftreffbereichs der Strahlen auf der Lauffläche im Erfassungsbereich (34) der Erfassungseinrichtung (26) für die Ermittlung des Durchmessers der Zylinderbohrung (14) ausgewertet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem wenigstens drei Strahlungspunkte von Punktstrahlungsquellen der Strahlungsquelle (42) auf die Lauffläche gerichtet und von der Erfassungseinrichtung ausgewertet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem als Strahlungsquelle (42) wenigstens eine Laserstrahlungsquelle, insbesondere Punktlaserquelle verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Erfassungseinrichtung (26) mit einer Kamera (28) verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem vor dem Vermessen der Zylinderbohrung (14) eine Referenzmessung durchgeführt wird, in welcher die Messvorrichtung in einer Eichbohrung mit wenigstens einem definiertem Durchmesser angeordnet wird, und die Position des Auftreffbereichs der Strahlen relativ zur Erfassungseinrichtung als Referenz zur Bestimmung des absoluten Durchmesserwertes verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Lasertriangulationsverfahren mit wenigstens drei Punktlasern als Strahlungsquelle und einer Kamera mit 360 Grad-Optik als Erfassungseinrichtung verwendet wird.

7. Verfahren zum Überprüfen der Lauffläche einer nicht feinbearbeiteten LDSbeschichteten Zylinderbohrung (14) auf aus der Lauffläche hervorsteheende Fehlerstellen (Spots) mit einer Messvorrichtung (10; 40), die wenigstens eine Strahlungsquelle (18) und wenigstens eine zum Einführen in die Zylinderbohrung konzipierte Erfassungseinrichtung (26)

enthält, bei welchem Verfahren die Lauffläche (24) der Zylinderbohrung (14) an axial unterschiedlichen Stellen durch die Strahlungsquelle in einem Winkel von 15 bis 75 Grad zur Achse der Zylinderbohrung bestrahlt und der Auftreffbereich der Strahlen auf der Lauffläche von der Erfassungseinrichtung beim Einführen in die Zylinderbohrung erfasst (34) wird, wobei eine Erfassungseinrichtung mit einem zur Achse der Zylinderbohrung in etwa orthogonalen ausgerichteten Erfassungsoptik verwendet wird, wobei die Strahlungsquelle in der Zylinderbohrung zusammen mit der Erfassungseinrichtung in axialer Richtung der Zylinderbohrung bewegt wird, welche Kamera den Auftreffbereich der Strahlen der Strahlungsquelle auf der Lauffläche in Form von Bildsignalen erfasst, und die Bildsignale auf das Auftreten benachbarter Hell/Dunkel-Bereiche untersucht werden, wobei das Vorliegen eines Spots angenommen wird, wenn die Fläche der Hell- und/oder Dunkelfläche eines benachbarten Hell/Dunkel-Bereichs eine festgelegte Referenzgröße überschreitet.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem eine Strahlungsquelle mit einer Vielzahl von ringförmig (20) angeordneten Strahlungsquellen (18), insbesondere LED-Strahlungsquellen verwendet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, bei dem in den Bildsignalen erhaltene Helligkeitswerte über eine bestimmte Anzahl von Bildpunkten quadriert werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, bei dem das Bildrauschen in dem von der Kamera (28) erfassten Bild durch Mittelung der Helligkeit über zwei bis 10 benachbarte Bildpunkte reduziert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, bei dem vor dem Vermessen der Zylinderbohrung (14) eine Referenzmessung durchgeführt wird, in welcher die Messvorrichtung in einer Zylinderbohrung mit einer Referenzlauffläche angeordnet wird, die die gleichen Oberflächeneigenschaften wie die zu messende Zylinderbohrung hat, in welcher Referenzmessung die Oberflächenrauigkeit der Referenzlauffläche als Signalrauschen des Bildsignals ermittelt und das bei der Referenzmessung ermittelte Signalrauschen aus dem erhaltenen Messsignal gefiltert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem in der Referenzmessung die Referenzgröße basierend auf dem ermittelten Signalrauschen bestimmt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, bei dem die Position eines Hell/Dunkelbereichs in der Lauffläche (24) aus der axialen Position der Messvorrichtung (10; 40) in der Zylinderbohrung (14) und dem Sektor des Hell/Dunkelbereichs bestimmt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 13 zur Spoterkennung von LDSbeschichteten Zylinderbohrungen (14) in Zylinderblöcken (16) von Verbrennungsmotoren.

15. Messvorrichtung (10; 40) zum Überprüfen einer Zylinderbohrung (14) auf Maßhaltigkeit und/oder Fehlstellen, umfassend wenigstens eine Strahlungsquelle (18; 42) zur axial beweglichen konzentrischen Anordnung in der Zylinderbohrung, welche Strahlungsquelle mit einer zum Einführen in die Zylinderbohrung konzipierten Erfassungseinrichtung (26) verbunden ist, wobei die Strahlungsquelle zur Abgabe eines definierten Lichtstrahls (22; 46) in einem Winkel von 15 bis 75 Grad zur Bewegungsachse auf eine Lauffläche (24) einer Zylinderbohrung konzipiert ist, und die Erfassungseinrichtung dazu konzipiert ist, den auf die Lauffläche auftreffenden Lichtstrahl (22; 46) zu erfassen (34).

16. Messvorrichtung (10; 40) nach Anspruch 15, bei der die Strahlungsquelle (18) mehrere LEDs (18) aufweist.

17. Messvorrichtung (10; 40) nach Anspruch 16, bei der die Strahlungsquellen (18; 42) ringförmig (20) angeordnet sind.

18. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 17, bei der die Strahlungsquelle (42) wenigstens drei Punktstrahlungsquellen, insbesondere Punktlaser aufweist, die vorzugsweise in einem Winkelabstand von 360 Grad geteilt durch die Anzahl der Punktstrahlungsquellen abstrahlen.

19. Messvorrichtung (10; 40) nach einem der Ansprüche 15 bis 18, bei welcher die Erfassungseinrichtung (26) eine Kamera (28), insbesondere eine Kamera mit einem zirkularen Erfassungsbereich (34) von 360 Grad quer zur Bewegungsachse (x) ausgebildet ist.

20. Messvorrichtung (10; 40) nach einem der Ansprüche 15 bis 19, die ein Trägerteil (12) aufweist, an welchem die Strahlungsquelle (18; 42) und die Erfassungseinrichtung (26) gehalten sind.

21. Messvorrichtung (10; 40) nach Anspruch 20, bei der das Trägerteil (12) an einer Halterung gehalten ist, welche Halterung eine Linearführung zur axialen Bewegung (x) des Trägerteils in der Zylinderbohrung (14) aufweist.

22. Messvorrichtung (10; 40) nach Anspruch 20 und 21, bei der die Kamera (28) eine Erfassungsoptik (32) von 360 Grad quer zur Bewegungsrichtung (x) des Trägerteils (12) aufweist, und in dessen Zentrum (z) angeordnet ist.

23. Messvorrichtung (10; 40) nach einem der Ansprüche 20 bis 22, bei der eine, insbesondere zirkulare, Spiegelanordnung (44) an dem Trägerteil (12) gehalten ist, um die Strahlen (46) von der Strahlungsquelle (42) auf die Lauffläche (24) zu richten.

24. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 23, bei der die Strahlungsquelle (18; 42) austauschbar an dem Trägerteil (12) befestigt ist.

25. Messvorrichtung (10; 40) nach einem der Ansprüche 15 bis 24, bei der die Strahlungsquelle (18; 42) in einer festen definierten Position relativ zur Erfassungseinrichtung (26) gehalten ist.

26. Messvorrichtung (10; 40) nach einem der Ansprüche 15 bis 25, bei der die Erfassungseinrichtung eine orthogonal zur Achse der Zylinderbohrung und/oder gegen die Strahlen der Strahlungsquelle orientierte Erfassungsoptik hat.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Fig. 1

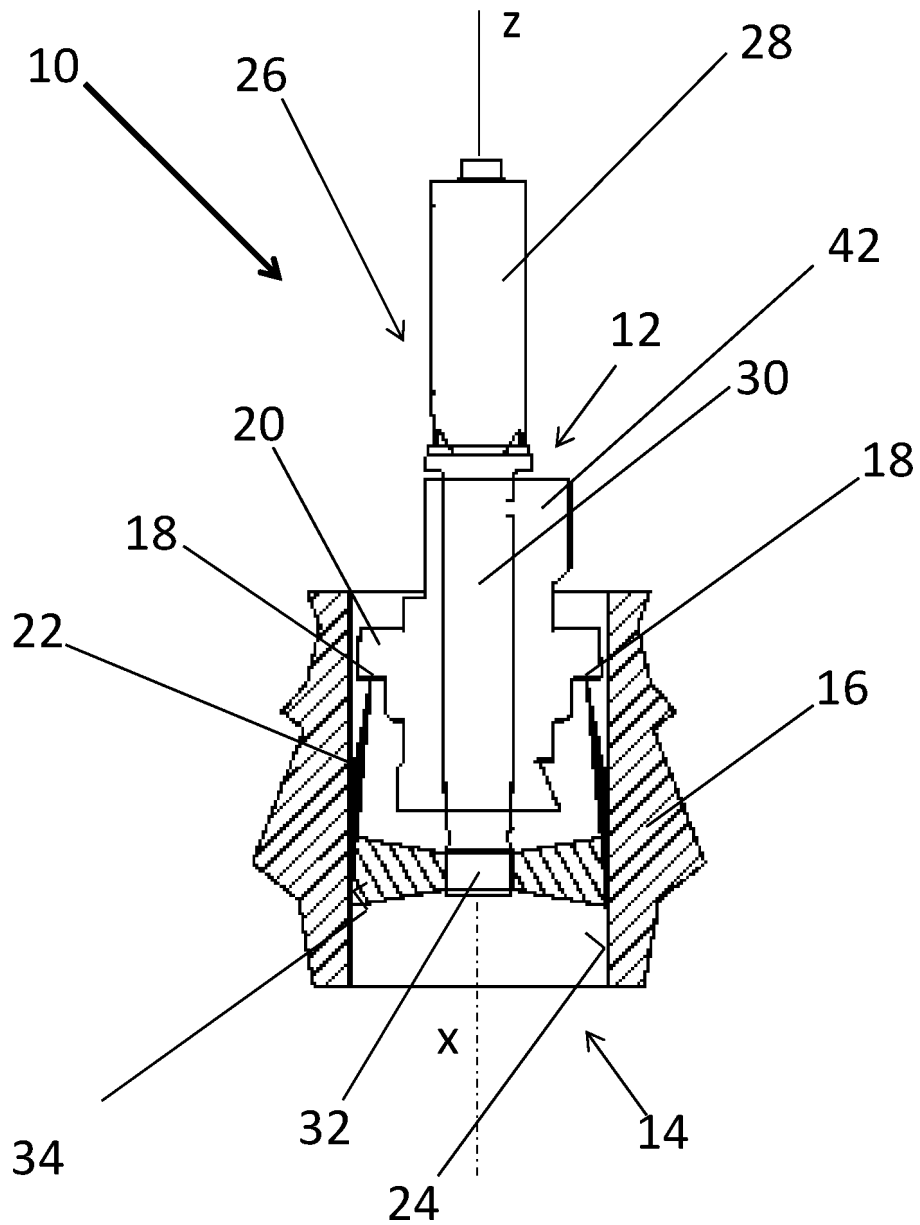


Fig. 2

